Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 31

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus

in Kaiserslautern

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

Messperiode
Januar 2013 bis Dezember 2014

Aktenzeichen
SWD - 10.08.82-11.6

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

bearbeitet von
Mathias Dalheimer
Dr. Franz-Josef Pfreundt
Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik
Fraunhoferplatz 1, 67663 Kaiserslautern

Endbericht des Modellvorhabens
Effizienzhaus Plus Ecolodge

Wissenschaftliche Begleitung des privat gebauten Effizienzhaus Plus Ecolodge in Stelzenberg

Forschungsprogramm

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

Messperiode

Januar 2013 bis Dezember 2015

Aktenzeichen

PEH - A3-12 10 01

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

bearbeitet von

Mathias Dalheimer

Dr. Franz-Josef Pfreundt

Fraunhofer Institut für Techno-und Wirtschaftsmathematik

Fraunhoferplatz 1, 67663 Kaiserslautern

Inhalt

Kurzfassung **7**

1 Kontext und Zielsetzung **8**

2 Gebäudesteckbrief **9**
2.1 Allgemeine Daten 9
2.2 Architektur 9
2.3 Wärmeschutz 12
2.4 Anlagentechnik 13
2.5 Energiebedarf und Energiedeckung 14
2.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599 15

3 Monitoring **17**
3.1 Messkonzept 17
3.2 Verwendete Messtechnik 17
3.3 Messsystem zur Erfassung der Wirkungsweise der eingesetzten Bleibatterie 19
3.4 Erfassung Raumtemperatur 20

4 Meteorologische Randbedingungen **21**
4.1 Globalstrahlung 22
4.2 Außenlufttemperaturen 22
4.3 Klimabereinigung 23

5 Messergebnisse **24**
5.1 Stromverbrauch 24
5.1.1 Stromverbrauch für Hausbetrieb 24
5.1.2 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung 26
5.2 Eigenstromnutzung 28
5.3 Innenraumtemperaturen Sommer 32
5.4 Innenraumtemperaturen Winter 33

6 Kosten / Wirtschaftlichkeit **34**
6.1.1 Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugungsanlage 34

7 Bewertung 36
7.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes 36
7.2 Verbesserungspotentiale 36
7.3 Wirtschaftlichkeit 37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Energiebilanz der Ecolodge seit Inbetriebnahme	7
Abbildung 2	Grundriss der Ecolodge	10
Abbildung 3	Grundriss 1. OG Galerie & Schlafen	10
Abbildung 4	Skizze des Architekten zum Design des Gebäudes	11
Abbildung 5	Südostansicht des Hauses	12
Abbildung 6	Aufbau der Gebäudehülle	13
Abbildung 7	Schematische Darstellung der Wärmeversorgung	14
Abbildung 8	Gemäß Din 18599 berechnete Aufwandszahlen bzw. Arbeitszahlen	16
Abbildung 9	Schemadarstellung zur Platzierung der Energiezähler Strom	17
Abbildung 10	Energieverbrauch- und Erzeugung (tagesweise) auf der mySmartgrid Webseite	18
Abbildung 11	Mittels PVcast erstellte Prognose für die PV-Produktion und Vergleich mit der aktuellen Erzeugung an einem Februartag.	18
Abbildung 12	Schemadarstellung der Platzierung der eingebauten Wärmemengenzähler WMZ	19
Abbildung 13	Monatliche Energiebilanz nach Installation der Batterie	20
Abbildung 14	Wochenmittelwerte der Außentemeratur im Vergleich Referenzmessung bzw. TRY6 Standard	20
Abbildung 15	Typischer Verlauf der Temperaturmessung an den beiden installierten Temperatursenoren (Wohnraum, Galerie/Schlafen). Der höhere Wert stammt von der Galerie.	21
Abbildung 16	Vergleich der Globalstrahlung in Morlautern mit dem TRY6-Referenzmodell	22
Abbildung 17	Wochenmittelwerte der Aussentemperatur im Vergleich mit dem TRY6- Referenzmodell	23
Abbildung 18	Vergleich Endenergie EnEV 2009 mit Messung 2013	24
Abbildung 19	Vergleich Endenergie EnEV 2009 mit Messung in 2014	25
Abbildung 20	Vergleich Endenergie EnEV 2009 mit Messung 2015	25
Abbildung 21	Monatliche Bilanz PV-Produktion abzüglich Stromverbrauch	27
Abbildung 22	Kumulierte PV Erzeugung und Verbrauch in 2013	27
Abbildung 23	Kumulierte PV-Erzeugung und Verbrauch in 2014	28
Abbildung 24	Kumulierte PV-Erzeugung und Verbrauch in 2015	28
Abbildung 25	Anteil der Selbstversorgung am Gesamtverbrauch 2013	29

Abbildung 26	Anteil der Selbstversorgung am Gesamtverbrauch 2014	29
Abbildung 27	Anteil der Selbstversorgung am Gesamtverbrauch 2015 ab Juni mit Batterienutzung	30
Abbildung 28	Monatsweise Darstellung der Anteile Netzbezug - Selbstverversorgung (direkt) und Selbstversorgung aus der Batterie von Juni 2015 bis Februar 2017	30
Abbildung 29	Graphische Darstellung der Selbstversorgungsanteile im Jahre 2016	31
Abbildung 30	Vergleich der Raumtemperatur mit Aussentemperatur im Juni 2015	32
Abbildung 31	Vergleich der Raumtemperaturen mit der Aussentemperatur im Juli 2015	32
Abbildung 32	Vergleich der Raumtemperaturen mit der Aussentemperatur im Januar 2016	33
Abbildung 33	Tabelle zur Kostenermittlung für die kWh Nutzenergie	35
Abbildung 34	Tabelle der Stromverbräuche und Erzeugung in 2013	38
Abbildung 35	Tabelle der Stromverbräuche und Erzeugung in 2014	39
Abbildung 36	Tabelle der Stromverbräuche und Erzeugung in 2015	40
Abbildung 37	Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen während der Messperiode	41

Kurzfassung

Das Wohngebäude wurde von einem privaten Bauherrn zur Vermietung an Feriengäste mit einem gehobenen Anspruch an Architektur und Umweltbewusstsein gebaut. Die 120 qm Nutzfläche verteilen sich auf einen großen Wohnraum mit integrierter Küche, ein luxuriöses Bad, einen Hausarbeits-, einen Haustechnikraum sowie eine offene zweiten Etage, die bis zu 4 Personen sowie einem Kleinkind einen größzügigen Schlaf- und Spielraum auf japanischen Tatami Matten bietet.

Dünnschichtphotovoltatik-Module auf der kompletten Nord-und Südseite des Daches sind in die Dachfläche integriert und stellen den äußeren Wetterschutz dar. Die Wasserableitung übernimmt eine Folienkonstruktion. Diese optisch perfekte Integration bildet einen harmonischen Bestandteil des gesamten Baukörpers. Niedertemperatur-Solarthermiekollektoren bilden das Dach des Geräteschuppens und werden als externer Wärmetauscher für die Wärmepumpe genutzt, welche Niedertemperaturenergie über einen integrierten Eisspeicher nutzen kann. Die gesamte Baukonstruktion ist wärmebrückenfrei ausgeführt, verwendet Dreifachverglasung und setzt auf ein hoch wärmedämmendes einschaliges Mauerwerk.

Das Gebäude wurde am 1.1.2012 in Betrieb genommen. Mitte des selben Jahres sind die ersten Gäste eingezogen. Bis dahin wurde ein Innentemperaturniveau von 20 Grad gehalten, dann wurden, den Ansprüchen der Gäste gemäß, höhere Temperaturen vorgehalten. Mitte 2015 wurde eine Bleibatterie im externen Geräteschuppen integriert. Die einfache Gesamtbilanz der mehr als 4 Jahre Betriebszeit lässt sich gut mit den folgenden beiden Bildern darstellen. Der Betrachtungszeitraum schließt den Februar 2017 noch ein.

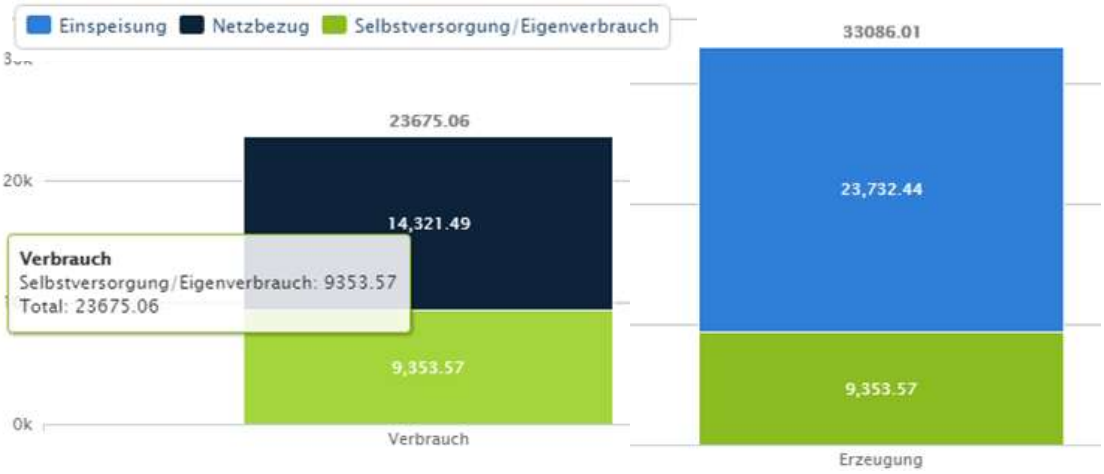


Abbildung 1 Energiebilanz der Ecolodge seit Inbetriebnahme

Bei einer Gesamtproduktion von 33.086 kWh und einem Gesamtverbrauch von 23.675 kWh ergibt sich eine Selbstversorgungsrate von aktuell 40 % (grüner Anteil im Diagramm), die im Laufe der Zeit noch weiter steigen sollte. Der Überschuss ist ausreichend um ein Elektrofahrzeug zu betreiben. Externer Strom wird von einem zertifizierten Grünstromanbieter bezogen – ein spezieller Wärmepumpentarif wird nicht in Anspruch genommen. Die Messung enthält alle Stromverbraucher sowie die Messtechnik. Die Systemarbeitszahl (Nutzenergie/Endenergie) liegt bei 3. Hier wurde auf Basis der Simulation mit einem höheren Wert gerechnet (4.0). Die Ursache dafür dürfte im vergleichsweise geringen Wasserverbrauch in der Sommerzeit liegen.

Im Vergleich mit der EnEV Berechnung kommt das Gebäude mit deutlich weniger Energie aus.

Die berechneten Nutzwärmegestehungskosten von ca. 25 ct /kWh entsprechen den Erwartungen. Davon sind etwa 10 ct auf die laufenden Betriebskosten zurückzuführen und kommen damit in die Nähe der Kosten für den Betrieb einer Gastherme. Bei einem Selbstversorgungsgrad von über 40 %, der noch gesteigert werden kann, und einem zu 100 % emissionsfreien Betrieb wird die Ecolodge ihrem Namen gerecht und kann heute als Beispiel eines Ferienhauses der Zukunft angeführt werden. Unter Beachtung der Einnahmen aus dem Ferienhausbetrieb kann deshalb die Investition in ein Plusenergiehaus, bei gleichzeitig ansprechender Architektur, als gelungen bezeichnet werden.

1 Kontext und Zielsetzung

Das Objekt dieses Modellvorhabens ist ein Bau, der zur Vermietung in Stelzenberg in der Nähe der Forschungseinrichtungen und Hochschule in Kaiserslautern errichtet wurde und gleichzeitig die Fahrrad- und Wandertouristen der Region Pfälzer Wald bedient. Es ist als attraktive „Ecolodge“ mit komfortabler Innenausstattung für 2-4 Personen konzipiert.

Bei der Konzeption des Gebäudes wurde neben der Realisierung als Plusenergiehaus ohne Verwendung fossiler Brennstoffe ebenso ein hoher Wert auf die Verwendung ökologischer Baustoffe gelegt. Der Energiebedarf zur Herstellung des Gebäudes konnte so auch gering gehalten werden. Im Zuge des Forschungsprojektes „myPowerGrid“[1] des Fraunhofer ITWM wird das Gebäude mit einem Batteriesystem ausgestattet, das in einen Batterieverbund eingebunden sein wird, der nicht nur die Eigenversorgung des Gebäudes verbessert, sondern auch gezielt ins Netz einspeist. Ebenso werden die im Projekt „mySmartGrid“ entwickelte preiswerte Messtechnik sowie die Internetplattform zur Messdatenerfassung und Information des Bauherrn über die Energieflüsse genutzt.

Bauseits sollte ein architektonisch ansprechendes Objekt, das von der oftmals abschreckenden Massivhausbauweise deutlich abweicht, errichtet und im Weiteren der Energiebedarf der Baustoffe mit berücksichtigt werden.

[1] Mehr Informationen zum myPowerGrid Projekt auf www.mypowergrid.de

2 Gebäudesteckbrief

2.1 Allgemeine Daten

Baujahr:	2012
Bruttogrundfläche	164 m^2
Beheizte Nettogrundfläche	113 m^2
Beheiztes Gebäudevolumen	675 m^3
Hüllflächenfaktor A/V	0,72 m^{-1}
Breitengrad:	
Längengrad:	
Höhenlage:	380 m üNN
Gebäudenutzflache AN (nach EnEV)	216 m^2
KG 300	240 000€
KG 400	100 000€

2.2 Architektur

Aus der Beschreibung des Architekten Marcus Schwarz:

„Prämisse bei der Konzeption des Effizienzhaus Plus „ecolodge“ war das Erzeugen von Glück und Zufriedenheit. Diese sollten sich im Entwurf manifestieren.

Eine maximale energetische Effizienz zur Minimierung des Bedarfs und Nutzung der Sonne, aktiv wie passiv, sowie das Verwenden ökologischer Materialien im Hinblick auf Ökobilanz und Schadstoffemission wurde im Entwurf umgesetzt. Die technologisch hochwertige Ausführung der Haustechnik ist diesem nicht im Geringsten konträr.

Das Raumkonzept bildet einen ursprungsnahen Rückzugs- und Genussraum, in welchem die Jahreszeiten und die Natur auf den Besucher reflektiert werden. Trotz einer loftartigen Ein- bzw. Wenigraumkonzeption erinnert der Innenraum an den Grundriss des traditionellen japanischen Hauses.“

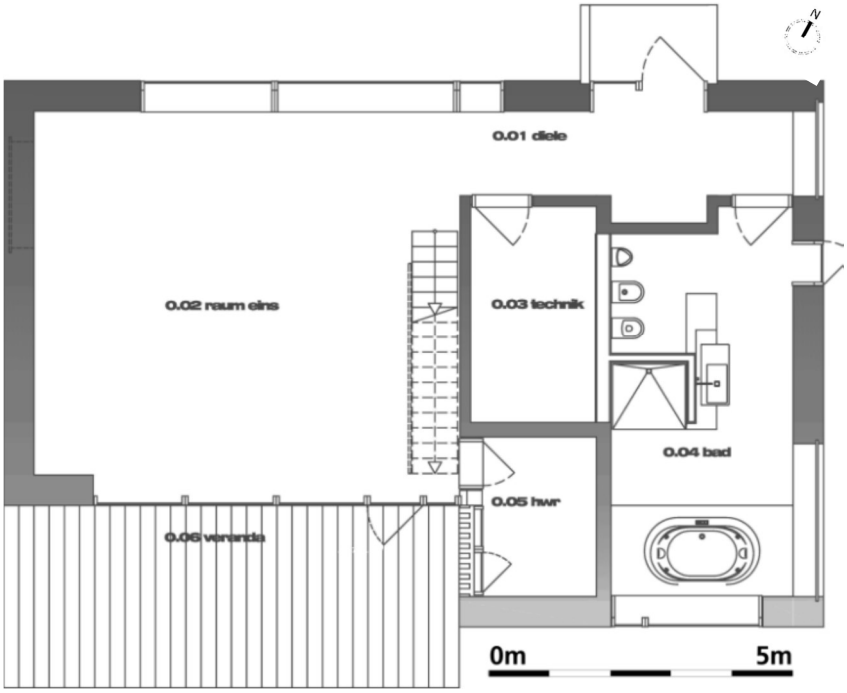


Abbildung 2 Grundriss der Ecolodge

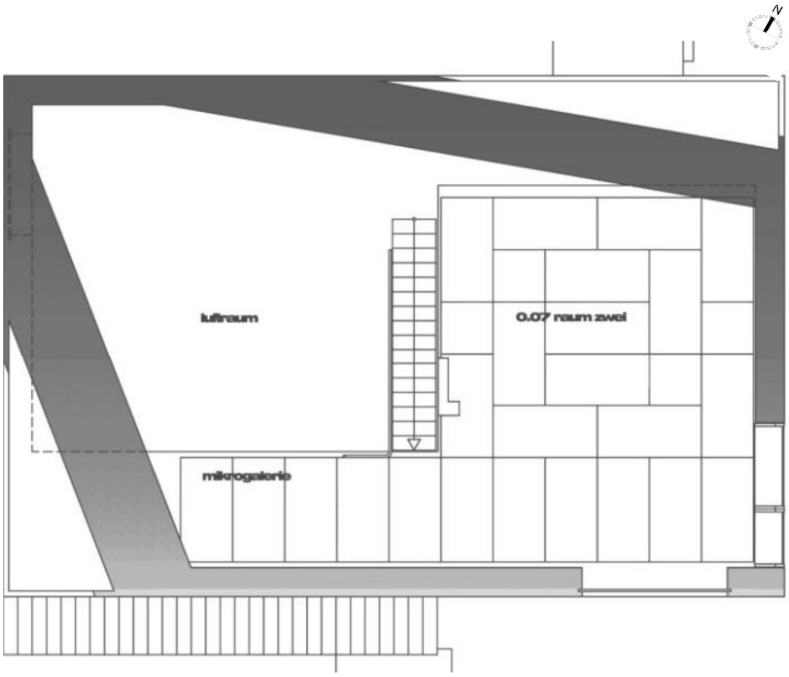


Abbildung 3 Grundriss 1. OG Galerie & Schlafen

Zum besseren Verständnis aus den Skizzen des Architekten der letzte Schritt im Design genannt „Step Four“

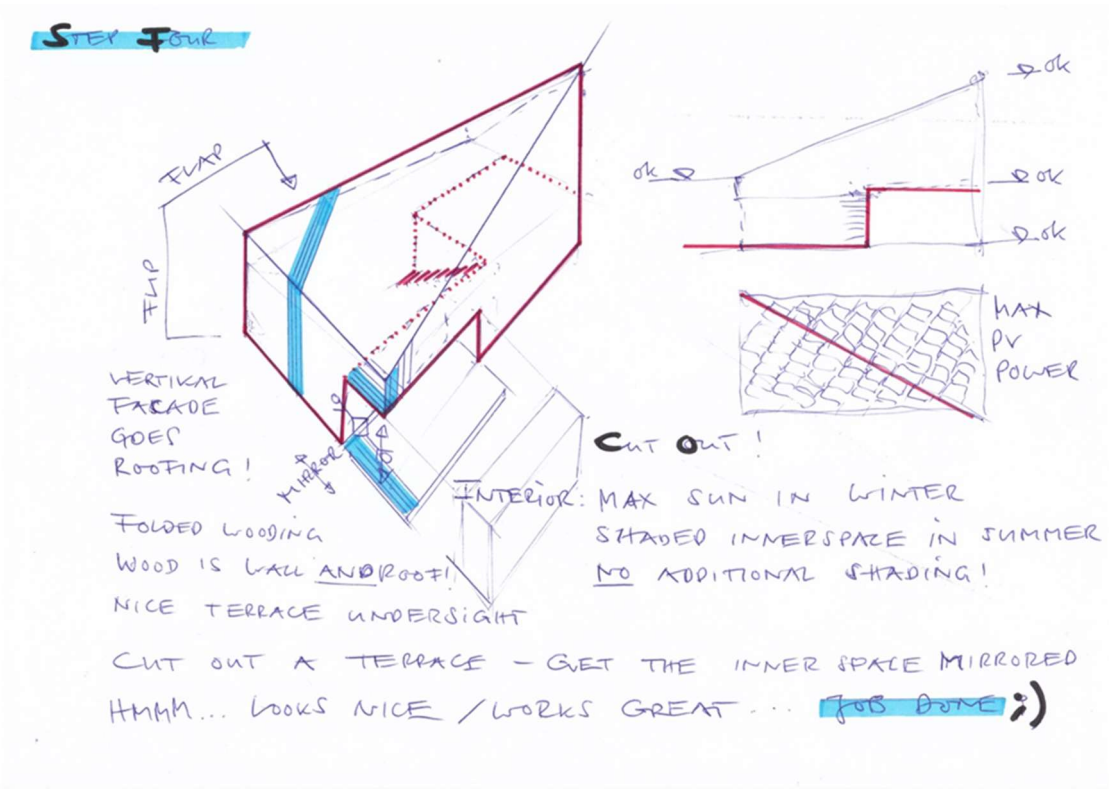


Abbildung 4 Skizze des Architekten zum Design des Gebäudes

Zusammenfassung des Architekten: Job Done ;)

Abbildung 5 Südostansicht des Hauses

2.3 Wärmeschutz

Die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes werden durch die geringen U-Werte der Gebäudehülle sowie eine wärmebrückenreduzierte Konstruktion minimiert. Die monolithische, in Mauerwerk ausgeführte Außenwand ist mit einer hinterlüfteten Holzverschalung als Vorhangfassade versehen.

Das Satteldach, mit fallenden Traufen und steigendem Firstgrat, ist als Pfettendach ausgebildet. Das Dach ist zu 85 % mit Photovoltaikelementen belegt und mit 15 % Holzverschalung versehen.

Die Fenster sind als Holzfenster mit einer 3-fach Verglasung ausgebildet.

Das nicht unterkellerte Gebäude ist mit einer Flachgründung versehen, auf der eine gedämmte Bodenplatte aus Beton liegt.

Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/(m²K)]
Außenwand (von innen nach außen)	Lehmputz 2-lagig	15	0,20
	Porenbeton	425	
	Luftschicht	50	
	Holzschalung	25	
Fenster	Fensterrahmen mit Dreifachverglasung	-	0,95
Dach (von oben nach unten)	Dachbelag		0,16
	Holzfaserdämmplatte WLG 045	20	
	Zelluloseflocken zwischen Sparren	280	
	Dampfsperre	2	
	Holzwolle-Leichtbauplatte	25	
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Eiche Parkett	10	0,13
	OSB-Platte	20	
	Holzfaserdämmplatte WLG 045	40	
	PE-Folie	0,1	
	Perlite	130	
	Bitumen	2	
	Betonplatte	400	
	Schaumglasschotter	400	

Abbildung 6 Aufbau der Gebäudehülle

2.4 Anlagentechnik

Als Energiequellen werden solarer Strom, solare Wärme sowie Umweltwärme genutzt.

Die Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 8.5 kWp besteht aus CIGS Dünnschicht-Solarzellen, welche die Dachhaut auf dem Nord- und Süddach des Hauses bilden.

Das Gebäude wird durch ein solar unterstütztes Wärmepumpensystem beheizt. Dazu sind auf dem Nebengebäude 6 Kollektoren mit einer Steilheit von 60° und 30° nach Westen gedreht aufgestellt. Bei Sonnenschein wird die im Kollektor gewonnene Wärme genutzt um den Pufferspeicher mit einem Inhalt von 1050 l direkt zu erwärmen. Dieser stellt Warmwasser und Heizwärme für eine Wandflächenheizung zur Verfügung.

Bei geringer Sonneneinstrahlung wird die Niedertemperaturenergie in den Latentspeicher (Wasser-/Eisspeicher), der in der Wärmepumpe integriert ist, umgeleitet. Falls keine Wärme benötigt wird, kann diese im Latentspeicher gespeichert werden. Dabei taut das Eis auf. Wird mehr Energie benötigt als im Pufferspeicher zur Verfügung steht, schaltet die Wärmepumpe ein, entzieht dem Wasser-/Eisspeicher weitere Energie und wandelt diese in Wärme für Heizung und Warmwasser um. Durch den Entzug der Wärme wird das Wasser im Latentspeicher wieder eingefroren.

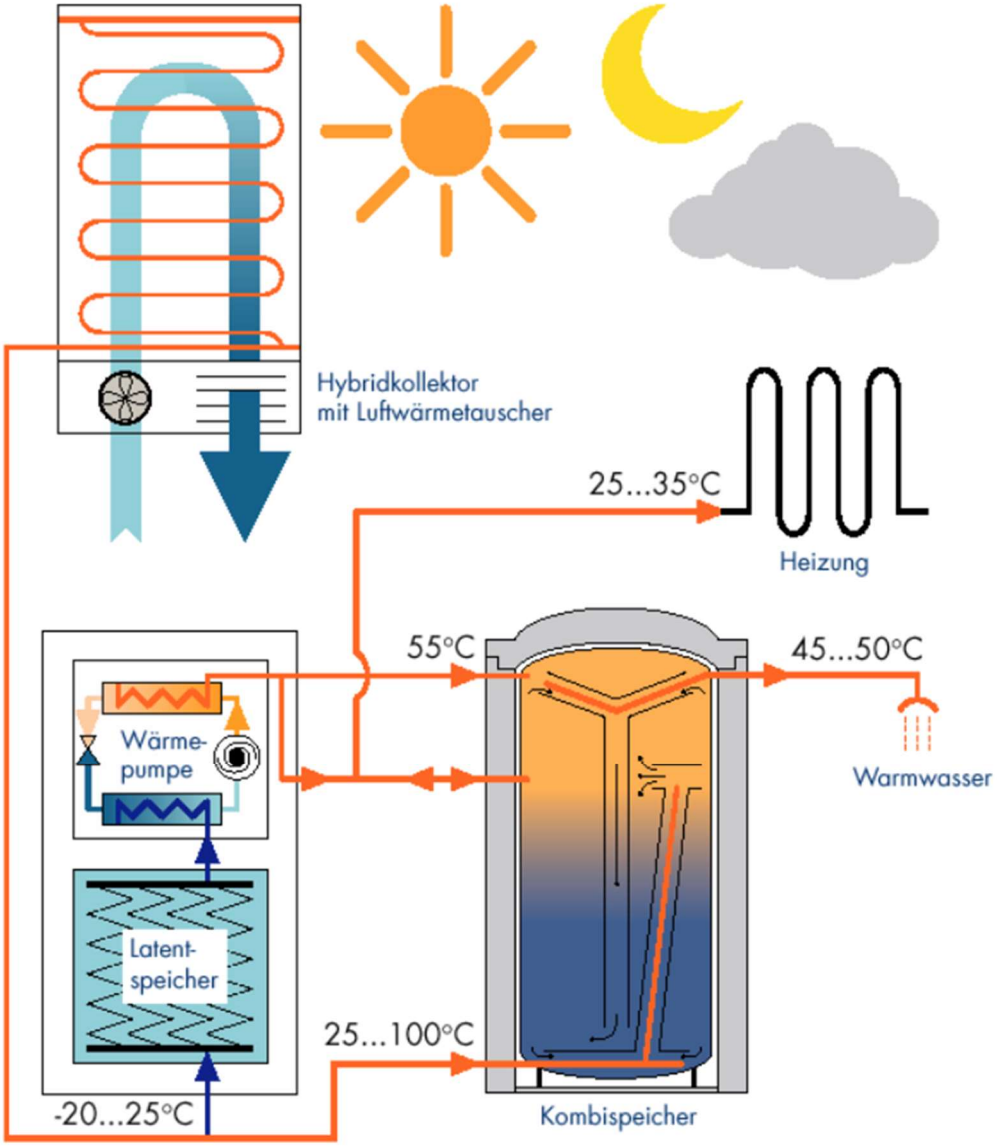


Abbildung 7 Schematische Darstellung der Wärmeversorgung

Das Gebäude wird über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG = 93 %) belüftet. Im Jahre 2015 wurde im Rahmen des myPowerGrid Projektes eine Blei-Batterie mit 8 kWh nutzbarer Kapazität installiert. Die Steuerung der Batterie erfolgt zur Optimierung des Eigenverbrauches durch das am Fraunhofer ITWM entwickelte Energiemanagementsystems (EMS).

2.5 Energiebedarf und Energiedeckung

Gemäß der Vorberechnung mit dem erweiterten EnEV-Nachweis (EnEV 2009) auf der Basis des Rechenverfahrens nach DIN V 18599 weist das Gebäude einen jährlichen Endenergiebedarf

von 5.957 kWh/a auf, vgl. untenstehende Tabelle. Davon entfallen für den Betrieb der Wärmepumpe und der Solaranlage einschließlich Lüftungsanlage zur Beheizung, Warmwasserbereitung und Lüftung 3.457kWh/a. Daneben besteht ein Endenergiebedarf für die Haushaltsgeräte und -prozesse sowie für Beleuchtung von 2.500 kWh/a.

Vorberechnete Werte nach DIN 18599

Name	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Haushalt
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	6772	1573	-	-
Wärmeabgabe d. Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	10.286 (Wärmepumpe und Solarthermie)		-	-
Strombedarf [kWh/a]	3.366		91	2500
	5.957 Gesamt kWh/a			

Die Deckung des Primärenergiebedarfes erfolgt durch die PV-Anlage auf dem Dach sowie den Bezug von Grünstrom aus dem Netz.

2.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Um eine Aussage über die Effizienz des Gebäudes und der Anlagentechnik vornehmen zu können, verwenden wir Aufwandszahlen. Die Aufwandszahl beschreibt das Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen, bzw. zwischen Aufwandsenergie und Nutzenergie. Hierzu können unterschiedliche Bezugsgrößen zur Anwendung kommen:

- Nutzenergie (Wärme-, Kälte- und Trinkwarmwasserbedarf in den Räumen)
- Erzeugerabgabe (Energieabgabe der Wärme- und Kälteerzeuger an das Verteilnetz)
- Endenergie der Erzeuger (Energiebedarf der Wärme- und Kälteerzeuger)
- Endenergie der Haustechnik (Energiebedarf für Wärme- und Kälteerzeugung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen)
- Primärenergie der Haustechnik (nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt der Endenergie für die Haustechnik)

Die in der Vorherberechnung ermittelten Energien sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt. Dabei ist die spezifische Energie auf die Gebäudenutzfläche A_N von 216 m² bezogen.

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/(m²·a)]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	8345	38,6
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	10.286	47,6
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung	2972	13,7
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	3.457	16
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	-	-

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,23
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,28
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,41
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie /Endenergie Haustechnik)	2,41
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	3,45

Abbildung 8 Gemäß Din 18599 berechnete Aufwandszahlen bzw Arbeitszahlen

Das PEH Ecolodge wurde während der Messperiode und auch danach als Ferienhaus mit stark wechselnder Belegung genutzt. Die durch das Monitoring ermittelten Vergleichswerte können deshalb insbesondere im Hinblick auf den Energiebedarf zur Warmwasserversorgung sowie der elektrischen Verbraucher des Haushaltes nur schwer mit den oben dargestellten Werten verglichen werden.

3 Monitoring

3.1 Messkonzept

Das Messkonzept zur messtechnischen Validierung des Gebäudes wurde in Zusammenarbeit mit dem Bauherrn vom Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik in Anlehnung an die Vorgaben, die im BMUB-Förderprogramm festgelegt sind, entwickelt und

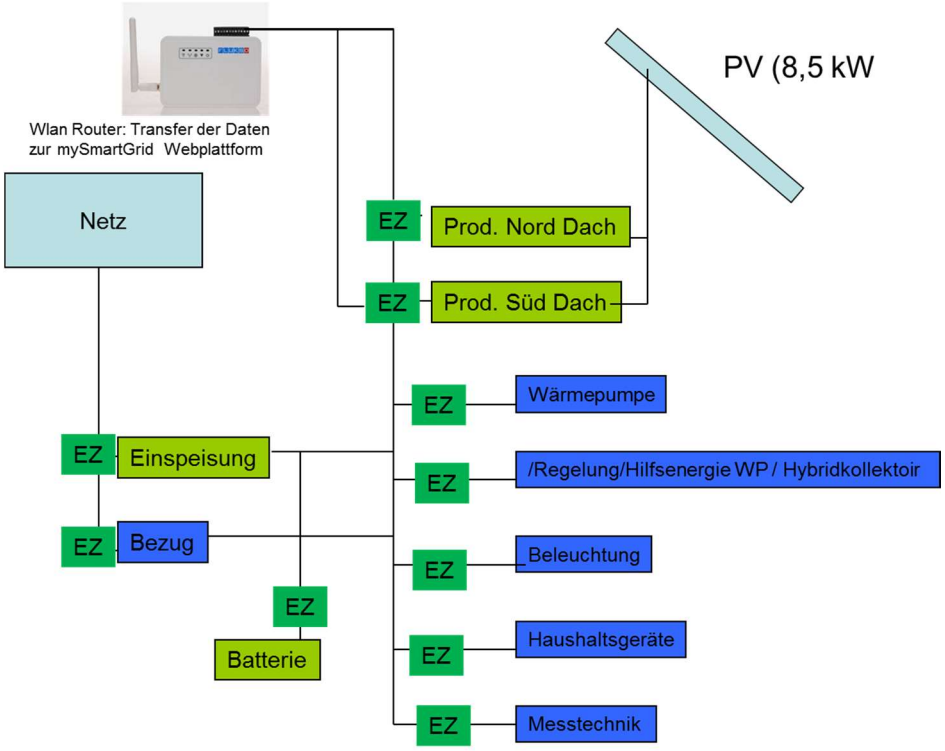
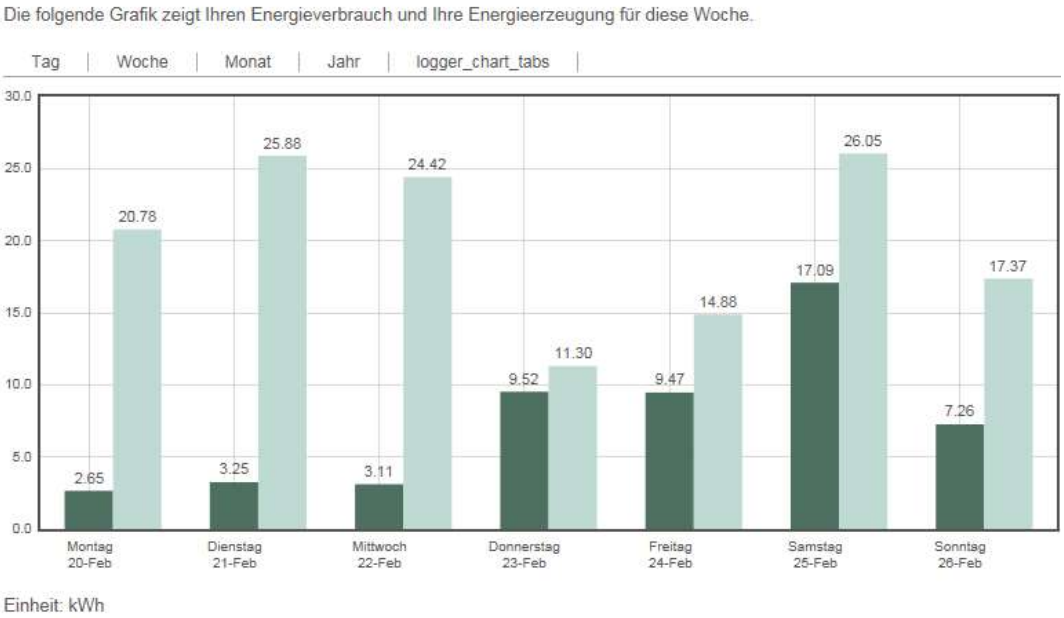


Abbildung 9 Schemadarstellung zur Platzierung der Energiezähler Strom

im Verlauf aktualisiert. Es beinhaltet die Erfassung der Strom- und Wärmeverbräuche sowie der Wetterdaten und des Innenraumklimas. Bei diesem Vorhaben wurden für die Wetterdaten die Außenlufttemperatur und Globalstrahlung einer nahegelegenen Wetterstation verwendet und für das Innenraumklima die Raumlufttemperaturen im Erd- und Obergeschoss gemessen. Die Stromverbräuche für die Elektroversorgung des Hauses für Heizung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Haushaltsstrom und die Stromverbräuche für Messtechnik sowie die Gewinne aus erneuerbaren Energien werden erfasst.

3.2 Verwendete Messtechnik

Das elektrischen Messkonzept basiert auf einer sehr preisgünstigen, vom Fraunhofer ITWM entwickelten Softwarelösung, welche auf der einen Seite vom Bauherrn ablesbare Energiezähler enthält, aber gleichzeitig die Daten zur mySmartGrid Webplattform in Minutenauflösung überträgt. Dort werden die Daten visualisiert und analysiert.



	Benutzer	Sensor	Typ	Min	Max	Mittelwert	Summe
■	bau2012	Alle	Energie-Erzeugung	*2.65* am *Montag*	*17.09* am *Samstag*	7.48	52.34
□	bau2012	Alle	Energie-Verbrauch	*11.30* am *Donnerstag*	*26.05* am *Samstag*	20.10	140.68

Abbildung 10 Energieverbrauch- und Erzeugung (tagesweise) auf der mySmartgrid Webseite

Unter Verwendung von Machine Learning Methoden erstellt der PV-Cast Dienst unter Verwendung der vergangenen Produktionsdaten und der lokalen Wetterprognose eine Vorhersage für die PV-Produktion der nächsten Tage. Der PV-Cast Service ist als unabhängiger B2B Webservice implementiert, der weltweit genutzt werden kann.

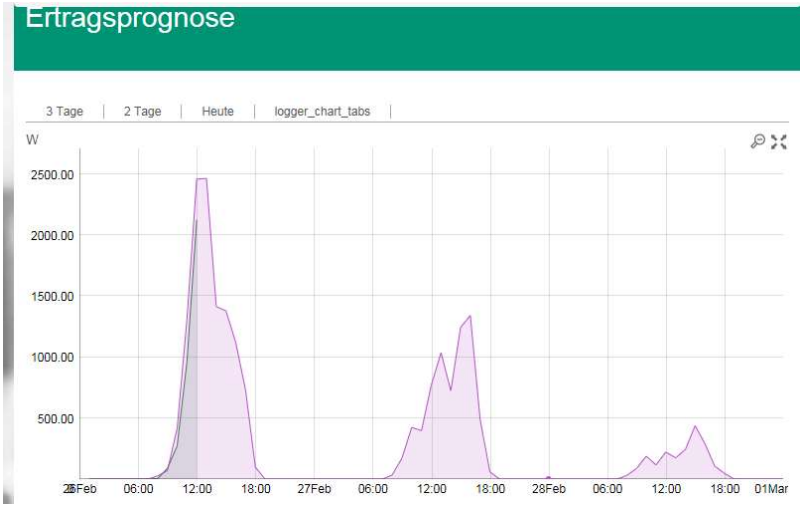


Abbildung 11 Mittels PVcast erstelle Prognose für die PV-Produktion und Vergleich mit der aktuellen Erzeugung an einem Februartag.

Zur Erfassung der Wärmeströme wurden Ultraschallwärmezähler eingebaut bzw. werden die mit dem Wärmeerzeuger mitgelieferten WMZ verwendet. Leider sind die vom Hersteller gelieferten WMZ häufig ausgefallen, sodass hier Datenlücken entstanden sind. Die Messung der Lieferung von Umweltenergie an den Eisspeicher weist deshalb Lücken auf. Im Weiteren wird deshalb auf eine detaillierte Auswertung dieser Messung verzichtet.

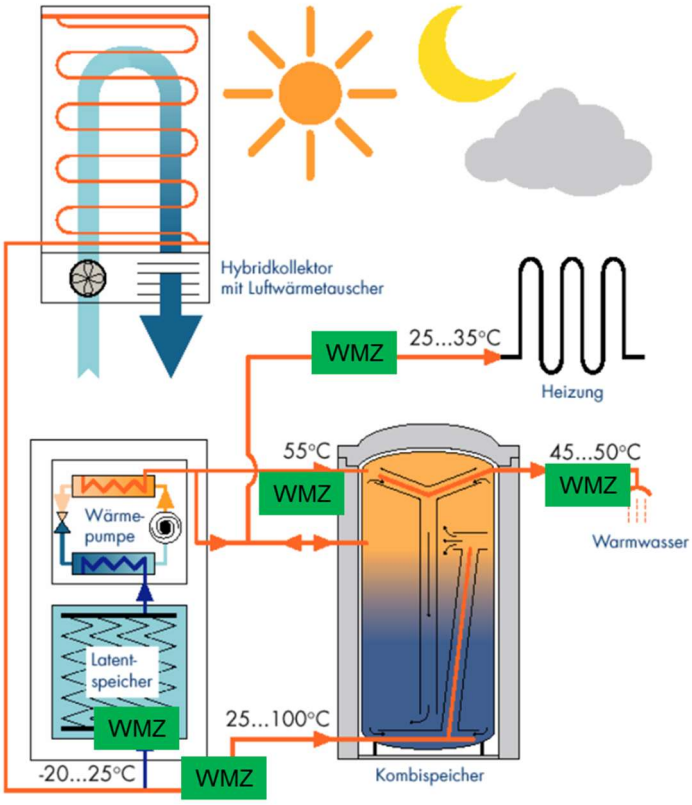


Abbildung 12 Schemadarstellung der Platzierung der eingebauten Wärmemengenzähler WMZ

3.3 Messsystem zur Erfassung der Wirkungsweise der eingesetzten Bleibatterie

Zur Erfassung der Energieströme und zur Steuerung des Batterie-Wechselrichtersystems wird eine am Fraunhofer ITWM neu entwickelte Technik eingesetzt. Über Messstellen, welche direkt die Werte der elektronischen Haushaltszähler über die Frontschnittstelle auslesen, werden die momentanen Stromflüsse in hoher zeitlicher Auflösung erfasst. Das am ITWM entwickelte Energiemanagementsystem (EMS) ist auf einem preiswerten und energiesparenden Rasberry Pi Rechner installiert. Aktuelle Messwerte über Stromflüsse sind so zeitgleich lokal über eine Weboberfläche des EMS verfügbar und werden ebenso auf der myPowerGrid Internetplattform erfasst. Die Internetplattform bietet darüber hinaus erweiterte Monitoringmöglichkeiten für Wartungstechniker, erfasst Störungsmeldungen und bietet zukünftig auch die Möglichkeit, den Energiespeicher auch im Verbund mit anderen Speichern zu steuern.

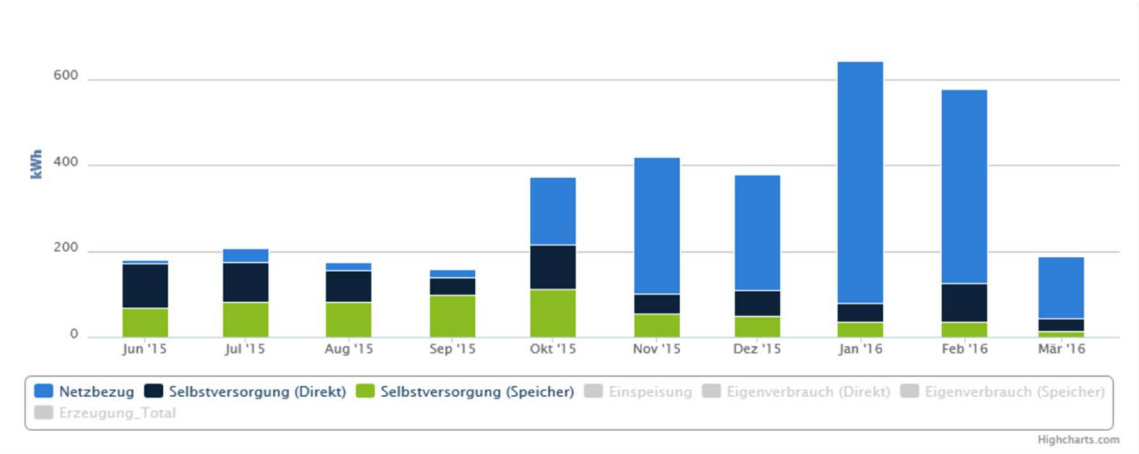


Abbildung 13 Monatliche Energiebilanz nach Installation der Batterie

3.4 Erfassung Raumtemperatur

Zur Erfassung der Raumtemperatur wurde ebenfalls ein internetfähiger, am Fraunhofer ITWM entwickelter Sensor genutzt. Die Sensoren kommunizieren mit einem neu entwickelten offenen (Smart Home Standard) Hexabus Interface untereinander sowie mit einer zentralen Station, welche die Werte ebenfalls zur mySmartGrid Plattform transportiert. Dort können die Messwerte vom Bauherrn live eingesehen werden.

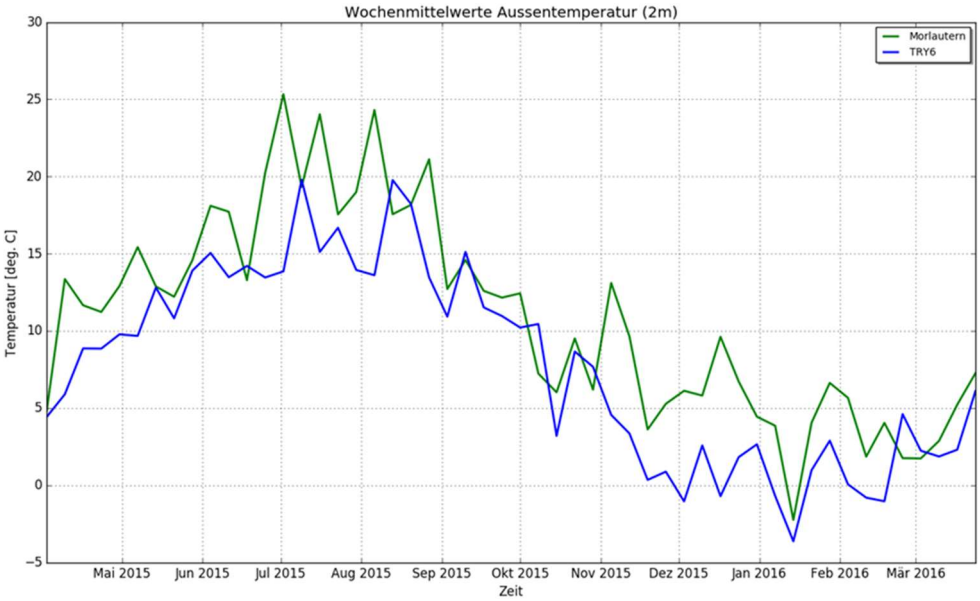


Abbildung 14 Wochenmittelwerte der Außentemeratur im Vergleich Referenzmessung bzw. TRY6 Standard

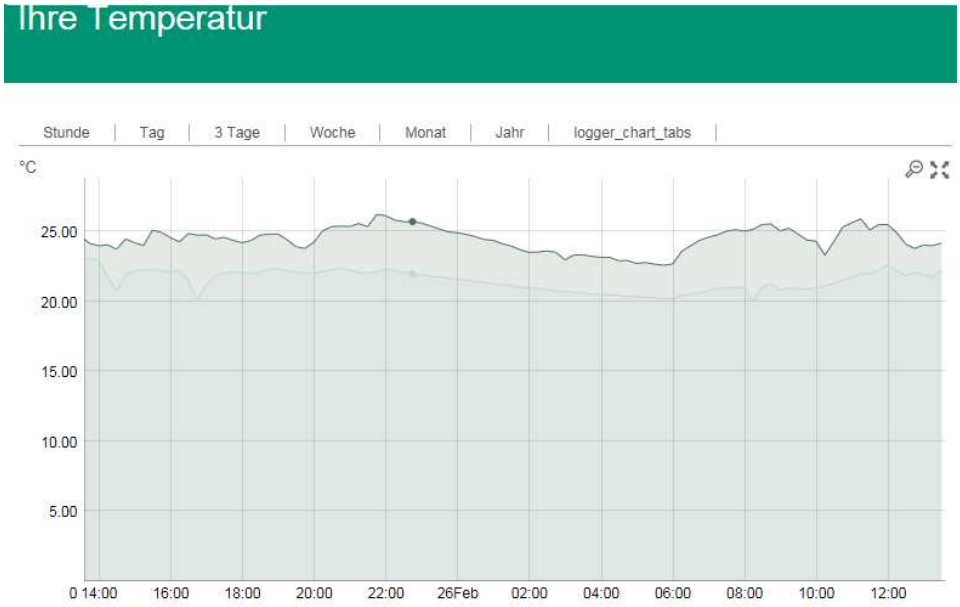


Abbildung 15 Typischer Verlauf der Temperaturmessung an den beiden installierten Temperatursenoren (Wohnraum, Galerie/Schlafen). Der höhere Wert stammt von der Galerie.

4 Meteorologische Randbedingungen

Für den Energiebedarf eines Gebäudes sind die solare Einstrahlung sowie die Außentemperatur bestimmend. Die Berechnung des Energiebedarfs im Rahmen der EnEV basiert jedoch auf einem Referenzklima. Um die Vergleichbarkeit der Daten sicherzustellen leiten wir in diesem Abschnitt einen Klimafaktor zur Korrektur her.

Die Messung der Außentemperaturen direkt an der Ecolodge ist mit Messfehlern behaftet: Eine Messstation mit freier Anströmbarkeit ist nicht mit einer z. B. den DWD-Messstationen vergleichbarer Qualität realisierbar. Im Folgenden beziehen wir uns daher auf die Messungen der Messstation Morlautern. Diese ist ca. 20 km entfernt gelegen, jedoch auf ähnlicher Höhe, und die Umgebung ist ähnlich bebaut. Eine näher gelegene Messstation in Kaiserslautern wäre dem wärmeren Stadtklima ausgesetzt und würde so die Auswertung verzerren.

Im Auswertungszeitraum zwischen dem 1. April 2015 und dem 31. März 2016 wurden jeweils Tagesmittelwerte der Lufttemperaturen und Globalstrahlungsdaten in 2 m Höhe so aufbereitet, dass eine direkte Vergleichbarkeit mit dem Referenzmodell TRY gegeben ist. Stelzenberg wird der Klimazone 6 zugeordnet, sodass wir im Folgenden diesen Datensatz als Referenz verwenden.

4.1 Globalstrahlung

Sowohl Photovoltaik- als auch Solarthermieerträge hängen maßgeblich von der Globalstrahlung (in W/m²) ab. Die im Auswertungszeitraum gemessenen Werte werden in der folgenden Abbildung mit den Werten des TRY6-Referenzmodells verglichen.

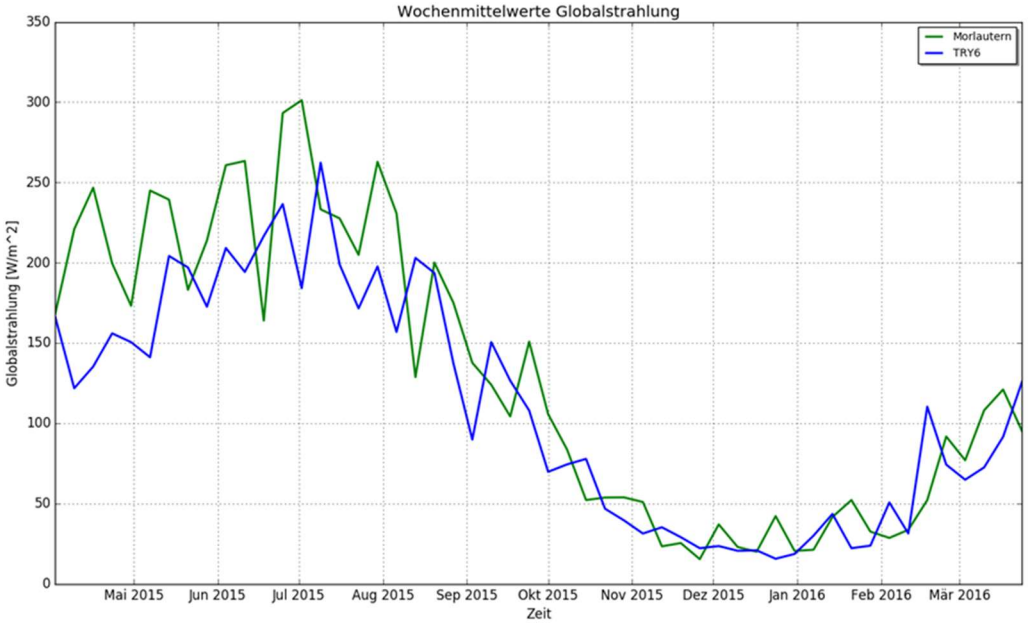


Abbildung 16 Vergleich der Globalstrahlung in Morlautern mit dem TRY6-Referenzmodell

Die Abbildung zeigt die wöchentlichen Mittelwerte der Globalstrahlung. Für das Frühjahr und den Sommer 2015 ist erkennbar, dass die Globalstrahlung über derjenigen des Referenzmodells liegt. Während Herbst und Winter 2015/2016 sind jedoch nur geringe Abweichungen zu erkennen.

4.2 Außenlufttemperaturen

Die obige Abbildung zeigt die Wochenmitteltemperaturen der Messstation Morlautern und der TRY6-Referenzdaten. Die Temperatur in Morlautern liegt überwiegend über den Referenzdaten, im Mittel 3.12 Grad Celsius. Dies entspricht auch unserer Erwartung für die Ecolodge.

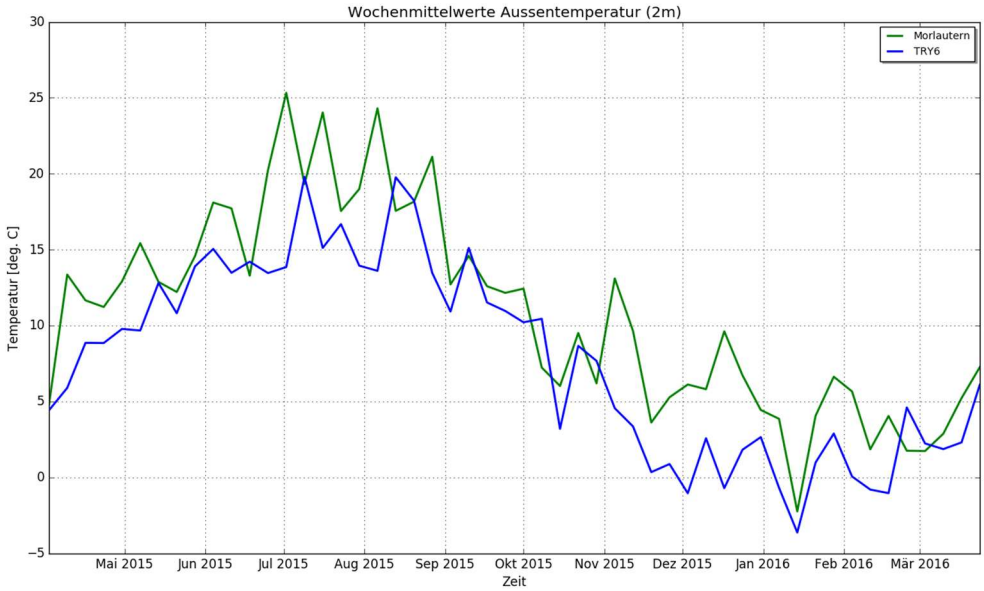


Abbildung 17 Wochenmittelwerte der Aussentemperatur im Vergleich mit dem TRY6-Referenzmodell

4.3 Klimabereinigung

Das lokale Mikroklima sowie saisonale Schwankungen während der Messperiode machen einen direkten Vergleich mit den Prognosen aus der EnEV-Berechnung unmöglich. Ebenso entsprechen die Heizenergieverbräuche während der Messperiode nicht dem langjährig zu erwartenden Mittel. Für die Korrektur der Messdaten berechnen wir im Folgenden einen Klimafaktor, der auf der Gradtagzahl beruht. Nach VDI 2067 berechnet sich die Gradtagzahl für die Heizzeit wie folgt:

$$G_{\frac{t_{20}}{12}} = \sum_{1}^{z} (t_i - t_a)$$

mit t_a der mittleren Außen- und t_i der mittleren Innentemperatur sowie z als der Anzahl der meteorologischen Heiztage ($t_a < 12$).

Die Gradtagzahlen für den Messzeitraum fasst folgende Tabelle zusammen:

Ort	Gradtagzahl G
Morlautern	2894
Referenzklima Deutschland	3601

Der Klimafaktor K_f im Bezug auf das Referenzklima Deutschland beträgt also

$$K_f = \frac{3601}{2894} = 1.244$$

Der Heizenergieverbrauch muss daher mit dem Faktor 1.244 multipliziert werden, um die im Messzeitraum erfassten Verbräuche auf das Referenzklima Deutschland umzurechnen.

5 Messergebnisse

Die Aufzeichnung der Messergebnisse wurde im Januar 2013 begonnen und wird bis heute fortgesetzt. Für die hier vorliegende Auswertung werden die Energieflüsse der Jahre 2013 bis 2015 analysiert. Die Batterie wurde erst im Jahre 2015 installiert. Daher wird die Wirkung erst im zweiten Halbjahr des Jahres 2015 sichtbar. Da auch für das Jahr 2016 Messdaten vorliegen, werden für das Kapitel Batterie nur Messdaten aus 2015 und 2016 benutzt. Das betrachtete Haus wird als Ferienhaus genutzt. Mitte des Jahres 2013 sind die erste Gäste in das Haus eingezogen. Deshalb sind für eine Bewertung der realen Situation erst die Messdaten ab 2014 und später sinnvoll, da mit jedem Jahr die Belegung des Hauses zunimmt. Feriengäste stellen allerdings auch andere Ansprüche an das Temperaturniveau. Auch ohne Gäste wird im Hause eine Raumtemperatur von mindestens 20 Grad gehalten. Damit wirkt sich die Belegung vor allem auf die Nutzung der Haushaltgeräte, den Warmwasserverbrauch sowie auf das allgemeine Temperaturniveau aus.

5.1 Stromverbrauch

Die gesamte Endenergie des Hauses wird in Form von elektrischem Strom bereitgestellt. Der Strom wird entweder aus dem Netz bezogen (Grünstrom), von der PV-anlage bereitgestellt oder über die Batterie als Zwischenspeicher bereitgestellt. Der Stromverbrauch der Batterie zählt damit zur Hilfsenergie, um das Haus zu betreiben.

5.1.1 Stromverbrauch für Hausbetrieb

Der gesamte Stromverbrauch des Hauses im Jahre 2013 betrug 3967 kWh. Davon entfallen 2588 kWh auf die Endenergie zum Betrieb der Energieanlagen inklusive aller Hilfsenergien und liegt damit ca. 1000 kWh unter dem gemäß EnEV 2009 prognostizierten Verbrauch. Durch den kalten Winter des Jahres 2014/2015 und die zunehmende Belegung des Hauses nähert sich der Verbrauch dann den prognostizierten Werten und erreicht mit 3120 kWh ca. 90 % des EnEV-Wertes. Im Jahr 2016 lag der Endenergieverbrauch bei 3073 kWh bei einem Gesamtstromverbrauch von 4490 kWh. Das heißt auch im eingeschwungenen Betrieb lag der Gesamtstromverbrauch noch deutlich unter den EnEV-Werten. Durch den Einsatz der Batterie im Jahr 2016 konnte dabei eine Selbstversorgungsquote von 37 % erreicht werden.

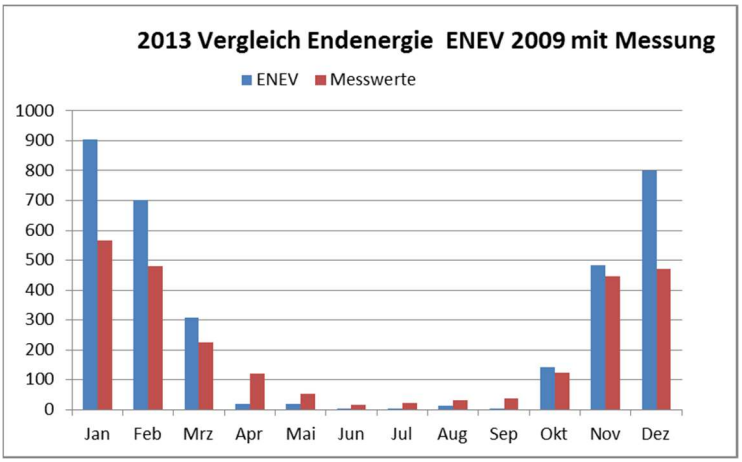


Abbildung 18 Vergleich Endenergie EnEV 2009 mit Messung 2013

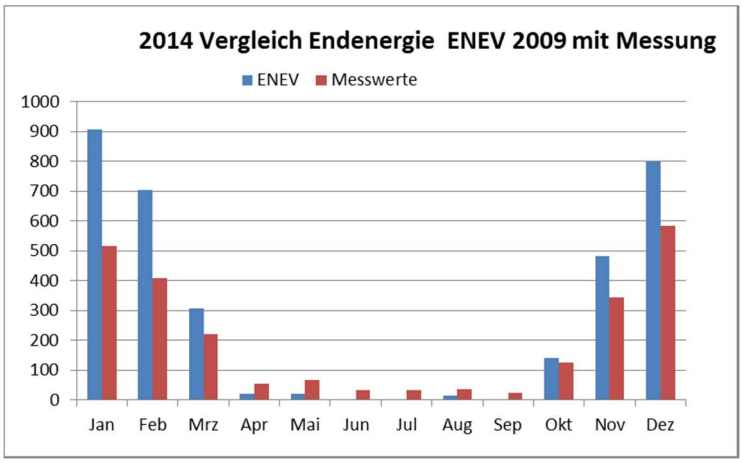


Abbildung 19 Vergleich Endenergie EnEV 2009 mit Messung in 2014

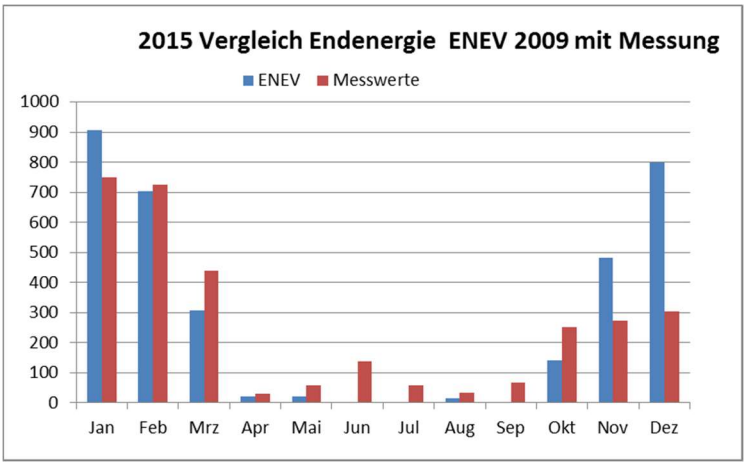


Abbildung 20 Vergleich Endenergie EnEV 2009 mit Messung 2015

Bei der Ausstattung des Haushaltes mit elektrischen Geräten wurden ausschließlich Geräte der besten Effizienzklasse verwendet. Die Beleuchtung basiert zu fast 100 % auf LED Technik.

Verbrauchswerte in kWh/a	*2013*	*2014*	*2015*
Messtechnik	**97**	**215**	**214**
Haushaltgeräte	**35**	**314**	**312**
Licht (incl. Steckdosen)	**286**	**239**	**384**
Lüftung	**246**	**254**	**342**
Hilfsenergie	**228**	**477**	**557**

Das Haus wurde das ganze Jahr 2013 beheizt und die Lüftung war in Betrieb. Allerdings war das Haus erst ab Mitte 2013 bewohnt und die Messtechnik in Betrieb. In 2015 wurden die

Lüftungsfilter zu spät gewechselt, was hier zu erhöhten Stromverbrauch geführt hat. Am aussagekräftigsten ist der Vergleich unter Verwendung spezifischer Werte kWh/m² bezogen auf A_N = 216 m².

Spezifischer Verbrauch pro qm/a	2013	2014	2015
Nutzenergie Wärme - WW	37,29	34,40	40.24
Endenergie	11,98	11.30	14,44
Eigenverbrauch PV	4,15	4,72	8,86
Haushaltsgeräte	0,16	1,45	1,45
Licht	1,32	1,11	1,78
Messtechnik	0,45	1,00	0,99
Hilfsenergie	1,06	2,21	2,58
Gesamtverbrauch Strom	18,37	17,57	23,31

Auf Grund der speziellen Messtechnik ist es uns gelungen deren spezifischen Verbrauch auf 1 kWh/(m²·a) zu begrenzen. Dieser Wert läßt sich sicher noch einmal halbieren. Im Juni 2015 wurde die Batterie in Betrieb genommen. Dies wirkt sich unmittelbar auf den Selbstversorgungsgrad aus (siehe spezifischer Eigenverbrauch PV in obiger Tabelle). Aus den Werten für die Nutzenergie und die eingesetzte Endenergie ergibt sich ein Systemwirkungsgrad von:

	2013	2014	2015
Systemwirkungsgrad	3,11	3,08	2,78
Arbeitszahl Wärmepumpe	3,66	3,43	2,45

Im Jahre 2015 lag die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe bei relativ schlechten 2,45 bei einem insgesamt gestiegenem Bedarf an Nutzenergie. Das Jahr 2015 war dabei insgesamt kälter als 2014.

5.1.2 Gegenüberstellung von Stromverbrauch und Stromgewinnung

Die Produktion der ins Dach integrierten Photovoltaikanlage übersteigt in allen betrachteten Jahren den Gesamtstromverbrauch des Hauses deutlich und lässt Raum für den zukünftigen Betrieb eines Elektrofahrzeuges. Über das Jahr gesehen ergeben sich im Winterhalbjahr deutliche Lücken in der Selbstversorgung.

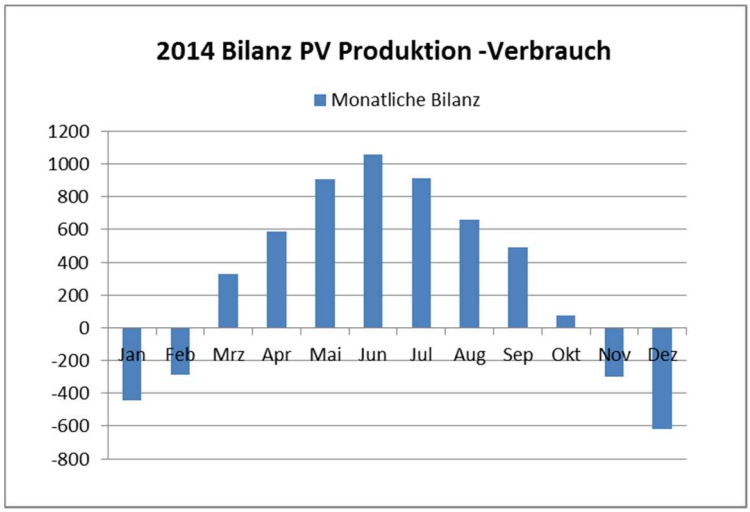


Abbildung 21 Monatliche Bilanz PV-Produktion abzüglich Stromverbrauch

Ab 2015, mit Beginn der Batterienutzung, verbessert sich diese Bilanz deutlich mit nur noch einem Defizit im November und Dezember von ca. 200 kWh monatlich gegenüber 400-600 kWh im Jahre 2014. Wie der Vergleich der kumulierten Energien PV Produktion und Endenergie (unten stehende Grafiken) zeigt, ist gleichzeitig der Energieverbrauch insgesamt gestiegen. Dieser Anstieg ist, wie in 6.1.1 erklärt, dem kälteren Wetter geschuldet, aber auch dem gestiegenen Eigenverbrauch durch die Batterie selbst (Speicherverluste).

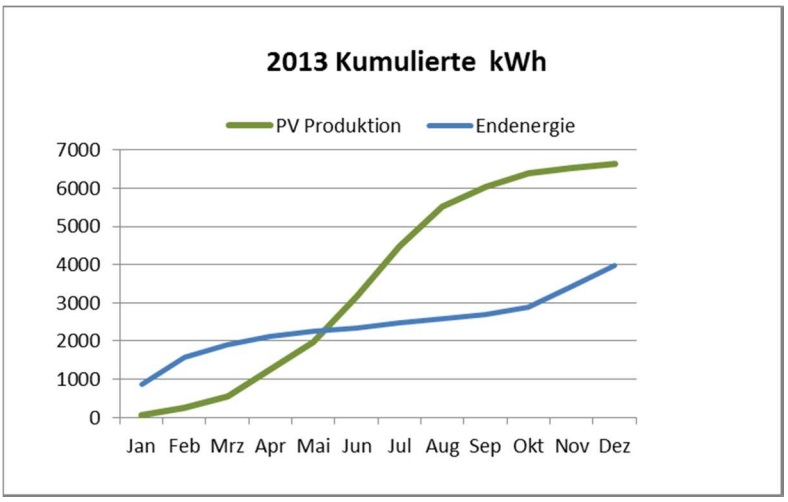


Abbildung 22 Kumulierte PV Erzeugung und Verbrauch in 2013

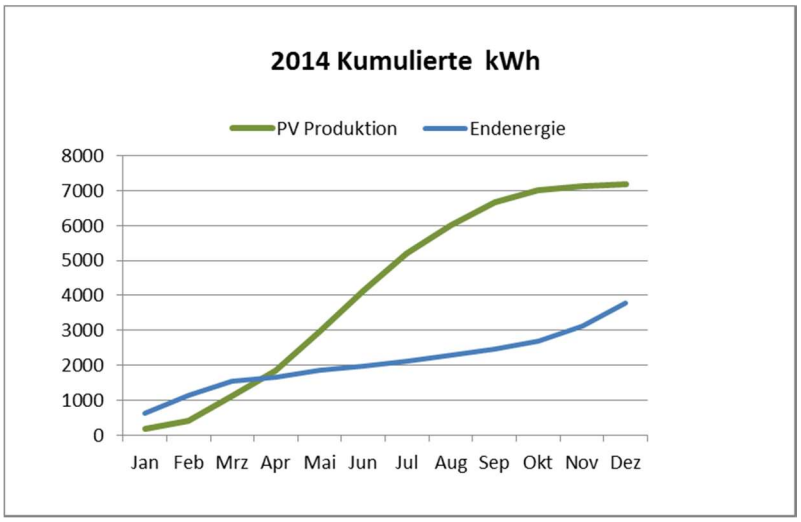


Abbildung 23 Kumulierte PV-Erzeugung und Verbrauch in 2014

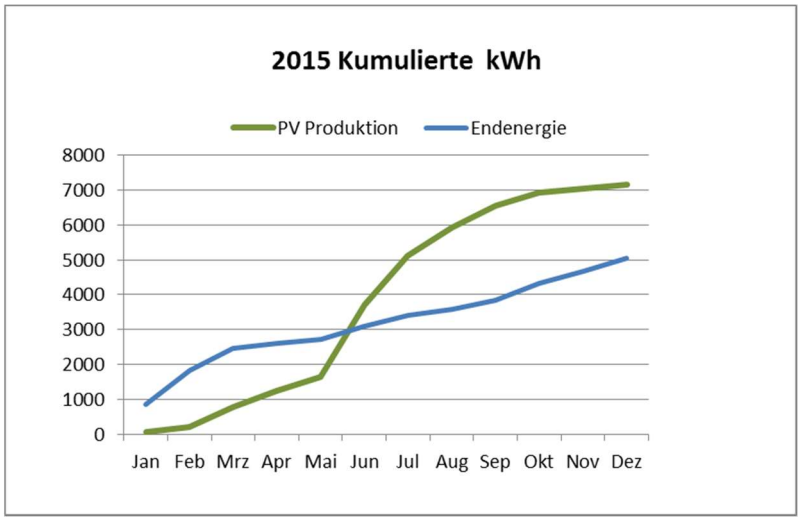


Abbildung 24 Kumulierte PV-Erzeugung und Verbrauch in 2015

Die erzielten Überschüsse betragen:

2013: 2774 kWh

2014: 3594 kWh

2015: **2338 kWh**

5.2 Eigenstromnutzung

Die Eigenstromnutzung erfolgte bis Juni 2015 ausschließlich über die direkte Nutzung des PV-Stroms durch zeitgleiche Nutzung im Gebäude. So wurde z.B. die Steuerung der Wärmepumpe

so optimiert, dass Warmwasser über Mittag bei maximalen Aussentemperaturen erzeugt wird. Dazu gehört auch eine reduzierte Nachtabsenkung, die bei Gebäuden mit einem geringen Wärmeverlust nicht unbedingt vorteilhaft ist. Allerdings ist es auch aufgrund des Charakters des Gebäudes als Ferienlodge schwieriger zu optimieren, da Bewohner mit sehr unterschiedlichen Ansprüchen das Haus bewohnen.

Die folgenden Diagramme stellen den Anteil der Selbstversorgung über die Monate sowie der ersten drei Betriebsjahre dar. Wie der Tabelle zu den spezifischen Werten kWh/(m²·a) zu entnehmen ist, hat sich der spezifische Eigenverbrauch durch den sechsmonatigen Einsatz der Batterie im Jahre 2015 vom 4 kWh/(m²·a) bereits auf 8 kWh/(m²·a) verdoppelt. Damit ist die Selbstversorgung von 26 % in 2014 auf 38 % in 2015 gestiegen. Wie weiter oben erwähnt ist allerdings der Gesamtstromverbrauch in 2015 ebenfalls deutlich gestiegen.

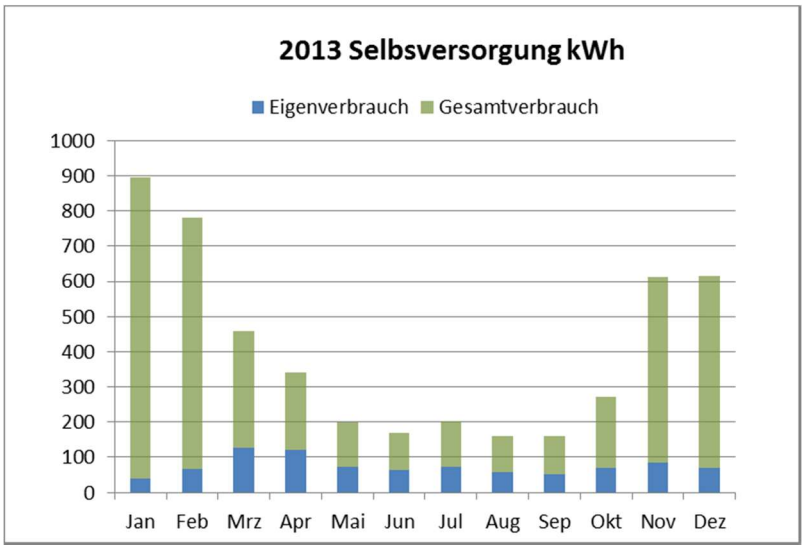


Abbildung 25 Anteil der Selbstversorgung am Gesamtverbrauch 2013

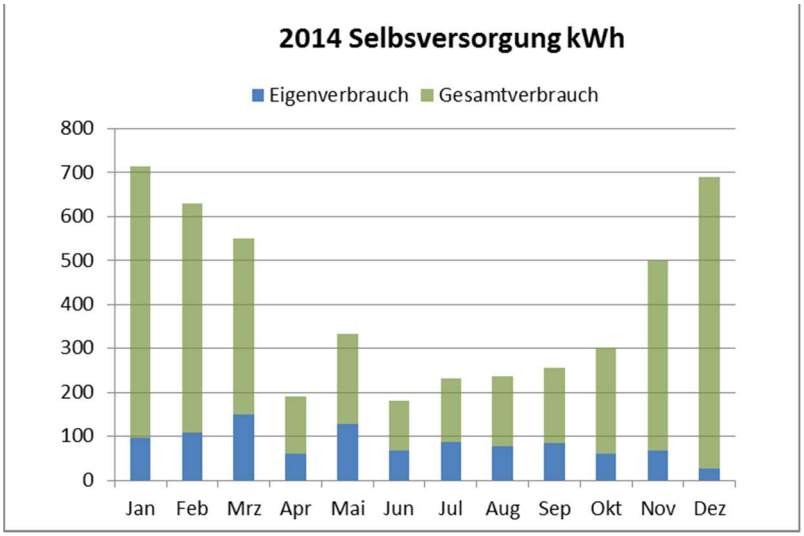


Abbildung 26 Anteil der Selbstversorgung am Gesamtverbrauch 2014

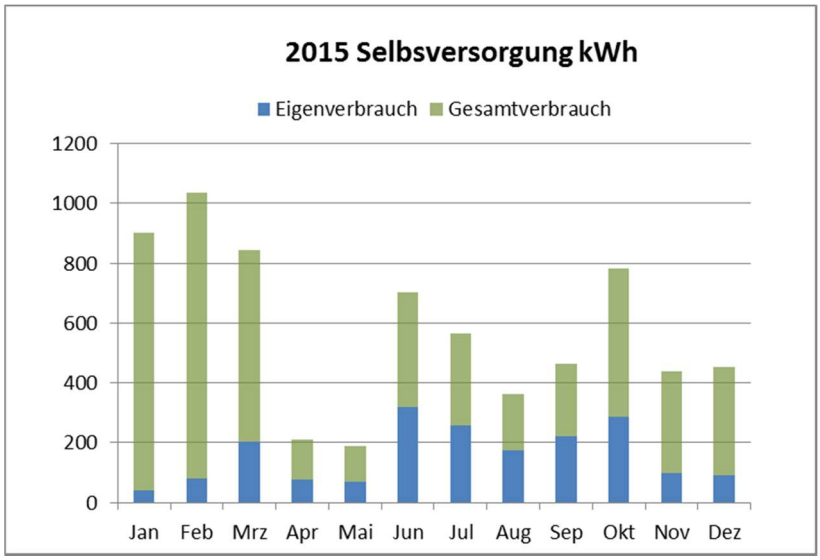


Abbildung 27 Anteil der Selbstversorgung am Gesamtverbrauch 2015 ab Juni mit Batterienutzung

Im Rahmen des vom Land Rheinland-Pfalz geförderten Projekts „myPowerGrid“ wurde im Juli 2015 eine 16 kWh Bleibatterie der Firma Hoppeke installiert. Davon können 8 kWh effektiv für die Speicherung genutzt werden, ohne die Lebensdauer der Batterie deutlich zu reduzieren. Das installierte myPowerGrid System umfasst außerdem ein Energie Management System EMS, das seine Messwerte direkt über die Frontschnittstelle von den installierten elektronischen Haushaltszählern bezieht. Die Batterieströme selbst werden über einen eigenen Zähler erfasst. Seit Beginn der Messung ergibt sich damit folgendes Bild:

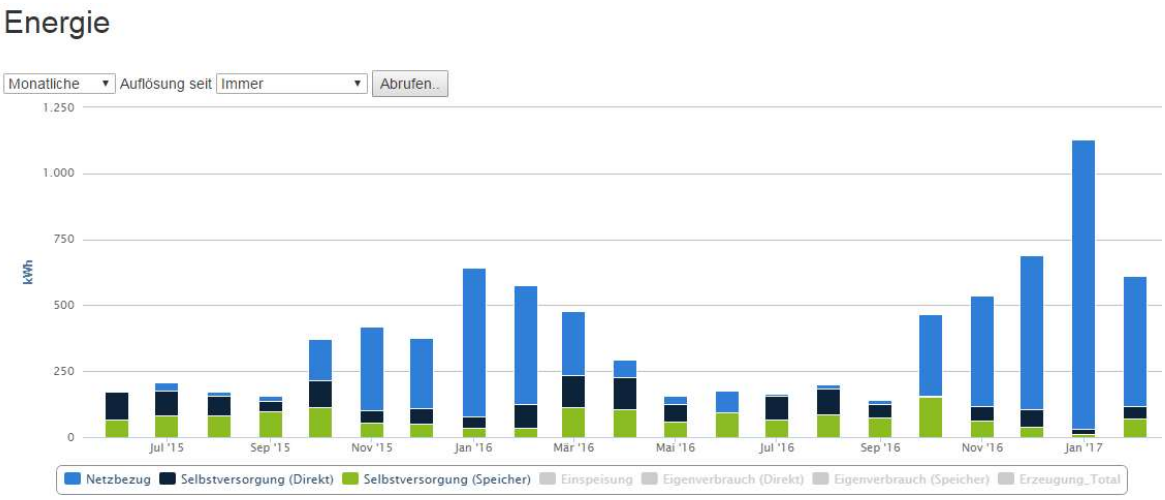


Abbildung 28 Monatsweise Darstellung der Anteile Netzbezug - Selbstversorgung (direkt) und Selbstversorgung aus der Batterie von Juni 2015 bis Februar 2017

Der im Vergleich kältere Januar 2017 sowie die volle Belegung der Ecolodge zeigen sich in einem gegenüber 2016 deutlich erhöhten Energiebezug im Januar. In den Sommermonaten ist

dagegen jetzt eine nahezu vollständige Deckung des Stromverbrauches aus der Eigenerzeugung möglich. Der aktuelle Selbstversorgungsgrad im Februar 2017 beträgt 41 % und sollte bis zum Sommer deutlich über 50 % ansteigen.

Die Bilanz der Batterie sieht bis heute (Februar 2017) folgendermaßen aus: Die ausgespeiste Energie beträgt 1577 kWh bei einem Verlust von insgesamt 695 KWh, was einem Anteil von 7,9 % bezogen auf den Gesamtstromverbrauch, aber einem Verlust von 30 % bezogen auf die in die Batterie eingespeiste Energie entspricht. Aus Vergleichsmessungen mit LI-Ionen Batterien wissen wir, dass dort der Verlust deutlich geringer sein kann, wenn das BMS (Batterie Management System) nicht selbst sehr viel Energie benötigt. Die Bilanz der Batterie über ein komplettes Jahr kann für das Jahr 2016 ermittelt werden:

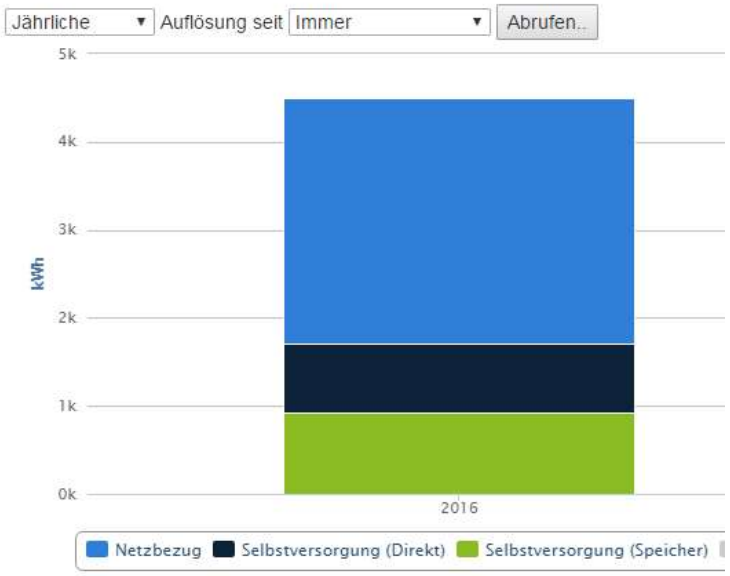


Abbildung 29 Graphische Darstellung der Selbstversorgungsanteile im Jahre 2016

Bei einem Gesamtstromverbrauch im Jahr 2016 von 4496 kWh betrug der Anteil der direkt genutzten PV Energie 774 kWh (17 %) und der aus der Batterie bezogenen Energie 930 kWh (20 %). Der Selbstversorgungsanteil liegt somit bei insgesamt 37 %. Durch eine verbesserte Steuerung der Ausspeisung aus der Batterie sollte hier noch eine Verbesserung erzielt werden können. Aktuell wird durch die Regelung sichergestellt, dass keine Energie aus der Batterie ins Netz eingespeist wird. Das führt dazu, dass im Allgemeinen aufgrund der hohen Zeitkonstante bei der Regelung des Wechselrichters immer ein gewisser Bezug übrig bleibt.

5.3 Innenraumtemperaturen Sommer

Im Wohnraum sowie in der Galerie wurde ganzjährig die Lufttemperatur erfasst. Einen Überblick über die sommerlichen Temperaturen geben die folgenden Abbildungen. Zur besseren Vergleichbarkeit haben wir die Graphen gleich skaliert.

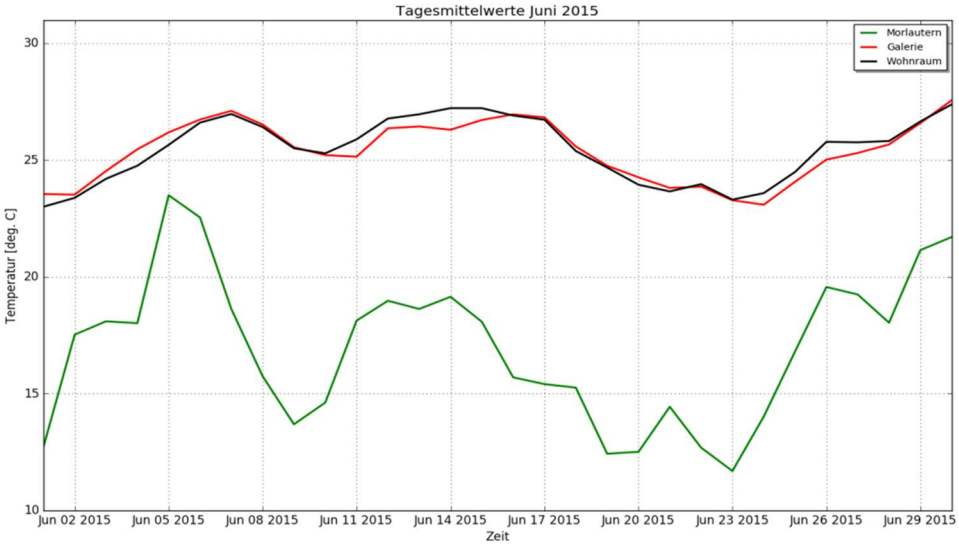


Abbildung 30 Vergleich der Raumtemperatur mit Aussentemperatur im Juni 2015

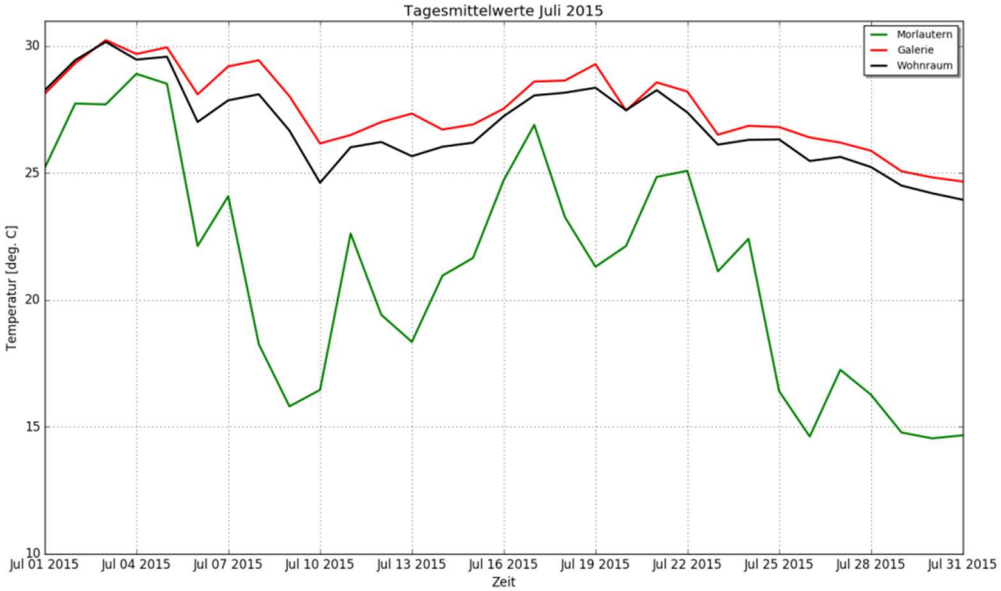


Abbildung 31 Vergleich der Raumtemperaturen mit der Aussentemperatur im Juli 2015

Die Außentemperaturmessung der Messstation Morlautern ist ebenfalls eingezeichnet. Die Raumlufttemperatur der höher gelegenen Galerie ist erwartungsgemäß etwas wärmer als im Wohnraum. Die Innentemperatur schwankt im Tagesmittel während des Juni 2015 zwischen

23 und 27 Grad, im Juli 2015 zwischen 24 und 30 Grad. Ein Vergleich der mittleren Temperaturen ist in folgender Tabelle gegeben:

Mittelwerte	Juni 2015	Juli 2015
Innentemperatur	25.40	27.55
Außentemperatur	16.95	21.22

Die Ecolodge ist bisher nicht mit Verschattungseinrichtungen für die nach Süden zeigenden Fenster versehen. Dies führt zu den im Juli zu hohen Temperaturen. Die Nutzer des Hauses empfanden dies jedoch nur an ganz wenigen Tagen als störend, da die Nachtluft in der Region durch den nahen Wald rasch abkühlt. Optisch ansprechende Massnahmen zur Verschattung wurden geplant und werden in 2017 umgesetzt.

5.4 Innenraumtemperaturen Winter

Der Verlauf der Innentemperaturen ist exemplarisch für den Januar 2016 in folgender Abbildung dargestellt:

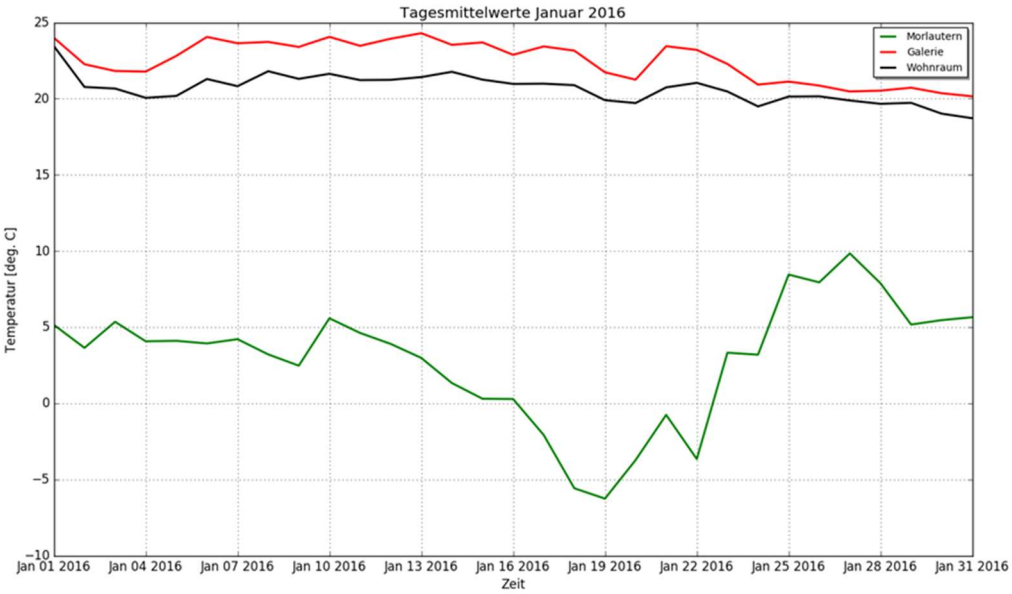


Abbildung 32 Vergleich der Raumtemperaturen mit der Aussentemperatur im Januar 2016

Die mittlere Temperatur im Wohnraum beträgt 20,66 Grad. Die Galerie ist im Vergleich zum Wohnraum im Mittel 1,8 Grad wärmer. Gegenüber der in der DIN V 18599 angesetzten Innenraumlufttemperatur von 20 Grad Celsius ist die Temperatur leicht erhöht, sodass ein leicht höherer Verbrauch von Heizenergie zu erwarten ist.

6 Kosten / Wirtschaftlichkeit

6.1.1 Wirtschaftlichkeit der Energieerzeugungsanlage

Gegenüber einem nach EnEV 2009 errichteten Haus mit Gas-Brennwertkessel und Solarthermieanlage ergeben sich die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Mehrkosten. Mehrkosten beim Dach entfallen auf die optisch und energetisch perfekte Integration der PV Module auf der kompletten Dachfläche als Dachhaut mit einer wasserdichten Unterkonstruktion. Die zusätzliche Messtechnik wird für die Wirtschaftlichkeit nicht berücksichtigt. Die Kosten für den Brennwertwertkessel, die Abgasanlage und die Solaranlage werden mit 15.000 € angesetzt.

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. Mwst. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Außenwand	-	
Dach	-	13.949
Wand gegen Erdreich	-	
Bodenplatte	-	
Fenster	-	
Heizungsanlage incl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	12.879 (Gesamtkosten abzüglich 15.000)
Solarthermie	Vorhanden 13,2 qm	
Lüftungsanlage	Vorhanden	
Phototvoltaik	Keine	20.114
Batterie		
Beleuchtung	Standard	
Geräte	Standard	
Mehrinvestitionskosten	-	46.942
Versicherung PV		70
Gas	600 (Vergleich Nachbarhaus)	Keine
Strom	Keine Angaben	750
Wartung Heizung	300	500
Netzeinspeisevergütung	0 €	-1996 (Wert 2016 bei 40 % Selbstversorgung)
Laufende Kosten pro Jahr	**900**	**-746**

In der jährlichen Bilanz wird durch die Einspeisevergütung ein deutlich positives Ergebnis erzielt. Im Vergleich ergeben sich also Einsparungen in Höhe von 1.646 €. Dieser Wert reicht allerdings nicht zur Finanzierung der Mehrkosten. Eine finanzielle Bewertung der vermiedenen CO_2 Emissionen würde dieses Ergebnis berichtigen.

An dieser Stelle wollen wir versuchen durch konkrete Ermittlung der Wärmegestehungskosten die Wirtschaftlichkeit der Energierzeugung durch das Heizsystem zu berechnen und zu bewerten. Auf Grund der vorliegenden Messungen der Nutzenergie läßt sich dies berechnen.

Herstellkosten der Anlage ohne Wärmeverteilsystem: 27.333 €

- Thermischer Solarkollektor (Niedertemperaturkollektor) 13,2 m²
- Wärmepumpe incl. Eisspeicher sowie WW-Speicher

Daraus ergeben sich bei üblicher Abschreibung und unter Einbeziehung der Wartungskosten:

Abschreibungskosten + Wartungskosten 1.446 €

Auf Basis der Messungen des Jahres 2016 mit einem Gesamtstromverbrauch von 5035 kWh bei einem Eigenverbrauch von 1914 kWh ergibt sich bei einer Abschreibungsdauer für die PV von 20 Jahren ein durchschnittlicher Nettostrompreis von 20 ct**.**

Dies führt zu folgenden Kosten pro kWh Nutzenergie:

Jahr	Endenergie in kWh	Nutzenergie in kWh	Abschreibung €	Strombezug €	Summe €	€/kWh
2013	2588,0	8054	1446	518	1964	0,24
2014	2440,0	7517	1446	488	1934	0,26
2015	3120,0	8691	1446	624	2070	0,24

Abbildung 33 Tabelle zur Kostenermittlung für die kWh Nutzenergie

Die Gestehungskosten einer kWh Nutzenergie liegen bei der Ecolodge also bei ca 24 ct. Die gleiche Rechnung ergibt beim Einsatz einer Gastherme einen kWh Preis von ca 20 ct bei einem Gaspreis von ca 7 ct, Wartungskosten wie oben angenommen und einem Anlagenwirkungsgrad von 90 % sowie 15 Jahren Abschreibungsdauer.

Fazit: Für ein Ferienhaus ist dies nicht unbedingt eine besonders preiswerte Ausstattung. Der Betrieb des Hauses komplett (auch der Bezugstrom ist erneuerbar) aus erneuerbaren Energien ohne CO_2 Emissionen, die letztlich auf Grund der Batterie in Zukunft zu 50 % aus der lokal installierten PV stammt, macht dagegen den Charakter der Ecolodge aus und ist letztlich bei vielen Gästen Grund für eine Übernachtung. Auf Grund des letztlich gewährten Zuschusses wird die Anlage allerdings ähnlich günstig und langfristig günstiger als eine CO_2 emittierende Energieerzeugung wie in der EnEV 2009 vorgesehen.

7 Bewertung

7.1 Energieeffizienz des Modellgebäudes

In der dreijährigen Messperiode erzielte das Gebäude einen Überschuss von 8100 kWh. Auch wenn man das Folgejahr 2016 betrachtet, so bleibt der Überschuss trotz hohem Batterieeigenverbrauch immer über 2000 kWh - genügend Energie, um ein Elektroauto zu versorgen.

Der Vergleich der gemessenen hausbezogenen Verbrauchswerte (ohne Beleuchtung und Haushaltsgeräte, gemäß Kapitel 6.2) mit den vorberechneten Bedarfswerten (ohne Beleuchtung und Haushaltsgeräte, gemäß Kapitel 3.4) zeigt, dass die Werte deutlich unter den von der EnEV berechneten Werten liegen. Dies gelingt trotz recht hoher Raumtemperaturen. Dies ist im Wesentlichen auf das günstige Klima am Standort zurückzuführen (Klimakorrekturfaktor 1,277).

Der Energieverbrauch des Messsystems ist recht günstig im Vergleich mit anderen Bauten (1 kWh/(m²·a)). Der etwas hohe Anteil an Hilfsenergie (2,98 kWh/(m²·a)) kommt vor allem durch den Betrieb der Lüfter in den Niedertemperaturkollektoren zustande.

Der Vergleich der gemessenen Stromerträge aus der Photovoltaikanlage (gemäß Kapitel 6.1) mit dem vorherberechneten Ertragswert gemäß einer Simulation mit Polysun (ca. 7.500 kWh/a) entspricht den Erwartungen.

Aufgrund der Nutzung des Gebäudes als Ferienhaus mit langsam ansteigender Belegung ergeben sich über die Messjahre erhebliche Schwankungen. Da insbesondere die Sommermonate zunächst gering belegt waren, führt dies zu einem sehr geringen Warmwasserverbrauch. Bei normalem Warmwasserverbrauch im Sommer hätte sich die Solarthermie positiv auf den Systemwirkungsgrad ausgewirkt.

Der monatliche Autarkiegrad des PV-Stroms liegt zwischen 10 % und fast 100 %. Letzterer Wert konnte erst durch den Einbau einer Batterie erreicht werden. Im ersten vollen Betriebsjahr der Batterie (2016) lag die Selbstversorgungsrate bei 37 %.

Der Systemwirkungsgrad der gesamten Energieanlage bezüglich der Nutzwärmebereitstellung schwankt zwischen 3,1 und 3,4 und ist damit niedriger als erwartet. Die TRNSYS-Simulation hatte einen Systemwirkungsgrad von 4,05 vorhergesagt. Hauptursache dürfte auch hier der bisher relativ geringe Warmwasserverbrauch im Sommer sein.

7.2 Verbesserungspotentiale

An Verbesserungspotentialen wurden identifiziert:

- Nachrüstung des Hauses mit passivem Sonnenschutz zur Vermeidung erhöhter Temperaturen im Sommer.

- Ersatz der zum Test bereit gestellten Bleibatterie durch eine effiziente Li-Ionen Batterie, welche die Stromverluste reduzieren würde.
- Verbesserte Regelung des EMS, um einen höheren Selbstversorgungsgrad zu erreichen.
- Der eingebaute Eisspeicher ist zu klein und kann im Winter nur an einem sonnigen Tag die Wärme für die Nacht bereitstellen. Der ursprünglich vorgesehene Plan einer Solewärmepumpe, welche sowohl die Bodenplatte als auch das darunter liegende Erdreich als Speicher genutzt hätte, wäre vermutlich eine bessere Alternative gewesen. Die aktuelle Lösung muss bei kaltem Wetter und leerem Eisspeicher auf Außenluft als Wärmequelle zurückgreifen.
- Die vom Wärmepumpen-Lieferanten eingebauten Wärmemengenzähler sind mehrfach ausgefallen, da ein für den Anwendungsfall nicht geeignetes Modell verbaut wurde.

7.3 Wirtschaftlichkeit

Die oben berechneten Nutzwärmegestehungskosten von etwa 25 ct/kWh entsprechen den Erwartungen. Davon sind ca. 10 ct auf die laufenden Betriebskosten zurückzuführen und kommen damit in die Nähe der Kosten für den Betrieb einer Gastherme. Bei einem Selbstversorgungsgrad von über 40 %, der noch gesteigert werden kann, und einem 100 % emissionsfreien Betrieb wird die Ecolodge ihrem Namen gerecht und kann heute als gelungenes Beispiel eines Ferienhauses der Zukunft angeführt werden. Unter Beachtung der Einnahmen aus dem Ferienhausbetrieb kann deshalb die Investition in ein Plusenergiehaus, bei gleichzeitig ansprechender Architektur, als gelungene Investition bezeichnet werden.

Abbildung 34 Tabelle der Stromverbräuche und Erzeugung in 2013

	Bezug				EnEV 2009	Endenergie	Haus-verbrauch		Haus-geräte		Gesamt-verbrauch
	Netz	PV-Ertrag	Eigen-nutzung [kWh]	Einspei-sung [kWh]	Endener-gie [kWh]	Heizung + WW + Lüf-tung + Heiz-stab + Hilfsenergie [kWh]	Haushalts-geräte und Sonstiges (auch Mess-fehler) [kWh]	Beleuch-tung [kWh]	Hausge-räte [kWh]	Hilfenergie [kWh]	Strom [kWh]
2013											
Jan	817	70	39	31	905	567	195	94	0	0	856
Feb	649	188	66	122	702	480	179	56	0	0	715
Mrz	204	296	128	168	308	225	83	24	4,1	0	332
Apr	99	703	121	582	19	121	76	23	0,1	0	220
Mai	52	721	73	648	19	52	54	19	2,2	0	125
Jun	38	1206	65	1141	3	15	62	20	19,3	0	103
Jul	57	1290	72	1218	1	21	72	24	6,5	0,6	129
Aug	46	1033	57	976	13	32	49	6	0,1	8,9	103
Sep	57	531	51	480	1	36	43	4	0,2	8,4	108
Okt	135	349	69	280	141	123	70	4	0,3	25,1	204
Nov	443	140	85	55	482	446	61	6	0,04	90	528
Dez	474	117	70	47	800	470	52	6	2,13	95	544
Summe	**3071**	**6644**	**896**	**5748**	**3394**	**2588**	**996**	**286**	**34,97**	**228**	**3967**

Abbildung 35 Tabelle der Stromverbräuche und Erzeugung in 2014

	Bezug				EnEV 2009	Endenergie	Haus-verbrauch		Haus-geräte		Gesamt-verbrauch
	Netz	PV-Ertrag	Eigen-nutzung [kWh]	Einspei-sung [kWh]	Endener-gie [kWh]	Heizung + WW + Lüf-tung + Heiz-stab + Hilfsenergie [kWh]	Haushalts-geräte und Sonstiges (auch Mess-fehler) [kWh]	Beleuch-tung [kWh]	Hausge-räte [kWh]	Hilfenergie [kWh]	Strom [kWh]
2014											
Jan 14	518	170	98	72	905	517	62	9	8,3	102	616
Feb 14	409	233	110	123	702	408	78	19	71,4	72	519
Mrz 14	251	730	150	580	308	221	131	29	67,5	41	401
Apr 14	69	720	61	659	19	53	50	10	25,4	13	130
Mai 14	76	1112	128	984	19	67	99	16	28,2	15	204
Jun 14	46	1175	68	1107	3	32	55	8	14,0	7	114
Jul 14	59	1060	86	974	1	34	67	27	17,0	9	145
Aug 14	83	823	77	746	13	35	81	29	29,6	7	160
Sep 14	86	661	85	576	1	23	95	36	21,0	8	171
Okt 14	181	319	61	258	141	124	72	30	20,0	22	242
Nov 14	365	131	67	64	482	343	62	13	11,0	66	432
Dez 14	634	41	28	13	800	583	50	13	0,3	115	662
Summe	**2777**	**7175**	**1019**	**6156**	**3394**	**2440**	**902**	**239**	**313,73**	**477**	**3796**

Abbildung 36 Tabelle der Stromverbräuche und Erzeugung in 2015

	Bezug				EnEV 2009	Endenergie	Haus-verbrauch		Haus-geräte		Gesamt-verbrauch
	Netz	PV-Ertrag	Eigen-nutzung [kWh]	Einspei-sung [kWh]	Endener-gie [kWh]	Heizung + WW + Lüf-tung + Heiz-stab + Hilfsenergie [kWh]	Haushalts-geräte und Sonstiges (auch Mess-fehler) [kWh]	Beleuch-tung [kWh]	Hausge-räte [kWh]	Hilfenergie [kWh]	Strom [kWh]
2015											
Jan 15	822	59	39	20	905	750	78	14,0	14,1	138,0	861
Feb 15	878	142	79	63	702	725	129	90,0	62,6	109,0	957
Mrz 15	439	589	203	386	308	438	167	19,0	52,8	76,0	642
Apr 15	56	456	78	378	19	29	73	24,5	9	5,2	134
Mai 15	49	402	69	333	19	58	28	24,5	9	13,8	118
Jun 15	65	2051	318	1733	3	136	174	39,0	19	24,0	383
Jul 15	47	1411	259	1152	1	57	174	51,0	58	14,0	306
Aug 15	17	819	173	646	13	32	117	24,0	39	8,0	190
Sep 15	22	626	221	405	1	66	124	34,0	24	11,0	243
Okt 15	213	363	285	78	141	252	206	21,3	9	52,7	498
Nov 15	240	127	100	27	482	274	26	21,3	9	52,7	340
Dez 15	273	114	90	24	800	303	21	21,3	9	52,7	363
Summe	**3121**	**7159**	**1914**	**5245**	**3394**	**3120**	**1317**	**384**	**312,9**	**557**	**5035**

Abbildung 37 Zusammenstellung der Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen während der Messperiode

	2014		2015		2016	
Monat	Galerie	Wohnraum	Galerie	Wohnraum	Galerie	Wohnraum
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Jan	19,5	20,8	19,8	20,0	22,4	20,6
Feb	20,0	20,8	22,3	22,8	21,4	20,0
Mrz	20,4	21,0	22,5	22,6	22,9	21,7
Apr	22,5	23,0	23,0	23,0	23,7	22,6
Mai	22,8	23,3	24,5	24,4	na	na
Jun	24,1	24,0	25,4	25,4	na	na
Jul	25,2	25,0	27,5	26,9	na	na
Aug	23,5	23,9	26,4	26,0	na	na
Sept	23,2	23,8	23,3	22,8	na	na
Okt	21,5	22,3	22,6	22,1	na	na
Nov	20,6	21,5	22,6	22,3	na	na
Dez	19,8	20,1	20,9	19,3	21,7	20,8