

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 35

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
Riedstadt-Crumstadt

Forschungsprogramm

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

Messperiode

Mai 2015 bis April 2017

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-14.3

gefördert durch

das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

bearbeitet von

Dipl.-Ing (FH) Mario Stelzmann,
Prof. Dr.-Ing Ulrich Möller
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur, Leipzig



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

FORSCHUNGSINITIATIVE
ZukunftBAU



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



Christm**A**utomation GmbH
Gebäudeautomation & Elektrotechnik

arch+E[®]architekten
architektur-energie

IHBB

Fraunhofer
IBP

Effizienzhaus Plus, Crumstadt Monitoringprojekt

Abschlussbericht

für den Zeitraum vom 01. Mai 2015 bis 30. April 2017

Auftraggeber

Bauherr

64560 Riedstadt-Crumstadt

Auftragnehmer

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig
Institut für Hochbau, Baukonstruktion und Bauphysik
Karl-Liebknecht-Straße 132
04277 Leipzig

Leipzig, September 2017



(Quelle: Bauherr)

Projektpartner:

Gefördert durch:



Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)

Presse- und Informationsstab

Stresemannstraße 128 - 130

10117 Berlin

Telefon: 030/18305-0

Internet: <http://www.bmub.bund.de>



Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)

im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Deichmanns Aue 31-37

53179 Bonn

Internet: <http://www.bbsr.bund.de>

<http://www.forschungsinitiative.de>



arch+E

Gesellschaft von Architekten mbH

berkersheimer weg 5

61118 bad vilbel

Telefon: 06101/34908-0

Internet: <http://www.archpluse.de>



Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Institut für Hochbau, Baukonstruktion und Bauphysik

Karl-Liebknecht-Str. 132

04277 Leipzig



Telefon: 0341/3076-7038

Internet: <http://www.ihbb.htwk-leipzig.de>



Christmann Automation GmbH

Marienbader Str. 1

65597 Hünfelden - Nauheim

Telefon: 06438/921-463

Internet: <http://www.christmann-automation.com>



Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Abteilung Energieeffizienz und Raumklima
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Internet: <http://www.ibp.fraunhofer.de>

Autoren:

Dipl.-Ing (FH) Mario Stelzmann, Telefon: 0341/3076-6650, E-Mail: mario.stelzmann@htwk-leipzig.de
Prof. Dr.-Ing Ulrich Möller, Telefon: 0341/3076-6281, E-Mail: ulrich.moeller@htwk-leipzig.de

Inhalt

1	Kurzfassung	6
2	Kontext und Zielsetzung	7
3	Gebäudesteckbrief	8
3.1	Allgemeine Daten	8
3.2	Architektur	8
3.3	Wärmeschutz	9
3.4	Anlagentechnik	10
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	11
3.6	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599	12
4	Monitoring	14
4.1	Messkonzept	14
4.2	Änderungen im Messkonzept	15
4.3	Dokumentation	15
4.4	Verwendete Messtechnik	15
4.5	Datenausfall	16
5	Meteorologische Randbedingungen	17
5.1	Solarstrahlung	17
5.2	Außenlufttemperaturen und relative Luftfeuchte	17
5.3	Klimabereinigung	18
6	Messergebnisse	20
6.1	Stromverbrauch	20
6.1.1	Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil (Stromverbrauch des Monitoring)	22
6.2	Strom aus Photovoltaik	22
6.3	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromerzeugung	23
6.4	Wärmeerzeugung	24
6.5	Wärmeverbrauch	25
6.6	Anlagenperformance	26
6.6.1	Photovoltaik	27
6.6.2	Solarthermie	29
6.6.3	Wärmepumpe	30

6.6.4	Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage	31
6.7	Innenraumtemperaturen	33
6.8	Vergleich von Monitoring und Simulation nach DIN V 18599	35
6.8.1	Strom	35
6.8.2	Vergleich von Strombedarf zu Stromverbrauch	36
6.8.3	Regenerativer Strom aus Photovoltaik	37
6.8.4	Vergleich von Wärmebedarf und Wärmeverbrauch	37
6.8.5	Vergleich der Effizienz der Anlagentechnik aus der Berechnung nach DIN V 18599 und Messung	39
7	Kosten / Wirtschaftlichkeit	42
7.1	Baukosten und laufende Betriebskosten	42
7.2	Kosten Haushaltsgeräte	44
8	Bewertung	46
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes	46
8.1.1	Strombilanz	46
8.1.2	Wärmeschutz	46
8.1.3	Anlagentechnik	46
8.2	Verbesserungspotentiale	47
8.2.1	Sommerlicher Wärmeschutz	47
8.2.2	Eigenstromnutzung	47
8.2.3	Wirtschaftlichkeit des Anlagenkonzeptes	47
9	Quellen	49
	Anhang A: Monatsdaten	50
	Anhang B: Datenträger	55

1 Kurzfassung

Der folgende Bericht umfasst die Ergebnisse eines Gebäudemonitoring für ein Einfamilienhaus im „Effizienzhaus Plus-Standard“ vom 01.05.2015 bis 30.04.2017 in Riedstadt-Crumstadt, Hessen. Der Grundsatz des Gebäudekonzeptes besteht darin, dass in der Jahresbilanz mehr Energie erzeugt wird, als das Gebäude selbst verbraucht, primärenergetisch und endenergetisch. In einem vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit geförderten Monitoringprojekt sollte geprüft werden, ob das Gebäude die Anforderungen des Effizienzhaus Plus-Standard unter realen Bedingungen erfüllt. Gemessen wurden Raumtemperaturen, Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie, erzeugte und genutzte Wärmemengen sowie die klimatische Randbedingungen.

Das energetische Konzept des 2012 errichteten Effizienzhaus Plus beinhaltet neben einer hochwärmegedämmten Außenhülle und einer Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung eine Sole/Wasser-Wärmepumpe, welche in Verbindung mit Solarthermiemodulen die Wärmeerzeugung für Heizung und Trinkwarmwasser sicherstellen soll. Darüber hinaus werden die Räume von einem zentralen Lüftungsgerät mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 90 % mit Frischluft versorgt. Weiterhin sorgt eine zentrale, Gebäude- und Anlagensteuerung für eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Energie.

Der gemessene Verbrauch an Endenergie für Heizen, Trinkwarmwasser und Lüftung zeigt im Vergleich mit den vorab nach DIN V 18599 berechneten Bedarfswerten, dass der tatsächliche Verbrauch unterhalb der prognostizierten Werte liegt.

Als Annahme für den Strombedarf für Beleuchtung und Haushaltsgeräte gelten im Effizienzhaus Plus-Standard Werte von 20 kWh/(m² a) jedoch maximal 2.500 kWh/(a WE). Mit einem tatsächlichen Jahresstromverbrauch von durchschnittlich 3.650 kWh/a wird der Ansatz im Monitoringprojekt überschritten.

Der jährliche Gesamt-Stromverbrauch für das Gebäude liegt mit 5.500 kWh/a dennoch unterhalb des zuvor berechneten Strombedarfes von 6.700 kWh/a. Der berechnete Stromertrag aus Photovoltaik von 9.100 kWh/a wird im Monitoring mit 13.000 kWh/a deutlich überschritten. Damit erreicht das Gebäude den Effizienzhaus Plus-Standard mit einer positiven End- und Primärenergiebilanz von $\Delta Q_E \approx 7.500$ kWh/a bzw. $\Delta Q_P \approx 18.000$ kWh/a.

2 Kontext und Zielsetzung

Mit der Europäischen Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (1) sind die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union dazu verpflichtet den Energieverbrauch ihrer Gebäude zu senken. Das langfristige Ziel ist ein klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050. Bei der Konzeption von Maßnahmen zur Durchsetzung in Deutschland, orientiert sich die Bundesregierung an den Grundsätzen: Informieren – Fördern – Fordern (2). Bereits seit vielen Jahren angewendet, haben sich insbesondere für den Gebäudesektor, unter anderen zwei wichtige Instrumente erfolgreich etabliert. Erstens eine kontinuierliche Verschärfung der Anforderungen nach EnEV (Energieeinsparverordnung) und zweitens die Förderung des Baus von energiesparenden Gebäuden durch KfW-Programme (Kreditanstalt für Wiederaufbau). Dabei ist es notwendig, neue energiesparende Gebäudestandards zu definieren und aus technischer bzw. wirtschaftlicher Sicht weiter zu entwickeln. Der Effizienzhaus Plus-Standard stellt dabei den aktuellen Stand der Forschung dar. Das Energiekonzept eines Effizienzhaus Plus beruht auf dem Grundsatz, dass in der Jahresenergiebilanz mehr Energie erzeugt wird als das Gebäude selbst verbraucht, end- und primärenergetisch. Überschüsse können für die Elektromobilität oder die Quartiersversorgung verwendet werden. Der energetische Nachweis eines Effizienzhaus Plus erfolgt mittels erweitertem EnEV Nachweis nach DIN V 18599. Aus baurechtlicher und förderpolitischer Sicht ist die Gültigkeit der energetischen Berechnung von hoher Bedeutung.

Ziele dieses Monitoring-Projektes sind zum ersten der messtechnische Nachweis des entwickelten und umgesetzten Effizienzhaus Plus-Konzeptes. Dabei wird anhand der Messdaten geprüft, ob das Gebäude die Kriterien des Effizienzhaus Plus-Standard im bewohnten Zustand unter realen Klimabedingungen erfüllt. Zum zweiten wird die Effizienz der verbauten anlagentechnischen Komponenten über den Monitoringzeitraum geprüft und bewertet. Zum dritten werden zuvor durchgeführte Berechnungsergebnisse nach DIN V 18599 mit Messdaten gegenübergestellt und bewertet. Im vierten Punkt erfolgt eine Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Mehrkosten gegenüber dem Referenzgebäude nach EnEV. Im fünften Punkt wird die Gesamteffizienz des Gebäudes bewertet und Optimierungspotentiale definiert. Sechstens werden die Monitoringdaten für zukünftige rechnerische Betrachtungen aufbereitet und gespeichert.

3 Gebäudesteckbrief

Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick des Effizienzhaus Plus „Bauherr“. Vorgestellt werden Randbedingungen zur Nutzung des Gebäudes, Basisdaten zum Gebäude und der Lage, technische Daten zum Wärmeschutz und der Anlagentechnik sowie Berechnungsergebnisse nach DIN V 18599.

3.1 Allgemeine Daten

Bei dem 2012 in Riedstadt-Crumstadt (Hessen) errichteten Effizienzhaus Plus „Bauherr“ handelt es sich um ein nicht unterkellertes, in Holzbauweise aufgeständertes Gebäude. Als Einfamilienhaus konzipiert, wird es ausschließlich für Wohnzwecke genutzt. Während des Monitorings wurde das Gebäude von einer dreiköpfigen, werktätigen Familie bewohnt. Die allgemeinen Daten zum Effizienzhaus Plus bzw. zum Standort Crumstadt sind in der folgenden Tabelle 1 bzw. Abbildung 1 zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 1: Allgemeine Daten

Baujahr	2012
Bruttogrundfläche	228 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	183 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	618 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,66 m ⁻¹
Breitengrad	
Längengrad	
Höhenlage	90 m über NN
Mittlere Jahrestemperatur	9,5 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April)	4,0 °C
Gradtagzahl am Standort (langjähriges Mittel)	2.848 Kd
TRY - Klimazone / Referenzstation	Klimazone TRY 12, Mannheim



Abbildung 1: Standort Crumstadt

3.2 Architektur

Bei der Konzeption des Gebäudes sollten neben einer energieeffizienten Bauweise insbesondere eine geradlinige Architektur sowie ein hoher Wohnkomfort Berücksichtigung finden. Die Wohnräume des Einfamilienwohnhauses verteilen sich auf drei Ebenen mit zwei Vollgeschossen und einem ausgebauten Dachgeschoss (siehe Abbildung 2 bis 4). Im Erdgeschoss des Gebäudes befinden sich der Wohn- und Essbereich mit Abstellräumen und der Technikzentrale. Im Obergeschoss sind Schlaf- und die Kinderzimmer sowie das Bad untergebracht. Über eine Lese- und Spielzone wird das Dachgeschoss mit großem Luftraum und Arbeitsbereich erreicht. Das Gebäude selbst verfügt über eine sehr kompakte Bauform. Das mit Photovoltaik- und Solarthermie-Modulen belegte Pultdach ist nach Süden ausgerichtet.

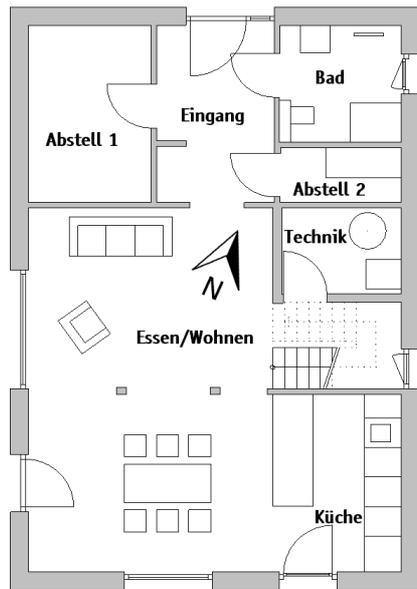


Abbildung 2: Grundriss - Erdgeschoss

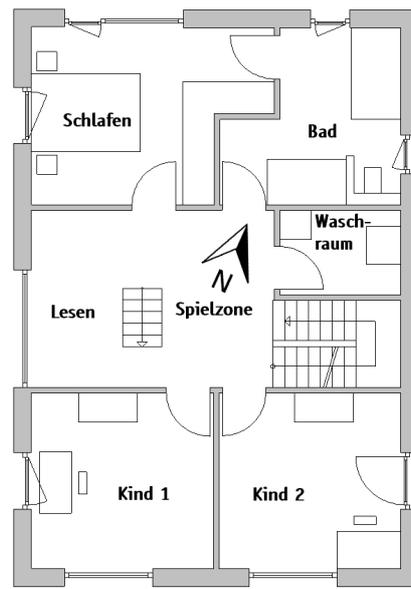


Abbildung 3: Grundriss - Obergeschoss

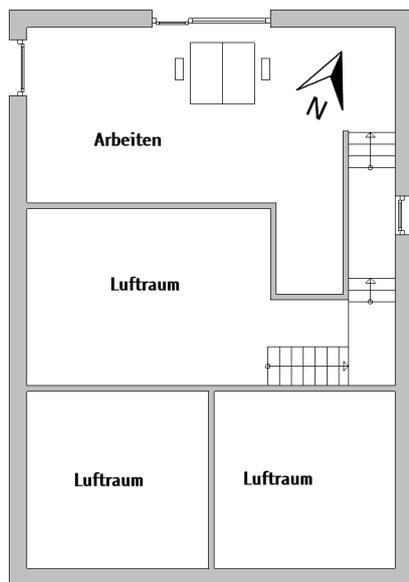


Abbildung 4: Grundriss - Dachgeschoss

3.3 Wärmeschutz

Die Außenwände sind in Holzständerbauweise ausgeführt. Zwischen den Holzständern befindet sich eine Zelluloseflockendämmung von 350 mm Dicke. Zusätzlich wurde in der Installationsebene ein 100 mm dicker mineralischer Dämmstoff angeordnet. Der U-Wert der Außenwand beträgt $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Kunststofffenster sind als Passivhausfenster mit einer Dreifachverglasung ausgeführt und erreichen einen U-Wert von $0,58$ bis $0,68 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das Dach hat eine Dachneigung von 15° und wurde mit einem Zwischensparrendämmsystem mit einer Stärke von 300 mm ausgeführt. Gleichzeitig nimmt das Dach die Unterkonstruktion für die PV-Anlage auf. Der U-Wert des Daches beträgt $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das Gebäude ist auf Streifen-

fundamenten gegründet. Die aufgeständerte Bodenplatte wurde in Holzbauweise errichtet. Die Dämmstoffstärke zwischen den Holzträgern beträgt 280 mm. Auf der Bodenplatte ist ein schwimmender Estrich mit einer Dämmschichtstärke von 100 mm angeordnet. Die gesamte Konstruktion erreicht einen U-Wert von 0,10 W/(m²K).

Tabelle 2: Daten der Bauteile

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/(m ² K)]
Außenwand (von innen nach außen)	Gipskartonplatte	12	0,08
	Mineralische Wärmedämmung WLG 035	100	
	OSB-Platte	12	
	Zelluloseflocken (WLG 040) zwischen Holzständern	350	
	Holzfaserdämmplatte	80	
	Silikonharzputz	10	
Fenster	Kunststofffenster mit Dreifachverglasung (g=0,54)	-	0,58 - 0,68
Dach (von innen nach außen)	Gipskartonplatte	12	0,09
	Mineralwolle (WLG 035)	80	
	OSB-Platte	12	
	Zelluloseflocken (WLG 040)	350	
	Holzfaserdämmplatte	22	
Bodenplatte (von oben nach unten)	Estrich	55	0,10
	Mineralwolle	30	
	Polystyrol-Partikelschaum (WLG 035)	100	
	OSB-Platte	15	
	Zelluloseflocken (WLG 040)/ KVH	280	
	Zementgebundene Spanplatte	15	

3.4 Anlagentechnik

Die Basis der Versorgung des Hauses mit Heizwärme und Warmwasser bildet eine Sole-Wasser Wärmepumpe der Firma „Dimplex“ vom Typ SI6TU, ergänzt durch eine solarthermische Anlage. Die beiden Wärmeerzeuger speisen einen gemeinsamen Pufferspeicher. Aus dem wird für die Beheizung des Hauses primär die Zuluft der Lüftungsanlage über einen Wärmetauscher erwärmt. Zusätzlich werden eine Fußboden-Flächenheizung im Bad des 1. OG sowie Radiatoren zur Raumerwärmung gespeist. Für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser an den Zapfstellen wird eine zentrale Frischwasserstation genutzt.

Die Wohnraumlüftung erfolgt zentral über eine Lüftungsanlage des Typs NOVUS (F) 300/450 der Firma „Paul Wärmerückgewinnung GmbH“ mit Kreuzstromwärmetauscher. Das Lüftungsgerät ist über einen Wärmetauscher mit der Erdsonde verbunden. Diese soll das Gerät im Winter entfrosten und im Sommer zur Vorkühlung der Frischluft eingesetzt werden.

Der Nutzwärmebedarf des Gebäudes wird zu einem Großteil mit den internen Wärmegegewinnen durch Personen und Haushaltsgeräte abgedeckt.

Die nach Süden orientierte Dachfläche ist komplett mit Photovoltaik- (Solarworld SW 240 poly) und Solarthermie-Modulen (Typ PHÖNIX Infinity 3) belegt. Rechnerisch steht von der PV-Anlage mit 48 Modulen a 240 Wp, eine Gesamtleistung von 11,5 kWp zur Verfügung. Auf einer Fläche von 80,5 m² (brutto) soll diese wechselstromseitig 9.143 kWh/a Strom erzeugen.

Ein Gebäudeautomationssystem steuert die Prozesse der einzelnen Komponenten der Anlagentechnik. Die komplette Haustechnik ist hierzu mittels BACnet/IP-System und einem lokalen Server miteinander vernetzt. Die Gebäudeautomation steuert die Beleuchtung, die Heizungsanlage, das Lüftungsgerät sowie die Motoren der Verschattungseinrichtungen. Dafür erfasst das Automationssystem Live-Messdaten verschiedener Temperaturen, relativer Luftfeuchten sowie einer Wetterstation auf dem Dach des Hauses. Weiterhin laufen die Messdaten des Monitoring in das Gebäudeautomationssystem und werden dort gespeichert.

Neben energieeffizienten Haushaltsgeräten ist die Wohnraumbeleuchtung mit moderner energiesparender LED-Technik ausgestattet.

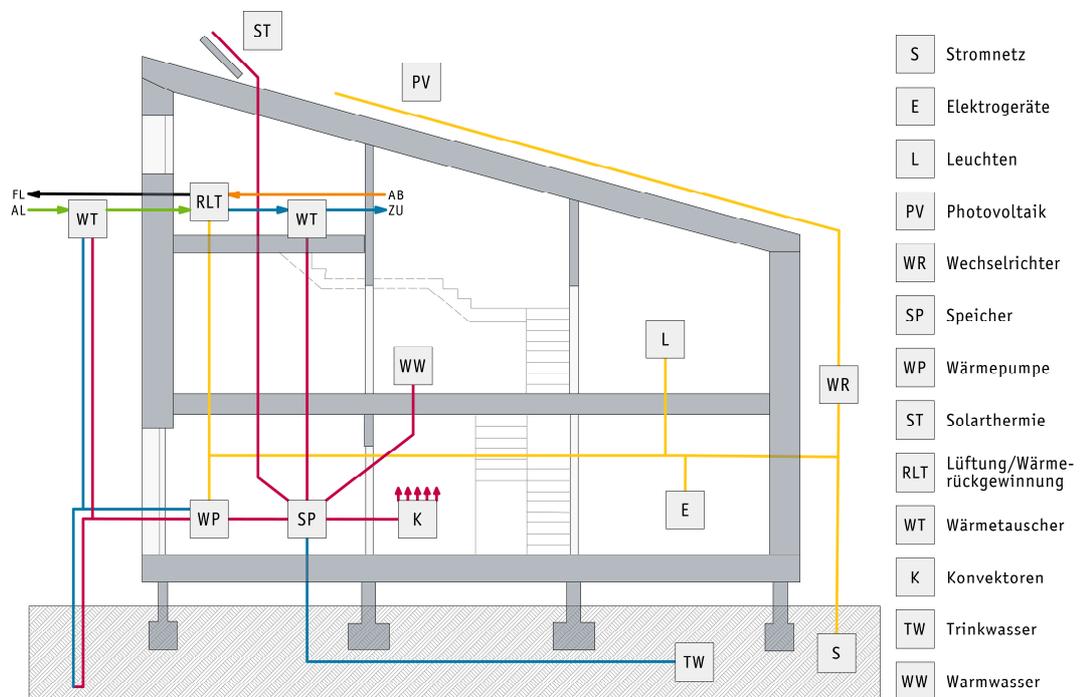


Abbildung 5: Konzept der Haustechnik

3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

In den folgenden beiden Tabellen sind die Simulationsergebnisse nach DIN V 18599 aufgeführt. Die Simulation wurde mit der Software ZUB Helena® Ultra Version 7.51 durchgeführt. Den flächenspezifischen Ergebnissen liegt die beheizte Nettogrundfläche des Gebäudes mit A = 183,3 m² zu Grunde.

Entsprechend den Simulationsergebnissen ergibt sich für das Effizienzhaus Plus ein Gesamtenergiebedarf von 6.657 kWh/a. Demgegenüber wird durch die PV-Anlage eine jährliche

Endenergiemenge von 9.143 kWh/a zur Verfügung gestellt. Das Effizienzhaus Plus generiert in der Jahresbilanz demnach rechnerisch einen Endenergieüberschuss von 2.486 kWh/a.

Tabelle 3: Energiebedarf des Effizienzhaus Plus

	Endenergie [kWh/a]	Spezifische Endenergie [kWh/(m²a)]
Endenergiebedarf Gesamt	6.657	36,3
Endenergiebedarf Heizung + Lüftung	2.809	15,3
Endenergiebedarf Trinkwarmwasser	1.348	7,4
Endenergiebedarf Beleuchtung und Haushaltsgeräte	2.500	13,6

Tabelle 4: Energiedeckung

	Endenergie [kWh/a]	Spezifische Endenergie [kWh/(m²a)]
regenerativer Strom	9.143	49,9
eigengenutzter Strom Gesamt	4.006	21,9
eigengenutzter Strom Heizung + Lüftung	1.102	6,0
eigengenutzter Strom Trinkwarmwasser	1.226	6,7
eigengenutzter Strom Beleuchtung und Haushaltsgeräte	1.678	9,2
Netzeinspeisung	5.137	28,0

3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Für eine bessere Vergleichbarkeit von Berechnungs- und Messergebnissen werden zunächst aus den Berechnungsergebnissen in Tabelle 5 verschiedene Teilabschnitte gebildet. Für den Teilabschnitt „Primärenergie Haustechnik“ liegt hierbei ein Primärenergiefaktor von 2,40 zu Grunde. Durch deren Gegenüberstellung entstehen in Tabelle 6 Aufwands- und Arbeitszahlen, die für die Bewertung der Effizienz der Haustechnik herangezogen werden können.

Tabelle 5: Spezifischer Energiebedarf des Effizienzhaus Plus

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m²a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	6.846	37,3
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	10.269	56,0
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	2.577	14,1

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m²a]
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	4.157	22,7
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergiegehalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	9.976	54,4

Tabelle 6: Aufwands- und Arbeitszahlen der Haustechnik

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe/Nutzenergie)	1,50
Effizienz der Wärme-/Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger/Erzeugerabgabe)	0,25
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik/Nutzenergie)	0,61
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie/Endenergie Haustechnik)	1,65
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe/Endenergie Erzeuger)	3,99
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik/Nutzenergie)	1,46

4 Monitoring

4.1 Messkonzept

Das Messkonzept des Monitoring (siehe Abbildung 6) beinhaltet die Erfassung der Strombilanz des gesamten Gebäudes, den Stromverbräuchen der Nutzer sowie der Anlagentechnik. Gleichzeitig wurden auch die Erzeugung und der Verbrauch entsprechender Wärmemengen aufgezeichnet. Das zweijährige Monitoring beginnt am 01.05.2015 und endet am 30.04.2017.

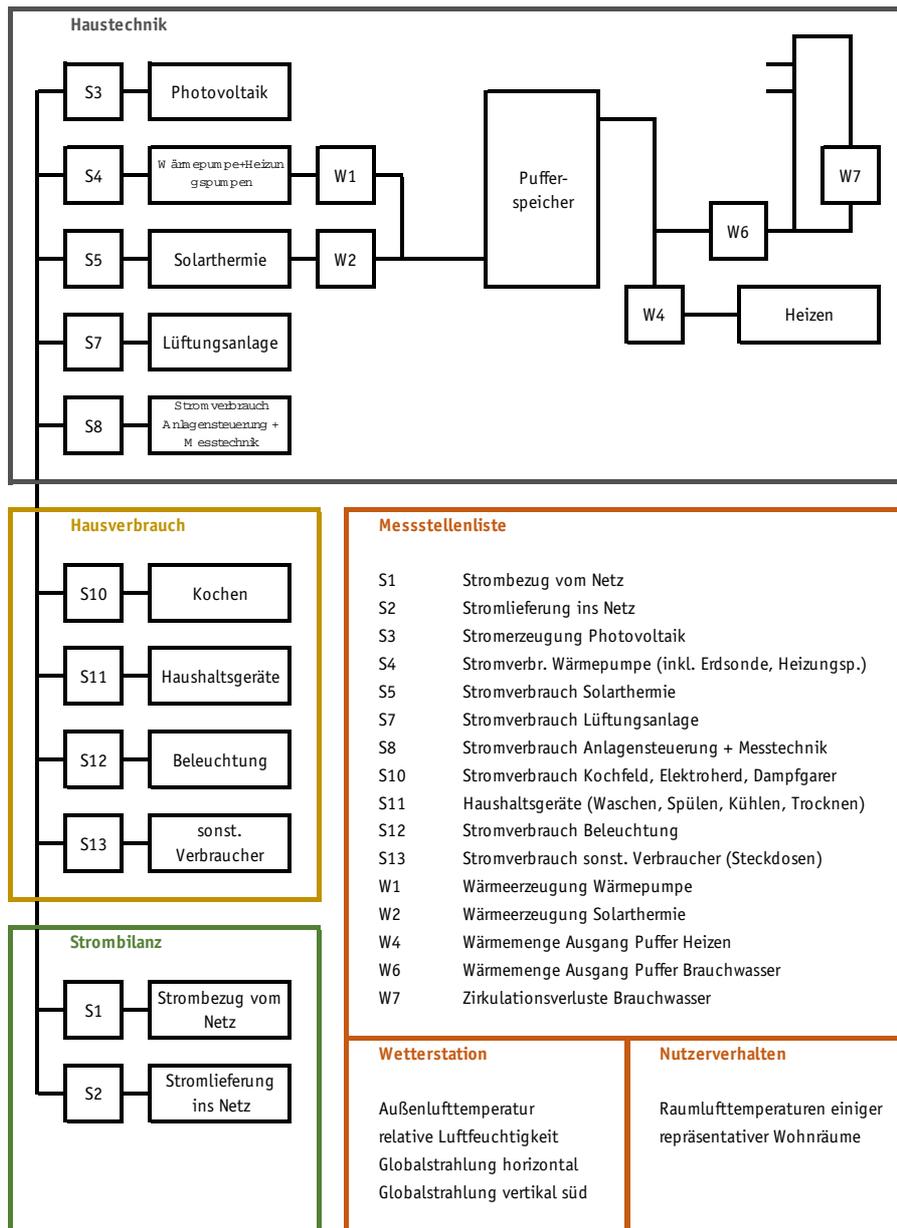


Abbildung 6: Darstellung des Messkonzeptes für die Messung von Strom und Wärmemengen

In den Räumen Wohnzimmer, Schlafzimmer, Kinderzimmer, Gästebad sowie im Büro erfolgte darüber hinaus die Erfassung der Raumlufttemperaturen. Auf dem Dach des Gebäudes befindet sich eine Wetterstation über welche die außenklimatischen Randbedingungen erfasst wurden. In der Abbildung 6 sind die verbauten Strom- und Wärmemengenzähler entsprechend ihrer Zuordnung zum Haustechnik- bzw. Anlagentechnikverbrauch, dem Hausverbrauch durch Nutzung sowie der Erfassung der Strombilanz schematisch dargestellt. Die Auswertung der erfassten Messdaten erfolgte via MS-Excel. Hierbei wurden 10-Minütige Messwerte in Stunden-, Tages- und Monatsverbräuche umgerechnet und weiterverarbeitet. Monatliche Messergebnisse können ab Seite 50 und stündliche Messergebnisse aus Anhang B: Datenträger auf Seite 55 entnommen werden.

4.2 Änderungen im Messkonzept

Zu Beginn des Monitorings wurden einige Wärmemengenzähler manuell abgelesen. Die vollständige Integration der Wärmezähler in das automatische Datenerfassungssystem erfolgte noch vor Beginn der ersten Heizperiode am 15.09.2015. Weiterhin erfolgte am 15.09.2015 die Installation eines Stromzählers zur Erfassung des Stromverbrauchs der solarthermischen Anlage. Aufgrund des geringen und kontinuierlichen Verbrauches der Solarthermie können anhand der fortwährend aufgezeichneten Stromverbräuche die Monatsverbräuche rückwirkend realistisch abgeschätzt werden.

4.3 Dokumentation

Die Datenaufzeichnung erfolgte über verschiedene Bus-Systeme bzw. Direktabfragen der einzelnen Sensoren. Die eingesetzte Software speicherte die abgefragten Messdaten in einer Datenbank auf einem lokalen Server ab. Gleichzeitig wurden täglich Messdaten vom Gebäude an die HTWK Leipzig übertragen. An der HTWK Leipzig wurden die Daten via Datenbanksystem aufbereitet und sowohl auf Messfehler als auch auf Plausibilität überprüft. Die Weiterverarbeitung und grafische Aufbereitung erfolgte via MS-Excel.

4.4 Verwendete Messtechnik

Für das Monitoring waren die in der folgenden Tabelle 7 aufgeführten Sensortypen im Einsatz:

Tabelle 7: Verbaute Sensoren

Messgröße	Sensorbezeichnung	Hersteller
Strommenge [kWh]	Saia PCD® Energiezähler ohne Approbation	SAIA BURGESS CONTROLS
Wärmemenge [kWh]	Kompaktwärmezähler Solar Splitt; Wingstar S1	WDV MOLLINÉ
Außentemperaturen [°C]	Feuchte-/Temperaturfühler mit Messumformer RAFT(H)/A	FuehlerSysteme eNET International
Relative Luftfeuchtigkeit [%RH]	Feuchte-/Temperaturfühler mit Messumformer RAFT(H)/A	FuehlerSysteme eNET International
Globalstrahlung [W/m²]	Pyranometer GSM/0	FuehlerSysteme eNET International
Volumenstrom [m³/h]	Strömungs-/Temperaturfühler für Luftstrom SF/C-U	FuehlerSysteme eNET International

4.5 Datenausfall

Während der ersten Messperiode 2015/2016 gab es wenige Datenausfälle. Diese beschränkten sich auf die ersten zwei Monate des Messjahres. Speziell für die Aufzeichnung von Strom- und Wärmemengen wurden in diesem Messkonzept die Zähler ohne Einsatz von Pulszählern direkt abgefragt und ausgelesen. Das bedeutet, dass diese Zähler auch während eines Ausfalls der Messwertaufzeichnung weiter zählten. Bei einem Neustart des Messsystems wurden dann sofort wieder korrekte Messwerte abgespeichert. Die dabei entstehenden „Datenlücken“ haben somit keinen Einfluss auf die Auswertung von Monatsdaten. Ab 02.01.2017 sind beide eingesetzte Globalstrahlungssensoren ausgefallen.

5 Meteorologische Randbedingungen

Die Aufzeichnung der klimatischen Randbedingungen erfolgte durch eine auf dem First des Gebäudes befestigte Wetterstation. Aufgezeichnet wurden Außenlufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Globalstrahlung horizontal und senkrecht-Süd (Sensor um 90° in Richtung Süden geneigt). Für die Simulationsberechnungen nach DIN V 18599 gilt für die monatliche Verteilung der Globalstrahlung Bild E.1 der DIN V 18599-10 (2016-10). Für den Standort Riedstast-Crumstadt entspricht dies der Referenzregion 12 Mannheim (Test Reference Year 12) in DIN V 18599-10 (2016-10) Tabelle E.14. In den folgenden Unterpunkten werden die gemessenen meteorologischen Randbedingungen am Standort mit den Daten des TRY 12 verglichen.

5.1 Solarstrahlung

Abbildung 7 zeigt die Monatsmittelwerte der gemessenen Globalstrahlung in W/m^2 für die horizontale und nach Süden ausgerichtete Fläche. Gleichzeitig sind die monatlichen Strahlungsdaten der TRY-Region für die horizontale Fläche dargestellt. Die TRY-Daten und die Messdaten des Monitoring zeigen in beiden Messjahren eine hohe Übereinstimmung.

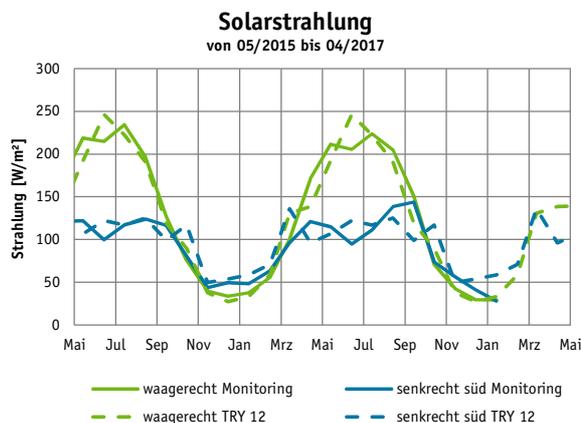


Abbildung 7: Darstellung der Globalstrahlung aus Messdaten am Standort und im langjährigen Mittel für die TRY-Region 12

Die horizontal gemessene Globaleinstrahlung am Standort Crumstadt ergibt für die sonnenreicheren Monate (April-September) Monatsmittelwerte zwischen 150 und 230 W/m^2 . In den Monaten Oktober bis März wurde eine mittlere Einstrahlung zwischen 30 und 75 W/m^2 ermittelt. Im Anhang B auf Seite 55 sind die Globalstrahlungswerte für die durch das Monitoring ermittelte horizontale Globalstrahlung am Objekt, die der Testreferenzregion 12 enthalten. Im Mittel der beiden Messjahre ergibt sich für den Standort Riedstast-Crumstadt entsprechend der Monitoringdaten eine Globalstrahlung von ca. 125,4 W/m^2 . Mit einem Globalstrahlungswert der Testreferenzregion 12 von 123,9 W/m^2 entspricht dies nahezu der durch das Monitoring ermittelten Globalstrahlung. Ab Anfang Januar 2017 sind beide Globalstrahlungssensoren ausgefallen.

5.2 Außenlufttemperaturen und relative Luftfeuchte

Die folgende Abbildung 8 zeigt die Außenlufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit im Vergleich der TRY-Region 12 mit den gemessenen Monitoringdaten. Dabei zeigen sich höhere

gemessene Temperaturen im Sommer 2015 und 2016 sowie im Winter 2015. Die relative Luftfeuchtigkeit stimmt mit kleineren Abweichungen weitgehend überein.

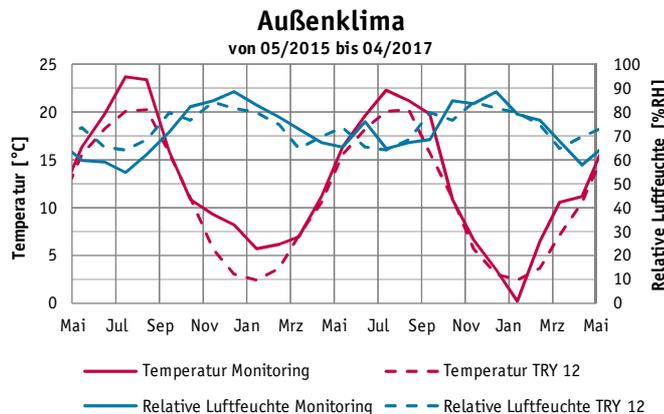


Abbildung 8: Temperatur und Luftfeuchte

Im Anhang B ab Seite 55 sind die Daten der mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen in °C und der mittleren monatlichen relativen Luftfeuchtigkeit in %RH aus der Referenzregion 12 mit den Messwerten des Monitoring gegenübergestellt. Demnach lag die am Standort gemessene Temperatur im ersten Messjahr 2,0 K und im zweiten Messjahr 1,3 K oberhalb des langjährigen Mittels.

5.3 Klimabereinigung

Auf Grundlage der gemessenen Außenlufttemperaturen wurden die Gradtagzahlen im Untersuchungszeitraum bestimmt. Als Raumtemperatur wurden dabei 20 °C und als Heizgrenztemperatur 12 °C angenommen. Bezogen auf das langjährige Mittel bzw. auf das Referenzklima wurden schließlich die verschiedenen Klimafaktoren bestimmt. Die Klimafaktoren können genutzt werden, um die gemessenen Energieverbräuche für den Heizwärmeverbrauch anzupassen und mit verschiedenen Gebäuden oder Regionen vergleichen zu können. Die in diesem Bericht aufgeführten gemessenen Daten wurden keiner Klimabereinigung unterzogen. In den Diagrammen und Tabellen dieses Berichtes sind ausschließlich Originaldaten dargestellt.

Tabelle 8: Gradtagzahlen

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Crumstadt in der Messperiode von Mai 2015 bis April 2016: $G_{1, \text{Messjahr}}$	2.243
Gradtagzahl am Standort Crumstadt in der Messperiode von Mai 2016 bis April 2017: $G_{2, \text{Messjahr}}$	2.613
Gradtagzahl des TRY-12 für den Standort Crumstadt: $G_{\text{TRY}12}$	2.848
Gradtagzahl des TRY-4 für das Referenzklima Potsdam: $G_{\text{TRY}4}$	3.415

Das Wetter während der beiden Messperioden war wärmer als am Standort im langjährigen Mittel üblich. Es ergeben sich daraus folgende Klimafaktoren:

Klimafaktoren bezogen auf den Standort:

$$\text{Im ersten Messjahr } K_{F_{\text{TRY12-1}}} = G_{\text{TRY12}} / G_{1.\text{Messjahr}} = 2.848/2.243 = 1,27$$

$$\text{Im zweiten Messjahr } K_{F_{\text{TRY12-2}}} = G_{\text{TRY12}} / G_{2.\text{Messjahr}} = 2.848/2.613 = 1,09$$

Klimafaktoren bezogen auf deutsches Normklima:

$$\text{Im ersten Messjahr } K_{F_{\text{TRY4-1}}} = G_{\text{TRY4}} / G_{1.\text{Messjahr}} = 3.415/2.243 = 1,52$$

$$\text{Im zweiten Messjahr } K_{F_{\text{TRY4-2}}} = G_{\text{TRY4}} / G_{2.\text{Messjahr}} = 3.415/2.613 = 1,31$$

6 Messergebnisse

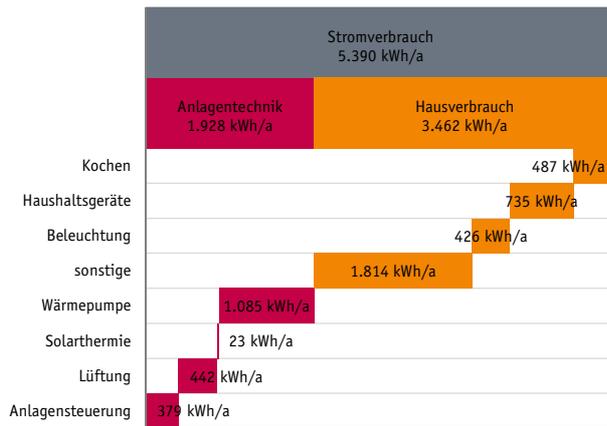
Folgend sind die Messergebnisse des Monitoring dargestellt. Die Daten zeigen, falls nicht anders angegeben, mittlere monatliche Verbrauchswerte getrennt nach beiden Messjahren. Die Messjahre stimmen dabei nicht mit den Kalenderjahren überein, wobei das erste Messjahr vom 1. Mai 2015 bis 30. April 2016 und das zweite Messjahr vom 01. Mai 2016 bis 30. April 2017 zählt. Monatliche Messwerte befinden sich in Form von Tabellen im Anhang A dieses Berichtes.

6.1 Stromverbrauch

Die folgende Übersicht in Abbildung 9 zeigt die Menge des jährlichen Gesamtstromverbrauches von 5.390 kWh/a im ersten bzw. 5.549 kWh/a im zweiten Messjahr, aufgeteilt in die Untergruppen Anlagentechnik (1.928 kWh/a bzw. 1.750 kWh/a) und Hausverbrauch (3.462 kWh/a bzw. 3.843 kWh/a). Zusätzlich dargestellt sind die einzelnen Stromverbraucher dieser beiden Untergruppen. Der Stromverbrauch für Kochen beinhaltet den Verbrauch für einen Backofen, ein Induktionsherd, einen Dampfgarer und einen Teppan (Stahlheizplatte). Unter dem Punkt Haushaltsgeräte sind die Verbräuche der Waschmaschine, des Trockners, der Spülmaschine sowie einem Kühl- und Gefrierschrank zusammengefasst. Die Verbräuche für Beleuchtung beinhalten den Stromverbrauch für die Beleuchtung und die Steuerung der Lichtanlage. Der sonstige Stromverbrauch beinhaltet alle weiteren Endgeräte und Steckdosen, die im Haushalt angeschlossen wurden. Die Stromverbräuche der Wärmepumpe und der Solarthermiepumpe beinhalten den Verbrauch für die Erzeugung von Wärme für Heizen und Warmwasser sowie den Stromverbrauch der Solepumpe, die zusätzlich in einer Vorwärmungsschaltung im Winter und durch eine Kühlfunktion im Sommer mit der Lüftungsanlage gekoppelt ist. Der Stromverbraucher Lüftung enthält den Stromverbrauch für die Ventilatoren der Lüftungsanlage. Unter dem Punkt Anlagensteuerung sind ein Flachbildschirm mit Touchfunktion in Standby-Schaltung, Anlagensteuerungselemente, ein lokaler Server und der projektspezifische Stromverbrauch für das durchgeführte Monitoring zusammengefasst. Eine separate Erfassung des projektspezifischen Anteiles (reine Messtechnik) war nicht möglich, da verschiedene Sensoren und Messdatenerfassungsgeräte, die eindeutig dem Monitoring zugeordnet werden können, direkt in die Gebäudeleittechnik integriert sind. Auch der für die Datenaufzeichnung verwendete Server übernimmt Aufgaben der Anlagensteuerung. Der allgemein geringe Stromverbrauch für Anlagensteuerung zeigt, dass der dadurch entstehende „Fehler“ voraussichtlich nur sehr gering ausfällt. Abbildung 10 zeigt die Menge des monatlichen Gesamtstromverbrauches, aufgeteilt in die Untergruppen Anlagentechnik und Hausverbrauch.

Übersicht Stromverbrauch

Im 1. Messjahr 05/2015 bis 04/2016



Übersicht Stromverbrauch

Im 2. Messjahr 05/2016 bis 04/2017

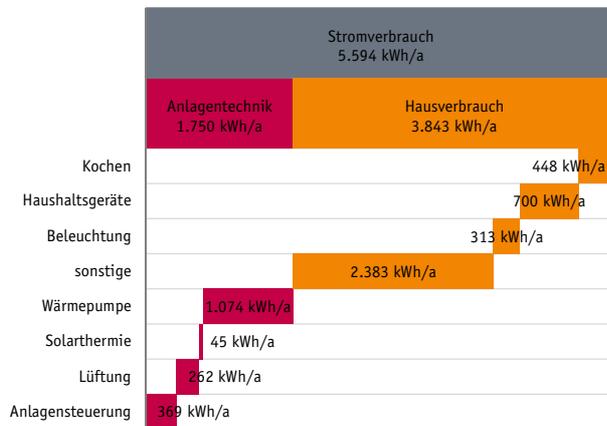


Abbildung 9: Übersicht des jährlichen Gesamtstromverbrauches, untergliedert in Anteil Anlagentechnik und Anteil Hausverbrauch

Übersicht Stromverbrauch

Im Monatsmittel

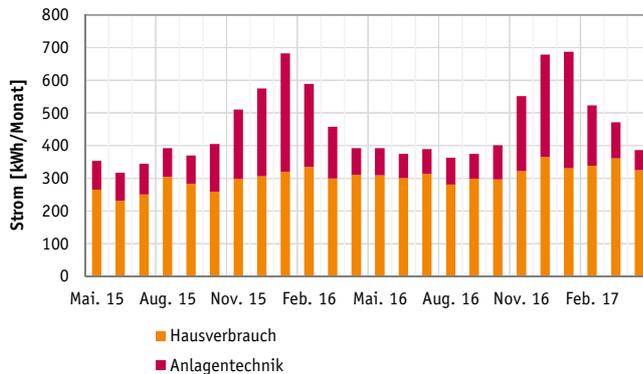


Abbildung 10: Übersicht des monatlichen Stromverbrauches für Anlagentechnik und Hausverbrauch

6.1.1 Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil (Stromverbrauch des Monitoring)

Die verschiedenen Sensoren und Messdatenerfassungsgeräte, die eindeutig dem Monitoring zugeordnet werden können, sind direkt in die Gebäudeleittechnik integriert. Auch der für die Datenaufzeichnung verwendete Server übernimmt Aufgaben der Anlagensteuerung. Die separate Erfassung eines projektspezifischen Stromverbrauches der Messtechnik war im vorliegenden Fall somit nicht möglich. Der allgemein geringe Stromverbrauch für Anlagensteuerung zeigt, dass der dadurch entstehende „Fehler“ voraussichtlich nur sehr gering ausfällt.

6.2 Strom aus Photovoltaik

Die Photovoltaikanlage des Hauses erzeugte im ersten Messjahr 12.803 kWh/a und im zweiten Messjahr 13.051 kWh/a Strom. Davon wurden 10.741 kWh/a im ersten Jahr und 10.900 kWh/a im zweiten Messjahr in das Stromnetz eingespeist. Im ersten Messjahr wurden demnach 2.062 kWh/a und im zweiten Messjahr 2.151 kWh/a selbst genutzt. Basierend auf Leistungsdaten des Eigenstromverbrauches und den Leistungsdaten der verschiedenen Stromzähler wurde der Eigenstromverbrauch nachträglich in die Untergruppen Eigenstrom für Hausverbrauch und Eigenstrom für Anlagentechnik aufgeteilt. Dabei wurde anhand von 10-minütigen Messdaten der verbrauchte Eigenstrom mit dem der Verbraucher verglichen und prozentual zugeordnet. Abbildung 11 zeigt die jährliche Stromerzeugung, den in das Netz eingespeisten Strom und den Eigenstromverbrauch im Verhältnis. Der Eigenstromverbrauch teilt sich dabei nochmals in einen Anteil für Haushalt und Anlagentechnik. Abbildung 12 zeigt den in den einzelnen Monaten erzeugten Strom, aufgeteilt in den davon selbst genutzten und den eingespeisten Anteil.

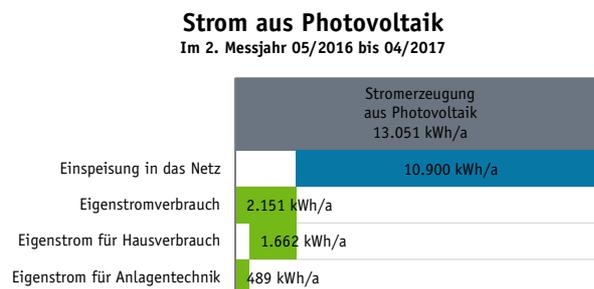
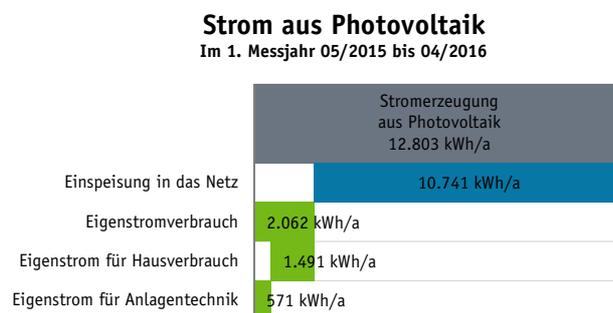


Abbildung 11: Übersicht der Jährlichen Stromerzeugung aus Photovoltaik, untergliedert in die Anteile Einspeisung und Eigenverbrauch

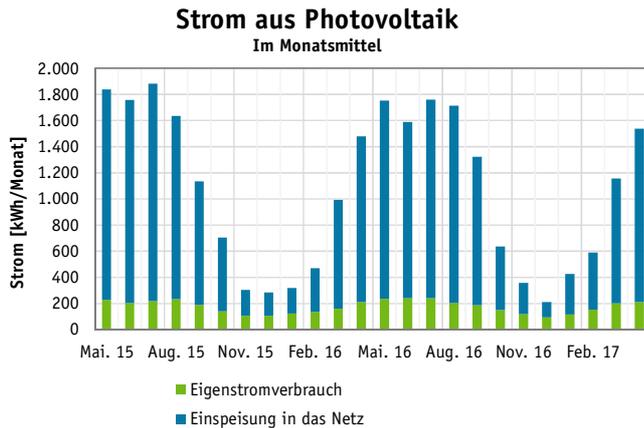


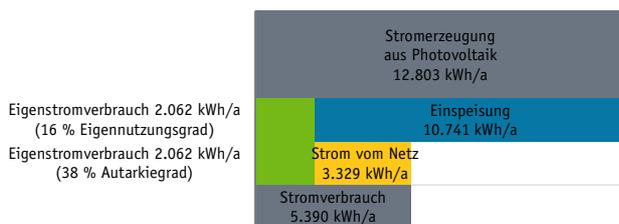
Abbildung 12: Übersicht der monatlichen Stromerzeugung, untergliedert in die Anteile Einspeisung und Eigenverbrauch

6.3 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromerzeugung

Die Photovoltaikanlage des Hauses erzeugte im ersten Messjahr 12.803 kWh/a und im zweiten Messjahr 13.051 kWh/a Strom. Davon wurden im ersten Messjahr 2.062 kWh/a und im zweiten Messjahr 2.151 kWh/a selbst genutzt. Für den Hausbetrieb und die Versorgung des Hauses mit Heizwärme, Warmwasser und Frischluft verbrauchte das Haus im gleichen Zeitraum jedoch lediglich 5.390 kWh/a Strom im ersten bzw. 5.549 kWh/a Strom im zweiten Messjahr. Bezieht man den Eigenstromverbrauch auf die insgesamt erzeugte Strommenge ergibt sich ein durchschnittlicher Eigennutzungsgrad des Photovoltaikstromes von 16,5 % im ersten und 16,1% im zweiten Messjahr. Die verbleibenden rund 84 % wurden entsprechend in das Stromnetz eingespeist. Bezogen auf den Stromverbrauch des Hauses ergibt sich ein Autarkiegrad von 38,5 % im ersten und 38,3 % im zweiten Messjahr. Damit wurden circa 62 % des erforderlichen Stromes aus dem Stromnetz bezogen. In Abbildung 13 sind die jährliche Stromerzeugung und der jährliche Stromverbrauch gegenübergestellt. Abbildung 14 zeigt die Menge des monatlichen Gesamtstromverbrauches, aufgeteilt in die Untergruppen Eigenstromverbrauch und Strombezug vom Netz.

Stromverbrauch und Stromerzeugung

Im 1. Messjahr 05/2015 bis 04/2016



Stromverbrauch und Stromerzeugung

Im 2. Messjahr 05/2016 bis 04/2017

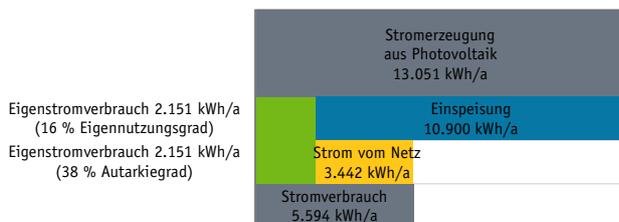


Abbildung 13: Gegenüberstellung der jährliche erzeugten und verbrauchten Strommenge

Stromverbrauch und Stromerzeugung

Im Monatsmittel

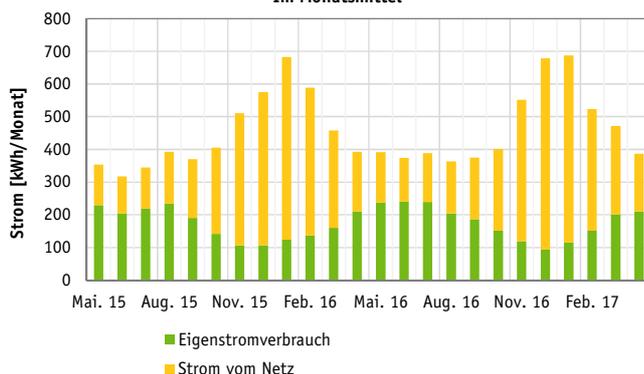


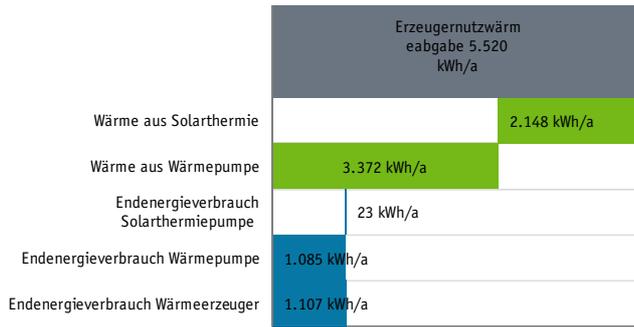
Abbildung 14: Übersicht des monatlichen Stromverbrauches , untergliedert in die Anteile Eigenstromnutzung und Bezug vom Stromnetz

6.4 Wärmeerzeugung

Die folgende Abbildung 15 zeigt die gemessene mittlere Jahreserzeugernutzwärmeabgabe, aufgeteilt nach den Erzeugern Wärmepumpe und Solarthermischer Anlage. Weiterhin zeigt Abbildung 15 den jährlich verbrauchten Strom der beiden Wärmeerzeuger. In Abbildung 16 sind die monatlichen Messwerte der Erzeugernutzwärmeabgabe in die Anteile der jeweiligen Erzeuger dargestellt. Die Wärmepumpe mit Erdwärmesonde und die Solarthermieanlage versorgen das Gebäude mit Wärme für Heizen und Warmwasser. Die beiden Wärmeerzeuger speisen einen Pufferspeicher, der wiederum ein Heizregister in der Wohnungslüftung und Konvektoren mit Wärme für die Beheizung des Gebäudes sowie die entsprechenden Zapfstellen mit Warmwasser versorgt.

Erzeugernutzwärmeabgabe

Im 1. Messjahr 05/2015 bis 04/2016



Erzeugernutzwärmeabgabe

Im 2. Messjahr 05/2016 bis 04/2017

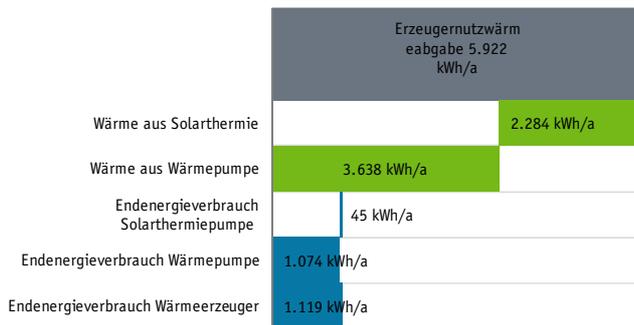


Abbildung 15: Übersicht der Jährlichen Erzeugernutzwärmeabgabe, untergliedert in die Anteile regenerativer Wärme und Endenergieverbrauch der Wärmepumpe

Erzeugernutzwärmeabgabe

Im Monatsmittel

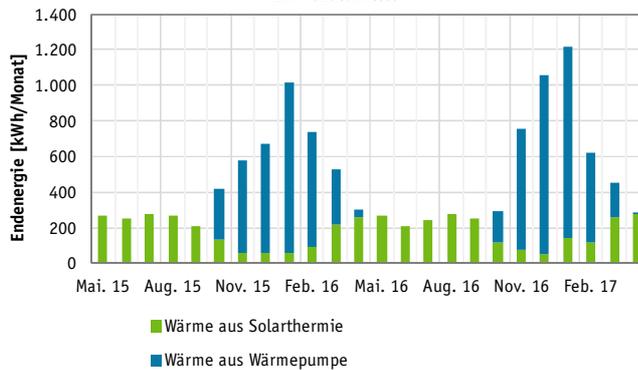


Abbildung 16: Übersicht der monatlichen Erzeugernutzwärmeabgabe, untergliedert in die Anteile regenerativer Wärme und Endenergieverbrauch der Wärmepumpe

6.5 Wärmeverbrauch

Von der durch die Wärmeerzeuger bereitgestellte Wärmemenge von 5.520 kWh/a im ersten bzw. 5.922 kWh/a im zweiten Messjahr wurden 1.996 kWh/a im ersten bzw. 2.557 kWh/a im zweiten Messjahr für die Beheizung des Gebäudes und 319 kWh/a bzw. 405 kWh/a für Warm-

wasser verbraucht. Die übrigen 3.205 kWh/a im ersten und 2.960 kWh/a im zweiten Messjahr bedingen aus Verlusten für Wärmespeicherung und Wärmeverteilung. Die Position des Pufferspeichers innerhalb der thermischen Zone bewirkt dabei eine Verringerung des Heizwärmebedarfes im Winter und eine innere Wärmequelle im Sommer, die zur Verschlechterung des sommerlichen Wärmeschutzes beiträgt. Abbildung 17 zeigt eine Übersicht aus Nutzwärmeverbrauch für Heizen und Warmwasser sowie den Verlusten aus Wärmespeicherung und Wärmeverteilung. In Abbildung 18 sind diese Daten in Form von Monatswerten aufgetragen.

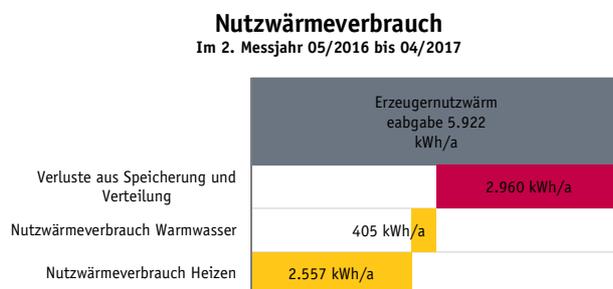
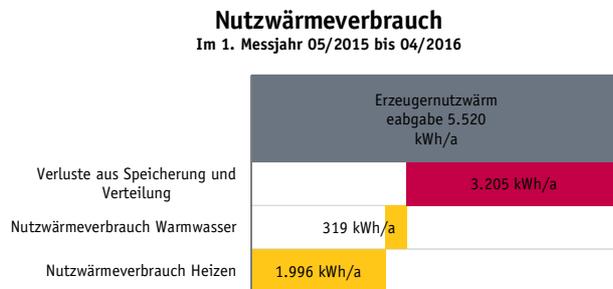


Abbildung 17: Übersicht der Jährlichen Erzeugernutzwärmeabgabe, untergliedert in die Anteile der Wärmeverluste und des Nutzwärmeverbrauches

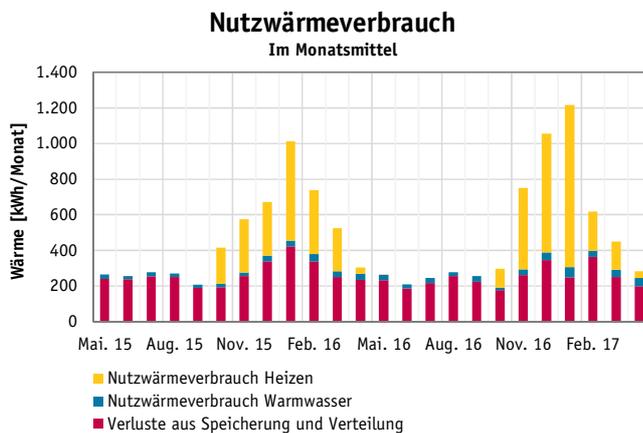


Abbildung 18: Übersicht der monatlichen Erzeugernutzwärmeabgabe, untergliedert in die Anteile der Wärmeverluste und des Nutzwärmeverbrauches

6.6 Anlagenperformance

Aus den Messdaten der verschiedenen Anlagentechnischen Komponenten werden nun entsprechende Leistungskoeffizienten, Arbeits- und Aufwandszahlen gebildet.

6.6.1 Photovoltaik

Das Gebäude verfügt über eine Photovoltaikanlage mit einer elektrischen Leistung von $P_{\max} = 11,5$ kWp. Dafür wurden insgesamt 48 Module mit je 60 Zellen mit den Abmessungen von 156 mm x 156 mm als Polykristalline Zelltypen eingebaut. Daraus ergibt sich eine Gesamtfläche der Photovoltaikzellen von $A_{PV} = 70,1$ m² (Netto). Die Bruttofläche der Photovoltaikmodule beträgt 80,5 m². Die Module sind mit einer Neigung von 15,2° nach Süden ausgerichtet. Die Einbausituation der Module wird gem. DIN V 18599-9 (7) als mäßig belüftet (auf Dach aufgesetzt) betrachtet. Der eingesetzte Wechselrichter arbeitet lt. Hersteller mit einem Wirkungsgrad $\eta_{WR} = 97,7$ %. Gemessen wurde der durch die Photovoltaikanlage erzeugte Strom (AC-seitig) auf der einen Seite und die solare Einstrahlung (horizontal und senkrecht Süd) auf der anderen Seite. Der Zellwirkungsgrad für polykristalline Zellen liegt nach (7) bei ca. $\eta_{Zelle,soll} = 15$ %. Aus den Strahlungsdaten der Wetterstation lässt sich der Wirkungsgrad der Photovoltaikzellen durch folgende Gleichung bestimmen:

$$\eta_{Zelle} = P_{PV,AC} \cdot \eta_{WR}^{-1} \cdot A_{PV}^{-1} \cdot (E_{G,\downarrow}^2 \cdot E_{G,\rightarrow}^2)^{-0,5} \cdot \cos(h - \alpha)^{-1},$$

wobei:

η_{Zelle}	Der berechnete Zellwirkungsgrad [–]
$P_{PV,AC}$	Die Leistung der Photovoltaikanlage (Wechselstromseitig) [W]
η_{WR}	Der Wirkungsgrad des Wechselrichters [–]
A_{PV}	Die Fläche der Photovoltaikzellen [m ²]
$E_{G,\downarrow}$	Die solare Einstrahlung (horizontal) [W · m ⁻²]
$E_{G,\rightarrow}$	Die solare Einstrahlung (vertikal Süd) [W · m ⁻²]
h	Die Sonnenhöhe am Standort [°](Berechnung nach (8))
α	Die Neigung der Module (Dachneigung) [°].

Der Effekt aus dem Sonnenazimut wird dabei bereits durch die nach Süden ausgerichtete Messung der solaren Einstrahlung $E_{G,\rightarrow}$ berücksichtigt. Entsprechend der beschriebenen Gleichung wurden nun tägliche Wirkungsgrade der Photovoltaikzellen berechnet. Um Berechnungsfehler (0/0) aus zu geringen Strahlungs- oder Stromdaten zu verhindern wurden stündliche Messdaten ab einer solaren Mindesteinstrahlung von 50 W/m² eingesetzt. Die generierten Daten sind in Abbildung 19 für den Zeitraum des Monitoring dargestellt. Ab 02. Januar 2017 standen keine Solardaten zur Verfügung. Entsprechend sind ab diesem Zeitpunkt keine weiteren Wirkungsgrade berechnet.

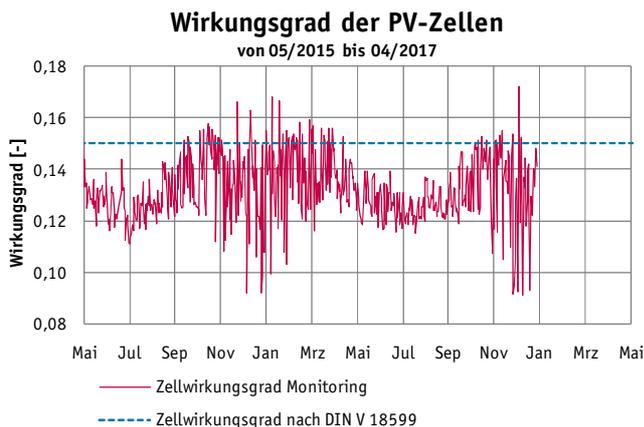


Abbildung 19: Mittlerer Tageswirkungsgrad der PV-Zellen sowie der Annahme für polykristalline Zellen nach DIN V 18599

Wie aus Abbildung 19 hervorgeht, erreichen die Photovoltaikzellen in den Wintermonaten höhere (0,13 bis 0,15) und in den Sommermonaten niedrigere (0,11 bis 0,14) Wirkungsgrade. Auch wird die Annahme nach (7) nur an sehr wenigen Tagen erreicht. Dies hängt im Wesentlichen mit der Temperaturabhängigkeit von Photovoltaikzellen zusammen. Bei den verwendeten Zellen liegt die NOCT (Normal Operating Cell Temperature) bei 46 °C. Der Leistungsabfall $TK P_{mpp}$ wird mit $-0,45 \text{ \%}/K$ in den Produktdaten angegeben. Der Temperaturverlauf der Solarzellen und damit auch deren Wirkungsgrad hängt nach (7) von der Einbausituation (belüftet oder unbelüftet) ab. Entsprechend zeigen sich in den Wintermonaten höhere Wirkungsgrade, als im Sommer. Diese Abminderung wird nach DIN V 18599-9 (7) mit einem Systemleistungsfaktor berücksichtigt. Für kristalline PV-Module in belüfteter Bauweise (auf Dach montiert) beträgt dieser Faktor 0,75. Die folgende Abbildung 20 zeigt die berechneten Systemleistungsfaktoren in Abhängigkeit der täglich erzeugten Strommenge. Dabei wurden diese Faktoren berechnet durch:

$$f_{\text{Perf}} = \eta_{\text{Zelle}} \cdot \eta_{\text{Zelle,soll}}^{-1}$$

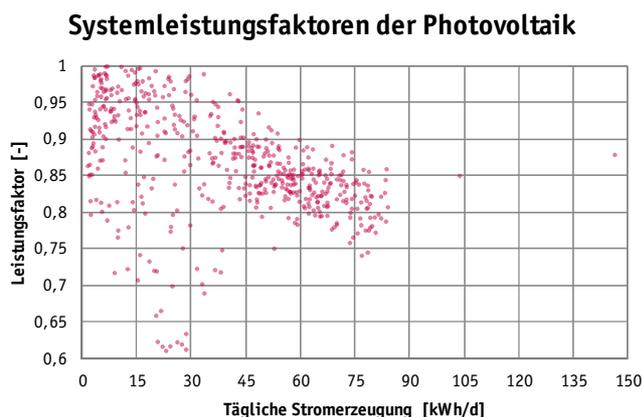


Abbildung 20: Systemleistungsfaktoren der Photovoltaik-Anlage

Gewichtet nach der täglich erzeugten Strommenge über dem Zeitraum vom 01.05.2015 bis 31.12.2016, errechnet sich ein mittlerer Systemleistungsfaktor von 0,85. Das liegt oberhalb der Annahme von 0,75. Ferner wird in den Standardwerten für Photovoltaik-Systeme nach DIN V 18599-9 (7) von einer Packungsdichte von 0,833 ausgegangen. Bei den verwendeten Modultypen liegt die tatsächliche Packungsdichte mit 0,870 (70,1m²/80,5m²) leicht darüber.

6.6.2 Solarthermie

Der effektive Wirkungsgrad der Solarthermie hängt im vorliegenden Fall unter anderem vom Temperaturniveau des Pufferspeichers, dem erforderlichen Wärmebedarf, von den Verteilungsverlusten und den solaren Randbedingungen ab. Eine Bewertung analog der PV-Module nach Punkt 6.6.1 ist damit nur bedingt möglich. Daher wird im Rahmen der Auswertung dieses Monitoring eine vereinfachte Vorgehensweise zur Bewertung der Effizienz der Solarthermieanlage anhand von Tagesmittelwerten mit folgender Gleichung angewendet.

$$\eta_{ST,eff} = P_{ST} \cdot A_{ST}^{-1} \cdot (E_{G,\downarrow} \cdot 2^{-0,5} + E_{G,\rightarrow} \cdot 2^{-0,5})^{-1}$$

wobei:

$\eta_{ST,eff}$	Der Effektive Nutzungsgrad der Solarthermieanlage [–]
P_{ST}	Die Wärmeleistung am Eingang des Pufferspeichers [W]
A_{ST}	Die Fläche der Solarthermiekollektoren [m ²]
$E_{G,\downarrow}$	Die solare Einstrahlung (horizontal) [W · m ⁻²]
$E_{G,\rightarrow}$	Die solare Einstrahlung (vertikal Süd) [W · m ⁻²]

Dabei verfügt die Anlage über insgesamt 4 Kollektoren mit einer effektiven Absorberfläche vom je 1,97 m². Alle Kollektoren sind mit einer Neigung von ca. 45 ° nach Süden ausgerichtet. Die folgende Abbildung 21 zeigt den effektiven Nutzungsgrad der gesamten Solarthermieanlage bezogen auf die solare Einstrahlung. Demnach bewegt sich der effektive Nutzungsgrad der gesamten Solarthermieanlage zwischen 10 % und 35 % der solaren Einstrahlung.

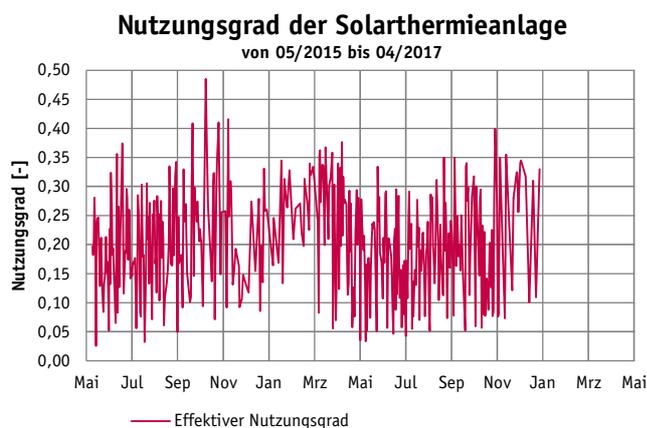


Abbildung 21: Mittlerer Tagesnutzungsgrad der Solarthermieanlage

6.6.3 Wärmepumpe

Die Effizienz der Wärmepumpe als reiner Wärmeerzeuger definiert sich über deren Arbeitszahl als Quotient aus erzeugter Erzeugernutzwärmeabgabe zur eingesetzten Endenergie. Im ersten Messjahr verbrauchte die Wärmepumpe in der Heizperiode von Oktober 2015 bis April 2016 insgesamt 1.006 kWh Strom und erzeugte dabei 3.372 kWh Wärme. Daraus ergibt sich eine Jahresarbeitszahl im ersten Messjahr von 3,35. Im zweiten Messjahr verbrauchte die Wärmepumpe in der Heizperiode von Oktober 2016 bis April 2017 insgesamt 995 kWh Strom und erzeugte dabei 3.638 kWh Wärme. Daraus ergibt sich eine Jahresarbeitszahl im zweiten Messjahr von 3,66. Über beide Jahre gerechnet ergibt sich daraus eine mittlere Jahresarbeitszahl von circa 3,5. Das liegt geringfügig unterhalb der Angaben des Herstellers von 3,6. Abbildung 22 zeigt die Arbeitszahl der Wärmepumpe als Quotient der täglich erzeugten Wärme zum Tagesstromverbrauch sowie die bestimmten Jahresarbeitszahlen und die Angaben des Herstellers.

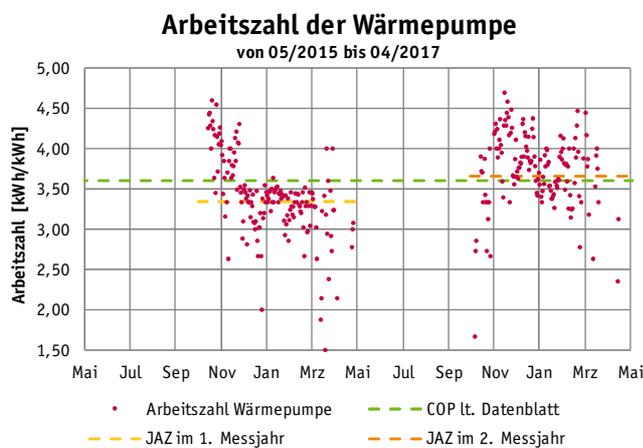


Abbildung 22: Tagesarbeitszahlen der Wärmepumpe im Untersuchungszeitraum

Unter dem Punkt Smart Grid (Intelligentes Stromnetz) wird im Bereich der Haustechnik allgemein die kommunikative Vernetzung und Steuerung von anlagentechnischen Komponenten verstanden. So würde beispielsweise im Idealfall die Wärmepumpe den Pufferspeicher in den Zeiten beladen, zu denen die Photovoltaikanlage Strom produziert. Die folgende Abbildung 23 vergleicht den Stromverbrauch der Wärmepumpe mit dem durch die Photovoltaikanlage bereitgestellten Strom über die mittleren Tageszeiten. Die Darstellung zeigt den prozentualen Anteil des Stromverbrauches/ der Stromerzeugung je Tagesstunde für den gesamten Monitoringzeitraum. Die kumulierte Summe beider Kurven ergibt dabei je 100%. Im Idealfall würden sich beide Kurven decken.

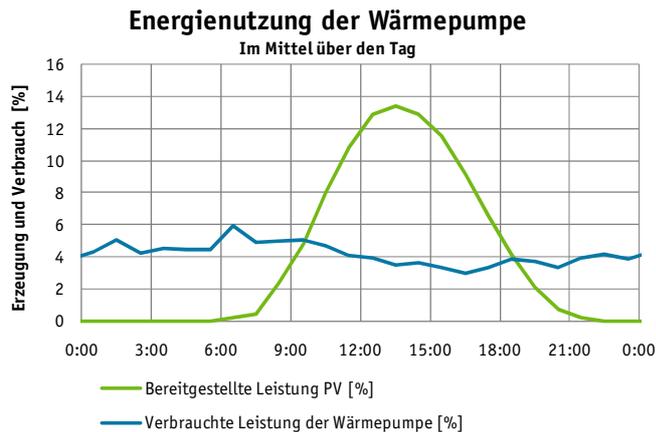


Abbildung 23: Vergleich des bereitgestellten Stromes der PV-Anlage mit dem Stromverbrauch der Wärmepumpe

Ausgehend von einem Eigenstromverbrauch des Photovoltaikstromes von < 50% in den Wintermonaten (vgl. Abbildung 12 auf Seite 23) ergeben sich im Bereich der Eigenstromnutzung für die Wärmeerzeugung weitere Optimierungspotentiale.

6.6.4 Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage

Im Anlagenkonzept wird die Lüftungsanlage neben der Realisierung einer Luftwechselrate und der Sicherstellung der Raumluftqualität auch für die Übergabe von Wärme aus dem Pufferspeicher an die Raumluft eingesetzt. Das erfolgt durch eine Nacherwärmung der Frischluft mittels Heizregister. In den Sommermonaten wurde die Lüftungsanlage zeitweise zum Kühlen genutzt. Dabei wurde die Sole zur Vorkühlung der Frischluft verwendet. Die Wärmepumpe wurde dabei nicht eingebunden. Die Lüftungsanlage wurde, bis auf ca. 5 Monate im Winter 2015/16, von den Bewohnern annähernd durchgehend genutzt (vgl. Abbildung 24).

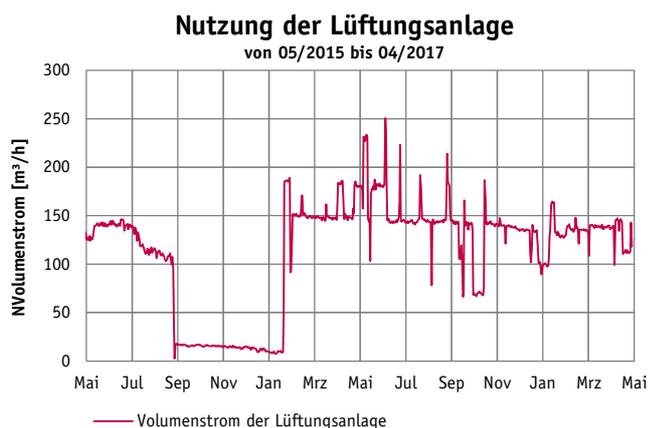


Abbildung 24: Luftvolumenstrom der Lüftungsanlage im Untersuchungszeitraum

Die im Gebäude eingesetzte Lüftungsanlage verfügt über eine Wärmerückgewinnung mittels Kreuzwärmetauscher. Die Qualität der thermischen Effizienz der Wärmerückgewinnung wird durch die Rückwärmezahl beschrieben. Im vorliegenden Fall jedoch konnten aufgrund

des fortgeschrittenen Bauzustandes keine Temperatursensoren direkt am Wärmetauscher angebracht werden. Die folgende Betrachtung bezieht sich daher auf die gesamte Lüftungsanlage inkl. Heizregister. Dabei berechnet sich die durch die Lüftungsanlage geführte Wärme durch die Gleichung:

$$Q_{RLT} = q_v \cdot \rho_l \cdot c_p \cdot \Delta t$$

wobei:

Q_{RLT}	Wärme [W]
q_v	Luftvolumenstrom [$m^3 \cdot s^{-1}$]
ρ	Dichte der feuchten Luft [$kg \cdot m^{-3}$]
c_p	spezifische Wärmekapazität der Luft [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$]
Δt	Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Zuluft [$^{\circ}C$]

Neben dem Wärmezähler am Pufferspeicherausgang wurden zusätzlich die Freigabe der Heizungspumpe (0/1-Signal) sowie die Stellung des Heizkreisventiles (0-100%-Signal) als 10-Minuten-Daten aufgezeichnet (siehe Anhang B). In Kombination mit den vom Pufferspeicher entnommenen Wärmemengen, ebenfalls als 10-Minuten-Daten, kann die Wärmeaufteilung an die Übergabestellen (Heizregister, Konvektoren+Fussbodenheizung) grob abgeschätzt werden. Aufsummiert als Monats- und Jahresdaten speist der Pufferspeicher das Heizregister im gesamten Untersuchungszeitraum mit ca. 2.310 kWh. Zieht man diese von der gesamten Wärmemenge der Lüftungsanlage ab, ergibt sich eine Wärmerückgewinnung durch die Lüftungsanlage von 7.620 kWh (ebenfalls im gesamten Untersuchungszeitraum). Abbildung 25 zeigt die dabei generierten Monatsdaten der Nutzwärme aus der Lüftungsanlage aufgeteilt in einen Anteil Wärmerückgewinnung und Wärmeeintrag durch das Heizregister. Addiert auf den gesamten Nutzwärmeverbrauch der Heizungsanlage von 4.554 kWh ergibt sich ein Wärmebedarf im Fall ohne Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage von 12.174 kWh. Davon liefert die Wärmerückgewinnungsanlage - während des Monitoring - schätzungsweise einen Anteil von > 60 % der Heizwärmebedarfes des Gebäudes.

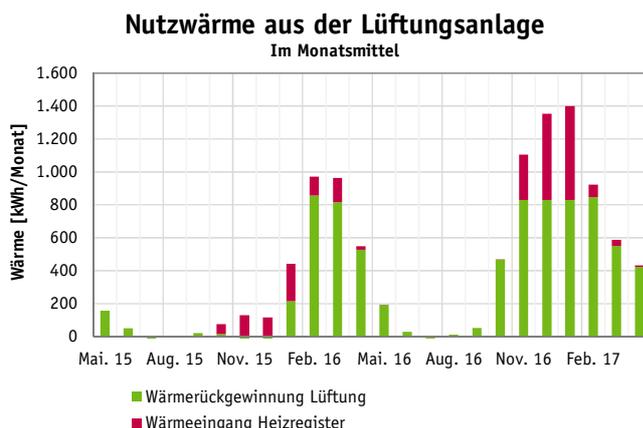


Abbildung 25: Nutzwärme aus der Lüftungsanlage

Die hier angewendete Vorgehensweise kann auch auf den Einfluss der Lüftungsanlage auf den sommerlichen Wärmeschutz anwenden. Dabei ändert sich in der oben angegebenen Gleichung lediglich die Temperaturdifferenz zu (Innentemperatur – Zulufttemperatur). Die

folgende Abbildung 26 zeigt die monatlichen Ergebnisse dieser Berechnung. Demnach liefert die Lüftungsanlage auch in den Sommermonaten zwischen 50 kWh/M und 150 kWh/M. Umgerechnet in eine sommerliche thermische Leistung beträgt das zwischen 70 W und 200 W. Dieser unerwünschte Wärmeeintrag ließe sich durch die Programmierung einer sommerlichen Abschaltung bei Außentemperatur > Innentemperatur vermeiden.

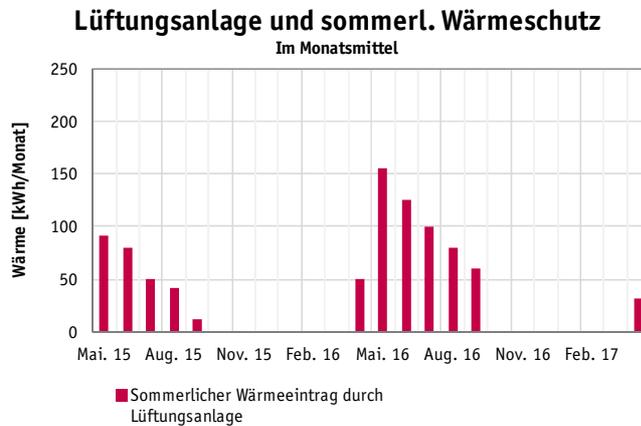


Abbildung 26: Sommerlicher Wärmeeintrag durch die Lüftungsanlage

6.7 Innenraumtemperaturen

In der folgenden Abbildung 27 sind die mittleren Wohnraumtemperaturen über den Untersuchungszeitraum im Vergleich zur Komfortraumtemperatur und dem Toleranzbereich nach DIN EN 15251 (9) gegenübergestellt. Bei den vorliegenden allgemein hohen Wärmedämmstandard und daraus resultierenden hohen Oberflächentemperaturen, wird die sogenannte operative Temperatur als arithmetischen Mittel zwischen der Raumlufthtemperatur und der Wandoberflächentemperatur mit der Raumlufthtemperatur gleichgesetzt. Dabei zeigen sich in den beiden Sommerperioden des Untersuchungszeitraumes Wohnraumtemperaturen deutlich oberhalb der Vorgaben der DIN Norm. Ferner zeigt Abbildung 28 Tagesmitteltemperaturen verschiedener Räume aufgetragen über die mittlere Außenlufttemperatur. Auch in dieser Darstellung sind die Komfortraumtemperatur und der Toleranzbereich nach DIN EN 15251 eingetragen. Dabei zeigen sich zu hohe Temperaturen bereits bei geringen Außenlufttemperaturen von < 20°C. Diese besonders hohen Temperaturen treten dabei mit einem überwiegenden Anteil im Dachgeschoss (Büro) auf. Nutzerbedingt traten im Untersuchungszeitraum auch Unterschreitungen des Toleranzbereiches nach DIN EN 15251 auf. Diese geringeren Temperaturen traten dabei vorrangig im Gästebad im EG des Gebäudes auf.

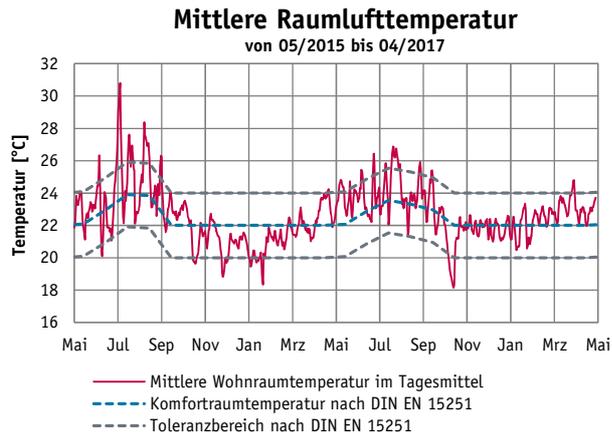


Abbildung 27: Mittlere Raumlufthtemperatur

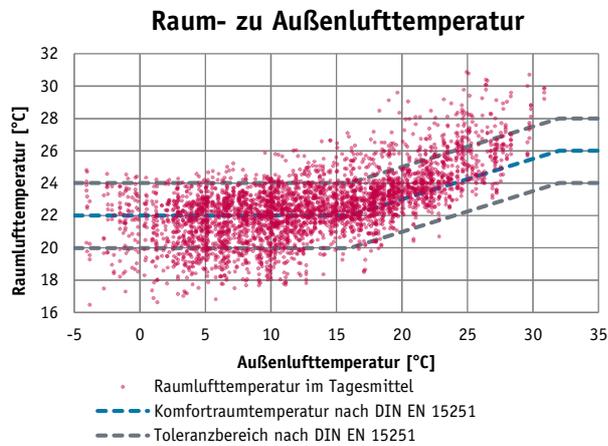


Abbildung 28: Raum zu Außenlufttemperatur im Tagesmittel

Für die Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 (10) wurden in der Darstellung in Abbildung 29 die Übertemperaturgradstunden für insgesamt fünf Räume in beiden Messjahren berechnet. Die Ergebnisse bestätigen die hohen Temperaturen in den Sommermonaten deutlich. Insbesondere die Temperaturen im Dachgeschoss (Büro) überschreiten den Grenzwert für die Bewertung des Sommerlichen Wärmeschutzes für Wohnnutzung nach DIN 4108-2 um das drei bis vierfache. Im Anhang dieses Berichtes sind die monatlichen Übertemperaturgradstunden aufgeführt. Demnach verteilen sich die Übertemperaturgradstunden in beiden Messjahren weitgehend auf die Monate Juli, August und September.

Sommerlicher Wärmeschutz

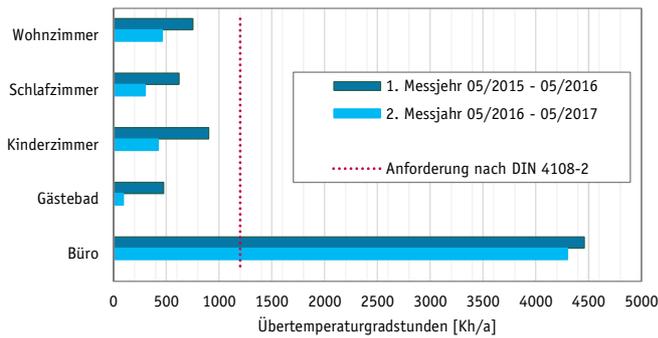


Abbildung 29: Übertemperaturgradstunden verschiedener Räume für die Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2

6.8 Vergleich von Monitoring und Simulation nach DIN V 18599

Folgend werden die im Monitoring gemessenen Daten mit Berechnungsergebnissen nach DIN V 18599“ unter Punkt 3.6 dieses Berichtes verglichen. Spezifische Ergebnisse beziehen sich dabei auf die Nettogrundfläche des Effizienzhaus Plus von 183,3 m².

6.8.1 Strom

In der folgenden Abbildung 30 sind je die kumulierten Strommengen der Erzeugung aus Photovoltaik und des genutzten Stromes gegenübergestellt. Die Graphen zeigen die monatliche Zunahme über den jeweiligen Jahreszeitraum. Zusätzlich sind die Ergebnisse der Berechnung nach DIN V 18599 eingetragen.

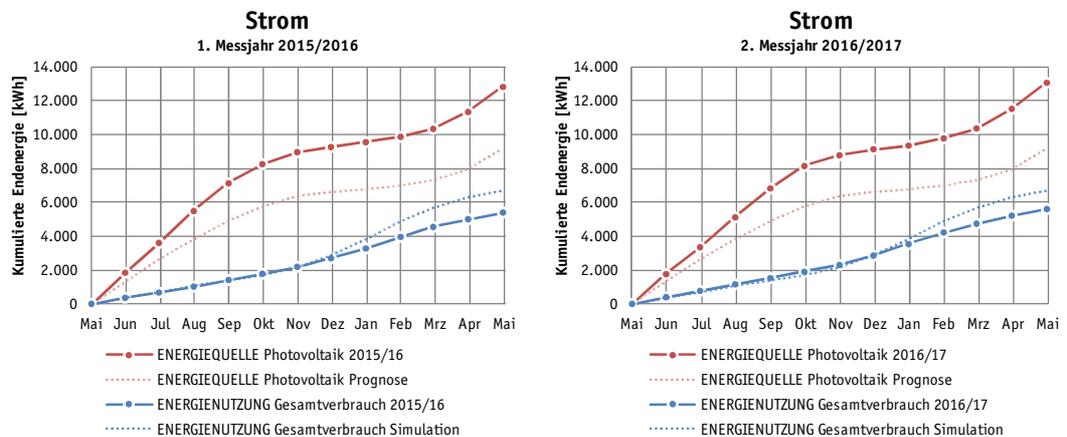


Abbildung 30: Kumulierte Energieerzeugung und Energienutzung im Vergleich mit den Berechnungen nach DIN V 18599 für beide Messjahre

Demnach hat das Gebäude in beiden Jahren insgesamt mehr Strom erzeugt, als selbst verbraucht. Gleichzeitig lieferte die Photovoltaikanlage im ersten Jahr 3.660 kWh/a und im zweiten Jahr 3.908 kWh/a mehr Strom als zuvor berechnet. Auch wurde in beiden Jahren weniger Strom im Haus verbraucht als zuvor nach DIN V 18599 berechnet. Im ersten Jahr 1.266 kWh/a und im zweiten Jahr 1.063 kWh/a. Der gemessene bilanzielle Stromüber-

schluss beträgt im ersten Jahr 7.413 kWh/a und im zweiten Jahr 7.457 kWh/a (Berechnung: 2.486 kWh/a).

6.8.2 Vergleich von Strombedarf zu Stromverbrauch

In Abbildung 31 und Tabelle 9 sind der gemessene Stromverbrauch und der berechnete Strombedarf in die drei Kategorien Gesamtstrom, Heizung/Lüftung + Trinkwarmwasser sowie Beleuchtung/Haushaltsgeräte unterteilt. Gemessen wurden tendenziell geringere Stromverbräuche gegenüber dem berechneten Strombedarf, mit Ausnahme der Beleuchtung und Haushaltsgeräte. Der Stromverbrauch für Haushaltsgeräte und Beleuchtung übersteigt die Annahmen des Effizienzhaus Plus Standard von 2.500 kWh/a in beiden Messjahren.

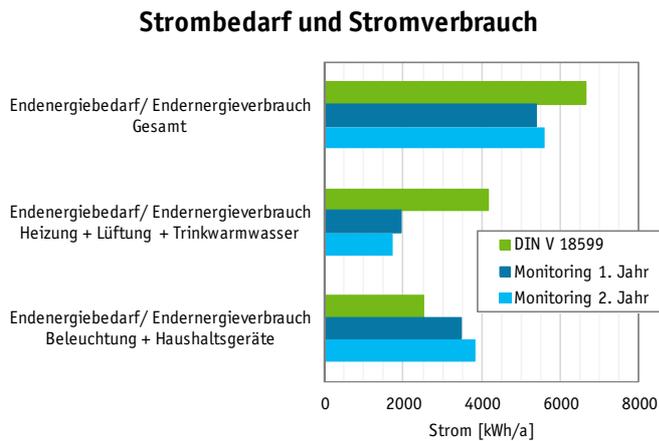


Abbildung 31: Vergleich Strombedarf und Stromverbrauch nach Verbraucherguppen

Tabelle 9: Vergleich Strombedarf und Stromverbrauch nach Verbraucherguppen

	Strom [kWh/a]		Strom spezifisch [kWh/(m²a)]	
	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr
Endenergiebedarf/ Endernergieverbrauch Gesamt	6.657	5.390 / 5.594	36,3	29,4 / 30,5
Endenergiebedarf/ Endernergieverbrauch Heizung + Lüftung	2.809	1.928 / 1.750	15,3	10,5 / 9,5
Endenergiebedarf/ Endernergieverbrauch Trinkwarmwasser	1.348		7,4	
Endenergiebedarf/ Endernergieverbrauch Beleuchtung + Haushaltsgeräte	2.500	3.462 / 3.843	13,6	18,9 / 21,0

6.8.3 Regenerativer Strom aus Photovoltaik

Abbildung 32 zeigt den durch Photovoltaik erzeugten Strom im Vergleich zur Berechnung. Im Mittel wurde in beiden Jahren mehr Strom erzeugt als zuvor berechnet. Die Eigenstromnutzung zeigt zwar für den Bereich des Hausverbrauches vergleichbare Werte, insgesamt wurde jedoch deutlich weniger Strom selbst genutzt, als zuvor berechnet. Entsprechend wurde auch deutlich mehr Strom in das Stromnetz eingespeist als zuvor kalkuliert. Tabelle 10 zeigt die Jahreswerte sowie die spezifischen Stromdaten der Photovoltaikanlage aus Abbildung 32 für beide Messjahre.

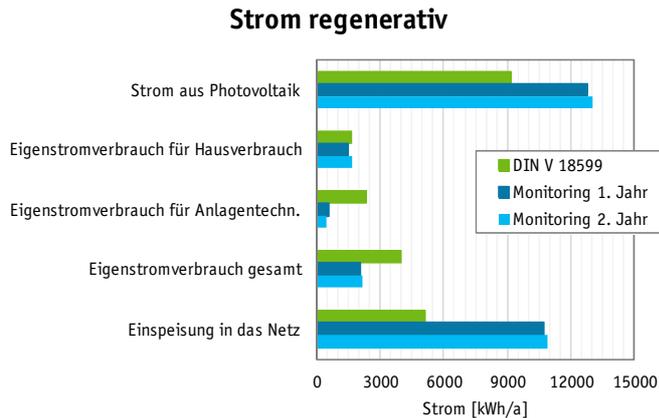


Abbildung 32: Strom und Stromnutzung aus Photovoltaik, Vergleich DIN V 18599 und Monitoring

Tabelle 10: Strom und Stromnutzung aus Photovoltaik, Vergleich DIN V 18599 und Monitoring

	Strom [kWh/a]		Strom spezifisch [kWh/(m ² a)]	
	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr
Strom aus Photovoltaik	9.143	12.803 / 13.051	49,9	69,8 / 71,2
Eigenstromverbrauch für Hausverbrauch	1.678	1.491 / 1.662	9,2	8,1 / 9,1
Eigenstromverbrauch für Anlagentechn.	2.328	571 / 489	12,7	3,1 / 2,7
Eigenstromverbrauch gesamt	4.006	2.062 / 2.151	21,9	11,2 / 11,7
Einspeisung in das Netz	5.137	10.741 / 10.900	28,0	58,6 / 59,5

6.8.4 Vergleich von Wärmebedarf und Wärmeverbrauch

Die folgende Abbildung 33 vergleicht die verschiedenen Elemente der Wärmeerzeugung und der Wärmenutzung für die Berechnung nach DIN V 18599 und den Messdaten des Monitoring. Eine getrennte Betrachtung von Trinkwarmwasser und Heizwärme war im vorliegenden Fall aufgrund der gewählten Speichertechnologie mittels Kombispeicher (für Heizung und Trinkwarmwasser) nicht möglich. Dabei berechnet sich die erforderliche Erzeugernutzenergie aus der Summe der Nutzwärme der verschiedenen Verbraucher und den verschiedenen Verlusten für Speicherung, Verteilung usw. Wie bereits unter Punkt 6.4 beschrieben teilt sich die Erzeugernutzenergie in einen regenerativen Anteil (Wärme aus

Solarthermie und Erdwärme) und den Endenergieverbrauch des Wärmeerzeugers (Stromverbrauch der Wärmepumpe). Für die Anlagensteuerung, Heizungspumpen und den Stromverbrauch der Lüftungsanlage fällt, unabhängig der beschriebenen Bilanz, ein erforderlicher Hilfsenergiestrom an. Der angeführte Vergleich zwischen Berechnung nach DIN V 18599 und den Messdaten des Monitoring liefert hier jedoch lediglich einen eher groben Überblick. Insbesondere die saubere messtechnische Erfassung von verschiedenen Wärmeverlusten oder dem exakten Nutzwärmeverbrauch an den Warmwasserzapfstellen bzw. an den Heizwärmeübergabepunkten war im Rahmen dieses Monitoring nicht möglich.

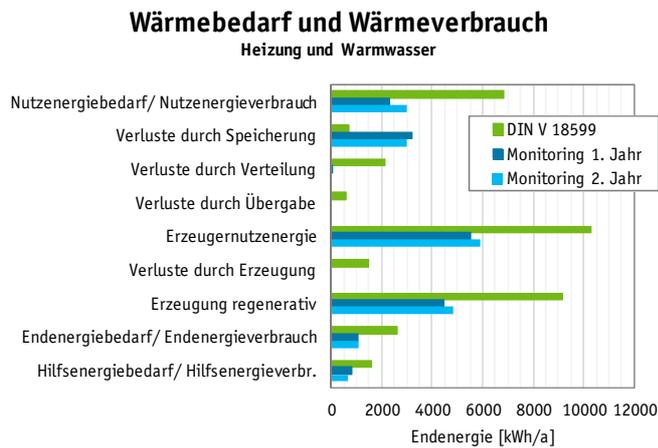


Abbildung 33: Wärmebedarf und Wärmeverbrauch für Heizen und Trinkwarmwasser, Vergleich DIN V 18599 und Monitoring

Tabelle 11: Wärmebedarf und Wärmeverbrauch für Heizen und Trinkwarmwasser, Vergleich DIN V 18599 und Monitoring

	Endenergie [kWh/a]		Spezifische Endenergie [kWh/(m²a)]	
	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr
Nutzenergiebedarf/ Nutzenergieverbrauch	6.846	2.315 / 2.962	37,3	12,6 / 16,2
Verluste durch Speicherung	681	3.190 / 2.960	3,7	17,4 / 16,1
Verluste durch Verteilung	2.151	15 / 0	11,7	0,1 / 0,0
Verluste durch Übergabe	592	0 / 0	3,2	0,0 / 0,0
Erzeugernutzenergie	10.269	5.520 / 5.922	56,0	30,1 / 32,3
Verluste durch Erzeugung	1.467	0 / 0	8,0	0,0 / 0,0
Erzeugung regenerativ	9.159	4.435 / 4.848	50,0	24,2 / 26,4
Endenergiebedarf/ Endenergieverbrauch	2.577	1.085 / 1.074	14,1	5,9 / 5,9
Hilfsenergiebedarf/ Hilfsenergieverbrauch (Lüftung, Pumpen, Solarthermie, Steuerung etc.)	1.580	844 / 676	8,6	4,6 / 3,7

6.8.5 Vergleich der Effizienz der Anlagentechnik aus der Berechnung nach DIN V 18599 und Messung

Die Bewertung der Effizienz der Anlagentechnik erfolgt durch die Betrachtung von insgesamt fünf Teilabschnitten. Diese Teilabschnitte sind Nutzenergie (Wärme), Erzeugerabgabe (Wärme), Endenergie Erzeuger (Strom), Endenergie Haustechnik (Strom) und Primärenergie Haustechnik ($f_{P,Strom} = 2,4$). Die Ergebnisse der jährlichen Endenergie und der jährlichen spezifischen Endenergie können Abbildung 34 sowie Tabelle 12 entnommen werden. Für eine Bewertung der verschiedenen Teilabschnitte der Anlagentechnik wurden dann in Abbildung 35 bzw. Tabelle 13 unterschiedliche Aufwandszahlen und Arbeitszahlen gebildet. Dabei unterscheiden die Diagramme zwischen den Berechnungsergebnissen nach DIN V 18599 und den Messergebnissen des Monitoring. Die Unterschiede zwischen den Berechnungen und den Messergebnissen resultieren aus einer Reihe von Punkten wie z.B.:

- Die tatsächlichen Wärmespeicherverluste liegen deutlich über den Annahmen der Berechnungen
- Die Solarthermieanlage erreicht einen Deckungsanteil von knapp 40 % der Gesamterzeugerabgabe (Berechnung: 12,7 % für Heizen und 31,4 % für Warmwasser)
- Die Summe aus Nutzenergieverbrauch Heizen und Warmwasser unterschreiten die Annahmen nach DIN V 18599 deutlich

Entsprechend treten bei der Bewertung der Anlagentechnik im Vergleich zwischen den Berechnungsergebnissen und den tatsächlichen Messergebnissen zum Teil größere Differenzen auf.

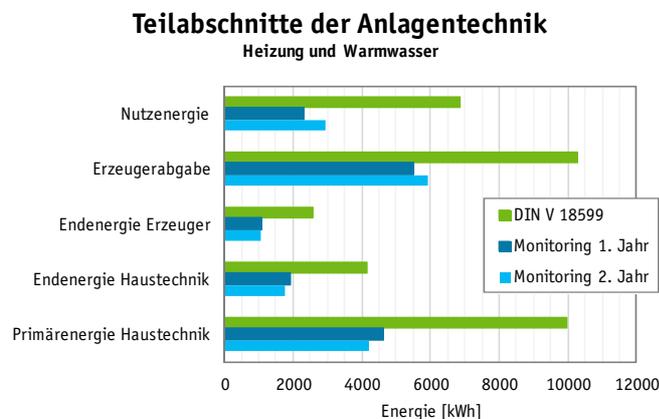


Abbildung 34: Teilabschnitte der Anlagentechnik, Vergleich zwischen Berechnung nach DIN V 18599 und Monitoring

Tabelle 12: Teilabschnitte der Anlagentechnik, Vergleich zwischen Berechnung nach DIN V 18599 und Monitoring

Teilabschnitt	Erläuterung	Endenergie [kWh/a]		Spezifische Endenergie [kWh/(m²a)]	
		DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	6.846	2.315 / 2.962	37,3	12,6 / 16,2
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	10.269	5.520 / 5.922	30,1	30,1 / 32,3
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	2.577	1.085 / 1.074	14,1	5,9 / 5,9
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	4.157	1.928 / 1.750	22,7	10,5 / 9,5
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergiegehalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	9.976	4.627 / 4.201	54,4	25,2 / 22,9

Bewertete Teilabschnitte der Anlagentechnik
Heizung und Warmwasser

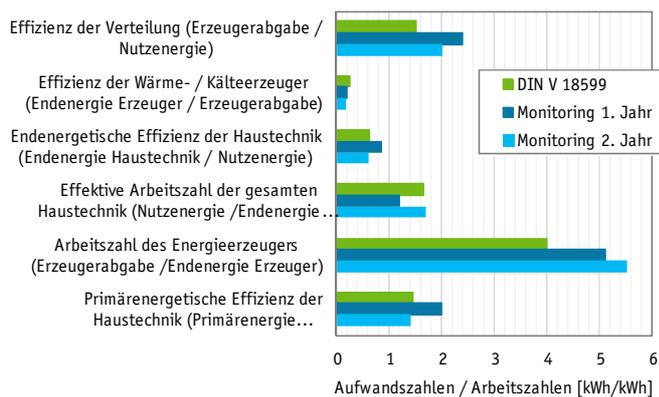


Abbildung 35: Bewertete Teilabschnitte der Anlagentechnik

Tabelle 13: Bewertete Teilabschnitte der Anlagentechnik

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]	
	DIN V 18599	Monitoring 1.Jahr/2.Jahr
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,50	2,38 / 2,00
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,25	0,20 / 0,18
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,61	0,83 / 0,59
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	1,65	1,20 / 1,69
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	3,99	5,09 / 5,51
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik/ Nutzenergie)	1,46	2,00 / 1,42

7 Kosten / Wirtschaftlichkeit

Im Folgenden wird die Wirtschaftlichkeit des Effizienzhaus Plus gegenüber einem konventionellen Gebäude entsprechend dem EnEV 2009 Standard betrachtet. Hierzu wurden die relevanten bautechnischen und anlagentechnischen Mehrinvestitionskosten (KG 300 und KG 400) dem Referenzgebäude gemäß Bilanz nach EnEV 2009 gegenübergestellt. Darüber hinaus wurden die jährlichen Betriebskosten des Effizienzhaus Plus bei unterschiedlichen Preisentwicklungen mit denen des EnEV-Standard-Gebäudes verglichen.

7.1 Baukosten und laufende Betriebskosten

Die folgende Tabelle 14 enthält Werte zu Mehr-/Minderkosten des Effizienzhaus Plus im Vergleich zum Standard nach EnEV 2009. Aus den ermittelten Kosten für das Effizienzhaus Plus wurde entsprechend des Einsparpotentials der Kostengruppen KG 300 und KG 400 die Kosten für das Gebäude nach EnEV 2009-Standard ermittelt. Das Effizienzhaus Plus ist mit einem gehobenen Standard zu bewerten. Die angegebenen Betriebskosten für Gas beziehungsweise Strom des EnEV 2009-Standards resultieren aus den Berechnungsergebnissen des Referenzgebäudes nach DIN V 18599 sowie der aktuellen Energiemarktpreise. Der Stromverbrauch eines 3-Personen-Haushalts wird mit 4.250 kWh/a angenommen. Der Gaspreis wird mit 5,1 Ct/kWh inkl. Steuern und der Strompreis mit 29,19 Ct/kWh inkl. Steuern angesetzt.

Die Baukosten (inklusive der Anlagentechnik) des Effizienzhaus Plus belaufen sich insgesamt auf ca. **420.000 €** (brutto). Würde das gleiche Gebäude im EnEV 2009-Standard errichtet, beliefen sich die Kosten voraussichtlich auf 341.250 € (brutto). Der Effizienzhaus Plus-Standard bedingt somit unter den getroffenen Annahmen eine Mehrinvestition von ca. 23 % (ca. **78.750 €** brutto) gegenüber dem Referenzgebäude.

Demgegenüber stehen dem EnEV-Standardgebäude laufende Betriebskosten in Höhe von ca. 2.390 €/a (brutto) pro Jahr für Wartung- und Instandhaltung sowie Gas- und Stromverbrauch. Für Wartung- und Instandhaltungskosten des Effizienzhaus Plus werden pro Jahr pauschal mit 200 €/a für die gesamte Gebäudetechnik veranschlagt. Diese Kosten resultieren unter anderen aus Filterwechsel der Lüftungsanlage, Wartung der Wärmepumpe und allgemeine Kosten zur Pflege der komplexen Anlagensteuerung. Ein erhöhter Stromverbrauch durch die Wärmepumpe steht stromsparenden Haushaltsgeräten und der Eigenstromnutzung aus Photovoltaik gegenüber. Daraus resultieren geringere Kosten für Strom aus dem Netz. Gleichzeitig wird der eingespeiste Strom vergütet. Im Ergebnis stehen den Mehrinvestitionskosten jährliche Kosteneinsparungen von ca. **3.170 €/a** gegenüber. Im Besonderen wirkt sich die Photovoltaik-Anlage, mit der zum Zeitpunkt der Installation vereinbarten Netzeinspeisevergütung und dem eigengenutztem Strom, positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Mehrinvestitionskosten aus.

Der gemessenen Wärmeverbrauches des Gebäudes (Heizen und Trinkwarmwasser), unter Vernachlässigung von Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverlusten, beträgt im Mittel über beide Messjahre 5.728 kWh/a Wärme (292 €/a für Gas). Laut Berechnung nach EnEV 2009 ergibt sich ein Mehr-Heizwärmebedarf, gegenüber der Ergebnisse des Monitoring, von 12.580 kWh/a Wärme (ohne Berücksichtigung von inneren Speicherverlusten). Würde man diese Wärmemenge mit einer Gastherme erzeugen, ergäben dies Jährliche Brennstoffkosten für Gas von **638 €/a**. Betrachtet man nun ausschließlich die verbesserte thermische Hülle des Effizienzhaus Plus-Standard gegenüber den EnEV-Standard, ergeben dies die jährlichen Kosteneinsparungen. Dem gegenüber stehen Mehrinvestitionskosten der thermische Hülle (KG 300) von **25.250 €** (Außenwand, Bodenplatte, Dach und Fenster).

Den Mehrinvestitionskosten aus der KG 400 von **53.500 €** stehen demnach jährliche Einsparungen der Betriebskosten von 3.170 €/a – 638 €/a = **2.532 €/a** gegenüber.

Tabelle 14: Mehr-/Minderkosten des Effizienzhaus Plus im Bezug auf EnEV Standard

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. Mwst. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Außenwand	-	10.850
Dach	-	1.850
Bodenplatte	-	2.150
Fenster	-	10.400
Heizungsanlage inkl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	11.800
Lüftungsanlage	Vorhanden	11.700
Photovoltaik	Keine	27.700
Beleuchtung	Standard	300
Geräte	Standard	2.000
Mehrinvestitionskosten	-	78.750
Energie- und Betriebskosten		
Gas	930	-
Strom	1.250	1.000
Wartung Heizung	200	200
Netzeinspeisevergütung	-	-1.990
Laufende Kosten pro Jahr	2.380	-790

Für eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit wird folgend die Barwertmethode angewendet. Abbildung 36 zeigt die Amortisation der gesamten Mehrinvestitionskosten für verschiedene Barwertverzinsungen von 0%, 1% und 2%. In Abbildung 37 sind diese Mehrinvestitionskosten wiederum in die Kostengruppen KG 300 und KG 400 unterteilt. Als Randbedingung wurden in beiden Diagrammen eine moderate Energiepreissteigerung von 1%/a für Gas und Strombezug aus dem Stromnetz angesetzt (die Netzeinspeisevergütung bleibt konstant). Demnach liegt die Amortisationszeit der gesamten Mehrinvestitionskosten bei mindestens 25 Jahren. Im ungünstigsten Fall würde sich keine Amortisationszeit der gesamten Mehrinvestitionskosten einstellen. Unterteilt in die Kostengruppen würden sich die Mehrinvestitionskosten der KG 300 bestenfalls in 35 Jahren und für die KG 400 frühestens in 22 Jahren rechnen. Bei einer höher angesetzten Barwertverzinsung läge die Amortisationszeit deutlich darüber. Ausgehend von einer Lebensdauer der Wärmepumpe und Photovoltaikanlage von ca. 20 bis 25 Jahren, bewegt sich die Wirtschaftlichkeit der Mehrinvestitionen in einem Grenzbereich.

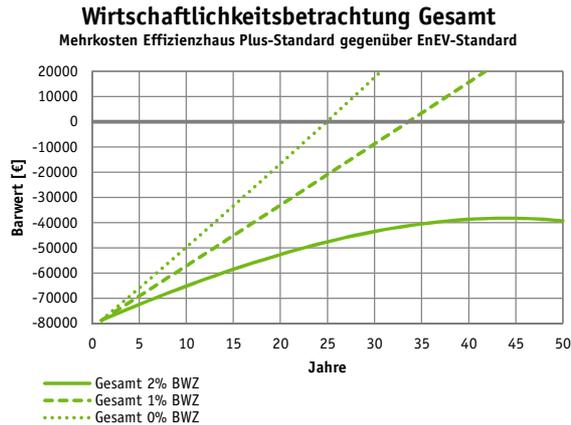


Abbildung 36: Berechnung der Amortisation (Barwertmethode) der Gesamtmehrkosten des Effizienzhaus Plus-Standard gegenüber EnEV-Standard für verschiedene jährliche Barwertverzinsungen

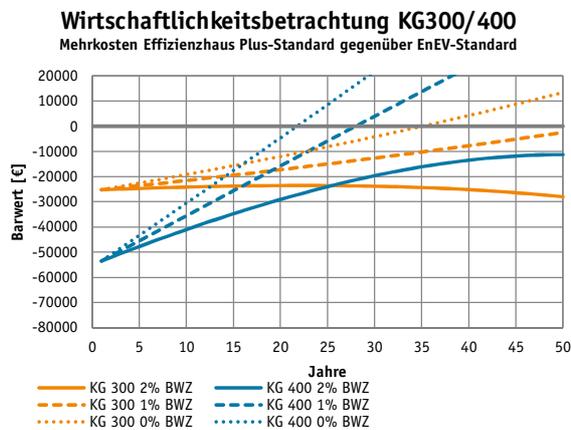


Abbildung 37: Berechnung der Amortisation (Barwertmethode) der Mehrkosten aus KG 300 und KG 400 des Effizienzhaus Plus-Standard gegenüber EnEV-Standard für verschiedene jährliche Barwertverzinsungen

7.2 Kosten Haushaltsgeräte

In der folgenden Übersicht sind die im Haus eingesetzten Haushaltsgeräte aufgeführt. Im Effizienzhaus Plus wurde eine Einbauküche mit Geräten der höchsten Effizienzklasse A⁺⁺⁺ eingebaut. Die Mehrinvestitionskosten der Haushaltsgeräte der höchsten Effizienzklasse belaufen sich auf schätzungsweise 2.000€ (vgl. Tabelle 14). Wie aus Punkt 6.2 dieses Berichtes hervorgeht, liegt der Eigenstromverbrauch der Photovoltaikanlage für Haushaltsstrom bei 43 %. Entsprechend berechnen sich die jährlichen Betriebskosten für die Haushaltsgeräte schätzungsweise zu $1.554 \text{ kWh/a} \cdot 0,57 \cdot 0,2919 \text{ €/kWh} = 259 \text{ €/a}$.

Tabelle 15: Eingesetzte Haushaltsgeräte im Effizienzhaus Plus

Gerät	Effizienzklasse	Bezeichnung	Kosten [€]	Stromverbrauch [kWh/a]
Herd	A	Siemens HB78RB571	1.800	96,7
Induktionsfeld	-	-	-	88,5

Gerät	Effizienzklasse	Bezeichnung	Kosten [€]	Stromverbrauch [kWh/a]
Dampfbackofen	A	Siemens HB36D575	800	282,0
Kühl-Gefrier-Kombination	A+++	Siemens KG49EAI40	1.000	162,0
Spülmaschine	A+++	Siemens SX56U594EU	800	332,2
Mikrowelle	-	-	-	
Gefrierschrank	A+++	Bauknecht GKN2173	630	
Wärmeschublade	-	Siemens HW1405P2	500	
Waschmaschine	A	Bosch maxx 7 ecospar	350	118,1
Wäschetrockner	A+++	Bosch WTY887W1	800	104,7
Beleuchtung	A++	LED	400	369,7
Investitionskosten			7.080	1.553,9

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

8.1.1 Strombilanz

Mit einem jährlichen Gesamtstromverbrauch von 5.390 kWh/a im ersten bzw. 5.594 kWh/a im zweiten Messjahr sowie einem Stromertrag aus Photovoltaik im ersten Messjahr von 12.803 kWh/a und im zweiten Messjahr von 13.051 kWh/a hat das Effizienzhaus Plus deutlich mehr Strom erzeugt als verbraucht (ergibt ein endenergetisches „Plus“ von 7.413 kWh/a im ersten und 7.457 kWh/a im zweiten Messjahr). Dem stehen mit 16,5 % im ersten und 16,1 % im zweiten Messjahr, geringe Eigenstromnutzungsquotienten entgegen. Der deutliche Stromüberschuss zeigt, dass das Haus die Kriterien eines Effizienzhaus Plus (negative Jahresendenergiebilanz $Q_E = -7.413 \text{ kWh/a} < 0 \text{ kWh/a}$ im ersten und $Q_E = -7.457 \text{ kWh/a} < 0 \text{ kWh/a}$ im zweiten Messjahr sowie negative Jahresprimärenergiebilanz $Q_P = -17.791 \text{ kWh/a} < 0 \text{ kWh/a}$ im ersten und $Q_P = -17.896 \text{ kWh/a} < 0 \text{ kWh/a}$ im zweiten Messjahr) auch unter realen Randbedingungen erreicht hat. Dabei ist neben dem Energieverbrauch für die Versorgung des Hauses mit Heizwärme und Warmwasser auch der Haushaltsstromverbrauch enthalten.

8.1.2 Wärmeschutz

Der gemessene Nutzwärmeverbrauch für die Beheizung des Gebäudes beträgt im ersten Messjahr $Q_{h,b} = 1.996 \text{ kWh/a}$ bzw. $10,9 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ und im zweiten Messjahr $Q_{h,b} = 2.557 \text{ kWh/a}$ bzw. $13,9 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$. Damit erfüllt das Gebäude den allgemeinen Richtwert des flächenbezogenen jährlichen Heizwärmebedarfs von $15 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ der Passivhaus-Bauweise. In den Sommermonaten beider Messjahre bewegte sich die Innenraumtemperatur im Tagesmittel beinahe durchgängig oberhalb der Außenlufttemperatur. Beim sommerlichen Wärmeschutz erfüllt das Gebäude die Anforderungen der maximal zulässigen jährlichen Übertemperaturgradstunden von 1.200 Kh/a im Dachgeschosszimmer (Büro) nicht. Mit jeweils über 4.000 Kh/a ist es hier in beiden Messjahren deutlich zu warm. Hohe Temperaturen könnten in Zusammenhang stehen mit einer geringen Speichermasse, der aufgeständerten Bauweise, der Wärmeabgabe von Anlagenkomponenten (Pufferspeicher innerhalb thermischer Hülle, Wechselrichter, Leitungsführung Solarthermie, Wärmeeintrag durch die Lüftungsanlage, Serverschrank etc.) oder unzureichender Außenverschattung.

8.1.3 Anlagentechnik

Die verschiedenen Komponenten der Anlagentechnik konnten deren Leistungsdaten im Wesentlichen bestätigen oder sogar übertreffen. So erreichte die eingesetzte Sole-Wasser-Wärmepumpe eine gemessene Jahresarbeitszahl von $JAZ = 3,5$ (im Mittel über beide Messjahre aus $3,35$ im ersten und $3,66$ im zweiten Messjahr). Das entspricht in etwa den Angaben für den Coefficient Of Performance des Wärmepumpenherstellers von $COP = 3,6$. Die Photovoltaikanlage mit einer elektrischen Gesamtleistung von $11,52 \text{ kWp}$ (48 Module Polokristallin mit je 240 Wp Leistung) würde nach den Berechnungen der DIN EN 15316-4-6 insgesamt $Q_{f, \text{prod, PV}} = 9.143 \text{ kWh/a}$ Strom erzeugen. Tatsächlich lieferte die Anlage im ersten Messjahr 12.803 kWh/a und im zweiten Messjahr von 13.051 kWh/a . Die deutlich höhere Stromerzeugung der Photovoltaik-Module (ca. 40%) resultieren aus einer Verkettung von verschiedenen Faktoren (vgl. Abschnitt 6.6.1 ab Seite 27).

8.2 Verbesserungspotentiale

8.2.1 Sommerlicher Wärmeschutz

Bei der Betrachtung des sommerlichen Wärmeschutzes könnten eine Reihe von Maßnahmen zu einer Verbesserung der gegenwärtigen Situation führen. Dabei sollten zunächst passive Maßnahmen, die ohne einen zusätzlichen Energieverbrauch bzw. ausschließlich mit Hilfsstrom betrieben werden, den aktiven Maßnahmen vorgezogen werden. Passive Maßnahmen sind bspw.:

- Umlegen der Bypassklappe im Lüftungsgerät für die Sommerperiode,
- Automatisierung der Verschattungsanlage anhand von Live-Wetterdaten,
- Programmierung der Lüftungsanlage zur temperaturgesteuerten Nachtlüftung,
- Vorkühlung der Frischluft der Lüftungsanlage mittels Entfrostsungs-Wärmetauscher

sowie aktive Maßnahmen:

- Nachkühlung der Zuluft mittels Wärmepumpe (Verschaltung als Direktwärmepumpe mit einem Bypass am Pufferspeicher) über den Wärmetauscher des Heizregisters bzw. Nachrüstung von Flächenheizungselementen,
- Nachrüstung von wassergeführten Flächenheizelementen zur sommerlichen Kühlung
- Nachrüstung eines externen Kühlaggregates.

8.2.2 Eigenstromnutzung

Im Untersuchungszeitraum wurden im ersten Messjahr 16,5 % und im zweiten 16,1 % des durch Photovoltaik erzeugten Stromes selbst verbraucht (Eigennutzungsgrad). In Bezug auf den verbrauchten Strom wurden davon 38,5 % im ersten und 38,3 % im zweiten Messjahr aus Photovoltaik genutzt (Autarkiegrad). Für eine Verbesserung der Eigenstromnutzung könnten, unter Vorbehalt der Wirtschaftlichkeit der Einzelmaßnahme:

- die Umprogrammierung der Anlagensteuerung (insbesondere die Wärmepumpe vgl. Punkt 6.6.3 ab Seite 30 dieses Berichtes) bzw. Haushaltsgeräte (bspw.: Waschmaschine, Wäschetrockner etc.) zur verbesserten Abstimmung/Freigabe durch Strom aus Photovoltaik oder
- die Nachrüstung eines Batteriespeichers dienen.

8.2.3 Wirtschaftlichkeit des Anlagenkonzeptes

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Mehrkosten des Effizienzhaus Plus-Standard gegenüber dem EnEV-Standard unter Punkt 7 ergeben im Wesentlichen ein Nullsummenspiel. Dabei wirkt sich insbesondere die hohe Netzeinspeisevergütung zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Photovoltaikanlage positiv aus. Die nun folgend aufgeführten Verbesserungspotentiale beziehen sich dabei weniger auf das konkrete Gebäude, sondern vielmehr auf zukünftige Planungen von Gebäuden im Effizienzhaus Plus-Standard. Betrachtet man am vorliegenden Objekt ausschließlich die Komponenten zur Wärmeerzeugung, bestehend

aus Wärmepumpe, Erdsonde (inkl. Bohrung), Pufferspeicher, Solarthermieanlage und Wärmeverteilsystem ergeben sich Investitionskosten i.H.v. 46.200 € brutto. Demgegenüber steht ein Nutzwärmeverbrauch des Hauses für Heizen und Warmwasser von 2.639 kWh/a Wärme. Ausgehend von einer Nutzungsdauer der Anlagentechnik von 25 Jahren ergeben sich Abschreibungskosten von 70 ct/kWh Nutzwärme. Hinzu kommen anfallende Energieträgerkosten für die Wärmepumpe und Solarthermiepumpe von überschläglich 6 ct/kWh Nutzwärme ($550 \text{ kWh/a} \cdot 0,29 \text{ ct/kWh} / 2.639 \text{ kWh/a}$). Das ergibt Gesamtkosten von circa 76 ct/kWh Nutzwärme. Vor dem Hintergrund der aktuellen Strompreise von ca. 29 ct/kWh stellt sich die Frage, ob das gewählte Anlagenkonzept tatsächlich zum Energieverbrauch des Hauses passt. Die Anlage zur Wärmeherzeugung hätte im vorliegenden Fall auch mithilfe einer preisgünstigeren Luftwärmepumpe mit einem Kombispeicher, im ganzjährigen Betrieb für Heizen und Warmwassererwärmung, ausgestattet werden können. Selbst ein vollelektrisches System mit Durchlauferhitzer für die Warmwassererwärmung und elektrischer Widerstandsheizung oder ein Festbrennstoffkessel könnten sich, gegenüber der gewählten Variante, als wirtschaftlich positiver darstellen.

9 Quellen

- (1) Europäisches Parlament und des Rat der Europäischen Union. Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), deutsche Fassung. Amtsblatt der Europäischen Union, L153/13, 18.05.2010.
- (2) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014). Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz – Mehr aus Energie machen, Ein gutes Stück Arbeit. Berlin, 12.2014.
- (3) Antje Bergmann, Hans Erhorn, Irmgard Haug (2015). Effizienzhaus-Plus, Crumstadt: Erweiterter Steckbrief. <http://www.forschungsinitiative.de>, Stand 09.2015.
- (4) ZUB Systems GmbH (2016). ZUB Helena® Ultra v7.41. Energieberechnung nach den Randbedingungen „Effizienzhaus Plus“ vom 29.06.2016: Projekt: Effizienzhaus Plus.
- (5) DIN V 18599 (2011). Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- (6) DIN 4710 (2003). Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs von heiz- und raumluftechnischen Anlagen in Deutschland.
- (7) DIN V 18599-9 (2016). Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen; Tabelle B.2
- (8) Fülle, Claudia (2011). Klimarandbedingungen in der hygrothermischen Bauteilsimulation. Ein Beitrag zur Modellierung von kurzweiliger und langweiliger Strahlung sowie Schlagregen. Dissertation.
- (9) DIN EN 15251 (2012). Eingangparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik.
- (10) DIN 4108-2 (2013). Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.

Anhang A: Monatsdaten

Tabelle 16: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von Mai 2015 bis April 2016

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Zirkulationspumpe	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Mai 15	123,6	1839,1	1609,6	229,5	60,8	0	27,4	26,8	98,4	139,7	353,1
Jun 15	113,5	1758,6	1554,8	203,8	57,2	0	28,8	26,7	83,1	121,5	317,3
Jul 15	126,1	1880,2	1661,7	218,5	61	0	32,8	27,4	92,1	131,3	344,6
Aug 15	158,3	1634,8	1400,7	234,1	55	0	33,4	27,4	103,1	173,5	392,4
Sep 15	179,7	1134,2	943,9	190,3	62,8	0	24,1	35,2	105,6	142,3	370
Okt 15	263,7	705,3	564	141,3	121,7	0	25	38,8	83,9	135,6	405
Nov 15	403,9	303,6	197,2	106,4	179,4	0	32,2	47,4	96,7	154,6	510,3
Dez 15	469	285,7	179,3	106,4	234,2	0	35,3	44,4	108,1	153,4	575,4
Jan 16	558,6	319,1	194,9	124,2	321,1	0	41,3	46,9	101,8	171,7	682,8
Feb 16	452,7	470,6	334,4	136,2	215,6	0	38,6	47,2	134,2	153,3	588,9
Mrz 16	296,8	992,3	831,5	160,8	124,2	0	33,7	33,8	94,1	171,8	457,6
Apr 16	182,6	1479,7	1269,4	210,3	55,9	0	26,6	24,2	120,6	165,6	392,9
Summe	3328,5	12803,2	10741,4	2061,8	1548,9	0	379,2	426,2	1221,7	1814,3	5390,3

Tabelle 17: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von Mai 2016 bis April 2017

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Zirkulationspumpe	Hilfsenergie	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	sonstiges	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Mai 16	154,8	1753,5	1516,3	237,2	54	0	29	20	82,4	191	392
Jun 16	133,4	1588,9	1348,3	240,6	44,6	0	29	17,3	75,4	190	374
Jul 16	149,2	1759,3	1519,8	239,5	43,7	0	31,2	20,1	86,6	192,4	388,7
Aug 16	159,9	1711,6	1508	203,6	46,4	0	35,4	21,4	68,9	180,8	363,5
Sep 16	188,2	1321,8	1134,6	187,2	41,9	0	34,6	25,7	89,2	175,4	375,4
Okt 16	250,3	635	483,9	151,1	79,4	0	25,1	26,7	72,3	191,9	401,4
Nov 16	431,8	357,3	237,7	119,6	190,9	0	38,4	29,4	76,3	204,5	551,4
Dez 16	584	212,6	118,5	94,1	277,7	0	35,6	33,7	96,7	220,3	678,1
Jan 17	572,6	427,4	312,4	115	321,2	0	35,4	28,2	81,4	212,3	687,6
Feb 17	371,2	589,3	437,7	151,6	156,6	0	27,7	29,4	92	207,5	522,8
Mrz 17	270,7	1155,4	954,1	201,3	84,1	0	26,5	31,9	94,7	224,1	472
Apr 17	176,2	1538,9	1328,4	210,5	40,8	0	21,1	28,8	96,4	193	386,7
Summe	3442,3	13051	10899,7	2151,3	1381,3	0	369	312,6	1012,3	2383,2	5593,6

Tabelle 18: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser von Mai 2015 bis April 2017

Monat	Heizung + TWW + Lüftung +Kühlung			Monat	Heizung + TWW + Lüftung +Kühlung		
	Wärmepumpe	Solarthermie	Lüftung		Wärmepumpe	Solarthermie	Lüftung
	[kWh]	[kWh]	[kWh]		[kWh]	[kWh]	[kWh]
Mai 15	15,7	-	45,1	Mai 16	16,5	5,2	32,3
Jun 15	14,9	-	42,3	Jun 16	15	4,3	25,3
Jul 15	15,5	-	45,5	Jul 16	16,2	5	22,5
Aug 15	15,4	-	39,6	Aug 16	16,1	5,1	25,2
Sep 15	17,4	5,2	40,2	Sep 16	15,5	4,7	21,7
Okt 15	74,2	2,8	44,7	Okt 16	58,2	2,6	18,6
Nov 15	136,1	1,4	41,9	Nov 16	167,2	1,6	22,1
Dez 15	189,6	1,5	43,1	Dez 16	258,2	1,3	18,2
Jan 16	280,7	1,3	39,1	Jan 17	299,1	2,7	19,4
Feb 16	196	1,8	17,8	Feb 17	134,9	2,9	18,8
Mrz 16	101,4	3,9	18,9	Mrz 17	58,4	4,8	20,9
Apr 16	27,7	4,9	23,3	Apr 17	18,6	4,9	17,3
Summe	1084,6	22,8	441,5	Summe	1073,9	45,1	262,3

Tabelle 19: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen vom Mai 2015 bis April 2016

Monat	Wohnzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer 1	Gästebad	Büro
	°C	°C	°C	°C	°C
Mai 15	22,85	22,30	22,15	22,36	24,70
Jun 15	23,14	22,21	22,85	23,51	23,74
Jul 15	24,92	25,00	25,17	24,89	26,57
Aug 15	24,67	24,55	24,58	24,50	27,00
Sep 15	23,40	22,63	22,43	22,18	24,30
Okt 15	21,88	21,56	21,15	20,05	23,24
Nov 15	21,65	21,46	20,62	19,45	22,52
Dez 15	21,70	21,14	20,28	19,22	22,27
Jan 16	20,68	20,43	19,70	18,12	22,00
Feb 16	22,19	21,60	20,78	19,70	22,42
Mrz 16	22,33	22,09	21,82	19,36	23,32
Apr 16	23,44	23,05	23,12	20,86	24,46
Mittelwert Heizperiode*	21,98	21,62	21,07	19,54	22,89

* Heizperiode von Oktober 2015 bis April 2016

Tabelle 20: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen vom Mai 2016 bis April 2017

Monat	Wohnzimmer	Schlafzimmer	Kinderzimmer 1	Gästebad	Büro
	°C	°C	°C	°C	°C
Mai 16	23,38	23,58	23,01	22,35	26,15
Jun 16	23,43	22,95	23,22	23,20	25,96
Jul 16	24,66	24,23	24,40	24,47	26,53
Aug 16	23,59	23,66	23,78	23,54	24,21
Sep 16	22,86	23,27	23,28	22,78	24,25
Okt 16	21,53	20,98	20,52	20,03	20,89
Nov 16	22,41	22,29	21,47	20,71	22,92
Dez 16	22,18	22,35	21,21	19,57	23,23
Jan 17	22,05	22,10	21,38	19,45	23,41
Feb 17	23,03	22,66	22,41	20,81	23,56
Mrz 17	23,97	22,94	22,90	22,36	24,26
Apr 17	23,31	22,87	22,65	22,36	22,77
Mittelwert Heizperiode	22,64	22,31	21,79	20,76	23,01

* Heizperiode von Oktober 2016 bis April 2017

Anhang B: Datenträger

Inhalt:

Abschlussbericht im PDF-Format

Messdaten Monitoring Effizienzhaus Plus für den Zeitraum vom 01.05.2015 bis 30.04.2017 Berechnungsausgabe nach DIN V 18599

Bauzeichnungen

Datenblätter zur Anlagentechnik, Messtechnik und Haushaltsgeräten

