Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 25

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus

in Schwabach

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

Messperiode
November 2013 bis Oktober 2015

Aktenzeichen
SWD - 10.08.82-12.6

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

bearbeitet von
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Stephan
Dipl.-Ing. (FH), Master FM Florian Büttner
Viktor Dodenhöft

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
INSTITUT FÜR ENERGIE UND GEBÄUDE

Monitoring und Wissenschaftliche Begleitung des Modellprojektes Effizienzhaus Plus Schwabach

Abschlussbericht

Auftraggeber: Bauherr

AZ: ER/KM / PEH-A3-12 10 01 / Bescheid 12.6

22. Juli 2016

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Plus Effizienzhaus

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
INSTITUT FÜR ENERGIE UND GEBÄUDE

Monitoring und Wissenschaftliche Begleitung des Modellprojektes Effizienzhaus Plus Schwabach

Abschlussbericht

Auftraggeber: Bauherr

AZ: ER/KM / PEH-A3-12 10 01 / Bescheid 12.6

Prof. Dr.-Ing. Wolfram Stephan

Dipl.-Ing. (FH), Master FM Florian Büttner

Viktor Dodenhöft

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm

Institut für Energie und Gebäude (THN-ieg)

Keßlerplatz 12 | 90489 Nürnberg | Germany

Räume KB401, KB402, KB407b

Telefon: + 49 911 5880-1840

E-Mail: ieg@th-nuernberg.de

22. Juli 2016

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Plus Effizienzhaus

FORSCHUNGSINITIATIVE ZukunftBAU

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **1**
Abbildungsverzeichnis **3**
Tabellenverzeichnis **5**
1 Zusammenfassung **6**
2 Zielsetzung des Projektes **8**
3 Gebäudebeschreibung **9**
3.1 Allgemeine Daten 10
3.2 Architektur 11
3.3 Wärmeschutz 13
3.4 Anlagentechnik 14
4 Effizienzhaus Plus-Standard **19**
4.1 Definition 19
4.2 Prognose Energiebedarf und Energiedeckung 20
5 Monitoring **21**
5.1 Messkonzept 21
5.1.1 Energiezähler 24
5.1.2 Wärmepumpen 26
5.1.3 Luft-Erdreich-Wärmetauscher 28
5.1.4 Photovoltaikanlage 28
5.1.5 Wetterstation 28
5.1.6 Raumklima 28
6 Ergebnisse der Messdatenauswertung **29**
6.1 Energiebilanzen 29
6.2 Gebäude- und Anlagendaten 32
6.2.1 Raumkomfort 32
6.2.2 Lüftungsgerät 34
6.2.3 Lastanalysen und Optimierungspotentiale 37
7 Kosten und Wirtschaftlichkeit **39**
7.1 Zusätzliche Investitionen 39
7.2 Wirtschaftlichkeit 40
8 Kosten-Nutzen-Analyse eingesetzter besonders innovativer Technologien **42**

9 Verbesserungsvorschläge 43

Literaturverzeichnis 44

Anlagen zum Bericht 45

Anhang 1: Tabellen 45

Anhang 2: EVU-Zähler 49

Anhang 3: EVU-Zählerschnittstelle 50

Anhang 4: KNX-Stromzähler 53

Anhang 5: Datenblatt PROXON Lüftungsgerät 56

Anhang 6: Bosch Solar Modul c-Si M 60 61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Süd-West Ansicht des Gebäudes ... 9
Abbildung 2: Grundriss Erdgeschoss ... 11
Abbildung 3: Grundriss Obergeschoss ... 12
Abbildung 4: Grundriss Dachgeschoss ... 12
Abbildung 5: Hochlochziegel der Außenwand, mit Mineralwolle gefüllt ... 14
Abbildung 6: Energiekonzept ... 15
Abbildung 7: Schema Lüftungsanlage ... 16
Abbildung 8: Einbau Luft-Erdreich-Wärmetauscher ... 17
Abbildung 9: Photovoltaik Anlage ... 18
Abbildung 10: Struktur Datenerfassung ... 21
Abbildung 11: Struktur Stromzähler ... 22
Abbildung 12: EVU-Stromzähler mit IP-Schnittstelle ... 24
Abbildung 13: KNX Stromzähler ... 25
Abbildung 14: KNX-Wärmemengenzähler ... 26
Abbildung 15: Schnittstelle der Lüftungsanlage ... 27
Abbildung 16: Kumulierte Endenergie ... 29
Abbildung 17: Energiequelle und Energienutzung ... 31
Abbildung 18: Temperatur Raum Wohnen, Monitoring-Jahr 2014/2015 ... 32
Abbildung 19: Relative Feuchte über Lufttemperatur Raum Wohnen, Monitoringjahr 2014/15 ... 33
Abbildung 20: Monitoring Lüftungsgerät Sommer ... 34
Abbildung 21: Monitoring LEWT Sommer ... 35
Abbildung 22: Monitoring Lüftungsgerät Winter ... 36
Abbildung 23: Monitoring LEWT Winter ... 37
Abbildung 24: Lastanalyse ... 38
Abbildung 25: EasyMeter Drehstromzähler, Technische Daten ... 49
Abbildung 26: Auszug Bedienungsanleitung efr Smart-Grid-Hub, JSON Export ... 50
Abbildung 27: Auszug Bedienungsanleitung efr Smart-Grid-Hub, Technische Daten ... 51
Abbildung 28: Auszug Bedienungsanleitung efr Smart-Grid-Hub, Angewandte Normen / Konformität ... 52
Abbildung 29: Auszug Bedienungsanleitung Lingg Janke KNX-Stromzähler ... 53
Abbildung 30: Saia Burgess Wechselstromzähler, Technische Daten ... 54

Abbildung 31: Saia Burgess Drehstromzähler, Technische Daten 55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Energiebilanz Effizienzhaus Plus Schwabach 7
Tabelle 2: Allgemeine Daten 10
Tabelle 3: Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und U-Wert 13
Tabelle 4: Prognose Energiewerte 20
Tabelle 5: Endenergie-Überschuss 30
Tabelle 6: Eigenverbrauch und Autarkiegrad 30
Tabelle 7: Energiedaten absolut und spezifisch 31
Tabelle 8: Mehrkosten für den "Effizienzhaus Plus-Standard" 39
Tabelle 9: Vergleich der variablen Kosten 40
Tabelle 10: Verbrauch und Produktion von Strom und Wärme - 2013/14 45
Tabelle 11: Verbrauch und Produktion von Strom und Wärme - 2014/15 46
Tabelle 12: Verbrauch Einzelzähler 2013/14 47

1 Zusammenfassung

Der Neubau des Wohnhauses der Familie in Schwabach erfolgte als Modellprojekt im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau[1] des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung[2] (BBSR). Dabei werden Gebäude errichtet, die den so genannten „Effizienzhaus Plus-Standard“ erfüllen (zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden die Gebäude noch als "Plus-Energie-Haus-Standard" Gebäude bezeichnet und das Programm vom BMVBS verwaltet).

Der Entwurf wurde als Einfamilien-Wohnhaus für eine vierköpfige Familie konzipiert und konnte durch die Anpassung der Fensterflächen zunächst als Passivhaus optimiert werden. Die Süddachhälfte (Ausrichtung 23° Süd-West, Dachneigung 35°) wurde zur besseren solaren Nutzung über den First hinaus verlängert und ohne Durchdringung, Dachfenster oder schattenwerfende Bauteile konzipiert.

Um den Anforderungen des „Effizienzhaus Plus“ zu genügen, wurde insbesondere die Gebäudetechnik entsprechend angepasst. Es wurde eine Luft/Luft-Wärmepumpe für die Zulufterwärmung und eine nachgeschaltete Luft/Wasser-Wärmepumpe für die Trinkwassererwärmung eingebaut. Um die Luftheizung und -kühlung zu unterstützen wurde zusätzlich ein Luft-Erdreich-Wärmetauscher eingebaut (LEWT). Das Monitoring zeigt, dass dieser sehr effektiv arbeitet.

Der Stromverbrauch wird durch die Verwendung von hocheffizienten Elektrogeräten soweit wie möglich reduziert. Eine Photovoltaikanlage mit ca. 15 kWp deckt teilweise den eigenen Strombedarf und speist den generierten Überschuss in das öffentliche Netz ein. Eine Ladestation für Elektro-Fahrzeuge ist vorgesehen.

Das Monitoring orientiert sich weitgehend am Leitfaden Monitoring des BMVBS [1] (seit Ende 2013 BMVI). Dabei werden hauptsächlich Stromzähler zur Kontrolle der Energiebilanz, Klimadaten und soweit möglich Anlagendaten zur Erfassung des Nutzerverhaltens und zur Auswertung des Betriebsverhaltens des Gesamtsystems erfasst.

Insgesamt zeigt das Monitoring, dass das Niveau eines Effizienzhaus Plus-Gebäudes in beiden Monitoring-Jahren deutlich erreicht worden ist. Der Endenergieüberschuss betrug 2013/14 6868 kWh/a und 2014/15 6186 kWh/a (Siehe Tabelle 1) Der Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes ist höher als geplant, jedoch ist auch der Energieertrag der Photovoltaikanlage ebenfalls höher als in der ursprünglichen Planung.

Die Performance und Regelung der Wärmepumpen bietet Optimierungspotential und angesichts steigender Stromkosten und sinkender Kosten für elektrische Energiespeicher ist ein solcher zur Erhöhung des (PV-) Eigenverbrauchs empfehlenswert.

[1] www.**forschungsinitiative**.de
[2] www.**bbsr**.bund.de

Tabelle 1: Energiebilanz Effizienzhaus Plus Schwabach

Monitoring-Jahr 2013/2014	
Photovoltaik-Produktion	14.951 kWh/a
Netz- und Photovoltaik-Eigenverbrauch	8.083 kWh/a
Endenergie-Überschuss	-6.868 kWh/a
Primärenergie-Überschuss	-22.461 kWh/a
Monitoring-Jahr 2014/2015	
Photovoltaik-Produktion	14.928 kWh/a
Netz- und Photovoltaik-Eigenverbrauch	8.742 kWh/a
Endenergie-Überschuss	-6.186 kWh/a
Primärenergie-Überschuss	-20.816 kWh/a

Das Monitoring hat folgende Verbesserungsvorschläge zur Steigerung der Eigenverbrauchsquote (bisher bei 16,3%) und des Autarkiegrades (bisher bei 27,8 %) aufgezeigt:

- Steuerung des Heizstabes TWW nach verfügbarem PV-Strom-Überschuss
- Reduzierung des EVU-Strombezuges durch elektrischen Energiespeicher
- Lastmanagement durch Ausnutzung der Speichermasse des Gebäudes
- Optimierung des Betriebs des Lüftungsgerätes; d.h. der Wärmepumpe und der Wärmerückgewinnung.

Verbunden ist damit auch eine Verringerung des Energieverbrauchs der Technischen Anlagen.

2 Zielsetzung des Projektes

Ziel ist, das Modellprojekt als Plus-Energie-Haus nach dem Effizienzhaus Plus-Standard zu bestätigen und gewonnene Erkenntnisse für Nachfolgeprojekte zur Verfügung zu stellen. Ein Plus-Energie-Haus „erzeugt“ hierbei über ein Jahr gesehen mehr Energie, als es selbst benötigt.

Ein Gebäude gilt als „Effizienzhaus Plus“ wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Der Jahres-Primärenergiebedarf ist negativ
- Der Jahres-Endenergiebedarf ist negativ
- Die Anforderung der aktuell gültigen EnEV werden eingehalten

(Zur Definition „Effizienzhaus Plus“ siehe Absatz 4.1)

Das Institut für Energie und Gebäude der Technischen Hochschule Nürnberg (THN-ieg) ist in diesem Modellvorhaben für das Monitoring zuständig. Hierzu wurde ein entsprechendes Messkonzept entworfen und umgesetzt. Das Intensivmonitoring erfolgte über den Zeitraum von zwei Jahren (von November 2013 bis Oktober 2015).

Aus einer Analyse der Monitoringdaten werden weitere Optimierungspotentiale abgeleitet und in diesem Bericht dokumentiert.

3 Gebäudebeschreibung

Das in Abbildung 1 dargestellte Wohngebäude der Familie umfasst eine BGF von 294 m² und ist nach Südwesten orientiert.

Abbildung 1: Süd-West Ansicht des Gebäudes

Das Einfamilien-Wohnhaus in Schwabach-Limbach wurde für eine vierköpfige Familie konzipiert. Der Entwurf ist durch die Anpassung der Fensterflächen als Passivhaus optimiert. Die Süddachhälfte (Ausrichtung 23° Süd-West) ist zur besseren solaren Nutzung über den First hinaus verlängert und ohne Durchdringung, Dachfenster oder schattenwerfende Bauteile konzipiert.

Durch die Kombination verschiedener Technologien soll das Haus den Effizienzhaus Plus-Standard erreichen. So ist geplant, von der Photovoltaikanlage generierten Strom vorrangig im Haus selbst zu nutzen. Eine zukünftige Nutzung des Energieüberschusses für die Elektromobilität ist für den Projektzeitraum vorgesehen.

3.1 Allgemeine Daten

Tabelle 2 zeigt die allgemeinen Daten des Gebäudes.

Tabelle 2: Allgemeine Daten

Baujahr	2012
Bruttogrundfläche	294 m²
Beheizte Nettogrundfläche	244 m²
Gebäudenutzfläche A_N	312,12 m²
Beheiztes Gebäudevolumen	741 m³
Hüllflächenfaktor A/V	0,59 m^{-1}
Breitengrad	
Längengrad	
Höhenlage	326 m über NN
TRY - Klimazone / Referenzstation:	Klimazone TRY 13, Mühldorf/Inn
Mittlere Jahrestemperatur	9,3 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober - April)	3,3 °C
Gradtagzahl am Standort (Nov. 13 - Okt. 14)	3.217 Kd

3.2 Architektur

Das Wohnhaus besteht aus einem einfach gehaltenen, kompakten Baukörper ohne auskragende oder angesetzte Bauteile. Die Wohnfläche (244 m²) verteilt sich auf zwei Vollgeschosse und ein ausgebautes Dachgeschoss. Die Wohnräume sind nach Süden ausgerichtet.

Im Erdgeschoss befinden sich der kombinierte Wohn-, Ess- und Küchenbereich, eine Speisekammer, die Gästetoilette sowie der Technikraum. Im Obergeschoss wurden das Elternschlafzimmer plus Ankleidezimmer, die beiden Kinderzimmer, das Badezimmer und der Hauswirtschaftsraum untergebracht. Das Dachgeschoss teilt sich in die beiden Büros der Eheleute, ein weiteres kleines Bad sowie einen Abstellraum.

Einen Überblick bezüglich der Räumlichkeiten ermöglichen die Grundrisse der einzelnen Geschosse in den nachfolgenden Abbildungen.

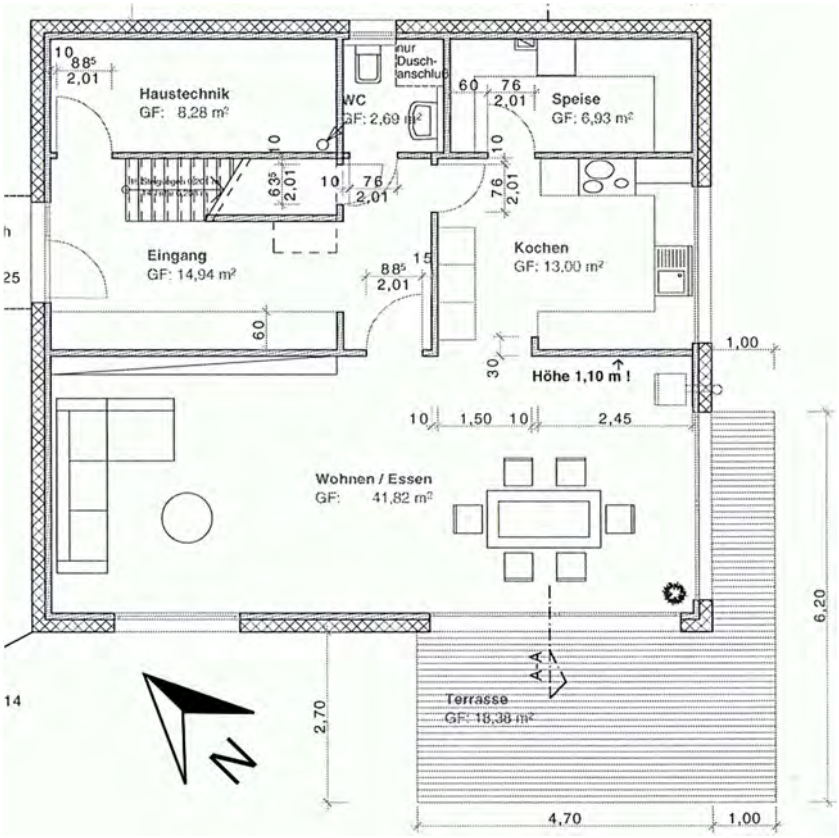


Abbildung 2: Grundriss Erdgeschoss

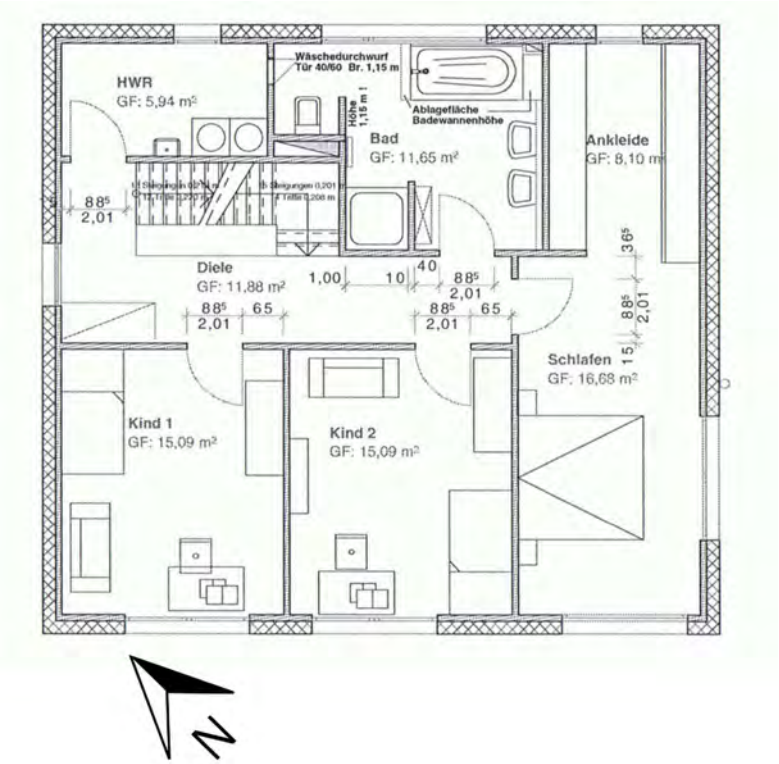


Abbildung 3: Grundriss Obergeschoss

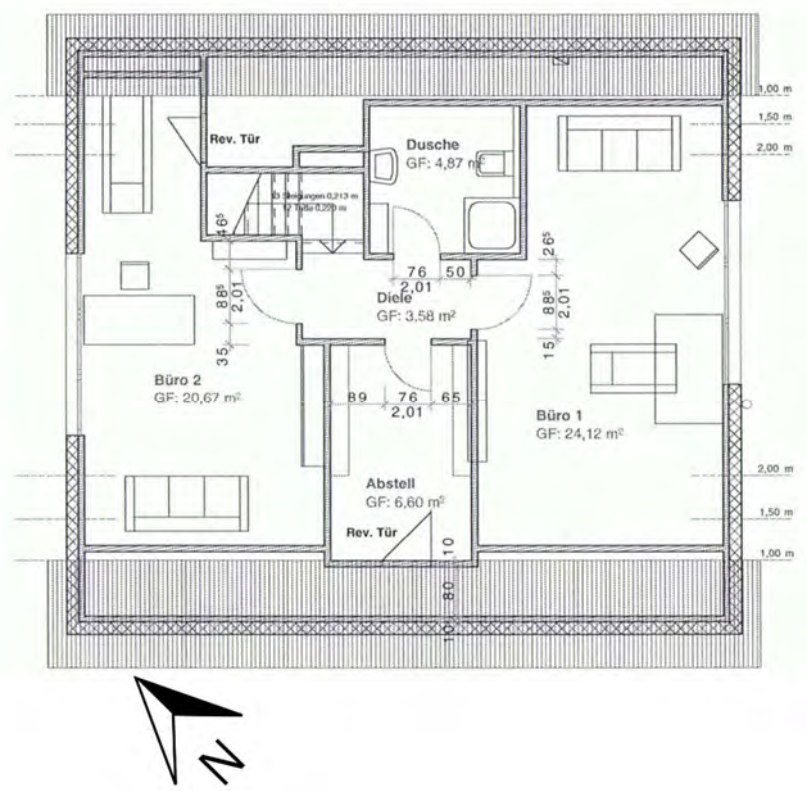


Abbildung 4: Grundriss Dachgeschoss

3.3 Wärmeschutz

Durch die Verwendung von 49 cm starken Hochlochziegeln mit Mineralwollefüllung, mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,07 W/(mK), erreichen die Außenwände einen U-Wert von 0,14 W/(m²K) (siehe auch Abbildung 5).

Alle Fenster sind als Passivhausfenster mit einem U-Wert von 0,80 W/(m²K) ausgeführt.

Das Dach besitzt zwischen den Konstruktionsbalken eine 30 cm starken Dämmschicht aus Mineralwolle. Zudem wird als Abdeckung über den Sparren ein 3,5 cm starker Holzfaserdämmstoff verwendet. Die Abgrenzung des Dachaufbaus zum Innenraum erfolgt mittels Gipskartonplatten. Der U-Wert des Daches beträgt 0,12 W/(m²K).

Um den U-Wert des Bodenaufbaus von 0,14 W/(m²K) zu erreichen, ist unter die Fundamentplatte eine 15 cm starke Perimeterdämmung eingebracht.

Tabelle 3: Aufbau der Bauteile der Gebäudehülle und U-Wert

Bauteil	Fläche A [m²]	U [W/(m²*K)]
Bodenplatte	113,25	0,14
Fenster NO	3,74	0,80
Fenster SO	21,18	0,80
Fenster NW	6,95	0,80
Fenster SW	22,71	0,80
Außentür opak	3,90	1,00
Außenwand NO	69,27	0,14
Außenwand SO	66,06	0,14
Außenwand SW	50,30	0,14
Außenwand NW	76,39	0,14
Dach SW	80,50	0,12
Dach NO	65,96	0,12

Abbildung 5: Hochlochziegel der Außenwand, mit Mineralwolle gefüllt

3.4 Anlagentechnik

Das Gebäude wird monoenergetisch mit Strom versorgt. Es verfügt über eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Wärmetauscher. Geheizt wird ebenfalls mit der Lüftungsanlage, welche mit elektrischen Heizregistern in den Zuluftauslässen unterstützt wird. In den Ablufträumen stehen zur Unterstützung elektrische Heizkörper zur Verfügung. Die Außenluft wird mittels einem Luft-Erdreich-Wärmetauscher bei Bedarf vorgewärmt oder vorgekühlt. Für die Trinkwarmwasserbereitung wird eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Speicher verwendet. Sie ist der Lüftungsanlage nachgeschaltet, verwendet also deren Fortluft als Wärmequelle. Der Trinkwarmwasserspeicher besitzt außerdem einen elektrischen Heizstab. Es ist weiterhin eine Photovoltaik Anlage vorhanden, welche für maximalen Ertrag auf der nach Süden-Westen ausgerichteten Dachfläche angeordnet ist. Für die Haustechnik werden überwiegend Geräte der höchsten Energieeffizienzklasse verwendet. Die Beleuchtung ist vollständig in LED Technik ausgeführt. Ein Anschluss für E-Mobilität ist angedacht, jedoch im Projektzeitraum nicht umgesetzt worden.

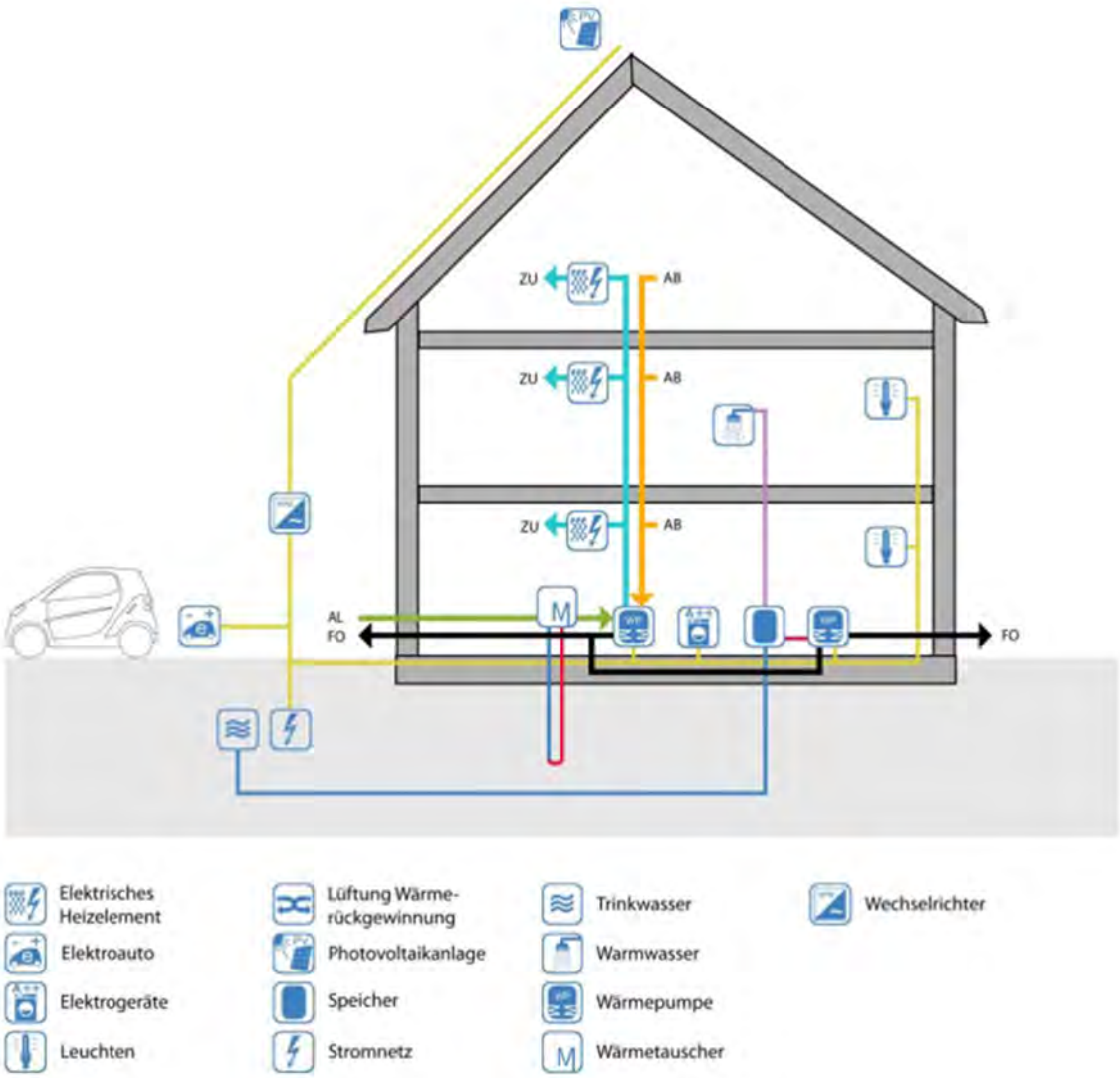


Abbildung 6: Energiekonzept[3]

[3] Quelle: Fraunhofer IBP Stuttgart, Erweiterter Steckbrief Effizienzhaus Plus Schwabach, *http://www.**forschungsinitiative**.de/*

Im Gebäude sind zwei Wärmepumpen vorhanden. Im Lüftungsgerät ist eine frequenzmodulierte Abluft/Zuluft-Wärmepumpe eingebaut und im Trinkwarmwasserspeicher wird eine Abluft/Wasser-Wärmepumpe verwendet, welche die Fortluft der Lüftungsanlage als Wärmequelle verwendet.

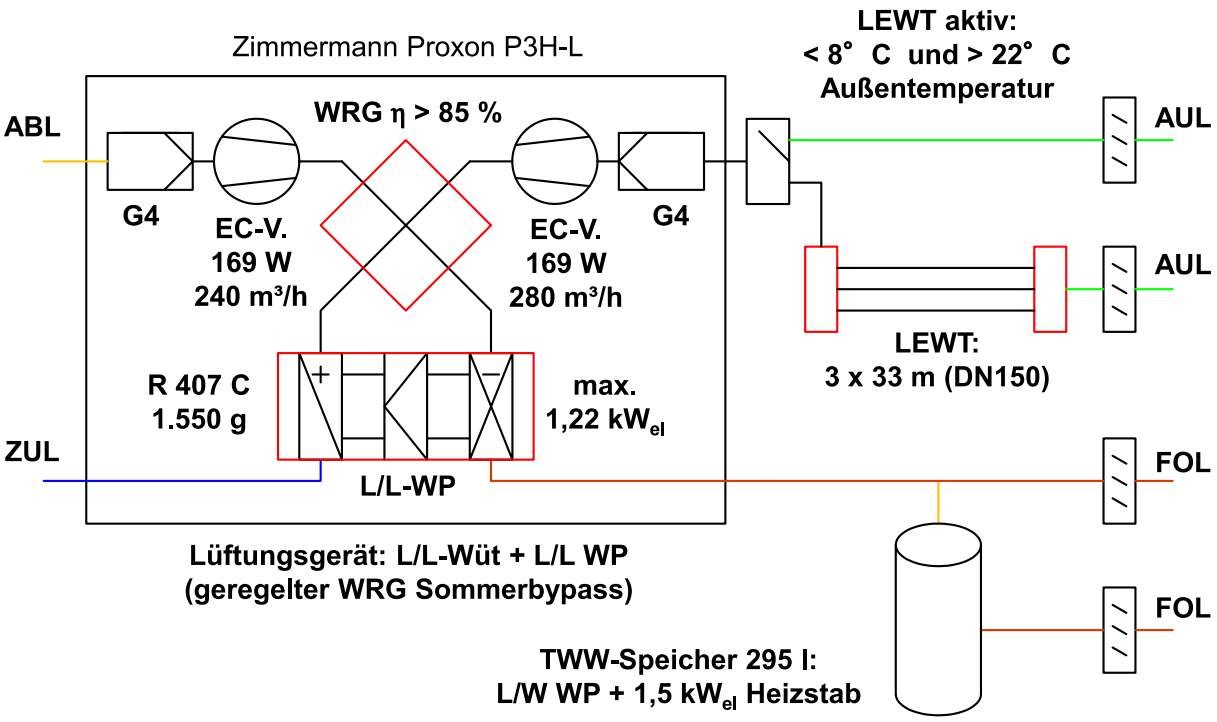


Abbildung 7: Schema Lüftungsanlage[4]

Die Beheizung im gesamten Haus erfolgt über die Zuluft des Lüftungszentralgerätes. Integriert im Lüftungsgerät sind je ein Zu- und Abluftventilator, ein Kreuzgegenstromwärmetauscher mit geregeltem Sommerbypass sowie eine frequenzmodulierte Luft/Luft-Wärmepumpe. Die Ventilatoren werden von EC-Motoren angetrieben (EC-electronically commutated, permanentmagneterregter Motor). Die Wärmepumpe deckt den überwiegenden Teil der Jahresheizarbeit ab. Zur zusätzlichen Konditionierung der Zuluft bei Spitzen-Wärmebedarf sind in den Luftauslässen elektrische Nacherhitzer installiert. Je nach Witterungsbedingung wird entweder Außenluft oder über einen Luft-Erdreich-Wärmetauscher vorkonditionierte Luft als Zuluft eingebracht.

Die Regelung der Anlage erfolgt über ein anlagenspezifisches Bus-System. Das zentrale Touch-Bedienteil befindet sich im Wohnzimmer.

[4] Technische Daten des Lüftungsgerätes, TWW, PV siehe Anhang 5: Datenblatt PROXON Lüftungsgerät

Ablufträume, wie zum Beispiel Bad und WC, werden über elektrische Konvektoren beheizt.

Über einen Abzweig im Luftkanalnetz nach dem Lüftungszentralgerät wird die Fortluft als Wärmequelle für eine nachgeschaltete Luft/Wasser-Wärmepumpe genutzt. Damit wird das Trinkwarmwasser in deren integrierten 290-Liter-Speicher erwärmt. Der Speicher verfügt über einen Zusatzheizstab mit einer Heizleistung von 1,5 kW.

Der Luft-Erdreich-Wärmetauscher (siehe Abbildung 8) ist in einer Tiefe von 1,5 Meter installiert und besteht aus 3 parallelen 33 Meter langen Wellrohren mit einem Durchmesser von 150 mm.

Die Lüftungsanlage bezieht ihre Außenluft wahlweise direkt oder über den LEWT, die Umschaltung erfolgt über eine Klappe im Außenluftkanal. Die Steuerung erfolgt über die Lüftungsanlage, der LEWT Strang ist aktiv bei einer Außenlufttemperatur unter 8°C und über 22°C.

Abbildung 8: Einbau Luft-Erdreich-Wärmetauscher

Auf der Südwestseite des Daches (Dachneigung 35°) ist eine Photovoltaikanlage installiert. Diese besteht aus Bosch Solar Modulen c-Si M 60[5] mit einer Gesamtfläche von 99 m² und verfügt über eine Nennleistung von 14,7 kWp.

Abbildung 9: Photovoltaik Anlage

[5] Technische Daten siehe

Anhang 6: Bosch Solar Modul c-Si M 60

4 Effizienzhaus Plus-Standard

4.1 Definition

Der Effizienzhaus Plus-Standard ist folgendermaßen definiert:

„Das Plus-Energie-Haus-Niveau […] ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf (ΣQp < 0 kWh/(m²a)) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf (ΣQe < 0 kWh/(m²a)) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der Energieeinsparverordnung 2009 (EnEV) wie z.B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sind einzuhalten.“

Diese Anforderungen beziehen sich auf die Jahresbilanz.

Vom BMVBS werden Anforderungen gestellt, die über die EnEV Berechnungen hinausgehen:

- Nachweise nach DIN V 18599
- Verwendung spezieller Primärenergiefaktoren
- Mit-Berücksichtigung der End- und Primärenergiebedarfswerte für Wohnungsbeleuchtung und Haushaltsgeräte (pauschal 20 kWh/(m²a), max. 2.500 kWh/a)
- Ausstattung des Gebäudes mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels und intelligenten Zählern.

Zur Definition Effizienzhaus Plus siehe auch: Wege zum Effizienzhaus Plus [2].

4.2 Prognose Energiebedarf und Energiedeckung

Die prognostizierten Energieflüsse stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 4: Prognose Energiewerte

Prognose Energiewerte, Planungsdaten[6]		**kWh/a**
Summe Bedarf/Verbrauch	Endenergiebedarf (Netz-Bezug plus PV-Eigenverbrauch	7.819
Summe Erzeugung/Bezug	PV-Erzeugung plus Netz-Bezug	18.754
Einzel-(Endenergie-)Bezug (Gebäude bezieht)	Netz-Bezug	5.083
Einzel-(Endenergie-)Erzeugung	PV-Erzeugung	13.671
Einzel-Verbrauch (Netz verbraucht)	Netz-Einspeisung	10.935
Einzel-(Endenergie-)Verbrauch	PV-Eigenverbrauch	2.736[7]
Einzel-(Endenergie-)Bedarf	Lüftungsanlage	3.381
Einzel-(Endenergie-)Bedarf	Trinkwarmwasser	1.439
Einzel-(Endenergie-)Bedarf	Heizung (PTC-Heizelemente und Radiatoren)	499
Einzel-(Endenergie-)Bedarf	Sonstiges (Beleuchtung, Haushaltsgeräte, etc.)	2.500[8]
Endenergieüberschuss	Endenergiebedarf minus Endenergieerzeugung (≙ PV-Erzeugung)	-5.852
Einzel-Verbrauch	Monitoring-Messtechnik	250[9]
Endenergieüberschuss (Prognose ohne Messtechnik-Energieverbrauch)	Endenergiebedarf minus Endenergieerzeugung (≙ PV-Erzeugung)	-6.102

Somit wurde ein deutlicher Endenergieüberschuss („Plusenergie“ von 5.852 kWh/a) prognostiziert. Der entsprechende Primärenergieüberschuss, bei einem Faktor für die Einspeisung von 2,8 und Bezug von 2,4, beträgt 19.513 kWh/a.

[6] Grundlage/Quelle: Berechnungen für Projektantragstellung, Stand 10.10.2012
[7] Annahme: PV-Eigenverbrauchsquote = 20 %
[8] Annahme, pauschal 20 kWh/(m²a) bzw. max. 2.500 kWh/a (Grundlage: Erweiterter EnEV-Nachweis nach DIN V 18599 (Ausgabe 2011))
[9] Qualifizierte Annahme auf Grundlage von technischen Daten der Messgeräte

5 Monitoring

5.1 Messkonzept

Die Konzeption der Messtechnik (siehe Abbildung 10 und Abbildung 11) musste zu Projektbeginn an den zu dieser Zeit (2013) fortgeschritten Stand der Fertigstellung des Gebäudes angepasst werden. Alle Oberflächen waren bereits verputzt, insofern waren nur Installationen in dem Technikraum möglich. Im Technikraum wurden zur Messung der einzelnen Stromverbräuche in einem separaten Zählerschrank zusätzliche Stromzähler verbaut. Die Stromzähler des Energieversorgers wurden vom Energieversorger mit einer zusätzlichen Schnittstelle ausgerüstet[10]. Zwei Wärmemengenzähler erfassen die Trinkwarmwassererwärmung und deren Zirkulationsverluste. Eine Wetterstation liefert unter anderem Daten über die solare Einstrahlung. Raumtemperaturen und weitere Anlagendaten werden von der Luft/Luft-Wärmepumpe geliefert. Das notwendige Gateway um darauf zuzugreifen wurde als Vorserienmodell vom Wärmepumpenhersteller zur Verfügung gestellt.

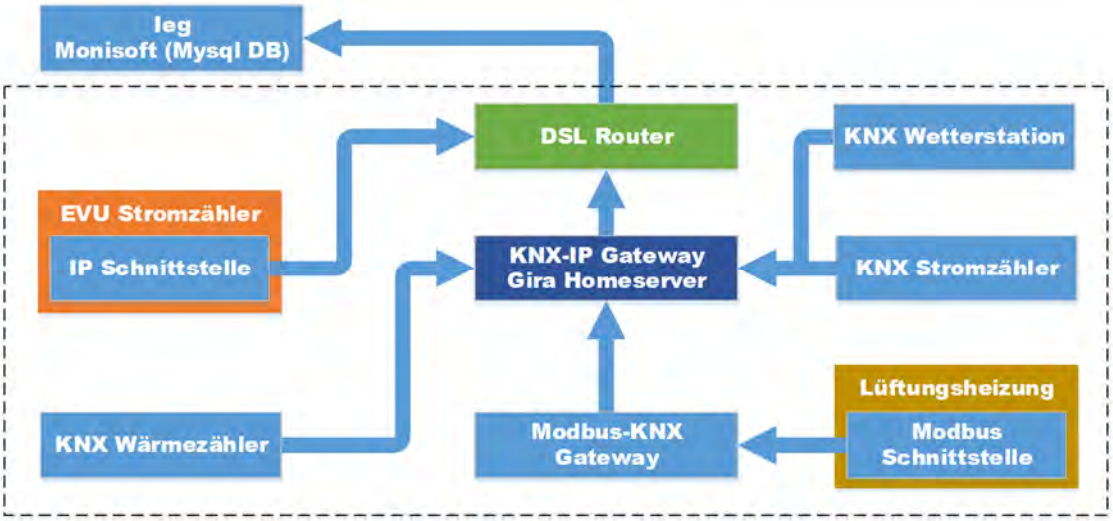


Abbildung 10: Struktur Datenerfassung

Zur zentralen Datenerfassung wird ein Gira Homeserver (KNX, IP) verwendet. Dieser erfasst alle KNX Datenpunkte. Über den KNX Bus sind Unterstromzähler, die Wetterstation und das Gateway des zentralen Lüftungsgerätes (Modbus RTU zu KNX) mit Daten der Luft/Luft-Wärmepumpe verfügbar. Die Luft/Luft-Wärmepumpe erfasst auch Raumtemperaturen und an einem Messort auch relative Feuchte und CO_2. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe stellt keine Schnittstelle zur Verfügung, es sind aber zwei Wärmemengenzähler (Trinkwarmwasser, Zirkulationsverluste) und deren Leistungsaufnahme vorhanden. Die Zähler des Energieversorgers wurden mit Gateways ausgestattet (S0 zu IP). Die Lieferung der Gateways hatte sich verzögert, es stehen Daten nicht über den kompletten Zeitraum des Monitorings zur Verfügung. Der Energieverbrauch der Beleuchtung

[10] Siehe auch: Anhang 3: EVU-Zählerschnittstelle

kann nicht getrennt erfasst werden, da der Baufortschritt ein separates Monitoring nicht mehr zuließ.

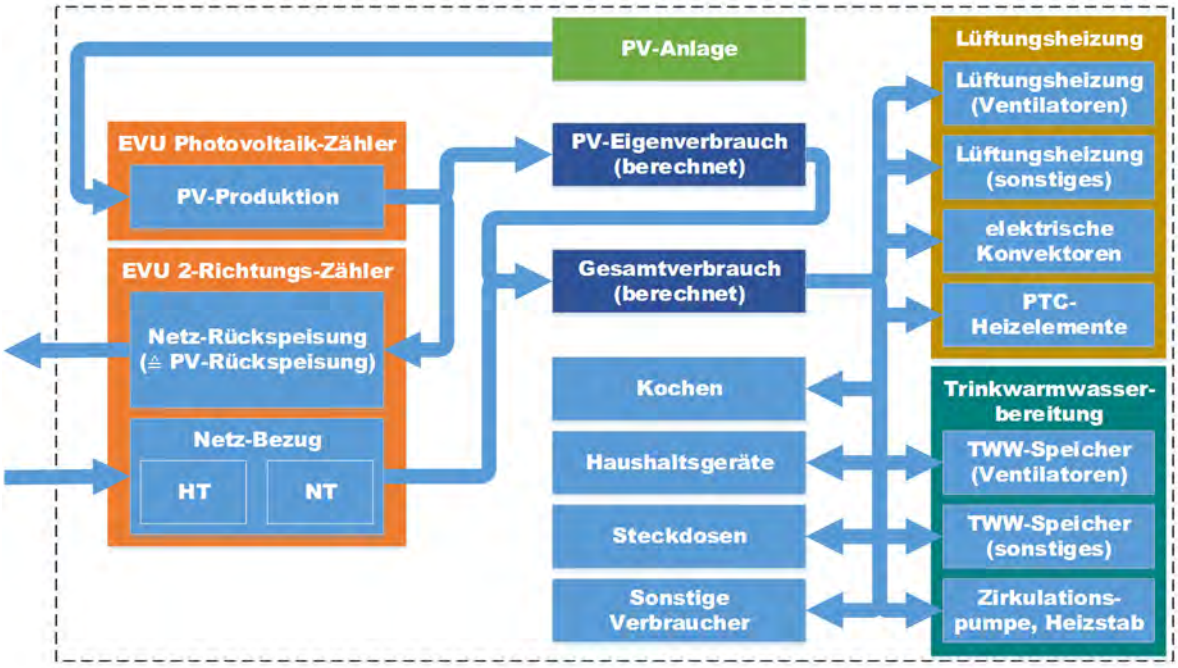


Abbildung 11: Struktur Stromzähler

Die realisierten Stromzähler zum Erfassen der Einzelverbräuche (siehe Abbildung 11) ergeben sich zunächst aus den Mindestanforderungen des Leitfaden Monitoring[1].

Soweit möglich, werden alle wichtigen Verbraucher der Gebäudetechnik und auch des Nutzers an sich (Haustechnik, Küche, etc.) erfasst.

Datenzugriff und Verarbeitung (siehe auch Abbildung 10)

Der übergeordnete Zugriff erfolgt webbasiert (über http / TCP/IP). Die Daten werden per Internet übertragen, dazu wird die DSL-Verbindung der Familie genutzt. Am DSL Router wurden Portweiterleitungen eingerichtet um auf den Gira Homeserver und die Gateways der EVU Zähler zuzugreifen (gestellt von EVU, optisch S0 zu http TCP/IP über Ethernet). Der Gira Homeserver agiert hierbei als Gateway zum Monitoring Netz (KNX TP zu http / TCP/IP über Ethernet). Im KNX Netz existiert ein weiteres Gateway zur Luft/Luft-Wärmepumpe der Lüftungsanlage (Modbus RTU Master RS485 zu KNX TP per Intesis-Gateway).

Der Gira Homeserver stellt die KNX Daten als tägliche Archive im csv-Format (comma separated value, einfache Textdateien mit zeilenorientieren Datensätzen) zur Verfügung. Die zeitliche Auflösung beträgt 5 Minuten, abweichend davon werden Datensätze der Luft/Luft-Wärmepumpe schwellwertbasiert generiert (bedingt durch Modbus). Der original Telekom DSL Router hatte nicht behebbare Probleme mit stabilen Portumleitungen, ein

anderer DSL Router (FritzBox) wurde vom Institut für Energie und Gebäude für den Monitoringzeitraum gestellt. Da der DSL Anschluss eine dynamische IP besitzt, wird ein Dyn-DNS Dienst von Gira genutzt. Dieser ist für Homeserver-Besitzer kostenfrei.

Die zentrale Datenhaltung erfolgt an der TH-Nürnberg in einer MySQL-Datenbank auf einem virtuellen Server des Instituts für Energie und Gebäude (Grundlage für MoniSoft 44[3]). Täglich werden Daten per Python-Skript direkt in die Datenbank übertragen und ein tägliches Backup an einem separaten Speicherort erstellt. Der Gira Homeserver liefert Daten im csv-Format von allen KNX Geräten (Stromzähler, Wärmemengenzähler, Wetterstation) und von der Luft/Luft-Wärmepumpe. Die Stromzähler des Energieversorgers stellen die Daten im JSON-Format zur Verfügung.

Grundsätzlich werden alle Datenpunkte im 5 Minuten Intervall erfasst, abweichend davon werden Datensätze der Luft/Luft-Wärmepumpe bei einer Änderung des Messwerts generiert.

5.1.1 Energiezähler

Strom

Folgende Stromzähler - Datenpunkte sind realisiert:

- **EVU-Zähler:** Photovoltaik Produktion, Netz-Bezug, Netz-Einspeisung

- **KNX-Zähler:** Kochen, Haushaltsgeräte, Steckdosen, elektrische Konvektoren, Zisternenpumpe, Zirkulationspumpe und Zusatzheizstab, PTC-Heizelemente Lüftung, L/L-WP, L/L-WP Ventilatoren, L/W-WP, L/W-WP Ventilatoren, Ladung E-Mobil, Steuerspannung EIB

Die zwei Zähler des Energieversorgers sind jeweils mit einer Schnittstelle ausgerüstet (siehe Abbildung 12[11]). Dadurch ist es möglich per TCP/IP und http auf die Zähler zuzugreifen. Die Daten werden im JSON-Format bereitgestellt und die Datenpunkte orientieren sich an OBIS-Kennzahlen[12]. Der automatisierte Zugriff erfolgt alle 10 Sekunden per Python-Skript, wobei die Daten sofort in einer MySQL-Datenbank abgelegt werden und

Abbildung 12: EVU-Stromzähler mit IP-Schnittstelle

für das weitere Monitoring, primär die Anwendung in Monisoft [3], benutzt werden.

[11] EasyMeter Drehstromzähler mit efr Smart Grid Hub Schnittstelle (siehe Anhang 3: EVU-Zählerschnittstelle)
[12] "Object Identification System", Kennzahlen nach IEC 62056-61

Die Zählerdaten stehen erst ab Mitte März 2015 in dieser hohen Auflösung zur Verfügung, da die ersten Versionen der Geräte defekt waren und die Schnittstellen Lieferverzögerungen hatten. Vor Beginn des online Monitorings wurden monatliche Zählerstände erfasst.

Probleme:

Nach dem Einbau der KNX-Stromzähler[13] stellte sich nach kurzer Zeit heraus, dass einige Zähler unplausible Werte oder gar keine Daten lieferten. Dies ist offenbar auf eine fehlerhafter Zuordnung bzw. Verkabelung einiger Zähler zurückzuführen. Über den Bauherrn wurde die entsprechende Elektrofachfirma zur Nachbesserung angehalten. Dies war aus nicht nachvollziehbaren Gründen nicht erfolgreich. Inzwischen betreut die dritte Firma die Gebäudetechnik. Bis zum Ende des Monitorings konnte dieses Problem nicht abschließend gelöst werden und auf einige Datenpunkte musste verzichtet werden.

Abbildung 13: KNX Stromzähler

[13] Ling-Janke KNX Stromzähler, Zählwerk Saia-Burgess, (siehe Anhang 4: KNX-Stromzähler)

Wärmemengenzähler

Die bereitgestellte Wärme für Trinkwarmwasser bzw. Brauchwasser und die Zirkulationswärmeverluste des Trinkwarmwasserspeichers werden über zwei KNX-Wärmemengenzähler[14] erfasst. In Abbildung 14 ist links der Zähler für TWW zu sehen und rechts der Zähler für die Zirkulationsverluste.

Abbildung 14: KNX-Wärmemengenzähler

5.1.2 Wärmepumpen

Luft/Luft-Wärmepumpe (Lüftungsanlage)

Die Steuerung einer Lüftungsanlage verfügt normalerweise nicht über eine zum Monitoring geeignete Anbindung. Vom Hersteller wurde zum Monitoring kostenfrei ein Vorserienmodell einer Schnittstelle zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 15 , mitte-rechts: Modbus-RTU Schnittstelle der Lüftungsanlage[15]). Diese befand sich zu Beginn des Monitorings noch in Entwicklung. Anfang des zweiten Monitoring-Jahres konnte die Schnittstelle über ein Gateway eingebunden werden (siehe Abbildung 15, unten-links: Modbus-RTU/KNX-Gateway[15]). Bei der Abbildung der Modbus-Datenpunkte auf KNX-Datenpunkte gab es Probleme. Es standen somit nicht alle potentiellen Datenpunkte der Lüftungsanlage dem Monitoring zur Verfügung.

[14] Kamstrup KNX Wärmemengenzähler (Anhang 4)
[15] Technische Daten der Modbus-Schnittstelle (Proxon) und des Gateway (Intesisbox)

Abbildung 15: Schnittstelle der Lüftungsanlage

Luft/Wasser-Wärmepumpe (Warmwasserspeicher)

Der Trinkwarmwasserspeicher mit L/W-Wärmepumpe liefert neben den Daten der Wärmemengenzähler und der Stromzähler keine weiteren Daten. Es bestand leider keine Möglichkeit ihn in das Monitoring weiter einzubinden (z.B. Betriebszustände, Speichertemperaturen).

5.1.3 Luft-Erdreich-Wärmetauscher

Eine Messung der Temperaturen im Luft-Erdreich-Wärmetauscher war ursprünglich geplant, musste jedoch aufgrund des Baufortschrittes und aus Kostengründen weggelassen werden. Für das Monitoring des LEWT stehen jedoch Daten der Lüftungsanlage zur Verfügung (Außenlufttemperatur, Temperatur AUL nach LEWT und die Volumenströme der einzelnen Lüfterstufen).

5.1.4 Photovoltaikanlage

Die Daten der Photovoltaikanlage werden über einen separaten Zähler erfasst. Dieser EVU Zähler ist ohnehin vorhanden und mit einer Schnittstelle ausgestattet (siehe 5.1.1 Energiezähler, Abschnitt Strom).

5.1.5 Wetterstation

Die Wetterstation erfasst vor allem mit einem nach Süden ausgerichteten Pyranometer die horizontale Globalstrahlung.

5.1.6 Raumklima

Raumklimadaten werden über die Schnittstelle der Lüftungsanlage erfasst.

6 Ergebnisse der Messdatenauswertung

Über eine 2-jährige Monitoringperiode von11/2013 bis 10/2015 liegen Messdaten vor.

6.1 Energiebilanzen

Die Werte für den kumulierten Endenergieverbrauch und die PV-Produktion zeigt Abbildung 16. Deutlich wird der jährliche Endenergieüberschuss von 6868 kWh/a (2013/14) und 6186 kWh/a (2014/15) (siehe auch Tabelle 5). Die Prognosen wurden übertroffen.

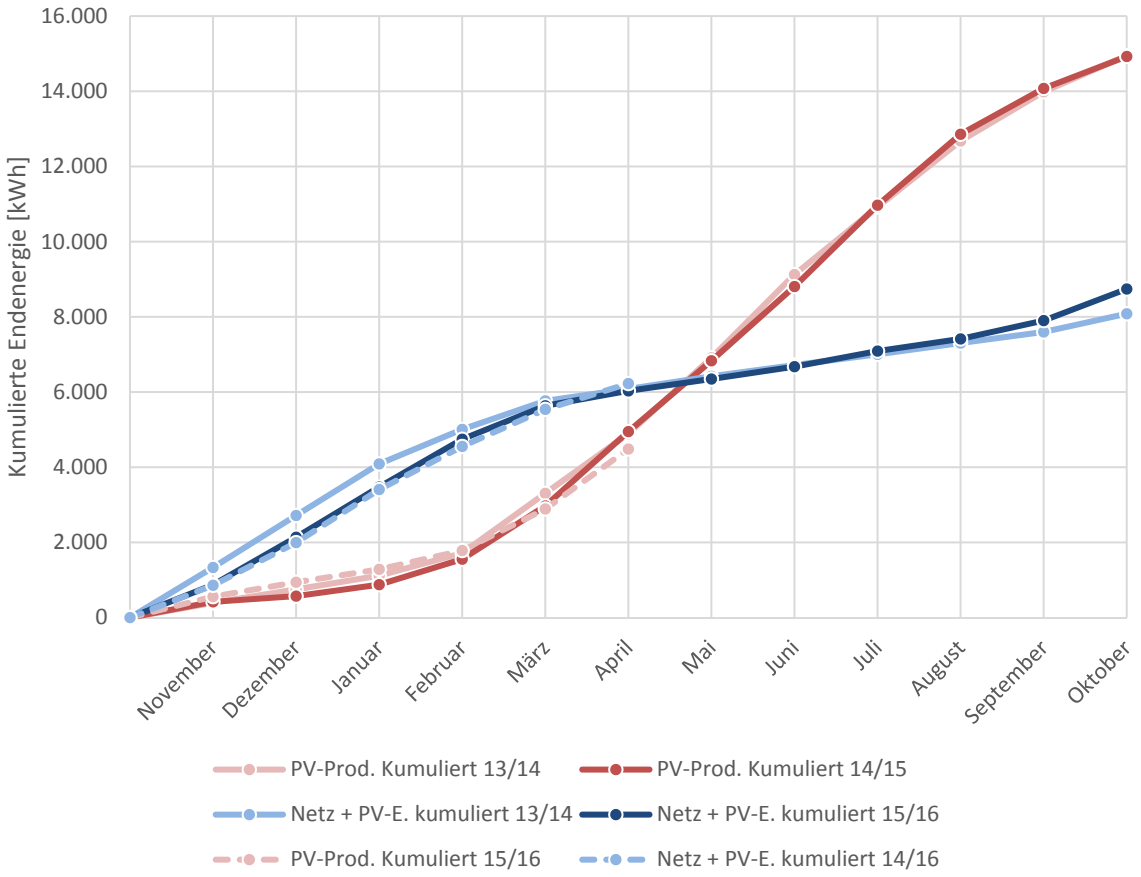


Abbildung 16: Kumulierte Endenergie

Die Tabelle 6 auf Seite 30 zeigt den relativ geringen Eigenverbrauchsanteil (16,3 %) für den PV Strom. Der Autarkiegrad (Anteil des PV-Stroms am Gesamtverbrauch) beträgt 27,2 %.

Die Ursachen für diese geringen Werte im Kapitel 6.2.3 diskutiert.

Tabelle 5: Endenergie-Überschuss

Monitoring-Jahr 2013/2014	
Photovoltaik-Produktion	14.951 kWh/a
Netz- und Photovoltaik-Eigenverbrauch	8.083 kWh/a
Endenergie-Überschuss (Endenergiebedarf minus PV-Produktion, 8.083 kWh/a – 14.951 kWh/a)	-6.868 kWh/a
Primärenergie-Überschuss[16] (Endenergiebedarf * 2,4 minus PV-Produktion * 2,8, 19.400 kWh/a – 41.861 kWh/a)	-22.461 kWh/a
Monitoring-Jahr 2014/2015	
Photovoltaik-Produktion	14.928 kWh/a
Netz- und Photovoltaik-Eigenverbrauch	8.742 kWh/a
Endenergie-Überschuss (Endenergiebedarf minus PV-Produktion, 8.743 kWh/a – 14.928 kWh/a)	-6.186 kWh/a
Primärenergie-Überschuss[16] (Endenergiebedarf * 2,4 minus PV-Produktion * 2,8, 20.982 kWh/a – 41.797 kWh/a)	-20.816 kWh/a

Tabelle 6: Eigenverbrauch und Autarkiegrad

Monitoring-Jahr 2014/2015	**PV-Produktion**	**Gesamtverbrauch**
Endenergie	14.928 kWh/a	8.742 kWh/a
Primärenergie	41.797 kWh/a	20.982 kWh/a
PV-Eigenverbrauch[17]	2.430 kWh/a 16,3 %	
Autarkiegrad[18]	27,8 %	

[16] Primärenergiefaktoren nach EnEV 2009: Bezug = 2,4, Verdrängungsstrommix (≙ Einspeisung) = 2,8
[17] PV-Eigenverbrauch bezogen auf gesamte PV-Erzeugung
[18] PV-Eigenverbrauch bezogen auf gesamten Endenergieverbrauch

Abbildung 17 und Tabelle 7 zeigen Monats- und Jahreswerte der Energiequellen und der Energienutzung.

Es werden 14928 kWh/a Strom produziert und 8742 kWh/a im Gebäude verbraucht.

Alle Werte der Energiemessungen sind im *Anhang 1: Tabellen* dokumentiert.

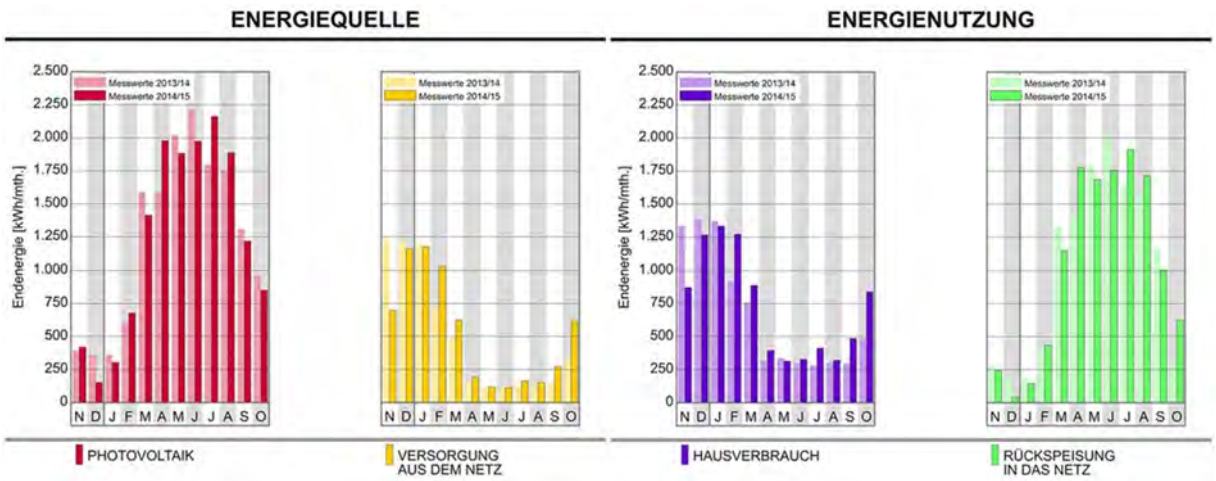


Abbildung 17: Energiequelle und Energienutzung[19]

Tabelle 7: Energiedaten absolut und spezifisch

Monitoring-Jahr 2014/2015	PV-Produktion	Netzbezug	Haus-verbrauch	Netz-Rück-speisung
absolut / kWh/a	14.928[20]	6.313	8.742	12.498
spezifisch[21] / kWh/m²a	47,8	20,2	28,0	40,0

.

[19] Quelle FHG
[20] PV-Produktion in Bezug auf PV-Modulfläche von 99 m²: 151 kWh/m²a
[21] A_N nach EnEV = 312,12 m²

6.2 Gebäude- und Anlagendaten

6.2.1 Raumkomfort

Die Temperaturen im Wohnraum schwanken zwischen 18,6°C (09.04.2015) und 25,5°C (13.08.2015). Die Streubreite der Temperaturen zeigt Abbildung 18:

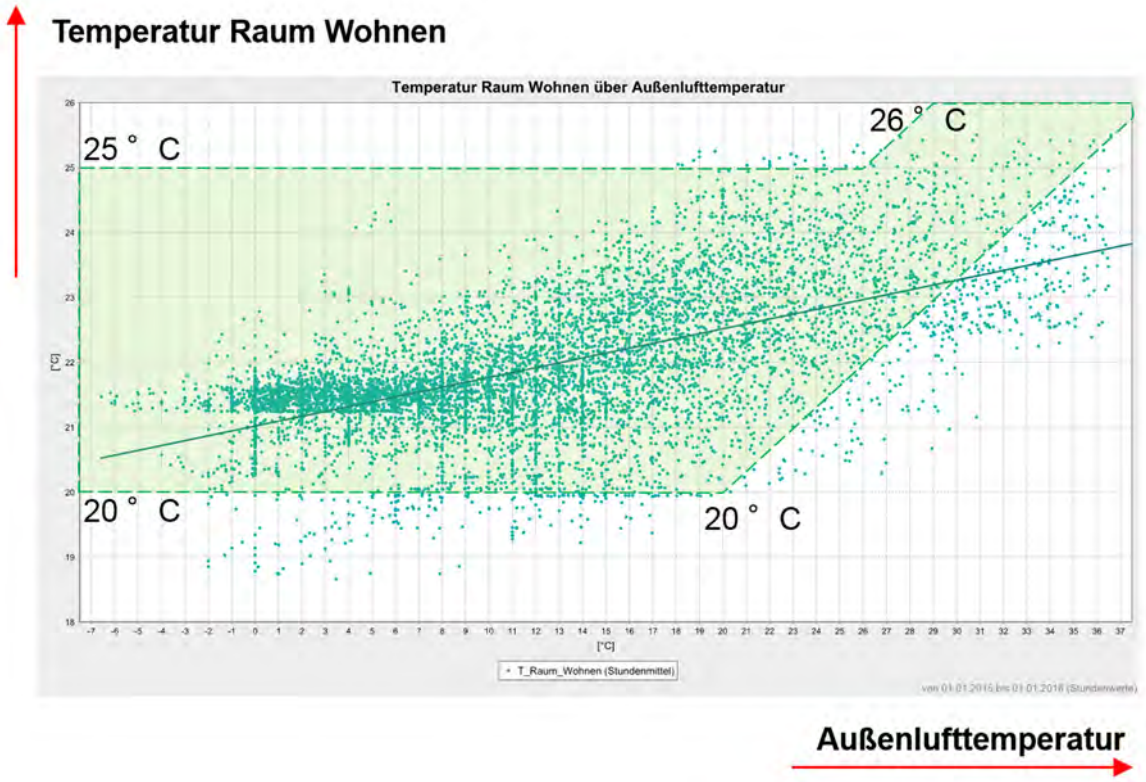


Abbildung 18: Temperatur Raum Wohnen, Monitoring-Jahr 2014/2015

Bei einem Jahresmittelwert von 21,98°C können die Komfortverhältnisse auch im Sommer als gut bewertet werden. Erreicht wird dies durch die Speichermassen des Gebäudes, einen guten Sonnenschutz und die effektive Lüftung.

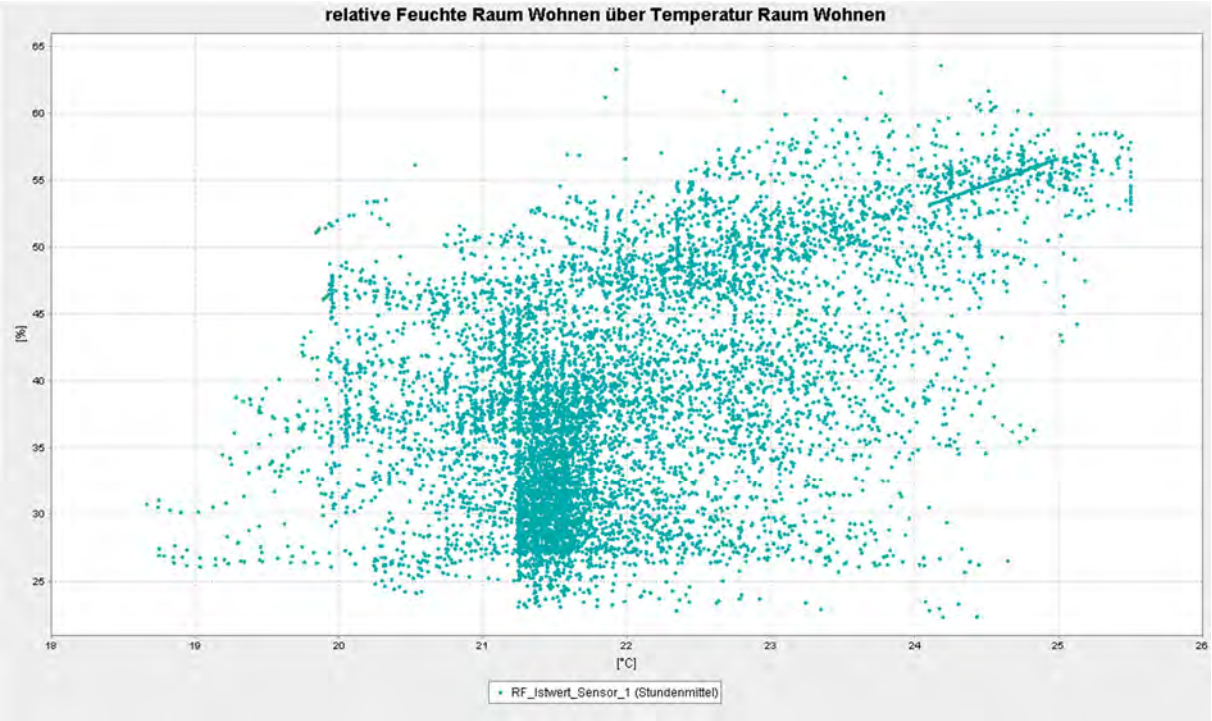


Abbildung 19: Relative Feuchte über Lufttemperatur Raum Wohnen, Monitoringjahr 2014/15

Nach Abbildung 19 schwankt die relative Feuchte zwischen 25 % und 60 %. Vom Nutzer sind keine Beschwerden über zu trockene Luft bekannt. Die Zuluftmenge wird nach dem CO_2-Gehalt geregelt.

6.2.2 Lüftungsgerät

Typische Messwerte für das Lüftungsgerät im Winterbetrieb zeigt Abbildung 20.

Die angezeigten sehr hohen Außenlufttemperaturen (grün) werden durch die Sonneneinstrahlung auf den Temperatursensor verursacht.

Die Temperaturen nach dem Luft-Erdreich-Wärmetauscher (LEWT) geben die Eintrittstemperaturen für das Lüftungsgerät. Der Bypass des LEWT arbeitet planmäßig und öffnet den Bypass bei Temperaturen unter 22 °C. Im Lüftungsgerät bewirkt die Wärmerückgewinnung einen Temperaturanstieg der Zuluft. Die Raumtemperaturen betragen 24°C bis 25°C. Offensichtlich wird die Wärmerückgewinnung im Sommer nicht vollständig außer Betrieb genommen. Dadurch ließe sich der sommerliche Komfort weiter steigern.

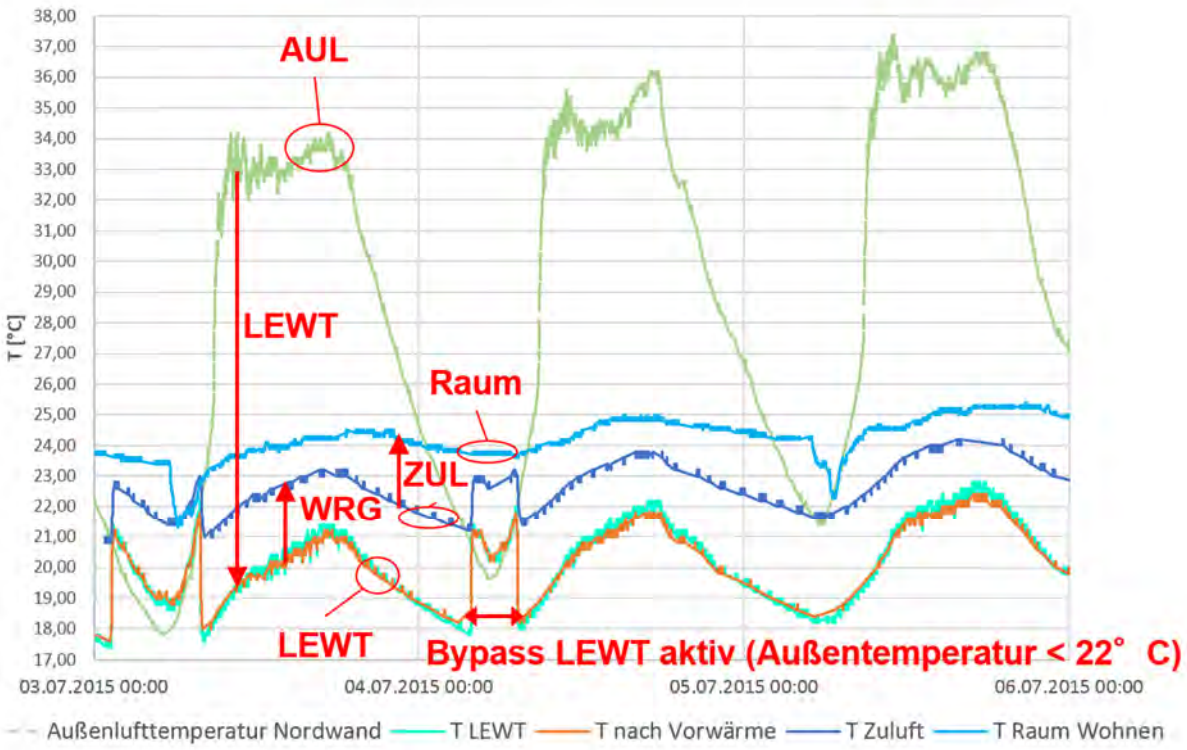


Abbildung 20: Monitoring Lüftungsgerät Sommer

Das Lüftungsgerät wird nach dem CO_2-Gehalt (Sollwert 800 ppm) geregelt.

Die Wirksamkeit des LEWT im Sommerbetrieb zeigt Abbildung 21.

Es wird eine Abkühlung um max. 15 K (siehe Graph dT LEWT) erreicht. Dies entspricht einer Kühlleistung von bis zu 600 Watt.

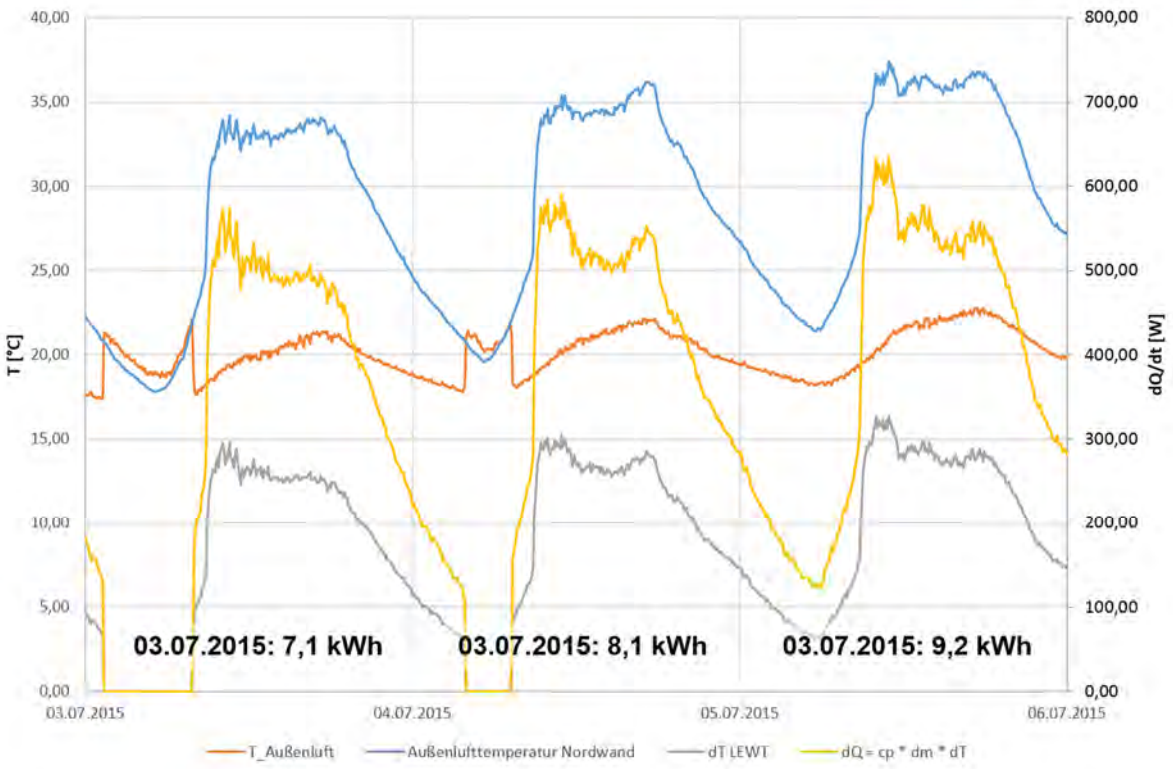


Abbildung 21: Monitoring LEWT Sommer

Typische Messwerte für das Lüftungsgerät im Winterbetrieb zeigt Abbildung 22.

Die Außenlufttemperatur schwankt zwischen -1°C und 8°C. Der Luft-Erdreich-Wärmetauscher (LEWT) bewirkt eine annähernd gleichmäßige Temperatur von 8°C bis 10°C.

Im Lüftungsgerät bewirkt die Wärmerückgewinnung und die Luft/Luft-Wärmepumpe eine Erhöhung der Zulufttemperatur auf bis zu 19°C. Hierbei sind starke Schwankungen festzustellen. Dies ist auf ein Takten der Wärmepumpe zurückzuführen.

Die Raumtemperatur beträgt 21°C bis 22°C. Für die Wärmerückgewinnung ergeben sich Rückwärmezahlen unter 60% (laut Datenblatt > 80%).

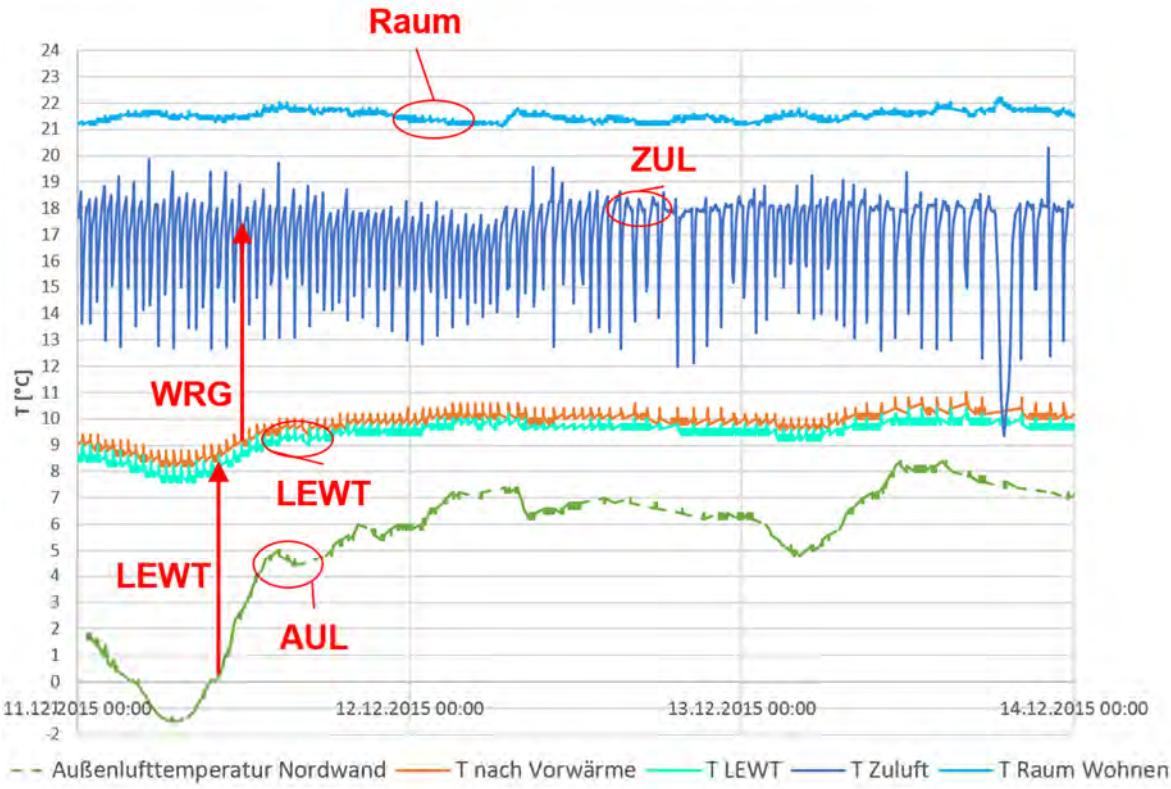


Abbildung 22: Monitoring Lüftungsgerät Winter

Auch im Winterbetrieb arbeitet der LEWT effektiv und bewirkt eine Temperaturerhöhung von bis zu 10 K. Er zeigt damit eine Heizleistung von bis zu 600 Watt (siehe Abbildung 23).

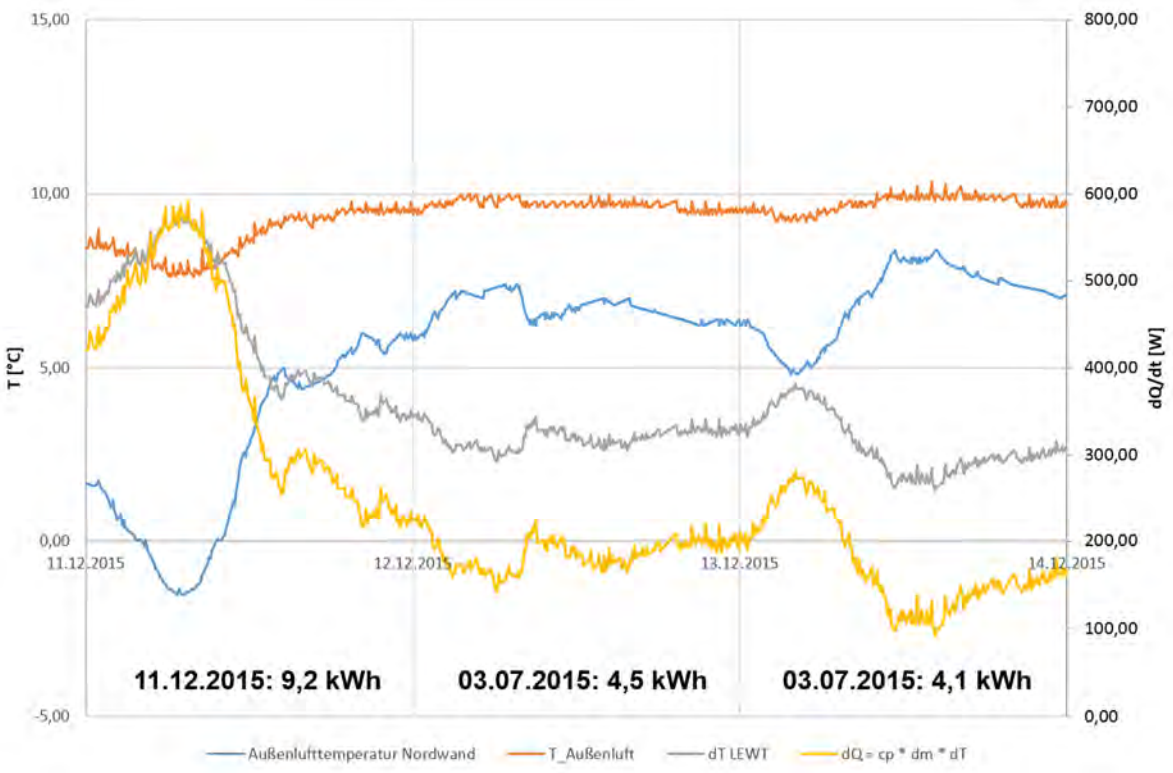


Abbildung 23: Monitoring LEWT Winter

6.2.3 Lastanalysen und Optimierungspotentiale

Abbildung 24 zeigt für einen typischen Wintertag den Lastverlauf im Gebäude.

Die Stromgrundlast beträgt 500 Watt.

Zu Zeiten von PV-Stromerzeugung findet keine Erhöhung des Verbrauchs statt und der überschüssige Strom wird eingespeist.

Der Heizstab für die Trinkwarmwasserbereitung wird in den Nachtstunden zugeschaltet. Dieser ist temperaturgesteuert und gewährleistet die Temperatur im TWW–Speicher.

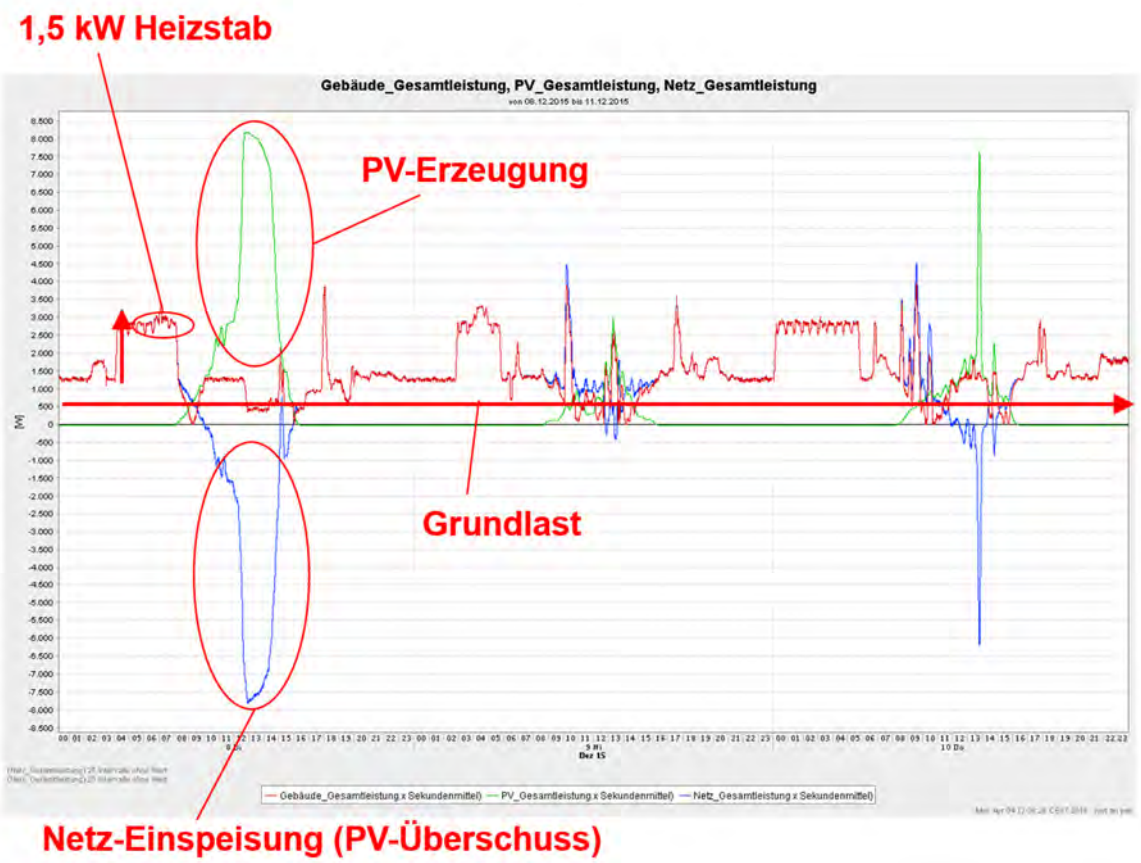


Abbildung 24: Lastanalyse

Optimierungspotentiale:

Zur Optimierung werden folgende Empfehlungen ausgesprochen:

- Steuerung des Heizstabes TWW nach verfügbarem PV-Strom-Überschuss
- Reduzierung des EVU-Strombezuges durch elektrischen Energiespeicher
- Lastmanagement durch Ausnutzung der Speichermasse des Gebäudes
- Optimierung des Betriebs des Lüftungsgerätes und der Wärmepumpe
    - Verringerung der Taktzeiten
    - Kontrolle der Effektivität der Wärmerückgewinnung

7 Kosten und Wirtschaftlichkeit

7.1 Zusätzliche Investitionen

Es werden für die Bauteile und Anlagen die Mehrkosten des Effizienzhaus Plus-Standards gegenüber einer Ausführung nach EnEV 2009 angegeben (Siehe Tabelle 8). Die Mehrkosten betragen 48.380 €.

Tabelle 8: Mehrkosten für den "Effizienzhaus Plus-Standard"

	Konventionelle Ausführung nach EnEV 2009 und EEWärmeG		Ausführung für „Effizienzhaus Plus-Standard“		
Bauteil / Anlage	**Beschreibung**	**Kosten**	**Beschreibung**	**Kosten**	**Mehrkosten in €, inkl. MWSt.**
Außenwände	KS 17,5m, WDVS 14cm, U=0,28 W/m²K	38.000 €	HLz 007, d=49cm, U=0,14 W/m²K	44.625 €	6.625 €
Bodenplatte	Bodenplatte Beton 30cm, Dämmung 10cm, U=0,35 W/m²K	27.000 €	Bodenplatte Beton 30cm, Dämmung 23cm, U=0,14 W/m²K	29.750 €	2.750 €
Dach	Satteldach, Dämmung 20cm, U=0,20 W/m²K	35.000 €	Satteldach, Dämmung 30cm, U=0,12 W/m²K	38.825 €	3.825 €
Fenster	2-fach Wärmeschutz-verglasung, U=1,30 W/m²K	22.000 €	3-fach Wärmeschutzver-glasung mit Prüfzeugnis, U=0,80 W/m²K	24.800 €	2.800 €
Lüftungsanlage	zentrale Abluftanlage	4.000 €	Zentrales Lüftungsgerät mit WRG und ABL-WP, Trinkwarmwasserspeicher mit ABL-WP und el. Nach-erhitzer	33.200 €	-800 €
Heizung und TWW	Erdgas-Brennwert mit Solarthermie (TWW) und FBH	30.000 €			
Luft-Erdreich-Wärmetauscher	keiner	0 €	LEWT mit 3x33m DN150	5.000 €	5.000 €
Photovoltaik	keine	0 €	PV Monokristallin, 99 m², 14,7 kW Peak	26.180 €	26.180 €
Haushaltsgeräte und Beleuch-tung	Standard	9.000 €	LED Beleuchtung, Haus-haltsgeräte Energieeffi-zienzklasse > A+	11.000 €	2.000 €
Summe		**135.000 €**		**213.380 €**	**48.380 €**
Bezogen auf Fläche An = 312 m²		**433 €**		**684 €**	**155 €**
MSR Kosten für Monitoring	keine	0 €	KNX Strom- und Wär-memengenzähler, Gate-way zur Lüftungsanlage	19.000 €	19.000 €

7.2 Wirtschaftlichkeit

Tabelle 9: Vergleich der variablen Kosten

	Einheit	**Standard EnEV2009**	**Planung Effizienzhaus Plus-Standard**	**Monitoring-jahr 2014/15**	**Differenz EnEV zu Planung**	**Differenz EnEV zu Monitoring**
Fläche AN	m²	302	312	312		
Endenergiebadarf Heizung, Lüftung und Warmwasser						
spezifisch	kWh/m²a	89,61	17,05	22,02	-72,56	-67,59
davon Erdgas	kWh_{Hi} /m²a	78,17			-78,17	-78,17
davon Strom	kWh/m²a	11,44	17,05	22,02	5,61	10,58
gesamt	kWh/a	27.063	5.319	6.870	-21.744	-20.193
Eigenstromanteil	%		20	16		
gesamt ohne Eigenstromanteil	kWh/a		4.255	5.750		
davon Erdgas	kWh/m²a	23.608			-23.608	-23.608
davon Strom	kWh/m²a	3.455	5.319	6.870	1.864	3.415
Energiekosten						
Grundpreis Erdgas	€/a	59				-59
Arbeitspreis Erdgas	€/kWh_{Hs}	0,07				
Erdgaskosten	€/a	1.712			-1.712	-1.712
Arbeitspreis Strom	€/kWh	0,22	0,22	0,22		
Kosten Hilfsenergie	€/a	760			-760	-760
Energiekosten für Heizung, Warmwasser und Lüftung	€/a	2.472	936	1.265	-1.536	-1.207
Weitere Betriebskosten						
Schornsteinfeger	€/a	30			-30	-30
Wartung Heizung und thermische Solaranlage	€/a	125	100	100	-25	-25
Jahreskosten für Heizung, Lüftung und Warmwasser	€/a	2.597	1.036	1.365	-1.561	-1.232
Stromerzeugung						
Ertrag PV-Anlage	€/kWh		0,1841	0,1841		
PV-Zählergebühr	€/a		26	26	26	26
Erwartete Erzeugung	kWh/a	0	13.671	14.928	13.671	14.928
Erwarteter Stromertrag / Einspeisevergütung	€	0	1.987	2.149	1.987	2.149
Haushaltsstromverbrauch						
Geräte und Beleuchtung	kWh/a	3.600	2.500	1.873	-1.100	-1.727
Geräte und Beleuchtung ohne Eigenstromanteil	kWh/a		2.000	1.568		
Stromkosten	€/a	792	440	345	-352	-447
Gesamte Energiekosten	**€/a**	**3.389**	**-511**	**-439**	**-3.900**	**-3.828**

Die Wirtschaftlichkeit des Gebäudes im Effizienzhaus Plus-Standard wird im Vergleich zu den Mindestanforderungen nach der EnEV 2009 betrachtet.

In der Tabelle 9 wird dabei sowohl der ursprüngliche Planungsstand des Effizienzhaus Plus von 2012 als auch das letzte Monitoring-Jahr mit einem Referenzgebäude nach EnEV 2009 verglichen:

- Der EnEV Nachweis wurde vom Ingenieur-Büro Kurz und Fischer nach DIN V 4108 und DIN V 4701-10 erstellt[22]. Um Referenzwerte zu erhalten wurde auf dieser Grundlage eine Berechnung nach DIN V 18599 durchgeführt.

- Das angenommene Referenzgebäude deckt den Endenergiebedarf für Heizung, Lüftung und Warmwasser überwiegend durch Erdgas (Gas-Brennwertkessel, Solarthermie und zentrale Abluftanlage).

- Der gesamte Endenergiebedarf des Gebäudes ist im Vergleich zu einem Standardgebäude wesentlich geringer, wobei jedoch der Bedarf am Energieträger Strom höher ist.

- Die vergleichsweise große Photovoltaikanlage kann teilweise den Endenergiebedarf decken, generiert aber vor allem durch Netzeinspeisung einen Ertrag.

- Insgesamt ergeben sich somit negative jährliche Energiekosten, im Vergleich zum Referenzgebäude ist dies ein jährlicher Ertrag von **3.828 €.**

- Verglichen mit den Mehrkosten von 48.380 € laut Tabelle 8 ergibt sich eine statische Amortisationszeit von **12,6 Jahren**.

- Bei einer dynamischen Amortisationsrechnung mit Berechnung des Barwertes der Einsparung ergibt sich unter Berücksichtigung von prognostizierten Preissteigerungen, einem Zins von 3,0 % p.a. und einer Inflationsrate von 2,0 %, als Summe der abdiskontierten jährlichen Einsparungen über den Betrachtungszeitraum 20 Jahre ein Barwert von 67.858 €. Dieser muss im Vergleich zum höheren Investitionsbetrag von 48.380 € bei Effizienzhaus Plus betrachtet werden. Es ergibt sich im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ein Überschuss von 19.478 €.

- Die dynamische Amortisationszeit beträgt **13,9 Jahre**.

[22] Quelle: Kurz und Fischer GmbH – Ingenieurgesellschaft - Bauphysik

8 Kosten-Nutzen-Analyse eingesetzter besonders innovativer Technologien

Bei dem betrachteten Gebäude werden Standard-Technologien wie

- konventioneller Wärmeschutz
- Wärmepumpe
- Pufferspeicher
- Trinkwarmwasserspeicher
- PV-Module
- LED-Beleuchtung
- besonders sparsame Haushaltsgeräte

eingesetzt.

Mit dem Zuwendungsbescheid vom 18.9.2012 wurde keine Förderung nach Abschnitt 4b für neue Komponenten (wie z.B. Dünnschichtmodule für die Fassade) der Förderrichtlinie nach [BMVBS 2011b] gewährt. Aussagen zur Wirtschaftlichkeit, zur Bedien-, Wartungs- und Modernisierungsfreundlichkeit u.ä. zu solchen Technologien können daher für das betreute Haus nicht getroffen werden.

9 Verbesserungsvorschläge

Zusammengefasst hat das Monitoring folgende Verbesserungsvorschläge zur Steigerung der Eigenverbrauchsquote (bisher bei 16,3%) und des Autarkiegrades (bisher bei 27,8 %) aufgezeigt:

- Steuerung des Heizstabes TWW nach verfügbarem PV-Strom-Überschuss
- Reduzierung des EVU-Strombezuges durch elektrischen Energiespeicher
- Lastmanagement durch Ausnutzung der Speichermasse des Gebäudes
- Optimierung des Betriebs des Lüftungsgerätes; d.h. der Wärmepumpe und der Wärmerückgewinnung.

Verbunden ist damit auch eine Verringerung des Energieverbrauchs der Technischen Anlagen.

Literaturverzeichnis

[1] BMVI (2011): Leitfaden für das Monitoring gemäß Bekanntmachung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte "Effizienzhaus Plus-Standard", Anlage 2, Online im Internet: *http://www.forschungsinitiative.de/fileadmin/user_upload/Netzwerk_Effizienzhaus_Plus/141017-Anlage-2-Leitfaden-Montoring_EP.pdf* [11.07.2016]

[2] BMUB (2016): Wege zum Effizienzhaus Plus, Online im Internet: *http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/downloads/details/artikel/wege-zum-effizienzhaus-plus/* [08.07.2016]

[3] BMWI-ENOB (2016) MoniSoft – Software für Monitoring und energetische Betriebsoptimierung, Inline Information Internet *http://www.enob.info/de/software-und-tools/projekt/details/monisoft-software-fuer-monitoring-und-energetische-betriebsoptimierung/ [18.07.2016]*

Anlagen zum Bericht

Anhang 1: Tabellen

Tabelle 10: Verbrauch und Produktion von Strom und Wärme - 2013/14

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monat	Nov 13	Dez 13	Jan 14	Feb 14	Mrz 14	Apr 14	Mai 14	Jun 14	Jul 14	Aug 14	Sep 14	Okt 14	Mon. 2013/14
Öffentliches Stromnetz														
Versorgung aus dem Netz	[kWh]	1.226	1.212	1198	719	493	151	107	103	127	134	145	327	**5.942**
Rückspeisung in das Netz	[kWh]	285	187	190	402	1325	1419	1789	2019	1639	1591	1159	804	**12.810**
Primärenergie Rückspeisung 2,8	[kWh]													**35.867**
Aktive Erschließung von Umweltenergie Photovoltaik														
PV-Produktion gesamt	[kWh]	392	359	364	601	1590	1586	2019	2214	1797	1757	1309	962	**14.951**
PV-Eigenverbrauch	[kWh]	107	172	174	199	265	167	230	195	158	166	150	158	**2.141**
PV-EV bezogen auf PV-Prod.	%	27,37	47,79	47,79	33,11	16,67	10,53	11,39	8,81	8,79	9,45	11,46	16,42	**14,32**
PV-Rückspeisung	[kWh]	285	187	190	402	1325	1419	1789	2019	1639	1591	1159	804	**12.810**
RV-Rück. bezogen auf PV-Prod.	%	72,63	52,21	52,21	66,89	83,33	89,47	88,61	91,19	91,21	90,55	88,54	83,58	**85,68**
Gesamtstromverbrauch														
Netz + PV-Eigenverbrauch	[kWh]	1.334	1.384	1.372	918	758	318	337	298	285	300	295	485	**8.083**
Primärenergie Bezug 2,4	[kWh]													**19.400**
Autarkiegrad (Deckungsgrad)	%	8,05	12,39	12,69	21,68	34,96	52,52	68,25	65,44	55,44	55,33	50,85	32,58	**26,49**
Bilanz Bezug - Erzeugung														
Netz - PV-Produktion (-)	[kWh]	834	854	833	118	-1.097	-1.435	-1.912	-2.111	-1.670	-1.623	-1.164	-635	**-9.008**
Endenergieüberschuss (-)	[kWh]	941	1.025	1.008	317	-832	-1.268	-1.682	-1.916	-1.512	-1.457	-1.014	-477	**-6.867**
Primärenergieüberschuss (-)	[kWh]													**-22.461**

Tabelle 11: Verbrauch und Produktion von Strom und Wärme - 2014/15

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monat	Nov 14	Dez 14	Jan 15	Feb 15	Mrz 15	Apr 15	Mai 15	Jun 15	Jul 15	Aug 15	Sep 15	Okt 15	Mon. 2014/15
Öffentliches Stromnetz														
Versorgung aus dem Netz	[kWh]	698	1.159	1175	1029	624	193,89	117,8	112,04	165,45	150,83	271,6	616,16	**6.313**
Rückspeisung in das Netz	[kWh]	245	45	146	435	1150	1776,4	1685,7	1758,2	1914,2	1715	1002,9	625,49	**12.498**
Primärenergie Rückspeisung 2,8	[kWh]													**34.994**
Aktive Erschließung von Umweltenergie Photovoltaik														
PV-Produktion gesamt	[kWh]	420	152	305	678	1415	1978,9	1883,4	1975,3	2163,2	1887,3	1219	850,6	**14.928**
PV-Eigenverbrauch	[kWh]	175	107	159	243	266	202,57	197,77	217,11	249,04	172,26	216,07	225,11	**2.430**
PV-EV bezogen auf PV-Prod.	%	41,67	70,39	52,26	35,86	18,76	10,24	10,50	10,99	11,51	9,13	17,73	26,46	**16,28**
PV-Rückspeisung	[kWh]	245	45	146	435	1150	1776,4	1685,7	1758,2	1914,2	1715	1002,9	625,49	**12.498**
RV-Rück. bezogen auf PV-Prod.	%	58,33	29,61	47,74	64,14	81,24	89,76	89,50	89,01	88,49	90,87	82,27	73,54	**83,72**
Gesamtstromverbrauch														
Netz + PV-Eigenverbrauch	[kWh]	873	1.266	1.334	1.272	889	396	316	329	414	323	488	841	**8.742**
Primärenergie Bezug 2,4	[kWh]													**20.982**
Autarkiegrad (Deckungsgrad)	%	20,05	8,45	11,94	19,11	29,85	51,09	62,67	65,96	60,08	53,32	44,31	26,76	**27,79**
Bilanz Bezug - Erzeugung														
Netz - PV-Produktion (-)	[kWh]	278	1.007	870	351	-791	-1.785	-1.766	-1.863	-1.998	-1.736	-947	-234	**-8.615**
Endenergieüberschuss (-)	[kWh]	453	1.114	1.030	594	-526	-1.582	-1.568	-1.646	-1.749	-1.564	-731	-9	**-6.185**
Primärenergieüberschuss (-)	[kWh]													**-20.816**

Tabelle 12: Verbrauch Einzelzähler 2013/14

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monat	Nov 13	Dez 13	Jan 14	Feb 14	Mrz 14	Apr 14	Mai 14	Jun 14	Jul 14	Aug 14	Sep 14	Okt 14	Mon. 2013/14
Wärmeerzeuger el. Wärmepumpe														
Stromverbrauch	[kWh]	416	491	510	209	171	29	25	22,60	27,89	32,37	36,56	60,00	**2.030**
Abluft-WP														
Stromverbrauch	[kWh]	8	9	9	9	7	7	6	5,28	4,89	5,22	5,21	7,03	**84**
Elektromobilität														
Stromverbrauch Elektromobilität	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0**
Brauchwasserspeicher														
Brauchwassernutzwärme WMZ	[kWh]	19	46	49	70	57	70	55	50	49	43	38	64,77	**612**
Zirkulationswärmeverluste WMZ	[kWh]	12	26	57	44	36	44	43	39	35	41	40	40,70	**458**
Nutzenergie TGA und Haushalt														
Kochen	[kWh]	18	11	9	13	11	8	12	8,67	12,85	11,24	10,09	14,98	**140**
Haushaltsgeräte	[kWh]	83	91	80	91	74	77	87	75,40	93,57	72,10	76,70	100,02	**1.001**
Hilfsenergie Anlagentechnik	[kWh]	521	636	620	451	369	67	62	52,87	50,60	61,43	52,59	120,54	**3.065**
Steckdosen	[kWh]	74	65	58	63	52	49	47	45,49	46,57	41,62	43,74	67,88	**653**
Elektrogeräte	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	**0**

Tabelle 13: Verbrauch Einzelzähler 2014/15

Verbrauch/Produktion Strom und Wärme	Monat	Nov 14	Dez 14	Jan 15	Feb 15	Mrz 15	Apr 15	Mai 15	Jun 15	Jul 15	Aug 15	Sep 15	Okt 15	Mon. 2014/15
Wärmeerzeuger el. Wärmepumpe														
Stromverbrauch	[kWh]	110	360	377	360	173	53,61	34,61	33,59	34,67	31,54	96,64	132,75	**1.797**
Abluft-WP														
Stromverbrauch	[kWh]	9	9	11	11	10	8,54	6,5	38,44	131,63	126,04	137,38	150,21	**649**
Elektromobilität														
Stromverbrauch Elektromobilität	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0**
Brauchwasserspeicher														
Brauchwassernutzwärme	[kWh]	75	48	64	80	94	94	58	58	38	20	51	81,00	**761**
Zirkulationswärmeverluste	[kWh]	38	38	42	39	40	40	45	44	60	61	60	65,00	**572**
Nutzenergie TGA und Haushalt														
Kochen	[kWh]	13	12	14	13	16	13,2	9,9	9,06	12,89	3,41	12,61	17,88	**147**
Haushaltsgeräte	[kWh]	95	91	101	91	84	82,78	80,07	79,40	82,56	45,65	79,91	95,16	**1.007**
Hilfsenergie Anlagentechnik	[kWh]	458	584	711	690	487	114,97	63,79	51,66	20,73	14,89	40,28	319,14	**3.555**
Steckdosen	[kWh]	120	104	55	46	50	48,86	44,63	45,79	56,15	32,50	54,06	58,20	**715**
Elektrogeräte	[kWh]	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	**0**

Anhang 2: EVU-Zähler

EasyMeter

ELEKTRONISCHER DREHSTROMZÄHLER Q3C

Technische Daten

Zählerart:
Drehstromzähler, auch als Wechselstromzähler zugelassen

Zählertyp:
Wirkleistungszähler, Ausführung 60 A oder 100 A

Genauigkeitsklasse:
Klasse A oder Klasse B gemäß EN 50470

Nennspannung Un:
3 x 230 V / 400 V (4 Leiter), 2 Leiter 230 V

Eigenverbrauch:
Spannungspfad: < 0,6 W (< 2,5 VA)
Strompfad: < 7,5 mW bei In, < 1,1 W bei 60 A
(< 2 W bei 100 A, entsprechend Zählertyp)

Ausführungen:
Bezugszähler (mit Rücklaufsperre)
Zweirichtungszähler
Lieferzähler (mit Rücklaufsperre)

Anzeige:
3-zeiliges LC-Display
1. und 2. Zeile jeweils 6 Stellen für Energieanzeige in kWh
3. Zeile für Info-Anzeige
Anzeige Phasenausfall

Datenschnittstellen:
Bidirektionale MSB- und unidirektionale Info-Schnittstelle
Info-Schnittstelle in den Impulsbetrieb umschaltbar
mit 10.000 Imp. / kWh

Anzahl der Tarifregister:
8 Tarifregister
Optional konfigurierbar in 2 Gruppen, Steuerung über „Value Group B, Channel Number" gemäß OBIS Code, ein tarifloses Register pro Gruppe

Überspannung:
> 8 kV (typisch 12 kV)

Temperaturbereich:
-40° C bis + 70° C

Sicherheit/ Schutz:
Schutzklasse II, Schutzart IP 54

Gewicht:
ca. 0,6 kg 60 A
ca. 0,66 kg 100 A

Maße (ohne Klemmendeckel):
Höhe 157 mm
Breite 177 mm
Tiefe 50 mm

Merkmale

Tarifsteuerung über MSB-Schnittstelle

Sehr geringe Verluste und damit auch niedrige Eigenerwärmung

Unempfindlich gegen magnetische und elektrische Störfelder (EMV)

- Shunt als Stromsensor
- Kapazitives Netzteil mit hochohmiger Netzankopplung
- Keine Varistoren

Verwendung von Analog / Digitalumsetzern mit hoher Bandbreite

- Hochfrequente Signalanteile aus getakteten Stromversorgungen (z.B. in PV-Anlagen) werden korrekt erfasst

Bidirektionale MSB-Schnittstelle (D0)

- Protokoll nach SML 1.03
- Funktionalität angelehnt an Lastenheft EDL V1.0
- Sendend, alle 2 Sek. (Identifikationsnummer, Energie, Phasen- und Summenleistung)
- Empfangsdiode für bidirektionalen Betrieb

Infozeile (Steuerung mit optischem Aufruftaster)

- gemäß EDL Lastenheft V 1.0

Unidirektionale Info-Schnittstelle

- Pull-Betrieb, Datenabfrage über Get List Kommando
- Umschaltbar in den Impulsbetrieb (für Messzwecke)

Erweiterbar durch Aufsetzmodule

- Für Kommunikation, Zusatzfunktionen, usw.
- Spannungsversorgung der Module über Steckverbinder (Jumper)

Verschiedene Aufsetzmodule verfügbar

- Kommunikation über Ethernet, GPRS / GSM, Power Line Communication, Wireless M-Bus
- Funk- und Tonrundsteuerung
- In-Haus Kommunikation

EasyMeter GmbH | Piderits Bleiche 9 | 33689 Bielefeld | Germany | Fon: +49 (0) 5205 9828-0 | Fax: +49 (0) 5205 9828-28 | Mail: info@easymeter.com | www.easymeter.com

Abbildung 25: EasyMeter Drehstromzähler, Technische Daten

Anhang 3: EVU-Zählerschnittstelle

KOMMUNIKATION 1.0

JSON Export

JSON (Java Script Object Notation) ist ein Dateiformat, das für den Datenaustausch zwischen verschiedenen Programmen verwendet wird.
Einige der im Smart Grid Hub gespeicherten Daten lassen sich auch im JSON Format abrufen (Kundendaten, Tarifregister, Netzparameter):

„<IP-Adresse>/json.txt?LogName=user&LogPSWD=user"

Benutzername und Passwort sind jeweils durch die richtigen Werte zu ersetzten.

Beispiel:

{ „billingData:" : { „assignment" :[{ „obis":"8181C78227FF","value":"0815"}, { „obis":"8181C78205FF","value":"Max"}, { „obis":"8181C78206FF","value":"Mustermann"}, { „obis":"8181C78207FF","value":"Nymphenburger Str. 20b, 80335 Muenchen"}, { „obis":"0100000000FF","value":"1118004892"}, { „obis":"010000090B00","value":"26.11.2012,11:27:23"}], „values" : [{„obis":"0101010800FF","value":366.83,"unit":"kWh" },{„obis":"0101010801FF","value":255.16,"unit":"kWh"},{„obis":"0101010802FF","value":60.05,"unit":"kWh"},{„obis":"0101010803FF","value":51.53,"unit":"kWh"},{„obis":"0102020800FF","value":6.83,"unit":"kWh"},{„obis":"0102020807FF","value":6.79,"unit":"kWh"},{„obis":"0100010700FF","value":54.04,"unit":"W"},{„obis":"0100150700FF","value":-1.57,"unit":"W"},{„obis":"0100290700FF","value":0.00,"unit":"W"},{„obis":"01003D0700FF","value":55.61,"unit":"W"},{„obis":"010020070000","value":230.04,"unit":"V"},{„obis":"010034070000","value":226.95,"unit":"V"},{„obis":"010048070000","value":228.93,"unit":"V"},{„obis":"01000E070000","value":50.000,"unit":"Hz"},{„obis":"010001080080","value":0.30,"unit":"kWh"},{„obis":"010001080081","value":0.49,"unit":"kWh"},{„obis":"010001080082","value":4.75,"unit":"kWh"},{„obis":"010001080083","value":27.86,"unit":"kWh"},{„obis":"010001080084","value":0.00,"unit":"kWh"},{„obis":"010002080080","value":0.00,"unit":"kWh"},{„obis":"010002080081","value":0.00,"unit":"kWh"},{„obis":"010002080082","value":0.00,"unit":"kWh"},{„obis":"010002080083","value":0.00,"unit":"kWh"},{„obis":"010002080084","value":0.00,"unit":"kWh"}] }}

Das JSON-file enthält folgende Daten:

OBIS	Wert	Beschreibung
8181C78227FF	0815	Kundennummer
8181C78205FF	Max	Vorname
8181C78206FF	Mustermann	Nachname
8181C78207FF	Nymphenburger Str. 20b 80335 Muenchen	Adresse
0100000000FF	1118004892	Zählernummer
010000090B00	26.11.2012,11:27:23	Zeitstempel
0101010800FF	366.83 kWh	Summenregister 1.8.0
0101010801FF	255.16 kWh	Register 1.8.1
0101010802FF	60.05 kWh	Register 1.8.2
0101010803FF	51.53 kWh	Register 1.8.3
0102020800FF	6.83 kWh	Register 2.8.0
0102020807FF	6.79 kWh	Register 2.8.7
0100010700FF	54.04 W	Gesamtleistung
0100150700FF	-1.57 W	Leistung Phase 1
0100290700FF	0.00 W	Leistung Phase 2
01003D0700FF	55.61 W	Leistung Phase 3
010020070000	230.04 V	Spannung Phase 1
010034070000	226.95 V	Spannung Phase 2
010048070000	228.93 V	Spannung Phase 3
01000E070000	50.000 Hz	Netzfrequenz
010001080080	0.30 kWh	Verbrauch heute
010001080081	0.49 kWh	Verbrauch gestern
010001080082	4.75 kWh	Verbrauch letzte Woche
010001080083	27.86 kWh	Verbrauch letzten Monat
010001080084	0.00 kWh	Verbrauch letztes Jahr
010002080080	0.00 kWh	Einspeisung heute
010002080081	0.00 kWh	Einspeisung gestern
010002080082	0.00 kWh	Einspeisung letzte Woche
010002080083	0.00 kWh	Einspeisung letzten Monat
010002080084	0.00 kWh	Einspeisung letztes Jahr

Abbildung 26: Auszug Bedienungsanleitung efr Smart-Grid-Hub, JSON Export

TECHNISCHE DATEN 11

Technische Daten

Gerätekennungen	
MAC-Adresse	B2-2A-DC-..-..-..
Flag-Kennung	EFR
Öffentliche Schlüssel	
Nennspannung U_n	230V
Voltage range	(0.8 – 1.15) U_n
Nennfrequenz	50 Hz, (0.98 – 1.02) f_n
Netzanschluss	L1, L2, L3, N (gemessen / nicht gemessen)
Versorgung	L3, N

LED-Anzeigen	
Netz	aus / grün
Ethernet-Verbindung	aus / grün / grün blinkend
Status	aus / rot blinkend
Zähler	aus / gelb

Geräteuhr / Kalendarium
Pufferbatterie für Echtzeituhr, fest verlötet

Kommunikationskanäle	
Zählerschnittstelle:	D0 optisch, 9600 Baud
	7 Bit / Even / 1 Stop bit
Protokolle	IEC 62056-21/-61
	SML, binär kodiert
Ethernet-Schnittstelle:	10/100Base-T, IEEE 802.3
RJ45-Buchse	RxD+, RxD-, TxD+, TxD-
GPRS-Kanal:	
Antennenanschluss	SMA Buchse
Protokolle:	TCP/IP, NTP, DHCP, SML / HTTP (WEB-Server)

Sicherheit / Kryptologie	
Authentifizierung	ECDSA
Schlüsselaustausch	asymmetrisch nach ECDH
Verschlüsselung	symmetrisch
RS485-Schnittstelle:	A, B
Anschluss	RJ45-Buchse
Protokoll	SML
Langwellenschnitt-stelle:	UART, 200 Baud
Antennenanschluss	RJ45-Buchse

Protokoll	EN 60870-5-2: Format FT1.2
Eigenverbrauch	< 1W / 1VA (Ethernet) < 3W / 3VA (GPRS)
Betriebstemperatur	-25°C bis +70°C
Lagertemperatur	-40°C bis +85°C
Schutzklasse	II
Schutzart	IP51, Innenraum
Mechanische Beanspruchung	M1 (MID)
Gewicht	0,5 kg

Gehäuse	
Bauform SGH	Erweiterung „EasyMeter" Standard-Hutschiene
Bauform GCU	4 TE, Standard-Hutschiene
Rezyklierbares Material	PC mit 10% Glasfaser, flammwidrig gemäß EN 62053-21

Fernwirk-Kompaktgerät GCU	
Relaisausgänge	4 x 100 mA, max. 1 A
Digitaleingänge	
Messumformerein-gänge	2 x 4 bis 20 mA
RS485-Schnittstelle	

Abbildung 27: Auszug Bedienungsanleitung efr Smart-Grid-Hub, Technische Daten

NORMEN / KONFORMITÄT 12

Angewandte Normen / Konformität

Führende Bestimmungen	
Gesetzliche Bestimmungen	MID Directive (2004/22/EG)
Gesetzliche Bestimmungen	Annex I
Spezifische Bestimmungen	Annex MI-003

Prüfnormen	
EMV, Umwelt	EN 50470, Teil 1
Specific requirements	EN 50470, Teil 3
IT-Geräte	EN 60950, EN 55022, EN 55024

Zertifikate	
Fertigung / Endprüfung	ISO 9001
Umwelt (Fertigung)	ISO 14001

Bauartzulassung
PTB Bauartzulassung unter Berücksichtigung von PTB-A 50.7

Konformität
CE-Konformität

Abbildung 28: Auszug Bedienungsanleitung efr Smart-Grid-Hub, Angewandte Normen / Konformität

Anhang 4: KNX-Stromzähler

Lingg & Janke
Wohn- und Gebäude-Elektronik. **einfach. smart.**

Applikationsprogramm - Beschreibung

Saia Burgess — Wechselstromzähler, Drehstromzähler, Wandlerzähler

Elektozähler Saia Burgess

Bez.: EZALD1-C1-FW-REG
Bez.: EZALE3-C1-FW-REG
Bez.: EZAWD3-C1-FW-REG
Art.Nr.: 87761, 87762, 87771

1.1 Funktionsbeschreibung:

Die neuen Lingg & Janke KNX REG Zähler sind multifunktionale, nur 70mm (4TE Zähler) und 36mm (2TE KNX Schnittstelle) schmale, 3-Phasen Elektroenergiezähler mit herausragender Flexibilität und Genauigkeit.Via Direkt- oder Stromwandleranschluss helfen sie, unterschiedlichste Parameter in anspruchsvollsten Anwendungen im Wohn-, Gewerbe oder industrieumfeld, zu analysieren und zu überwachen. Sie vereinen die Funktionen eines Multimeters, eines Energiezählers und eines Datenloggers. Über KNX FacilityWeb lassen sich eine Vielzahl von Messwerten auslesen und loggen, z.B. Wirk- und Blindenergie, Wirk- und Blindleistung, Spannung, Strom und Leistungsfaktor.Für die verschiedenen Leistungswerte stehen je zwei Schwellwerte zur Überwachung zur Verfügung. Den KNX Elektroenergie–Zähler von Saia Burgess gibt es für Direktmessung (63A) und Wandlermessung (5A).
Der Wandlerfaktor beim Wandlerzähler ist in weiten Bereichen am Gerät parametrierbar. Der Zähler ist ein saldierender Einrichtungszähler für Wirkenergie. Es werden Typabhängig bis zu 2 Tarife unterstützt. Der KNX Elektro-Energiezähler EZAWD3C1-FW-REG ist ein Wandlerzähler für Stromwandler bis 1500A.

Elektozähler Saia Burgess Varianten:

Pos	*Bezeichnung*	*Typ*	*Bestellnr.*
01	Wechselstromzähler	EZALD1-C1-FW-REG	87761
02	Drehstromzähler	EZALE3-C1-FW-REG	87762
03	Wandlerzähler	EZAWD3-C1-FW-REG	87771

Seite 3 / 19
V1.1
Lingg & Janke
user-GUIDE
EZ-ALD1/ALE3/AWD3-C1-REG-FW

Abbildung 29: Auszug Bedienungsanleitung Lingg Janke KNX-Stromzähler

Datenblatt

www.sbc-support.com

SAIA BURGESS CONTROLS

1-Phasen Energiezähler
mit M-Bus Schnittstelle

Energiezähler mit einer integrierten M-Bus Schnittstelle ermöglichen das Auslesen aller relevanten Daten wie Energie (total und partiell), Strom, Spannung, Wirk- und Blindleistung.

Kenndaten

- 1-Phasen Energiezähler, 230 VAC 50 Hz
- Direktmessend bis 32 A
- Anzeige von Wirkleistung, Spannung und Strom
- M-Bus Schnittstelle zum Abfragen der Daten
- Blindleistung verfügbar über die Schnittstelle
- Bis zu 250 Energiezähler können an eine M-Bus Schnittstelle angeschlossen werden.
- 7-stellige LCD-Anzeige
- Plombierbar mit Plombierkappe als Zubehör
- Genauigkeitsklasse B gemäss EN50470-3, Genauigkeitsklasse 1 gemäss IEC62053-21

Bestellnummer

Standard Version:	ALD1D5FM00A2A00
MID Version:	ALD1D5FM00A3A00
Plombierkappe:	4 104 7420 0

Technische Daten

Genauigkeitsklasse	B gemäss EN50470-3, 1 gemäss IEC62053-21	
Betriebsspannung	230 VAC, 50 Hz Toleranz –20 %/+15 %	
Referenz-/Maximalstrom	I_{ref} = 5 A, I_{max} = 32 A	
Start-/Minimalstrom	I_{st} = 20 mA, I_{min} = 0.25 A	
Leistungsaufnahme	Aktiv 0.4 W pro Phase	
Zählbereich	00'000.00…99'999.99 100'000.0…999'999.9	
Anzeige	LCD hinterleuchtet, 5 mm hohe Ziffern	
Impulse je kWh	LCD-Anzeige	2000 Imp./kWh

Montage

Montage	auf Hutschiene 35 mm gemäss EN60715TH35
Anschlüsse Hauptstromkreis	Leiterquerschnitt max. 6 mm², Schraubendreher Pozidrive Nr. 1, Schlitzschraubendreher Nr. 1 Anzugsdrehmoment: 1.2 Nm
Anschlüsse Steuerstromkreis	Leiterquerschnitt max. 2.5 mm², Schraubendreher Pozidrive Nr. 0 oder Schlitzschraubendreher Nr. 1 Anzugsdrehmoment: 0.5 Nm
Isolationseigenschaften	4 kV / 50 Hz Test gemäss VDE0435 für Energiezähler
	6 kV 1.2/50 µs Überspannung gemäss IEC255-4
	2 kV/50 Hz gemäss VDE0435 für Schnittstelle
	Geräteschutzklasse II
Umgebungstemperatur	–25 °…+55 °C
Lagertemperatur	–30 °…+85 °C
Umgebungsbedingungen	Mechanische M2 Elektromagnetische E2
Relative Luftfeuchtigkeit	75 % ohne Betauung
EMV/Störfestigkeit	Surge-Spannung gem. IEC61000-4-5 an Hauptstromkreis 4 kV an der M-Bus Schnittstelle 1 kV
	Burst-Spannung gem. IEC61000-4-4, an Hauptstromkreis, 4 kV an der M-Bus Schnittstelle, 1 kV
	ESD gemäss IEC61000-4-2, Kontakt 8 kV, Luft 15 kV

Abbildung 30: Saia Burgess Wechselstromzähler, Technische Daten

Datenblatt

www.sbc-support.com

SAIA BURGESS CONTROLS

3-Phasen Energiezähler
mit M-Bus Schnittstelle

Energiezähler mit integrierter M-Bus Schnittstelle ermöglichen das Auslesen aller relevanten Daten wie Energie, Strom, Spannung und Leistung (Wirk- und Blindleistung).

Kenndaten

- 3-Phasen Energiezähler, 3 × 230/400 VAC 50 Hz
- Direktmessend bis 65 A
- Anzeige von Energie, Wirkleistung, Spannung und Strom
- Anzeige der Wirkleistung gesamt
- M-Bus Schnittstelle zum Abfragen der Daten
- Blindleistung pro Phase oder gesamt, verfügbar über M-Bus Schnittstelle
- Bis zu 250 Zähler können primär adressiert werden
- 7-Zeichen Display
- Plombierbar mit Plombierkappe (als Zubehör)
- Genauigkeitsklasse B gemäss EN50470-3, Genauigkeitsklasse 1 gemäss IEC62053-21

Bestellnummer

Standard Version:	ALE3D5FM10C2A00
MID Version:	ALE3D5FM10C3A00
Plombierkappe:	4 104 7485 0

Technische Daten

Genauigkeitsklasse	B gemäss EN50470-3, 1 gemäss IEC62053-21
Betriebsspannung	3 × 230/400 VAC, 50 Hz
	Toleranz –20 % / +15 %
Referenzstrom Maximalstrom	I_{ref} = 10 A $I_{DN\%}$ = 65 A
Startstrom Minimalstrom	I_{st} = 40 mA $I_{DN\%}$ = 0.5 A
Leistungsaufnahme	Aktiv 0.4 W pro Phase
Zählbereich	00'000.00…99'999.99 100'000.0…999'999.9
Anzeige	LCD hinterbeleuchtet, 6 mm hohe Ziffern
Anzeige ohne Netzspannung	Kondensatorgestütztes LCD
	maximal zweimal während zehn Tagen
Impulse je kWh	LED: 1000 Imp./kWh

Montage

Montage	auf Hutschiene 35 mm gemäss EN60715TH35
Anschlüsse Hauptstromkreis	Leiterquerschnitt 1.5…16 mm², Schraubendreher Pozidrive Nr. 1, Schlitzschraubendreher Nr. 2, Anzugsdrehmoment 1.5…2 Nm
Anschlüsse Steuerstromkreis	Leiterquerschnitt max. 2.5 mm², Schraubendreher Pozidrive Nr. 0 oder Schlitzschraubendreher Nr. 2, Anzugsdrehmoment 0.8 Nm
Isolationseigenschaften	4 kV/50 Hz; Test gemäss VDE0435 für Energiezähler
	6 kV 1.2 / 50 µs Überspannung gemäss IEC 255-4
	2 kV/50 Hz gemäss VDE0435 für Schnittstelle
	Geräteschutzklasse II
Umgebungstemperatur	–25°…+55° C
Lagertemperatur	–30°…+85° C
Umgebungsbedingungen	Mechanische M2 Elektromagnetische E2
Relative Luftfeuchtigkeit	75 % ohne Betauung
EMV/ Störfestigkeit	Surge-Spannung gem. IEC61000-4-5: an Hauptstromkreis 4 kV am M-Bus 1 kV
	Burst-Spannung gem. IEC61000-4-4: an Hauptstromkreis 4 kV am M-Bus 1 kV
	ESD gemäss IEC61000-4-2: Kontakt 8 kV, Luft 15 kV

Abbildung 31: Saia Burgess Drehstromzähler, Technische Daten

Anhang 5: Datenblatt PROXON Lüftungsgerät

PROXON®
LÜFTUNGSHEIZUNG

QUALITÄTSSIEGEL MADE IN GERMANY QUALITÄTSSIEGEL

DATENBLATT
LÜFTUNGSZENTRALGERÄT
PROXON® P 3

Zimmermann Lüftungs- und Wärmesysteme GmbH & Co. KG · Zum Eichstruck 3 a · 57482 Wenden-Gerlingen
Tel. +49(0)2762-98572-0 · Fax +49(0)2762-98572-69 · kontakt@zimmermann-lueftung.de · www.proxon.de

1

PROXON®
LÜFTUNGSHEIZUNG

PROXON® P 3 ist ein komplettes Lüftungszentralgerät. Integriert sind je ein (EC)-Zu- und Abluftventilator, Filter (G4/G4) für Frisch- und Abluft, ein Kreuzgegenstromwärmetauscher mit geregeltem Sommerbypass; eine frequenzmodulierte Luft- Luft-Wärmepumpe, die optional zur Kühlung umschaltbar ist. Zusätzlich steht ein weiterer Anschluss für das Schlafzimmer zur Verfügung. Die Mikroprozessorregelung ist im Gerät oberhalb des Wärmetauschers untergebracht. Zugang (Geräteoberseite).

Verwendung

Die PROXON® P 3 wird als Zentralgerät in sehr gut wärmegedämmten Häusern eingesetzt. Die frequenzmodulierte Luft-Luft-Wärmepumpe deckt den überwiegenden Teil der Jahresheizarbeit der Gebäude. Der Spitzen-Wärmebedarf wird durch die PROXON® Ventil-Wärmeelemente in den Luftauslässen gedeckt.

Gerätetypen

Proxon P 3-L
Proxon P 3-R
Proxon P 3H-L
Proxon P 3H-R

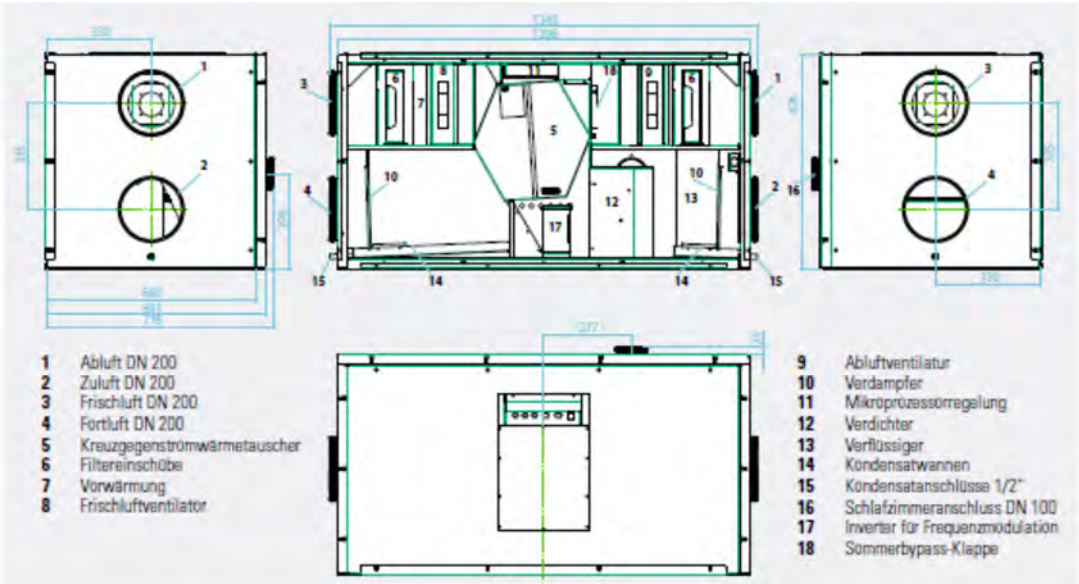
Version ohne Kühlung:
Proxon P 3H

Technische Daten

Elektrischer Anschlusswert ..... 1x 230 V / 50 Hz, 6,52 A
EC-Ventilator mit Direktantrieb R3G 190-RD 4512
Motorleistung: ..... 4.120 U/min / 169 W / 1,35 A
Arbeitsbereich **Wärmepumpe** ..... -15/+35 °C
Verdichter: Rollkolben-Hitachi ASG-133 CDNB7AT
Drehzahl Verdichter: ..... 1.800-6.000 U/min
Aufnahmeleistung: ..... max. 1,22 kW
Kältemittel-/Menge ..... R 407 C / VPC 1.550 g

Geräteaufbau

Abmessungen / H x L x T:	676 x 1.296 x 691 mm ohne Stutzen
Gehäuse:	Zweischalig feuerverzinktes Stahlblech mit 30 mm Zwischendämmung zum Wärme- und Schallschutz
Gehäusefarbe:	silbergrau pulverbeschichtet
Rohranschlüsse:	Abluft/Frischluft/Fortluft/Zuluft Ø 200 mm an der Seite
Rohranschluss Rückseite:	Ø 100 mm für Schlafzimmeranschluss
Filtereinsätze:	In die Frontplatte eigelassene Abdeckkappen, dahinterliegende Filtereinschübe nach vorne herausziehbar.
Filter:	Standardfilter in Frisch- und Abluft - Klasse G4 (auf Wunsch andere Filterklassen lieferbar)
Kreuzgegenstromwärmetauscher:	aus Kunststoff
Kondensatwannen:	Rostfreier Edelstahl V 2 A 1/2" Stutzen seitlich nach außen geführt
Gewicht:	130 kg



Zimmermann Lüftungs- und Wärmesysteme GmbH & Co. KG · Zum Eichstruck 3 a · 57482 Wenden-Gerlingen
Tel. +49(0)2762-98572-0 · Fax +49(0)2762-98572-69 · kontakt@zimmermann-lueftung.de · www.proxon.de

2

PROXON®
LÜFTUNGSHEIZUNG

Thermische Leistung

Einsatzbereich:
280 bis 550 m³/h

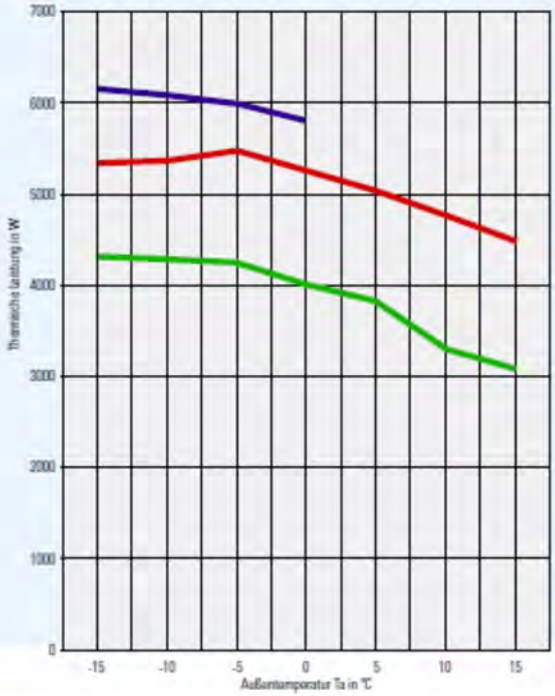
Minimale Luftmenge:
200 m³/h

Randbedingung:
Luftmenge = 420 m³/h

Drehzahlen Verdichter:
1.800 bis 6.000 U/min

Die Kühlleistung des Gerätes beträgt bei einer Luftmenge von 360 m³/h und Ta=30 °C ca. 3.000 W

Umdrehungen/min Verdichter:
1800
4000
6000



Luftkennlinie Zu- und Abluft

Einsatzbereich:
280 bis 550 m³/h

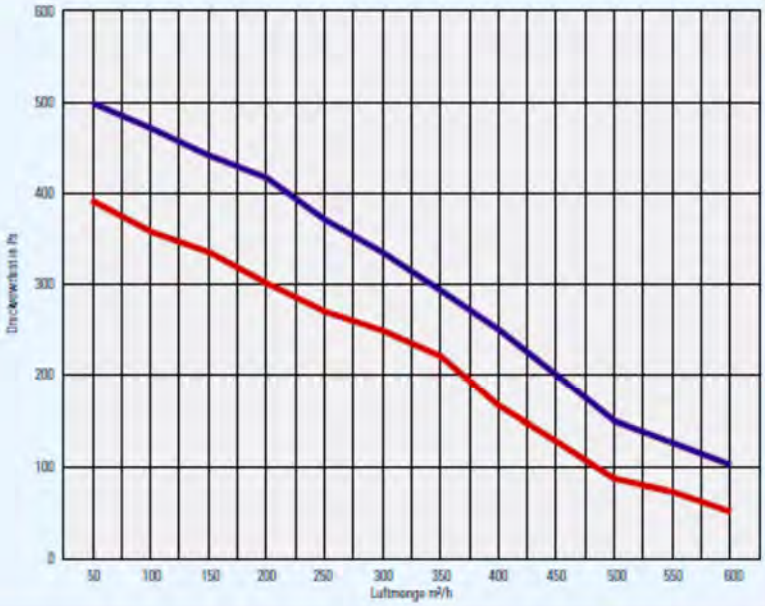
Minimale Luftmenge:
200 m³/h

Randbedingung:
Luftmenge = 420 m³/h

Drehzahlen Verdichter:
1.800 bis 6.000 U/min

Die Kühlleistung des Gerätes beträgt bei einer Luftmenge von 360 m³/h und Ta=30 °C ca. 3.000 W

91% Leistung
76% Leistung

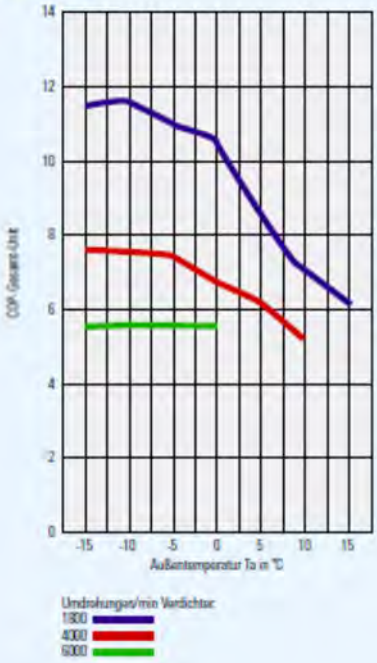


Zimmermann Lüftungs- und Wärmesysteme GmbH & Co. KG · Zum Eichstruck 3 a · 57482 Wenden-Gerlingen
Tel. +49(0)2762-98572-0 · Fax +49(0)2762-98572-69 · kontakt@zimmermann-luefTung.de · www.proxon.de

3

PROXON®
LÜFTUNGSHEIZUNG

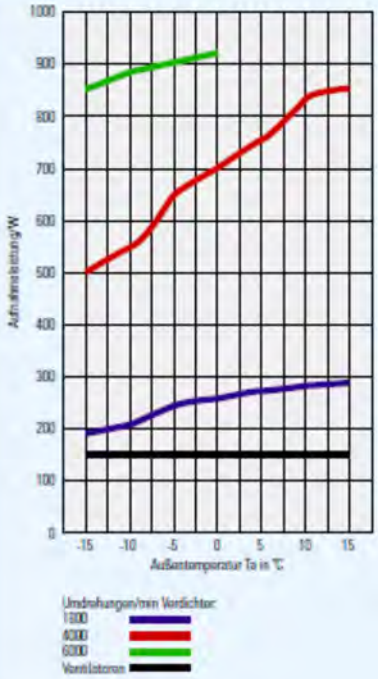
COP-Gerät



Einsatzbereich: 280 bis 550 m³/h
Minimale Luftmenge: 200 m³/h

Randbedingung:
Luftmenge = 420 m³/h
Drehzahlen Verdichter: 1.800 bis 6.000 U/min

Leistungsaufnahmen



Einsatzbereich: 280 bis 550 m³/h
Minimale Luftmenge: 200 m³/h

Randbedingung:
Luftmenge = 420 m³/h
Drehzahlen Verdichter: 1.800 bis 6.000 U/min

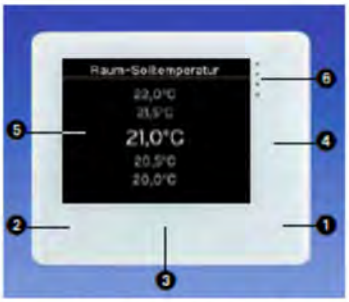
Zimmermann Lüftungs- und Wärmesysteme GmbH & Co. KG · Zum Eichstruck 3 a · 57482 Wenden-Gerlingen
Tel. +49(0)2762-98572-0 · Fax +49(0)2762-98572-69 · kontakt@zimmermann-lueftung.de · www.proxon.de

4

PROXON®
LÜFTUNGSHEIZUNG

Geräteregelung

PROXON® P 3 – die Regelung erfolgt mit einem zentralen Panel für den Wohn-/Essbereich sowie Raumthermostate für die übrigen Wohnräume.

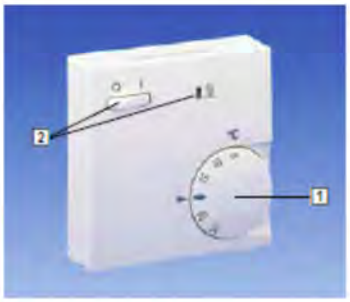


Zentrales Glas-TFT-Panel (I)

Das Bedienpanel ist zum Schutz mit einer durchgängigen Glasscheibe versehen. Die Eingaben erfolgen kapazitiv (Finger auf die ausgewiesenen Bereiche des Glases direkt auflegen bzw. bewegen).

Das Panel verfügt über folgende Eingabe- bzw. Anzeigekomponenten:

1. Aktivierung Display, Bestätigung der Eingaben
2. Löschen von Eingaben, Rücksprung zum vorherigen Menüpunkt
3. Horizontales Verschieben der Anzeige, scrollen über Slider horizontal (links-rechts)
4. Vertikales Verschieben der Anzeige, scrollen über Slider vertikal (auf und ab)
5. Monochrome vollgrafische TFT Anzeige 3,5"
6. LED Anzeigen in drei Farben:
   Rot = Fehler
   Gelb = Filterwechsel
   Grün = Wärmepumpe aktiv



Raumthermostat in Wohnräumen (II)

Die Raumthermostate werden in den Nebenräumen angebracht. Sie verfügen über folgende Einstellmöglichkeiten:

1. **Temperaturvorwahl:**
   Drehen im Uhrzeigersinn = wärmer,
   drehen gegen Uhrzeigersinn = kälter
2. **Aktivierung/Deaktivierung der PTC-Wärmeelemente:**

   Bei eingeschaltetem Schalter können die Wärmeelemente bei nicht ausreichender Temperatur im jeweiligen Raum zugeschaltet werden. Dann leuchtet das Lämpchen rot. Grundsätzlich lassen sich die Wärmeelemente nur aktivieren, wenn die zentrale Luft-Luft-Wärmepumpe aktiv ist.

Zimmermann Lüftungs- und Wärmesysteme GmbH & Co. KG · Zum Eichstruck 3 a · 57482 Wenden-Gerlingen
Tel. +49(0)2762-98572-0 · Fax +49(0)2762-98572-69 · kontakt@zimmermann-luefttung.de · www.proxon.de

Anhang 6: Bosch Solar Modul c-Si M 60

Starke Leistung – hohe Stabilität.
Bosch Solar Module c-Si M 60
EU42117

Hochwertig – Leistungsstark – Zuverlässig.
Solarmodule von Bosch Solar Energy.

BOSCH

Unsere kristallinen Solarmodule überzeugen durch:

- Garantiert hohe Produktqualität durch Verwendung bester Komponenten nach europäischem Standard
- Exzellente Verarbeitung und Langzeit-Stabilität entlang der Wertschöpfungskette
- Höhere spezifische Erträge durch positive Leistungssortierung
- Professionellen Kundenservice durch unbürokratische Auftragsabwicklung und Reklamationsbearbeitung mit persönlichem Ansprechpartner
- Einfache und sichere Installation mit aufeinander abgestimmten Bosch Solar Rack Produkten

Unsere Zertifikate – Qualität mit Brief und Siegel.
Bosch Solar Energy Module durchlaufen während der unterschiedlichen Fertigungsstufen strenge Qualitätsprüfungen nach internationalem Standard.

PV CYCLE

Qualität
Salzsprühnebel und Ammoniak Resistenz Zertifikat

Produkteigenschaften
Leistungssortierung −0/+4,99 Wp
Temperaturkoeffizient P_{max} −0,44 %/K

Wertschöpfungskette
Kristall–Wafer–Zelle–Modul

Komponenten
LHS, MC4, Bosch Solar Cell M 3BB C4 1200

Garantie
10 Jahre Produktgarantie
25 Jahre Leistungsgarantie
(90% bis 10 Jahre, 80% bis 25 Jahre)

Leistungsklassen
245–260 Wp

Bosch Solar Module c-Si M 60 | EU42117

Länge [x]	Breite [y]	Rahmenhöhe [z]	Gewicht	Anschlussdose	Steckverbindertyp	Kabel [l]	Frontglasoberfläche
1660,0	990,0	50,0	21	Spelsberg	MC4	−800 +1200	strukturiert
x, y, l in mm, ±2; z in mm, ±0,3; Gewicht in kg ±0,5							

Kristallines Solarmodul	
Leistungsklassen	**245 Wp, 250 Wp, 255 Wp, 260 Wp**
Leistungssortierung	−0/+4,99 Wp
Aufbau	**Glas-Folie-Laminat** ▸ Eloxierter Aluminiumrahmen ▸ Anschlussdose (IP 65) mit 3 Bypass-Dioden ▸ Witterungsbeständige Rückseitenfolie (weiß)
Zellen	**60 Stück monokristalline Solarzellen** im Format 156 mm x 156 mm
Mechanische Belastbarkeit	**5400 Pa Auflast, 2400 Pa Soglast**, gemäß IEC 61215 (erweiterter Test)

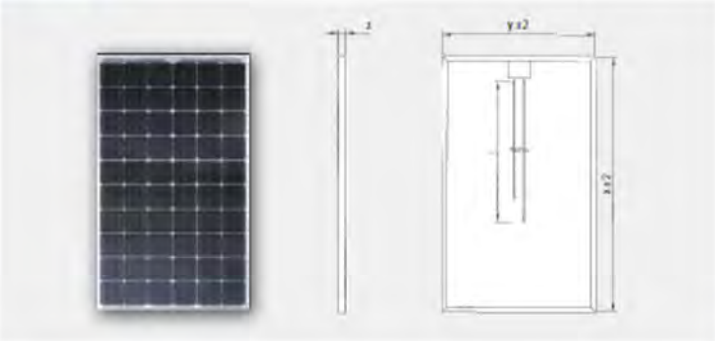
Elektrische Eigenschaften bei STC[1]:

Bezeichnung	Pmpp [Wp]	Vmpp [V]	Impp [A]	Voc [V]	Isc [A]	Rückstrombelastbarkeit Ir [A]
M260	260	30,71	8,47	38,10	9,02	17
M255	255	30,51	8,36	38,00	8,92	17
M250	250	30,31	8,25	37,90	8,82	17
M245	245	30,11	8,14	37,80	8,72	17
Reduktion des Modulwirkungsgrades bei Rückgang der Bestrahlungsstärke von 1000 W/m² auf 200 W/m² (bei 25 °C): −0,32% (absolut); Messtoleranz Pmpp ±3%						

Elektrische Eigenschaften bei NOCT[1]:

Bezeichnung	Pmpp [W]	Vmpp [V]	Voc [V]	Isc [A]
M260	189	27,70	35,01	7,27
M255	185	27,54	34,92	7,19
M250	182	27,36	34,82	7,11
M245	178	27,19	34,73	7,03
NOCT: Normal Operation Cell Temperature 48,4 °C: Bestrahlungsstärke 800 W/m², AM 1,5, Temperatur 20 °C, Windgeschwindigkeit 1 m/s, elektrischer Leerlauf				

Abmessungen[2]:



[1] Die elektrischen Kenngrößen sind typische Mittelwerte aus historischen Produktionsdaten. Es wird keine Garantie für die Genauigkeit dieser Daten bei zukünftigen Fertigungschargen gegeben.

[2] Zeichnungen sind nicht maßstabsgetreu. Detaillierte Maße und Toleranzen siehe oben.

Montagehinweis:
- Siehe Montage- und Betriebsanleitung unter: www.bosch-solarenergy.de/produkte
- Montage in horizontaler und vertikaler Ausführung möglich
- Systemspannung bis max. 1000 V
- Betriebstemperaturbereich −40 bis 85 °C

Schwachlichtverhalten:

Intensität [W/m²]	Vmpp [%]	Impp [%]
800	0,0	−20
600	0,0	−40
400	−0,18	−60
200	−2,36	−80
100	−5,45	−90
Die elektrischen Daten gelten bei 25 °C und AM 1,5.		

Thermal characteristics:

Temperature coefficient	TK [%/K]
Pmpp	−0,44
Uoc	−0,31
Isc	0,031

Bosch Solar Energy AG
Robert-Bosch-Str. 1
99310 Arnstadt
Germany
Phone: +49 361 2195-0
Fax: +49 361 2195-1133
sales.se@de.bosch.com
www.bosch-solarenergy.de

Den Anweisungen der Montage- und Betriebsanleitung der Bosch Solar Energy AG ist unbedingt Folge zu leisten. Die Bosch Solar Energy AG übernimmt keine Verantwortung für Schäden an Geräten, die gemeinsam mit Solarmodulen der Bosch Solar Energy AG ohne Berücksichtigung der technischen Datenblätter betrieben wurden. Technische Änderungen im Rahmen der Produktentwicklung sowie Fehler und Irrtümer vorbehalten.

Stand: 04/2012