

Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 26

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus
Schlagmann
in Burghausen

Forschungsprogramm

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

Messperiode

Februar 2014 bis Januar 2016

Aktenzeichen

SWD - 10.08.82-12.8

im Auftrag

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

bearbeitet von

Raphaela Pagany, B.Sc., M.A.
Josef Pauli Dipl.-Ing. (FH)
Prof. Dr. Wolfgang Dorner



MONITORING

Messperiode 2 Jahre: 01.02.2014 bis 31.01.2016

SCHLAGMANN
POROTON

EFFIZIENZHAUS PLUS

von Schlagmann / BayWa in
Raitenhaslach (Burghausen)
Monitoring durch den
Technologie Campus Freyung,
Technische Hochschule
Deggendorf

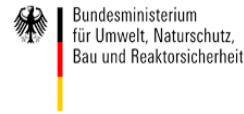
Auftraggeber: Schlagmann
Poroton GmbH & Co. KG
März 2016



Technologie Campus
Freyung

Förderung:

Gefördert wird das Projekt über die Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

**Impressum**

Projektlaufzeit 2014 – 2016

Monitoring und wissenschaftliche Begleitung durch:

Technologie Campus Freyung
Angewandte Energieforschung
Grafenauerstr. 22
94078 Freyung
Tel: 08551 917 6427
tcf.energie@th-deg.de
www.tc-freyung.th-deg.de

Mitarbeiter:

Raphaela Pagany, B.Sc., M.A., Josef Pauli Dipl.-Ing. (FH), Prof. Dr. Wolfgang Dorner

Projektbeteiligte**Copyright**

Die in dieser Studie enthaltenen Informationen und Inhalte unterliegen den geltenden Urhebergesetzen. Unautorisierte Nutzung sowie jedwede Weitergabe an Dritte sind nur nach Rücksprache mit dem Verfasser oder dem Auftraggeber der Studie gestattet.

Inhalt

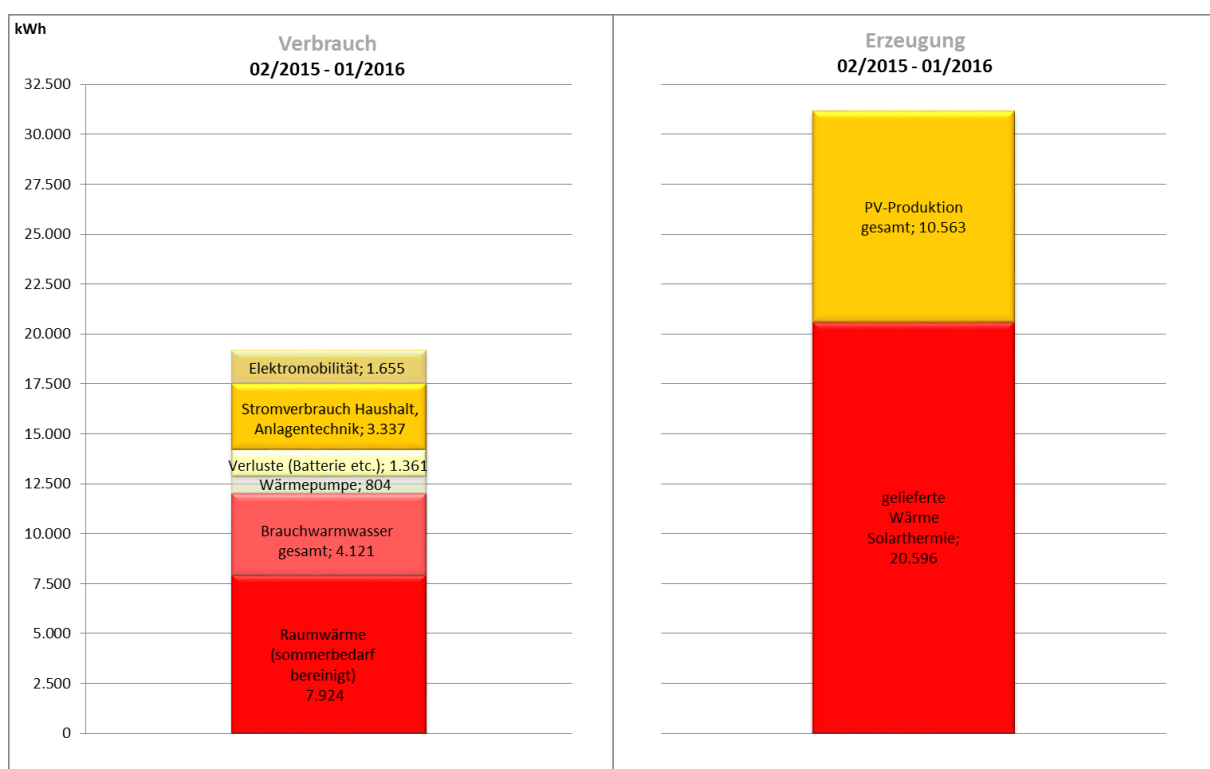
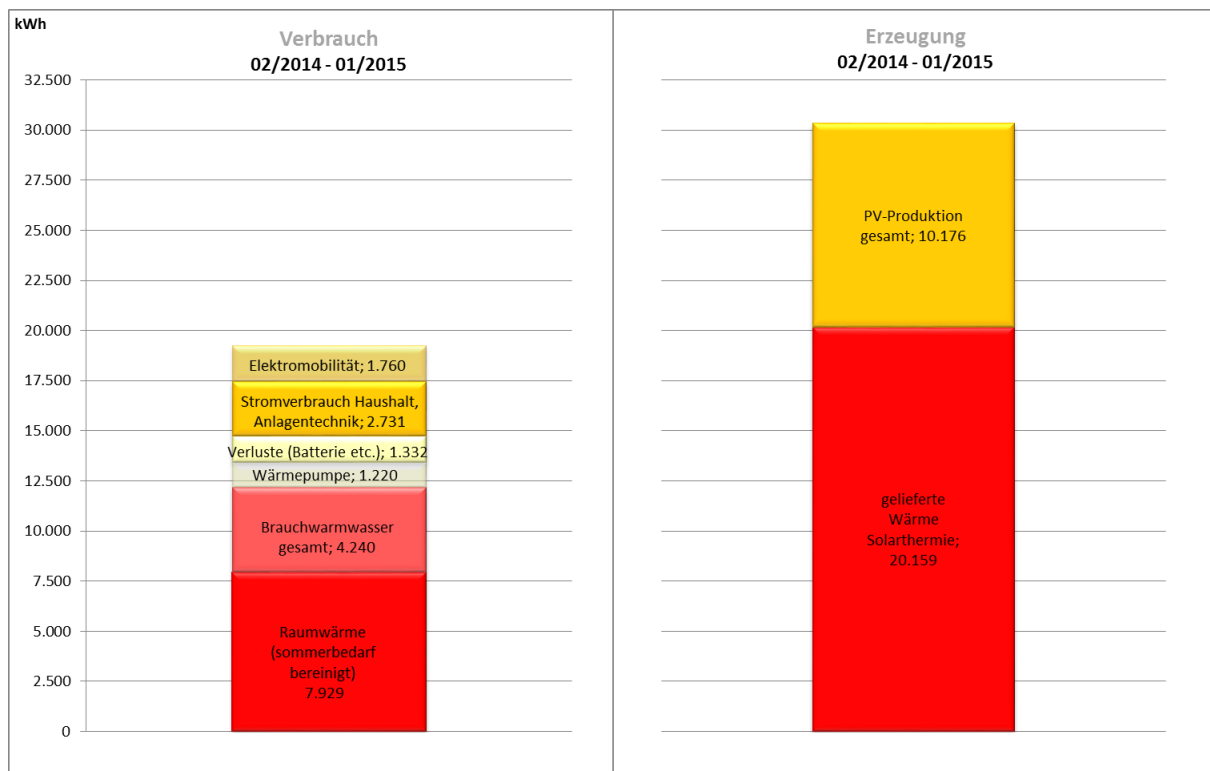
1	Kurzfassung	4
2	Kontext und Zielsetzung	6
3	Das Gebäude	7
3.1	Allgemeine Daten	7
3.2	Architektur.....	8
3.3	Wärmeschutz.....	8
3.4	Anlagentechnik.....	9
3.5	Energiebedarf und Energiedeckung	11
3.6	Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599.....	12
4	Monitoring	13
4.1	Messkonzept	13
4.2	Verwendete Messtechnik.....	13
4.3	Dokumentation.....	13
5	Meteorologische Randbedingungen	15
5.1	Solarstrahlung.....	15
5.2	Außenlufttemperaturen	15
5.3	Klimabereinigung.....	16
6	Messergebnisse	17
6.1	Stromverbrauch.....	17
6.1.1	Stromverbrauch für Hausbetrieb	17
6.1.2	Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil	18
6.1.3	Stromverbrauch für Elektromobilität	20
6.1.4	Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung	20
6.2	Eigenstromnutzung	22
6.3	Anlagenperformance.....	23
6.3.1	Wärmeerzeuger.....	23
6.3.2	Lüftungsanlage	23
6.4	Innenraumtemperaturen Sommer.....	23

6.5	Innenraumtemperaturen Winter	23
6.6	Zusammenfassung.....	24
7	Kosten und Wirtschaftlichkeit.....	25
7.1	Baukosten und laufende Kosten	25
7.2	Kosten Geräte.....	25
8	Bewertung	26
8.1	Energieeffizienz des Modellgebäudes.....	26
8.2	Verbesserungspotential	29
8.3	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit	30
8.4	Fazit	31
9	Anhang	32

1 Kurzfassung

Der vorliegende Bericht umfasst Gebäudedaten des „Effizienzhaus Plus“ in Raitenhaslach, Burghausen in Oberbayern, Messergebnisse zu Energieerzeugung, -speicherung und -verbrauch sowie deren Auswertung für das erste und zweite Messjahr.

Das Monitoring wurde über den gesamten Zeitraum (von 1. Februar 2014 bis 31. Januar 2016) vom Technologie Campus Freyung der Technischen Hochschule Deggendorf wissenschaftlich begleitet und analysiert. Im ersten wie auch im zweiten Monitoringjahr ist sowohl die elektrische als auch die thermische Energieerzeugung bilanziell deutlich höher als die verbrauchte Wärme- und Strommenge.



Im ersten Untersuchungsjahr wurden 12.169 kWh an thermischer Energie für Raumheizung und Warmwasser benötigt und 7.043 kWh an elektrische Energie für den Nutzer (Beleuchtung, Kochen und Elektrogeräte), für Anlagen- und Heizungstechnik, Batterie und sonstige Verluste sowie für die Elektromobilität. (Eine genauere Auswertung folgt im Kapitel 6.)

Thermischer und elektrischer Energieverbrauch im 1. Jahr

Monitoring 1. Jahr	Raum- heizung	Warm- wasser	Licht	Elektro- geräte + Kochen	Lüftung	Heizungs- technik (incl. Wärme- pumpe)	Batterie- + sonstige Verluste	Elektro- mobilität
Nutz- energie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	7.929	4.240	231	1.859	76	1.785	1.332	1.760

Im zweiten Untersuchungsjahr wurden 12.045 kWh an thermischer Energie für Raumheizung und Warmwasser benötigt und 7.157 kWh an elektrische Energie für den Nutzer (Beleuchtung, Kochen und Elektrogeräte), für Anlagen- und Heizungstechnik, Batterie und sonstige Verluste sowie für die Elektromobilität. (Eine genauere Auswertung folgt im Kapitel 6.)

Thermischer und elektrischer Energieverbrauch im 2. Jahr

Monitoring 2. Jahr	Raum- heizung	Warm- wasser	Licht	Elektro- geräte + Kochen	Lüftung	Heizungs- technik (incl. Wärme- pumpe)	Batterie- + sonstige Verluste	Elektro- mobilität
Nutz- energie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	7.924	4.121	282	2.515	20	1.323	1.361	1.655

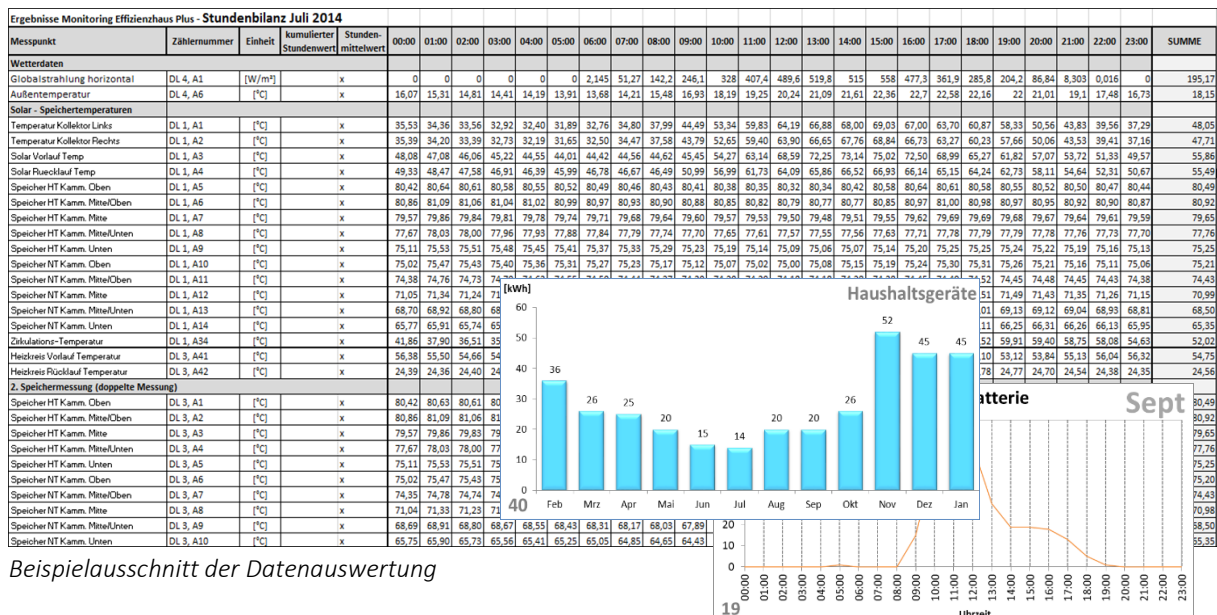
2 Kontext und Zielsetzung

Ziel des Monitorings ist es, den Nachweis zu erbringen, dass das Haus von Schlagmann und BayWa den Effizienzhaus Plus – Standard erfüllt. Nach der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ist dieser erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der zum Zeitpunkt der Beantragung gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) wie z.B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind eingehalten.¹

Das Monitoring ermöglicht:

- den Nachweis zum Effizienzhaus Plus
- den Vergleich der realen Erzeugung und Nutzung mit den prognostizierten jährlichen Wärme- und Strombedarfswerten
- eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs von Erzeugung und Verbrauch
- stündlich genaue Erzeugungs-, Speicherungs- und Verbrauchsdaten als Basis für:
- die Bewertung und Effizienzberechnung,
- die Erkennung von Verbesserungspotential und
- eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Die an allen Messstellen über zwei Jahre durchgehend gemessenen Daten wurden zentral gespeichert. Nach der Datenaufbereitung erfolgte wie im folgenden Beispiel eine Zusammenstellung der Monats- und Stundenwerte. Anschließend wurden die Daten visualisiert und ausgewertet.



Beispielausschnitt der Datenauswertung

¹ Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014): Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus Standard URL: http://www.forschungsinitiative.de/fileadmin/user_upload/Netzwerk_Effizienzhaus_Plus/141016-Anlage1-Definition-final.pdf (Zugriff Februar 2015).

3 Das Gebäude

Das Effizienzhaus Plus Schlagmann-BayWa steht in Raitenhaslach, einem Ortsteil der Gemeinde Burghausen, im Südosten von Bayern. Das Einfamilienhaus mit Keller und Garage wurde im September 2013 fertiggestellt und ab November des Jahres bis zum Ende des Monitorings von einer dreiköpfigen Familie bewohnt.

Nach dem Einbau der Messzähler und deren Abnahme im Januar 2014 erfolgten die Messungen am Haus über einen Zeitraum von 2 Jahren. Daten zur Energiegewinnung, -speicherung und -verbrauch sowie Umweltdaten wurden vom 1. Februar 2014 bis zum 31. Januar 2016 kontinuierlich aufgezeichnet und ausgewertet.

3.1 Allgemeine Daten

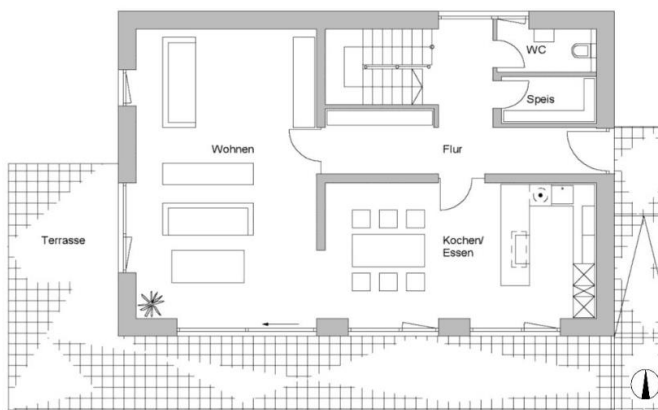
	Effizienzhaus Plus „Schlagmann – BayWa“
Bauherr:	Sylvia Schlagmann-Edmüller
Architekt:	Architekturbüro Georg Dasch
Monitoring:	Technologie Campus Freyung, Technische Hochschule Deggendorf
Energietechnik	Ebitsch Energietechnik GmbH
Bauunternehmen	Gumpendobler Bau GmbH
Elektroplanung und – installation	Elektro Kreuzpointner GmbH
Beratung und Simulation	Ingenieurbüro Solar- und Heiztechnik
Gebäudekennwerte:	
Baujahr:	2013
Bruttogrundfläche	389 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	176 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	1.216 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,56 m ⁻¹
Breitengrad:	48,14°N
Längengrad:	12,78°O
Höhenlage:	421 m über NN

Mittlere Jahrestemperatur:	8,4 °C (climate-data.org)
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April):	3,2 °C
Gradtagzahl am Standort	1,02
TRY - Klimazone / Referenzstation:	TRY 13, Passau

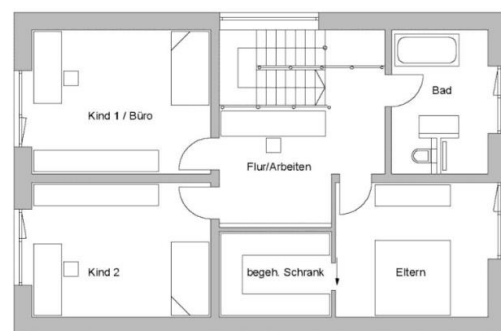
3.2 Architektur

Die Architektur ist regionaltypisch. Sie wurde in Verbindung mit der vorherrschenden monolithischen Ziegelbauweise von den Projektpartnern bewusst gewählt, um den Vorbildcharakter des Hauses für das heimische Handwerk zu steigern. Die Merkmale sind ein schlichter, weißverputzter, zweigeschossiger Baukörper mit Keller und ein naturrot eingedecktes Satteldach mit einer Neigung von 44 Grad.

Die Ausrichtung des Hauses erfolgt zwecks einer höheren solaren Gewinnung nach Süden, ebenso die Wohnräume. Die Wohn- und Aufenthaltsräume befinden sich im Erd-, die Schlafräume und das Bad im Obergeschoss. Die Raumaufteilung sowie die beheizte Wohnfläche von 176 Quadratmetern sind den Bedürfnissen einer vierköpfigen Familie angepasst. Die Garage steht an der Grundstücksgrenze, leicht versetzt zum Haus.



Erdgeschoss-Grundriss



Obergeschoss-Grundriss

3.3 Wärmeschutz

Energiestandard	Kfw 40 Standard
mittlerer U-Wert der Hüllfläche	$H_f' < 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
Gebäudehülle: U-Wert	Perlitgefüllte Ziegelwand, 49 cm Wandstärke (Außenwand) 0,14 W/m ² K (Wärmeleitwert: 0,07 W/mK)
U-Wert Bodenplatte im Keller	0,20 W/m ² K (EPS Stahlbeton)
U-Wert Kelleraußenwand	0,21 W/m ² K (EPS Stahlbeton)
U-Wert Pfettendach mit Zwischensparrendämmung	0,13 W/m ² K
mittlerer U-Wert Fenster, Holz-Alu- Konstruktion mit Dreifachverglasung	<0,80 U _w g-Wert 50 %

3.4 Anlagentechnik

Wärmespeicherung

Das Konzept zur Wärmespeicherung bedient sich zweier Strategien, zum einen die Speicherung der Sonnenenergie als Wärme in der Baukonstruktion, v.a. in den massiven Ziegelwänden und zum anderen der Speicherung in einem Wasser-Pufferspeicher. Das Gebäude ist bereits durch die hochwertige Wärmedämmung der Hüllfläche und der dezentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung hoch effizient. Pro Raum wurde ein Lüftungsgerät angeordnet, das individuell gesteuert werden kann. Die Heizverteilung im Gebäude erfolgt über Flächenheizung und Bauteilaktivierung, damit ist eine kurzzeitige Wärmespeicherung über die Bauteilmassen möglich.

Wärmeerzeugung und -speicherung

Die Wärmebereitstellung geschieht über eine große thermische Indach-Solaranlage mit saisonalem Wärmespeicher. Auf dem Dach des Wohngebäudes befinden sich 24 Solarthermie-Indachmodule mit einer gesamten Fläche von 51 m², einer Nennleistung von 285 Wp und einem Ertrag von 800 – 1.000 W/m². Die solarthermischen Kollektoren befinden sich ausschließlich auf dem südexponierten Dach und ernten Sonnenenergie, die direkt in das Heizsystem eingespeist werden. Überschüssige Energie wird in einen zweiteiligen Schichtenspeicher von 48.000 l Wasser eingelagert und bedarfsgerecht über eine innenliegende Wärmepumpe mit Wärmetauscher an das Gebäude abgegeben. Auch das Warmwasser wird über einen Wärmetauscher aus dem Schichtenspeicher entnommen. Insgesamt wird so eine direkte solare Deckung des Wärmebedarfs von 90 Prozent im ersten und 94 Prozent im zweiten Jahr erreicht. Spül- und Waschmaschine sowie Trockner sind an die thermische Solaranlage bzw. den Wärmespeicher gekoppelt.

Stromerzeugung und -speicherung

Zur Stromerzeugung sind 15 Indachmodule einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Wohnhauses installiert. Sie befinden sich ebenfalls auf dem südlichen Hausdach mit einer Neigung von 44 Grad. Die Module belegen in Summe eine Fläche von 32 m² mit einer Leistung von 4,28 kWp und einer Erzeugung von 1.015 kWh/kWp. Zusätzlich kommen 39 m² Photovoltaikfläche auf dem Garagendach mit einer Nennleistung von 6,48 kWp hinzu. Der spezifische Jahresertrag der Anlage liegt bei 942 kWh/kWp. Die Hälfte davon ist auf der ost-ausgerichteten, die andere Hälfte auf der westseitigen Dachfläche installiert. Beide Anlagen sind um 22 Grad geneigt. Vorteil der Nutzung von süd-, ost- und westseitiger PV-Nutzung ist die bessere zeitliche Verteilung sowohl tageszeitlich, als auch jahreszeitlich gesehen.

Eine Hochleistungsbatterie auf Basis von Lithium-Eisenphosphat mit einer schnellen Ladezeit und einer hohen Zyklenzahl ist als Tagesspeicher mit einer Speicherleistung von 10,8 kWh im Haus integriert. Das hauseigene Energiemonitoring steuert bedarfsorientiert alle Anlagen automatisch und sorgt so für eine optimale Solarstromnutzung.

Elektromobilität

Überschüssige Energie soll u.a. für die Elektromobilität verwendet werden. Die Firma Audi stellt für die Zeit des Monitorings einen A1 e-tron, später A3 e-tron zur Verfügung.

Durch die Kombination energieeffizienter Bautechnologie wie den perlitgefüllten Ziegeln für Wärmedämmung und optimalen sommerlichen Wärmeschutz sowie den erneuerbaren Energiegewinnungssystemen aus Solarenergie kann das Gebäude auf ein Jahr gesehen mehr Energie erzeugen als es verbraucht, sowohl Strom als auch Wärme.

Haustechnik und Bausubstanz

Die Raumwärme und die Wärme für das Warmwasser werden über die Solarthermieanlage erzeugt und bei nicht sofortiger Verwendung in den Pufferspeicher geladen. Ist das Temperaturniveau des Wärmespeichers zu niedrig, wird die Wärmepumpe aktiv. Dies war im Dezember, Januar, Februar und März mit Unterbrechungen der Fall. Der eingebaute Heizstab wurde nicht genutzt, da das energieeffiziente Gebäude allein mit Solarenergie und einer Nachlieferung über die Wärmepumpe - teilweise mit Strom aus der hauseigenen Photovoltaikanlage - in den Wintermonaten ausreichend mit Wärme versorgt werden kann. Durch die Wärmerückgewinnung aus der Lüftungsanlage und die massive einschalige Bauweise kann die Wärme zusätzlich im Haus gehalten werden. Die Besonderheit ist, dass für die Außenwände spezielle Ziegel verwendet wurden, deren Kammern mit Perlit-Dämmstoff, einem Vulkangestein gefüllt sind. Die 49 cm dicken Außenwände sind damit eine natürliche Dämmung mit einem Wärmeleitwert von $0,07 \text{ W/mK}$ und einen U-Wert von $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die Fenster sind eine Holz-Alu-Konstruktion mit dreifacher Wärmeschutzverglasung und integrierter Dämmkammertechnologie. Geheizt wird in allen Stockwerken über eine Fußbodenheizung, im Bad im Obergeschoss ist ein zusätzlicher Heizkörper angebracht.



3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

Thermischer und elektrischer Energieverbrauch im 1. Jahr

Monitoring 1. Jahr	Raum- heizung	Warm- wasser	Licht	Elektro- geräte + Kochen	Lüftung	Heizungs- technik (incl. Wärme- pumpe)	Batterie- + sonstige Verluste	Elektro- mobilität
Nutz- energie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	7.929	4.240	231	1.859	76	1.785	1.332	1.760

Thermischer und elektrischer Energieverbrauch im 2. Jahr

Monitoring 2. Jahr	Raum- heizung	Warm- wasser	Licht	Elektro- geräte + Kochen	Lüftung	Heizungs- technik (incl. Wärme- pumpe)	Batterie- + sonstige Verluste	Elektro- mobilität
Nutz- energie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	7.924	4.121	282	2.515	20	1.323	1.361	1.655

Deckung durch Photovoltaik und Solarthermie im 1. Jahr	
Komponente	[kWh/a]
Photovoltaik	10.176
Solarthermie	20.159
Gesamt	30.335

Deckung durch Photovoltaik und Solarthermie im 2. Jahr	
Komponente	[kWh/a]
Photovoltaik	10.563
Solarthermie	20.596
Gesamt	31.159

3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

1. Jahr	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie* [kWh/m²a]
Nutzenergie (therm.)	Nutzenergieverbrauch der Räume für Heizung und Trinkwarmwasser	12.169	31,3
Erzeugerabgabe	Wärmeabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	20.159	51,8
Endenergie Erzeuger	Stromverbrauch für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	1.657	4,3
Endenergie Haustechnik	Stromverbrauch für die Erzeugung von Wärme für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	1.861	4,8
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	2.054	5,3
2. Jahr	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie* [kWh/m²a]
Nutzenergie (therm.)	Nutzenergieverbrauch der Räume für Heizung und Trinkwarmwasser	12.045	31
Erzeugerabgabe	Wärmeabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	20.596	53
Endenergie Erzeuger	Stromverbrauch für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung und Trinkwarmwassererwärmung	1.126	2,9
Endenergie Haustechnik	Stromverbrauch für die Erzeugung von Wärme für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	1.343	3,5
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	1.258	3,2

*Spezifische Energie berechnet nach der Gebäudenutzfläche nach EnEV, 389 m²

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen /Arbeitszahlen [kWh/kWh]	
	1. Jahr	2. Jahr
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,66	1,71
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,08	0,06
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,15	0,11
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	6,54	8,97
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	12,17	18,29

Arbeitszahl des Energieerzeugers (Nutzenergie / Endenergie Erzeuger)	7,34	10,7
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,17	0,1

4 Monitoring

4.1 Messkonzept

Die Messungen am Effizienzhaus Plus erfolgten ununterbrochen von 01. Februar 2014 bis 31. Januar 2016. Alle Stellen, an denen Energie fließt und auch sonstige Umweltdaten wurden über den gesamten Zeitraum erfasst und ausgewertet, um das Gebäude auf seinen Energiestandard hin zu untersuchen. Oberstes Ziel war es zu bewerten, ob es sich bei dem Gebäude um ein Effizienzhaus Plus handelt. Dabei bewohnte eine dreiköpfige Familie das Gebäude während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Sie lebte ihren Lebensstandard ohne jegliche Einschränkungen. Im Obergeschoss des Einfamilienhauses wurde ein Zimmer als Büroraum für freiberufliche Tätigkeiten (Vollzeit) genutzt, das von der Auswertung ausgenommen wurde, um mit anderen Einfamilienhäusern der Förderschiene vergleichbar zu sein.

Über 120 Messstellen befinden sich im untersuchten Gebäude, die alle Energieströme aufnehmen, sei es der Stromverbrauch der Beleuchtung oder der Elektromobilität, den Ertrag aus Solarthermie, den Verbrauch der Wärmepumpe oder die entzogene Wärme aus dem Speicher. Auch die Zähler, die Monitoring spezifische Messtechnik wurden gezählt, um vom eigentlichen Haushaltsverbrauch abzuziehen. Die Daten werden auf einem zentralen Server zwischengespeichert und ausgelesen.

In allen bewohnten Räumen wird die Temperatur auf zwei gegenüberliegenden Seitenwänden etwa einem Meter über dem Boden gemessen. Um im Sommer angenehme Raumlufttemperaturen ohne einem energieaufwändigen Kühlsystem zu erhalten, sind Jalousien und eine Lüftungsanlage eingesetzt. In den Sommermonaten wurde die überschüssige Wärme im Pufferspeicher nicht nur wieder über das Dach abgegeben, sondern wurde für die Beheizung des Bades genutzt. Sie wurde bei den Auswertungen nicht berücksichtigt, da es sich eher um ein Luxusprodukt als um eine notwendige Energie handelt.

4.2 Verwendete Messtechnik

Bei der Messtechnik handelt es sich um geeichte Strom- und Wärmemengenzähler mit M-Bus System. Damit wurden Leistung, Ertrag und Verbrauch im Haus und am Haus ein- oder dreiphasig gemessen. Zudem kamen Durchflusssensoren zum Einsatz. Zusätzlich wurden für Wetter- und Temperaturmessungen innen und außen Temperatur- und Strahlungsfühler, wie auch ein Pyranometer (Wetterstation) mit Strahlungssensoren verwendet.

Eine Auflistung der einzelnen Messstellen ist im Anhang zu finden.

4.3 Dokumentation

Am 31.01.2014 erfolgte die Abnahme der eingebauten Zähler und Messstellen. Ab diesem Zeitpunkt (01.02.2014) waren die Zähler in Betrieb und wurden dokumentiert. Im Anschluss sind Beispielfotografien der Zählerabnahme zu sehen, eine ausführliche Aufzählung mit allen Messstellen liegt vor.



1 WC (gezoomt) EG

1 x Raumtemperaturmessung (°C)



18 Stromzählerkasten (Draufsicht)

- PO** (links im Bild) , Nr. 2960863
 - Haus-Gesamt Verbrauchszähler mit S0 Ausgang (1.8.0 Netzbezug) (2.8.0 Netzlieferung)

- PO.1** (rechts im Bild) , Nr. 2960870
 - Eigenverbrauch (1.8.0 Eigenverbrauch) (2.8.0)



24 Stromzähler UG (Unterverteilung im Technik Schaltschrank) II

- 4.2**, Nr. 1348002011 Unterdruck Speicher
- 4.3**, Nr. 4226104 Wärmepumpe
- 4.5**, Nr. 4226094 Solarpumpe Primär
- 4.6**, Nr. 4226099 Heizungspumpe
- 4.9**, Nr. 4262201 Raumlüftung, Speicherentlüftung



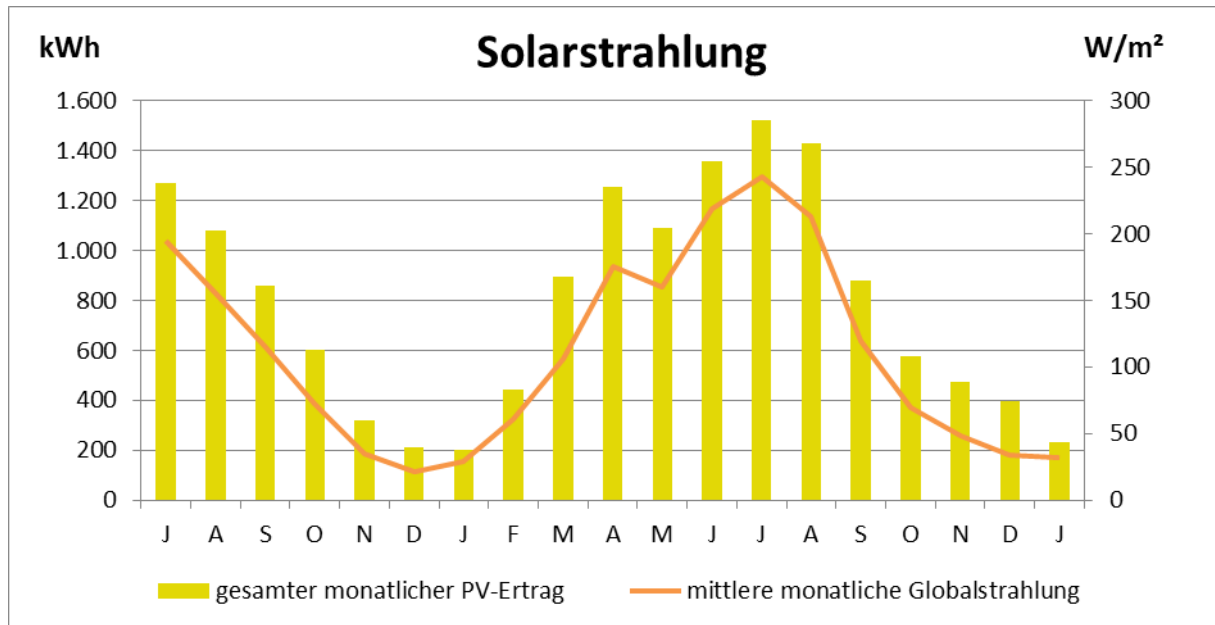
30 Wärmefühler

P10 (oben) und **P11** (unten)

5 Meteorologische Randbedingungen

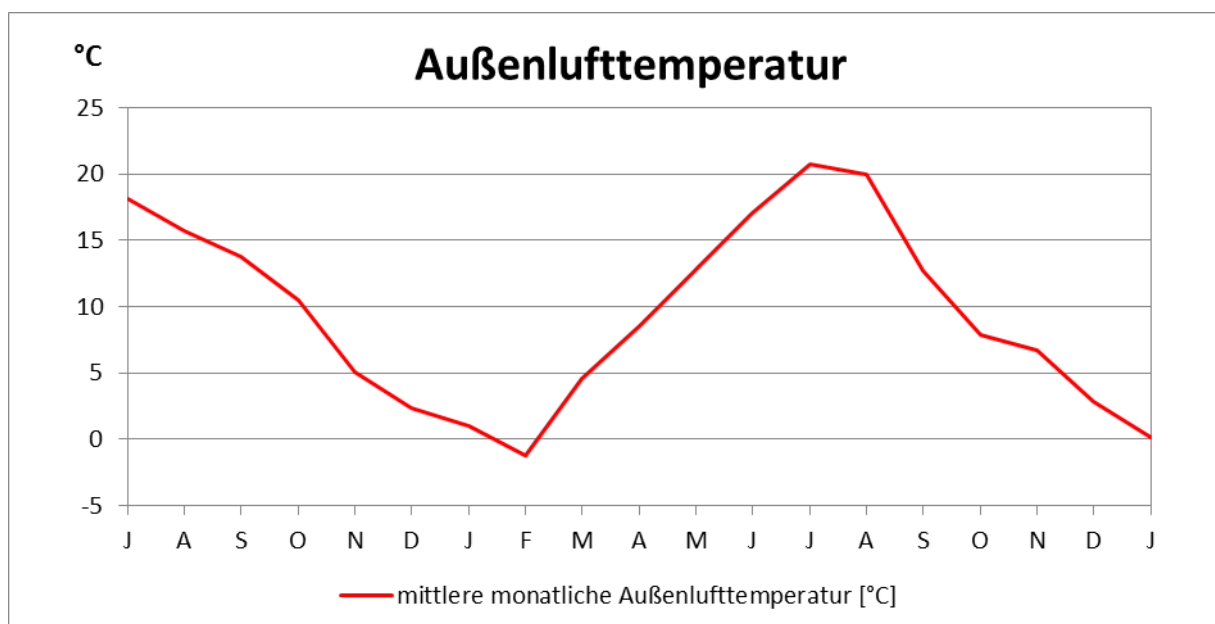
5.1 Solarstrahlung

In den Sommermonaten liegt die Globaleinstrahlung (horizontal gemessen) zwischen 150 und knapp 250 W/m² im stündlichen Mittel (für alle Stunden eines Monats). Im Winter wurde eine Einstrahlung zwischen 20 und 100 W/m² gemessen. Im zweiten Jahr der Monitoringperiode lag die mittlere Solarstrahlung bei 124 W/m² (vor Juli wurden nicht alle Messpunkte stündlich aufgezeichnet).



5.2 Außenlufttemperaturen

In den Sommermonaten liegt die mittlere monatliche Temperatur bei 13 bis 21 °C. Im Winter wurden zwischen minus einem und 13 Grad gemessen. Für jeden Monat wurden die stündlich gemessenen Temperaturen pro jeder Stunde am Tag gemessen und das Stundenmittel berechnet. In einem Jahr beträgt die Außentemperatur im Durchschnitt 9,5 °C (vor Juli wurden die Messpunkte nicht stündlich gemessen).



5.3 Klimabereinigung

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Burghausen in der ersten Messperiode	3.416
Gradtagzahl am Standort Burghausen in der zweiten Messperiode	3.019
Gradtagzahl am Standort Burghausen für das langjährige Mittel (26 Jahre bis 2015)	3.917
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland	3.601

Klimafaktor bezogen auf den Standort (Zeitraum 02/2014 – 01/2015):

$$KF = 3.917 / 3.416 = 1,15$$

Klimafaktor bezogen auf den Standort (Zeitraum 02/2015 – 01/2016):

$$KF = 3.917 / 3.019 = 1,30$$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima (Zeitraum 02/2014 – 01/2015):

$$KF = 3.601 / 3.416 = 1,19$$

Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima (Zeitraum 02/2015 – 01/2016):

$$KF = 3.601 / 3.019 = 1,05$$

6 Messergebnisse

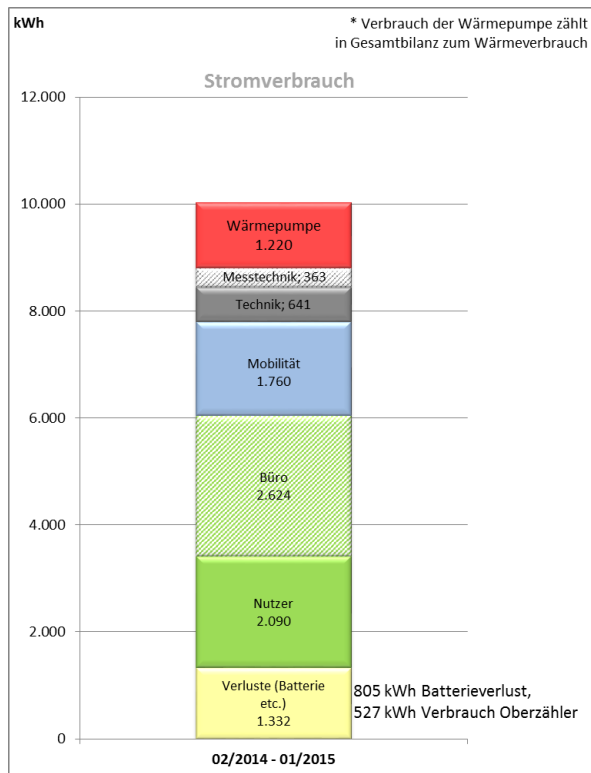
Die gemessenen Daten am Effizienzhaus Plus werden seit Beginn des Monitorings im Februar 2014 kontinuierlich aufgenommen. Ununterbrochen werden die Monatswerte zur Verfügung gestellt, die stündliche Erfassung und Speicherung geschieht seit Juli 2014.

Alle Stellen, an denen Energie fließt sind erfasst, um damit den Energiestandard des Gebäudes zu beurteilen. Nun werden die Messergebnisse in aufbereiteter Form graphisch visualisiert. Alle Einzelwerte und Messstellen sind der angefügten Excel-Tabelle zu entnehmen.

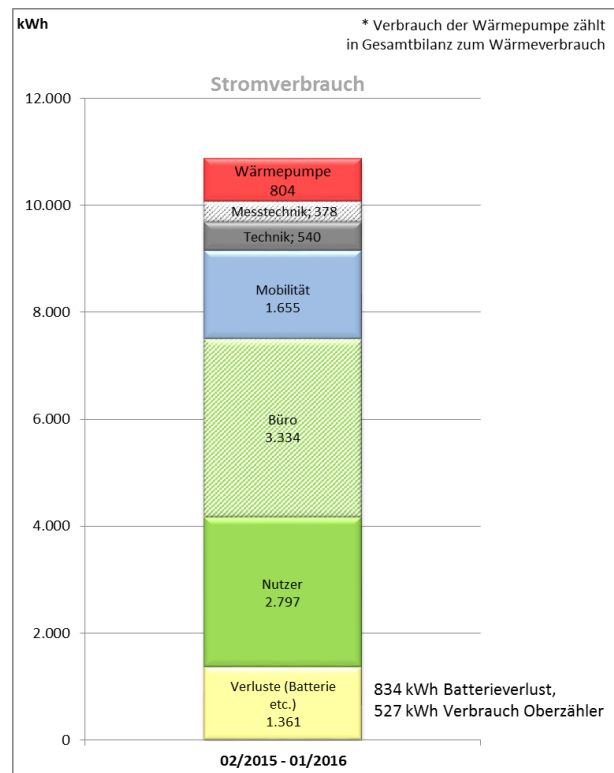
Die nachfolgenden Abbildungen bilden jeweils das erste (oben bzw. links) und zweite (unten bzw. rechts) Monitoringjahr ab.

6.1 Stromverbrauch

6.1.1 Stromverbrauch für Hausbetrieb



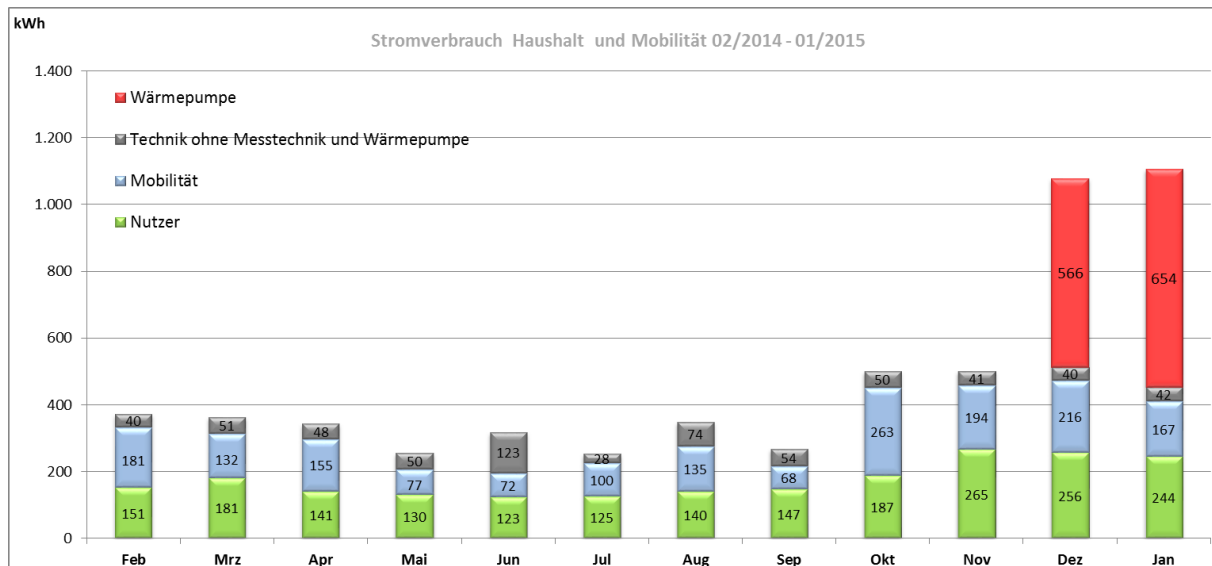
1. Jahr



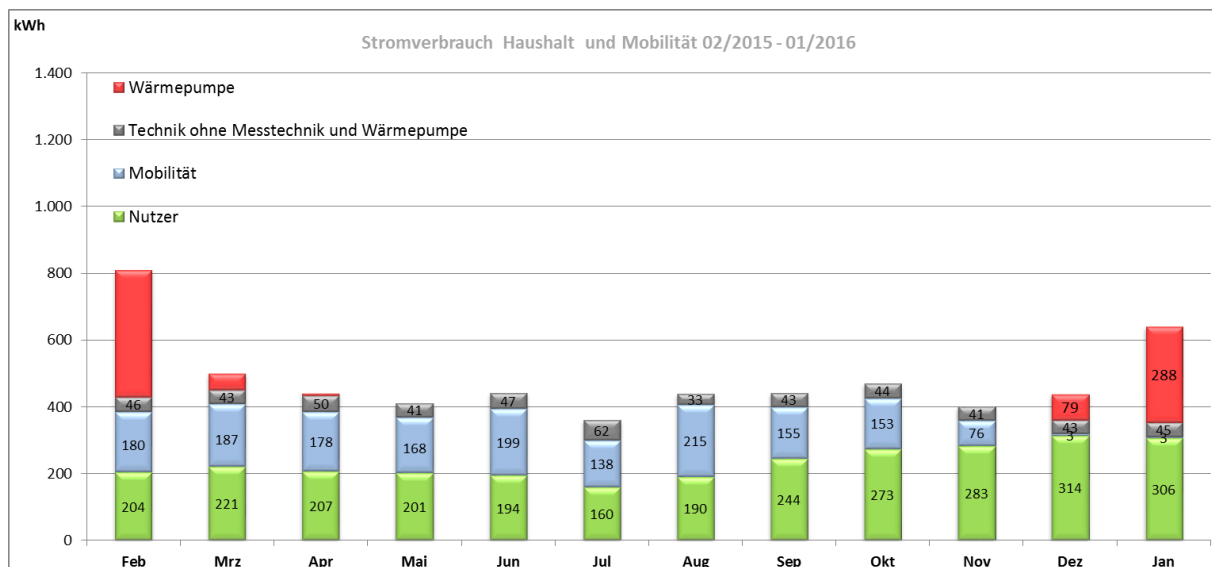
2. Jahr

*Messtechnik und Büro werden in der Gesamtbilanz nicht berücksichtigt.

Für die Messtechnik wird Strom projektspezifisch verbraucht, der ohne das Monitoring nicht benötigt werden würde. Ebenso fließt der Verbrauch des Büros (Beleuchtung und Elektrogeräte) nicht in die Auswertung ein, da es vom Mieter ausschließlich für berufliche Zwecke Vollzeit genutzt wird.



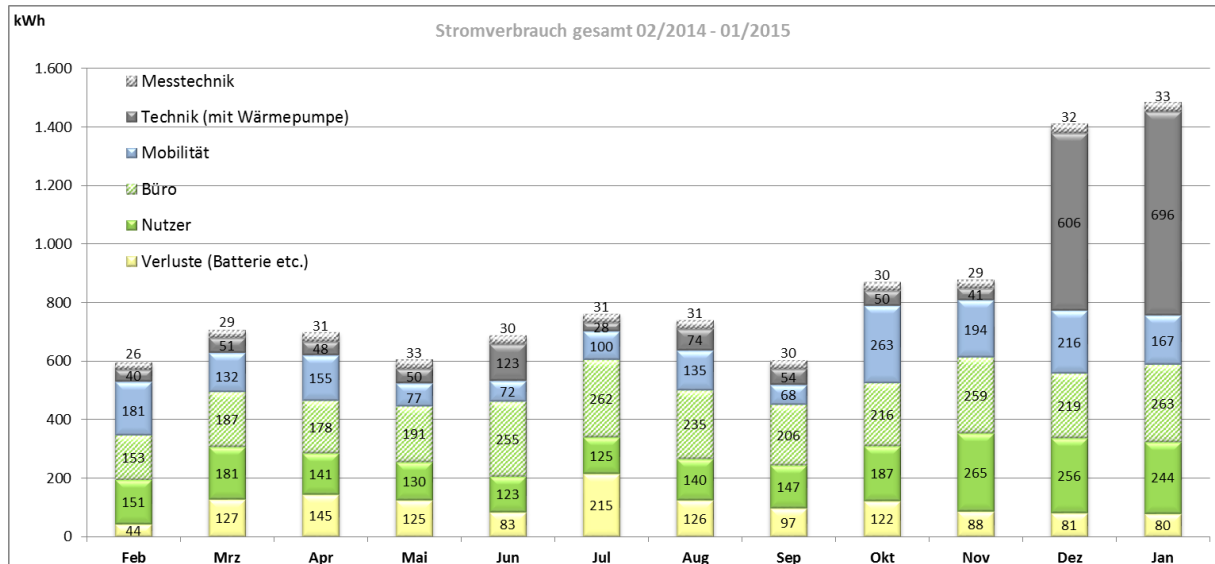
1. Jahr



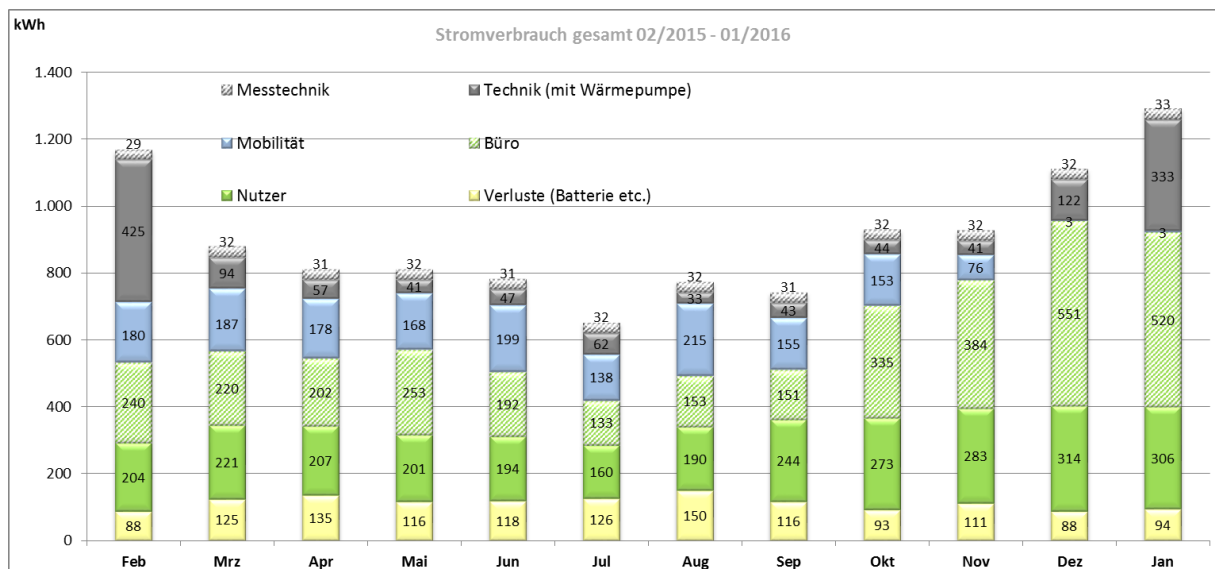
2. Jahr

6.1.2 Stromverbrauch für projektspezifischen Anteil

Zum projektspezifischen Anteil zählt die Messtechnik. Diese benötigt monatlich ca. 30 kWh Strom. Zusätzlich verbrauchen die Oberzähler der Messtechnik Strom, der nicht aufgezeichnet wird, in der Gesamtbilanz aber neben den Batterieverlusten als zusätzliche Verluste (je 527 kWh im Jahr) berechnet wurde. Das nutzerspezifische Verhalten in diesem Projekt spiegelt sich in der vollwertigen Nutzung des Büros wieder, was etwa 2.624 kWh im ersten und 3.334 kWh im zweiten Monitoringjahr ausmacht. Der gemessene Anteil der Messtechnik und Büro fließen nicht in die Endauswertung ein.



1. Jahr

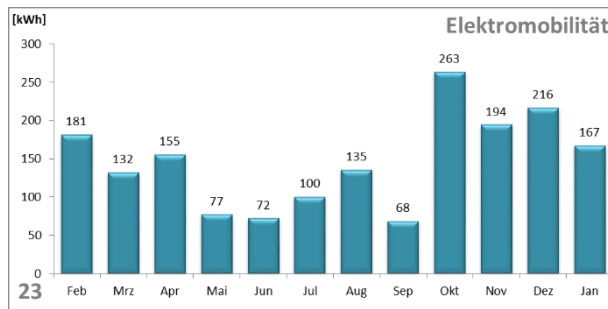


2. Jahr

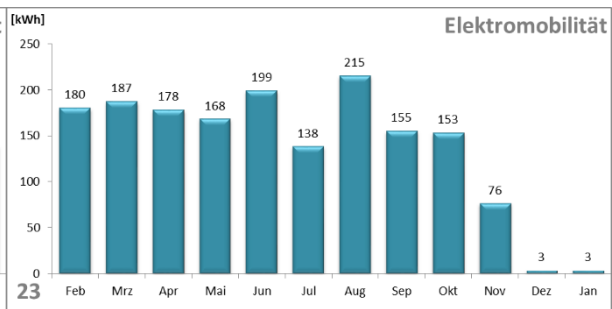
6.1.3 Stromverbrauch für Elektromobilität



Ladestelle in der Garage

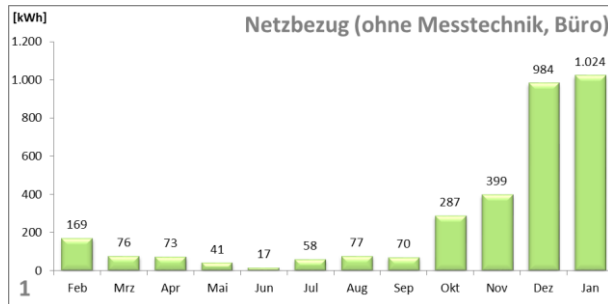


1. Jahr

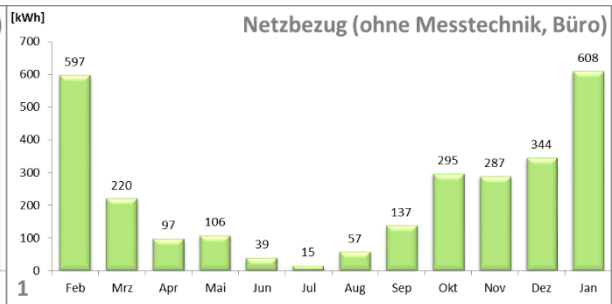


2. Jahr

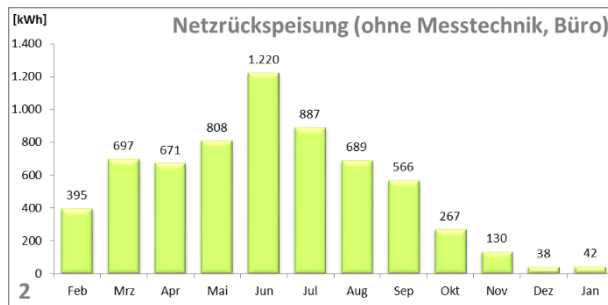
6.1.4 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung



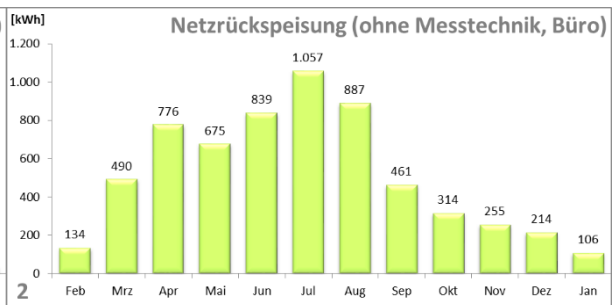
1. Jahr



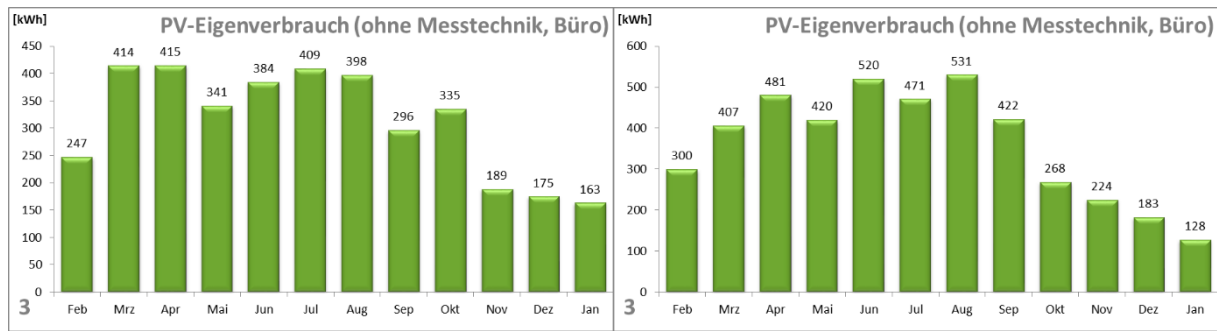
2. Jahr



1. Jahr

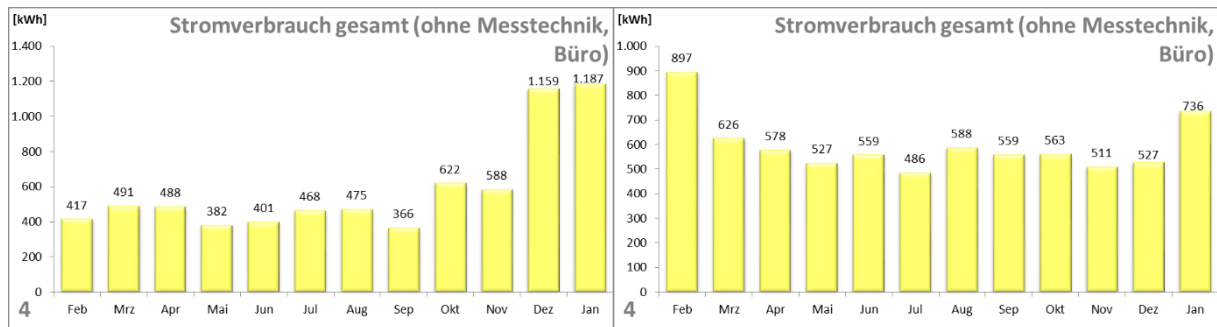


2. Jahr



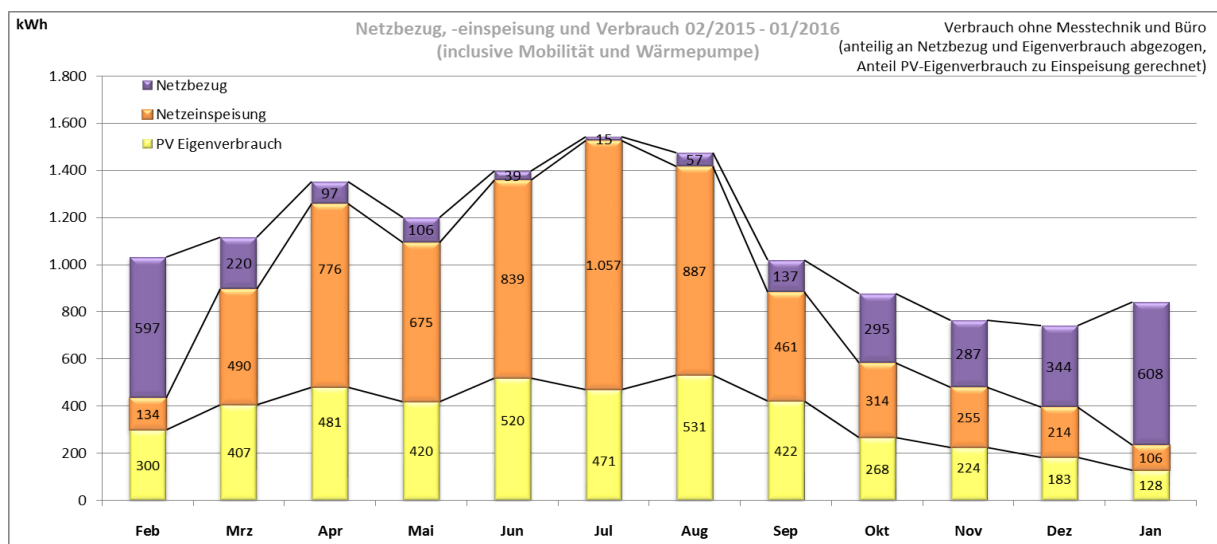
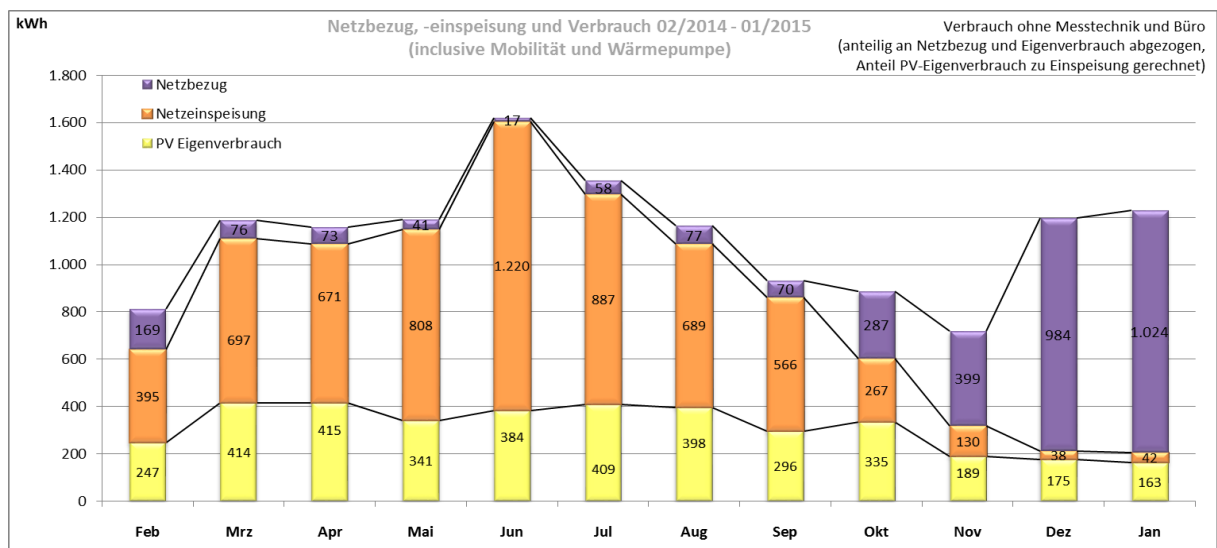
1. Jahr

2. Jahr

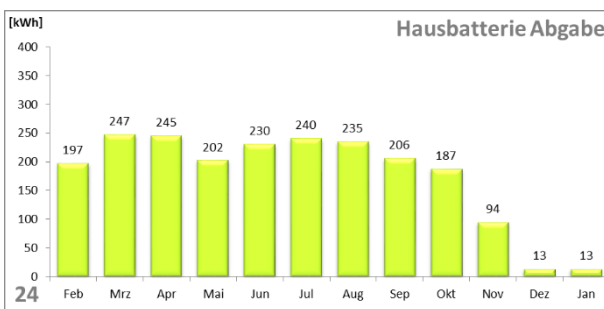
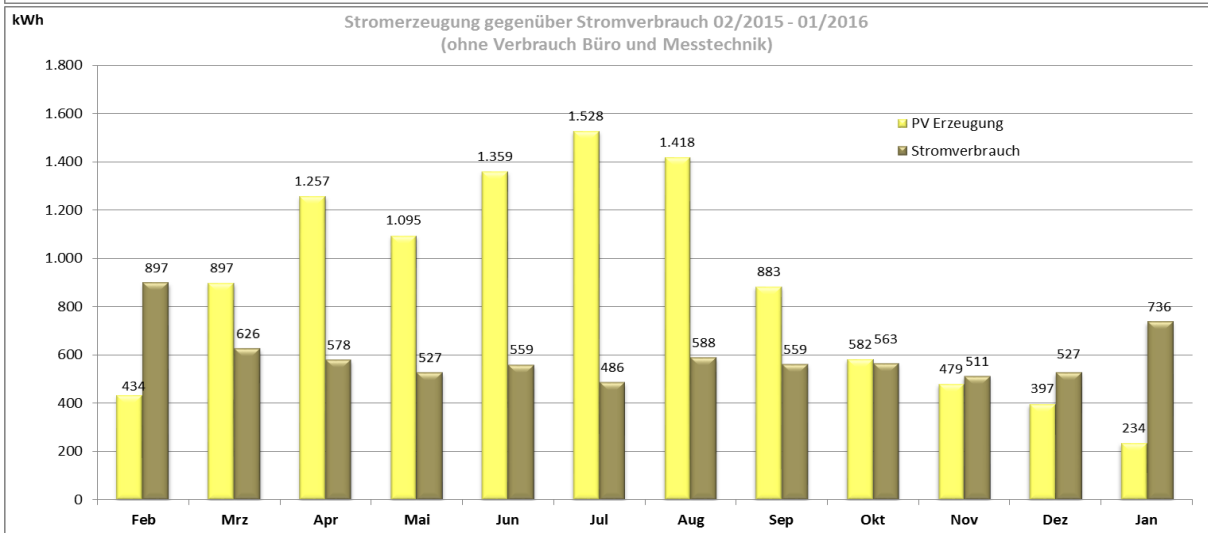
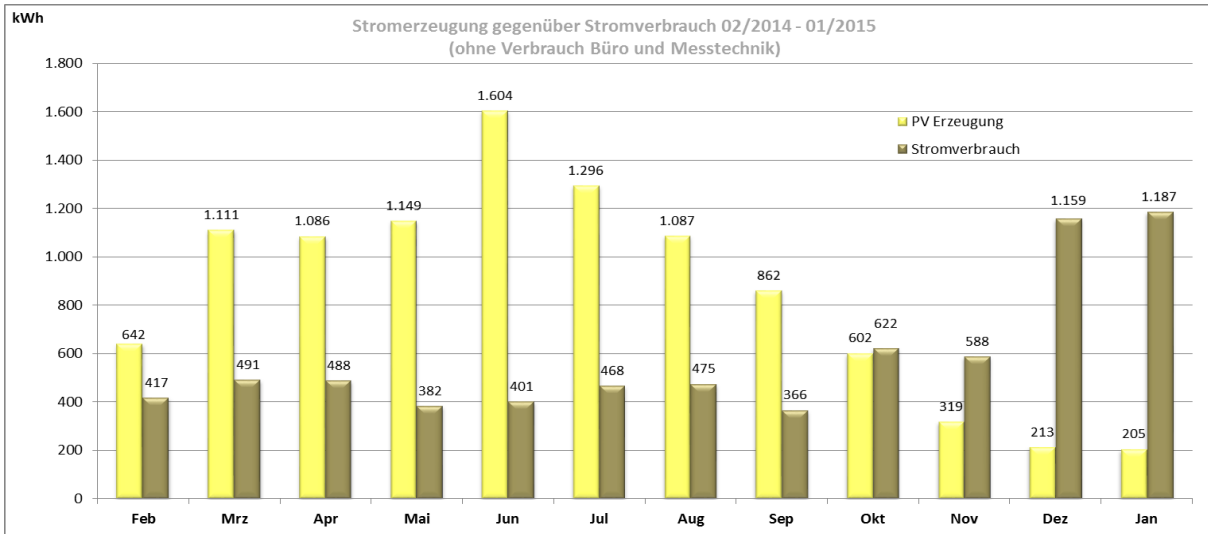


1. Jahr

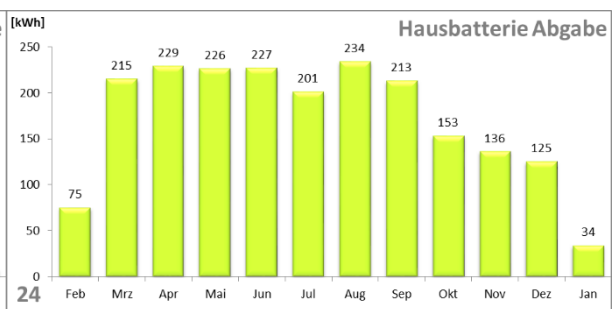
2. Jahr



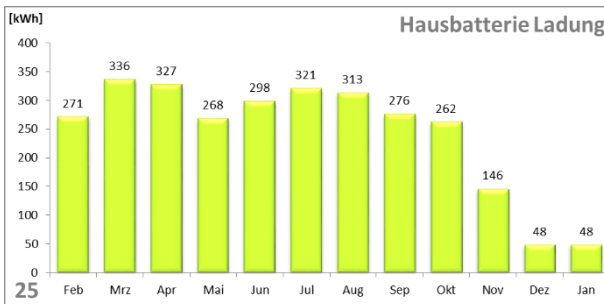
6.2 Eigenstromnutzung



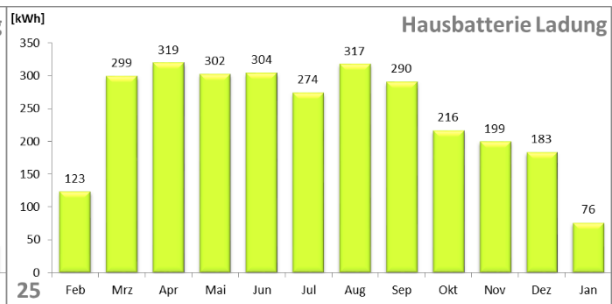
1. Jahr



2. Jahr



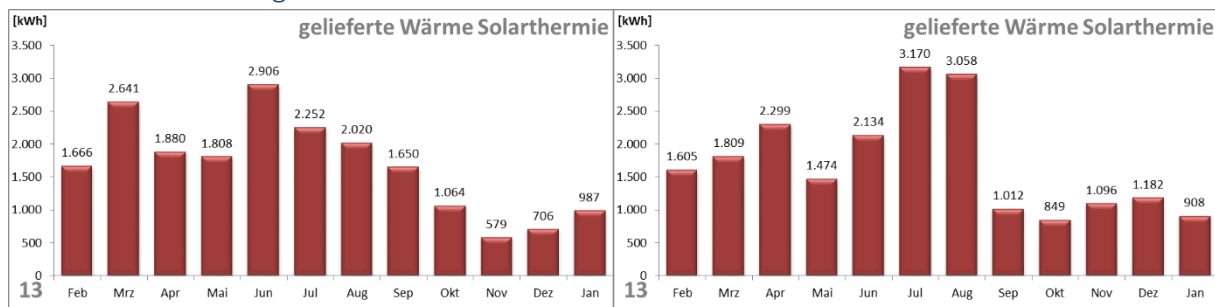
1. Jahr



2. Jahr

6.3 Anlagenperformance

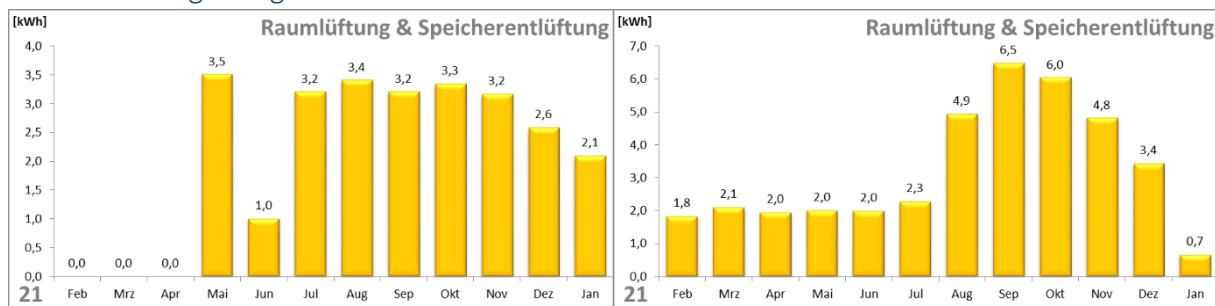
6.3.1 Wärmeerzeuger



1. Jahr

2. Jahr

6.3.2 Lüftungsanlage



1. Jahr

2. Jahr

6.4 Innenraumtemperaturen Sommer

Die durchschnittliche Raumtemperatur in den Monaten April bis September liegt bei 24,3 °C. Dabei fließen die Mittelwerte aller Räume (doppelte Messung an Innen- und Außenwand eines Raumes) gleichermaßen ein. Die Werte sind auch für das erste und zweite Jahr gemittelt.

In dieser Zeit wurde der höchste Mittelwert für Juli berechnet (25,3 °C), der niedrigste für April (23,5 °C). Während in den Monaten die höchsten Temperaturen in Küche (25,2 °C) und Wohnzimmer (25,2 °C) gemessen wurden, war das Büro mit 22,5 °C der kühlsste Raum des Hauses.

6.5 Innenraumtemperaturen Winter

Die durchschnittliche Raumtemperatur in den Monaten Oktober bis März liegt bei 22 °C. Dabei fließen die Mittelwerte aller Räume (doppelte Messung an Innen- und Außenwand eines Raumes) gleichermaßen ein. Die Werte sind auch für das erste und zweite Jahr gemittelt.

In dieser Zeit wurde der höchste Mittelwert für März berechnet (23,2 °C), der niedrigste für Januar (21,1 °C). Während in den Monaten die höchsten Temperaturen in Küche (23,7 °C) und Wohnzimmer (23,3 °C) gemessen wurden, war das Büro mit knapp 20 °C der kühlsste Raum des Hauses.

6.6 Zusammenfassung

<u>Zahlen rund ums Haus</u>	<u>Prognose für KfW-Effizienzhaus 40</u>	<u>gemessene Werte 02/14 - 01/15</u>	<u>gemessene Werte 02/15 - 01/16</u>
Gebäudenutzfläche nach EnEV	389 m ²	389 m ²	389 m ²
Wohnfläche beheizt	176 m ²	176 m ²	176 m ²
Heizwärmeverbrauch witterungs- und temperaturbereinigter Wert (gemessener Wert)	6.147 kWh/Jahr	6.327 kWh/Jahr (7.929 kWh/Jahr)	6132 kWh/Jahr (7.924 kWh/Jahr)
Heizwärmeverbrauch spezifisch nach EnEV (auf 389 m²)	15,8 kWh/m ² Jahr	16,3 kWh/m ² Jahr	15,8 kWh/m ² Jahr
Heizwärmeverbrauch bezogen auf Wohnfläche (auf 176 m²)	35 kWh /m ² Jahr	36 kWh/m ² Jahr	35 kWh/m ² Jahr
Warmwasserwärmebedarf	3.894 kWh/Jahr	4.240 kWh/m ² Jahr	4.121 kWh/m ² Jahr
Ertrag thermische Solaranlage	8.500 kWh/Jahr (Berechnung ohne Speichermöglichkeit)	20.159 kWh/Jahr	20.596 kWh/Jahr
Solare Deckung Wärme	85%	90%	94%
Ertrag elektrischer Strom aus PV-Anlagen	10.230 kWh/Jahr	10.176 kWh/Jahr	10.563 kWh/Jahr
Heizung, Lüftung, Sanitär (Endenergie EnEV) – Technik mit Wärmepumpe	1.715 kWh/Jahr	1.861 kWh/Jahr	1.343 kWh/Jahr
Haushaltsstromverbrauch	3.400 kWh/Jahr	2.090 kWh/Jahr	2.797 kWh/Jahr
Elektromobilität	2.000 kWh/Jahr	1.760 kWh/Jahr	1.655 kWh/Jahr
Techn. Verluste Eigenstromversorgung (28% Batterieverluste, Leistung von 10,8 kWh)	600 kWh/Jahr	805 kWh/Jahr	834 kWh/Jahr
Sonstige nichtgemessene Verluste (Oberzähler)		527 kWh/Jahr	527 kWh/Jahr
Gesamt-Stromverbrauch (Haushalt, Anlagentechnik, Elektromobilität und Verluste), excl. Messtechnik und Büro	7.000 kWh/Jahr	7.043 kWh/Jahr	7.157 kWh/Jahr
Stromüberschuss	3.230 kWh/Jahr	3.133 kWh/Jahr	3.406 kWh/Jahr
Solare Deckung Strom (Eigenverbrauch)	50%	54%	61%
Stromanteil Netzbezug		3.275 kWh/Jahr	2.802 kWh/Jahr
Stromanteil Netzeinspeisung (PV-Strom)		6.409 kWh/Jahr	6.208 kWh/Jahr

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

7.1 Baukosten und laufende Kosten

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Außenwand		10.356
Dach		5.787
Wand gegen Erdreich		2.775
Bodenplatte		2.970
Fenster		5.768
Heizungsanlage incl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	49.868
Solarthermie	vorhanden	17.802
Lüftungsanlage	vorhanden	8.381
Photovoltaik	keine	21.638
Batterie		22.339
Beleuchtung	Standard	1.702
Geräte	Standard	
Mehrinvestitionskosten	-	
Energie- + Betriebskosten		
Gas	1.258	
Strom	1.341	874
Wartung Heizung	200	300
Netzeinspeisevergütung	2.799 €	-447
Laufende Kosten pro A		727

7.2 Kosten Geräte

Gerät	Effizienzklasse	Kosten [€]
Kochfeld + integrierter Dunstabzug	---	5.580,-
Backofen	-	935,-
Mikrowelle	---	---
Spülmaschine	A+++	1.275,-
Kühl-/Gefrierschrank	A+++	2.160,-
Waschmaschine	A+++	1.575,-
Wäschetrockner	A+++	---
Beleuchtung	LED	---
Investitionskosten		

8 Bewertung

8.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

Das Effizienzhaus Plus - Niveau nach der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit ist erreicht. Es liegt sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) vor. Alle sonstigen Bedingungen der zum Zeitpunkt der Beantragung gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) wie z.B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind eingehalten.²

Im ersten Untersuchungsjahr wurden 12.169 kWh Wärme und 7.043 kWh Strom verbraucht (19.212 kWh Endenergie gesamt), die gesamte Primärenergie beträgt hierbei 23.797 kWh. Demgegenüber steht eine thermische und elektrische Erzeugung von 30.935 kWh. Im zweiten Untersuchungsjahr wurden 12.045 kWh Wärme und 7.157 kWh Strom verbraucht (19.326 kWh Endenergie gesamt), die gesamte Primärenergie beträgt hierbei 23.249 kWh. Demgegenüber steht eine thermische und elektrische Erzeugung von insgesamt 31.159 kWh. Circa ein Drittel an Energie wurde demnach in beiden Jahren mehr erzeugt als verbraucht (Bezug auf Endenergie).



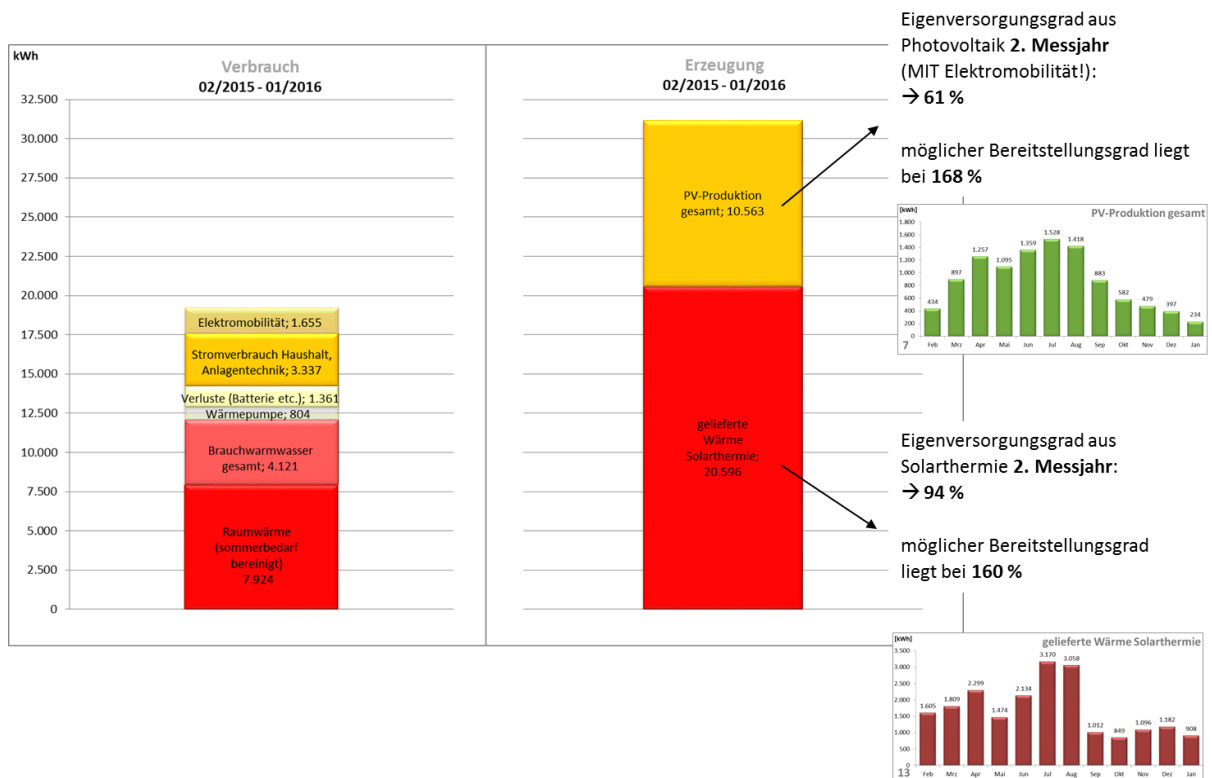
² Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2014): Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus Standard URL: http://www.forschungsinitiative.de/fileadmin/user_upload/Netzwerk_Effizienzhaus_Plus/141016-Anlage1-Definition-final.pdf (Zugriff Februar 2015).

Bei der Berechnung der Primärenergiefaktoren nach DIN V 18599 (2011) ergeben sich folgende Werte:

Berechnung nach DIN V 18599 (inkl. Mobilität)	gemessene Werte 02/14 - 01/15	gemessene Werte 02/15 - 01/16
Endenergiebedarf Strom	7.043 kWh	7.157 kWh
Erzeugung PV-Anlage	10.176 kWh	10.563 kWh
Primärenergiebedarf Strom	16.903 kWh	17.178 kWh
Verdrängungsstrommix	28.493 kWh	29.576 kWh
Bilanz Endenergie Strom	-3.133 kWh	-3.406 kWh
Bilanz Primärenergie	-11.590 kWh	-12.398 kWh

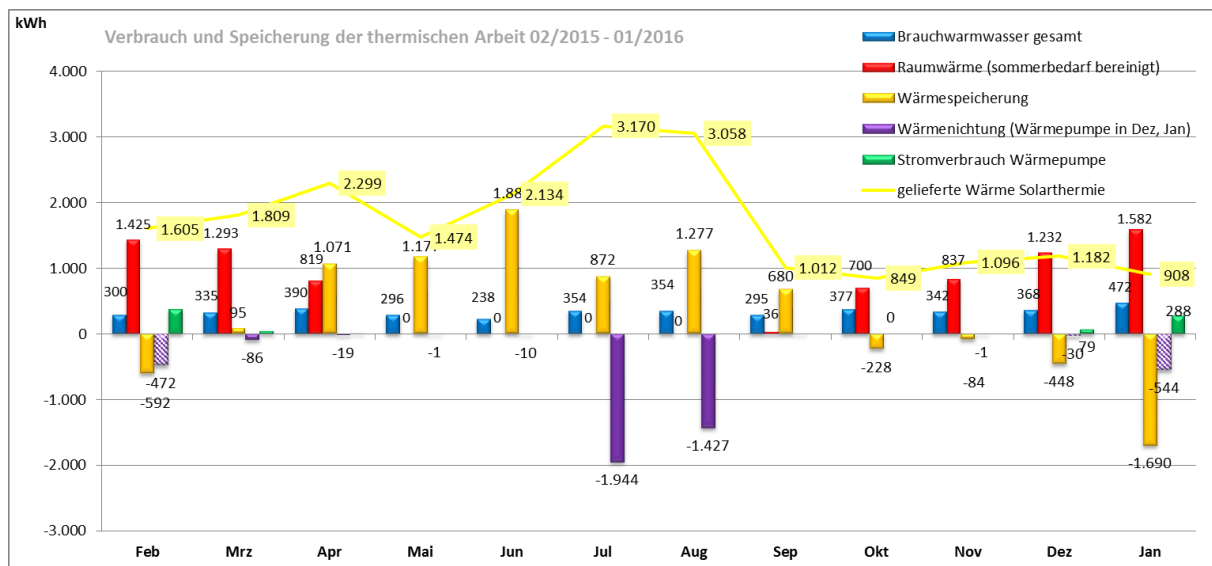
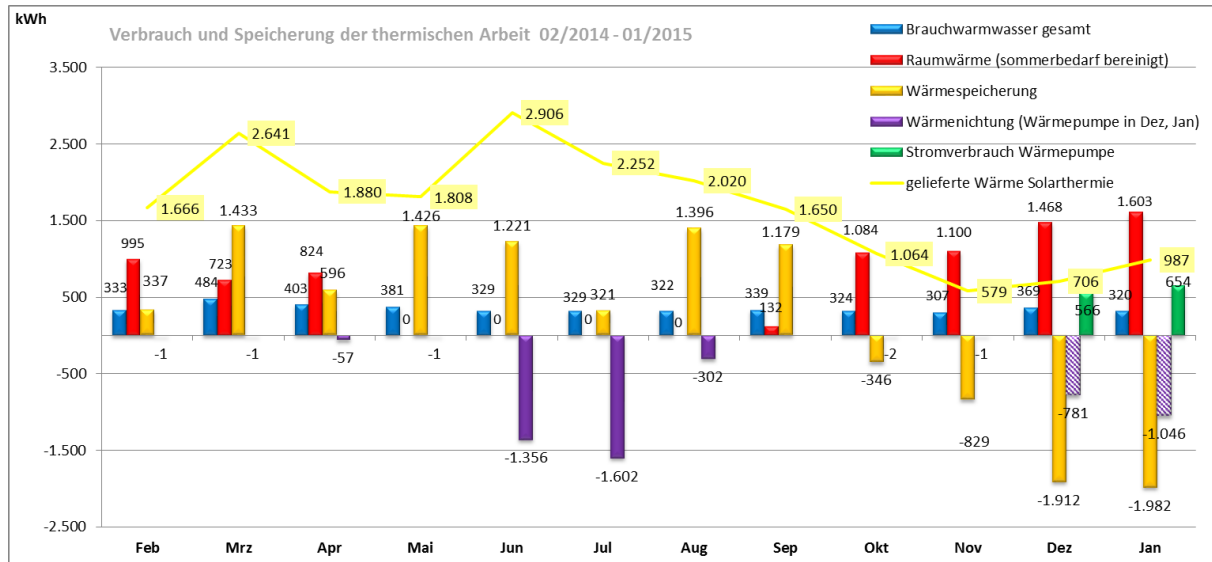
Auf 176 m² Wohnfläche werden im ersten Jahr 7.043 kWh Strom und 12.169 kWh Wärme verbraucht. Durch die Photovoltaik-Anlagen auf dem Haus- und Garagendach und der Batterie werden 10.176 kWh an elektrischer Energie regenerativ erzeugt, teilweise gespeichert und im Haus wieder verbraucht. Damit ist ein elektrischer Eigenversorgungsgrad von etwa 54 Prozent möglich. 3.768 kWh kann die PV-Anlage zum Eigenverbrauch beisteuern, 3.275 kWh werden vom Netz bezogen. Der gespeicherte Strom der Batterie wird auch dazu genutzt, das Elektrofahrzeug zu laden. Der überschüssige Strom wird in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist.

Im zweiten Monitoringjahr ist der elektrische Eigenversorgungsanteil höher als im ersten Jahr. Dabei liegt er bei 61 Prozent. 4.355 kWh können von der PV-Anlage genutzt werden, 2.802 kWh werden vom Netz bezogen.



Gegenüber den 12.045 kWh verbrauchten Wärme stehen 20.596 kWh an solarthermisch erzeugter Wärmeenergie. Der Wärmespeicher kann einen großen Teil der zeitlich nicht direkt benötigten Wärme aufnehmen und zwischenspeichern. In den Wintermonaten sind aber die Wärmezufuhr und damit die Anhebung des Temperaturniveaus im Speicher durch die Wärmepumpe nötig (vgl. Abbildung unten, gestrichelte violette Balken). Die Größe des Speichers reicht damit in Summe aus, um deutlich mehr Wärme zu produzieren als Bedarf vorhanden ist. Durch wenige Perioden mit keiner oder geringer solarer Wärmezufuhr im Winter kann der Bedarf über den gesamten zeitlichen Verlauf allerdings nicht rein mit Solarthermie gedeckt werden. Die Eigenversorgung über Solarthermie liegt immerhin bei

94 Prozent. In den Sommermonaten hingegen wird zu viel Wärme über die solarthermische Anlage geliefert, die der Speicher nicht aufnehmen kann und daher über die Anlage wieder nach draußen abgegeben werden muss (vgl. Abbildung unten, gefüllte violette Balken). Die Raumheizung im Bad kann mit der überschüssigen Wärme auch im Sommer versorgt werden und sorgt damit bei Bedarf für einen zusätzlichen Wohnkomfort.

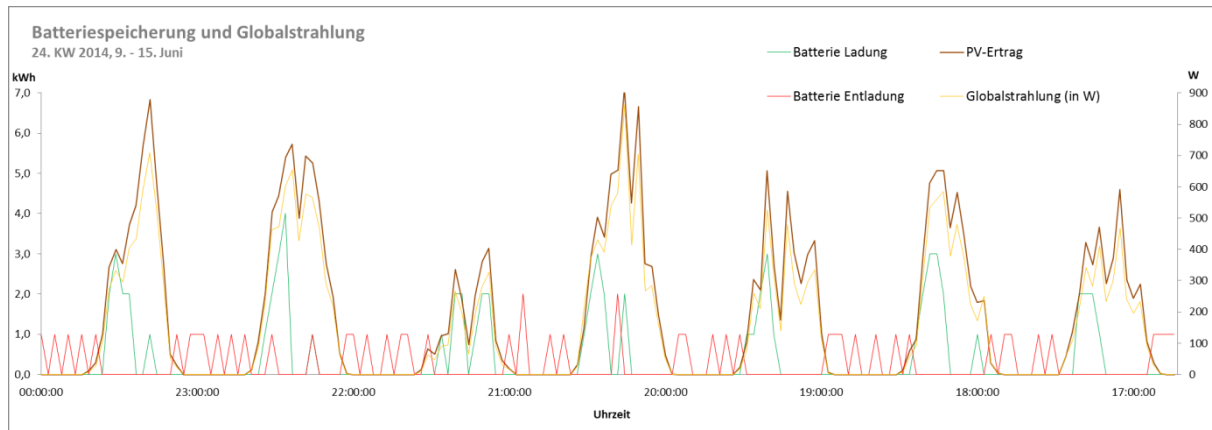


Insgesamt werden durch die optimierte Gebäudetechnik und der Isolierung der Gebäudehülle die Gebäudeverluste minimiert und bilanziell mehr Wärme erzeugt als verbraucht. Dank der solarthermischen Anlage auf dem Hausdach, dem Wärmespeicher und der Wärmepumpe für kalte Wintermonate kann die Wärmeversorgung gut funktionieren. Während der Heizperiode (September bis April) liegen die gemessenen Raumtemperaturen im Durchschnitt, proportional zur Raumgröße, bei 22,64 °C, was hinsichtlich der thermischen Gegebenheiten für eine gute Wohnqualität spricht.

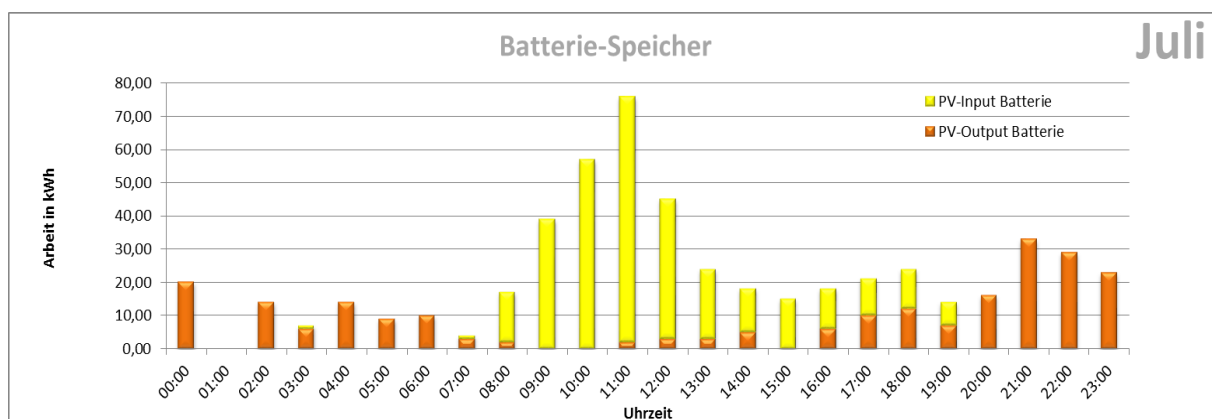
Während der Laufzeit der Wärmepumpe beträgt ihr durchschnittlicher Stromverbrauch 1,62 kW pro stündlich aufgezeichneten Werten. Setzt man die durch die Wärmepumpe produzierte Wärme ins Verhältnis zum Stromverbrauch der Wärmepumpe, ergibt sich für die Pumpe eine Arbeitszahl von ca. 3, was unter dem erwarteten Wert liegt.

Mit 805 bzw. 834 kWh (erstes und zweites Jahr) verliert der Batteriespeicher 28 Prozent seiner eigentlichen Ladung. Für den heutigen Technologiestandard ist dieser Wert ein Durchschnittswert, es zeigt aber auch, dass sich die Speichertechnik in Zukunft noch weiter entwickeln sollte. Die Verluste

entstehen besonders beim Be- und Entladen des Speichers, was durch den Verbrauch durch Haushaltsgeräte, Gebäudetechnik wie Solar- oder Heizungspumpen oder auch die Elektromobilität mehrmals täglich geschieht (vgl. Abbildung unten, Beispielzeitraum 09. bis 15. Juni 2014).



Nachdem über die PV-Anlage während des Tages Strom in den Speicher geschickt wird, entnehmen Haushalt und Haustechnik sowie die Elektromobilität den Strom überwiegend abends und nachts aus dem Speicher (Beispiel Graphik für Juli 1. Monitoringjahr, stündliche Summenwerte).



8.2 Verbesserungspotential

Optimierungspotential bei der Solar-Prototypenanlage besteht bei der weiteren Reduzierung des Anlagenstromverbrauchs. Der Einsatz einer hydraulisch optimierten Kollektoranlage hätte den Stromverbrauch der Solarkreispumpe primär um ca. 150 kWh/a reduziert. Die Kosten für den Wärmespeicher können sicher noch halbiert werden, dann wäre eine Jahresarbeitszahl von ca. 7 (bisher im ersten Jahr 6,5) möglich, und die Kosten liegen im Bereich einer CO₂ Wärmepumpensonnenanlage. Verbesserungspotential wird auch in der Lüftungstechnik gesehen. Es erfolgen kein bedarfsgeführter Einsatz und Abschaltung der Anlage. Dadurch geht unnötige Wärme im Betrieb verloren.

Der Heizkreisvorlauf hat bei der stündlichen Betrachtung über den Zeitverlauf ein stetiges Temperaturniveau. Im Durchschnitt läuft die Heizungspumpe mit einer Leistung von 19,6 W. Gegebenenfalls kann die Laufzeit und damit der Energieverbrauch reduziert werden, in dem die Leistung über Nacht abgesenkt wird.

8.3 Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Setzt man ein herkömmliches energetisches Versorgungssystem (1) mit Gasbrenntechnik dem Versorgungssystem des Effizienzhauses Plus in Burghausen (2) gegenüber, ergibt sich durch die untenstehenden Annahmen eine Differenz bei den Investitionskosten von 102.000 Euro und bei den jährlichen Verbrauchskosten von 2.757 Euro. Demnach würde sich die Gebäudetechnik nach 37 Jahren amortisieren (statische Betrachtung, ohne Abschätzung der Entwicklung der Energiepreise, Zinsen für Investitionen oder Ersatzinvestitionen sowie deren Betrachtung als Barwert). Die teils neuartigen Technologien, die im Rahmen dieses Forschungsprojektes getestet wurden, könnten bei einer breiteren Etablierung in Zukunft zu günstigeren Konditionen erworben und damit schneller amortisiert werden.

Versorgungssystem 1				
Verbrauchskosten ohne Solarenergie. Wärmeversorgung durch Gasbrenntechnik. Stromversorgung über das Bayernwerk.				
nach gemessenen Verbrauchswerten	zusätzliche Investitionen (Gastherme)	Verbrauch (kWh/a)	Kosten €/kWh (Preis Ende 2015)	jährliche Verbrauchskosten
Wärme witterungsbereinigt	3.000 €	6327	0,1	633 €
Warmwasser		4240	0,1	424 €
Strom		3951	0,28	1.106 €
Mobilität (Diesel 6l/100km)	40.000 €	11700	1,2	842 €
Wartung				200 €
	43.000 €			3.205 €
Versorgungssystem 2				
Verbrauchskosten mit Solarenergie. Wärmeversorgung durch Wärmepumpe mit Solar. Stromversorgung über das Bayernwerk und Eigenversorgung durch Solar.				
nach gemessenen Verbrauchswerten	zusätzliche Investitionen	Verbrauch (kWh/a)	Kosten €/kWh (Preis Ende 2015)	jährliche Verbrauchskosten
Wärme witterungsbereinigt (Pufferspeicher, Solarthermie, Wärmepumpe - Netzbezug berücks.)	61.021 €	6327	0	0 €
Warmwasser		4240	0	0 €
Strom (Netzbezug)	21.638 €	3275,3	0,28	917 €
Strom (Netzurückspeisung)		-6408,5	0,12	-769 €
Batterie	22.339 €			
Mobilität (18kWh/100km) (Netzbezug berücksichtigt)	40.000 €	1760	0	0 €
Wartung				300 €
	144.998 €			448 €
	Mehrinvestition			jährliche Einsparung
Differenz System 1 - System 2	101.998 €			2.757 €

8.4 Fazit

Die Zielsetzung des Projekts, durch den Einsatz von Solarthermie und Photovoltaik das Haus mit einem hohen Grad an selbst erzeugter Energie zu decken, ist gelungen. Bei einer Wärmeabgabe des Heizsystems von 12.169 kWh (1. Jahr) bzw. 12.045 kWh (2. Jahr) und einem Stromverbrauch des gesamten Wärmeversorgungssystems von 1.861 kWh (1. Jahr) bzw. 1.436 kWh (2. Jahr) für Heizung und Warmwasser incl. Verteilung und Regelung liegt die Jahresarbeitszahl des Systems bei 6,5 Wärme zu Strom im ersten Messjahr und 8,4 im zweiten Jahr des Monitorings. Bei der Bewertung der Effizienz aus der Berechnung nach DIN V 18599 ergibt sich sogar eine Arbeitszahl aus Nutzenergie zur Endenergie des Erzeugers von 9 im Mittel (7,34 im ersten und 10,70 im zweiten Jahr des Monitorings).

Dies zeigt ein insgesamt gut funktionierendes Wärmepumpenheizsysteme. 58 Prozent des Stroms werden durch die eigene Photovoltaikanlage zur Verfügung gestellt (Mittelwert der beiden Jahre). Die Arbeitszahl bezüglich Wärme zu Netzstrombezug beträgt dann für den Zeitraum des Monitorings 9,8.

Gerade in Bezug auf die Arbeitszahl der Nutzwärmeerzeuger im Verhältnis zum doch recht hohen verhaltensbezogenen Bedarf an Energie (v.a. Wärme), kann das Effizienzhaus Plus in Burghausen insgesamt als sehr gelungenes Projekt gesehen werden. Durch Betriebsoptimierungen wie Verbesserungen in der Hydraulik, die teilweise schon nach dem ersten Monitoringjahr durchgeführt wurden und im zweiten Jahr zu verbesserten Ergebnissen führten, hätte das System in Zukunft noch weiteres Verbesserungspotential.

Eine höhere Effizienz des Zusammenspiels der Wasserwärmepumpe mit den thermischen Kollektoren als einzige Absorberfläche (keine weiteren Flächen für Wärmepumpe oder Sonstiges nötig) könnte durch einen separaten Trinkwasserspeicher erzeugt werden. Dieses Forschungsprojekt ist mit preislich aufwendigeren innovativen Technologien ausgestattet und sollte für die Zukunft aus wirtschaftlicher Sicht optimiert werden. Aus der technischen Perspektive hat das Monitoring jedoch die Effektivität der Technologie gezeigt.

9 Anhang

Anhang 1a: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von 02/14 - 01/15

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch							Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung	Zirkulationspumpe - Heiztechnik	Wärmepumpe	Hausautomation	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	Batterieverluste + Messtechnik	<i>(ohne Mobilität)</i>
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Feb 14	115,1	642	521,6	120,4	40,3	0,1	0,0	-	18	133	44,1	235,5
Mrz 14	36,8	1.111	789,0	322,0	50,9	0,2	0,0	-	18	163	126,7	358,8
Apr 14	56,6	1.086	809,5	276,5	47,0	0,6	0,0	-	15	126	144,5	333,1
Mai 14	32,3	1.149	875,9	273,1	48,4	1,7	0,0	-	11	119	125,3	305,4
Jun 14	13,1	1.604	1.288,0	316,0	120,8	2,1	0,0	-	9	114	83,2	329,1
Jul 14	44,6	1.296	973,1	322,9	26,1	1,6	0,0	-	11	114	214,8	367,5
Aug 14	65,9	1.087	813,4	273,6	71,4	2,2	0,0	-	13	127	126,0	339,6
Sep 14	56,3	862	619,9	242,1	52,3	1,9	0,0	-	16	131	97,2	298,4
Okt 14	195,1	602	438,4	163,6	49,6	0,5	0,0	-	22	165	121,7	358,8
Nov 14	294,5	319	219,6	99,4	41,3	0,0	0,0	-	33	232	87,6	393,9
Dez 14	816,6	213	86,9	126,1	40,1	0,2	565,7	-	34	222	80,7	942,7
Jan 15	915,2	205	100,0	105,0	41,9	0,0	654,1	-	31	213	80,2	1.020,2
Summe	2.642,1	10.176	7.535,3	2.640,7	630,1	11,1	1.219,8	-	231	1.859	1.332	5.283

Anhang 1b: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch von 02/15 - 01/16

Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch							Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung	Zirkulationspumpe - Heiztechnik	Wärmepumpe	Hausautomation	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	Batterieverluste + Messtechnik	<i>(ohne Mobilität)</i>
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Feb 15	597,0	434	134,0	300,0	40,4	0,0	378,4	-	10	194	88,2	711,0
Mrz 15	219,7	897	490,4	406,6	50,9	0,2	50,2	-	37	184	124,8	447,1
Apr 15	96,9	1.257	776,3	480,7	45,2	2,4	7,8	-	17	190	135,2	397,6
Mai 15	106,5	1.095	675,0	420,0	49,9	0,2	0,0	-	17	184	116,0	367,1
Jun 15	38,6	1.359	839,0	520,0	122,7	0,2	0,0	-	10	184	118,3	435,2
Jul 15	14,9	1.528	1.056,6	471,4	26,6	1,1	0,0	-	7	153	126,0	313,7
Aug 15	57,0	1.418	887,2	530,8	73,1	0,4	0,0	-	9	181	149,7	413,3
Sep 15	137,3	883	461,4	421,6	54,2	0,0	0,0	-	22	222	116,5	414,6
Okt 15	294,7	582	313,9	268,1	48,9	1,2	0,0	-	29	244	93,3	416,3
Nov 15	286,8	479	254,5	224,5	41,2	0,1	0,0	-	34	249	110,9	435,2
Dez 15	344,4	397	214,1	182,9	40,1	0,1	79,2	-	44	270	88,2	521,7
Jan 16	608,4	234	106,0	128,0	38,5	3,3	288,0	-	46	260	94,3	730,2
Summe	2.802,1	10.563	6.208,3	4.354,7	631,9	9,2	803,6	-	282	2.515	1.361	5.603

Anhang 2a: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser, Elektromobilität und Projektspezifisch von 02/14 - 01/15

Monat	Heizung + TWW + Lüftung (incl. Wärmepumpe)	Elektromobilität	Projektspezifisch (Messtechnik)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Feb 14	40,4	181	25,5
Mrz 14	51,1	132	29,2
Apr 14	47,6	155	30,9
Mai 14	50,1	77	32,6
Jun 14	122,9	72	29,9
Jul 14	27,7	100	30,5
Aug 14	73,5	135	30,5
Sep 14	54,2	68	29,6
Okt 14	50,1	263	30,2
Nov 14	41,3	194	29,2
Dez 14	606,0	216	32,3
Jan 15	696,0	167	32,8
Summe	1.861	1.760	363,2

Anhang 2b: Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Heizung und Trinkwarmwasser, Elektromobilität und Projektspezifisch von 02/15 - 01/16

Monat	Heizung + TWW + Lüftung (incl. Wärmepumpe)	Elektromobilität	Projektspezifisch (Messtechnik)
	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Feb 15	418,8	180	29,0
Mrz 15	101,2	187	31,7
Apr 15	53,0	178	31,4
Mai 15	49,9	168	31,5
Jun 15	122,7	199	31,4
Jul 15	26,6	138	31,7
Aug 15	73,1	215	32,1
Sep 15	54,2	155	31,1
Okt 15	48,9	153	32,2
Nov 15	41,2	76	31,7
Dez 15	119,3	3	31,7
Jan 16	326,5	3	32,7
Summe	1.435,5	1.655	378,2

Anhang 3a: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG von 02/14 - 01/15

Monat	WC	Flur Haustür	Wohn und Esszimmer	Küche
	°C	°C	°C	°C
Feb 14	**	-	**	**
Mrz 14	**	-	**	**
Apr 14	**	-	**	**
Mai 14	**	-	**	**
Jun 14	**	-	**	**
Juli 14	25,29	-	24,96	24,81
Aug 14	24,23	-	24,21	24,17
Sep 14	24,22	-	25,08	25,22
Okt 14	22,87	-	24,11	24,20
Nov 14	20,90	-	22,64	22,80
Dez 14	20,98	-	22,68	22,94
Jan 15	21,23	-	23,07	23,38
Mittelwert Heizperiode*	22,82	-	23,82	23,93

* Heizperiode September 2014 zu 75 %, Oktober 2014 bis Januar 2015 ganz

** keine Daten vorhanden

Anhang 3b: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im EG von 02/15 - 01/16

Monat	WC	Flur Haustür	Wohn und Esszimmer	Küche
	°C	°C	°C	°C
Feb 15	21,32	-	23,22	23,84
Mrz 15	22,93	-	24,66	24,92
Apr 15	23,55	-	24,95	25,06
Mai 15	24,39	-	25,31	25,20
Jun 15	25,31	-	25,77	25,54
Jul 15	25,70	-	25,47	25,40
Aug 15	25,05	-	24,82	24,71
Sep 15	24,03	-	24,81	25,03
Okt 15	22,99	-	23,99	24,41
Nov 15	22,56	-	23,82	24,21
Dez 15	21,41	-	22,94	23,49
Jan 16	20,88	-	22,01	22,54
Mittelwert Heizperiode*	23,34	-	24,31	24,53

* Heizperiode September 2014 zu 75 %, Oktober 2014 bis Januar 2015 ganz

Anhang 4a: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im OG von 02/14 - 01/15

Monat	OG Ankleide	OG Bad/Du	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2/Büro	OG Treppe	OG Schlafzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Feb 14	-	**	-	**	**	-	**
Mrz 14	-	**	-	**	**	-	**
Apr 14	-	**	-	**	**	-	**
Mai 14	-	**	-	**	**	-	**
Jun 14	-	**	-	**	**	-	**
Juli 14	-	24,90	-	24,36	25,38	-	24,40
Aug 14	-	23,94	-	23,59	23,42	-	23,11
Sep 14	-	23,93	-	24,02	22,46	-	22,87
Okt 14	-	22,94	-	22,43	20,43	-	20,89
Nov 14	-	21,19	-	20,79	19,33	-	19,82
Dez 14	-	21,79	-	20,88	19,91	-	20,03
Jan 15	-	22,37	-	21,24	20,45	-	20,49
Mittelwert Heizperiode*	-	23,01	-	22,47	21,63	-	21,66

* Heizperiode September 2014 zu 75 %, Oktober 2014 bis Januar 2015 ganz

** keine Daten vorhanden

Anhang 4b: Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen im OG von 02/15 - 01/16

Monat	OG Ankleide	OG Bad/Du	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2/Büro	OG Treppe	OG Schlafzimmer
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Feb 15	-	22,52	-	21,26	20,21	-	20,74
Mrz 15	-	23,67	-	22,94	21,09	-	22,25
Apr 15	-	23,88	-	23,51	20,56	-	23,16
Mai 15	-	24,55	-	24,01	21,72	-	23,35
Jun 15	-	25,18	-	24,82	23,17	-	24,47
Jul 15	-	25,34	-	25,08	24,98	-	25,21
Aug 15	-	24,81	-	24,86	24,12	-	24,38
Sep 15	-	24,23	-	23,58	20,66	-	23,89
Okt 15	-	23,62	-	22,64	19,64	-	22,66
Nov 15	-	23,27	-	22,43	20,23	-	22,29
Dez 15	-	22,55	-	21,27	19,42	-	21,00
Jan 16	-	22,07	-	20,64	19,02	-	20,28
Mittelwert Heizperiode*	-	23,81	-	23,09	21,23	-	22,81

* Heizperiode September 2014 zu 75 %, Oktober 2014 bis Januar 2015 ganz

Anhang 5a: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumluftheuchten im EG von 02/14 - 01/15

Monat	WC	Flur Haustür	Wohn und Esszimmer	Küche
	%	%	%	%
Feb 14	**	-	**	**
Mrz 14	**	-	**	**
Apr 14	**	-	**	**
Mai 14	**	-	**	**
Jun 14	**	-	**	**
Jul 14	53,6	-	53,15	53,82
Aug 14	54,61	-	53,63	53,68
Sep 14	52,64	-	50,97	49,5
Okt 14	50,12	-	47,47	46,01
Nov 14	47,32	-	42,56	42,78
Dez 14	47,69	-	39,47	43,61
Jan 15	46,49	-	37,5	41,75

** keine Daten vorhanden

Anhang 5b: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumluftheuchten im EG von 02/15 - 01/16

Monat	WC	Flur Haustür	Wohn und Esszimmer	Küche
	%	%	%	%
Feb 15	44,41	-	34,31	38,88
Mrz 15	42,45	-	34,18	36,92
Apr 15	40,47	-	33,78	35,35
Mai 15	47,82	-	42,18	44,11
Jun 15	51,03	-	47,54	48,71
Jul 15	56,55	-	55,93	56,13
Aug 15	57,18	-	56,75	57,43
Sep 15	55,09	-	49,63	51,57
Okt 15	52,18	-	44,40	47,81
Nov 15	49,94	-	41,67	45,28
Dez 15	50,18	-	40,49	45,72
Jan 16	49,77	-	39,16	45,72

Anhang 6a: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten im OG von 02/14 - 01/15

Monat	OG	OG Bad/Du	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2/Büro	OG Treppe	OG
	Ankleide	°C	°C	°C	°C	°C	Schlafzimmer
	%	%	%	%	%	%	%
Feb 14	-	**	-	**	**	-	**
Mrz 14	-	**	-	**	**	-	**
Apr 14	-	**	-	**	**	-	**
Mai 14	-	**	-	**	**	-	**
Jun 14	-	**	-	**	**	-	**
Jul 14	-	54,18	-	54,23	50,99	-	57,09
Aug 14	-	54,67	-	54,99	54,85	-	58,87
Sep 14	-	54,18	-	53,58	56,65	-	59,1
Okt 14	-	51,29	-	52,79	56,64	-	59,01
Nov 14	-	47,35	-	48,24	48,71	-	52,68
Dez 14	-	43,61	-	47,63	43,01	-	49,33
Jan 15	-	42,18	-	45,67	38,73	-	49,5

** keine Daten vorhanden

Anhang 6b: Zusammenstellung der mittleren monatlichen relativen Raumlufffeuchten im OG von 02/15 - 01/16

Monat	OG	OG Bad/Du	OG Galerie	OG Kind 1	OG Kind 2/Büro	OG Treppe	OG
	Ankleide	°C	°C	°C	°C	°C	Schlafzimmer
	%	%	%	%	%	%	%
Feb 15	-	41,46	-	43,97	37,90	-	48,94
Mrz 15	-	38,69	-	40,70	38,26	-	43,92
Apr 15	-	37,38	-	37,88	38,95	-	40,95
Mai 15	-	46,18	-	46,27	49,69	-	50,03
Jun 15	-	50,07	-	49,54	52,83	-	52,05
Jul 15	-	55,70	-	55,65	54,56	-	55,67
Aug 15	-	56,60	-	55,34	55,25	-	56,99
Sep 15	-	53,55	-	54,38	56,27	-	55,68
Okt 15	-	50,89	-	53,20	51,70	-	54,08
Nov 15	-	47,35	-	48,32	44,05	-	51,55
Dez 15	-	49,51	-	50,33	43,32	-	52,95
Jan 16	-	47,15	-	51,16	39,78	-	52,30