

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 29

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus

in Lüneburg

Forschungsprogramm

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

Messperiode

August 2013 bis Juli 2015

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-12.7

im Auftrag

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

bearbeitet von

Prof. Dr. Anthimos Georgiadis
Leif Carstens B.Sc.
Leuphana Universität Lüneburg
Institut für Produkt- und Prozessinnovation



LEUPHANA
UNIVERSITÄT LÜNEBURG

MESSTECHNISCHE UND ENERGETISCHE VALIDIERUNG DES EFFIZIENZHAUS⁺ LÜNEBURG

Endbericht

Messperiode August 2013 bis Dezember 2015

47 Seiten

23 Abbildungen

7 Tabellen

Prof. Dr. Anthimos Georgiadis

Leif Carstens B.Sc.

Lüneburg, 31. Dezember 2015

AUFTRAGGEBER:

Bauherr
21335 Lüneburg

AUTOREN:

Prof. Dr. Anthimos Georgiadis, Leif Carstens B.Sc.

ANSPRECHPARTNER:

Prof. Dr. Anthimos Georgiadis

Adresse: **Leuphana Universität Lüneburg**
Institut für Produkt- und Prozessinnovation
Volgershall 1, VA.104
21339 Lüneburg
Telefon: +49 4131 677-5430
E-Mail: Georgiadis@uni.leuphana.de

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	IV
TABELLENVERZEICHNIS.....	IV
1. KURZFASSUNG	1
2. KONTEXT UND ZIELSETZUNG	1
3. GEBÄUDESTECKBRIEF.....	2
3.1. ALLGEMEINE DATEN	2
3.2. ARCHITEKTUR.....	3
3.3. WÄRMESCHUTZ	5
3.4. ANLAGENTECHNIK.....	7
3.5. BEWERTUNG DER EFFIZIENZ AUS BERECHNUNGEN NACH DIN V 18599.....	11
4. MONITORING.....	15
4.1. MESSKONZEPT	15
4.2. VERWENDETE MESSTECHNIK.....	17
4.3. DOKUMENTATION	17
5. METEOROLOGISCHE RANDBEDINGUNGEN.....	18
5.1. SOLARSTRAHLUNG	18
5.2. AUßENLUFTTEMPERATUREN	20
5.3. KLIMABEREINIGUNG.....	21
6. MESSERGEBNISSE.....	23
6.1. STROMVERBRAUCH.....	23
6.2. STROMVERBRAUCH FÜR DEN HAUSBETRIEB	24
6.3. STROMVERBRAUCH FÜR PROJEKTSPEZIFISCHEN ANTEIL.....	27

6.4. STROMVERBRAUCH FÜR ELEKTROMOBILITÄT.....	27
6.5. GEGENÜBERSTELLUNG VON STROMVERBRAUCH UND STROMGEWINNUNG.....	28
6.6. EIGENSTROMNUTZUNG	28
6.7. WÄRMEERZEUGER	30
6.8. LÜFTUNGSANLAGE	32
6.9. BILANZ DER END- UND PRIMÄRENERGIE	33
6.10. INNENRAUMTEMPERATUREN SOMMER.....	34
6.11. INNENRAUMTEMPERATUREN WINTER.....	35
7. KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT.....	35
8. BEWERTUNG	38
8.1. ENERGIEEFFIZIENZ DES MODELLGEBÄUDES	38
8.2. VERBESSERUNGSPOTENZIALE	39
LITERATURVERZEICHNIS	41
ANHANG A	42
ANHANG B	43

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BMUB	Bundeministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
csv	Dateiformat - (Comma-separated values)
DF	Dünformat (240 x 115 x 52 mm)
EnEV	Energieeinsparverordnung
GTZ	Gradtagszahl
Kd	Wärmesumme in Kelvin * Tag
kWh/a	Kilowattstunde pro Jahr
kW _p	Kilowatt Peak - Spitzenleistung
LAN	lokales Netzwerk (Local Area Network)
LED	Leuchtdiode (light-emitting diode)
NBauO	Niedersächsische Bauordnung
NAS	Network Attachment System
OSB	Grobspanplatten (oriented strand board)
PV	Photovoltaik
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
Sp	Spalte
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
U _G -Wert	Wärmedurchgangskoeffizient der Fensterscheibe (glas)
U _w -Wert	Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters (window)
W/m ²	Watt pro Quadratmeter
W/m ² K	Watt pro Quadratmeter und Kelvin ¹

¹ Am 17. Dezember 2013 wurde das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) umbenannt.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Ansicht des Effizienzhaus ⁺ Lüneburg	3
Abbildung 2: Erdgeschoss-Grundriss	4
Abbildung 3: Obergeschoss-Grundriss	4
Abbildung 4: Anlagenschema	8
Abbildung 5: Passive Kühlung der Photovoltaik-Anlage und passive Nutzung der Solarstrahlung	11
Abbildung 6: Messkonzept	15
Abbildung 7: Verbrauchergruppen	16
Abbildung 8: Nach EnEV prognostizierte und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der Photovoltaikanlage	19
Abbildung 9: Außenlufttemperatur des Messzeitraums im Vergleich	20
Abbildung 10: Gradtagszahlen GTZ20/15	21
Abbildung 11: Gesamtenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen	23
Abbildung 12: Anteiliger Energieverbrauch der Verbrauchergruppen	24
Abbildung 13: Energieverbrauch für den Bereich Haushalt	25
Abbildung 14: Energieverbrauch für den Bereich Beleuchtung	26
Abbildung 15: Energieverbrauch für den Bereich Monitoring	27
Abbildung 16: Gegenüberstellung von PV-Ertrag und Gesamtverbrauch	28
Abbildung 17: PV-Ertrag und anteiliger Energieverbrauch	29
Abbildung 18: Außenlufttemperaturen und Energieverbrauch für den Bereich Heizungen	30
Abbildung 19: Energieverbrauch für den Bereich Warmwasser	31
Abbildung 20: Energieverbrauch für den Bereich Hilfsenergie	32
Abbildung 21: End- und Primärenergiebedarf	33
Abbildung 22: Innenraumtemperatur im Sommer 2014	34
Abbildung 23: Innenraumtemperatur im Winter 2014/15	35

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Allgemeine Daten des Effizienzhaus+ Lüneburg	2
Tabelle 2: Zusammenstellung / Nachweisführung "Effizienzhaus Plus Lüneburg", End-Planungstand und ausgeführtes Bauwerk vom 17.04.2013	14
Tabelle 3: Gradtagszahlen im Vergleich zum langjährigen Mittel nach GTZ20/15 und GTZ20/10	22
Tabelle 4: Mehrinvestitionskosten	36
Tabelle 5: Vergleich zwischen Prognose und Messung zentraler Verbrauchswerte für das Jahr 2014	38
Tabelle 6: Vergleich zwischen Prognose und Messung zentraler Verbrauchswerte für das Jahr 2015	38
Tabelle 7: Vergleich zwischen Prognose und Messung zentraler Verbrauchswerte für den Messzeitraum	39
Tabelle 8: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch.	42
Tabelle 9: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen und relativen Raumluftfeuchten im EG und OG.	43

1. KURZFASSUNG

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg wurde im Jahr 2012 erbaut und ist Teil der Förderinitiative „Effizienzhaus Plus-Standard“. Die Begleitforschung obliegt dem Institut für Produkt- und Prozessinnovation der Leuphana Universität Lüneburg. Zielsetzung der Begleitforschung ist es zu überprüfen, ob die vorherigen Berechnungen in der Praxis im bewohnten Zustand erfüllt werden. Dabei wird das Gesamtkonzept aus verschiedenen Winkeln messtechnisch erfasst und bewertet. Dieser Bericht enthält die Ergebnisse des Zeitraumes vom August 2013 bis Dezember 2015.

Die Messungen bestätigen, dass das Effizienzhaus⁺ Lüneburg die Vorgaben des Effizienzhaus Plus-Standards erfüllt. Dies gilt sowohl für die Endenergie als auch für die ermittelte Primärenergie, bei beiden wurde ein Überschuss erzielt. Die Photovoltaikanlage produzierte im Messzeitraum rund 5 % mehr Energie als prognostiziert. Die meteorologischen Randbedingungen waren nicht nur in Bezug auf die Solarstrahlung besser als erwartet, sondern auch die damit im Zusammenhang stehenden Außenlufttemperaturen waren im Vergleich zum langjährigen Mittel höher. Auf der Verbrauchsseite wurden im Wesentlichen alle Erwartungen übertroffen. Der Gesamtenergieverbrauch lag im Messzeitraum 41,69 % unter dem prognostizierten Bedarf. Lediglich im Haushaltsbereich wurde in dem Jahr 2013 und 2014 etwas mehr Strom als die zuvor angenommene Summe von 2 500 kWh/a verbraucht, hier konnte jedoch zunehmend Energie eingespart werden, sodass über den gesamten Messzeitraum der Verbrauch auf 94 % reduziert wurde.

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg beweist, dass mit einem verhältnismäßig simplen, kostengünstigen und wartungsarmen Konzept, dennoch nachhaltiges, regionales Bauen mit einem doppelten Plus am Ende des Jahres möglich ist.

2. KONTEXT UND ZIELSETZUNG

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) fördert im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ mehrere Modellprojekte im Effizienzhaus Plus-Standard. Der Fokus der Betrachtung liegt auf der Energieeffizienz, einer nachhaltigen Bauweise und der Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudebereich. Häuser die diesen Standard erfüllen weisen sowohl einen negativen Jahresprimärenergiebedarf als auch einen negativen Jahresendenergiebedarf auf.

Die Anpassung des Hauses an die Bedürfnisse des Bauherrn stellt dabei nur einen Teil der Planung eines Gebäudes dar. Zusätzlich wird bereits im frühen Entwurfsstadium auf

eine optimale Kombination verschiedenster Bauelemente geachtet um ein möglichst effizientes Gesamtkonzept zu entwickeln.

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg ist ein sogenanntes Nur-Strom Haus, es deckt seinen kompletten Energiebedarf über eine Indachphotovoltaikanlage. Dabei wird der produzierte erneuerbare Strom rein rechnerisch etwa zur Hälfte für die Deckung des Strombedarfs des Hauses verwendet, die andere Hälfte wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist. Dadurch, dass elektrischer Strom neben der Versorgung der typischen Haushaltsgeräte, auch für die Aufbereitung von Warmwasser und zum Heizen des Gebäudes genutzt wird, konnte die Komplexität der Anlagentechnik geringgehalten werden. Ziel der Begleitforschung ist es durch die Erfassung der Messwerte die verwendeten Technologien zu bewerten und eventuelle Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen.

3. GEBÄUDESTECKBRIEF

3.1. ALLGEMEINE DATEN

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg (vgl. Abbildung 1) wurde im Jahr 2012 in 21335 Lüneburg, Hinter der Gärtnerei 6 errichtet. In Zusammenarbeit zwischen dem Architekten Wolfgang Dimke, dem Bauingenieur Jürgen Strege, regionalen Handwerkern und dem Bauherrn, ist ein Wohnhaus nach dem Sentinel-Prinzip entstanden. Ziel war es ein energiesparsames, wohngesundes und ökologisches Gesamtkonzept zu entwickeln, bei dessen Umsetzung auf die Verwendung von regionalen, schadstoffarmen und umweltverträglichen Baustoffen geachtet wurde. Die Benutzung von schadstoffarmen und umweltverträglichen Baustoffen führt zu einer guten Innenraumluft. Um die Qualität der Innenraumluft bei Benutzung des Hauses hoch zu halten und gleichzeitig Energieverluste durch das Lüften zu reduzieren, wurde eine energieeffiziente Belüftungsanlage verbaut.

Der Wärmebedarf des Hauses wird über Infrarotheizungen gedeckt und die Trinkwarmwasserversorgung wird dezentral über Durchlauferhitzer gewährleistet. So entstehen zum einen weniger Wärmeverluste und zum anderen sinken die Installations- und Wartungskosten der Gebäudetechnik.

Tabelle 1: Allgemeine Daten des Effizienzhaus⁺ Lüneburg

Baujahr:	2012
Beheizte Nettogrundfläche::	129 m ²
Gebäudenutzfläche:	172,4 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen:	538 m ³
Hüllflächenfaktor A/V:	0,74 m ⁻¹
Breitengrad:	

Längengrad:
Höhenlage: 27 m
Mittlere Jahrestemperatur: 13,1 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April): 1,0 °C

3.2. ARCHITEKTUR

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg (vgl. Abbildung 1) wurde von dem Architekten Wolfgang Dimke, der sich auf den ökologischen, nachhaltigen Hausbau spezialisiert hat, nach den Bedürfnissen der Bauherren entworfen. Es handelt sich um ein freistehendes Einfamilienhaus in Holzständerwerk Bauweise mit einem Vollgeschoss (gem. §2 (7) NBauO). Die beheizte Wohnfläche beträgt 129 m² und erstreckt sich über zwei Etagen. Das Haus ist nicht unterkellert.

In Erdgeschosshöhe wurde die Außenwand mit Vormauersteinen versehen, während im oberen Bereich Lärchenholzschalung verwendet wurde. Die Nutzfläche nach Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 beträgt 172 m². Bei einer Geschosshöhe von 3,0 m beträgt das Hüllflächen-Volumenverhältnis 0,74 m⁻¹.



Abbildung 1: Ansicht des Effizienzhaus⁺ Lüneburg

Das Erdgeschoss (vgl. Abbildung 2) ist durch einen offenen Wohn-, Ess- und Küchenbereich charakterisiert, der südlich (204°) ausgerichtet ist und über große Fensterflächen verfügt, über die passiv Sonnenenergie aufgenommen wird. Das

einfallende Licht erwärmt dabei nicht nur den Wohnraum im Wohn- und Essbereich, sondern sorgt auch für optimale Lichtverhältnisse. Im nördlichen Bereich des Hauses mit verhältnismäßig wenig Fenstern, befinden sich abgetrennt das Arbeitszimmer, der Hauswirtschaftsraum und das Gäste-WC.

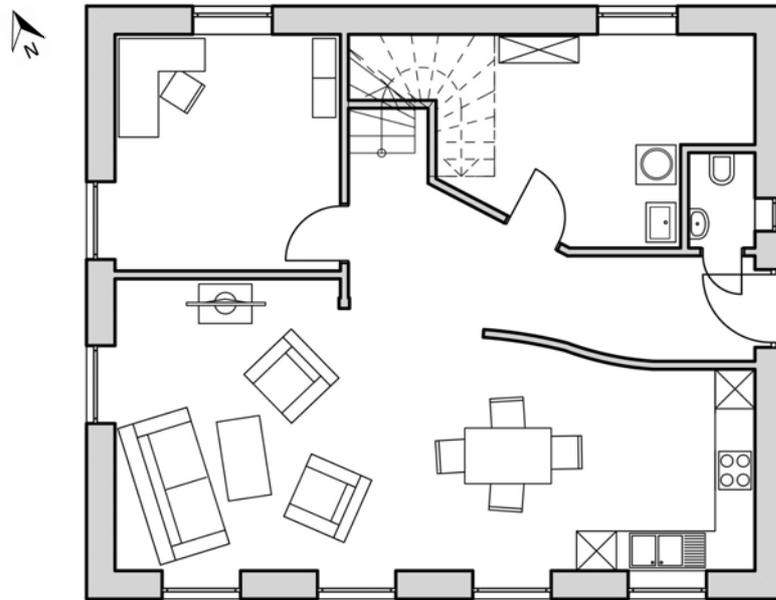


Abbildung 2: Erdgeschoss-Grundriss

Das Obergeschoss gliedert sich in drei Räume (vgl. Abbildung 3). Das Schlafzimmer befindet sich im westlichen Bereich des Gebäudes und ist das größte Zimmer im Obergeschoss mit einem begehbaren Kleiderschrank. Im östlichen Teil des Hauses finden sich sowohl das Badezimmer als auch das Yogazimmer wieder.

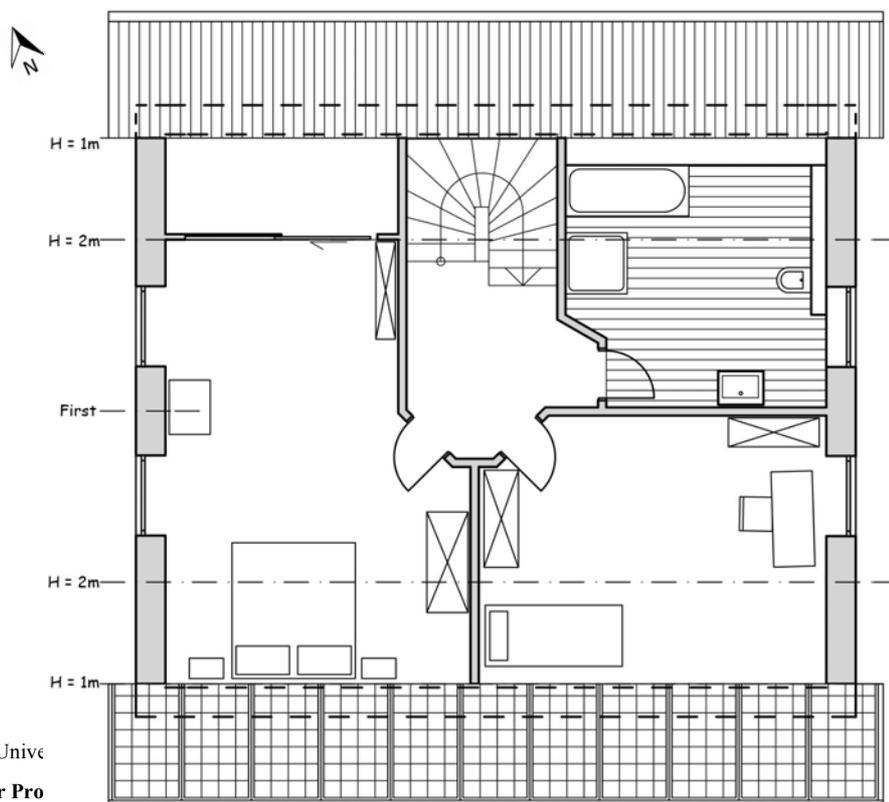


Abbildung 3: Obergeschoss-Grundriss

3.3. WÄRMESCHUTZ

Bei der Gebäudehülle wurde auf möglichst effiziente Bauteile zurückgegriffen um mögliche Wärmeverluste zu reduzieren. Durch eine detaillierte Wärmebrückenberechnung des Bauingenieurs Jürgen Strege konnten Transmissionswärmeverluste bereits während der Planungs- und Bauphase minimiert werden. Der spezifische Transmissionswärmeverlust der Gebäudehülle liegt bei $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und liegt somit 55 % unter den Vorgaben der EnEV.

Die Außenwände sind in Holzrahmenbauweise gebaut. Der Holzrahmen ist 26 cm breit und wird von außen mit Weichfaserplatten und innen mit Grobspanplatten beplankt. Der Zwischenraum ist mit einer Zellulosedämmung ausgefüllt. Hinzu kommt eine 6 cm breite Holz-Flexdämmung, die gleichzeitig als Installationsebene dient. Insgesamt ergibt sich so eine Wandstärke von 42,5 cm. Es ergibt sich ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Nachträglich wurde das Haus in Erdgeschosshöhe mit Vormauerklinkern versehen. Dies war eine Auflage aus dem örtlichen Bebauungsplan, die erst nachträglich mit einbezogen wurde. Die Wandstärke erhöht sich dadurch um 15,5 cm auf 58 cm. Im Obergeschoss wurde eine Lärchenholzschalung angebracht, wodurch sich die Wandstärke um 10 cm auf 52,5 cm erhöht.

Der Aufbau des Daches ähnelt dem der Wand. Es besteht aus einer 26 cm dicken Vollsparrendämmung aus Zellulose und einer darüber befindlichen 6 cm dicken wasserabweisenden Holzweichfaserplatte. Die nach innen aufgebrachte Sparschalung dient als Installationsebene, ist ebenfalls gedämmt und mit Gipsfaserplatten verblendet. Aus diesem Aufbau resultiert der gleiche U-Wert wie für die Wände. Die Südseite des Daches ist mit einer Photovoltaikanlage, mit einer installierten Spitzenleistung von $12,6 \text{ kW}_p$, ausgestattet. Die Photovoltaikmodule sind in Form einer Indachlösung installiert worden. Durch diese Konstruktionsweise werden für diese Fläche, anders als auf dem Dach auf der Nordseite, keine Tonziegel benötigt und somit Ressourcen eingespart. Die darunterliegende Konstruktion aus Dachlatten und Konterlattung schafft eine zusätzliche Luftschicht von 18 cm. Dieses ermöglicht das Aufsteigen der warmen Luft, was zu einer Effizienzsteigerung der Photovoltaikmodule führt.

Die Fenster sind dreifach verglast. Die Fensterscheiben haben einen U_G -Wert von $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Der U_W -Wert für die Fenster als Ganzes, bestehend aus Glas und Rahmen, ist aufgrund der schlechteren Dämmung der Holzrahmen mit einem U-Wert von $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ etwas schlechter.

Das Haus wurde auf einer 20 cm starken Bodenplatte aus Beton errichtet. Um den Wärmeverlust zu reduzieren, ruht die Bodenplatte in einer Glasschaumschotterschicht

von 33 cm, verdichtet auf 25 cm die auch die Ränder der Betonplatte umschließt und diese keinen Berührungspunkt zum Erdreich hat, da der Glasschotter kapillarbrechend ist. Die Massivholzdielen mit einer Dicke von 2,2 cm wurden auf einer 16 cm dicken, mit Zellulose gedämmten Kreuzlattung verlegt. Für den Boden ergibt sich damit ein U-Wert von 0,17 W/(m²K).

Nach Abschluss des Baus wurde eine Luftdichtigkeitsmessung durchgeführt um mögliche Energieverluste ausfindig zu machen und zu reduzieren. Mit einer Luftwechselrate von 0,546 h⁻¹ bei einer Druckdifferenz von 50 Pa (n50), liegt der Messwert unter dem Grenzwert der DIN 4108-7:2011-01 für Wohngebäude mit raumluftechnischen Anlagen von 1,5 h⁻¹.

Übersicht über die Wärmedämmung:

Wände: Holzrahmenbauweise, U-Wert 0,12 W/(m²K),

Gesamtdicke: 42,5 cm, bestehend aus:

- Steico Spezial dry Holzfaserdämmplatte, d = 8 cm
- Holzständerwerk mit Zellulosedämmstoff, d = 26 cm
- OSB Aussteifungsplatte, d = 1,5 cm
- Steico flex Holzfaserdämmplatte mit Luftschicht, d = 6 cm
- Gipsfaserplatten mit ABZ, d = 1,5 cm

Im EG zusätzlich (von außen):

- 2DF KS Vormauersteine, d = 11,5
- Luftschicht, d = 4 cm

Im OG zusätzlich (von außen)

- Lärchenholzschalung, d = 2 cm
- Luftschicht, d = 8 cm

Fenster: Dreifachverglasung, U_G-Wert (Fensterglas): 0,5 W/(m²K), U_w-Wert des Fensters mit Holzrahmen: 0,8 W/(m²K)

- Dach: U-Wert gesamt von 0,12 W/(m²K):
- Photovoltaikmodule als Indachkonstruktion bzw. Tondachziegel auf Konterlattung und Lattung
 - Holzweichfaserplatte, d = 6 cm
 - Zellulosedämmung zwischen Sparren, d = 26 cm
 - Zellulosedämmung in Installationsebene, d = 6 cm
 - Gipsfaserplatte, d = 1,2 cm

- Bodenkonstruktion: U-Wert gesamt 0,17 W/(m²K):
(von oben nach unten)
- Massivholzdielen, d = 2,2 cm
 - Kreuzlattung mit zwischenliegender Zellulosedämmung, d = 16 cm
 - Bodenplatte aus Beton, d = 20 cm
 - Glasschotterschicht, d = 25 cm

3.4. ANLAGENTECHNIK

Das Nur-Stromhaus benötigt aufgrund der dezentralen Anwendungen zur Wärmeerzeugung relativ wenig Fläche für die technische Gebäudeausrüstung. Geheizt wird mit Infrarotheizungen, die Warmwasserbereitung für das Trinkwasser erfolgt ebenfalls dezentral an den jeweiligen Entnahmestellen mittels Durchlauferhitzer. Die Lüftungsanlage befindet sich im Kriechboden unter dem First. Der Gleichstromrichter der Solaranlage ist im Hauswirtschaftsraum - in der Nähe der Stromverteilung und der Monitoring Geräte - angebracht.

Warmwasser
-bereitung:



Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral direkt an den einzelnen Entnahmestellen. Das Wasser wird mittels fünf Strom betriebenen Durchlauferhitzern der Fa. Clage bedarfsorientiert erhitzt.

In der Küche und in der Dusche sind aufgrund der höheren Durchlaufmenge leistungsfähigere Geräte installiert. Die Nutzung von strombetriebenen Durchlauferhitzern führt konsequent das Konzept und die Vorteile des Nur-Stromhauses fort. Im Vergleich zu einer zentralen Warmwasserbereitung mittels anderer Energieträger, ergeben sich eine Reihe von Vorteilen. So wird warmes Wasser bedarfsgerecht in dem Moment produziert, wenn es gebraucht wird. Ein Energieverlust durch das ständige Vorhalten eines Vorrates an Warmwasser wird so ausgeschlossen. Die Geräte sind im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen sehr kompakt und platzsparend. Durch die dezentrale Produktion kommt es nicht zu einem Wärme- und damit Energieverlust beim Transport des warmen Wassers. Hinzu kommt, dass die Komplexität der Anlage und damit der Wartungs-, Anschaffungs- und Kostenaufwand minimiert werden konnten.

Lüftung:



Die optimale Versorgung des Hauses mit Frischluft stellt eine Lüftungsanlage der Fa. Wolf (Wolf CWL-F-300) sicher. Das Gerät ist platzsparend im Kriechboden über dem Obergeschoss installiert und verfügt über einen Kreuz-Gegenstrom-Plattentauscher und ein optionales externes Vorheizregister. Die Anlage verbraucht, bei einer Nennleistung von 14,9 W bei 100 m³/h, sehr wenig Energie.

Beleuchtung: Ein Großteil (95 %) der installierten Lampen sind LEDs oder LED-Leuchtröhren, die entsprechend ihrem Verwendungszweck installiert wurden.



Haushalts-
geräte:



Bei Bezug des Hauses wurde auf die Anschaffung möglichst effizienter Haushaltsgeräte Wert gelegt. Zum Kochen wird ein Induktionskochfeld (Fagor IF-ZONE40HS - Typ LA6ZOX1 - J4PDFA713) verwendet, um möglichst geringe Wärmeverluste zu ermöglichen. Alle weiteren Küchengeräte verfügen über ein Energieeffizienzkenzeichen der besten verfügbaren Klasse zum jeweiligen Anschaffungsdatum.

Raum-
kühlung:

Eine Raumkühlung ist nicht vorhanden. Allerdings wird die Lüftungsstrategie an heißen Sommertagen angepasst, um die nächtliche Kühle besser auszunutzen.

Photovoltaik: In das Dach auf der Südseite wurde eine 64,7 m² große Photovoltaikanlage in Form einer Indachlösung installiert. Neben dem Einsparen von Dachziegeln, wurde durch die darunterliegende Konstruktion aus Dachlatten und Konterlattung die Möglichkeit geschaffen, die Zellen von hinten passiv zu kühlen. Der Raum hinter den Modulen beträgt 18 cm. Die Luft strömt in Höhe der Traufe ein, erwärmt sich hinter den Modulen und strömt beim Dachfirst wieder aus (vgl. Abbildung 5). Es entsteht ein Schornsteineffekt, der die Module kühlt und zu einer Effizienzsteigerung der Photovoltaikmodule führt.



12,6 kW_p

Die insgesamt 52 Module verfügen über eine nominelle Leistung von 12,6 kW_p. Die Module wurden mit einer Neigung von 35 Grad und einer Ausrichtung 204° installiert. Es wurde während der Planung darauf geachtet, dass es im Tagesverlauf zu möglichst keiner Verschattung der Photovoltaikmodule kommt.

Die Module der Fa. SunPower (Sunpower E19/245NE) haben jeweils eine Modulfläche von 1,24 m². Der gelieferte Gleichstrom wird mittels Wechselrichter (Sunny Tripower 12000TL-10) in Wechselstrom umgewandelt und ins öffentliche Netz eingespeist. Gemäß der Prognose nach DIN V 18599 soll die Jahresproduktion der Anlage bei 12144 kWh liegen.

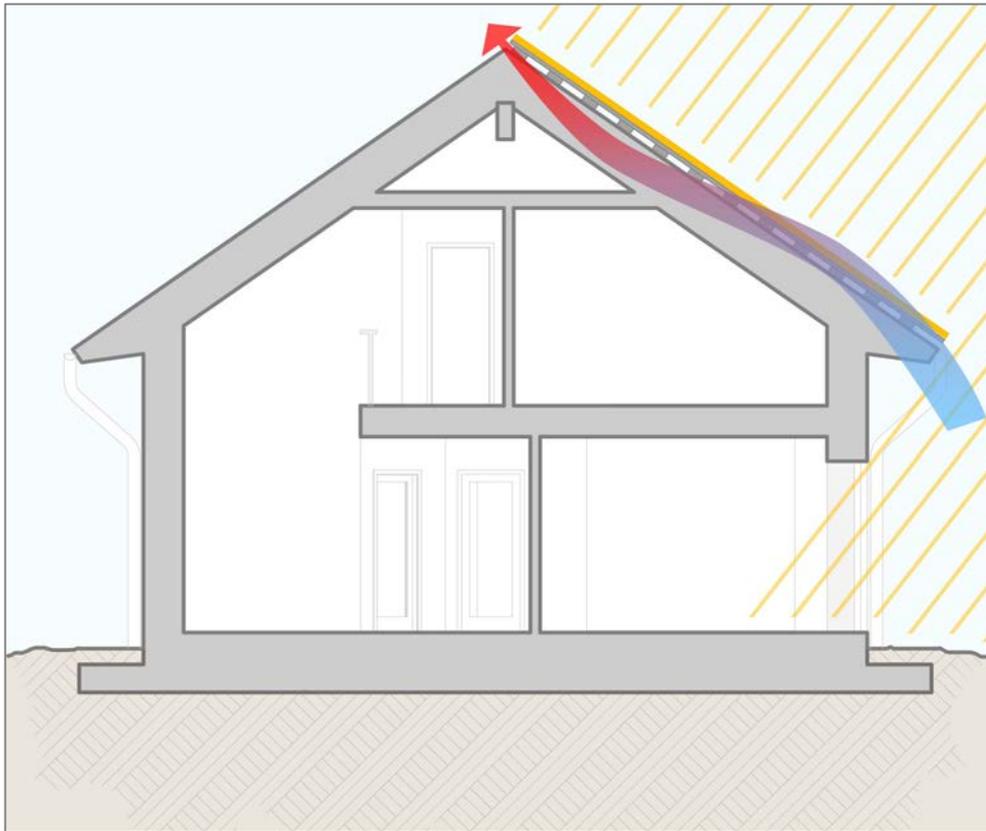


Abbildung 5: Passive Kühlung der Photovoltaik-Anlage und passive Nutzung der Solarstrahlung

3.5. BEWERTUNG DER EFFIZIENZ AUS BERECHNUNGEN NACH DIN V 18599

Der Effizienzhaus Plus-Standard ist wie folgt definiert:

Das Effizienzhaus Plus-Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung (EnEV), wie z. B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind einzuhalten. (BMBVS² 2011: Anlage 1)

² Am 17. Dezember 2013 wurde das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) in Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) umbenannt.

Dabei fordert das BMVBS zusätzlich:

- Nachweise sind in Anlehnung an die EnEV 2009 nach der DIN V 18599 zu erbringen
- Abweichend von der EnEV ist in Anlehnung an die DIN V 18599 für den Energieträger Strom der Primärenergiefaktor für den nicht erneuerbaren Teil 2,4 und für den Verdrängungsstrommix 2,8
- Ergänzend zur EnEV müssen die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und -prozesse in der Berechnung berücksichtigt werden. Der pauschal anzunehmende Wert beträgt 20 kWh/m²a jedoch maximal 2 500 kWh/a je Wohneinheit
- Das Haus ist durchgängig mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels und intelligenten Zählern auszustatten
- Die Bewertung ist auf Basis von Monatsbilanzen durchzuführen

Die Nachweisführung (vgl. Tabelle 2 auf Seite 13) für das Effizienzhaus⁺ Lüneburg wurde vom beauftragten Ingenieurbüro für Bauwesen Jürgen Strege aus Lüneburg erbracht. Alle Angaben wurden nach den Vorgaben der DIN V 18599 und unter zusätzlicher Einbeziehung der Fensterberechnungen und der Wärmebrückennachweise erstellt.

Als Energieträger wird ausschließlich elektrischer Strom verwendet. In der Berechnung wurde davon ausgegangen, dass der selbsterzeugte Strom maximal den gesamten Bedarf an Strom in einem Monat decken kann und nur der monatliche Produktionsüberschuss ins Netz eingespeist wird. Von einem zeitlichen Auseinanderfallen der Produktion und des Verbrauchs innerhalb eines Monats wurde abstrahiert. Die Energiebilanz des Gebäudes enthält die prognostizierten Verbräuche für die Heizung, die Warmwasserversorgung, die Lüftung (Hilfsenergie) und für die Wohnbeleuchtung inklusive der Haushaltsgeräte.

Der Stromverbrauch der für die Deckung des Warmwasserbedarfs (WW) kalkuliert wurde, kann dabei grundsätzlich nicht durch die Stromeigenproduktion gedeckt werden, da die Durchlauferhitzer mit 400 V Drehstrom betrieben werden, der ausschließlich aus dem Netz bezogen werden kann (vgl. Sp 7).

Der Energiebedarf für die Lüftung wurde mit 444 kWh/a kalkuliert und hälftig dem ersten und letzten Quartal zugerechnet.

Als Berechnungsgrundlage für die Beleuchtung und die Haushaltsgeräte wurde der vorgegebene maximale Jahresverbrauch pro Wohneinheit (2 500 kWh) gleichmäßig auf die 12 Monate des Jahres verteilt (vgl. Sp 3).

Die Simulation des Photovoltaikstromertrags wurde unter Berücksichtigung der Kollektorfläche, Modulleistungen, Neigung, Ausrichtung und den Verlusten durch Umwandlung mit PVGIS erstellt.

Ausgehend von den Daten zum Produktionsüberschuss, der Eigennutzung und dem übrigen Netzbezug, konnten dann eine Jahresbilanz für die Endenergie und die Primärenergie erstellt werden. Es ergibt sich ein Endenergiejahresüberschuss von 3 682 kWh und ein Primärenergieüberschuss von 12 408 kWh. Die Bedingungen des BMVBS an ein Effizienzhaus Plus sind als erfüllt anzusehen.

Tabelle 2: Zusammenstellung / Nachweisführung "Effizienzhaus Plus Lüneburg", End-Planungsstand und ausgeführtes Bauwerk vom 17.04.2013

Sp 1	Sp 2	Sp 3	Sp 4	Sp 5	Sp 6	Sp 7(Sp6)	Sp 8	Sp 9 (Sp6 / 7)	Sp 10 (Sp7 x Sp8)
Benennung	Energiebilanz Gebäude, „Endenergie“ Hzg. / WW	Endenergie Strom Haushalt	Monatlicher Bedarf = Summe Sp 2 + Sp 3	Ertrag aus PV-Anlage	Gegenüber-Stellung Bedarf / Ertrag, 2. Wert = WW	Energiebedarf Abzgl. Selbstgenutzter Strom	Primärenergie-Faktor gemäß Tab. 1 Anl. 1 2,8 = PV / 2,4 = Netz	Jahresbilanz „Endenergie“ Netzverbrauch / Einspeisung	Jahresbilanz „Primärenergie“ Eigenverbrauch / Einspeisung
Monat/ Einheit	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	[-]	kWh	kWh
Januar	1070	208,3	1410,3	318	1410,3	1092,3 Incl. 132 für WW	2,4	+ 1092,3	2622
Februar	800	208,3	1127,3	515	1127,3	612,3 Incl. 119 für	2,4	+ 612,3	1470
März	564	208,3	904,3	1060	772,3 132	100 % Deckung, 132 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 132	317
April	54	208,3	389,3	1520	262,3 127	100 % Deckung, 127 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 127	305
Mai	11	208,3	350,3	1650	219,3 132	100 % Deckung 132 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 132	317
Juni	0	208,3	335,3	1570	208,3 127	100 % Deckung 127 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 127	305
Juli	0	208,3	340,3	1520	208,3 132	100 % Deckung 132 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 132	317
August	0	208,3	340,3	1390	208,3 132	100 % Deckung 132 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 132	317
September	8	208,3	343,3	1120	216,3 127	100 % Deckung 127 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 127	305
Oktober	295	208,3	635,3	799	503,3 132	100 % Deckung 132 für WW netz	2,8 / 2,4	+ 132	317
November	647	208,3	982,3	381	982,3	601,3 Incl. 127 für WW	2,4	+ 601,3	1444
Dezember	964	208,3	1304,3	301	1304,3	1003,3 Incl. 132 für WW	2,4	+ 1003,3	2408
Summen:	4413	1549	8462	12144	8460	4350		4350	10444
Jahresbilanz Summenbildung: [kWh]								-3682	-12408

4. MONITORING

Durch das umfassende Monitoring ist es möglich zu überprüfen, ob die Anforderungen die an das Effizienzhaus⁺ Lüneburg gestellt sind, auch im bewohnten Zustand erfüllt werden. Zusätzlich kann anhand der Daten ein mögliches Effizienzsteigerungspotential aufgedeckt werden. Nicht zuletzt geben die Daten den Bewohnern ein Feedback über ihr individuelles Nutzungsverhalten.

Zu diesem Zweck müssen sowohl die über die Photovoltaikanlage produzierte Energie inklusive des davon selbstgenutzten und des eingespeisten Stromes, als auch die aus dem Netz bezogene Energiemenge erfasst werden. Um ein detaillierteres Bild der Verbrauchsstruktur zu bekommen, werden zusätzlich die Stromverbraucher des Hauses gruppiert und separat erfasst. Ergänzt werden diese Daten durch selbst erhobene Klimadaten und durch die Erfassung der Raumtemperatur innerhalb des Hauses.

4.1. MESSKONZEPT

Das Messkonzept lässt sich in die Bereiche Verbrauchserfassung, Erfassung der Klimadaten und der Raumtemperaturdaten einteilen. Die jeweiligen Daten werden in der Regel stündlich von verschiedenen, an unterschiedlichen Stellen im Haus angebrachten Datenloggern erfasst und von diesen gespeichert (vgl. Abbildung 6).

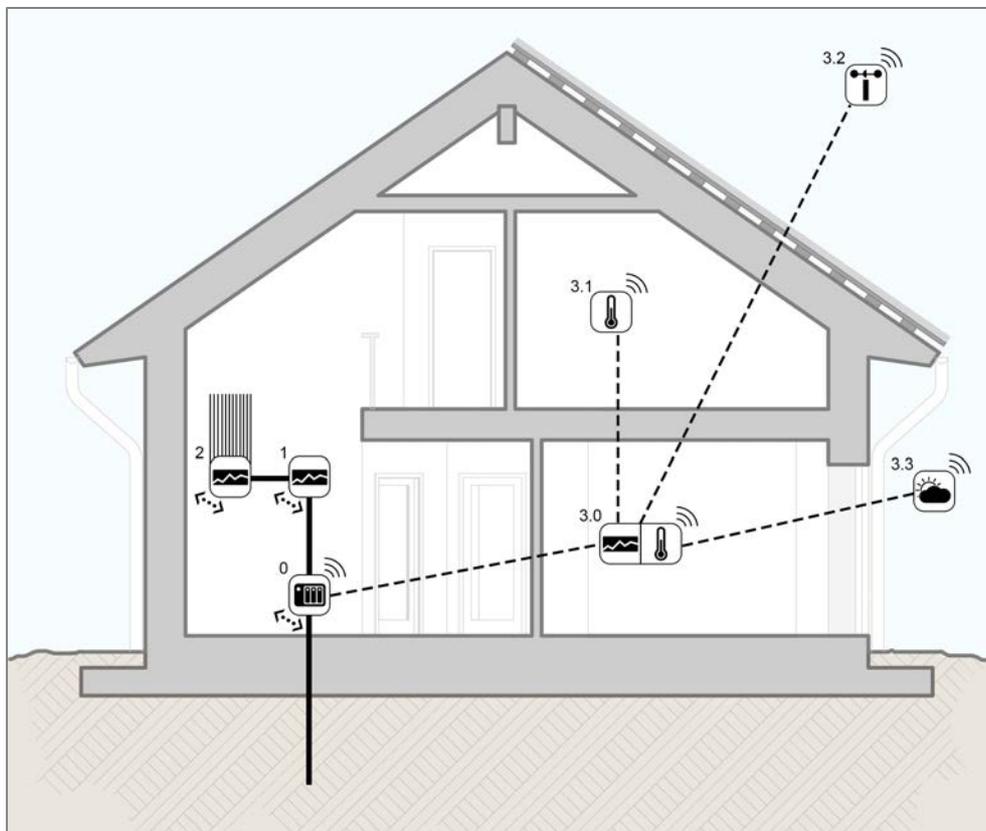


Abbildung 6: Messkonzept

Die Daten werden auf ein Network Attachment System (NAS) übertragen. Der Zugriff auf die Datenlogger geschieht per Funk oder Kabel. Das NAS, in der Abbildung 6 die Nr. 0, verwaltet die unterschiedlichen Daten und ermöglicht es die Messdaten über das Internet abzurufen.

Die produzierte Strommenge der Photovoltaikanlage wird am Wechselrichter (1) in viertelstündlichen Intervallen erfasst und per Kabel übertragen.

Der Stromverbrauch der einzelnen Verbraucher im Haus wird durch zwölf Datenlogger (2) erfasst. Die Datenlogger wurden in sechs Verbrauchergruppen aufgeteilt (Heizung, Warmwasser, Haushalt, Hilfsenergie, Beleuchtung und Monitoring).

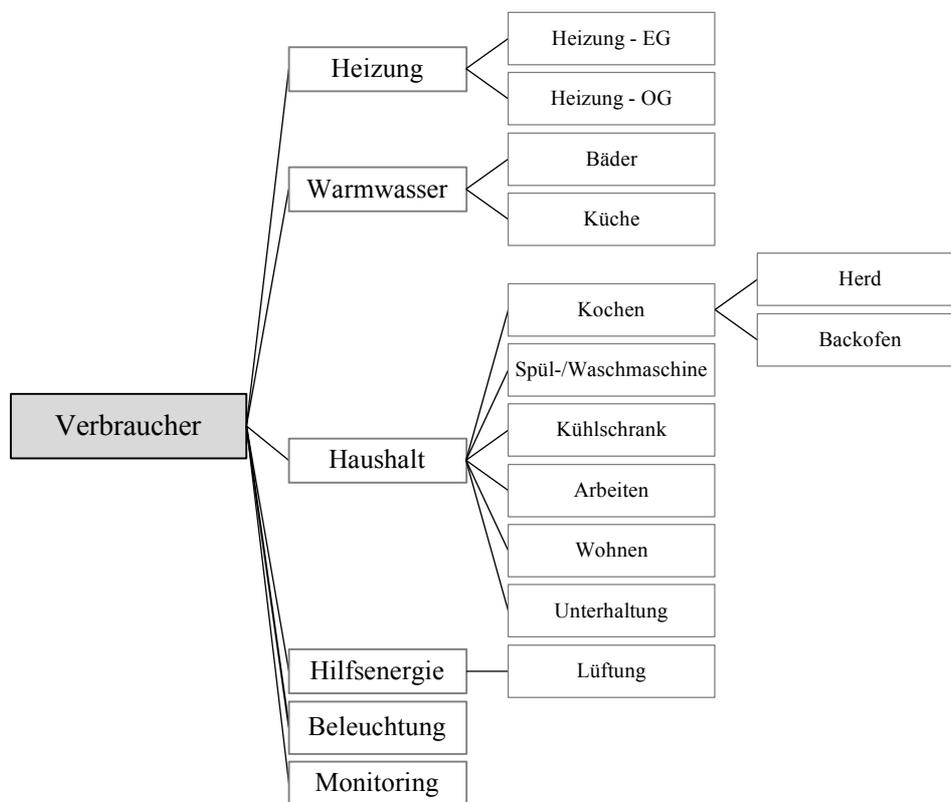


Abbildung 7: Verbrauchergruppen

Die Verbrauchergruppe „Heizung“ ist unterteilt in die Untergruppen „Heizung – EG“ und „Heizung – OG“. Die Verbrauchergruppe „Warmwasser“, mit den fünf Durchlauferhitzern ist in die zwei Untergruppen „Bäder“ mit vier Durchlauferhitzern und „Küche“ mit einem Durchlauferhitzer unterteilt. Die große Gruppe „Haushalt“ umfasst sechs Untergruppen. Die Gruppe „Kochen“ umfasst den Herd und den Backofen, deren Verbrauchswerte jeweils separat erfasst werden. Im Bereich der Küche wurden der Geschirrspüler und die Waschmaschine zu einer Messgruppe zusammengefasst. Der Verbrauch des Kühlschranks wird einzeln erfasst. Zu der Gruppe „Haushalt“ zählen auch drei Untergruppen in denen der Verbrauch separat erfasst wird. Dabei werden die Gruppen vor allem nach dem jeweiligen Nutzungsgrund

gebildet. Die Gruppe Wohnen umfasst die übrigen elektronischen Geräte der Küche, des Wohn- und Essbereichs und des Obergeschosses. Die Untergruppe Arbeiten misst die Stromverbräuche des Hauswirtschaftsraumes, des Arbeitszimmers und der zentralen Staubsaugeranlage. In der letzten Untergruppe wird der Verbrauch der Unterhaltungselektronik erfasst. In der Gruppe „Hilfsenergie“ wird lediglich der Verbrauch der Lüftungsanlage gemessen. Die Gruppe „Beleuchtung“ erfasst den Stromverbrauch für Licht. Damit der Energieverbrauch des Monitoring nicht das Ergebnis einer normalen Wohnnutzung verfälscht wird er einzeln erfasst um ggf. rausgerechnet zu werden können.

Die Klima- und Raumdaten werden zentral durch eine Wetterstation gesammelt (3.0), bevor sie per Funk weitergeleitet werden. Die Innenraumtemperatur wird sowohl an der zentralen Messeinheit (3.0) im EG, als auch durch einen zusätzlichen Sensor (3.1) im OG erfasst. Durch ein Außenmodul (3.3) werden die Globalstrahlung und die Außentemperatur erfasst. Um die Windgeschwindigkeiten messen zu können, wurde eine Montagegestange mit einem Windgeschwindigkeitsmesser 8 Meter über dem Erdboden (3.2) angebracht.

4.2. VERWENDETE MESSTECHNIK

Für die Datenerfassung wurden Messkomponenten unterschiedlicher Firmen verwendet. Für die Erfassung des Stromverbrauches werden Datenlogger der Fa. Thüringer Industrie Produkte GmbH (TIP) in Kombination mit TCP/IP LAN Gateway Kommunikationsmodulen verwendet. Diese ermöglichen es direkt auf die Module aus dem Internet zuzugreifen und sie in das lokale Netzwerk einzubinden. Insgesamt sind neun NOVA 80A-2L MIW und drei NOVA 80A-4L MID Stromzähler zur Verbrauchserfassung im Stromkasten installiert.

Die erzeugte Energiemenge der Photovoltaikanlage wird über das SMA Datenmodul SWDM-10 an einer Schnittstelle des Wechselrichter (Sunny Tripower 12000TL-10) erfasst.

Die Klima- und Raumklimadaten werden mit Hilfe einer Vantage Pro 2 Plus und einem Datalogger Envoy 8X der Firma Davis Instruments gesammelt und per Funk übertragen.

4.3. DOKUMENTATION

Die Dokumentation und Auswertung der Daten erfolgt durch das Institut für Produkt- und Prozessinnovationen der Leuphana Universität Lüneburg. Die Rohdaten werden auf dem NAS in Form von CSV- Dateien (Comma-separated values) gespeichert. Mit Hilfe

eines speziell für diesen Zweck entwickelten Excel-Tools werden die Daten aufbereitet und ausgewertet.

5. METEOROLOGISCHE RANDBEDINGUNGEN

Im Messzeitraum August 2013 bis Dezember 2015 wurde mehr elektrische Energie produziert, als nach EnEV prognostiziert. Dabei lag die gemessene Strahlungsintensität im Mittel unter den nach EnEV prognostizierten Werten.

5.1. SOLARSTRAHLUNG

In Abbildung 8 auf Seite 19 sind die nach der DIN V 18599 prognostizierten und die gemessenen Werte der mittleren Strahlungsintensität (W/m^2) und des Ertrages der Photovoltaikanlage (kWh) angegeben.

Prognostiziert wurde nach DIN V 18599 ein Jahresstromertrag von 12 144 kWh. Im Jahr 2014 wurden 12 811 kWh, demnach rund 667 kWh und im Jahr 2015 wurden 12 789 kWh und somit 645 kWh mehr produziert als vorausberechnet. Bei einer erweiterten Betrachtung des gesamten Messzeitraums von August 2013 bis Dezember 2015 wiederholt sich dieser Trend, laut der Prognose sollte der Ertrag bei 28 279 kWh liegen, dies wurde um 1 404 kWh übertroffen. Dies entspricht einer Abweichung von 4,96 %.

Bei genauerer Betrachtung der einzelnen Kalenderjahre und unter Einbeziehung der Strahlungsintensität ergibt sich ein differenzierteres Bild.

In den fünf aufgezeichneten Monaten des Jahres 2013, lag der erreichte Stromertrag zwei Mal über der Prognose (August und November), zwei Mal unter der prognostizierten Menge (September und Dezember) und einmal stimmte die Prognose mit dem gemessenen PV-Ertrag nahezu überein (Oktober). Auffällig ist, dass die Abweichung der mittleren Strahlungsintensität im August zwischen prognostizierten und gemessenen Wert nur rund 5 W/m^2 (2,5 %) beträgt, die Abweichung des PV-Ertrages zwischen der Prognose und dem tatsächlichen Energieertrag aber mit rund 15,4 % wesentlich höher ausfällt.

PV-Ertrag und Strahlungsintensität im Vergleich

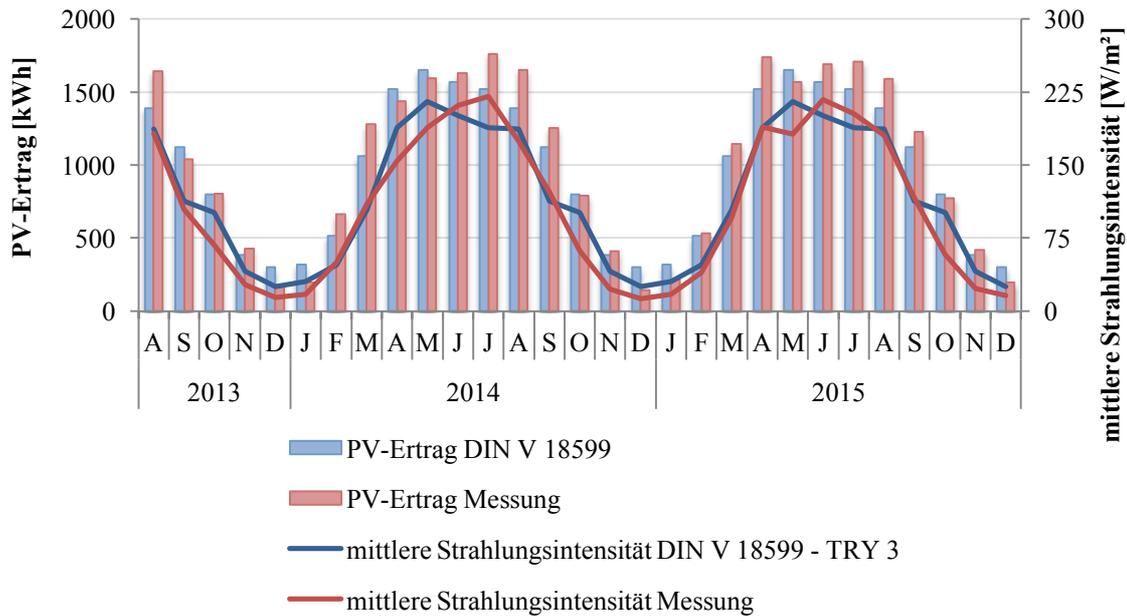


Abbildung 8: Nach EnEV prognostizierte und gemessene Strahlungsintensitäten und Stromerträge aus der Photovoltaikanlage

Im Jahr 2014 lag der Frühsommer, sowohl nach den Werten der Strahlungsintensität, als auch nach den PV-Erträgen hinter den Prognosen zurück, in den Monaten von Juni bis August, wurden die Prognosen allerdings deutlich übertroffen. Sowohl im Hinblick auf die mittlere Strahlungsintensität, als auch von der produzierten Strommenge war der Juli 2014 der ertragreichste Monat. Die erzeugte Strommenge lag mit 1 762 kWh rund 15,9 % über der Prognose. Für die mittlere Strahlungsintensität ergibt sich mit einem Messwert von 220 W/m² eine Abweichung von 17 % von der Prognose. Im Vorjahresvergleich zeigt sich für die Monate ab August bis Dezember ein ähnlicher Verlauf. Der Energieertrag im August 2014 war in etwa auf dem Vorjahresniveau. Der September 2014 war ertragsreicher als im Vorjahr. Die PV-Ertragswerte des letzten Quartals 2014 weichen nur geringfügig von den Werten des entsprechenden Vorjahresquartals ab.

Im Jahr 2015 ergibt sich ein ähnliches Bild wie im vorherigen Jahr. Die Werte des PV-Ertrages (-33,3 %) und der mittleren Strahlungsintensität (-43 %) blieben im Januar ähnlich stark hinter den Prognosen zurück wie im Jahr 2014. Im Februar und März 2015 wurden die PV-Ertragsprognosen übertroffen (Feb. +2,9 %, März +7,7%), während die Werte der mittleren Strahlungsintensität knapp unterhalb der Prognose liegen. Der April 2016 übertrifft ebenfalls die Prognosen und wird mit 1738 kWh zum ertragreichsten Monat im Kalenderjahr. Das übrige Jahr, zeigt bis auf einen etwas höheren Ertrag im Dezember 2015 im Vergleich zum Vorjahr keine nennenswerten Unterschiede. Im Jahr

2014 wurden insgesamt 12 811 kWh produziert. Im Jahr 2015 wurden mit 12 789 kWh nur rund 22 kWh weniger produziert als in 2014. Insgesamt wurden über den gesamten Messzeitraum die Erwartungen im Durchschnitt um 5 % übertroffen.

5.2. AUßENLUFTTEMPERATUREN

Die gemessenen monatlichen Außenlufttemperaturen (vgl. Abbildung 9) waren im Jahr 2013 in allen Monaten mit Ausnahme des Septembers wärmer als die prognostizierte Temperatur nach DIN V 18599 der TRY 03. Die Abweichungen von der Prognose liegen im Schnitt bei 1,15 °C. Für das Jahr 2014 ergibt sich ein ähnliches Bild. Mit Ausnahme der Monate Januar und August, lag die mittlere monatliche Außenlufttemperatur immer oberhalb der prognostizierten Werte. Die größte Abweichung gab es im April mit 2,86 °C, die geringste Abweichung Mai mit 0,18 °C. Die Abweichungen liegen im Schnitt bei 1,7 °C. Im Jahr 2015 ist die Temperatur im Schnitt 1,4 °C wärmer, fluktuiert aber stärker um das langjährige Mittel. Februar, Mai, September und Oktober weisen kältere Temperaturen auf, während die übrigen Monate wärmer als das langjährige Mittel sind. Der Sommer weist im Mittel höhere Temperaturen auf, die größte Abweichung ist jedoch im Dezember mit 5,67 °C zu verzeichnen. Anstatt 2,3 °C wurden im Mittel 7,97 °C erfasst, die geringste Abweichung ist mit 0,4 °C im Februar zu erkennen.

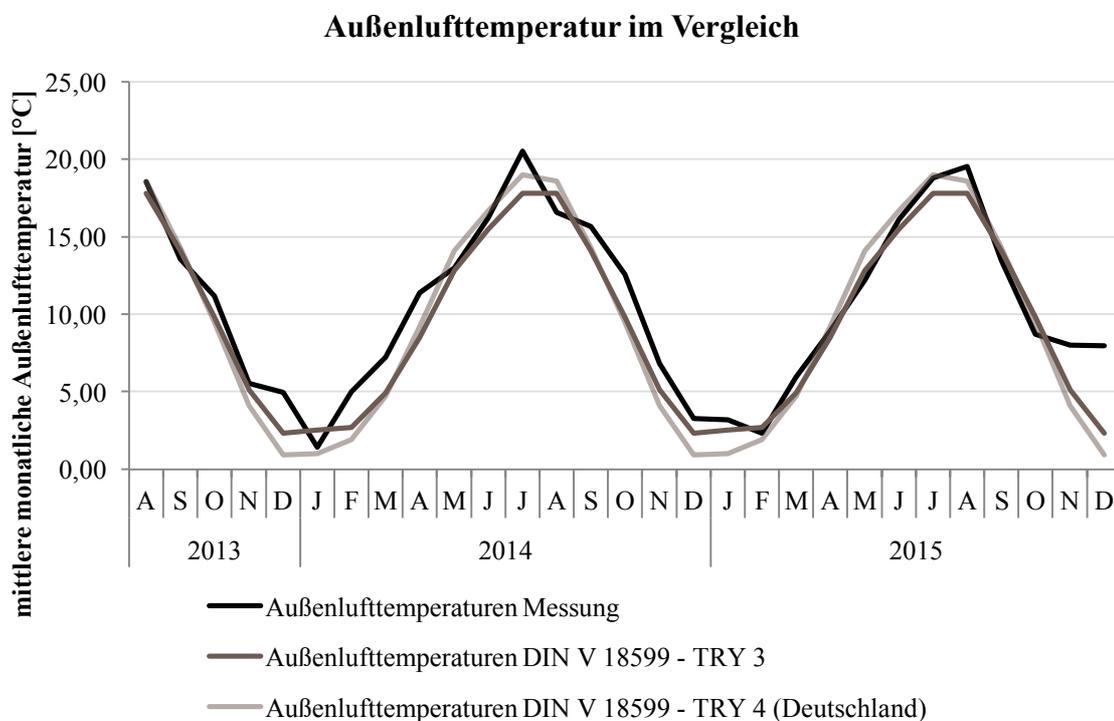


Abbildung 9: Außenlufttemperatur des Messzeitraums im Vergleich

5.3. KLIMABEREINIGUNG

Mit den Messwerten aus der Wetterstation vor Ort lassen sich für die einzelnen Kalenderjahre innerhalb des Messzeitraums Gradtagszahlen bestimmen. Gemäß der DIN V 4108-6 wird für die Innenraumtemperatur ein Wert von 20 °C angenommen. Zweiter relevanter Wert für die Berechnung ist die Heizgrenztemperatur. Diese entspricht einer Temperaturgrenze, ab der geheizt werden muss. Für Neubauten wurde in der DIN V 4108-6 die Heizgrenze auf 10 °C festgesetzt (GTZ_{20/10}). Für ältere Gebäude wird regelmäßig die Heizgrenztemperatur auf 15 °C festgelegt (GTZ_{20/15}). In der folgenden Betrachtung werden beide Werte angegeben, der Fokus soll allerdings auf der Angabe GTZ_{20/15} liegen.

Als langjähriges Mittel zum Vergleich mit den selbsterhobenen Daten wurde der Standort Bremen (Klimazone 2 nach DIN 4108-6: 2003) der Jahre 1970 – 2014 verwendet. In der Abbildung 11 ist zu erkennen, dass die errechneten Gradtagszahlen im Messzeitraum bis auf sechs Ausnahmen unterhalb des langjährigen Mittels liegen. Im September 2013 liegt der berechnete Wert vor Ort bei 183,81 Kd das langjährige Mittel weist einen Wert von 156,69 Kd aus. Im Jahr 2014 liegen die Werte der Monate Mai und August über dem langjährigen Mittel. Im Mai 2014 liegt der Wert mit 208,04 Kd nur 14,73 Kd oberhalb des langjährigen Mittels. Für den August ist die Abweichung mit 23,96 Kd etwas höher als im Mai. Im Jahr 2015 liegen die Werte der Monate Mai, September und Oktober über dem langjährigen Mittel. Ähnlich wie im Vorjahr weist der Mai einen höhere Wert auf, im Jahr 2015 übersteigt er das langjährige Mittel jedoch um 32,92 Kd. Im September liegt die Abweichung bei 20,10 Kd und im Oktober bei 33,80 Kd. Auffällig ist die Unterschreitung des langjährigen Mittels im November und Dezember 2015 um 79,94 Kd und 163,71 Kd.

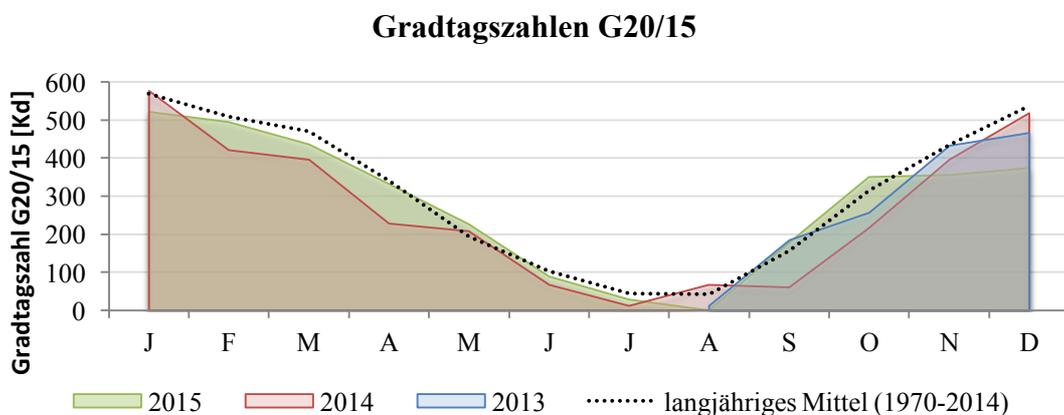


Abbildung 10: Gradtagszahlen GTZ_{20/15}

Für den Messzeitraum ergibt sich nach dem langjährigen Mittel ein Wert von 8 929 Kd. Aus den eigenen Messdaten errechnet sich für die 29 Monate ein tatsächlicher Wert von 7 899 Kd. Die Tage an denen geheizt werden musste waren also entweder weniger oder der Temperaturunterschied, zwischen Innenraumtemperatur und der Außentemperatur war geringer, als im langjährigen Mittel. Für den gesamten Messzeitraum ergibt sich ein Korrekturfaktor von 1,13.

Die einzelnen GTZ-Werte für die einzelnen Messzeiträume und auch die GTZ-Werte mit der Heiztemperaturgrenze von 10 °C sind in der Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Gradtagszahlen im Vergleich zum langjährigen Mittel nach GTZ_{20/15} und GTZ_{20/10}

Jahr	Messzeitraum	GTZ_{20/15} IST (Kd)	GTZ_{20/15} lang. Mittel (Kd)	Korrektu r-faktor	GTZ_{20/10} IST (Kd)	GTZ_{20/10} lang. Mittel (Kd)	Korrektu r-faktor
2013	Aug. – Dez.	1350,54	1488,20	1,10	1096,57	1172,42	1,07
2014	Jan. – Dez.	3164,39	3720,48	1,18	2469,50	3052,80	1,24
2015	Jan. – Dez.	3384,31	3720,48	1,10	2602,03	3052,80	1,17
	Σ	7899,24	8929,15	1,13	6168,10	7278,08	1,18

6. MESSERGEBNISSE

6.1. STROMVERBRAUCH

Im Messzeitraum (August 2013 – Dezember 2015) wurden insgesamt 13 159 kWh elektrischer Strom verbraucht. In den fünf gemessenen Monaten im Jahr 2013 wurden 2 548 kWh verbraucht. Für das gesamte Kalenderjahr 2014 wurde ein Verbrauch von 5 568 kWh registriert. In der Prognoserechnung (vgl. Tabelle 2 auf Seite 13) wurde von einem Jahresverbrauch in Höhe von 8 462 kWh ausgegangen. Im Jahr 2015 summierte sich der Stromverbrauch auf 5 043 kWh. Der Vergleich der Wintermonate 2014/15 mit dem entsprechenden Vorjahreszeitraum zeigt einen insgesamt niedrigeren Verbrauch (vgl. Abbildung 11). Der Verbrauchsrückgang ist insbesondere im Bereich Haushalt und im Bereich der Beleuchtung zu verzeichnen. Das letzte Quartal im Jahr 2015 unterscheidet sich im Vorjahr lediglich im Bereich der Heizung. Ein milderer Winter führte zu einem geringeren Verbrauch. Der Januar ist in beiden betrachteten Winterzeiträumen der verbrauchintensivste Monat. Im Januar 2014 wurden 1 033 kWh Strom verbraucht. Ein Jahr später, im Januar 2015, lag der Verbrauch bei 880 kWh Strom.

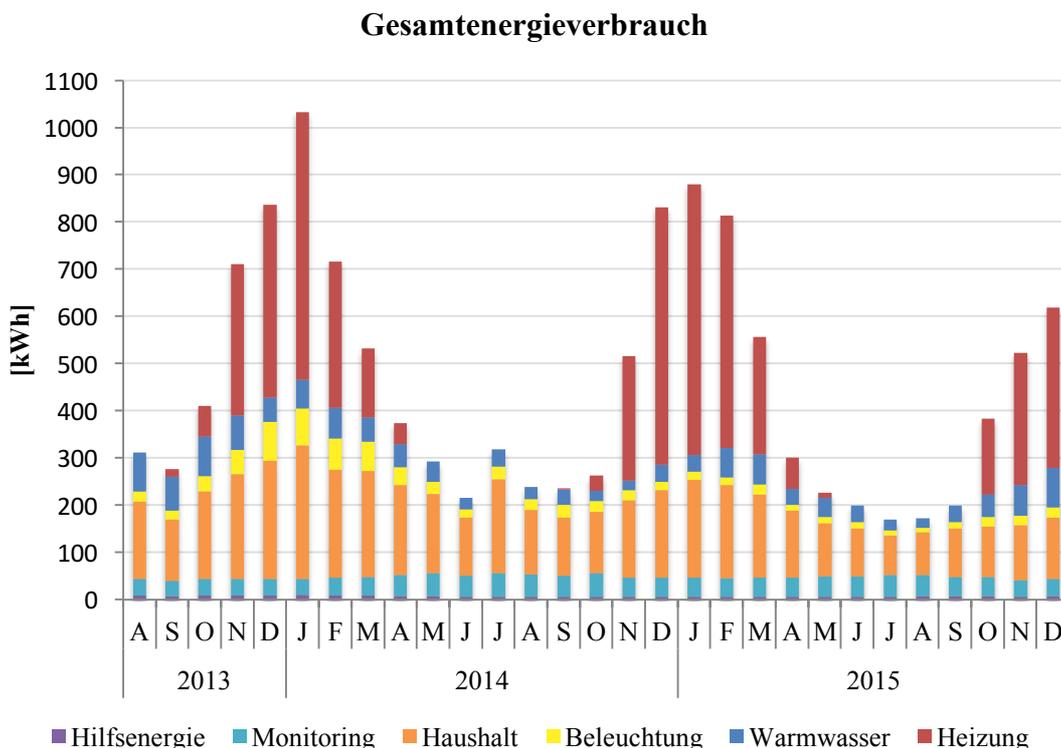
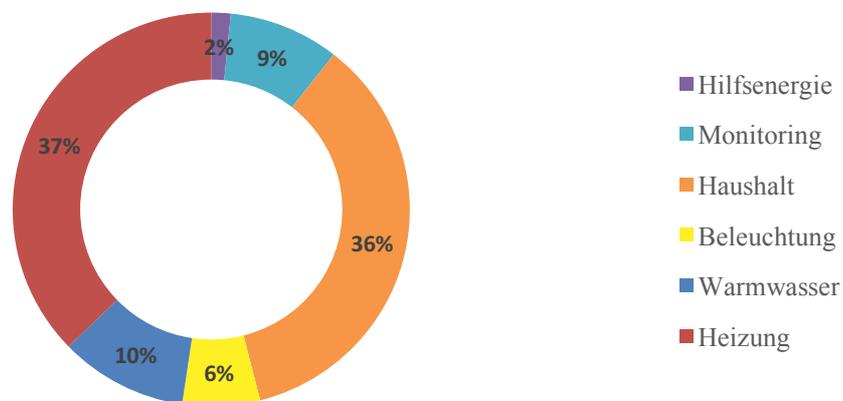


Abbildung 11: Gesamtenergieverbrauch nach Verbrauchergruppen

Ursächlich für diesen Verbrauchsrückgang könnte eine Änderung der Wohnnutzung sein. Ab August 2014 bewohnt anstelle von zwei Personen nur noch eine Person das Haus.

Größte Verbrauchergruppe mit einem Anteil von 37 % am Gesamtenergieverbrauch ist die Heizung. Insgesamt verbrauchten die Heizungen im Beobachtungszeitraum 4 901,30 kWh Strom. Die zweitgrößte Verbrauchergruppe sind die Haushaltsgeräte. Zusammen verbrauchten die Haushaltsanwendungen 4 664,91 kWh Strom, was einem Anteil von 35 % am Gesamtenergieverbrauch entspricht. Die in der Verbrauchergruppe Warmwasser zusammengefassten Durchlauferhitzer in den Bädern und in der Küche verbrauchten 10 % des Gesamtverbrauches (1 369,23 kWh). Das Aufzeichnen der Messdaten benötigte 1 185,15 kWh. Dieser Anteil von 9 % des Gesamtstromverbrauches ist ausschließlich auf die Begleitforschung des Projektes zurück zu führen und würde bei einem normalen Wohnbetrieb entfallen. Die Haus- und Wohnbeleuchtung verbrauchte 6 % (831,23 kWh) des Gesamtstromverbrauchs. Am wenigsten Energie verbrauchte die Verbrauchergruppe Hilfsenergie, in der ausschließlich die Lüftungsanlage enthalten ist. Im gesamten Messzeitraum lag der Verbrauch bei lediglich 207,17 kWh, was einem Anteil von 2 % am Gesamtstromverbrauch entspricht.

Anteiliger Energieverbrauch von 08.2013 bis 12.2015



6.2. STROMVERBRAUCH FÜR DEN HAUSBETRIEB

Die 4 665 kWh der Verbrauchergruppe Haushalt verteilen sich auf sieben Untermessgruppen. Dabei wurde das Messkonzept am 19. November 2013 umgestellt. Vorher waren lediglich fünf Untermessgruppen eingerichtet. Um den Stromverbrauch

Abbildung 12: Anteiliger Energieverbrauch der Verbrauchergruppen

besser zuordnen zu können wurde entschieden das Konzept feiner zu untergliedern. Der Kühlschrank war vor November 2013 der Untergruppe Arbeiten zugeordnet. Die

Untergruppe Spülen und Waschen (Geschirrspüler und Waschmaschine) gehörten zur Untergruppe Wohnen.

Insgesamt zeigt sich, dass der Verbrauch zwischen einem maximalen Wert von 281 kWh im Januar 2014 und einem minimalen Verbrauch von 84 kWh im Juli 2015 schwankt (vgl. Abbildung 13). Besonders die Messgruppe Wohnen, die rund 27 % der Energie der Haushalts-Gruppe verbraucht, weist eine große Schwankungsbreite auf. In den Wintermonaten ist der Verbrauch besonders hoch. Der höchste Stromverbrauch wurde im Januar 2014 mit einem Wert von 114 kWh gemessen. Der niedrigste Verbrauch der Gruppe Wohnen wurde im Juli 2015 mit 4 kWh gemessen. Zur Gruppe Wohnen gehören die Steckdosen der Küche, des Essbereiches, des Wohnzimmers und des Obergeschosses.

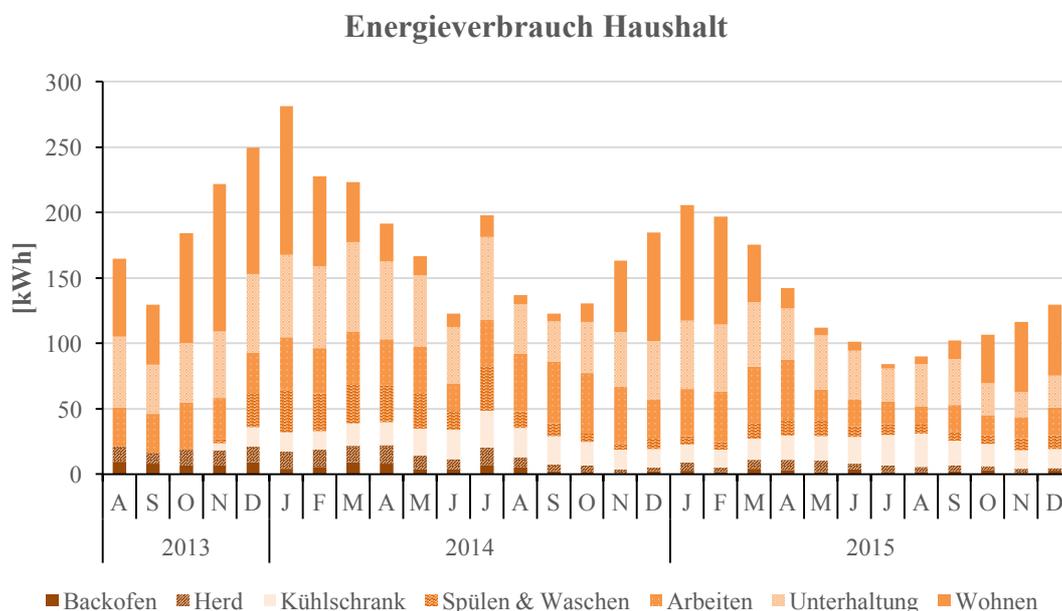


Abbildung 13: Energieverbrauch für den Bereich Haushalt

Ein ähnlicher saisonaler Trend ergibt sich für die Untergruppe Unterhaltung. In den Wintermonaten ist der Verbrauch tendenziell höher als im Sommer. Zu dieser Gruppe zählen u.a. die Stereo-Anlage und der Fernseher. Ihr Anteil am Stromverbrauch des Bereiches Haushalt liegt bei 28 %.

Die Verbrauchswerte des Kühlschranks bewegen sich zwischen 13 kWh und 28 kWh. Wobei auch beim Kühlschrank die Verbrauchsschwankung mit dem Verlauf der Jahreszeiten zusammen hängt. Der Stromverbrauch im Sommer ist signifikant höher als in den kalten Wintermonaten.

Zu dem Haushaltsbereich - mit einem Maximalen Verbrauch von 2 500 kWh pro Wohneinheit und Jahr - zählt nach Definition des BMVBS auch der gesamte Bereich der Beleuchtung. Mit einem Anteil von 6 % am gesamten Energiebedarf ist der Verbrauch der zweit kleinste hinter der Lüftungsanlage.

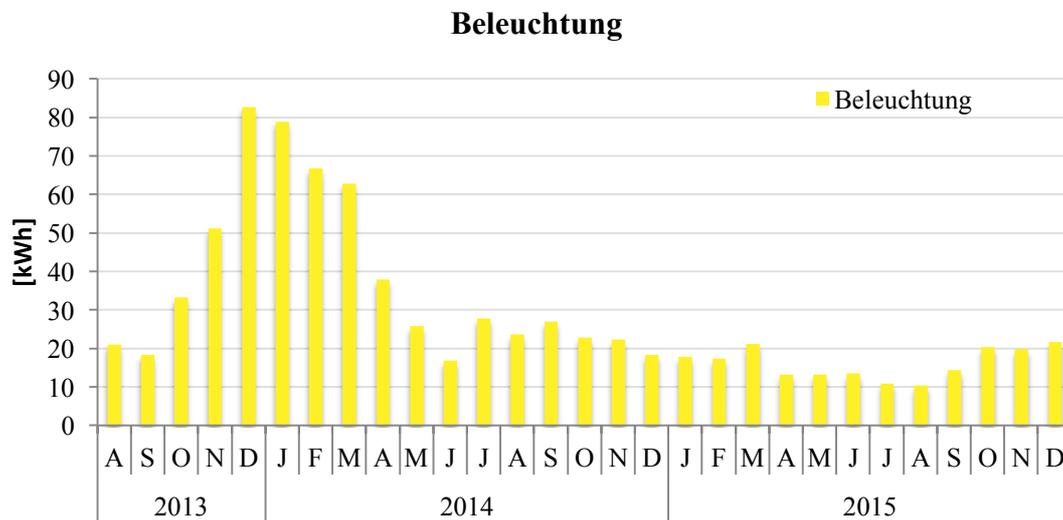


Abbildung 14: Energieverbrauch für den Bereich Beleuchtung

Der Stromverbrauch für die Beleuchtung ist insbesondere in den Wintermonaten hoch. Im Messzeitraum wurde mit einem Wert von 83 kWh am meisten Strom im Dezember 2013 verbraucht. Der geringste Verbrauch wurde im August 2015 mit 10 kWh gemessen.

Der Rückgang der Verbrauchswerte im Winter 2014/15 ist wahrscheinlich durch die reduzierte Bewohnerzahl und effizientere Leuchtmittel zu erklären.

6.3. STROMVERBRAUCH FÜR PROJEKTSPEZIFISCHEN ANTEIL

Der Stromverbrauch für das Monitoring liegt im Monatsschnitt über den gesamten Messzeitraum bei 40,87 kWh. Der niedrigste monatliche Verbrauch wurde im September 2013 mit 32,32 kWh gemessen. Der höchste monatliche Verbrauchswert liegt im Juli 2014 mit 50,04 kWh. Die Messgruppe Monitoring erfasst den Stromverbrauch für die Datenlogger inklusive der LAN-Kommunikationsmodule, die Wasserverbrauchssensoren, einen Switch, ein Router und ein NAS.

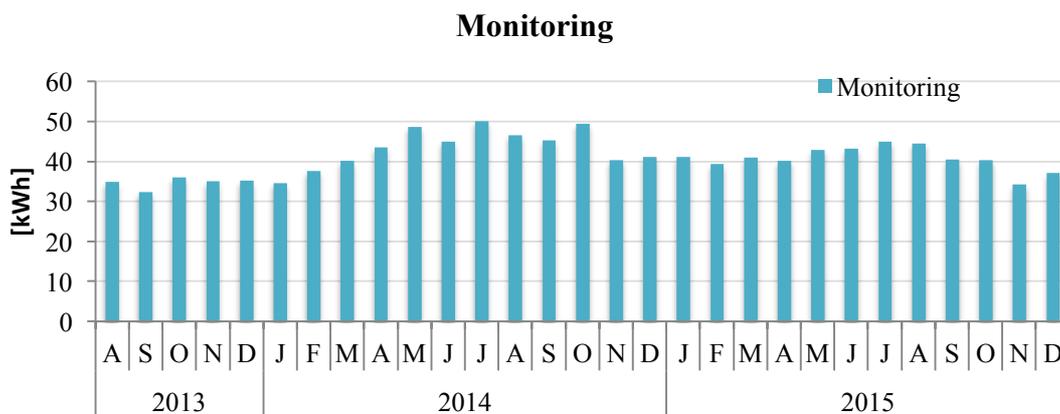


Abbildung 15: Energieverbrauch für den Bereich Monitoring

In den Sommermonaten erhöht sich der Verbrauch ein wenig. Ursächlich könnten die höheren Temperaturen im Sommer und damit eine erhöhte Lüfteraktivität der Messinstrumente sein. Im Kalenderjahr 2015 konnte der Verbrauch für das Monitoring im Mittel um 6 % gegenüber dem Vorjahr gesenkt werden. Dies ist auf ein Update des NAS und die damit verbundene automatische Abschaltung bei Inaktivität zurückzuführen.

6.4. STROMVERBRAUCH FÜR ELEKTROMOBILITÄT

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg verfügt nicht über ein elektrisch betriebenes Fahrzeug. Grundsätzlich steht der nicht selbstverbrauchbare Anteil der PV-Stromproduktion in Höhe von 26 026 kWh zur Ladung eines E-Pkws zur Verfügung. Der Akku eines E-Pkws könnte auch als Pufferspeicher für das Haus dienen und somit in einem begrenzten Umfang die Eigenstromnutzung erhöhen.

Die dena hat einen Stromverbrauch von 16,67 kWh pro 100 km gefahrener Strecke für einen E-Pkw errechnet (dena 2011: 11). Mit der überschüssigen, ins Netz eingespeisten Energie, hätte ein E-Pkw eine Strecke von 156 125 km zurücklegen können, diese würde jedoch hauptsächlich in den Sommermonaten liegen.

6.5. GEGENÜBERSTELLUNG VON STROMVERBRAUCH UND STROMGEWINNUNG

Im gesamten Messzeitraum wurden 29 683 kWh elektrischer Strom von der Photovoltaikanlage generiert. Dem gegenüber steht ein Gesamtstromverbrauch von 13 159 kWh. Die Photovoltaikanlage hat somit einen Überschuss von 16 524 kWh erzielt und könnte den Energieverbrauch des Hauses in dem Messzeitraum rein rechnerisch zu 226 % decken.

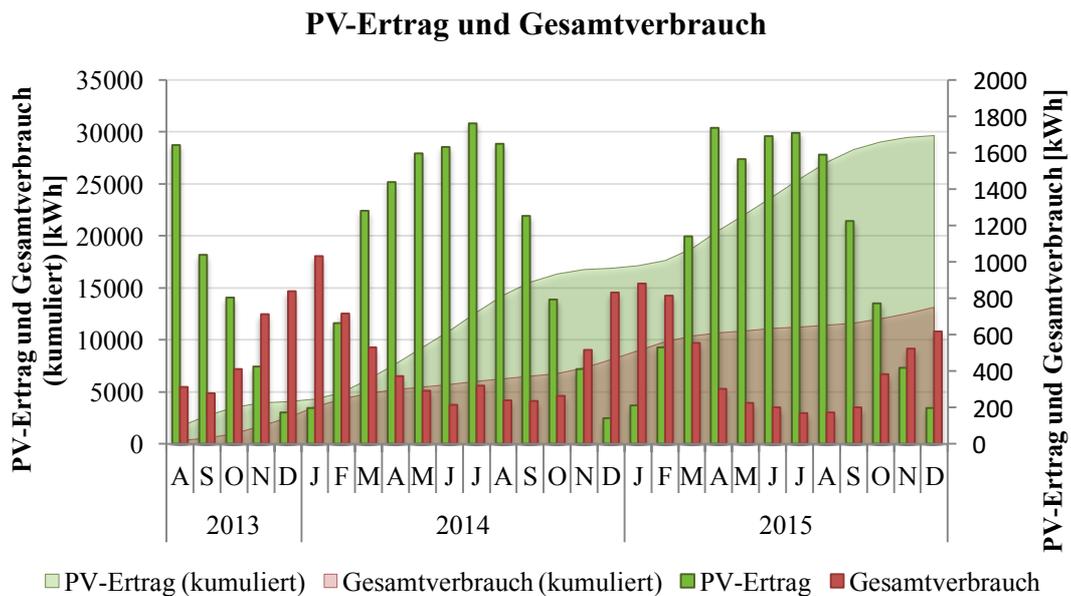


Abbildung 16: Gegenüberstellung von PV-Ertrag und Gesamtverbrauch

Mit Blick auf den Jahresverlauf fallen die Zeiten des hohen Energieverbrauchs in die Wintermonate, die ertragreichsten Monate der Stromproduktion liegen hingegen im Sommer. Im Hinblick auf die erfassten Zeiträume von März bis Oktober konnte der Monatsverbrauch theoretisch durch die jeweilige monatliche Stromproduktion der PV-Anlage gedeckt werden.

Die größte Menge an Strom wurde im Juli 2014 mit 1 762 kWh erzeugt. Die geringste Produktionsmenge wurde im Dezember 2014 mit 141 kWh gemessen. Im Durchschnitt wurden pro Monat 1 024 kWh Strom generiert.

6.6. EIGENSTROMNUTZUNG

Die Abb. 17 gibt mit der roten Linie den Stromverbrauch während des Messzeitraumes an. Die Balken geben Auskunft über die Stromquelle (Netzbezug oder eigener PV-Strom) die zur Deckung des jeweiligen Monatsbedarfs verwendet wurde.

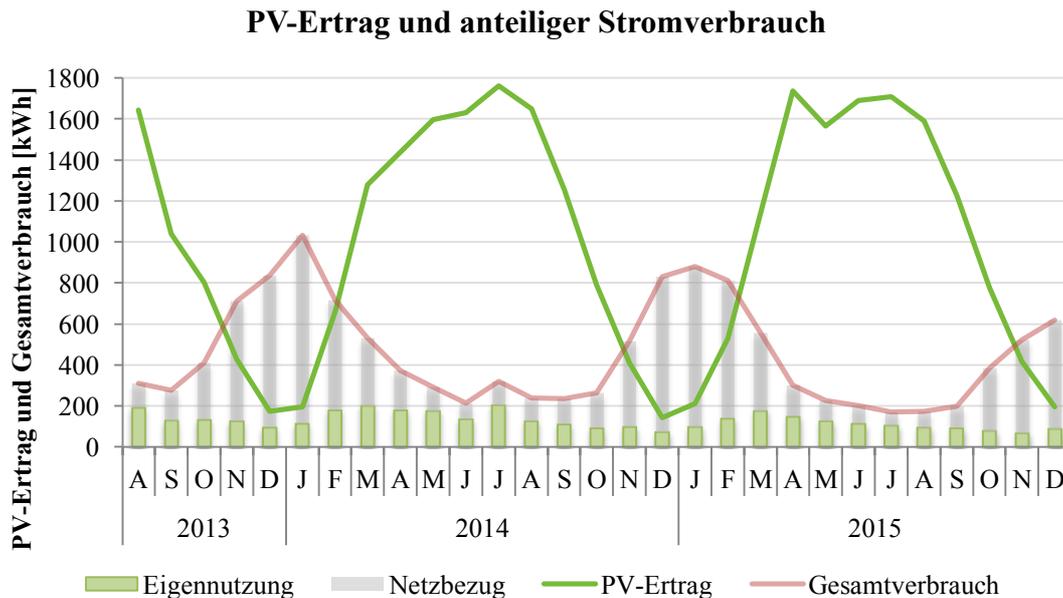


Abbildung 17: PV-Ertrag und anteiliger Energieverbrauch

Die grüne Linie gibt hingegen den gesamten Photovoltaikertrag eines Monats an. Der höchste absolute, als auch relative Anteil der Eigennutzung wurde im Juli 2014 mit einem Eigenstromverbrauch von 202 kWh (63 % des Stromverbrauchs des Monats) gemessen.

Der Anteil der Eigennutzung schwankt im Jahresverlauf im ähnlichen Maße wie der PV-Ertrag. Das hat verschiedene Gründe, zum einen sind die Tage im Sommer länger, so dass der Grundstrombedarf über den Tag länger von der eigenen PV-Produktion gedeckt werden kann. Zum anderen sind auch die Stromerträge zu jedem Zeitpunkt höher, so dass auch Verbrauchspitzen ohne Netzbezug aufgefangen werden können. Allerdings zeigt sich auch, dass selbst im Sommer in dem der Energieertrag den Energieverbrauch um mehr als das fünffache übersteigt, dennoch ein Netzbezug notwendig ist. Ein Grund dafür ist, dass die Durchlauferhitzer mit Drehstrom betrieben werden, der aufgrund der Anlagentechnik in dieser Stromstärke nicht im Haus produziert wird und somit zwingend aus dem Netz bezogen werden muss. Ein anderer Grund für den Netzbezug sind die Nachtaktivitäten der Bewohner, die zum Beispiel auf die Beleuchtung oder die Fernsehnutzung zurückzuführen ist. Allerdings muss ergänzt werden, dass auch die Messtechnik eine permanente Stromversorgung benötigt, um alle Messwerte zuverlässig zu jedem Zeitpunkt zu erfassen. Eine mögliche Maßnahme den Eigenstromverbrauch zu erhöhen, wäre der Einsatz eines angepassten Lastmanagements in Form einer Hausautomation.

6.7. WÄRMEERZEUGER

Die Heizungswärme wird mittels Infrartheizungen erzeugt. Um ein differenzierteres Bild der Verbrauchsursachen zu bekommen wurden die Stromverbräuche der Heizungen des Obergeschosses getrennt von denen des Erdgeschosses erfasst. Wie zu erwarten war, wird ausschließlich während der Wintermonate geheizt. Ab einer mittleren Außentemperatur von unter 12 °C wurde ein Stromverbrauch registriert.

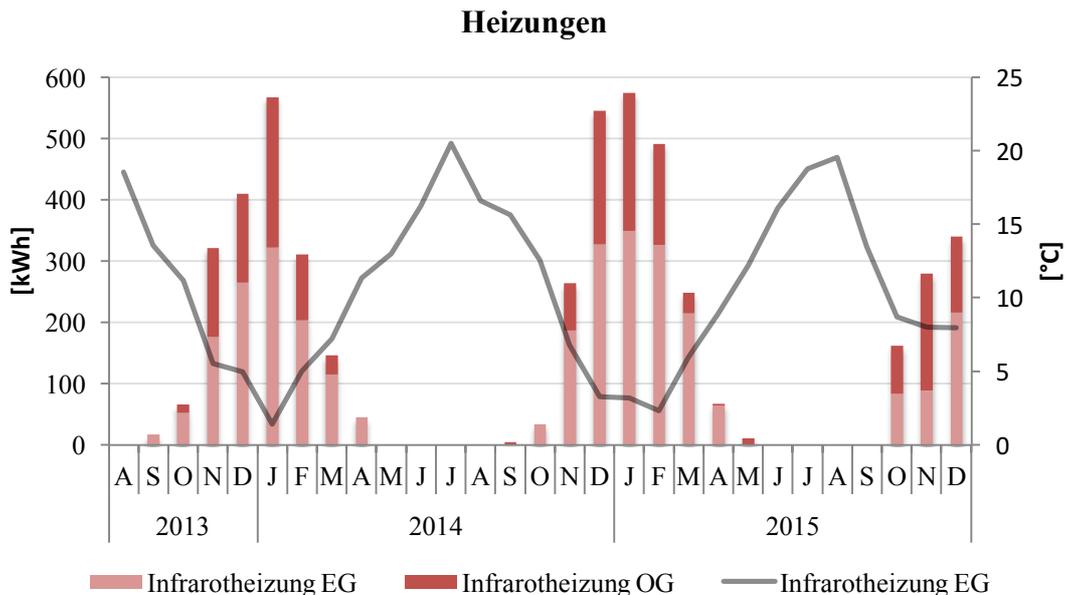


Abbildung 18: Außenlufttemperaturen und Energieverbrauch für den Bereich Heizungen

Bei einer mittleren Durchschnittsaußenlufttemperatur für die Monate Oktober bis März 2013/14 von 5,88 °C wurde ein kumulierter Stromverbrauch von 1 821 kWh gemessen. Für den gleichen Zeitraum im Winter 2014/15 wurde eine mittlere Durchschnittstemperatur von 5,67 °C und ein Stromverbrauch für die Heizung von 2 156 kWh erfasst. Werden die Monate Oktober bis Dezember verglichen, so weist das Jahr 2015 den durchschnittlich wärmsten Zeitraum auf, dementsprechend ist hier der Verbrauch auch im Vergleich zum Vorjahr um 7 % geringer bei einer durchschnittlich 0,69 °C höheren Außentemperatur.

Für das Kalenderjahr 2014 ergibt sich ein Gesamtstromverbrauch für die Heizung von 1 916 kWh. Prognostiziert wurden 3 969 kWh gemäß EnEV.³ Der tatsächliche

³ In der Nachweisführung von Dipl.-Ing. Strege wurde für die Heizenergie eine Summe von 4 413 kWh angegeben, darin enthalten sind allerdings auch die 444 kWh der Hilfsenergie, die herausgerechnet werden müssen.

Verbrauch lag also 52 % unterhalb der Prognose. Im Folgejahr lag der Verbrauch etwa 45 % unter der errechneten Prognose.

Der Warmwasserbedarf wird mittels Durchlauferhitzern an den einzelnen Zapfstellen gedeckt. Der Warmwasserverbrauch sinkt ab August 2013 bis November 2014 kontinuierlich. Der Durchschnittliche Stromverbrauch im Messzeitraum lag bei 47,21 kWh im Monat. Prognostiziert wurde gemäß EnEV ein mittlerer Verbrauch von 129 kWh pro Monat. Der höchste Verbrauch wurde im August 2013 mit 83 kWh gemessen. Von da an fällt der Verbrauch kontinuierlich, bis im November 2014 lediglich 20 kWh Strom für die Warmwasserversorgung verwendet wurde. Im Dezember 2014 und Januar 2015 steigt der Verbrauch wieder auf rund 36 kWh. Im Februar und März 2015 steigt der Verbrauch noch einmal auf 62 kWh bzw. 64 kWh. Danach folgt eine Verringerung über die Sommermonate wie im Jahr zuvor. Zum Winter steigt der Verbrauch erneut.

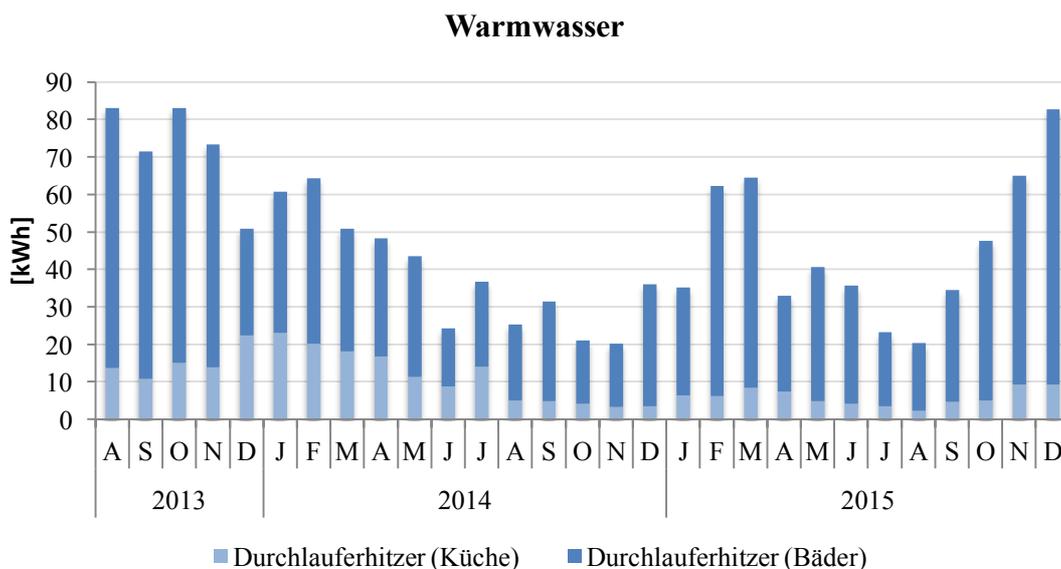


Abbildung 19: Energieverbrauch für den Bereich Warmwasser

Der Durchlauferhitzer in der Küche verbraucht im Monatsdurchschnitt 9,73 kWh Strom, während die anderen Entnahmestellen zusammen auf einen durchschnittlichen Wert von 36,49 kWh pro Monat kommen. Nutzerbedingte Schwankungen sind im Verbrauch zu erkennen. Außerdem zeigt sich eine deutliche Abnahme des Verbrauchs ab August 2014 bis März 2015 um im Durchschnitt 61 % im Vergleich zum vorherigen Zeitraum. Auffällig ist eine starke Zunahme des Energieverbrauchs im letzten Quartal 2015. Im Vergleich zum Vorjahr ist der Verbrauch um das zweieinhalbfache gestiegen.

6.8. LÜFTUNGSANLAGE

Der Energieverbrauch der Lüftungsanlage wird in der Messgruppe Hilfsenergie erfasst. Der Anteil am Gesamtstromverbrauch liegt im Messzeitraum bei lediglich 2 %. Der monatliche Stromverbrauch bewegt sich zwischen 5,6 kWh und 9,89 kWh. Ab Juni 2014 geht der Stromverbrauch um etwa 2 kWh pro Monat bis Juli 2015 zurück. Die Ursache liegt wahrscheinlich im Nutzerverhalten begründet durch eine Änderung der Luftwechselrate.

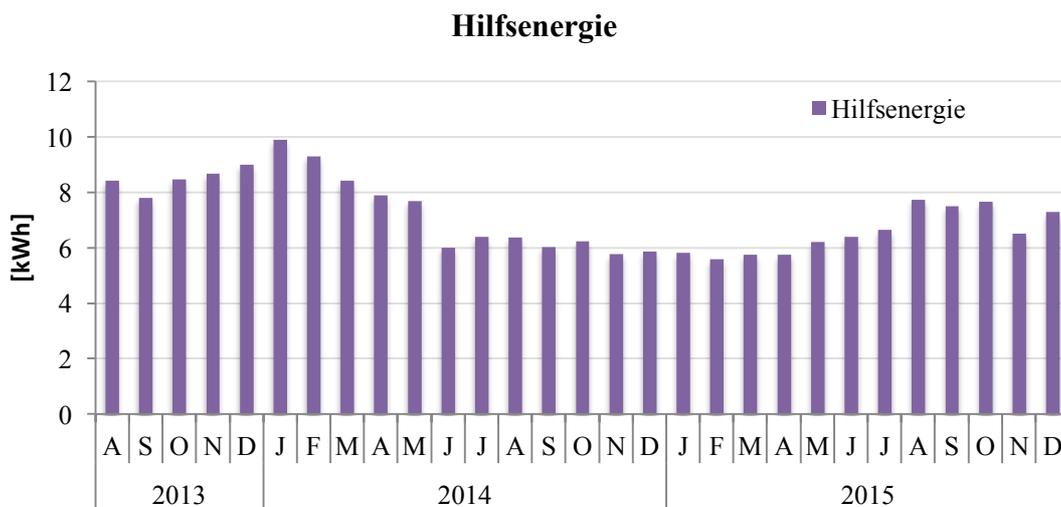


Abbildung 20: Energieverbrauch für den Bereich Hilfsenergie

Für die Hilfsenergie wurde in der Nachweisführung „Plus-Energie-Haus“ nach EnEV ein Wert von 444 kWh pro Jahr angesetzt. Tatsächlich wurde im Kalenderjahr 2014 ein Verbrauch von 86 kWh und im Folgejahr von 79 kWh gemessen. Der tatsächliche Verbrauch liegt also etwa 81 % unter der Prognose.

6.9. BILANZ DER END- UND PRIMÄRENERGIE

Die Bilanzierung der End- und Primärenergie ist in Abbildung 21 dargestellt. Für den Teil der Energie die eingespeist wurde, wurde ein Primärenergiefaktor von 2,8 zugrunde gelegt. Für den Netzbezug ist ein Wert von 2,4 für den Primärenergiefaktor verwendet worden.

Für das Jahr 2013 wurde von August bis Dezember ein Überschuss von 1 535 kWh Endenergie und 5 049,2 kWh Primärenergie festgestellt. Im Jahr 2014 wurde ein Überschuss von 7 243 kWh Endenergie und 21 837,2 kWh Primärenergie verzeichnet. Im Folgejahr beläuft sich der Überschuss auf 7 746 kWh Endenergie und 23 181,6 kWh Primärenergie.

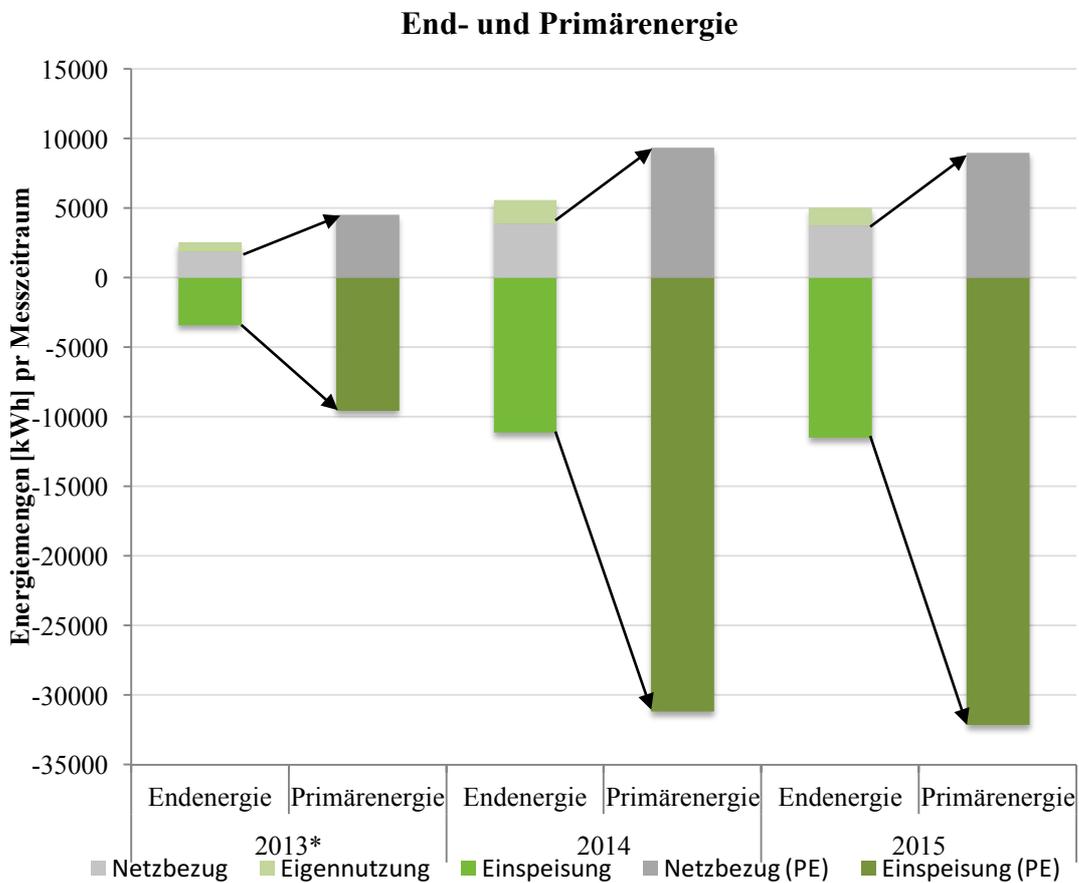


Abbildung 21: End- und Primärenergiebedarf

Im Jahr 2014 wurde etwa 70 % des Gesamtstromverbrauchs aus dem Netz bezogen, der übrige Teil wurde durch die PV-Anlage gedeckt. Demnach ergibt sich ein Primärenergiefaktor von 1,98. Für die Heizung, die Warmwasserbereitstellung und die Hilfsenergie fallen insgesamt 2 464,26 kWh an. Bezogen auf die Gebäudenutzfläche von 172,4 m² ergibt sich ein Endenergiebedarf von 14,29 kWh/m²a und ein

Primärenergiebedarf von 28,28 kWh/m²a. Im Vergleich zum prognostizierten Energiebedarf nach DIN V 18599 (Energiebedarf 15,2 kWh/m²a und Primärenergiebedarf 39,5 kWh/m²a) sind die gemessenen Werte geringer. Dies ist zum einen auf den milden Winter und zum anderen auf einen größeren Anteil an Eigenstromnutzung zurückzuführen.

Im Folgejahr wurde ein vergleichsweise größerer Teil von 74 % des Gesamtstromverbrauchs aus dem Netz bezogen, lediglich 26 % konnten über die PV-Anlage direkt verwendet werden. Der Primärenergiefaktor ist mit einem Wert von 2,04 höher, da ein größerer Teil aus dem Netz bezogen wurde. Der Energiebedarf für das Haus setzt sich wie oben beschrieben aus den drei Bereichen Heizung, Warmwasser und Hilfsenergie zusammen und summiert sich im Jahr 2015 auf 2 795,70 kWh. Der Endenergiebedarf pro m² und Jahr beläuft sich somit auf 16,22 kWh. Der Primärenergiebedarf beträgt 33,02 kWh/m²a. Auch im Kalenderjahr 2015 werden die prognostizierten Werte unterschritten.

6.10. INNENRAUMTEMPERATUREN SOMMER

Die Innenraumtemperatur wurde jeweils separat für das Obergeschoss und das Erdgeschoss in 1,7 m Höhe aufgezeichnet und wird an dieser Stelle exemplarisch anhand der Daten für den Sommer 2014 dargestellt.

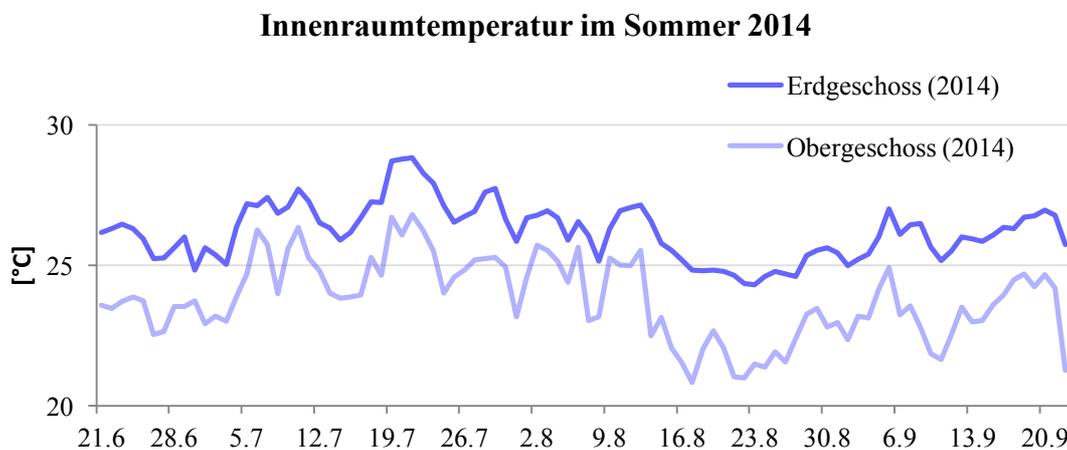


Abbildung 22: Innenraumtemperatur im Sommer 2014

Die Temperatur im Erdgeschoss ist im Mittel 2,42 °C wärmer als die Temperatur im Obergeschoss. Die Temperaturen bewegen sich im Bereich zwischen 20,83 und 28,85 °C. Trotz einiger Abweichungen lässt sich ein gemeinsamer Trend erkennen. So erreicht die Innenraumtemperatur am 19.07.2014 ein Hoch sowohl im Erdgeschoss als auch im Obergeschoss (vgl. Abbildung 22).

6.11. INNENRAUMTEMPERATUREN WINTER

Die Innenraumtemperatur im Winter liegt im Erdgeschoss zu fast jedem Zeitpunkt unterhalb der minimalen Innenraumtemperatur des Sommers. Der Unterschied beträgt für das Erdgeschoss im Mittel 3,99 °C. Ähnlich wie bei der Innenraumtemperatur im Sommer lässt sich auch im Winter ein ähnlicher Verlauf der Temperaturen im Erdgeschoss und im Obergeschoss erkennen. Dennoch sind im Winter häufiger Abweichungen von dem gemeinsamen Trend erkennbar als im Sommer. So kommt es zum Beispiel am 16.02.2015 zu einer Steigerung der Innenraumtemperatur im Obergeschoss um 3,13 °C, im Erdgeschoss indes kam es zu einem leichten Reduktion der Temperatur um 0,21 °C (vgl. Abbildung 23).

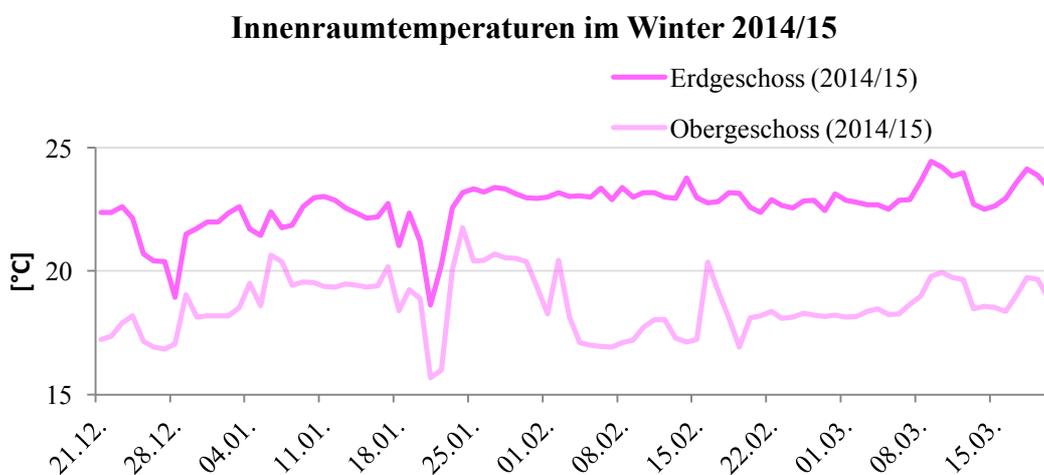


Abbildung 23: Innenraumtemperatur im Winter 2014/15

7. KOSTEN UND WIRTSCHAFTLICHKEIT

Bei der Planung und dem Bau des Effizienzhaus⁺ Lüneburg standen neben dem wohngesunden Klima und der Regionalität der Baustoffe vor allem die Wirtschaftlichkeit und die Effizienz im Vordergrund. Anders als bei vielen Alternativprojekten, ging es neben der Erreichung des Plus-Standards vor allem darum, die höheren Baukosten, die ein solches Haus mit sich bringt, möglichst gering zu halten. Zwar sind die laufenden Kosten eines Effizienzhaus⁺ in der Regel günstiger als bei einem normalen EnEV 2009 Haus, dennoch kann es in der Praxis schwierig sein, diese höhere Investitionssumme beim Bau aufzubringen.

Im Vergleich zu einem Haus, welches den EnEV 2009 Standard erreicht, sind die Baukosten für das Effizienzhaus⁺ Lüneburg um 31 770 € höher. Die Mehr- und die Minderkosten der einzelnen Bauteile sind in Tabelle 4 aufgeführt. Die Angaben stammen von dem Architekten Dimke und dem Bauherren.

Tabelle 4: Mehrinvestitionskosten

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Effizienzhaus-Plus-Standard	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt.
Außenwand	0,28 W/(m2K)	0,12 W/(m2K)	+ 7 600 €
Dach	0,20 W/(m2K)	0,12 W/(m2K)	+ 3 800 €
Bodenplatte	0,35 W/(m2K)	0,17 W/(m2K)	+ 4 700 €
Fenster	1,30 W/(m2K)	0,80 W/(m2K)	+ 2 200 €
Heizung/ Warmwasser	Gas-Brennwertkessel inkl. Speicher	Infrarotheizungen, Durchlauferhitzer ohne Speicher	- 9 600 €
Solarthermie	Vorhanden	Keine	- 3 600 €
Lüftungsanlage	Mit Wärmerückgewinnung	Mit Wärmerückgewinnung	0 €
Photovoltaik	Keine	64,7 m2 Modulfläche (12,6 kWp)	+ 26 300 €
Beleuchtung	Standard	LED-Beleuchtung	+ 100 €
Geräte	Standard	sparsame Geräte (Induktionsherd)	+ 270 €
Mehrinvestitionskosten			+ 31 770 €

Die Mehrkosten für die Gebäudehülle sind auf niedrigere Wärmedurchgangskoeffizienten zurückzuführen. Dabei sind die Mehrkosten, in Höhe von 18 300 €, im Vergleich zu anderen Effizienzhaus+ - Projekten recht moderat. Hintergrund dafür ist die Holzständerwerkbauweise des Hauses. Sie ermöglicht es sehr gute Wärmedurchgangskoeffizienten zu erreichen - mit gleichzeitig vergleichsweise geringen Mehrinvestitionskosten.

Im Bereich der Heizungsanlage und Warmwasserbereitung wird aufgrund von geringeren Bauteil- und Installationskosten ein Betrag in Höhe von 13 200 € eingespart. Auf eine Solarthermieanlage wurde aus Gründen der Simplizität des Konzeptes verzichtet; außerdem werden so mögliche Wartungskosten vermieden. Die installierten Infrarotheizungen sind effizient, wartungsarm und platzsparend.

Für die Brauchwasserversorgung werden dezentral an jeder Entnahmestelle Durchlauferhitzer betrieben, die bedarfsorientiert Warmwasser zur Verfügung stellen. Die dezentrale Installation ermöglicht den Wegfall der sonst vorhandenen Warmwasserleitung. Dadurch werden sowohl Energieverluste während des Transportes reduziert, als auch Investitions- und spätere Wartungskosten verringert.

Die installierte Indachphotovoltaikanlage auf der Südseite benötigt keine Dachziegel und spart somit auch Ressourcen und Kosten gegenüber einer Aufdach-Montage der Photovoltaikanlage.

Dennoch sind die Mehrkosten in Höhe von 26 300 € im Vergleich der größte Mehrkostenfaktor. Notwendig ist die Anlage, um den Überschuss an Primär- und

Endenergie eines Effizienzhauses Plus zu erreichen. Die Photovoltaikanlage lohnt sich nicht nur aus ökologischer Sicht, sondern erwirtschaftet mit der Einspeisung der nicht selbstverbrauchten Energie auch aus ökonomischer Sicht einen Überschuss.

Bis dato ist keine Batterie zur Speicherung des erzeugten Stroms installiert, dies ist jedoch in Zukunft denkbar, um die Eigennutzung zu erhöhen und das allgemeine Stromnetz zu entlasten. Die Mehrkosten im Bereich der Beleuchtung sind relativ gering. Da LEDs immer günstiger werden, ist dieser Kostenpunkt mit 100 € Mehrkosten nahezu zu vernachlässigen. Bei den Elektrogeräten wurde lediglich der Induktionsherd als zusätzlicher Mehrkostenfaktor in die Berechnung miteinbezogen, da dieser nicht als Standardausrüstung anzusehen ist.

Im Jahr 2014 wurde der eingespeiste Strom mit insgesamt 1 800 € vergütet. Dem gegenüber stand beim Verbrauch eine Summe von 960 € für den aus dem Netz bezogenen Strom. Insgesamt ergibt sich folglich ein jährlicher Überschuss von 840 €.

Im Folgejahr lag die Vergütung bei 1 836 €. Demgegenüber stand ein Verbrauch von 921 € was zu einem Überschuss von 915 € führte. Im Mittel ergibt sich ein Überschuss von 878 € pro Jahr.

Der erzielte Überschuss wird - sofern sich der selbstgenutzte Stromanteil nicht steigert - in den Folgejahren schrumpfen. Die Einspeisevergütung ist zwar für 20 Jahre garantiert, für den aus dem Netz bezogenen Strom sind allerdings Preissteigerungen wahrscheinlich.

Neben diesen direkt bezifferbaren Vorteilen, sind in eine umfassende Berechnung allerdings auch die Energieeinsparungen einzubeziehen, die aus der besseren Wärmedämmung resultieren. Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg benötigt - unter Beachtung der Messwerte aus den Jahren 2014 und 2015 – 15,29 kWh/m²a an Energie. Im Vergleich zu einem KfW-Effizienzhaus 85 mit einem Grenzwert gemäß EnEV 2009 von 55 kWh/m²a, beträgt der Heizwärmebedarf des Effizienzhaus⁺ Lüneburg lediglich 27,8 % des KfW-Effizienzhaus 85. Daraus ergibt sich eine Heizkostensparnis in Höhe von 6 830 kWh. Bei Stromkosten von 0,27 € pro kWh (Arbeitspreis) ergeben sich 1 844 € Einsparungen.

Unterm Strich spart das Effizienzhaus⁺ Lüneburg 2 684 € an Kosten im Jahr ein. Setzt man diese jährliche Einsparung in Bezug zu den Mehrkosten ergibt sich bei einer statischen Amortisationsrechnung ohne Berücksichtigung von Zinsen eine Vollamortisation nach 12 Jahren.

Das Effizienzhaus⁺ Lüneburg zeigt auf, dass die Investition in das Effizienzhaus⁺ Lüneburg aus wirtschaftlicher Sicht bereits nach vergleichsweise kurzer Zeit sinnvoller sein kann, als die Investition in ein typisches Haus nach EnEV 2009. Die tatsächliche Wirtschaftlichkeit, hängt aber von den schwankenden Energiepreisen und dem Nutzerverhalten ab, daher sind erst im Nachhinein sichere Aussagen zur Vorteilhaftigkeit zu treffen.

8. BEWERTUNG

8.1. ENERGIEEFFIZIENZ DES MODELLGEBÄUDES

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Energieverbrauchswerte (gemäß Kapitel 0) mit den vorher prognostizierten Bedarfswerten (gemäß Kapitel 3.5) zeigt, dass die Verbrauchswerte für das Jahr 2014 in allen Bereichen, bis auf den Bereich Haushalt, deutlich unter den prognostizierten Werten liegen.

Tabelle 5: Vergleich zwischen Prognose und Messung zentraler Verbrauchswerte für das Jahr 2014

	Verbrauchswerte 2014 (Prognose) in kWh/a	Verbrauchswerte 2014 (Messung) in kWh/a	Relative Abweichung der tatsächlichen Verbräuche von der Prognose (in %)
Heizenergie	3969	1916	- 51,73 %
Warmwasser	1549	463	- 70,11 %
Hilfsenergie	444	86	- 80,63 %
Haushalt und Beleuchtung	2500	2581	+ 3,24 %
Σ	8462	5046	- 40,37 %

Insgesamt wurde ein Jahresverbrauch von 8 462 kWh Strom prognostiziert. Der gemessene Verbrauch lag mit 5 046 kWh allerdings rund 40 % unter der Prognose. Einzig der Verbrauch für die Beleuchtung und die Haushaltsanwendungen lag mit 2 581 kWh rund 3 % über der Prognose.

Das Betriebsjahr 2015 unterscheidet sich nicht wesentlich von dem Vorjahr, lediglich der Bereich Haushalt vermerkt einen noch geringeren Verbrauch, was zu einer noch höheren relativen Abweichung führt. Der gemessene Verbrauch im Kalenderjahr 2015 liegt bei 4 554 kWh und somit rund 46 % unter der Prognose.

Tabelle 6: Vergleich zwischen Prognose und Messung zentraler Verbrauchswerte für das Jahr 2015

	Verbrauchswerte 2015 (Prognose) in kWh/a	Verbrauchswerte 2015 (Messung) in kWh/a	Relative Abweichung der tatsächlichen Verbräuche von der Prognose (in %)
Heizenergie	3969	2172	- 45,28 %
Warmwasser	1549	545	- 64,82 %
Hilfsenergie	444	79	- 82,21 %
Haushalt und Beleuchtung	2500	1758	- 29,68 %
Σ	8462	4554	- 46,18 %

Zieht man zu der Betrachtung die prognostizierten und die gemessenen Werte der PV-Produktion hinzu, zeigt sich, dass die durchschnittliche Stromproduktion für die Kalenderjahre 2014 und 2015 mit 12 800 kWh die Prognose mit einem Wert von 12 144 kWh um rund 5,4 % übertroffen hat.

Bei einer Ausweitung der Betrachtung auf den gesamten Messzeitraum von August 2013 bis Dezember 2015 bestätigt sich das Bild weitgehend. Der Energieverbrauch war um 42 % niedriger als prognostiziert.

Tabelle 7: Vergleich zwischen Prognose und Messung zentraler Verbrauchswerte für den Messzeitraum

	Verbrauchswerte 08.13 – 12.15 (Prognose) in kWh/a	Messzeitraum 08.13 - 12.15 (Messung) in kWh/a	Relative Abweichung der tatsächlichen Verbräuche von der Prognose (in %)
Heizenergie	9630	4901	- 49,10 %
Warmwasser	3748	1369	- 63,47 %
Hilfsenergie	1110	207	- 81,34 %
Haushalt und Beleuchtung	6042	5496	- 9,03 %
Σ	20530	11974	- 41,68 %

Der Heizenergieverbrauch liegt 49 % unter dem prognostizierten Wert. Bei der Prognose für den Warmwasserverbrauch ist der tatsächlich verbrauchte Wert 63 % unterhalb der Prognose. Rund 81 % weniger Energie wurde für die Lüftung verbraucht als prognostiziert wurde. In der Betrachtung des gesamten Messzeitraumes wurde auch im Bereich Haushalt und Beleuchtung rund 9 % weniger Energie benötigt, als veranschlagt war. Nutzerverhalten und Effizienz Steigerungen im Bereich der Beleuchtung konnten hier Energie einsparen.

Allerdings ist festzuhalten, dass die Winter im Messzeitraum milder waren als im langfristigen Mittel für diese Klimazone normal wäre. So ergibt sich ein $GTZ_{20/15}$ von 7899 Kd, während ein Wert von 8929 Kd – rund 13 % höher dem langjährigen Mittel entsprechen würde. Dadurch lässt sich ein Teil des geringeren Heizenergiebedarfes erklären.

8.2. VERBESSERUNGSPOTENZIALE

Die Installation einer Anlage zur Hausautomation könnte zu einer Effizienzsteigerung, sowohl was den Gesamtenergieverbrauch, als auch was die Erhöhung des Eigenstromanteils angeht beitragen. Die Bewohner besitzen bereits ein hohes Umweltbewusstsein, dennoch könnte eine Hausautomation mit den Mitteln des Lastmanagements ein bisher ungenutztes Potential erschließen und die Bewohner in Teilen entlasten. Neben dieser Funktion bietet eine umfassende Hausautomationsanlage

auch den Vorteil, dass wichtige Verbrauchswerte dem Bewohner zeitnah und ohne viel Aufwand zur Verfügung gestellt werden. Dies kann zu einem erhöhten Energiebewusstsein beim Verbraucher führen und das Nutzerverhalten positiv beeinflussen.

Bei einer Koppelung der Hausautomation mit einem Akku, wäre eine weitere Steigerung des Eigenstromanteils möglich. Außerdem würde das öffentliche Stromnetz weiter entlastet.

LITERATURVERZEICHNIS

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2011): Anlage 1: Wohnhäuser mit Plus-Energie Niveau - Definition und Berechnungsmethode (nicht barrierefrei) Unter:

http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/BauenUndWohnen/Bauen/anlage-1-definition_und_berechnungsgrundlage.pdf?__blob=publicationFile (Stand: 30.04.2015).

Deutsche Energie-Agentur (dena) (2011): Erdgas und Biomethan im künftigen Kraftstoffmix. Handlungsbedarf und Lösungen für eine beschleunigte Etablierung im Verkehr. Unter:

http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Verkehr/Dokumente/Erdgas_und_Biomethan_im_kA1_4nftigen_Kraftstoffmix.pdf (Stand: 30.04.2015).

ANHANG A

Tabelle 8: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch.

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Monitorin g [kWh]	Summe Haus- verbrauch [kWh]
	Netzbezug [kWh]	PV-Ertrag [kWh]	PV- Einspeisung	PV-Eigen- verbrauch [kWh]	Heizung [kWh]	Durchlauf- erhitzer [kWh]	Lüftung [kWh]	Beleuchtung [kWh]	Haushalts- geräte [kWh]			
Aug 13	121,00	1643,00	1452,00	191,00	0,00	83,04	8,43	20,97	164,63	34,93	312,00	
Sep 13	149,00	1038,00	910,00	128,00	17,38	71,51	7,79	18,30	129,70	32,32	277,00	
Okt 13	279,00	803,00	671,00	132,00	65,80	82,97	8,47	33,25	184,45	36,07	411,00	
Nov 13	587,00	426,00	302,00	124,00	321,12	73,30	8,69	51,10	221,79	35,01	711,00	
Dez 13	742,00	173,00	78,00	95,00	409,38	50,87	9,00	82,67	249,87	35,22	837,00	
Jan 14	919,00	196,00	82,00	114,00	567,52	60,68	9,89	78,86	281,43	34,62	1033,00	
Feb 14	538,00	662,50	484,00	178,50	310,68	64,26	9,30	66,76	227,83	37,67	716,50	
März 14	333,00	1279,70	1081,00	198,70	146,14	50,81	8,42	62,75	223,42	40,16	531,70	
Apr 14	195,00	1436,80	1258,00	178,80	44,84	48,28	7,89	37,88	191,40	43,50	373,80	
Mai 14	119,20	1596,04	1422,50	173,54	0,00	43,60	7,69	25,81	166,93	48,71	292,74	
Juni 14	80,80	1630,96	1496,50	134,46	0,00	24,36	6,02	16,92	122,99	44,98	215,26	
Juli 14	117,00	1762,10	1560,00	202,10	0,00	36,75	6,40	27,85	198,07	50,04	319,10	
Aug 14	114,00	1649,80	1525,00	124,80	0,00	25,28	6,38	23,71	136,89	46,55	238,80	
Sep 14	126,00	1253,60	1143,00	110,60	4,02	31,48	6,03	26,92	122,91	45,24	236,60	
Okt 14	172,00	791,50	700,00	91,50	33,52	21,12	6,25	22,75	130,42	49,43	263,50	
Nov 14	418,33	410,67	313,33	97,33	263,53	20,15	5,77	22,39	163,42	40,40	515,67	
Dez 14	759,67	141,33	69,67	71,67	545,29	36,03	5,88	18,29	184,77	41,08	831,33	
Jan 15	784,00	212,00	116,00	96,00	574,05	35,25	5,81	17,82	205,97	41,10	880,00	
Feb 15	674,00	530,00	391,00	139,00	491,40	62,20	5,60	17,28	197,11	39,41	813,00	
März 15	382,00	1142,00	968,00	174,00	248,01	64,51	5,76	21,24	175,59	40,89	556,00	
Apr 15	153,00	1738,00	1590,00	148,00	66,62	33,04	5,75	13,25	142,14	40,20	301,00	
Mai 15	102,00	1566,00	1442,00	124,00	10,55	40,71	6,21	13,29	112,31	42,93	226,00	
Juni 15	86,00	1690,00	1576,00	114,00	0,00	35,67	6,40	13,61	101,15	43,17	200,00	
Juli 15	68,00	1708,00	1606,00	102,00	0,00	23,21	6,65	10,88	84,33	44,93	170,00	
Aug 15	80,00	1591,00	1498,00	93,00	0,00	20,31	7,73	10,38	90,11	44,46	173,00	
Sep 15	108,00	1226,00	1135,00	91,00	0,00	34,44	7,50	14,39	102,24	40,43	199,00	
Okt 15	306,00	773,00	695,00	78,00	161,36	47,67	7,67	20,29	106,72	40,29	384,00	
Nov 15	457,00	417,00	352,00	65,00	279,69	65,04	6,51	19,91	116,58	34,26	522,00	
Dez 15	532,00	196,00	109,00	87,00	340,40	82,69	7,29	21,70	129,76	37,16	619,00	
Summe	9502,00	29683,00	26026,00	3657,00	4901,30	1369,23	207,17	831,23	4664,91	1185,15	13159,00	

ANHANG B

Tabelle 9: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen und relativen Raumluftfeuchten im EG und OG.

Monat	Raumlufttemperatur		relative Raumluftfeuchtigkeit	
	EG [°C]	OG [°C]	EG [%]	OG [%]
Aug 13	25,63	23,16	-	-
Sep 13	25,56	22,64	-	46%
Okt 13	23,57	21,80	-	53%
Nov 13	22,08	18,42	-	52%
Dez 13	21,40	18,32	-	49%
Jan 14	22,30	18,15	-	47%
Feb 14	23,41	18,48	42%	48%
März 14	23,38	19,43	41%	47%
Apr 14	24,37	21,41	41%	49%
Mai 14	24,62	22,38	45%	49%
Juni 14	26,47	24,84	45%	47%
Juli 14	27,00	24,84	51%	58%
Aug 14	25,63	23,16	51%	55%
Sep 14	25,56	22,64	51%	58%
Okt 14	23,57	20,80	51%	60%
Nov 14	22,08	18,56	50%	60%
Dez 14	21,40	17,29	46%	54%
Jan 15	22,30	19,40	45%	51%
Feb 15	22,97	17,96	43%	50%
März 15	23,19	18,85	44%	50%
Apr 15	24,05	20,93	42%	48%
Mai 15	23,40	21,22	44%	46%
Juni 15	24,45	23,18	45%	46%
Juli 15	25,66	24,01	49%	53%
Aug 15	26,77	25,45	51%	55%
Sep 15	23,82	21,31	51%	57%
Okt 15	22,49	18,73	50%	57%
Nov 15	22,15	18,27	52%	60%
Dez 15	21,61	18,01	51%	60%
Summe	690,90	603,65		