

# **Endbericht der Modellvorhaben Effizienzhaus Plus Nr. 17**

Wissenschaftliche Begleitung des Effizienzhaus Plus

in Eußenheim

## **Forschungsprogramm**

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

## **Messperiode**

Dezember 2013 bis November 2015

## **Aktenzeichen**

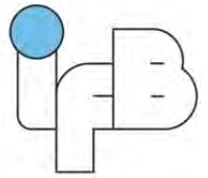
SWD - 10.08.82-11.12

## **im Auftrag**

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

## **bearbeitet von**

Dipl.-Ing. Eckhard Dietz  
Dipl.-Ing. (FH) Wolff Fülle  
Wolfgang Sorge IfB GmbH & Co. KG



11518

## Effizienzhaus Plus „Eußenheim“

### Auftraggeber

Bauherrin  
97776 Eußenheim

### Datum

5. März 2015

### Bericht

Nummer: 11518.26  
Dokument: 11518\_026bg\_tb.docx  
Zeichen: Di

### Inhalt

Endbericht  
Ergebnisse des Monitorings „Eußenheim“ und Nachweis des „Plus-Energie-Haus-Standard“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung  
Zuwendungsbescheid ER/KM/PEH-A3-121001

### Umfang

69 Textseiten und 40 Anlageseiten

### Auftrag vom

17. Juli 2012

### Verteiler

per E-Mail an: Asmus Schriewer, Forschungsbegleitung  
"Zukunft Bau" ( i.A. des BBR)  
per E-Mail an: Familie  
per E-Mail an: Steffen Haase, Architekturbüro Werner Haase  
per E-Mail an: Alexander Weidinger, Firma Ratiotherm



## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>Kurzfassung .....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Kontext und Zielsetzung .....</b>	<b>7</b>
<b>3.</b>	<b>Gebäudesteckbrief .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1</b>	<b>Allgemeine Daten.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2</b>	<b>Architektur.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3</b>	<b>Wärmeschutz .....</b>	<b>11</b>
<b>3.4</b>	<b>Anlagentechnik .....</b>	<b>12</b>
<b>3.5</b>	<b>Energiebedarf und Energiedeckung .....</b>	<b>14</b>
<b>3.6</b>	<b>Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599 .....</b>	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b>Monitoring .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1</b>	<b>Messkonzept .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Datenerfassung.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Datenübernahme .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Datenauswertung und Analyse .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Verwendete Messtechnik .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Messtellen und Messgeräte .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Erfahrungen bei der Umsetzung des Monitorings mit Standardkomponenten aus der Heizungsregelung .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Dokumentation.....</b>	<b>22</b>
<b>5.</b>	<b>Meteorologische Randbedingungen .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1</b>	<b>Solarstrahlung .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2</b>	<b>Außenlufttemperaturen .....</b>	<b>23</b>
<b>5.3</b>	<b>Klimabereinigung .....</b>	<b>26</b>
<b>6.</b>	<b>Messergebnisse.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1</b>	<b>Wärmeverbrauch .....</b>	<b>27</b>
<b>6.2</b>	<b>Wärmebereitstellung .....</b>	<b>28</b>
<b>6.3</b>	<b>Stromverbrauch und Endenergiebilanz .....</b>	<b>30</b>
<b>6.4</b>	<b>Anlagenperformance .....</b>	<b>36</b>
<b>6.4.1</b>	<b>Wärmeabgabe .....</b>	<b>36</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Wärmespeicher .....</b>	<b>38</b>
<b>6.4.3</b>	<b>Wärmeerzeuger .....</b>	<b>39</b>
<b>6.4.3.1</b>	<b>Wärmepumpe .....</b>	<b>39</b>
<b>6.4.3.1.1</b>	<b>Wärmesenke.....</b>	<b>43</b>
<b>6.4.3.1.2</b>	<b>Wärmequelle .....</b>	<b>44</b>



<b>6.4.3.2</b>	<b>Vakuurröhrenkollektor.....</b>	<b>46</b>
<b>6.4.3.3</b>	<b>Umweltabsorber.....</b>	<b>49</b>
<b>6.4.3.4</b>	<b>Eisspeicher.....</b>	<b>53</b>
<b>6.4.4</b>	<b>Stromerzeuger .....</b>	<b>54</b>
<b>6.5</b>	<b>Fazit Anlagenperformance.....</b>	<b>56</b>
<b>6.6</b>	<b>Umgesetzte Optimierungsmaßnahmen .....</b>	<b>57</b>
<b>7.</b>	<b>Kosten / Wirtschaftlichkeit.....</b>	<b>59</b>
<b>7.1</b>	<b>Baukosten und laufende Kosten .....</b>	<b>59</b>
<b>7.2</b>	<b>Kosten Geräte .....</b>	<b>60</b>
<b>8.</b>	<b>Bewertung .....</b>	<b>61</b>
<b>8.1</b>	<b>Nachweis Plus-Energie-Haus Standard .....</b>	<b>61</b>
<b>8.1.1</b>	<b>Kumulierte Endenergiebilanz .....</b>	<b>61</b>
<b>8.1.2</b>	<b>Kumulierte Primärenergiebilanz.....</b>	<b>63</b>
<b>9.</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>65</b>



## ANLAGENVERZEICHNIS

Gebäudeansicht und Standort .....	Anlage	1
Grundrisse .....	Anlage	2
Bauteile und Energiekonzept .....	Anlage	3
Energiebedarfsberechnung .....	Anlage	4
Globalstrahlung Deutschland 2013 .....	Anlage	5
Globalstrahlung Deutschland - Abweichung 2013 zum langjährigen Mittel	Anlage	6
Globalstrahlung Deutschland 2014 .....	Anlage	7
Globalstrahlung Deutschland - Abweichung 2014 zum langjährigen Mittel	Anlage	8
Globalstrahlung Deutschland 1981 - 2010 .....	Anlage	9
Messstellenplan .....	Anlage	10
Messstellen Monitoring - Fotodokumentation .....	Anlagen	11- 20
Anlagenschemata Stände12/ 2012 und 11/ 2013.....	Anlage	21
Messstellen Monitoring - Messstellenliste .....	Anlagen	22- 25
Messdatenqualität 2013 .....	Anlagen	26- 30
Messdatenqualität 2014 .....	Anlagen	31- 36
Ertragsprognose der PV-Anlage.....	Anlagen	37- 38
Stromverbrauch und Strombezug 2013 .....	Anlage	39
Stromverbrauch und Strombezug 2014 .....	Anlage	40



## L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

1. Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007 einschließlich Verordnung zur Änderung vom 29. April 2009
2. DIN V 4108 Teil 6: 2003-06 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, einschließlich Änderung A1 und Berichtigung 1
3. DIN V 4701 Teil 10: 2003-08 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, einschließlich Änderung A1
4. DIN V 18599: 2011-12 Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Normenreihe
5. KI Kälte - Luft - Klimatechnik, Heft Mai 2014: „Effizienz unter realen Bedingungen“
6. Förderrichtlinie des BMVBS über die Vergabe von Zuwendungen für Forschungsvorhaben im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau im Jahre 2012 vom 21. Februar 2012



## **1. Kurzfassung**

Als Beitrag zum Klimaschutz und angesichts der zunehmenden Ressourcenverknappung bei fossilen Energieträgern werden in Deutschland neue Modelle für eine zukunftsfähige Energieversorgung unter verstärkter Einbeziehung erneuerbarer Energiequellen erprobt.

Der Gebäudesektor nimmt mit etwa 40 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs dabei eine entscheidende Rolle

ein. Das Bundesbauministerium unterstützt deswegen die Innovationsfähigkeit der Baubranche mit der Forschungsinitiative "Zukunft Bau". Mit der Initiative sollen neue Impulse für Innovationen gegeben werden und die Kompetenz, die Leistungs- und die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Bauwirtschaft nachhaltig gestärkt werden.

Das Projekt zum Nachweis des „Plus-Energie-Haus-Standards“ wird im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung mit Zuwendungsbescheid ER/KM/PEH-A3-121001 gefördert.

Im Rahmen der „Bekanntmachung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte Plus-Energie-Haus-Standard“ erfolgte im Projekt die Planung, Umsetzung und Auswertung eines Anlagenmonitorings zur Nachweisführung der Erlangung des Energiestandards. Weiterhin wurden die in der Monitoringphase abgelesenen Zähler- und Anlagenwerte zur Optimierung des Betriebsverhaltens und der Anlageneffizienz herangezogen.

Im Rahmen des Projektes konnte nachgewiesen werden, dass das Gebäude den Plus-Energiestandard erfüllt.

Mittels Monitoring und Datenauswertung wurden eine Vielzahl an Anlagenmängeln festgestellt, die im Zuge von Optimierungsmaßnahmen größtenteils behoben werden konnten. Die angestrebte Leistungszahl der Wärmepumpe im Jahresmittel konnte allerdings nicht erreicht werden.



## **2. Kontext und Zielsetzung**

Eine junge Landwirtschaftsfamilie errichtet ein neues Wohnhaus, welches im KfW-40-Standard bzw. nahe dem Passivhausstandard geplant ist.

Durch den Einsatz innovativster Anlagentechnik (Wärmepumpe in Kombination mit Solarabsorber, Kurzzeit-Kombisspeicher für Heizung und Warmwasserbereitung im Frischwasserprinzip, Latentspeicher (Eisspeicher), Photovoltaik und Solarthermie) soll darüber hinaus mehr Energie CO<sub>2</sub>-neutral erzeugt werden, als verbraucht wird. Die Wärmepumpe wird überwiegend mit eigenproduziertem PV-Strom, der aus einer dachintegrierten Anlage stammt, tagsüber betrieben. Damit kann die Wärmepumpe im Tagbetrieb mit höherer Effizienz betrieben und die Belastung des öffentlichen Stromnetzes reduziert werden.

Anstelle einer Speicherung in Elektroenergiespeicher erfolgt die Wärmespeicherung in einem Kurzzeit-Wasserspeicher und einem saisonalen Latent-Eisspeicher. Wegen des erhöhten Energiebedarfs aufgrund der Gebäudenutzung (gewerbliche „Backwerkstatt“ der Bauherrin) kommt dem Zusammenspiel der einzelnen Anlagenkomponenten eine ganz besondere Bedeutung zu. Durch das Energiemanagement soll eine hocheffiziente und wirtschaftliche Lösung gefunden werden, die den Kriterien der Nachhaltigkeit im Umgang mit den Energie-Ressourcen und der damit verbundenen Dauerhaftigkeit entspricht.

Der Nachweis des „Plus-Energie-Haus-Standards“ soll durch ein Anlagenmonitoring im Zuge dieses Projektes erfolgen. Neben der Planung des Monitorings für den Nachweis „Plus-Energie-Haus-Standard“ gilt das Hauptaugenmerk vor allem der Analyse und der Verbesserung des Anlagenbetriebs. Die Interaktion von Absorber, Eisspeicher und Wärmepumpe (Nutzung der Umweltwärme für den direkten Antrieb der Wärmepumpe oder zur Regeneration des Eisspeichers) gilt es hier im Besonderen zu untersuchen und zu optimieren.

Im Einzelnen wurden hierzu folgende Maßnahmen im Rahmen der **Planungsphase** durchgeführt:

- Sichtung der Planungsunterlagen
- Vor-Ort Termin zur Abstimmung des Messablaufs mit den Projektbeteiligten. Folgende Firmen waren bei der Umsetzung des Energiekonzeptes und des Monitorings zum Nachweis des „Plus-Energie-Haus-Standard“ beteiligt:





Fachbereich	Firma
Architektur	Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt
Energiekonzept	Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt
TGA Planung	Günther Ingenieure, Dresden
Monitoring	Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH & Co. KG, Nürnberg
Heizung und Regelung	Ratiotherm, Dollnstein
Heizungsbauer	Sebastian Reuter, Eußenheim
Elektroinstallateur	Elektrotechnik Völker, Eußenheim

- Festlegung der benötigten Messstellen zur Datenerfassung des Energieverbrauchs, der Klimadaten und des Nutzerverhaltens entsprechend den Anforderungen durch das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
- Festlegung weiterer Messstellen, welche zusätzlich zur detaillierten Optimierung des Anlagenbetriebs benötigt werden
- Planung der Hardware für die Erfassung der Klimadaten, des Nutzerverhaltens und des Messequipments der technischen Gebäudeausrüstung und der Elektrotechnik in Abstimmung mit dem Regelungstechniker, Heizungsbauer und dem Elektroplaner
- Abstimmung mit den Projektbeteiligten bezüglich der Anforderungen an die Messzähler für die Aufschaltung auf die Ferndatenauslesung

Die **Monitoringphase** erfolgte über einen Zeitraum von zwei Jahren. Während der Monitoringphase wurden monatsweise die Zählwerte erfasst und ausgewertet. Zu diesem Zweck werden zusätzlich sämtliche Temperaturen, Massenströme und Schaltzustände von Pumpen / Ventilen aufgezeichnet. Durch die Bildung geeigneter Kennzahlen oder Grafiken kann hiermit frühzeitig Optimierungspotenzial aufgezeigt werden. Daraufhin angeregte Änderungen zur Optimierung der Anlagenkonfiguration oder dem Betrieb werden so in den darauffolgenden Monaten überprüfbar.

Im Einzelnen wurden hierzu folgende Maßnahmen im Rahmen der **Monitoringphase** durchgeführt:

- Probeinstallation des Messequipments in den Laborräumen der Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH & Co. KG (nachfolgend bezeichnet:



IFB), Probemessungen, Kalibrierung und Optimierung der durch IFB zu liefernden Messkette sowie Programmierung der einzelnen Komponenten in Abstimmung mit dem Auftragnehmer

- Installation der Hardware für die Erfassung der Klimadaten (Außenlufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und optional Globalstrahlung horizontal und Süd) sowie der Fernauslesung vor Ort in Abstimmung mit dem Auftragnehmer
- Funktionsprüfung der Messwerterfassung und Fernübertragung vor Ort
- Ortstermine zur Wartung und Pflege des Messequipments
- Erstellung der Auswertemasken für die Energiebilanz
- Monatliche Durchführung folgender Teilleistungen:
  - Auswertung der Messdaten
  - Witterungsbereinigung der Energieverbräuche
  - Analyse der Ergebnisse und Ausarbeitung von geeigneten regelungstechnischen Optimierungen der Anlagentechnik einschl. deren Bewertung in Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten
  - Abstimmung der Optimierungsvorschläge mit dem Betreiber und dem Architekten
  - Übermittlung der Daten in aufbereiteter Form an das Fraunhofer-Institut

Nach Abschluss der Monitoringphase werden die Ergebnisse entsprechend der Anforderung durch das Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung dokumentiert mit dem Ziel, den Nachweis zur Erfüllung des „Plus-Energie-Haus-Standards“ führen zu können.



### **3. Gebäudesteckbrief**

#### **3.1 Allgemeine Daten**

<b>Allgemeine Daten</b>	
Standort:	97776 Eußenheim
Baujahr:	2012
Bruttogrundfläche:	464 m <sup>2</sup>
Beheizte Nettogrundfläche:	288,2 m <sup>2</sup>
Beheiztes Gebäudevolumen:	1276 m <sup>3</sup>
Hüllflächenfaktor A/V:	0,59 m <sup>-1</sup>
Breitengrad:	
Längengrad:	
Höhenlage:	194 m über NN
Mittlere Jahrestemperatur:	9,1 °C
Mittlere Wintertemperatur (Oktober – April):	4,0 °C
Gradtagzahl am Standort (Gt20/12) 2013:	3.379
TRY - Klimazone / Referenzstation:	TRY 13, Passau

Quelle: Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt

#### **3.2 Architektur**

Architektur und Energiekonzept stammen vom Architekturbüro Werner Haase aus Karlstadt. Die folgenden Erläuterungen wurden bereits auf der Homepage des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung durch das Architekturbüro Haase veröffentlicht.

Das Haus entsteht im Altort des Dorfes Eußenheim mit ca. 1.250 Einwohnern in Unterfranken, einem Regierungsbezirk von Bayern. Es steht auf dem Grundstück eines ehemaligen, landwirtschaftlich genutzten Anwesens. Das alte Wohnhaus und die Scheune wurden abgebrochen und das neue Haus wurde anstelle der Scheune und die Nebengebäude (Garage, Carport) anstelle des alten Wohnhauses errichtet.



Das großzügig bemessene Haus für 5 Personen ist nicht unterkellert, da es an den Hochwasserschutzbereich angrenzt. Das Wohnhaus ist mit seinen Wohnräumen genau nach Süden ausgerichtet, ebenso die Satteldachfläche mit einer Dachneigung von 35°. Die PV-Anlage ist dachintegriert und ersetzt die übliche Dachdeckung.

Im Erdgeschoss sind die landwirtschaftliche Schmutzschleuse, das Büro für den Landwirtschaftsbetrieb des Ehemannes, die „Backwerkstatt“ der Bauherrin sowie Küche, Wohnzimmer und Technikraum untergebracht. Im 1. Obergeschoss befinden sich die drei Kinderzimmer, das Elternzimmer, ein Gästezimmer und das Bad. Das Dachgeschoss ist ein Satteldach, entsprechend der ortsüblichen Bebauung, welches nicht ausgebaut ist.

Die Absorberflächen sowie Solarthermie-Kollektoren werden auf dem Nebengebäude platziert. Der Technikraum befindet sich im Erdgeschoss und wird mit Umweltenergie aus der Dachfläche des Nebengebäudes sowie aus der Verbindungsleitung zum Wasser/Eisspeicher mit 12 m<sup>3</sup> Inhalt versorgt.

Die Bauweise des Hauses ist „konservativ“ massiv, die Haustechnik jedoch komplett regenerativ ohne Einsatz von Verbrennungstechnik. Gebäudeansicht und Standort des Gebäudes sind in der Anlage 1, die Grundrisse für EG und 1.OG werden in Anlage 2 dargestellt.

### **3.3 Wärmeschutz**

Die Transmissionswärmeverluste des Gebäudes sind durch geringe U-Werte sowie einer wärmebrückenreduzierten Konstruktion minimiert.

Da das Gebäude in Massivbauweise errichtet ist, werden die Baumassen als puffernder Speicher für Temperatur- und Luftfeuchte eingebunden. Die Bauteilaufbauten sind in Anlage 3 aufgelistet.

Die tragenden Außenwände bestehen aus Hochlochziegeln, außen mit 26 cm dicken mineralischen Dämmplatten gedämmt, mineralisch verputzt und gestrichen. Durch diese Konstruktionsart entstehen keine Schichtbaustoffe, fungizide Anstriche werden nicht benötigt und die Konstruktion könnte im gesamten Wandaufbau ohne Materialtrennung der unbedenklichen Baustoffe als Bauschutt entsorgt werden.



Das Dach ist als thermisch getrennte Holzkonstruktion im System Haller-Dach konstruiert und erreicht einen U-Wert von  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Die meisten Fenster auf der Nordseite sind 3-fach verglast mit einem  $U_W$ -Wert von  $0,69 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Auf den sonnenbeschienenen Flächen sind Fenster mit einer 3+1 Verglasung mit innenliegender Jalousie mit Lichtlenkung eingebaut. Diese haben einen  $U_W$ -Wert von  $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Unter der Bodenplatte wurde eine PU-Dämmung mit einer Stärke von 200 mm eingebaut. Der bauliche Vorsprung im Erdgeschoss ist mit einem begehbaren Flachdach, U-Wert  $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ , ausgestattet.

In den Wohnräumen sind weitgehend Holzböden eingebaut; in Feuchträumen und Teilen des Erdgeschosses Fliesenbelag auf Asphaltestrich. Die Wände sind mit Rotkalk verputzt und mineralisch gestrichen. Die Betondecken sind gespachtelt und gestrichen.

### **3.4 Anlagentechnik**

Im Technikraum befinden sich ein 3.000 l großer Schichtspeicher sowie die Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 7,5 - 9,1 kW. Für die Wärmepumpe wird ein COP von ca. 5,5 im Jahresmittel angestrebt.

Die Wärmepumpe bedient durch Heißgasauskopplung die Warmwasserversorgung des Schichtspeichers und mit der niedrigeren Kondensationswärme die Heizebene. Die Wärmepumpe wird tagsüber mit eigenem PV-Strom betrieben und kann so meistens aus dem Dachabsorber auf dem Nebengebäude als Wärmequelle die Energie gewinnen. Wenn diese Wärmequelle nicht ausreicht, wird der Eisspeicher als Quelle genutzt. Nur in Ausnahmefällen soll die Wärmepumpe mit Netzstrom betrieben werden. Aus diesem Grund wurde der Schichtspeicher eingebunden, der ebenso durch Röhrenkollektoren direkt erwärmt werden kann. Das Gesamtsystem ist so angelegt, dass die Wärmepumpe nur dann läuft, wenn die Kollektorflächen nicht genügend Wärme produzieren. Der Wasser/Eisspeicher dient nur dann als Wärmequelle, wenn die Absorber nicht ausreichend Energie für die Wärmepumpe bereitstellen. Auch mit niedrigen Absorberrtemperaturen kann der Eisspeicher regeneriert werden.



Das Haus wird über eine Wandflächenheizung beheizt, da auf Grund des niedrigen Heizbedarfes eine Fußbodenheizung zu aufwendig und zu träge wäre. Die Vorlauftemperatur kann durch das Wandheizungssystem noch niedriger als bei einer Fußbodenheizung gewählt werden.

Das Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung ist im Dachgeschoss installiert und versorgt alle Räume durch in der Betondecke geführte Lüftungsleitungen mit Frischluft bzw. saugt die verbrauchte Luft in den Feuchträumen ab.

Die PV-Anlage als Indach-Lösung hat eine Leistungsgröße von etwa 13 kWp und deckt weitgehend den Tagesbedarf ab.

Durch stromsparende Haushaltsgeräte und stromsparende Beleuchtung soll unter Berücksichtigung des WP-Stromes ein Stromüberschuss von ca. 7.220 kWh/a (bezogen auf den Projektantrag gem. Daten der Vorplanung) entstehen.

Das vereinfachte Energiekonzept mit den relevanten Komponenten ist in Anlage 3 dargestellt. Ein detaillierteres Anlagenschema findet sich in Anlage 21.

Systemkomponente	Fabrikat mit Leistungsangaben	Hersteller/ Lieferant
Wärmeerzeuger	WP-Max Sole/Wasser ZH26 mit Heißgasauskopplung (Kundenspezifische Fertigung) Heizleistung 7,5 - 9,1 kW Angestrebter COP im Jahresmittel: 5,5	Ratiotherm
Thermischer Speicher 1	Oskar® 10/1,5/3000l Druckbehälter-Schichtspeicher aus Stahl mit thermohydraulischem Schichteinsatz. Volumen: 3.000 l	Ratiotherm
Thermischer Speicher 1	Solar-Eis-Speicher Typ Isocal SE 12 Volumen: 12 m <sup>3</sup>	Isocal
Solarthermische Anlage 1	4 Stück CPC-Vakuum-Röhrenkollektoren mit je 2,8 m <sup>2</sup> Brutto-Kollektorfläche - Typ CPC 14 Absorberfläche je Kollektor: 2,2 m <sup>2</sup> Gesamtabsorptionsfläche: 8,8 m <sup>2</sup>	
Solarthermische Anlage 2	4 Stück Solar-Luft-Kollektoren Typ SLK S (PE-Flachdachabsorber) Absorberfläche je Modul: 2,34 m <sup>2</sup> Gesamtabsorptionsfläche: 9,36 m <sup>2</sup>	Isocal
PV-Anlage	PV-Anlage mit, 4 Reihen à 21 Module - Sunmodule plus 155 Compact mono black Laminat Maximalleistung / Modul (STC) P <sub>max</sub> = 155 Wp	Solar World



	Leistung: 13,02 kWp Bruttofläche: ca. 96 m <sup>2</sup>	
Lüftungsanlage	1 Stück ComfoAir 350 R Luxe rechts Wärmerückgewinnungsgrad >95%	Zehnder

### 3.5 Energiebedarf und Energiedeckung

#### Energiebedarf nach Energieeinsparungsverordnung

Die Energiebedarfsberechnung des Architekturbüro Werner Haase - nach EnEV 2007 mit Verordnung zur Änderung vom 20. April 2009 für Wohngebäude - ergibt folgenden spezifischen Transmissionswärmeverlust und Jahresprimärenergiebedarf:

EnEV-Nachweis	Anforderung	Planung
Transmissionswärmeverlust $H_T$	0,500 W/(m <sup>2</sup> K)	0,18 W/(m <sup>2</sup> K)
Jahresprimärenergiebedarf $Q_{p^{en}}$	64,6 kWh/(m <sup>2</sup> a)	21,2 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Quelle: Architekturbüro Haase

Die detaillierten Berechnungsergebnisse des Architekturbüro Werner Haase befinden sich in Anlage 4.

Für die Gegenüberstellung mit den Verbrauchsergebnissen aus dem Monitoring gelten folgende Strombedarfskenngrößen für Heizung, Warmwasser, Lüftung, Beleuchtung und elektrische Geräte bzw. Stromerträge durch die 96 m<sup>2</sup> PV-Anlage:



Name	Heizung	Warmwasser	Lüftung	Kühlung	Licht	Haushalt + Kochen + Beleuchtung	Sonstiges
Nutzenergie $Q_{x,b}$ [kWh/a]	6.048	2.828	0	0	*	3.500	2.000
Wärme-/Kälteabgabe d. Erzeugung $Q_{x,outg}$ [kWh/a]	7.741	5.183	0	0			
Strombedarf [kWh/a]	2.336	1.398	546	0		3.500	2.000
	<b>Gesamt 9.780 kWh/a</b>						

Quelle: Architekturbüro Haase (gemäß Projektantrag. Berechnungen erfolgten im BKI-Planer)

\* Keine Ausgabe für Wohngebäude bei BKI Energieplaner möglich

<b>Deckung (geplant)</b>	
Komponente	[kWh/a]
PV-Dach	17.000
PV-Wand	0
PV-weitere	0
<b>Gesamt</b>	<b>17.000 kWh/a</b>

Quelle: Architekturbüro Haase (gem. Projektantrag auf Basis von Vorplanungen)

Hieraus ergibt sich ein jährlicher Stromüberschuss von ~ 7.220 kWh/a, welcher für eine jährliche Fahrleistung eines mittleren Elektrofahrzeugs (17 kWh/100 km) von ca. 42.500 km ausreicht.





### 3.6 Bewertung der Effizienz aus Berechnung nach DIN V 18599

Teilabschnitt	Erläuterung	Energie [kWh/a]	Spez. Energie [kWh/m²a]
Nutzenergie	Nutzenergiebedarf der Räume für Heizung, Trinkwarmwasser und Kühlung	8.876	21,97
Erzeugerabgabe	Wärme- und Kälteabgabe der Erzeuger an das Verteilnetz oder die Speicher für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	11.355	28,11
Endenergie Erzeuger	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung	2.462	6,09
Endenergie Haustechnik	Strombedarf für die Erzeugung von Wärme und Kälte für Heizung, Trinkwarmwassererwärmung und Kühlung sowie Hilfsenergie für die Anlagentechnik wie Pumpen, Ventilatoren und Regelungen	4.055	10,04
Primärenergie Haustechnik	Nicht erneuerbarer Anteil des Primärenergieinhalts der gesamten Endenergie für die Haustechnik	9.732	24,09

Quelle: Architekturbüro Haase

Bewertete Teilabschnitte	Aufwandszahlen / Arbeitszahlen [kWh/kWh]
Effizienz der Verteilung (Erzeugerabgabe / Nutzenergie)	1,28
Effizienz der Wärme- / Kälteerzeuger (Endenergie Erzeuger / Erzeugerabgabe)	0,22
Endenergetische Effizienz der Haustechnik (Endenergie Haustechnik / Nutzenergie)	0,46
Effektive Arbeitszahl der gesamten Haustechnik (Nutzenergie / Endenergie Haustechnik)	2,19
Arbeitszahl des Energieerzeugers (Erzeugerabgabe / Endenergie Erzeuger)	4,61
Primärenergetische Effizienz der Haustechnik (Primärenergie Haustechnik/ Nutzenergie)	1,10

Quelle: Architekturbüro Haase



## **4. Monitoring**

### **4.1 Messkonzept**

Hauptziel des Monitorings ist der Nachweis des „Plus-Energie-Haus-Standards“. Dazu werden alle für die energetische Bewertung relevanten Energieströme erfasst und ausgewertet.

Der Stromverbrauch wird in die Sektoren Beleuchtung, Haushalt, Waschmaschine, Elektroherd, Gewerbe, Technische Gebäudeausrüstung und MSR-Technik aufgeteilt, um die Anteile der unterschiedlichen Bereiche näher untersuchen zu können. Zudem werden Photovoltaikertrag, Netzeinspeisung und Netzbezug erfasst und bewertet. Der Wärmeverbrauch wird in die Bereiche Brauchwarmwasser und Gebäudeheizung unterteilt, die Wärmebereitstellung wird detailliert für die Quelle und Senke der Wärmepumpe bzw. den Vakuumröhrenkollektor erfasst. Die Wärmemengenzähler und Stromzähler liefern dabei die Momentanleistung und die kumulierte Energie in fortschreibenden kWh und MWh.

Für die Standortbewertung werden die lokalen Klimadaten erfasst und für die Bewertung des Nutzerverhaltens die relevanten Raumlufttemperaturen.

#### **4.1.1 Datenerfassung**

Für die Heizungsregelung und das Monitoring werden zwei Regler vom Typ UVR1611 des Herstellers Technische Alternative eingesetzt. Die Regler werden mit Konto 1 und Konto 2 bezeichnet.

Der Regler UVR1611 kann durch Funktionsmodule praktisch frei programmierbar auf jede Anlagenkonfiguration für das Heizraummanagement abgestimmt werden. Da jedes Funktionsmodul mehrfach aufrufbar ist, können auch komplexe Regelsysteme wie z. B. Solaranlagen mit mehreren Kollektorfeldern und Speichern oder mehrere witterungsgeführte Heizkreise realisiert werden. Sämtliche auf die Regler aufgeschalteten Messgrößen werden neben der Nutzung für die Regelung auch für das Monitoring in einem Zeitintervall von 5 Minuten geloggt. Des Weiteren ist eine programmtechnische Verarbeitung der Daten möglich, z. B. die Berechnung von Wärmemengen.



Zur Erweiterung der Anzahl an Ein- und Ausgängen für die frei programmierbare Universalregelung UVR1611 wurde zusätzlich ein CAN-I/O Modul des Herstellers Technische Alternative eingesetzt. Zur Kommunikation wird CAN-Bus verwendet. Die Strommesswerte der Energiezähler (Knoten 41, 51,52, und 53) werden via CAN-BUS Leitung auf den Regler zugeführt.

Alle über den UVR erfassten Daten werden über einen im CAN-BUS Netzwerk integrierten Datenlogger (Bootloader BL-NET Version 2.16 mit Software Winsol 2.01) geloggt, der sie regelmäßig an ein angeschlossenen Netbook überträgt. Der Bootloader übernimmt neben dem Datenlogging weiterhin die Datensicherung der Funktionsdaten des UVR1611- Reglers am Netbook sowie die Durchführung von Betriebssystemupdates des Reglers.

#### 4.1.2 Datenübernahme

Der Lieferant der Heizungs- und Regelungstechnik setzt für die Datenübernahme und Datenauswertung normalerweise das Programm Winsol ein. Das Programm Winsol ermöglicht dabei das Erfassen und Auswerten der vom Datenlogger (Bootloader) aufgezeichneten Messwerte. Zur Analyse der aufgezeichneten Daten bietet Winsol unter anderem eine grafische Darstellung der Messwerte im Tagesverlauf.

Ebenso können die erfassten Werte in das \*.csv-Dateiformat exportiert werden, um diese mit einem beliebigen Tabellenkalkulationsprogramm verarbeiten und eigene Statistiken erstellen zu können. Da die Möglichkeit zur Datenauswertung im Programm Winsol sehr begrenzt ist und der Vorgang der Datenspeicherung nur manuell erfolgen kann, wurde von dieser Möglichkeit zur Datenübernahme und Auswertung abgesehen.

Die Daten der Log-Datei aus dem Bootloader werden daher jeden Tag um 06:00 automatisiert in eine MySQL-Datenbank am PC vor Ort geschrieben und um 07:00 an den zentralen Server bei der Wolfgang Sorge Ingenieurbüro für Bauphysik GmbH & Co. KG übermittelt, wo die Daten direkt in die Auswertesoftware eingespielt werden.



### 4.1.3 Datenauswertung und Analyse

Die Auswertung der in einem Zeitintervall von 5 Minuten erfassten Messwerte erfolgt mit der Software Monisoft des Karlsruher Instituts für Technologie. Die Detailanalyse der Anlagentechnik wird hierbei durch die Erstellung von Zeitbasisdiagrammen, Scatterplots, Carpetplots und Dauerliniendiagramme unterstützt. Für die Verbrauchsanalyse stehen neben Monats- und Jahresgrafiken auch Vergleichstabellen zur Verfügung, welche witterungsbereinigt die Abweichungen des Verbrauchs für klar definierte Zeiträume zulassen.

Neben der Auswertung mittels MoniSoft steht zudem ein Online-Schema der Anlage mit den aktuellen Messgrößen - welche für den Betrieb der Anlage relevant sind (Temperaturen, Massenströme, Klimadaten) - für eine schnelle Analyse des aktuellen Betriebszustandes zur Verfügung.

## 4.2 Verwendete Messtechnik

### 4.2.1 Messtellen und Messgeräte

Als Standardsensoren zur Erfassung der Temperaturen werden Pt1000 Fühler genutzt.

Die Temperaturen in der Heizungsanlage werden mittels Pt-1000 Widerstandsthermometer erfasst. Durch den Einbau mittels Tauchhülsen in das Rohrnetz der Heizungsanlage werden die korrekten Temperaturwerte erfasst.

Signale wie Ventilstellungen oder Pumpenbetrieb, welche für die Regelung der Heizungsanlage sowieso benötigt werden, sind im Heizungsregler standardmäßig integriert und werden für die Detailanalyse des Anlagenbetriebs lediglich über den Bootloader ausgelesen.

Im untersuchten Gebäude wurden Wärmemengenzähler des Fabrikats HUBA (Technische Alternative) jeweils im Rücklauf eingebaut. Die Rücklauftemperatur wird dabei direkt über den Wärmemengenzähler erfasst. Für die Messung der Vorlauftemperatur wird ein zusätzlicher Temperatursensor in den Vorlauf eingebaut. Ein Mikroprozessor wandelt die analogen Messwerte in ein für den Datenleitungs-Bus geeignetes serielles Digitalsignal um.



Für die Erfassung des Stromverbrauchs wurden Energieverbrauchszähler des Fabrikats ABB installiert. Die Energieverbrauchszähler werden dabei direkt über den M-Bus Anschluss auf den Wärmepumpenregler aufgeschaltet.

Die Wetterdaten werden mittels kombiniertem Temperatur-/Feuchtefühler des Herstellers Theodor Friedrichs und SMP3 Pyranometer des Herstellers Kipp&Zonen am Dach des angrenzenden Carports erfasst.

Die Erfassung der Wärmemengen und Stromverbräuche erfolgte kumulierend. Das detaillierte Messstellenverzeichnis ist in den Anlagen 22 - 26 dargestellt.

Messgerät	Hersteller / Lieferant	Erläuterungen
Raumtemperatursensor RAS-PT	Technische Alternative	Pt1000-Charakteristik
Volumenstromgeber VSG 1,5/2,5	Technische Alternative	Mechanischer Flügelradzähler mit Impulsausgang Genauigkeitsklasse B Impulsgeber 1 Impuls/0,5 l Anlauf horizontal: 12 / 20 l/h Anlauf vertikal: 20 / 30 l/h
Elektronische Volumenstromsensoren FTS...DL (Hubasensor)	Technische Alternative	Elektronische Volumenstromsensoren zur Erfassung von Durchflussmengen von 2 - 150 l/min Genauigkeit bei < 50% vom Endwert: 1% Genauigkeit bei > 50% vom Endwert: 2% PT1000 Temperatursensor zur Erfassung der Medientemperatur Messgenauigkeit $\pm 0,3 \text{ K} \pm 0,005 \cdot \text{Temperatur}$
Temperatursensor KEPT1000 (Kesselbereich)	Technische Alternative	Pt1000-Charakteristik Genauigkeitsklasse B
Temperaturfühler Speicher MSP130	Technische Alternative	Ultraschneller Sensor mit Pt1000 - Charakteristik Genauigkeitsklasse B
Außenlufttemperaturfühler AUSPT (außenlufttemperaturgeführte Vorlauftemperaturregung des Heizungssystems)	Technische Alternative	Lufttemperatursensor mit integriertem Überspannungsschutz, verwendbar als Außensensor für Heizungsregler, Pt1000-Charakteristik, Genauigkeitsklasse B
Stromzähler	ABB	Messgenauigkeit $\pm 0,5 \%$
Globalstrahlungssensor SMP3	Kipp&Zonen	Pyranometer Analogausgangsbereich 0 - 1.600 W/m <sup>2</sup> Erwartete tägliche Ungenauigkeit < 10%



Temperatur-/Feuchtefühler für Außenluft	Theodor Friedrichs	Kapazitives Messelement für die relative Außenluftfeuchte (0 - 100% r.F.) Messgenauigkeit $\pm 0,25$ % Pt-1000 Temperaturfühler mit einem Messbereich - 40 - 60 °C, Messgenauigkeit $\pm 0,25$ %
-----------------------------------------	--------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Übersicht eingesetzter Messgeräte

#### 4.2.2 Erfahrungen bei der Umsetzung des Monitorings mit Standardkomponenten aus der Heizungsregelung

Da der Hersteller von Wärmepumpenheizung und Schichtspeicher (inkl. Regelung) bereits ein Monitoring für das Architekturbüro Werner Haase umgesetzt hat, wurde das Konzept – Einsatz von Standardkomponenten aus der Heizungsregelung für das Gebäude- und Anlagenmonitoring - auch bei diesem Projekt wieder verfolgt.

Der Einsatz der Standardkomponenten aus der Heizungsregelung gestaltete sich dabei jedoch als äußerst schwierig. Durch die Vielzahl an verfügbaren und nicht standardisierten Protokollen in der Gebäudetechnik (M-Bus, CAN-Bus, Modbus,...) und der Vielzahl an zu verarbeitenden analogen Signalen (0-20mA, 4-20mA, 0-10V, 0-1V,...) wird eine Signalverarbeitung erforderlich, welche sich an die unterschiedlichsten Signale sehr flexibel anpassen (bzw. erweitern) lässt. Der Standard-Heizungsregler kann dabei nur begrenzt flexibel reagieren.

Mögliche monetäre Einsparungen durch den Einsatz des Heizungsreglers für das Monitoring wurden durch die notwendige Signalverarbeitung vor der Aufschaltung auf den Regler (Messumformer, Trennverstärker, Bus-Wandler,...) wieder zunichte gemacht und erschwerten zusätzlich die Abstimmungen zwischen den Planungsbeteiligten.

Die Datenerfassung und Zwischenspeicherung über den eingesetzten Bootloader kann als sehr instabil bezeichnet werden. Die zeitlichen Ausfälle der Datenerfassung, welche überwiegend durch den Bootloader verursacht wurden, sind in den Anlagen 26 – 30 für das Jahr 2013 und den Anlagen 31 – 36 für 2014 dargestellt.



Die standardmäßig eingesetzte Auswertesoftware lässt zudem keine detaillierten Analysen zu und unterstützt auch nicht die Messdatenverwaltung und Messdatenaufbereitung.

Wegen der begrenzten Möglichkeit zur Signalverarbeitung und Messdatenauswertung mit den Standardkomponenten aus der Heizungsregelung, waren diverse Anpassungen für eine stabilere Messdatenerfassung und Auswertung nötig.

Das eingesetzte System eignet sich hervorragend für das Monitoring von Standard-Heizungsanlagen, wenn man eine geringe Anzahl an Messpunkten - welche für Regelzwecke sowieso auf den Heizungsregler aufgeschaltet werden - zur visuellen Kontrolle in einem Onlineschema für die Analyse des Anlagenbetriebs nutzen möchte. Die Aufschaltung weiterer Messfühler auf den Heizungsregler bzw. die weitere Messdatenverarbeitung gestaltet sich jedoch als schwierig und kostenintensiv.

Für künftige Monitoring-Projekte mit einer entsprechenden Anzahl an Messpunkten, sollte daher ein geeigneteres System zur aufeinander abgestimmten und stabilen Signalverarbeitung, Messdatenspeicherung, Messdatenübertragung und Messdatenauswertung eingesetzt werden. Regelung und Monitoring sollten für eine stabile Messdatenerfassung strikt voneinander getrennt werden.

#### **4.3 Dokumentation**

Ein Messstellenplan kann der Anlage 10 entnommen werden. Die physische Einbindung der Messelemente kann den Abbildungen in den Anlagen 11 bis 20 entnommen werden.

### **5. Meteorologische Randbedingungen**

#### **5.1 Solarstrahlung**

Das Gebäude liegt in der Klimazone 11 nach DIN V 4108 Teil 6 (2003) [2]. Demnach beträgt das jährliche Globalstrahlungsangebot auf die Horizontale 1.074 kWh/m<sup>2</sup>. Dieser Wert deckt sich mit dem Jahreswert der Globalstrahlung auf die Horizontale für die Klimaregion 13 nach DIN V 18599 – Teil 10.

Den Strahlungskarten des Deutschen Wetterdienstes ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)) kann man für den Standort des Gebäudes für das betrachtete Jahr 2013 als Jahressumme der Globalstrahlung etwa 1.061 - 1.080 kWh/m<sup>2</sup> entnehmen. Die mittlere Jahressum-



me für einen Zeitraum von 1981 - 2010 beträgt 1.081 bis 1.100 kWh/m<sup>2</sup>. Damit liegt das Jahr 2013 leicht unterhalb des statistischen Mittelwertes. Die Abweichungen des Jahres 2013 für den Anlagenstandort von langjährigen Mittelwert betragen laut Angaben des DWD ca. – 1 bis – 3%.

Die Angaben aus der DIN V 4108 Teil 6 (2003) bzw. DIN V 18599 Teil 10 decken sich näherungsweise mit den Strahlungsdaten des Deutschen Wetterdienstes für das Jahr 2013.

Für das Jahr 2014 beträgt die Jahressumme der Globalstrahlung etwa 1.081 – 1.100 kWh/m<sup>2</sup> für den Standort des Gebäudes. Damit entspricht die Jahressumme der Globalstrahlung der mittleren Jahressumme des Zeitraumes 1981 bis 2010. Die Abweichungen des Jahres 2014 für den Anlagenstandort von langjährigen Mittelwert betragen laut Angaben des Deutschen Wetterdienstes ca. ±1% (vergleiche Anlage 6).

Damit ist ein leicht höherer solarer Ertrag der Solaranlagen für das Jahr 2014 zu erwarten.

Die Globalstrahlungskarten sind den Anlagen 5, 6, 7, 8 und 9 zu finden.

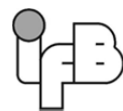
## **5.2 Außenlufttemperaturen**

Die mittlere Außenlufttemperatur an den Heiztagen im Jahr 2013 betrug für die Messstelle (Wetterstation Würzburg) 4,1 °C. Sie lag damit leicht unterhalb des langjährigen Mittels der Außenlufttemperatur an den Heiztagen des Zeitraumes 1970 bis 2003 von 4,3° C. Insbesondere der Monat März 2013 war kälter als der langjährige Mittelwert dieses Monats.

Für das Jahr 2014 betrug die mittlere Außenlufttemperatur an den Heiztagen 5,9 °C und lag damit über dem langjährigen Mittel. Alle Monate mit Ausnahme des Mais waren deutlich wärmer als die Vergleichsmonate. Im Monat April betrug die Gradtagszahlen sogar weniger als die Hälfte des langjährigen Mittelwertes.

Die DIN V 4108 Teil 6 (2003) gibt für den Standort Würzburg eine mittlere jährliche Außenlufttemperatur von 9,1 °C an und die DIN V 18599 Teil 10 für die zugehörigen Referenzort der Region 13 8,6 °C. Als jährliches Mittel der Außenlufttemperatur herrschten real im Jahr 2013 9,7 °C und im Jahr 2014 11,2 °C.



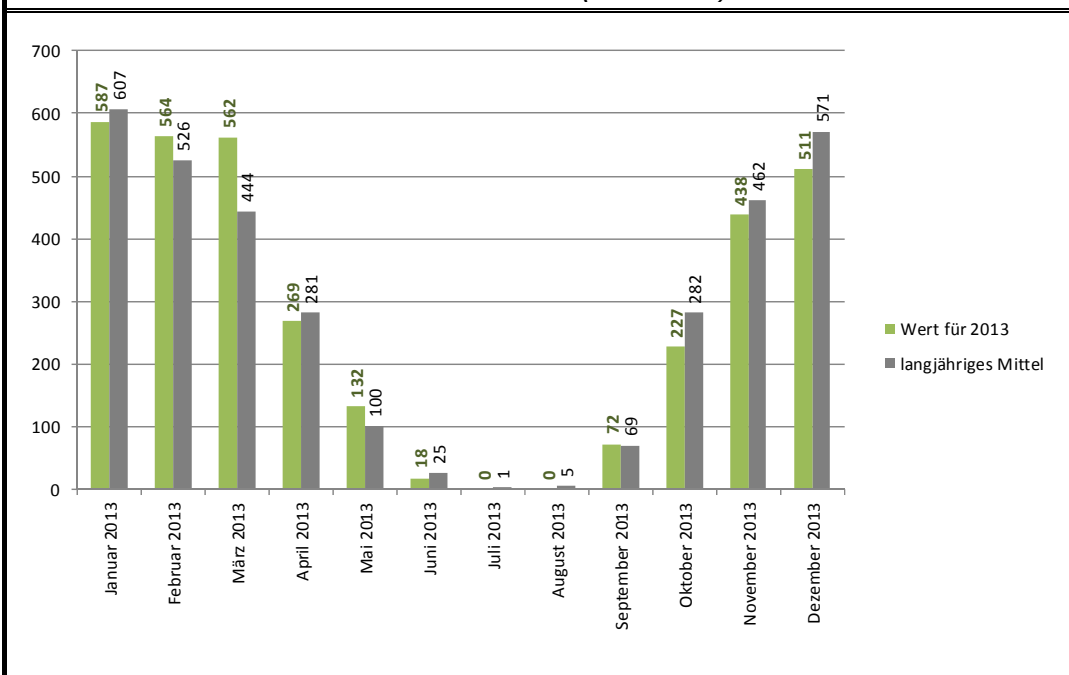


**Abbildung 1 – Klimadaten für PLZ 97776 (Eußenheim) / 2013**

Monat	2013				langjähriges Mittel *			
	Gradtagzahl		Außen- temperatur	Außen-temp. an Heiztagen	Gradtagzahl		Außen- temperatur	Außen-temp. an Heiztagen
	G20/12	Heiztage			G20/12	Heiztage		
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Januar 2013	587	31	1,1	1,1	607	31	0,4	0,4
Februar 2013	564	28	-0,1	-0,1	526	28	1,4	1,4
März 2013	562	31	1,9	1,9	444	30	5,4	5,0
April 2013	269	20	9,6	6,6	281	22	9,2	7,4
Mai 2013	132	13	12,3	9,8	100	10	14,0	9,6
Juni 2013	18	2	17,1	11,2	25	3	17,0	10,8
Juli 2013	0	0	21,3		1	0	18,9	11,5
August 2013	0	0	18,8		5	1	18,6	11,2
September 2013	72	8	14,3	11,1	69	7	14,4	10,3
Oktober 2013	227	21	10,8	9,2	282	23	9,4	7,8
November 2013	438	28	4,9	4,4	462	30	4,5	4,4
Dezember 2013	511	31	3,5	3,5	571	31	1,6	1,5
Jahr	3379	213	9,7	4,1	3373	215	9,6	4,3

\* von 1970 - 2014

**Abbildung 2 – Vergleich der Gradtagszahlen des Jahres 2013 mit dem langjährigen Mittelwert für PLZ 97776 (Eußenheim)**



Klimadaten deutscher Stationen für das Jahr 2013: Der Postleitzahl 97776 (Eußenheim) wird die Wetterstation Würzburg zugeordnet (Quelle: Institut Wohnen und Umwelt (www.iwu.de): Berechnungsblatt zur Bestimmung der tatsächlichen Heizgradtage bzw. der Gradtagzahl für 42 deutsche Wetterstationen von 2000 bis Dezember 2014, Stand 05.01.2015, basierend auf den Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach - www.dwd.de)

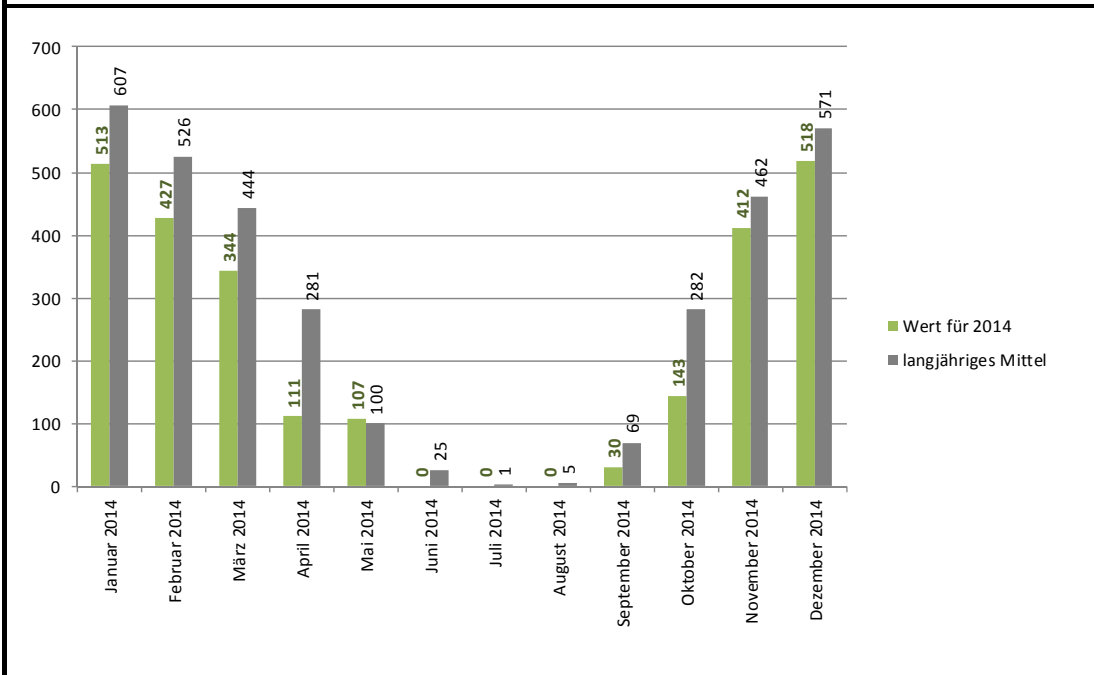


**Abbildung 3 – Klimadaten für PLZ 97776 (Eußenheim) / 2014**

Monat	2014				langjähriges Mittel *			
	Gradtagzahl		Außen-temperatur	Außentemp. an Heiztagen	Gradtagzahl		Außen-temperatur	Außentemp. an Heiztagen
	G20/12	Heiztage			G20/12	Heiztage		
[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	[Kd]	[d]	[°C]	[°C]	
Januar 2014	513	31	3,4	3,4	607	31	0,4	0,4
Februar 2014	427	28	4,8	4,8	526	28	1,4	1,4
März 2014	344	28	8,2	7,7	444	30	5,4	5,0
April 2014	111	10	12,4	8,9	281	22	9,2	7,4
Mai 2014	107	11	13,4	10,3	100	10	14,0	9,6
Juni 2014	0	0	17,9		25	3	17,0	10,8
Juli 2014	0	0	20,3		1	0	18,9	11,5
August 2014	0	0	16,9		5	1	18,6	11,2
September 2014	30	3	15,5	10,1	69	7	14,4	10,3
Oktober 2014	143	13	12,2	9,0	282	23	9,4	7,8
November 2014	412	30	6,3	6,3	462	30	4,5	4,4
Dezember 2014	518	31	3,3	3,3	571	31	1,6	1,5
Jahr	2605	185	11,2	5,9	3373	215	9,6	4,3

\* von 1970 - 2014

**Abbildung 4 – Vergleich der Gradtagszahlen des Jahres 2014 mit dem langjährigen Mittelwert für PLZ 97776 (Eußenheim)**



Klimadaten deutscher Stationen für das Jahr 2014: Der Postleitzahl 97776 (Eußenheim) wird die Wetterstation Würzburg zugeordnet (Quelle: Institut Wohnen und Umwelt ([www.iwu.de](http://www.iwu.de)): Berechnungsblatt zur Bestimmung der tatsächlichen Heizgradtage bzw. der Gradtagzahl für 42 deutsche Wetterstationen von 2000 bis Dezember 2014, Stand 05.01.2015, basierend auf den Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach - [www.dwd.de](http://www.dwd.de))



### 5.3 Klimabereinigung

#### Jahr 2013

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Eußenheim (Wetterstation Würzburg) in der Messperiode 2013 (G20/12)	3.379
Gradtagzahl am Standort Eußenheim (Wetterstation Würzburg) für das langjährige Mittel (1970 bis 2014) (G20/12)	3.373
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland nach EnEV	3.601

- Klimafaktor bezogen auf den Standort:  $KF = K_d / K_d = 1,00$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:  $KF = 3.601 K_d / K_d = 1,06$

#### Jahr 2014

Standort und Betrachtungsperiode	Gradtagzahl G20/12 [Kd]
Gradtagzahl am Standort Eußenheim (Wetterstation Würzburg) in der Messperiode 2014 (G20/12)	2.605
Gradtagzahl am Standort Eußenheim (Wetterstation Würzburg) für das langjährige Mittel (1970 bis 2014) (G20/12)	3.373
Gradtagzahl für das Referenzklima Deutschland nach EnEV	3.601

- Klimafaktor bezogen auf den Standort:  $KF = K_d / K_d = 0,77$
- Klimafaktor bezogen auf deutsches Normklima:  $KF = 3.601 K_d / K_d = 1,28$

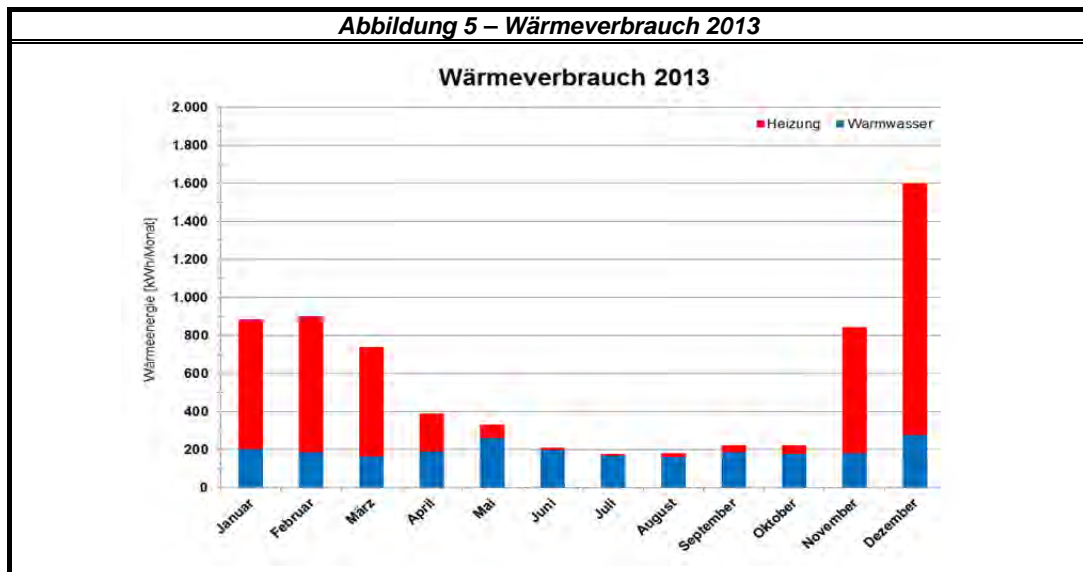
Bei Gebäuden in Passivhausstandard sinkt der Einfluss der Außentemperatur mit der Qualität der thermischen Gebäudehülle. Die wichtigste Einflussgröße wird dann die solare Einstrahlung. Das bedeutet, dass eine Witterungsbereinigung nach VDI 2067 bzw. nach VDI 3807 ohne Berücksichtigung der solaren Einstrahlung nicht zielführend ist. Eine Witterungsbereinigung der Energieverbräuche auf Basis der Gradtagszahlen wurde daher nicht durchgeführt.



## 6. Messergebnisse

Die Auswertungen im Endbericht beziehen sich auf die Messergebnisse im Zeitraum Januar 2013 bis Dezember 2014.

### 6.1 Wärmeverbrauch



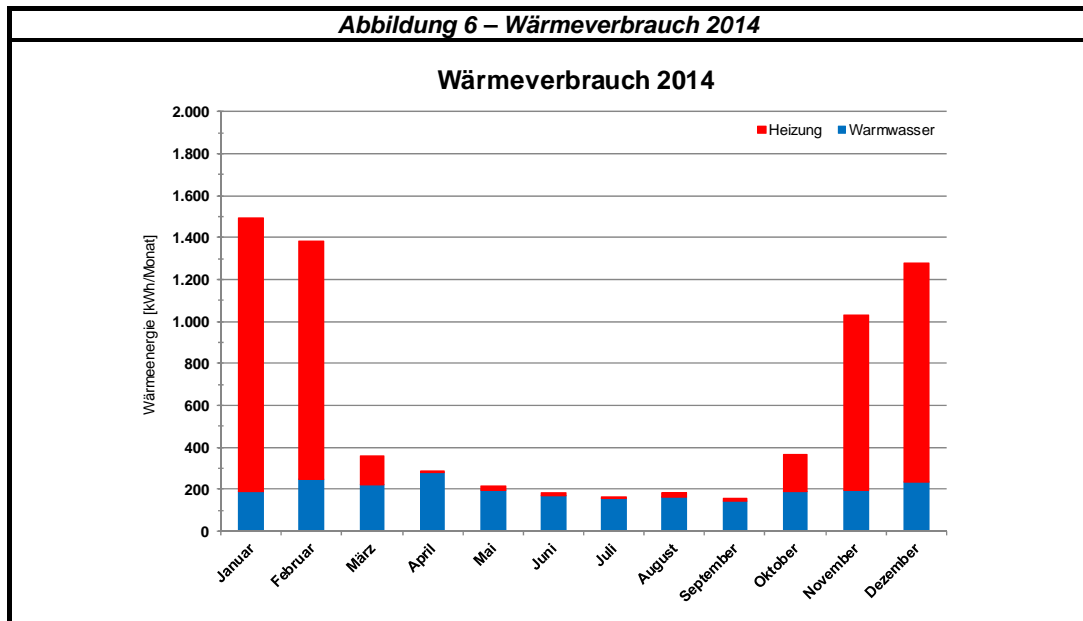
Für den Bilanzzeitraum 2013 ergibt sich ein jährlicher Wärmeverbrauch des Heizungssystems von 4.318 kWh/a. Der entsprechend EnEV 2009 prognostizierte Heizwärmebedarf (Nutzenergie) liegt bei 6.048 kWh/a und somit deutlich über dem ermittelten realen Verbrauch.

Die möglichen Ursachen für die Abweichungen zwischen prognostiziertem Bedarf und realem Verbrauch sind zwar vielfältig (z. B. Nachtabsenkung, Teilbeheizung, reduzierter Luftwechsel, innere Wärmequellen, Klimarandbedingung, Nutzerverhalten), die Hauptursache liegt vor allem aber in dem bis November 2013 nicht korrekt erfassten Wärmeenergieverbrauch der Wärmeabgabe.

Der Betrieb der Wärmepumpe für die Beheizung des Gebäudes erfolgte im Betriebsjahr 2013, bedingt durch die Anlagenhydraulik des Speichers, überwiegend über den Schichtspeicher und nicht direkt zu den Heizflächen. Die damit verbundene hohe Entnahmetemperatur aus dem Speicher für die Beheizung des Gebäudes führt zu einem sehr geringen Massenstrom vor der Beimischung auf die korrekte Vorlauftemperatur für die Heizflächen. Der von der Projektierung daher deutlich abweichende Massenstrom wurde bis zum Umbau im November 2013 durch den Wärmemengenzähler nicht korrekt erfasst. Der reale Energieverbrauch zur



Warmwasserversorgung lag im Jahr 2013 mit 2.366 kWh/a leicht unterhalb vom Prognosewert entsprechend EnEV 2009 mit 2.828 kWh/a. Das Nutzerverhalten hat hier erheblichen Einfluss.

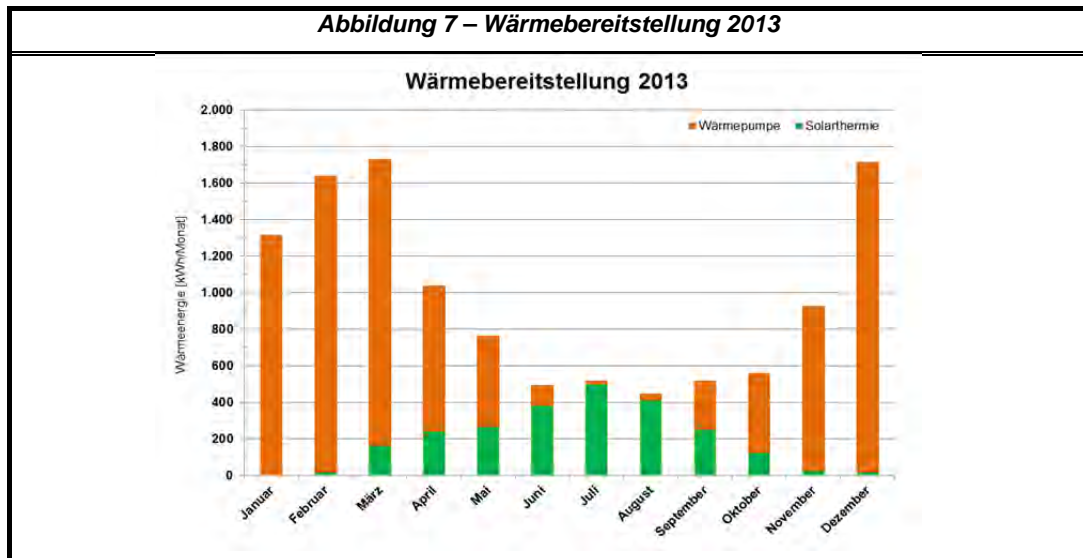


Im Auswertezeitraum des Jahres 2014 war zwar der Wärmeverbrauch für die Heizung nach dem Zählerwechsel höher als im Jahr 2013, liegt aber – vermutlich bedingt durch die günstigeren Klimaverhältnisse im Vergleich zum Referenzklima – immer noch deutlich unter dem Prognosewert von 6.048 kWh/a. Im Jahr 2014 wurde ein Wärmeverbrauch des Heizungssystems von 4.701 kWh gemessen.

Der reale Energieverbrauch zur Warmwasserversorgung lag im Jahr 2014 mit 2.385 kWh/a erneut leicht unterhalb vom Prognosewert entsprechend EnEV mit 2.828 kWh/a. Die Verbräuche aus 2013 und 2014 decken sich annähernd.

## **6.2 Wärmebereitstellung**

Zur Deckung des jährlichen Heizwärmeverbrauchs (Beheizung und Warmwasser) von 6.684 kWh/a wurden im Bilanzzeitraum 2013 11.543 kWh/a Wärme durch Wärmepumpe und Vakuumröhrenkollektor bereitgestellt. Wie bereits erläutert, stimmte der erfasste Heizwärmeverbrauch der Heizflächen - durch den zu geringen Massenstrom aus dem Speicher - nicht mit dem tatsächlichen Verbrauch überein.



Der Deckungsbeitrag durch die solarthermischen Kollektoren führt dabei nicht zwingend zu einer Reduktion der bereitgestellten Wärme durch die Wärmepumpe. Reicht der Ertrag durch die Kollektoren nicht aus, um den Warmwasserbedarf zu decken, so muss die Heißgasebene der Wärmepumpe den Warmwasserbereich im Speicher versorgen. Hierbei wird der bereits durch den thermischen Kollektor erwärmte Bereich des Speichers von der Kondensationsebene der Wärmepumpe überfahren.

Nach Umbau der Wärmepumpe im November 2013 konnte keine ausgeglichene Bilanz mehr über den Wärmepumpenkreis hergestellt werden. Als Folge davon wurden teilweise unplausible Wärmeleistungen ermittelt, die kumulierend die Monatsbilanzen stark verfälschten. Eine korrekte Ermittlung der Wärmebereitstellung durch den Wärmeerzeuger Wärmepumpe war daher für den Auswertzeitraum 2014 nicht möglich. Beanstandungen führten nicht zu einer bauseitigen Korrektur der Fehlerquelle. Von einer Darstellung der Ergebnisse soll daher abgesehen werden.



### **6.3 Stromverbrauch und Endenergiebilanz**

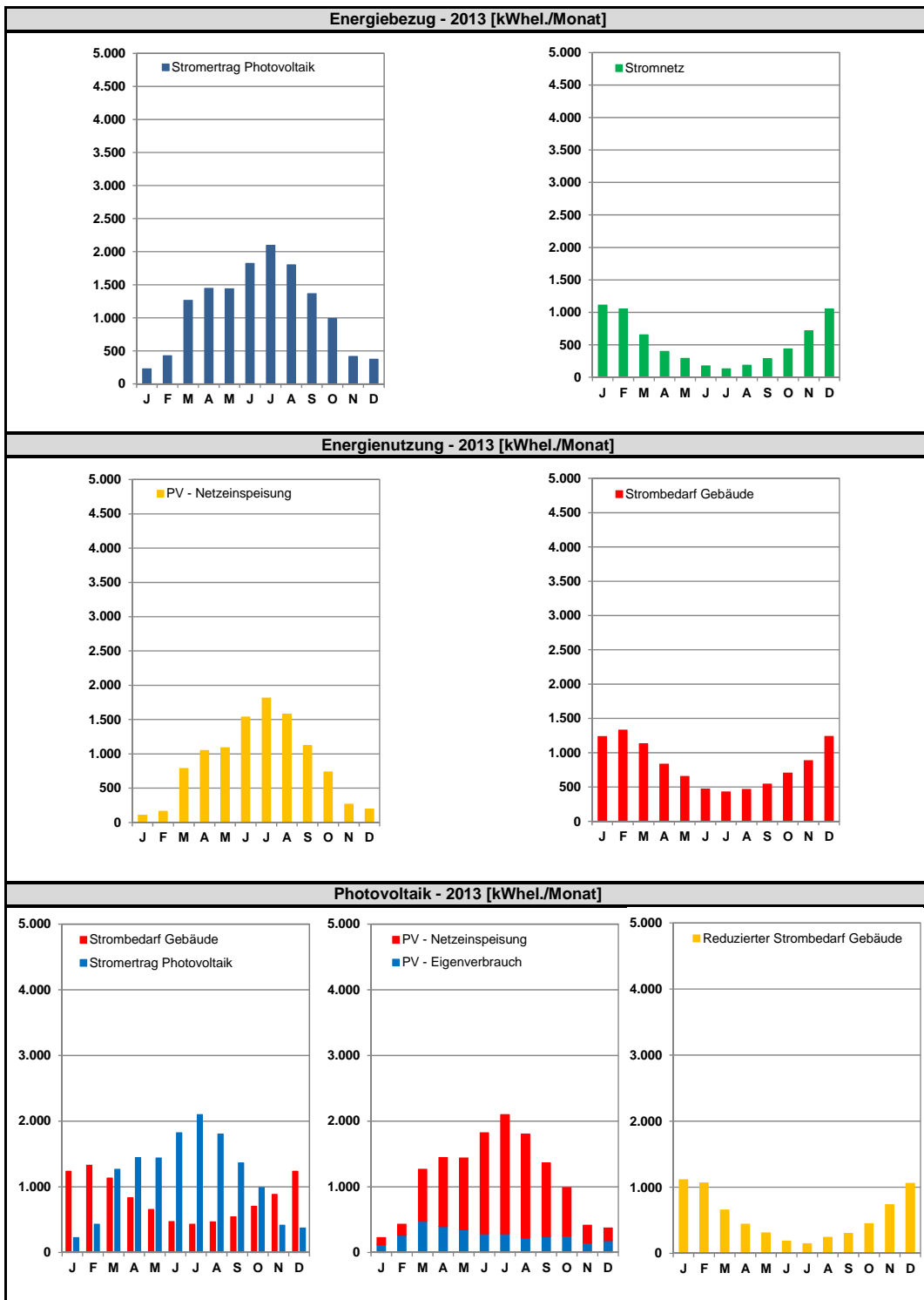
Der entsprechend EnEV 2009 prognostizierte jährliche Strombedarf des Gebäudes von 9.780 kWh/a wurde mit 9.898 kWh/a etwa eingehalten. Durch den überwiegenden Betrieb der Wärmepumpe über den Speicher ergibt sich im Betriebsjahr 2013 dennoch nur eine geringe Jahresarbeitszahl des Gesamtsystems. Die Bilanz wird nur deshalb näherungsweise ausgeglichen, weil die realen Verbräuche für Heizung und Warmwassererwärmung deutlich unter den prognostizierten liegen. Die Bilanzierung des monatlichen Endenergieverbrauchs (Strom) erfolgt in Abbildung 8 für die mittels Monitoring erfassten Verbraucher. Die monatliche Bilanz zwischen Stromverbrauch und produziertem Strom durch die PV-Anlage bzw. Netzbezug wird in Abbildung 9 für den Bilanzzeitraum 2013 dargestellt. Weitere Daten sind der Anlage 39 zu entnehmen.







**Abbildung 9 – Monatlicher Stromverbrauch und Strombezug 2013**



Für das Jahr 2014 betrug der Strombedarf des Gebäudes etwa 9.094 kWh und lag damit unter dem prognostizierten Wert von 9.780 kWh/a. Einen erheblichen Beitrag an diesem Ergebnis haben sicher die deutlich besseren Klimabedingungen des Jahres 2014.



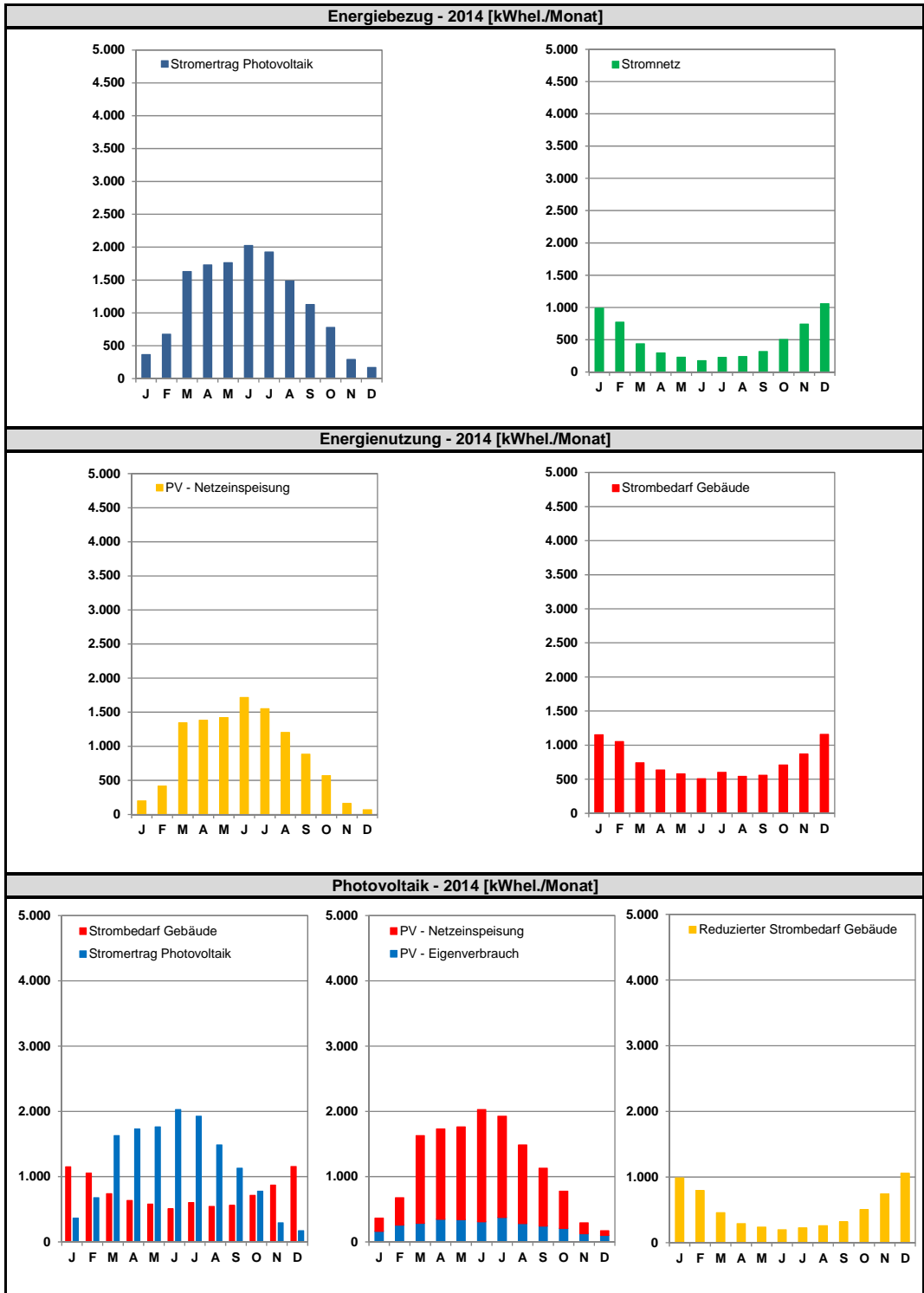
Die Bilanzierung des monatlichen Endenergieverbrauchs (Strom) erfolgt in Abbildung 10 für die mittels Monitoring erfassten Verbraucher. Die monatliche Bilanz zwischen Stromverbrauch und produziertem Strom durch die PV-Anlage bzw. Netzbezug wird in Abbildung 11 für den Bilanzzeitraum 2014 dargestellt.

Weitere Daten sind der Anlage 40 zu entnehmen.





**Abbildung 11 – Monatlicher Stromverbrauch und Strombezug 2014**



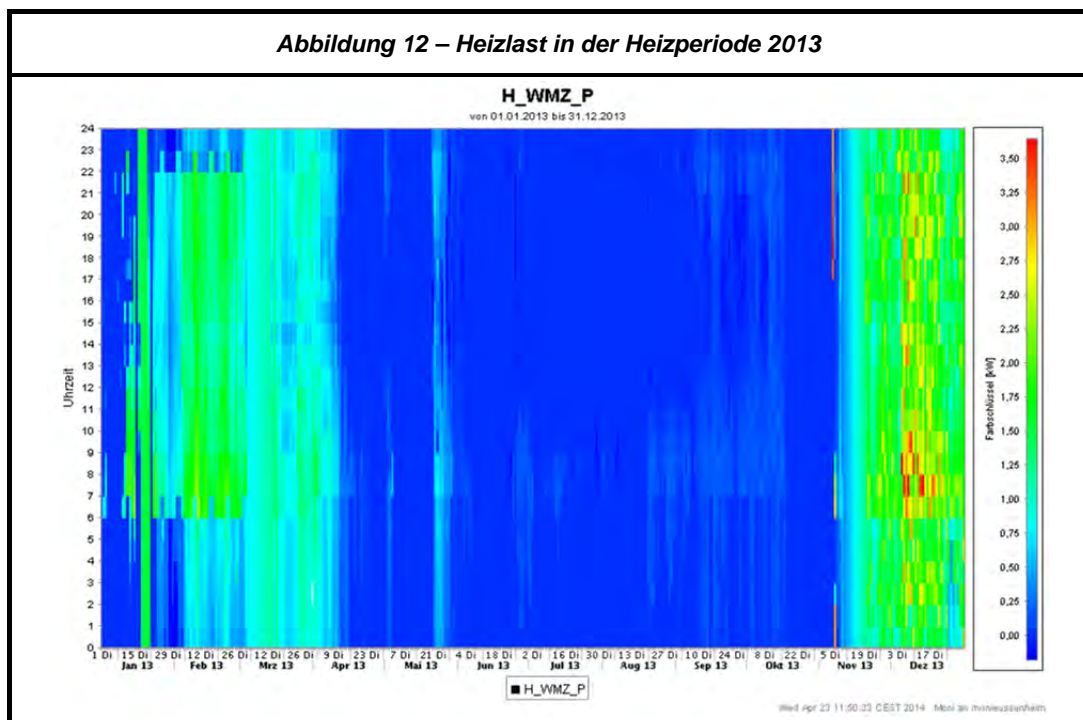


## 6.4 Anlagenperformance

Die Auswertung der Anlagen- und Komponentenperformance erfolgte auf Basis von Messdaten des **Betriebsjahres 2013**.

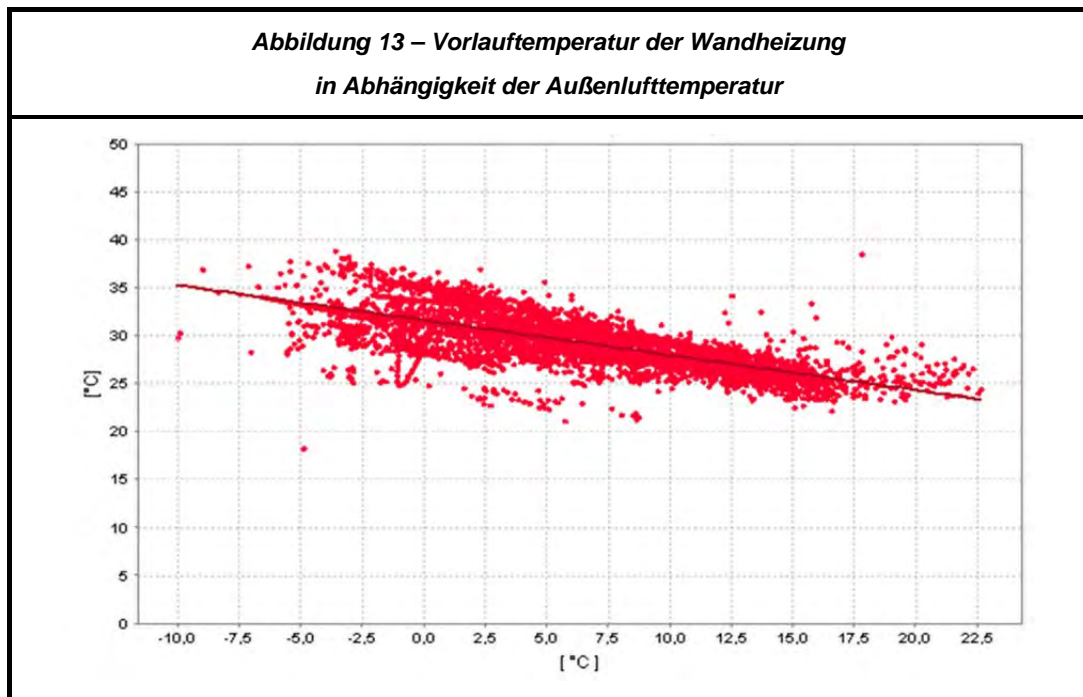
### 6.4.1 Wärmeabgabe

Die maximale Heizlast für die Gebäudebeheizung - unberücksichtigt der Heizlast für die Warmwasserproduktion - lag in der Heizperiode 2013 bei etwa 3,5 kW. Seit den Umbauarbeiten an der Anlage im November 2013 wird die korrekte Heizlast durch den Wärmemengenzähler erfasst, wie folgende Abbildung zeigt.

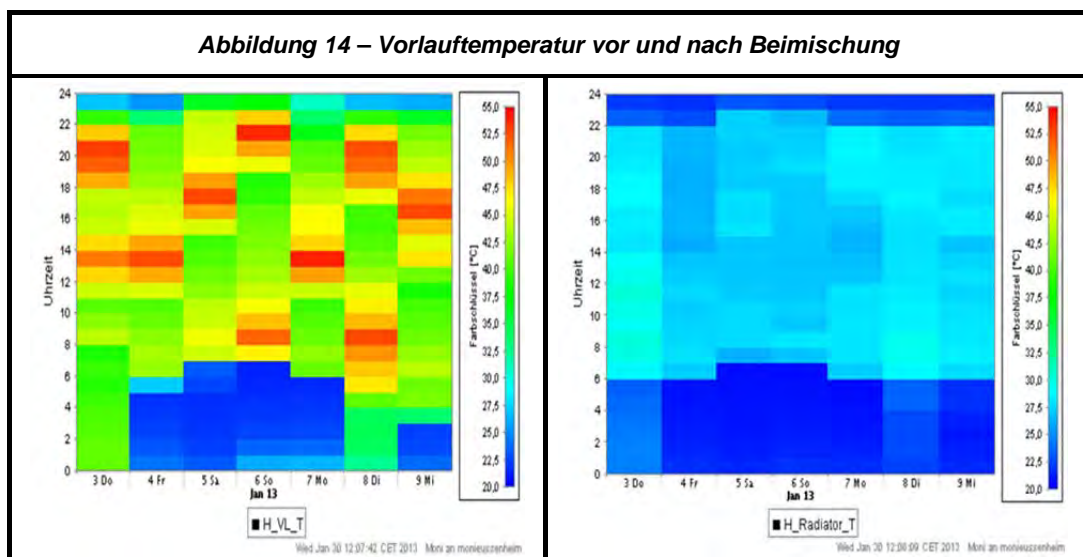




Die Vorlauftemperatur betrug 2013 im Mittel etwa 35 °C bei -10 °C Außenlufttemperatur (siehe Abbildung 13).



Die Wärmeabgabeflächen wurden fast ausschließlich vom Schichtspeicher - mit Entnahmetemperaturen von bis zu 55 °C (siehe Abbildung 14) und somit erforderlicher Beimischung aus dem kalten Rücklauf der Wärmeabgabeflächen - versorgt.



Für die korrekte Erfassung der Heizenergie durch den Wärmemengenzähler musste dieser von der ursprünglichen Position vor der Beimischung umgesetzt werden, und zwar nach der Beimischung aus dem kalten Rücklauf.



Der durch die hohe Vorlauftemperatur aus dem Schichtspeicher und den geringen Heizwärmebedarf verursachte geringe Massenstrom wurde bei der Wahl des Wärmemengenzählers, wie bereits erläutert, nicht berücksichtigt, da von einer überwiegenden Direktversorgung der Wärmeabnehmer durch die Wärmepumpe mit geringer Vorlauftemperatur ausgegangen wurde.

Nach der veränderten Positionierung des Wärmemengenzählers wurde das erfasste Signal des Wärmemengenzählers zwar besser, die korrekte Wärmebilanz konnte allerdings erst nach dem Ersatz des elektronischen Wärmemengenzählers durch einen mechanischen Wärmemengenzähler im November 2013 gebildet werden.

#### 6.4.2 Wärmespeicher

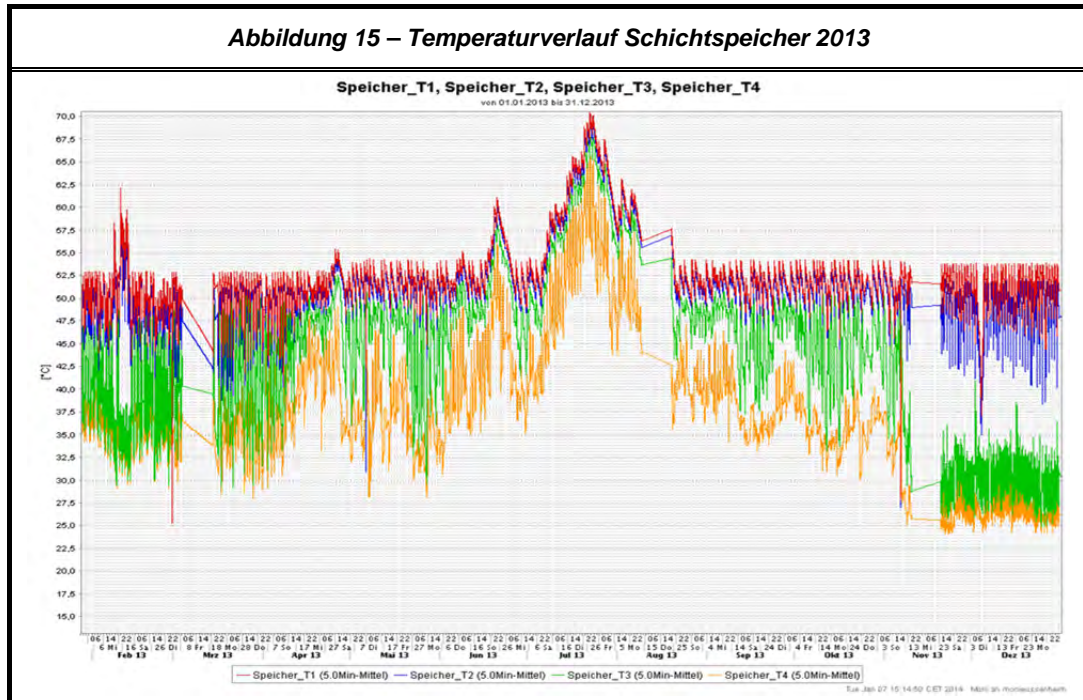
Die Anforderung für den Wärmepumpenbetrieb kam in der Heizperiode 2013 fast ausschließlich von der Warmwasserzone des Schichtspeichers. Die Wärmebereitstellung für die Warmwasserzone erfolgt dabei über die Heißgasauskopplung der Wärmepumpe mit etwa 1,5 kW. Die Kondensationsebene der Wärmepumpe mit etwa 7 kW musste bei Warmwasserbereitung vorerst den mittleren Speicherbereich bedienen, was zu entsprechenden Laufzeiten der Wärmepumpe führte. Zudem war die Laufzeit der Wärmepumpe nicht wie vorgesehen an Tageszeiten mit möglichem PV-Ertrag gekoppelt bzw. war eine Laufzeit der Wärmepumpe und Überladung des Schichtspeichers in Abhängigkeit des PV-Ertrags in der Regelung überhaupt nicht vorgesehen.

Die gewählte Speichergröße mit 3.000 l Wasserinhalt zur thermischen Zwischenspeicherung des PV-Stroms mittels Wärmepumpe, führte daher vor allem durch die fehlende Regelstrategie sowie mangelnden Stromertrag der PV-Anlage, zu Beginn der Heizperiode 2013, zu geringen Arbeitszahlen der Wärmepumpe und zu einer geringen Gesamteffizienz der Wärmebereitstellung und -speicherung.

Folgende Abbildung 8 zeigt den Temperaturverlauf im Schichtspeicher im Betriebsjahr 2013. Eine Überladung mittels Solarthermie war erstmalig ab dem Umbau auf die drehzahlgeregelten Pumpen im Solarkreis ab Mitte April 2013 gegeben. Im Auswertzeitraum Juli 2013 war der 3.000 l Schichtspeicher vollständig mittels Solarthermie auf bis zu 70 °C überladen.



Abbildung 15 – Temperaturverlauf Schichtspeicher 2013



Im November 2013 erfolgten der Umbau der hydraulischen Anschlüsse des Schichtspeichers sowie die Anpassung der Höhe der Temperaturfühler im Speicher.

### 6.4.3 Wärmerezeuger

#### 6.4.3.1 Wärmepumpe

Die Beurteilung der Effizienz der Wärmebereitstellung (Wärmerezeugung / Stromaufnahme) erfolgt, sowohl für die Wärmepumpe alleine als auch für das Gesamtsystem bestehend aus Wärmepumpe und Solarthermieanlage, in Form der Jahresarbeitszahl. Da der Stromverbrauch der quellen- und senkenseitigen Umwälzpumpen nicht separat erfasst und daher auch nicht berücksichtigt wird, entspricht die ausgewiesene Jahresarbeitszahl nicht vollständig der normativen Definition. Die grafische Darstellung der Monatsarbeitszahlen soll vielmehr den Einfluss des gewählten Anlagenkonzeptes - bestehend aus Wärmepumpe und Schichtspeicher zur Überladung mit PV-Strom sowie Solarthermie - auf die Effizienz der Erzeuger aufzeigen.

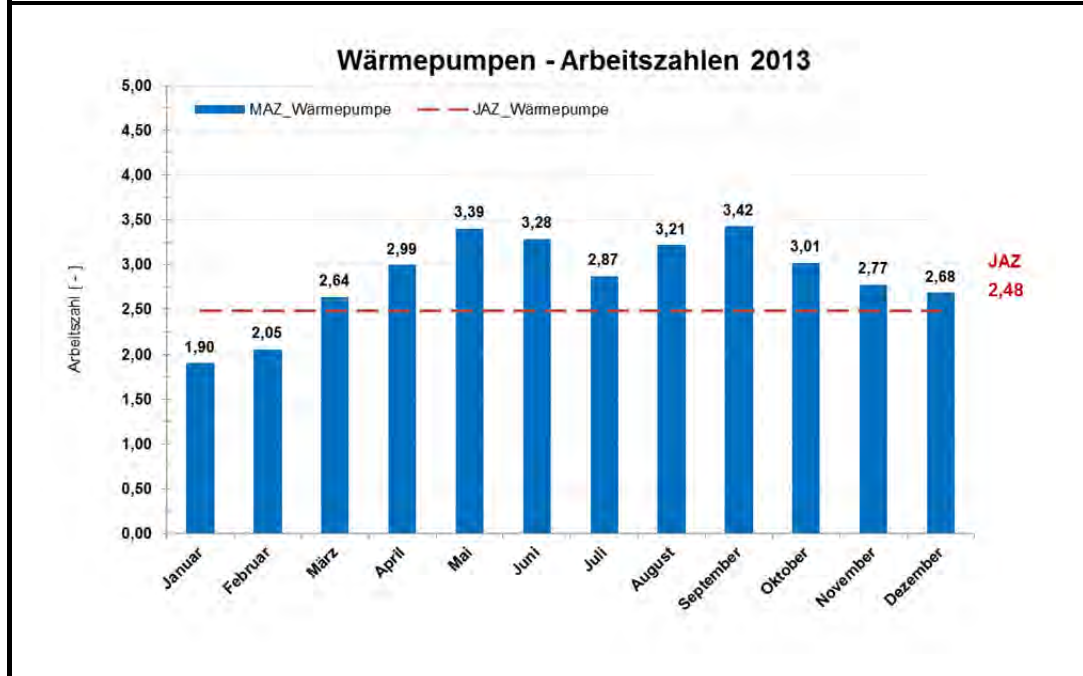
Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die sich einstellenden monatlichen Arbeitszahlen für die Wärmepumpe für den Bilanzzeitraum 2013.





**Abbildung 16 – Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 2013**

MAZ...Monatsarbeitszahl / JAZ...Jahresarbeitszahl



Bei der reinen Betrachtung der Wärmepumpe kommt es bei zusätzlichem Einsatz einer solarthermischen Anlage (z. B. Zeitraum Juli 2013) zu einer Reduktion der Leistungszahl der Wärmepumpe! Durch das mittels Solarthermieanlage vorgewärmte Warmwasser im Speicher (was sich sehr positiv auf den nur noch minimal benötigten Energieeinsatz der Wärmepumpe zur Warmwasserproduktion auswirkt) ergibt sich nun durch das bereits erhöhte Temperaturniveau im Speicher eine schlechte Leistungszahl der Wärmepumpe, sobald diese für die Brauchwarmwasserproduktion in Betrieb gehen muss. Daher wird ab dem Messzeitraum August 2013, aufgrund der vorliegenden Messdaten, zusätzlich die Leistungszahl des Gesamtsystems mit bewertet. Diese wird dabei wie folgt definiert und beschreibt das Verhältnis vom Nutzen (Wärmeertrag der Wärmepumpe + Wärmeertrag der Solarthermieanlage) zum erforderlichen Aufwand (Strombedarf Wärmepumpe + Strombedarf Primär- und Sekundärpumpe der Solarthermieanlage):

$$JAZ_{System} = \frac{(Q_{th}Wärmepumpe + Q_{th}Solarthermie)}{(Q_{el}Wärmepumpe + Q_{el}Umwälzpumpen Solarthermie)}$$

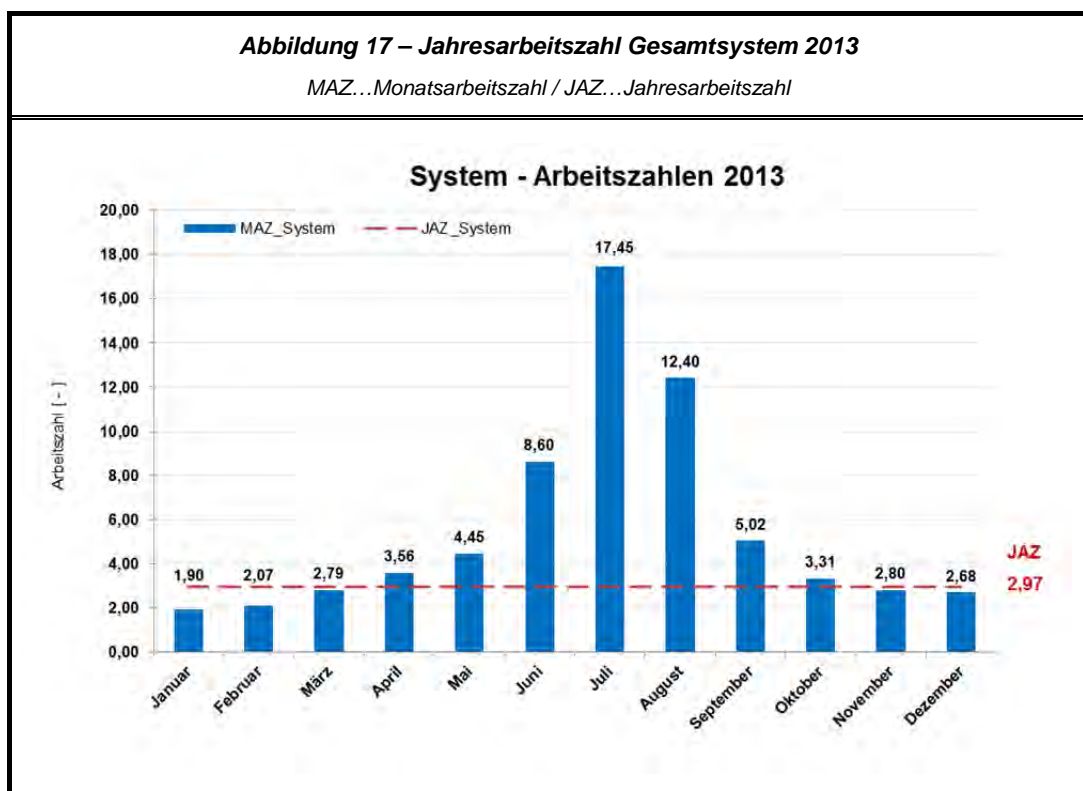
Die reine Betrachtung der Arbeitszahlen, sowohl der Wärmepumpe wie auch des Gesamtsystems, berücksichtigt dabei nicht den für den Aufwand der Wärmeerzeugung (Strombedarf Wärmepumpe + Strombedarf Primär- und Sekundärpumpe



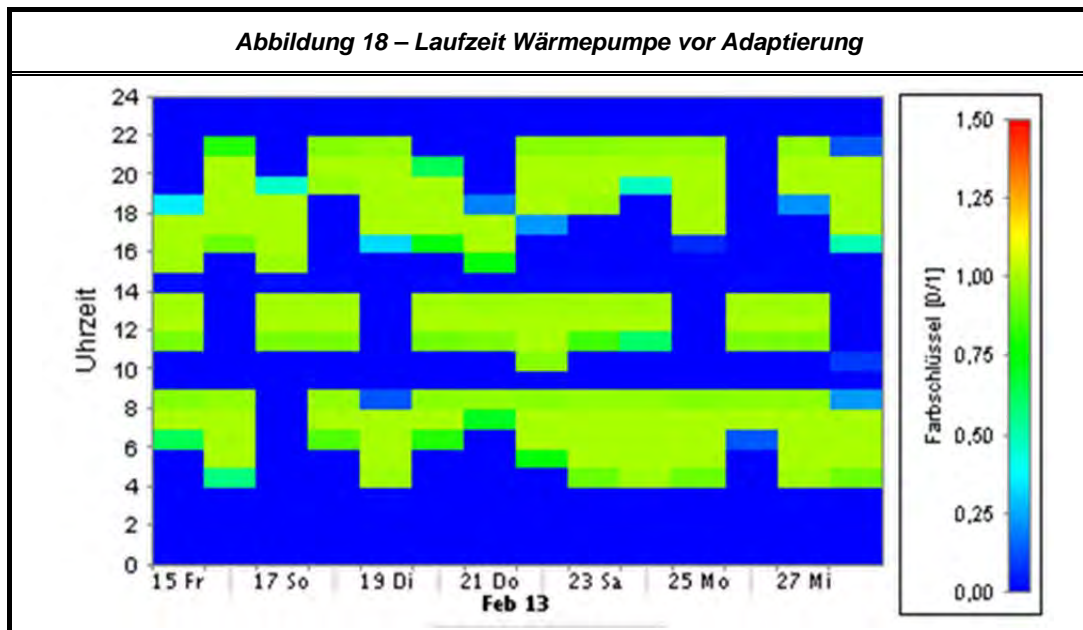
der Solarthermieanlage) eingesetzten Strom - Netzbezug oder Eigenstromerzeugung mittels PV-Anlage. Die bisher seitens der Fördergeber (z. B. nach Erneuerbare-Energien Wärmegesetz) geforderten Leistungszahlen berücksichtigen dabei weder die Eigenstromerzeugung noch einen wesentlichen positiven Beitrag durch eine Solarthermieanlage. Diese Betrachtungsweise ist speziell im Hinblick auf Systemkombinationen von Wärmepumpe und Solarthermie sowie bei Plus-Energie-Gebäuden nicht mehr zeitgemäß.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die sich einstellenden monatlichen Arbeitszahlen für das Gesamtsystem Wärmepumpe und solarthermische Anlage für den Bilanzzeitraum 2013. Durch die Berücksichtigung der solarthermischen Anlage in der Gesamtsystemarbeitszahl  $JAZ_{System}$  ergibt sich im Betriebsjahr 2013 eine Erhöhung der Arbeitszahl von der Wärmepumpe mit

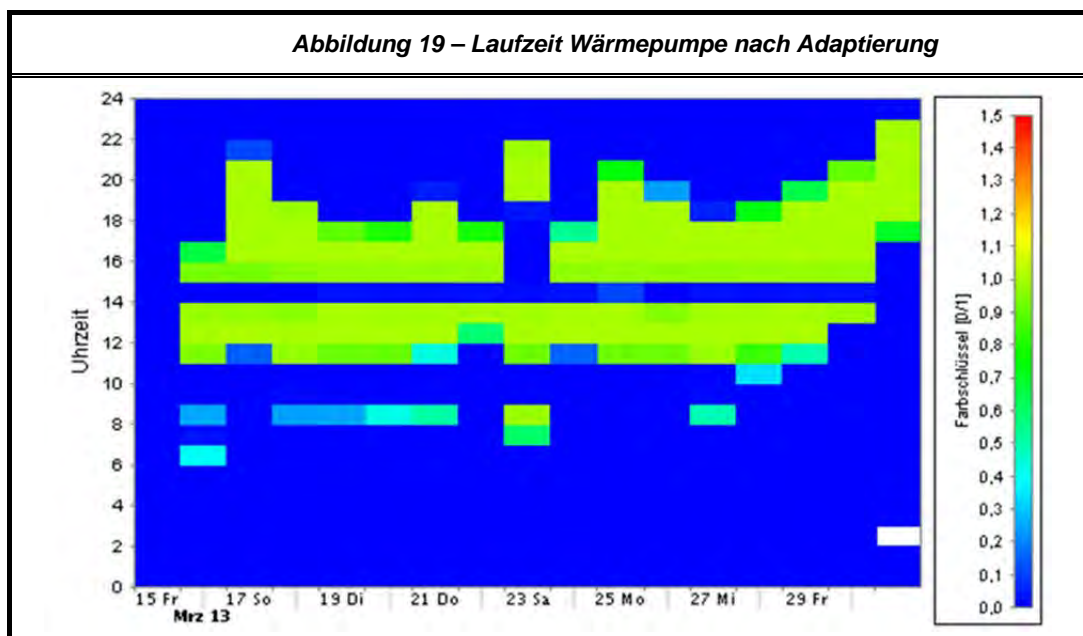
$$JAZ_{WP} = 2,48 \text{ auf } JAZ_{System} = 2,97.$$



Wie bereits im Kapitel Wärmespeicherung erläutert, war die Laufzeit der Wärmepumpe nicht wie vorgesehen an Tageszeiten mit möglichem PV-Ertrag gekoppelt bzw. war eine Laufzeit der Wärmepumpe und Überladung des Schichtspeichers in Abhängigkeit des PV-Ertrags in der Regelung überhaupt nicht vorgesehen. Über das Zeitprogramm war je nach Wärmebedarf die Laufzeit der Wärmepumpe auf einen Zeitraum von 04:00 Uhr bis 22:00 Uhr begrenzt.



Durch Anpassung der Laufzeit der Wärmepumpe - unter Aufrechterhaltung der Komfortansprüche des Bauherren (Warmwasserverfügbarkeit) - konnte die Möglichkeit zum direkten Antrieb der Wärmepumpe mittels PV-Strom gesteigert werden.



Eine Quantifizierung, zu welchem Anteil die Wärmepumpe mit PV-Strom oder Netzstrom betrieben wird, konnte durch fehlende Stromzähler (Stromzähler nur für gesamten Eigenverbrauch des PV-Stroms installiert - nicht nach Verbrauchern ge-



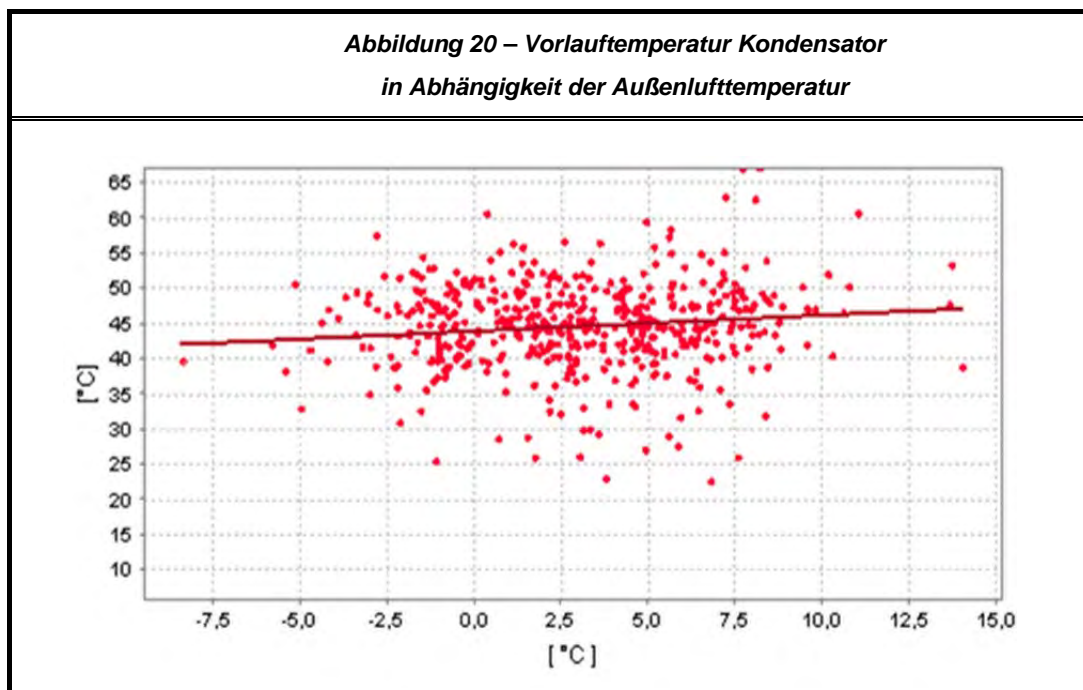
trennt) bzw. durch die teils fehlerhafte Anzeige der Leistungswerte an einigen Stromzählern jedoch nicht erfolgen.

Inwieweit die fehlerhafte Anzeige der Leistungswerte an der wie bereits erläuterten problematischen Aufschaltung unterschiedlicher Messsignale auf den Heizungsregler bzw. Bootloader sowie der internen Signalverarbeitung oder an den Stromzählern selbst lag, konnte im Zuge der Bearbeitung nicht vollständig geklärt werden.

#### 6.4.3.1.1 Wärmesenke

Durch den nahezu ausschließlichen Betrieb der Wärmepumpe über den Schichtspeicher (Heizperiode 2013: 97 % Anforderung Warmwasser, 3 % Anforderung Heizung direkt) stellte sich unabhängig zur Heizkurve eine konstant hohe Kondensationstemperatur (Abbildung 20 - Temperatur Heizkreis) der Wärmepumpe ein.

Die geringe Arbeitszahl der Wärmepumpe ist vor allem dem ausschließlichen Betrieb der Wärmepumpe über den Schichtspeicher im Heizungsbetrieb geschuldet - der Vorteil der großflächigen Wärmeabgabeflächen in Form der auf Niedrigtemperatur betriebenen Wandheizung kann für einen effizienten Betrieb der Wärmepumpe nur bedingt genutzt werden.



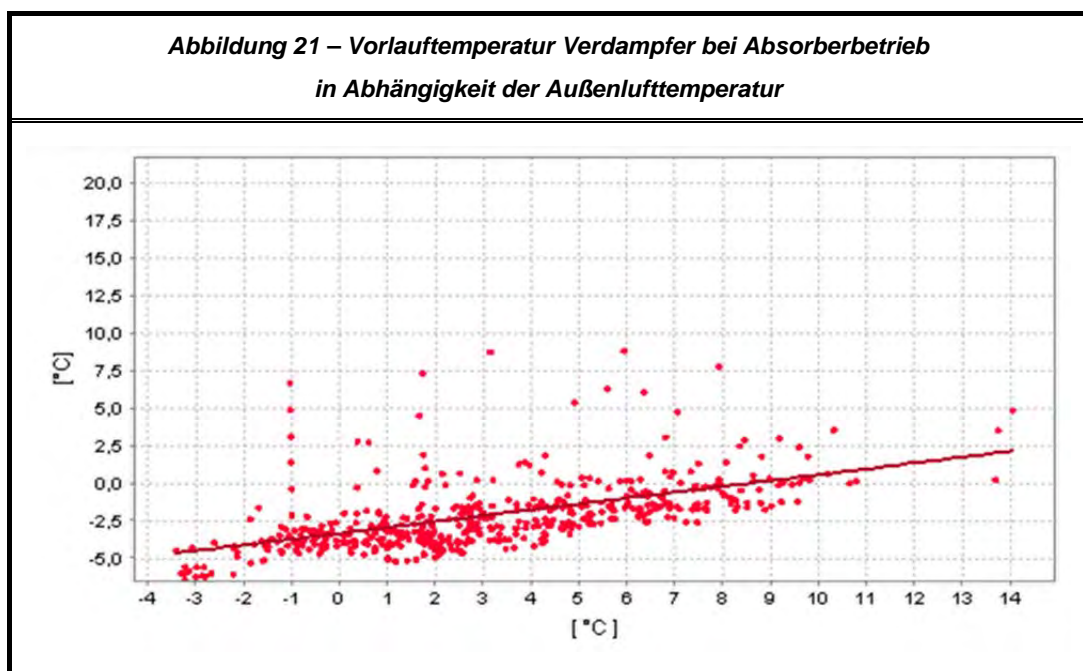
Die gemessene Temperatur der Heißgasauskopplung hat bis zu den Umbaumaßnahmen im November 2013 bis zu 125 °C betragen. Im November 2013 wurde die



interne Verschaltung im Kältekreis (Heißgas / Kondensation), von einem Umschaltventil auf eine zusätzliche Umwälzpumpe im Heißgaskreis umgebaut. Die Temperaturspitzen der Heißgasauskopplung bis zu 125 °C werden nach dem Umbau allerdings noch immer erfasst.

#### 6.4.3.1.2 Wärmequelle

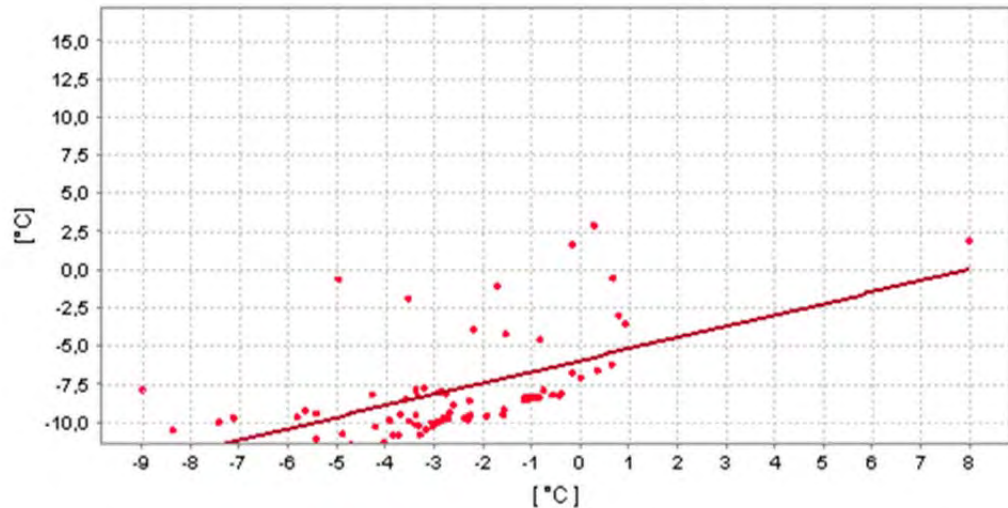
Als Quelle stehen der Wärmepumpe sowohl Umweltabsorber (solarer Dachabsorber) als auch ein Eisspeicher mit 12 m<sup>3</sup> Wasserinhalt zur Verfügung. Der Betrieb über den Eisspeicher soll nur bei unzureichendem Ertrag durch die Umweltabsorber erfolgen. Bei Betrieb über den Eisspeicher, welcher zur Erhöhung der Verfügbarkeit immer wieder durch die Umweltabsorber regeneriert wird, kann sowohl die sensible wie auch die latente Energie nutzbar gemacht werden. Bei Betrieb der Wärmepumpe über die Umweltabsorber bzw. den Eisspeicher stellen sich folgende Verdampfungstemperaturen (Abbildung 21 und Abbildung 22 - Temperatur Solkreis) in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ein.







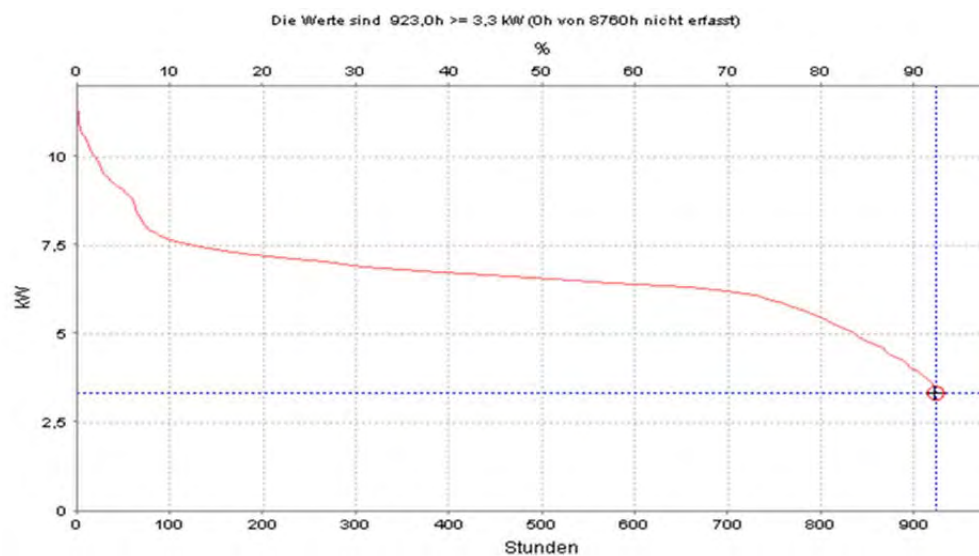
**Abbildung 22 – Vorlauftemperatur Verdampfer bei Eisspeicherbetrieb  
in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur**

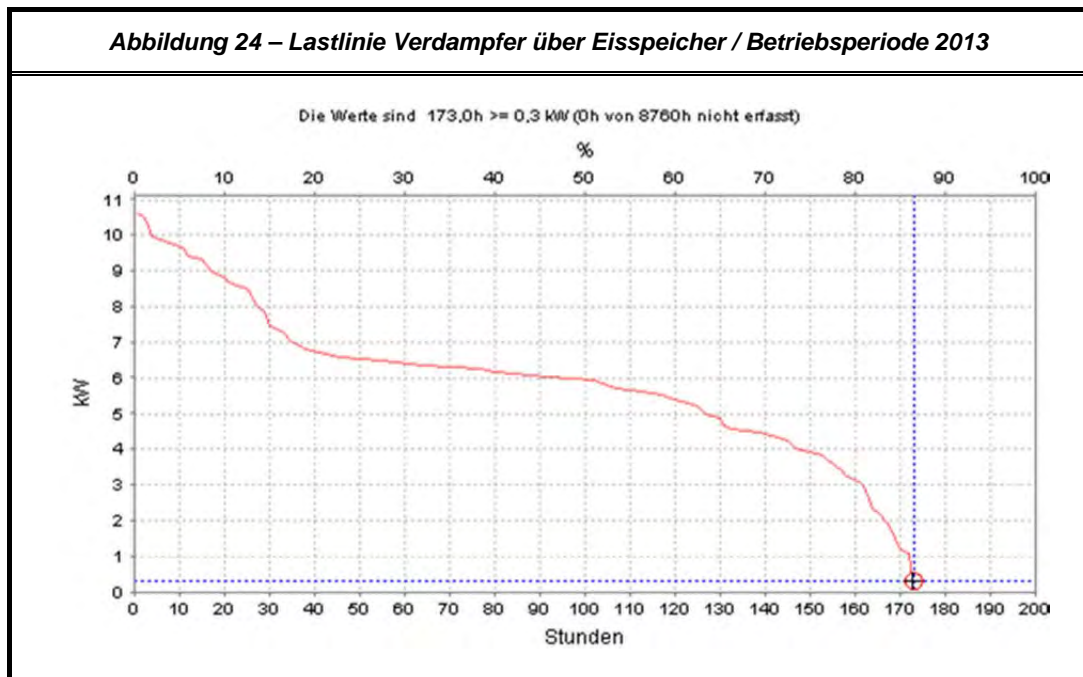


Der Betrieb der Wärmepumpe über den Umweltabsorber zeigt die gewünschte höhere Verdampfungstemperatur, welche sich entsprechend positiv auf die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe auswirkt.

Zudem erfolgt der Betrieb der Wärmepumpe überwiegend über den Absorber, wie folgende Lastlinien für Absorber- (923 Betriebsstunden) und Eisspeicherbetrieb (173 Betriebsstunden) in der Betriebsperiode 2013 zeigen.

**Abbildung 23 – Lastlinie Verdampfer über Absorber / Betriebsperiode 2013**





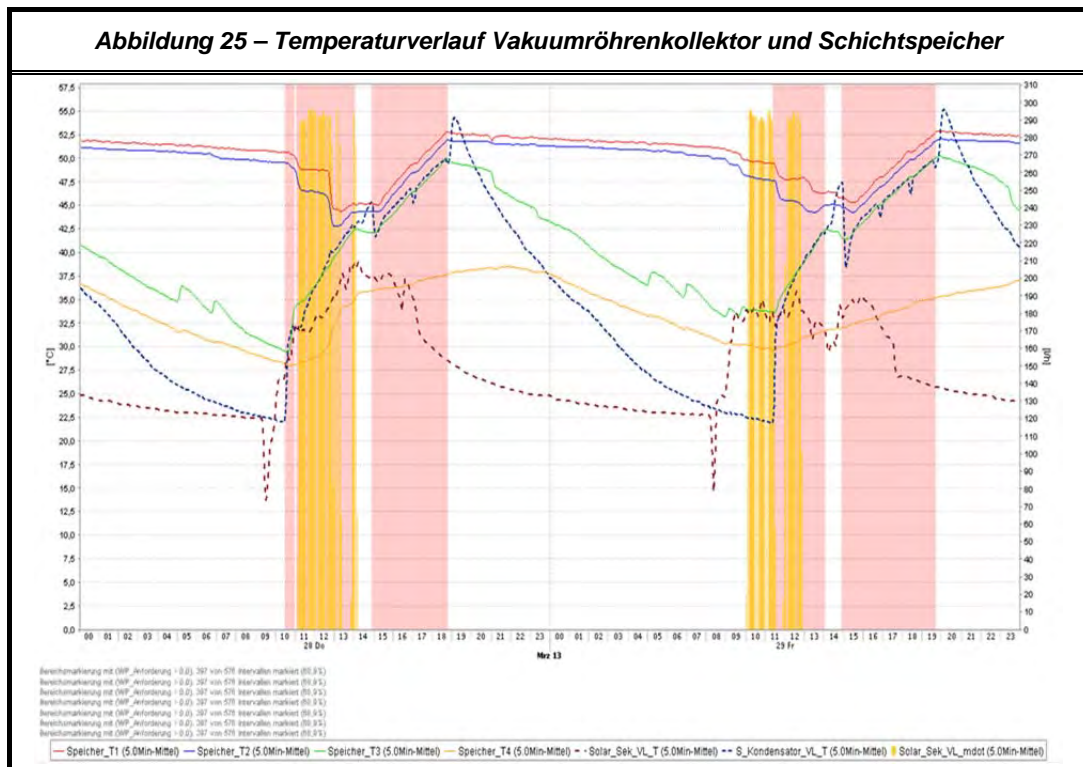
#### 6.4.3.2 Vakuumröhrenkollektor

Durch den Einsatz hocheffizienter, aber unregelter Umwälzpumpen im Primär- und Sekundärkreis der solarthermischen Kollektoren war eine Regelung nach der notwendigen Vorlauftemperatur bzw. Warmwassertemperatur im Schichtspeicher (Zielwertregelung) nicht möglich. Der Wärmeertrag des solarthermischen Kollektors führte daher speziell in der Übergangszeit zwar zu einem entsprechenden Energieeintrag in den unteren Bereich des Schichtspeichers, das exergetische Potenzial wurde jedoch nicht ausgeschöpft. Als Folge dessen startet unnötigerweise die Wärmepumpe zur Nachheizung.

Folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf des Schichtspeichers (Speicherfühler Speicher\_T1 bis Speicher\_T4 als durchgehende Linien, Nummerierung gemäß Position im Speicher von oben nach unten) sowie den Vorlauf des solarthermischen Kollektors auf der Sekundärseite des Speichers (Vorlauftemperatur sekundärer Solarkreis = braune gestrichelte Linie) und des Kondensators der Wärmepumpe (Vorlauftemperatur Wärmepumpe = blaue gestrichelte Linie). Der Ertrag der solarthermischen Kollektoren reicht bei Betrieb mit unregulierten Umwälzpumpen (Massestrom sekundärer Solarkreis = gelbe Balken) oft gerade aus, um den unteren Schichtspeicherbereich geringfügig zu erwärmen.



Das Potenzial der solaren Vorerwärmung des unteren Speicherbereichs wird jedoch durch gleichzeitiges „Überfahren“ dieses Bereichs im Speicher - durch die Kondensationsebene der Wärmepumpe (Wärmepumpe in Betrieb - Bereichsmarkierung in rot) bei Warmwasserproduktion - wieder zunichte gemacht.

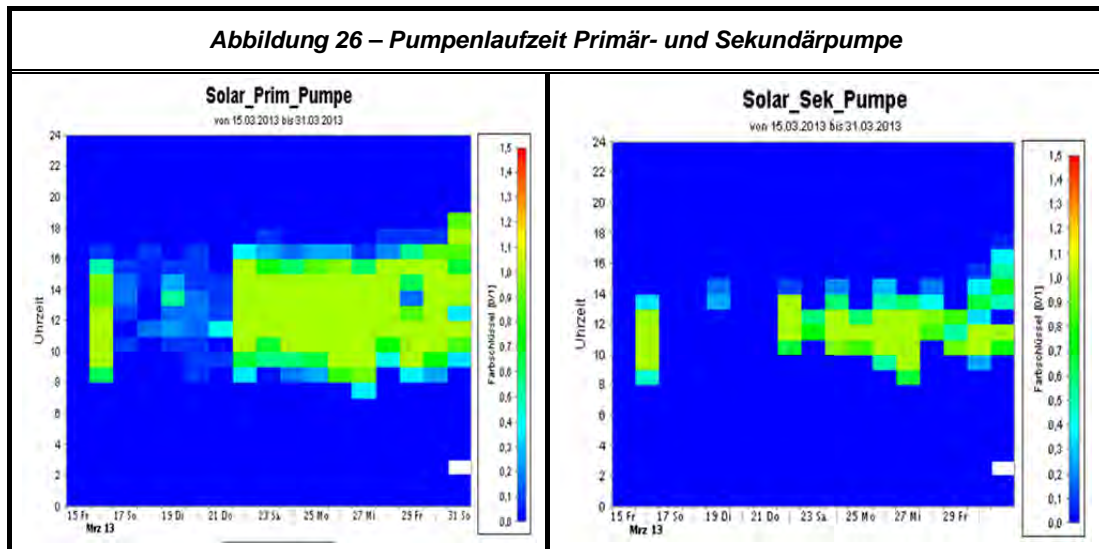


- Speicherfühler T1 = rote Linie (durchgehend)
- Speicherfühler T2 = blaue Linie (durchgehend)
- Speicherfühler T1 = grüne Linie (durchgehend)
- Speicherfühler T1 = gelbe Linie (durchgehend)
- Vorlauftemperatur sekundärer Solarkreis = braune Linie (gestrichelt)
- Vorlauftemperatur Wärmepumpe = blaue Linie (gestrichelt)
- Massestrom sekundärer Solarkreis = gelbe Balken
- Wärmepumpe in Betrieb - Bereichsmarkierung in rot

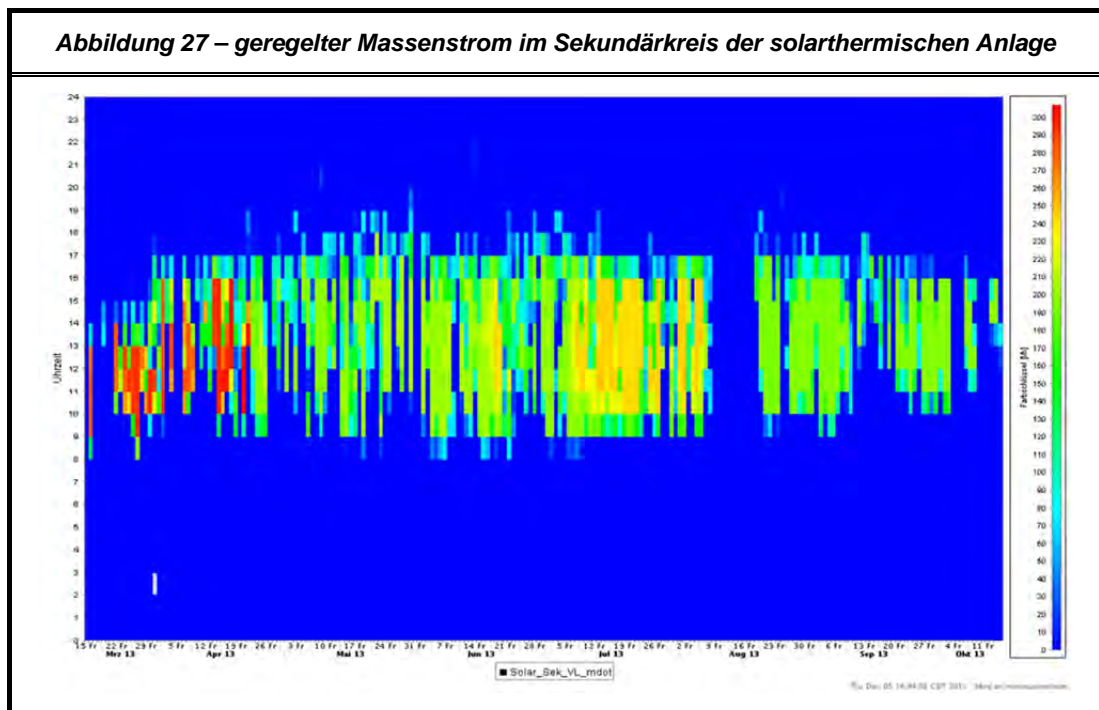
Entsprechend fehlte das Potenzial für den Vakuumröhrenkollektor mit unregelmäßigen Pumpen, im mittleren Speicherbereich einen wesentlichen Beitrag zur Heizungsunterstützung zu liefern.

Die Solarregelung war dabei so eingestellt, dass der Betrieb der Primärpumpe deutlich über den Betrieb der Sekundärpumpe hinausging. Unnötig hohe Laufzeiten der Primärpumpe und somit ein entsprechend hoher Strombedarf waren die Folge der umgesetzten Regelstrategie.





Erst durch den Umbau auf drehzahlgeregelte Pumpen im Primär- und Sekundärkreis im April 2013 ergab sich ein wesentlicher Beitrag der Vakuumröhrenkollektoren zur Brauchwarmwasserbereitung und somit zu einer reduzierten Einschaltzeit der Wärmepumpe.



Bis Mitte September 2013 reichte der Ertrag der Solarthermieanlage - durch die angepasste Pumpenregelung mittels der drehzahlgeregelten Pumpen - beinahe vollständig aus, um den Trinkwarmwasserbedarf in den Sommermonaten decken zu können.

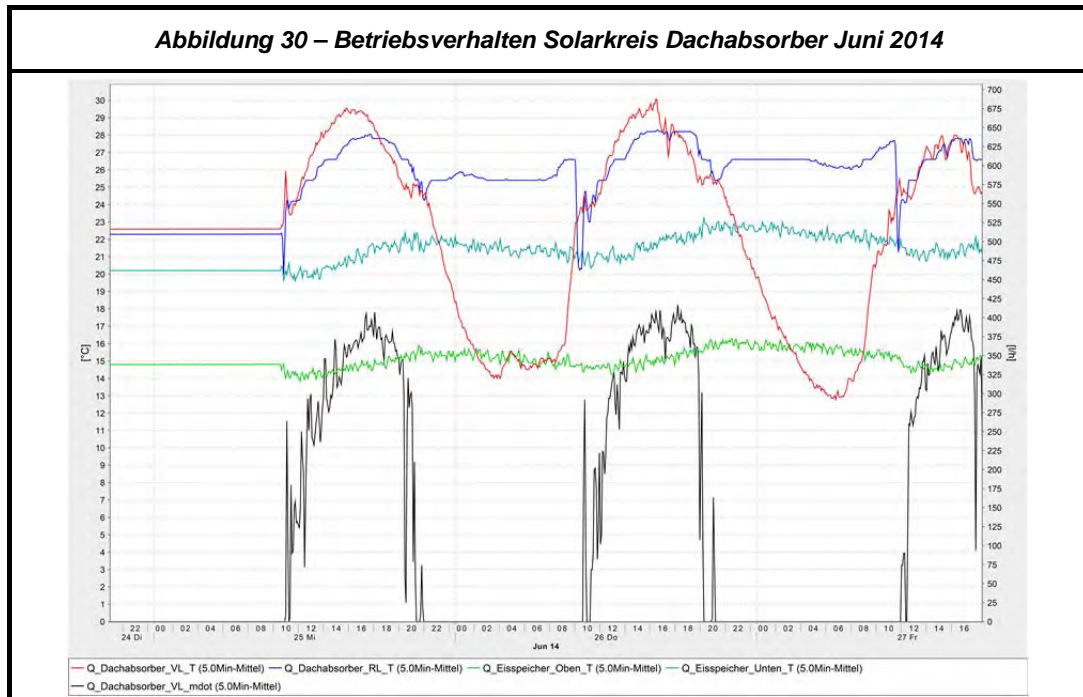






temperatur, da der Fühler am Absorberaustritt im Außenbereich installiert worden ist.

Die Rücklaufftemperatur beträgt im aufgezeigten Beispiel in den Nachtstunden etwa 25 - 26 °C. Hier wurde in Anbetracht des unplausiblen Temperaturverlaufes vermutet, dass fremde Einflüsse auf den Rücklaufftemperaturfühler wirken oder der Fühler sogar defekt ist.



Ein veranlasster Wechsel des elektronischen Volumenstromsensors mit Rücklaufftemperatursensor brachte keine Verbesserung der Ergebnisse. Die Wärmeleistungen des Absorberkreises zur Regeneration waren weiterhin negativ.

Wie weitere Untersuchungen und Vergleiche zu den Fühlern im Vor- bzw. Rücklauf des Kondensators im Ladebetrieb der Wärmepumpe zeigten, ist dies offenbar eine Ursache des Vorlaufftemperaturfühlers im Absorberkreis. Dieser ist entweder fehlerhaft oder unzureichend kontaktiert. Auf letzteres deutet auch ein sehr träges Verhalten des Fühlers bei Temperaturänderungen hin. Aufgrund des trägen Verhaltens ist zu vermuten, dass der Vorlauffühler nicht korrekt im Medium positioniert ist, was für ein typischen Verhalten von Anlegefühlern spricht. Eine dickwandige Trennung aus Kunststoff zum Medium, wie sie oftmals bei Schwimmbadabsorbern realisiert wird, verstärkt diese negativen Auswirkungen auf das Fühlerverhalten und somit die Messergebnisse.



Weiterhin veränderte sich nach Austausch der Platine der gemessene Volumenstrom des Solarabsorberkreises, der vormals im Bereich von ca. 350 bis 400 l/h gelegen hatte, nunmehr auf etwa 900 l/h. Dieser durch den elektronischen Volumenstromsensor erfasste, maximale Wert entspricht zwar nun näherungsweise dem für das System theoretisch erforderlichen maximalen Durchsatz von etwa 1.000 l/h (vgl. Datenblatt SLK-S 0,25 m<sup>3</sup>/h pro Modul, je Lage 0,125 m<sup>3</sup>/h parallel durchströmt), fordert aber eine Neubewertung der vorangegangenen Messergebnisse.

Die vorher erfassten Messwerte zu Regenerationswärmemengen auf Basis eines infolge des Platinenschadens generierten fehlerhaften Durchsatzes und auch falscher Temperaturwerte (Absorberkreis) sind daher nicht belastbar und eine Verwendung zur energetischen Bilanzierung des Gesamtsystems nicht möglich.

Weiterhin muss festgehalten werden, dass das System – bedingt auch durch die Nutzung geringer solarer Strahlungsangebote im Winter und dem hierzu hohen (konstanten) Volumenstrom des Solarkreises - mit kleinen Temperaturdifferenzen betrieben wird. Eine für üblicherweise eingesetzte (Solar-)Fühler auftretende Messfehlerabweichung von 0,5 – 2 K, die auch durch einen nicht durchgeführten Fühlerabgleich nach Fühlerkabelverlängerung entstehen können, haben somit erhebliche Auswirkungen auf das Betriebsverhalten des Systems und die Messergebnisse. Eine matched-flow Solarkreisregelung in Verbindung mit einer sauberen Fühlerkontaktierung mit Fühlern geringer Fehlertoleranz, die darüber hinaus bei der Inbetriebnahme abgeglichen worden sind, sind daher generell erforderlich, um vernünftige Messergebnisse zu erzielen.

Heutige Solarkreisregler verfügen fast ausnahmslos über Fühlerabgleichfunktionen (offset-Funktion) und diverse Fehleranalysen und Funktionskontrollen, die neben Fühlerdefekten oder fehlerhafter Hydraulik, wie z. B. vertauschter Vor- und Rücklaufanschluss, weitere Fehlfunktionen des Systems detektieren und geeignet kommunizieren.

Zur Regelung der Regeneration des Eisspeichers wurde nicht der Regler bzw. die Regelstrategie des Eisspeicherherstellers eingesetzt. Ein möglicher positiver Effekt durch die Auswertung der aktuellen Solarkreisleistung in Bezug auf die Pumpenleistung und somit Betrieb der Anlage nur bei positiver Energiebilanz wird nicht berücksichtigt. Logischerweise sollte die Regeneration des Eisspeichers nur dann er-

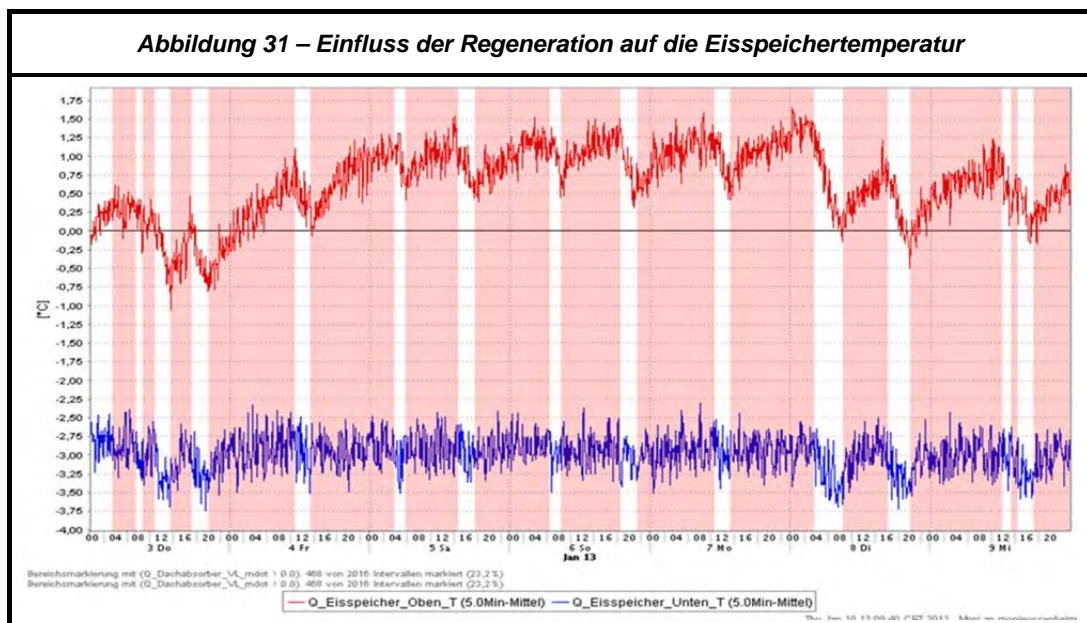




folgen, wenn der damit verbundene Hilfsenergieeinsatz zur einer positiven Bilanz der Wärmeerzeugung beiträgt.

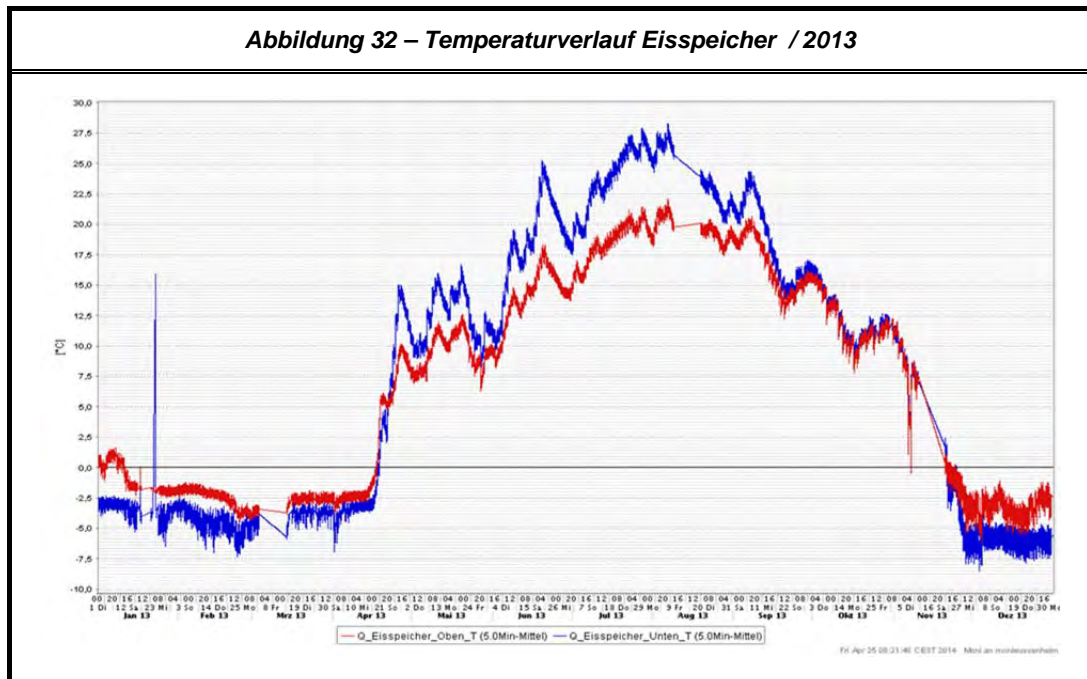
#### 6.4.3.4 Eisspeicher

Folgende Abbildung zeigt den Temperaturverlauf in der oberen und unteren Eisspeicherschicht. Der obere Temperaturfühler wird dabei für die Regelung der Regeneration durch den Umweltabsorber herangezogen. Beispielhaft für Januar 2013 zeigt sich in folgender Abbildung der Einfluss des Regenerationsbetriebs auf die obere Speichertemperatur.



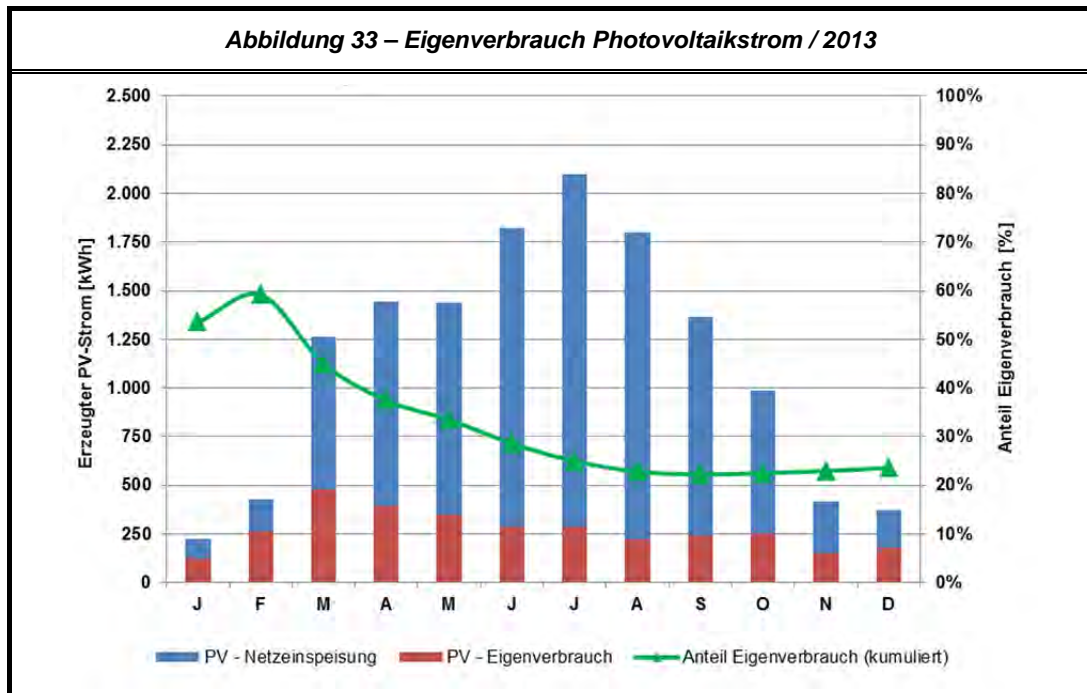
Bereichsmarkierung in Rot: Regenerationsbetrieb des Absorbers

Für das Betriebsjahr 2013 ergibt sich folgender Temperaturverlauf im Eisspeicher. Ersichtlich ist unter anderem die maximale Beladung des Eisspeichers mittels der Umweltabsorber in den Sommermonaten auf bis zu 28 °C.

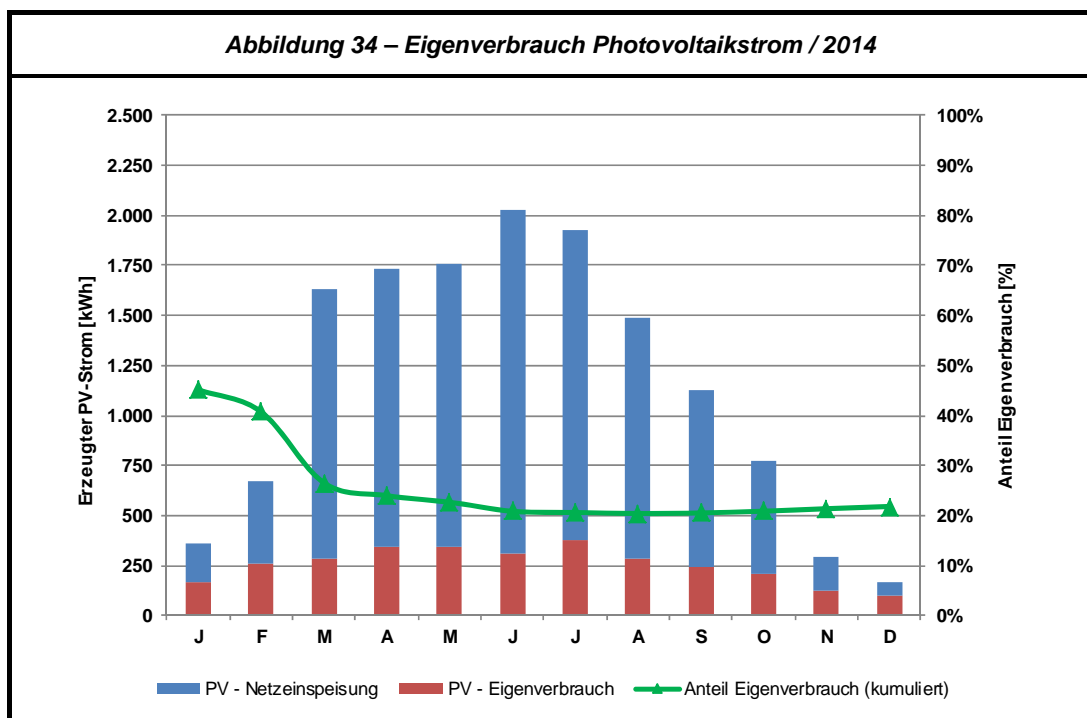


#### 6.4.4 Stromerzeuger

Folgende Abbildung zeigt den kumulierten Anteil am Eigenverbrauch des selbst erzeugten PV-Stroms. Mit Ende 2013 lag der Anteil des Eigenverbrauchs bei etwa 24 %. Der prognostizierte Stromertrag durch die PV-Anlage von 13.655 kWh/a (gemäß Ertragssimulation auf Basis der realen Ausführungsdaten der PV-Anlage, siehe Anlagen 37 und 38) wurde mit gemessenen 13.650 kWh/a im Betriebsjahr 2013 fast punktgenau erreicht.



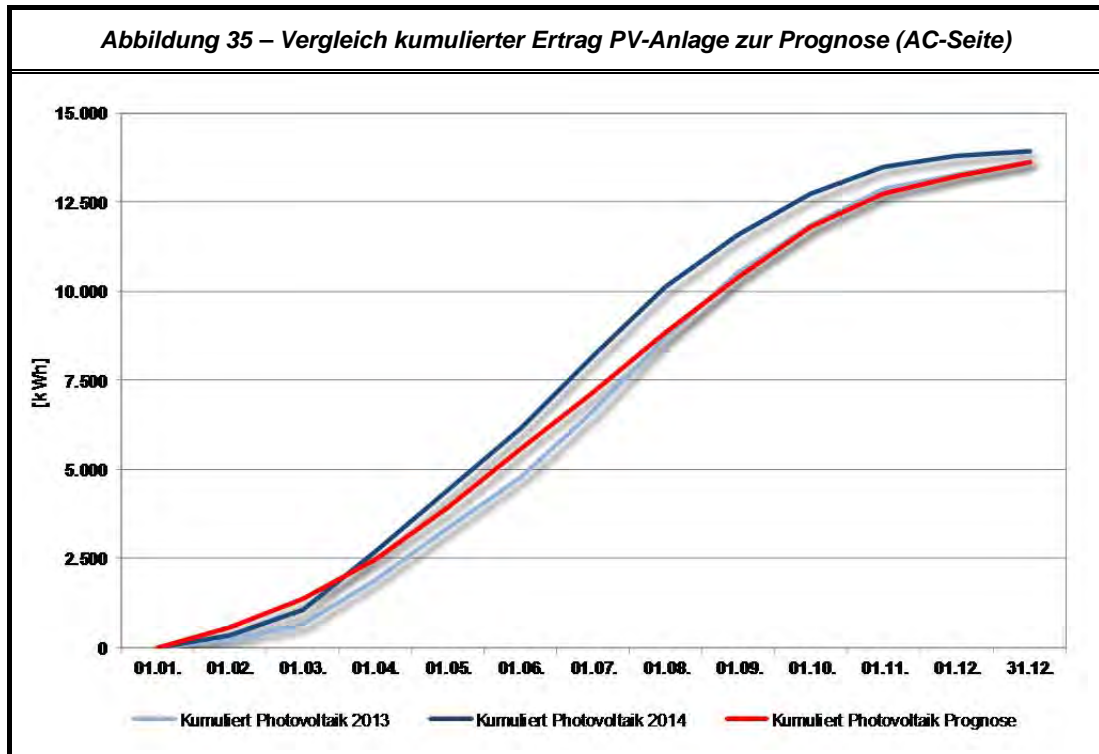
Im Betriebsjahr 2014 wurden 13.956 kWh/a durch die PV-Anlage produziert, wovon 3.044 kWh/a selbst verbraucht wurden. Dies entspricht einem prozentualen Anteil des Eigenverbrauches von 21,8 %. Der gemessene Stromertrag der PV-Anlage von 13.956 kWh/a übersteigt aufgrund der geringfügig besseren Strahlungsverhältnisse im Jahr 2014 den Prognosewert von 13.655 kWh/a.







In der folgenden Abbildung sind die kumulierten Erträge der PV-Anlage der Betriebsjahre 2013 und 2014 vergleichend zur Ertragsprognose dargestellt.



## 6.5 Fazit Anlagenperformance

Aufgrund der Speicherhydraulik, der für die Beladung des Speichers fehlenden Regelstrategie zum Betrieb der Wärmepumpe in Abhängigkeit des PV-Ertrags, den hohen Entnahmetemperaturen aus dem Speicher wegen des ausschließlichen Betriebs der Wärmepumpe über den Speicher, dem Einsatz von nicht geregelten Effizienzpumpen (keine Möglichkeit einer Temperatur-gerichteten Drehzahlregelung bei Solarthermie und Warmwasser für die optimale Beladung des Schichtladespeichers) und einem zu geringen Durchfluss auf der Quellenseite der Wärmepumpe durch Einbau zu kleiner Effizienzpumpen bei Eisspeicher und Umweltabsorber, wurde zu Beginn der Monitoringphase die angestrebte Effizienz der Anlage im Betrieb nicht erreicht. Nachfolgende Adaptierungen wurden daher an der Anlage durchgeführt.



## **6.6 Umgesetzte Optimierungsmaßnahmen**

Auf Grundlage der Messergebnisse und Erkenntnisse wurden für einen effizienteren Anlagenbetrieb folgende Maßnahmen im Laufe des Monitorings umgesetzt:

### April 2013

- Anpassung der Wärmepumpenlaufzeit, unter Berücksichtigung des Warmwasserkomforts, zur gezielten Nutzung des PV-Stroms tagsüber
- Ersatz der Effizienzpumpen durch drehzahlgeregelte Pumpen für eine gezielte Speicherladung der solarthermischen Kollektoren
- Korrektur der Höhe der Temperaturfühler im Schichtspeicher zur Optimierung des Wärmepumpeneinsatzes für Heizung und Warmwasser
- Anpassung des quellenseitigen Volumenstroms von Eisspeicher und Absorber an die Anforderung der Wärmepumpe
- Anpassung Regelparameter

### November 2013

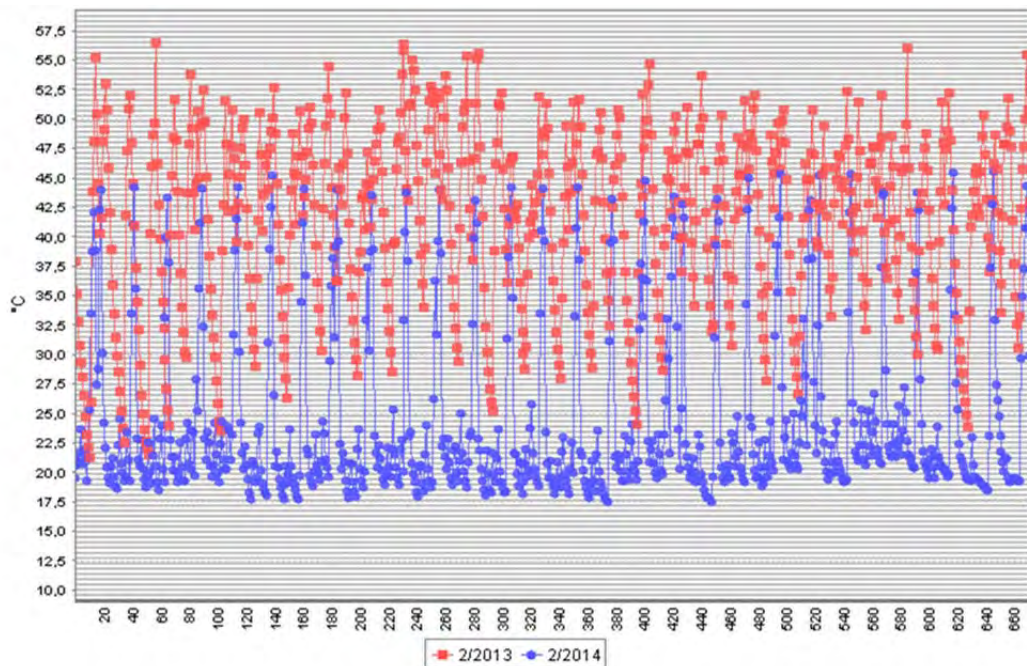
- Hydraulischer Umbau der Speicheranschlüsse einschl. Anpassung der Höhe des Temperaturfühlers für die Anforderung der Wärmepumpe entsprechend neuer Speicherhydraulik
- Umbau des Umschaltventils Warmwasser-Anforderung / Heizungs-Anforderung
- Einbau einer Umwälzpumpe im Heißgaskreis der Wärmepumpe (wasserseitig)
- Einbau von mechanischen Wärmemengenzählern im Heizkreis und im Heißgaskreis zur Prüfung der Ergebnisse der elektronischen Wärmemengenzähler
- Anpassung Regelparameter

In der Anlage 21 sind die Anlagenschemata mit Stand Dezember 2012 und November 2013 abgebildet.

Folgende Abbildung zeigt die Vorlauftemperatur des Heizkreises über den Kondensator der Wärmepumpe, jeweils vor den durchgeführten Optimierungen mit Stand Februar 2013 (2/2013) sowie nach den Optimierungen mit Stand Februar 2014 (2/2014).



**Abbildung 36 – Einfluss der Optimierung auf die Vorlauftemperatur des Kondensators  
(Planung mit Stand 2/2013 und Optimierung mit Stand 02/2014)**



Weitere im Verlauf des Projektes angeregte Optimierungen und notwendige Korrekturen zur Verbesserung der Anlagenperformance bzw. Qualität der aufgezeichneten und für die weitere Verarbeitung aufzubereitenden Daten wurden trotz mehrfacher Kommunikation nicht umgesetzt.

Für die im Juni 2014 festgestellte, vermutete fehlerhafte Funktion des Fühlers im Dach- bzw. Umweltabsorberkreis wurde der Wechsel des elektronischen Volumenstrom- und Temperatursensor erst im Oktober 2014 umgesetzt.

Es ist damit fraglich, inwieweit die bisher aufgezeichneten Daten, insbesondere für die Wärmeerzeugeranlagen, nicht derart unbelastbar sind, als dass damit verlässliche Angaben zu System-Jahresarbeitszahlen im Sinne einer Gesamtbilanzierung aller „energieerzeugenden“ und „energieverbrauchenden“ Komponenten abgeleitet werden können.



## 7. Kosten / Wirtschaftlichkeit

### 7.1 Baukosten und laufende Kosten

Bauteil / Anlage	EnEV 2009 mit EEWärmeG	Mehr-/Minderkosten inkl. MwSt. Effizienzhaus Plus Standard [€]
Außenwand	-	6.000,-
Dach	-	4.000,-
Wand gegen Erdreich	-	nicht vorhanden
Bodenplatte	-	2.000,-
Fenster	-	12.000,-
Heizungsanlage incl. Speicher	Gas-Brennwertkessel	36.000,-
Solarthermie	vorhanden	3.000,-
Lüftungsanlage	vorhanden	0
Photovoltaik (dachintegriert)	Keine	36.000,-
Batterie	keine	nicht vorhanden
Beleuchtung	Standard	3.000,-
Geräte	Standard	1.000,-
Mehrinvestitionskosten	-	<b>103.000,-</b>
Energie- und Betriebskosten		
Gas	900,-	nicht vorhanden
Strom	900,-	1.600,-
Wartung Heizung	150,-	80,-
Netzeinspeisevergütung	0 €	-3.700,-
Laufende Kosten pro Jahr	<b>1.950,-</b>	<b>-2.020,-</b>

Quelle: Architekturbüro Haase



Bei Mehrkosten von ca. 103.000,- € und einer Kostendifferenz der Energie- und Betriebskosten von ca. 1.950,- €/Jahr + 2.020,- €/Jahr = 3.970,- €/Jahr ergibt sich eine Amortisation von  $103.000,- \text{ €} / 3.970,- \text{ €} = 25,9$  Jahre. (Rein statische Berechnung ohne Preissteigerung sowie Finanzierungskosten)

Bei der vereinfachten Rechnung wurden die üblicherweise anzunehmende maximale Lebensdauer von technischen Komponente, Leistungsdegradation (PV-Anlage) sowie Demontage- und Recyclingkosten nicht berücksichtigt.

## 7.2 Kosten Geräte

Gerät	Effizienzklasse	Kosten [€]
Herd	Induktionsherd	**
Backofen	A-30%	**
Dunstabzugshaube	-	**
Mikrowelle	-	-
Spülmaschine	A++	**
Kühlschrank	A++	**
Gefrierschrank	keine Angaben auffindbar	keine Kosten vorhanden
Waschmaschine	keine Angaben auffindbar	BJ 2006 600,- €
Wäschetrockner	keine Angaben auffindbar	keine Kosten vorhanden
Beleuchtung	größtenteils LED	5.583,- € ohne Montage
Investitionskosten		

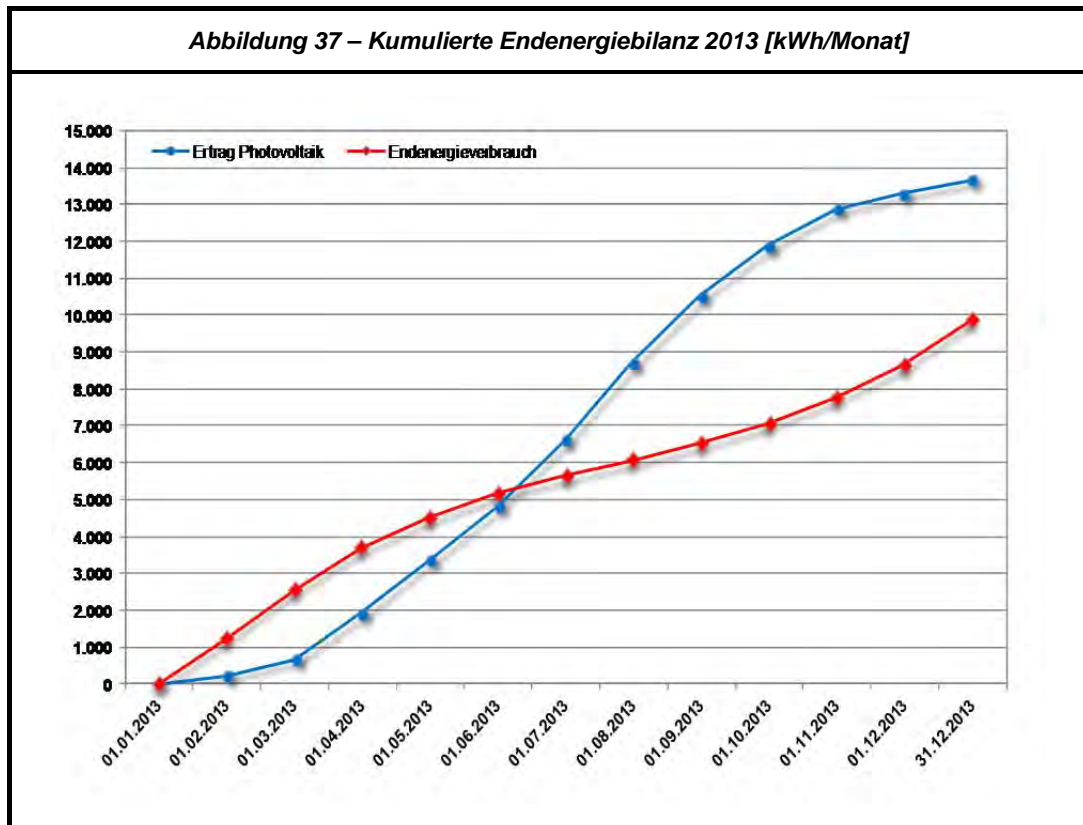
\*\* Kosten der Küchengeräte waren beim Angebot der Küche nicht einzeln aufgeschlüsselt.



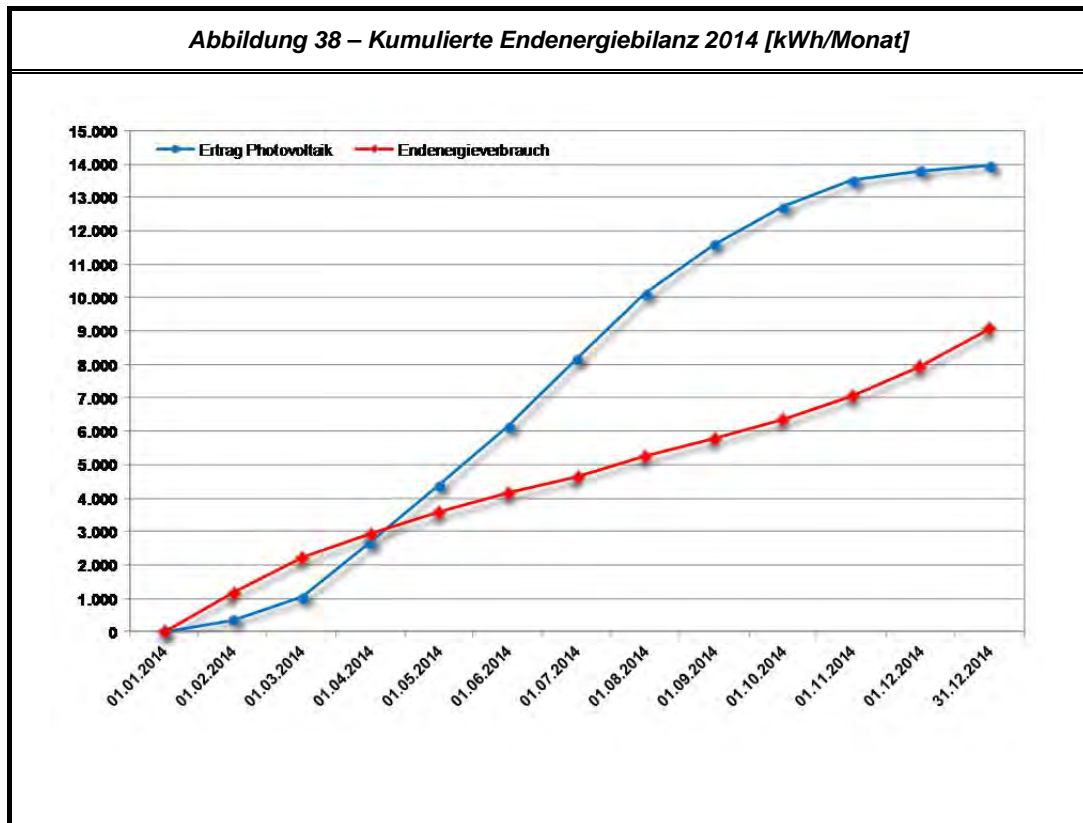
## 8. Bewertung

### 8.1 Nachweis Plus-Energie-Haus Standard

#### 8.1.1 Kumulierte Endenergiebilanz



Der Gesamtstromertrag der Photovoltaikanlage beläuft sich für das Betriebsjahr 2013 mit Ende Dezember auf etwa 13.653 kWh, der Gesamtstromverbrauch des Gebäudes liegt im selben Zeitraum bei etwa 9.898 kWh. Mit der Korrektur des prognostizierten PV-Ertrages auf Basis der tatsächlich installierten Module und anderer Randparameter der Installation (siehe Anlagen 37 und 38) beträgt der prognostizierte Überschuss an Elektroenergie  $13.655 \text{ kWh} - 9.780 \text{ kWh} = 3.875 \text{ kWh/a}$ . Mit einem tatsächlich erreichten Überschuss von  $3.755 \text{ kWh/a}$  wurde im Betriebsjahr 2013 das prognostizierte Ergebnis nur knapp verfehlt. Der Plus-Energie-Standard wurde somit erreicht.



Auch im Jahr 2014 wurde eine positive Endenergiebilanz des Systems erzielt und somit der Plus-Energie-Standard erfüllt.

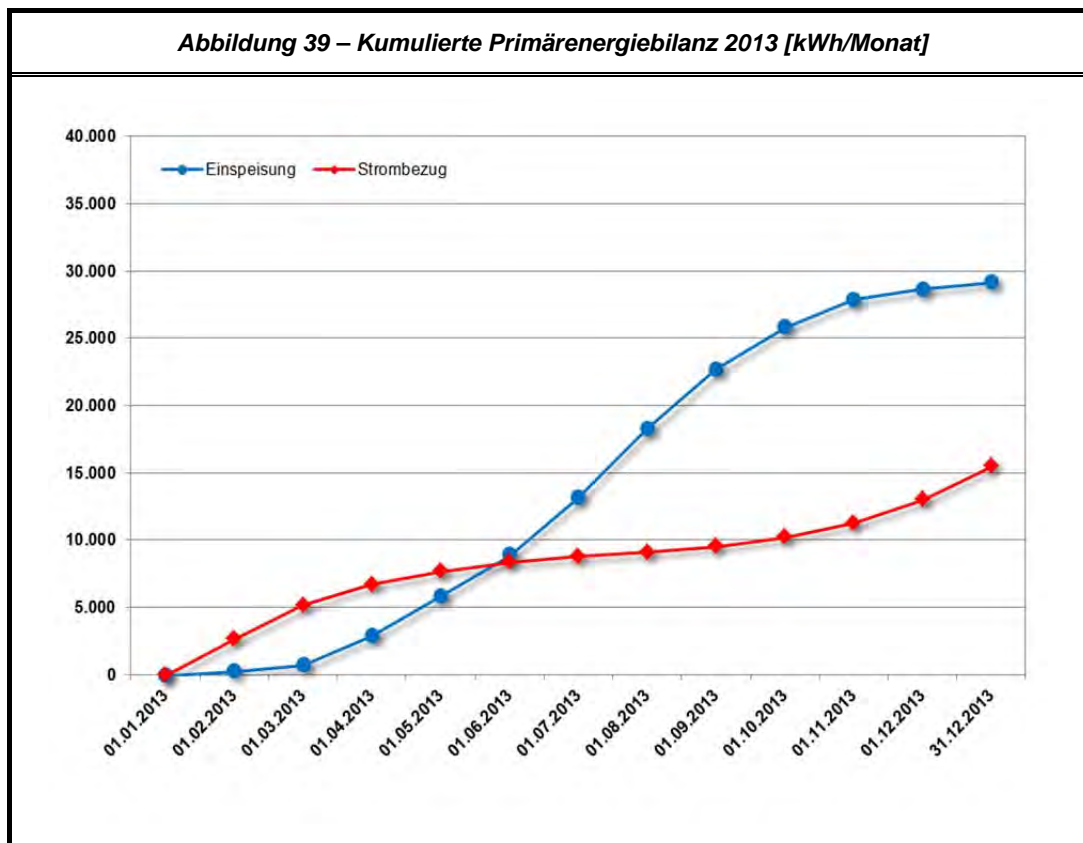
Der Gesamtstromertrag der Photovoltaikanlage beläuft sich für das Betriebsjahr 2014 mit Ende Dezember auf etwa 13.956 kWh, der Gesamtstromverbrauch des Gebäudes liegt im selben Zeitraum bei etwa 9.094 kWh. Damit ergibt sich für das Jahr 2014 ein Differenzbetrag bzw. Stromüberschuss von etwa 4.862 kWh. Dieser Betrag übertrifft deutlich die Prognose.

Damit wurden im Betriebsjahr 2014 306 kWh mehr Strom durch die PV-Anlage erzeugt, das Gebäude verbrauchte aber etwa 804 kWh weniger Strom als im Betriebsjahr 2013. Ausschlaggebend für die bessere Bilanz im Jahr 2014 mit einem um etwa 1.100 kWh höheren Überschuss waren neben einem vermutlich veränderten Nutzerverhalten sicher der deutlich mildere Winter (auch wenn aufgrund des Messfehlers der Wärmeverbrauch der Heizung im Jahr 2013 geringer ausfiel) sowie die Auswirkungen technischer Optimierungen am System.

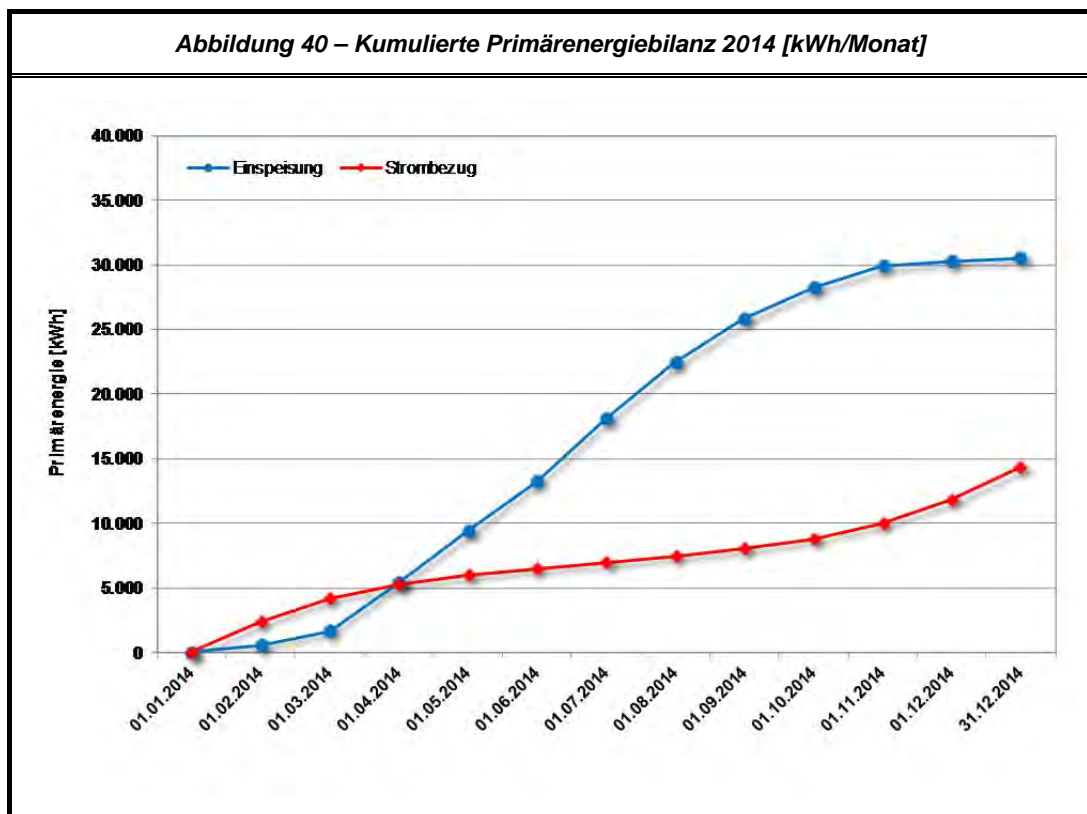


### 8.1.2 Kumulierte Primärenergiebilanz

Folgende Abbildungen zeigen die kumulierten Primärenergiebilanzen mit gewichteten Primärenergiefaktoren (allgemeiner Strommix 2,4 / Verdrängungsstrommix 2,8) für die Betriebsjahre 2013 und 2014.







Damit sind auch die primärenergetischen Bilanzen der betrachteten Betriebsjahre 2013 und 2014 positiv.



## **9. Fazit**

Im Rahmen des Projektes konnte nachgewiesen werden, dass das Gebäude den Plus-Energiestandard erfüllt.

Dennoch mussten mittels Monitoring und Datenauswertung eine Vielzahl an Anlagenmängeln festgestellt werden, aus denen Optimierungspotenzial abgeleitet wurde. Die Maßnahmen zur Optimierung wurden teilweise umgesetzt. Weitere Maßnahmen, wie beispielsweise die Optimierung des Temperaturverhaltens des Wärmepumpenkreises stehen noch aus. Das Temperaturverhalten des Kältekreises (Heißgas sowie Kondensation) konnte bis zum Ende dieses Berichtes nicht vollständig geklärt werden. Auch die angestrebte Leistungszahl der Wärmepumpe im Jahresmittel konnte nicht erreicht werden.

Bei der Bewertung von Wärmepumpen steht die Leistungszahl (COP) meist im Mittelpunkt. Bei zunehmend energieeffizienteren Neubauten, die über Niedertemperatur-Flächenheizungssysteme verfügen, wird der Unterschied der Wärmesenktemperaturen im Heizungs- und Warmwasserbetrieb immer größer und führt letztlich dazu, dass sich das Verhältnis zwischen dem Heizenergiebedarf und Warmwasserenergiebedarf zunehmend in der Effizienz der Wärmepumpe bzw. Jahresarbeitszahl (JAZ) niederschlägt. Eine Wärmepumpe im Passivhaus arbeitet fast die Hälfte ihrer Betriebszeit im Warmwasserbetrieb, also einem Betriebspunkt, der nur eine geringe Effizienz zulässt [5]. Ein Gebäude mit einem geringeren Dämmstandard wird daher bei gleichem Wärmepumpen-, Heizungs- und Brauchwassererwärmungssystem aufgrund des relativ höheren Heizenergiebedarfes eine bessere JAZ erzielen können. Muss daher nicht eine Fokussierung auf die JAZ als Bewertungskriterium für eine effiziente und wirtschaftliche Betriebsweise einer Wärmepumpenanlage überdacht werden? Und wie soll dabei zukünftig selbst erzeugter, aus regenerativen Quellen stammender Strom Berücksichtigung finden?

Erheblichen Einfluss haben weiterhin periphere Wärmeerzeugungs- und -speicherungssysteme. Eine solarthermische Anlage beispielsweise, die bei richtiger Dimensionierung eine 100 %-ige Deckung während der Sommermonate erzielen kann, verändert damit die Notwendigkeit zur sommerlichen Wärmebereitstellung durch die Wärmepumpe und hat somit erheblichen Einfluss auf deren Jahresarbeitszahl. Soll allerdings der sommerliche Überschuss einer Photovoltaik-Anlage bewusst genutzt werden, um den Wärmespeicher direkt oder indirekt, mittels Wärmepumpe, zu überladen, verändert sich die Situation erneut. Oftmals sind



auch die Wechselwirkungen, die zur gegenseitigen Beeinflussung der Systeme und deren Leistungsfähigkeit führen, auf den ersten Blick nicht zu erkennen. Im Projekt führte beispielsweise die Solaranlage zur Verringerung der Leistungszahl der Wärmepumpe im Sommer, da der Warmwasserbedarf und Betriebsbereitschaftsverlust des Speichers nicht voll durch die Solaranlage gedeckt werden konnte und die Wärmepumpe im Nachheizbetrieb für die Warmwasserbereitung den Speicher bei verhältnismäßig hohen Speichertemperaturen nachheizen musste.

Wie soll bei der Komplexität der verschiedenen Lösungen und Systeme, die mittlerweile auf dem Markt verfügbar sind und dementsprechend beworben werden, der Heizungsanlageninstallateur, der sich nun auch noch mit der Thematik Photovoltaik und Eigenverbrauchsoptimierung konfrontiert sieht, oder Fachplaner zu einer nachhaltigen und energieeffizienten Lösung finden, die zudem den Anspruch der Wirtschaftlichkeit Genüge tut?

Es hat sich auch in diesem Projekt gezeigt, dass bei fehlender Standardisierung von Systemlösungen und insbesondere der systemübergreifenden (integralen) Regelungstechnik Fehler vorprogrammiert sind, die leider zum größten Teil den Nutzern nicht auffallen dürften, weil nur eine äußerst geringe Anzahl der installierten Systeme über ein Monitoring mit Datenauswertung verfügen oder mit einer Zentralregelung ausgestattet sind, die Anlagenmängel detektieren und kommunizieren. Wie viele Gebäude werden mit ähnlichen, jedoch nie festgestellten Mängeln betrieben und wie kann man diese identifizieren? Ergibt sich damit nicht zwingend die Notwendigkeit, Anlagen – zumindest in der anfänglichen Phase bis zur Systemstandardisierung – zu überwachen?

Die Herausforderung besteht künftig, weniger Einzelkomponenten von Systemen zu optimieren, sondern vielmehr Gesamtsysteme zu definieren und aufeinander abzustimmen, dass sie für den jeweiligen Anwendungsfall unter Nutzung der zur Verfügung stehenden Gegebenheiten energieeffiziente und vor allem wirtschaftliche Lösungen darstellen, die zudem unter dem Aspekt des „Mängelpotenzials“ bei Herstellung, Planung, Ausführung und Betrieb der Anlage ausreichend robust reagieren. Hier werden Systemlieferanten der Industrie umso mehr gefordert werden müssen, damit die „neuen“ Systeme nicht irgendwann in Verruf geraten.



Auch im Projekt blieben am Ende eine Vielzahl an Fragen offen, die auch mittels eines Monitorings und einer darauf aufbauenden Datenauswertung nur vermutend beantwortet werden können. Sie geben letztendlich auch einen kleinen Einblick in die Situation, mit der sich bei der gestiegenen Komplexität der Systeme Planer zunehmend konfrontiert sehen. Im Folgenden hierzu einige Beispiele:

- Welchen Beitrag liefert eine gezielte Speicherüberladung mit Eigenstrom, insbesondere in den überschussreichen Sommermonaten, in denen sich der Wärmeenergiebedarf auf die Warmwasserbereitstellung und Deckung der Speicherverluste reduziert? Welchen Einfluss haben dann die Speichergrößen und die deutlich reduzierte Leistungszahl der Wärmepumpe im Hochtemperaturbetrieb? Wie wirkt sich dabei die derzeit diskutierte Versteuerung von selbst genutztem Strom und die Anpassung der Einspeisevergütung im Laufe der Lebensdauer der Anlage aus?
- Welchen Einfluss haben größere solarthermische Kollektorflächen auf die JAZ und Verringerung der Laufzeit der Wärmepumpen, insbesondere auch unter wirtschaftlichen Aspekten?
- Kann die Wärmepumpe nicht mit gleicher oder sogar besserer Effizienz und Wirtschaftlichkeit nicht permanent aus dem Eisspeicher versorgt werden oder ist sogar eine direkte, alleinige Versorgung aus einem Absorber, der zudem die Photovoltaikmodule zur Wirkungsgraderhöhung kühlen könnte, zielführend?
- Wie sollte eine Regelung, neben der klassischen Aufgabe der Sicherstellung der korrekten Funktionsweise und Absicherung der Teilsysteme wie Wärmepumpe und Solarthermie-/ Photovoltaikanlage(n) die immer komplexere (und dynamisch ändernde) Energiesituation Netzeinspeisung – Eigenverbrauch in Verbindung mit (Wärme-)Energiespeicherung und Vorrang für unter klimatischen oder nutzungsabhängigen Zuständen effizienter funktionierende Teilsysteme optimal managen?
- Kann mit monatsweiser Bilanzierung nach Energieeinsparungsverordnung der Komplexität in der Anlagenkonfiguration, Hydraulik und Regelung hinsichtlich der Ermittlung der realen Systemeffizienz und Endenergiebedarf überhaupt



noch Rechnung getragen werden oder können nur durch detailliertere Verfahren die zu erwartenden Verbräuche hinreichend genau ermittelt werden?

Letztlich ist es fraglich, ob der Trend zur Vergrößerung der photovoltaischen Energieerzeugerfläche – auch in Anbetracht der vorgenannten Problematik - nicht auch dazu führen kann, dass die periphere Anlagentechnik hinsichtlich ihrer Effizienz zunehmend weniger Beachtung findet, da bei einer Bilanzierung des Gebäudes so ein positives Ergebnis bzw. Energieüberschüsse leicht zu erzielen sind und gesetzlich geforderte oder förderungs- bzw. öffentlichkeitswirksame Energiekennwerte einfach erfüllt werden können.

Im Projekt zum Erfassen der Anlagendaten ist auch die Erfahrung gemacht worden, dass im Sinne einer möglichst stabilen Messdatenerfassung und einfacheren Messsignalverarbeitung eine strikte Trennung der in der Anlage für Regelungsaufgaben verwendeten Messfühler von den Fühlern, die zur Datenauswertung herangezogen werden, gemacht werden muss.

Nur so können Messgeräte und Datenlogger-Technik geeignet ausgewählt werden, damit plausible und vor allem vertrauenswürdige und belastbare Daten zur Bewertung und zum Abgleich mit Messwerten aus anlagenseitig verwendeten Messgeräten vorliegen. Im Vorfeld muss klar definiert werden, welche Verantwortlichkeiten bei welcher Art von Fehlern oder Optimierungsmaßnahmen entstehen. Wie soll beispielsweise ein (Heizungs-) Anlageninstallateur oder Systemlieferant für Mängel verantwortlich gemacht werden, die nur im komplexen Zusammenspiel mit anderen Systemen oder Gewerken Relevanz erlangen? Arbeitet eine solarthermische Anlage schlecht, wenn durch eine gewollte Überladung des Speichers mit (überschüssigem) PV-Strom das allgemeine Temperaturniveau steigt und damit der Kollektorwirkungsgrad sinkt oder die Anlage sogar in Stillstand geht? Umso schwieriger wird es, wenn bei der Anlagenkonzeption, wie bei den meisten kleineren Anlagen der Heizungstechnik im Ein- oder Zweifamilienhausbereich üblich, kein TGA-Planer die Gesamtverantwortlichkeit übernimmt.

Im Projekt konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die zur Erhöhung der Anlagenperformance beitragen. Leider bestätigte sich aber erneut, dass neben den Problemen, die neue Anlagentechniken mit sich bringen, immer wieder „klassische“ Mängel zum Fehlverhalten und zur Leistungsminderung von Systemen führen. Das Konzept, trotz der offenen Fragen hinsichtlich weiterer Optimierungen der Betriebsweise und Konstellation, ist schlüssig und sollte als eine weiter zu



entwickelnde Standardvariante - wie vor erwähnt - weiterverfolgt werden. Hilfreich wären in diesem Zusammenhang begleitende Simulationen gewesen, um die komplexen Zusammenhänge und Wechselwirkungen der Systeme untereinander besser abschätzen zu können.

Es wird sich im weiteren Laufe der Nutzung der Anlage und Lebensdauer der Komponenten noch zeigen müssen, ob das hier gewählte Konzept auch einer Prüfung auf Wirtschaftlichkeit standhalten kann.

Nürnberg, 5. März 2015

Dipl.-Ing. (FH) Wolff Fülle  
Geschäftsführung

Dipl.-Ing. Eckhard Dietz  
Projektleitung

### Anlagen

Diese Ausarbeitung wurde elektronisch versandt und ist ohne Unterschrift gültig.

Das Dokument darf weder auszugsweise noch ohne Zustimmung  
der Wolfgang Sorge IfB GmbH & Co. KG an Dritte verteilt werden.

**Architektur und Energiekonzept**

Gebäudeansicht



Standort

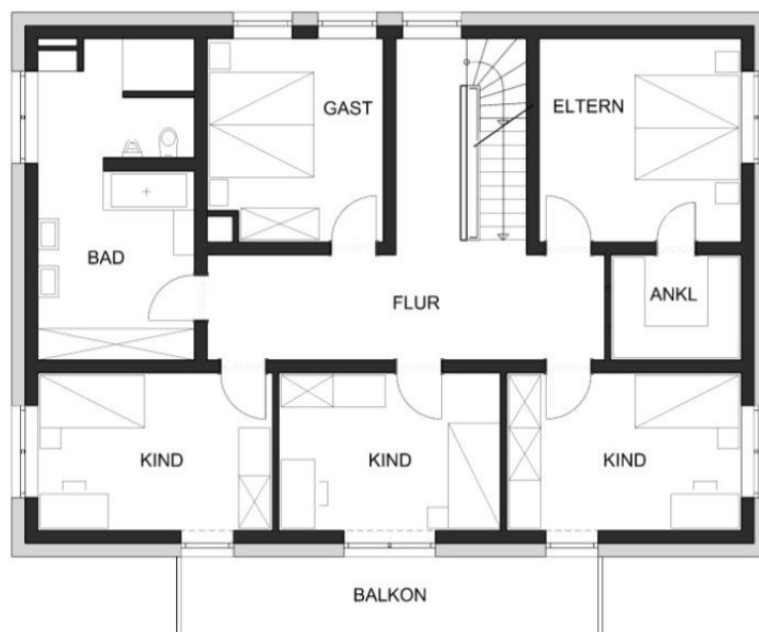


## Architektur und Energiekonzept

## Grundriss Erdgeschoss



## Grundriss Obergeschoss





Architektur und Energiekonzept			
Bauteile			
Bauteil	Aufbau / Material	Dicke [mm]	U-Wert [W/(m²K)]
Außenwand (von innen nach außen)	Kalkputz	10-35	0,15
	Leichtlochziegel	240	
	Mineralfaserplatten WLG 045	260	
	Putz mineralisch	20	
Fenster	Holz-Aluminium Rahmen mit Dreifachverglasung bzw. 3+1 Verglasung mit integrierter Jalousie	-	0,69/0,68
Dach (von oben nach unten)	Ziegel bzw. PV-Indachanlage		0,10
	Traglattung	30	
	Hinterlüftung	30	
	Unterdeckplatte WLG 047	35	
	Mineralfaser WLG 035 zwischen thermisch getrennten Sparren	320	
	Dämm-Ausbauplatte WLG 030	50	
	GKF-Platte	10	
Bodenkonstruktion (von oben nach unten)	Feinsteinbelag	12	0,14
	Gussasphaltestrich	30	
	Holzfaserdämmplatte u. Schüttung (20mm)	70	
	Bitumenbahn	5-10	
	Normalbeton	250	
	Polystyrol-Extruderschaum WLG040	200	

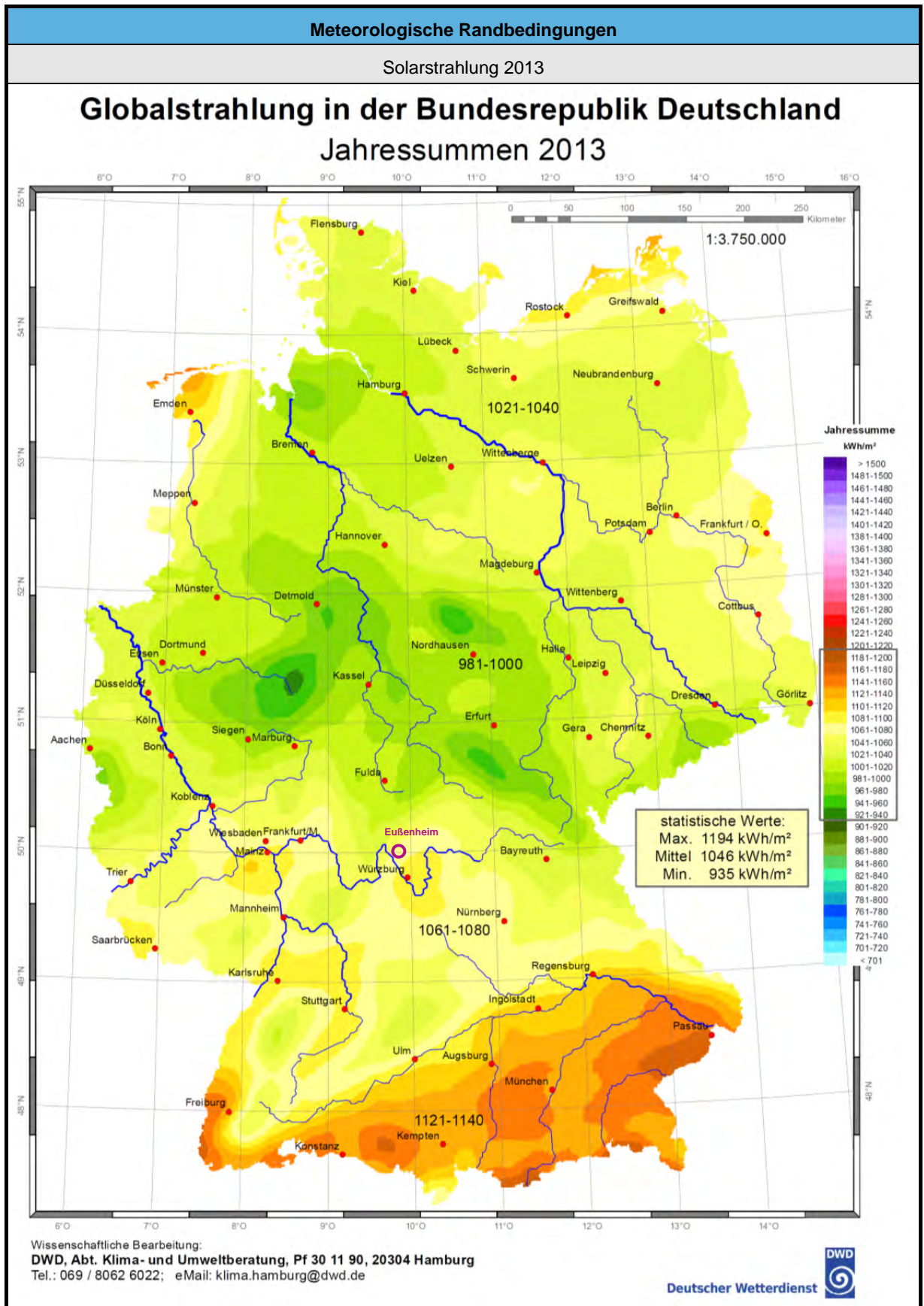
Energiekonzept		
<ul style="list-style-type: none"> <li> Elektroauto</li> <li> Elektrogeräte</li> <li> Leuchten</li> <li> Lüftung Wärmerückgewinnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Photovoltaikanlage</li> <li> Solarthermieanlage</li> <li> Speicher</li> <li> Stromnetz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li> Trinkwasser</li> <li> Warmwasser</li> <li> Wärmepumpe</li> <li> Wechselrichter</li> </ul>

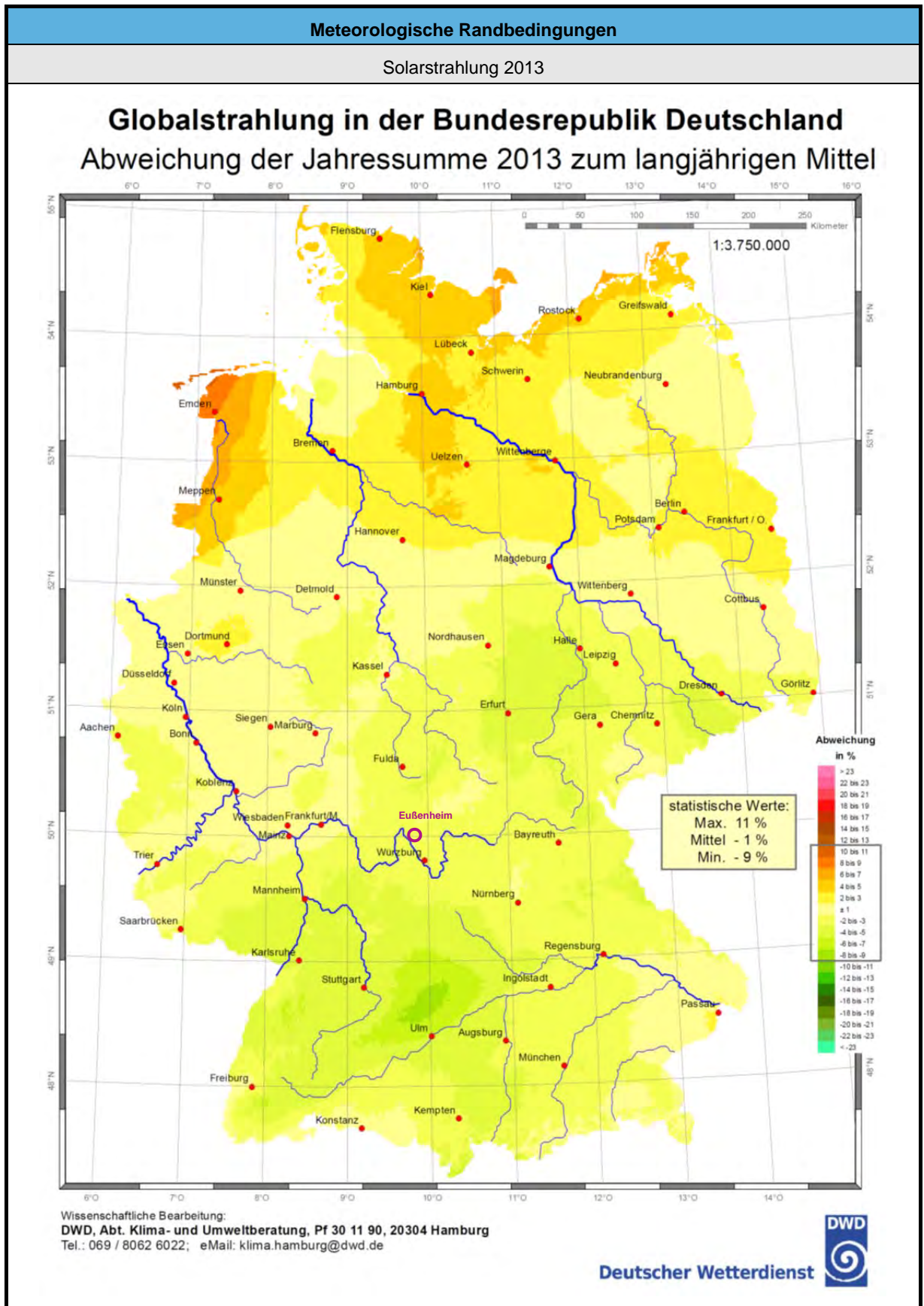
Quelle: Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt

Architektur und Energiekonzept		
Energiebedarfsberechnung		
Projekt 11-08 Errichtung Einfamilienwohnhaus mit Garage und Carport	Architekturbüro Werner Haase Julius-Echter-Straße 59 97753 Karlstadt	
<b>Kurzergebnisse</b>		
<b>Variante: KfW40 HT+Haller Dach nach Ausführung</b>		
Berechnung vom 31.07.2012 16:29:33 BKI Energieplaner Version 10.1.0 Berechnungsmodus: Energieausweis und EnEV-Nachweis nach EnEV §16 Abs. 1 (Neubau, Umbau) Klimaregion: Referenzklima Berechnungsvorschrift: EnEV 2009 mit DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10		
<b>Zonen:</b>	<b>Zone Unbeheizt</b> (unbeheizte Zone)	
	<b>Zone Wohnbereich</b> (beheizte Zone)	
	beheiztes Volumen $V_w$	1.276,4 m <sup>3</sup>
	Luftvolumen $V$	970,1 m <sup>3</sup>
	Gebäudenutzfläche $A_{NW}$	408,5 m <sup>2</sup>
	Innentemperatur	19,0 °C
	Luftwechselrate	0,60 1/h
<b>Bauphysik:</b>	beheiztes Volumen $V_w$	1.276,4 m <sup>3</sup>
	Gebäudenutzfläche $A_{NW}$	408,5 m <sup>2</sup>
	Verhältnis $A/V_w$	0,59 1/m
	Luftvolumen $V$	970,1 m <sup>3</sup>
	Fläche Gebäudehülle $A$	748,2 m <sup>2</sup>
	Fläche Außenwände $A_{AW}$	520,8 m <sup>2</sup>
	Fläche Fenster $A_F$	56,0 m <sup>2</sup>
	Fensterflächenanteil $A_F/(A_{AW} + A_F)$	10 %
<b>Wärmebilanz:</b>	spezifischer Transmissionswärmeverlust $H_T$ :	0,183 W/(m <sup>2</sup> K)
	Nutzwärmebedarf Heizung $Q_h$	11.251 kWh/a
	spezifischer Heizwärmebedarf $q_h$	28 kWh/m <sup>2</sup> a
	Transmissionswärmeverluste $Q_t$	11.736 kWh/a
	Lüftungswärmeverluste $Q_v$	16.958 kWh/a
	solare Warmegewinne $Q_s$	5.283 kWh/a
	interne Warmegewinne $Q_i$	12.160 kWh/a
	Warmwasserwärmebedarf $Q_{ww}$	5.106 kWh/a
<b>Ergebnisse:</b>	Endenergiebedarf $Q_e$	3.331 kWh/a
	Primärenergiebedarf $Q_p$	8.659 kWh/a
	Anlagenverluste $Q_a$	3.488 kWh/a
	Anlagenaufwandszahl $e_p$	0,53
	spezifischer Transmissionswärmeverlust $H_T'$	0,18 W/m <sup>2</sup> K
	zulässiger spez. Transmissionswärmeverlust zul. $H_T'$	0,50 W/m <sup>2</sup> K
	spezifischer Primärenergiebedarf $Q_p''$	21,2 kWh/m <sup>2</sup> a
	spezifischer Primärenergiebedarf $Q_p'$	6,8 kWh/m <sup>2</sup> a
	zulässiger spez. Primärenergiebedarf zul. $Q_p''$	64,6 kWh/m <sup>2</sup> a
	zulässiger spez. Primärenergiebedarf zul. $Q_p'$	20,7 kWh/m <sup>2</sup> a
<b>Ergebnisse für das Referenzgebäude:</b>		
<b>Wärmebilanz:</b> (Referenzgebäude)	spezifischer Transmissionswärmeverlust Ref. $H_T'$ :	0,340 W/(m <sup>2</sup> K)
	Nutzwärmebedarf Heizung $Q_h$	17.542 kWh/a
	spezifischer Heizwärmebedarf $q_h$	43 kWh/m <sup>2</sup> a
	Transmissionswärmeverluste $Q_t$	21.664 kWh/a
	Lüftungswärmeverluste $Q_v$	15.440 kWh/a
	solare Warmegewinne $Q_s$	6.856 kWh/a
	interne Warmegewinne $Q_i$	12.706 kWh/a
	Warmwasserwärmebedarf $Q_{ww}$	5.106 kWh/a
<b>Ergebnisse:</b> (Referenzgebäude)	Endenergiebedarf Kühlung $Q_{c,k}$	0 kWh/a
	Primärenergiebedarf Kühlung $Q_{c,p}$	0 kWh/a
	Endenergiebedarf $Q_e$	22.424 kWh/a
	Primärenergiebedarf $Q_p$	26.393 kWh/a
	Anlagenverluste $Q_a$	3.892 kWh/a
	Anlagenaufwandszahl $e_p$	1,17

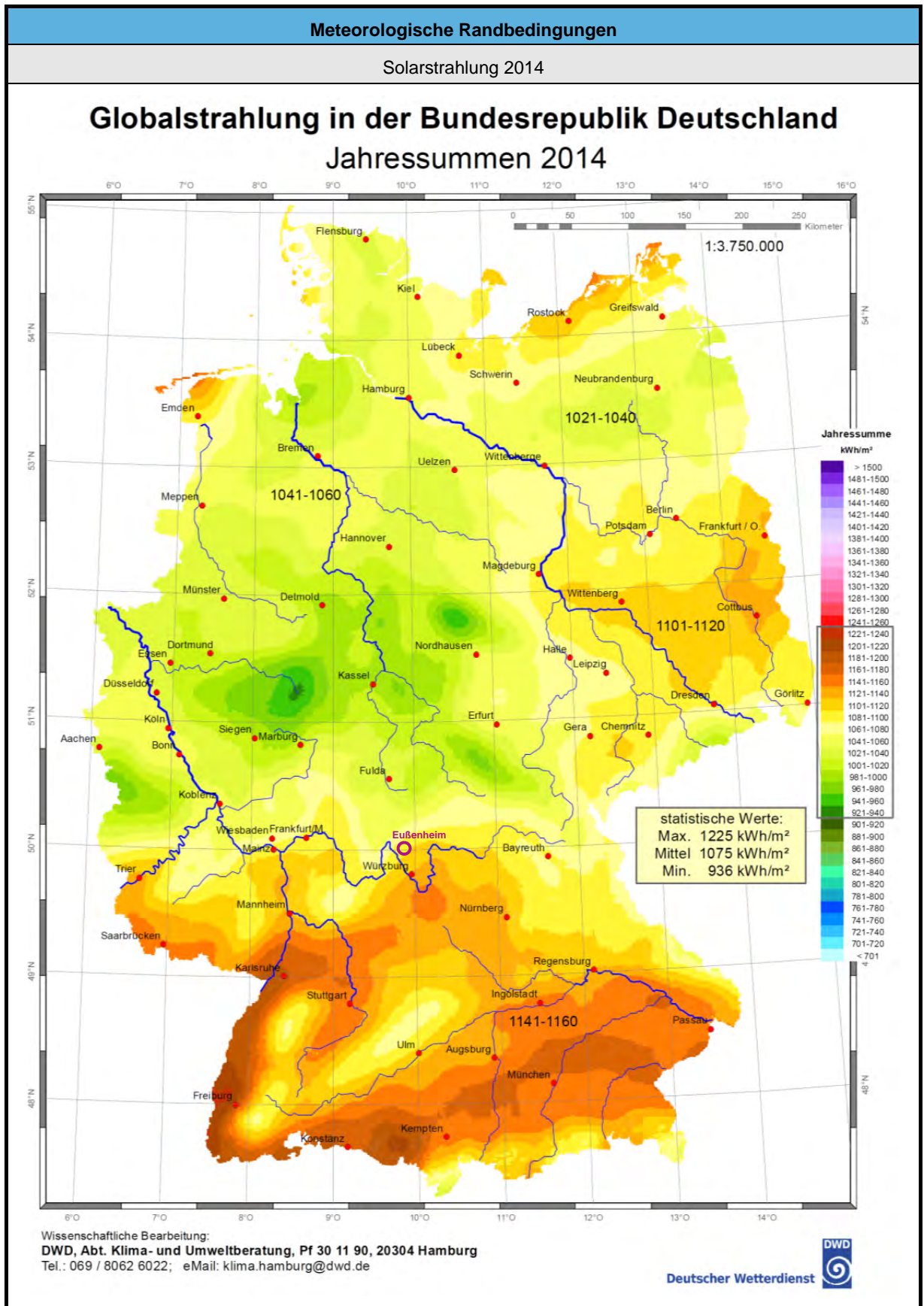
Quelle: Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt

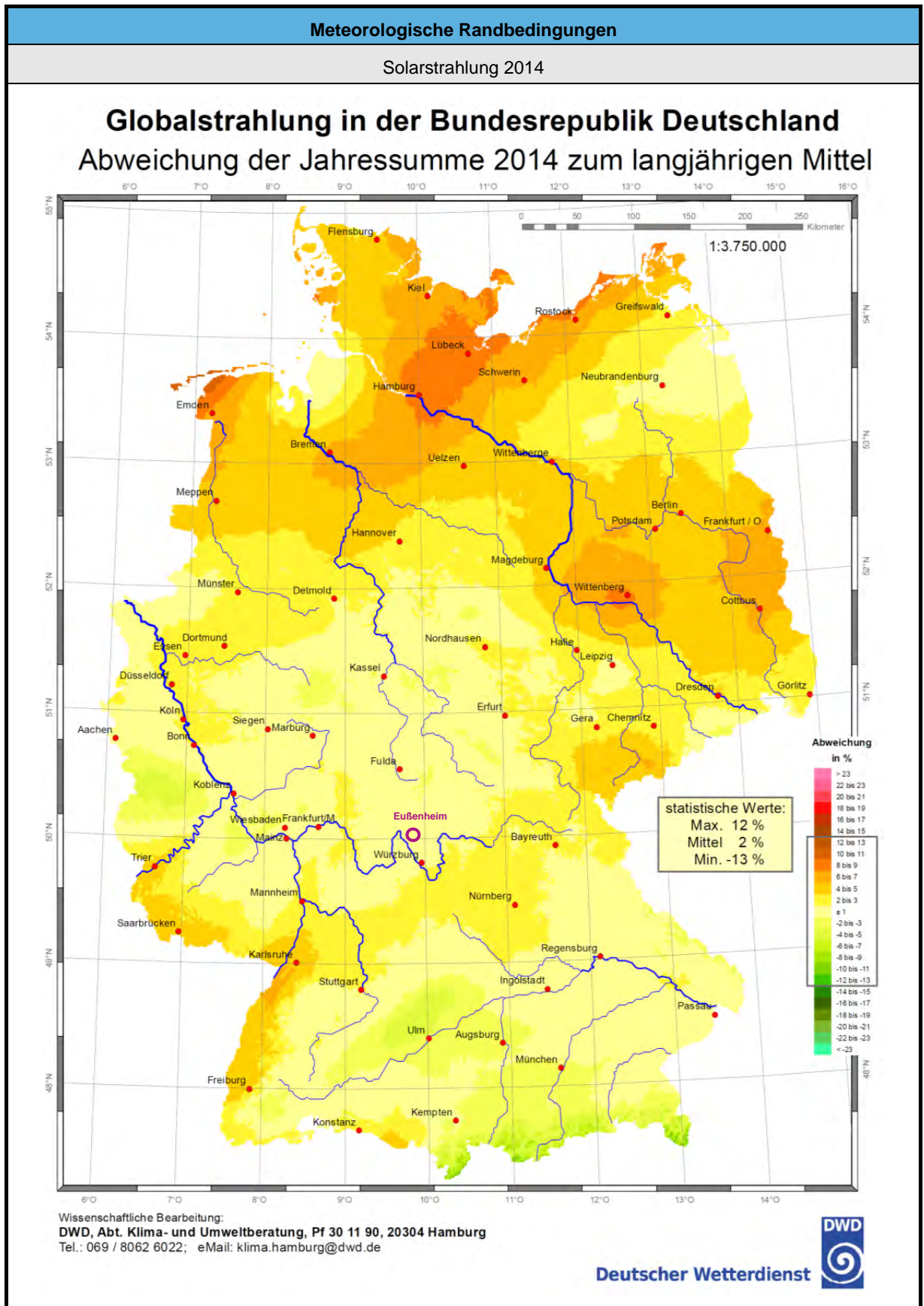




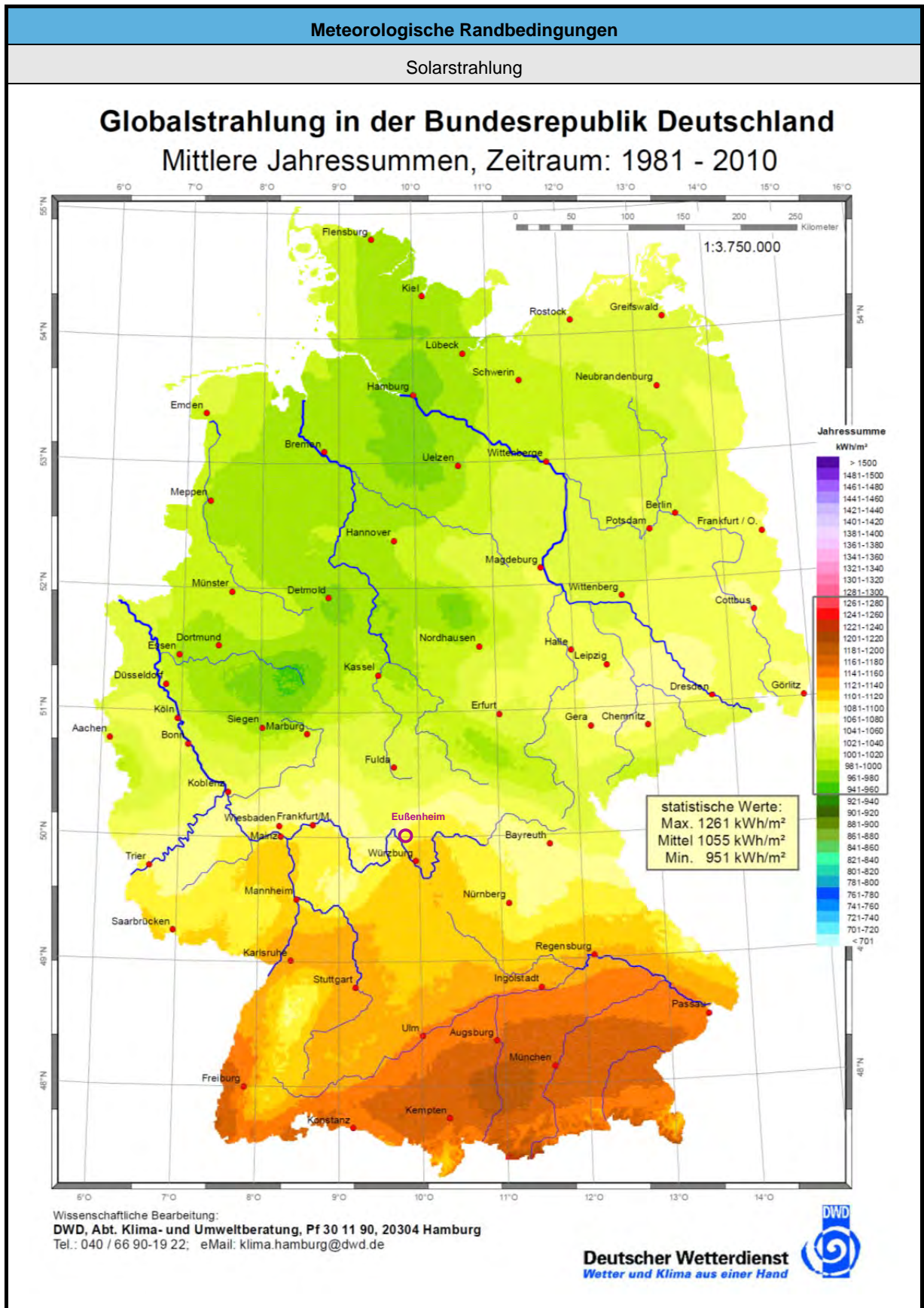
















**Messstellen Monitoring**

Heizungsregler für die Messwerterfassung



Solarkreis



**Messstellen Monitoring**

Heizungskreis



Heizungskreis



Messstellen Monitoring

Absorberkreis



Warmwasserkreis





**Messstellen Monitoring**

Warmwasserkreis



Schichtspeicher



Messstellen Monitoring

Eisspeicher



Eisspeicher



**Messstellen Monitoring**

Elektrozähler



Elektrozähler





Messstellen Monitoring

Lüftungsanlage



Lüftungsanlage



**Messstellen Monitoring**

Photovoltaikanlage



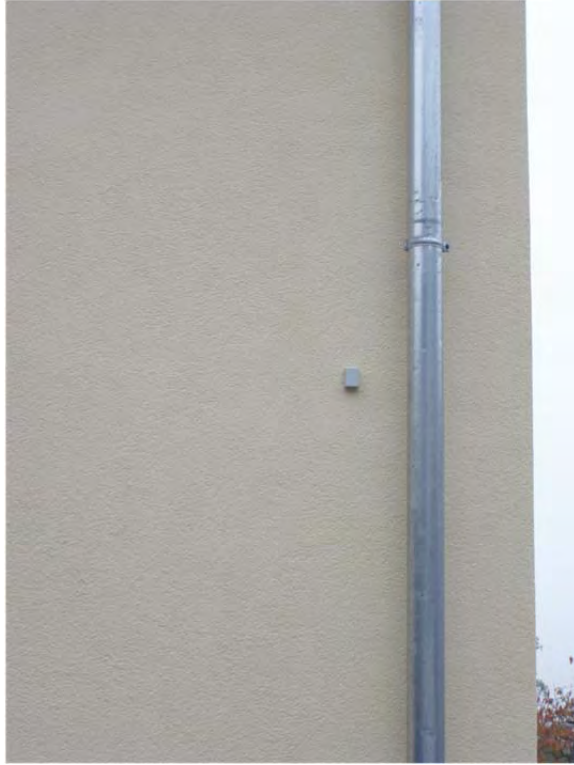
Wechselrichter





**Messstellen Monitoring**

Außentemperatur-Fühler für die Heizungsregelung



Wetterstation



**Messstellen Monitoring**

Raumlufttemperatur-Fühler

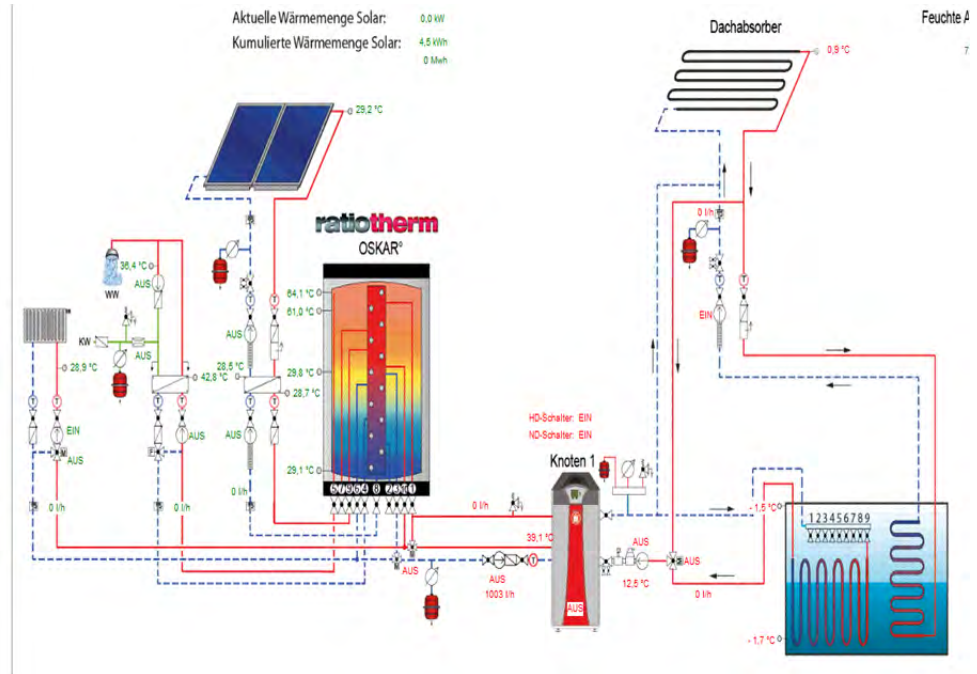


Ferndatenauslesung

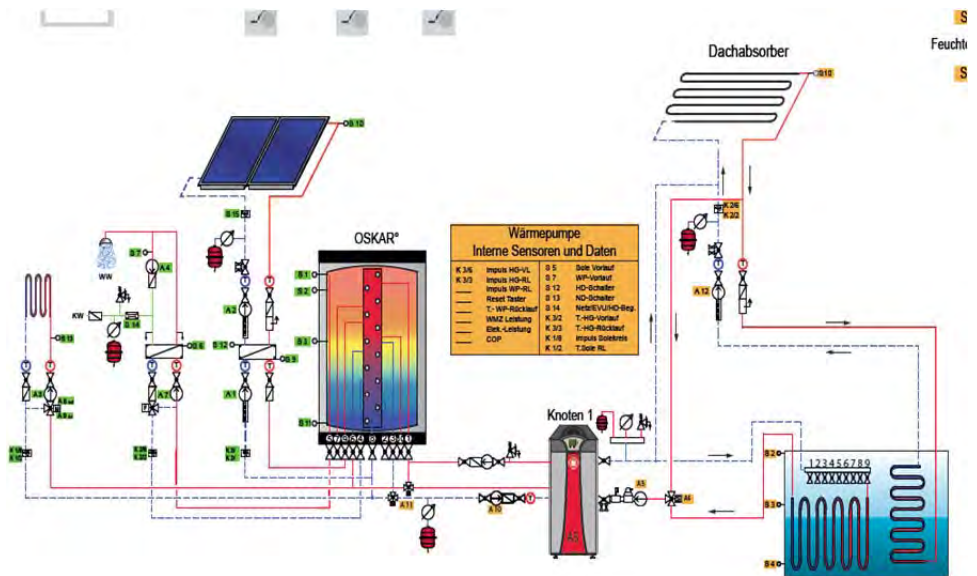


**Anlagenschema**

Stand 12-2012



Stand 11-2013



**Messstellenverzeichnis**Quelle der Wärmepumpe

Messstelle	Einheit
T_Eisspeicher_Oben	°C
T_Eisspeicher_Unten	°C
T_VL_Dachabsorber	°C
T_RL_Dachabsorber	°C
mdot_Dachabsorber	l/h
T_VL_Verdampfer	°C
T_RL_Verdampfer	°C
mdot_Verdampfer	l/h
Pumpe_Verdampfer	0/1
Pumpe_Regeneration	0/1
Ventil_Absorber_Eisspeicher	0/1
Verdampfer_Leistung	kW
Verdampfer_Energie	kWh
Regeneration_Leistung	kW
Regeneration_Energie	kWh

Ob der Verdampfer der Wärmepumpe vom Umweltabsorber oder vom Eisspeicher versorgt wird, wird in der Auswertesoftware MoniSoft in Abhängigkeit des Schaltzustandes der „Pumpe\_Verdampfer“ und der Ventilstellung „Ventil\_Absorber\_Eisspeicher“ berechnet. Der momentane Leistungswert des Verdampfers - welcher über den Wärmemengenzähler des Verdampfers bestimmt wird - wird dann dem Umweltabsorber oder dem Eisspeicher zugeordnet.

Wärmepumpe

Messstelle	Einheit
HD-Schalter	0/1
ND-Schalter	0/1
WP_Anforderung	0/1
WP_Netzfregabe	0/1
WP_Reset	0/1
WP_COP	-

Senke der Wärmepumpe

Messstelle	Einheit
T_VL_Kondensator	°C
T_RL_Kondensator	°C
mdot_Kondensator	l/h
T_VL_Heissgas	°C
T_RL_Heissgas	°C
mdot_Heissgas	l/h
Pumpe_Speicher	0/1
Ventil_Heizung_Speicher	0/1
Kondensator_Leistung	kW
Kondensator_Energie	kWh
Heissgas_Leistung	kW
Heissgas_Energie	kWh

Vakuümröhrenkollektor

Messstelle	Einheit
T_VL_Solar_sekundaer	°C
T_RL_Solar_sekundaer	°C
mdot_Solar_sekundaer	l/h
T_VL_Solar_primaer	°C
T_RL_Solar_primaer	°C
Pumpe_Solar_sekundaer	0/1
Pumpe_Solar_primaer	0/1
Solar_Leistung	kW
Solar_Energie	kWh

Schichtspeicher

Messstelle	Einheit
T_Oben	°C
T_Warmwasser	°C
T_Mitte	°C
T_Unten	°C

Warmwasser

Messstelle	Einheit
T_VL_Warmwasser	°C
T_RL_Warmwasser	°C
mdot_Warmwasser	l/h
T_HX_Warmwasser	°C
T_Zirkulation	°C
Pumpe_Warmwasser	0/1
Pumpe_Zirkulation	0/1
Strömungsschalter	0/1
Warmwasser_Leistung	kW
Warmwasser_Energie	kWh

Heizung

Messstelle	Einheit
T_VL_Heizung	°C
T_RL_Heizung	°C
mdot_Heizung	l/h
T_Waermeabgabe	°C
T_Aussenluft	°C
Pumpe_Heizung	0/1
Mischer_AUF	0/1
Mischer_ZU	0/1
Heizung_Leistung	kW
Heizung_Energie	kWh

Strom

Messstelle	Einheit
Elektroherd_Energie	kWh
Photovoltaik_Leistung	kW
Photovoltaik_Energie	kWh
Netzbezug_Leistung	kW
Netzbezug_Energie	kWh
Netzeinspeisung_Leistung	kW
Netzeinspeisung_Energie	kWh
TGA_Leistung	kW
TGA_Energie	kWh
MSR_Leistung	kW
MSR_Energie	kWh
Waschmaschine_Leistung	kW
Waschmaschine_Energie	kWh
Beleuchtung_Leistung	kW
Beleuchtung_Energie	kWh
Haushalt_Leistung	kW
Haushalt_Energie	kWh
Gewerbe_Leistung	kW
Gewerbe_Energie	kWh

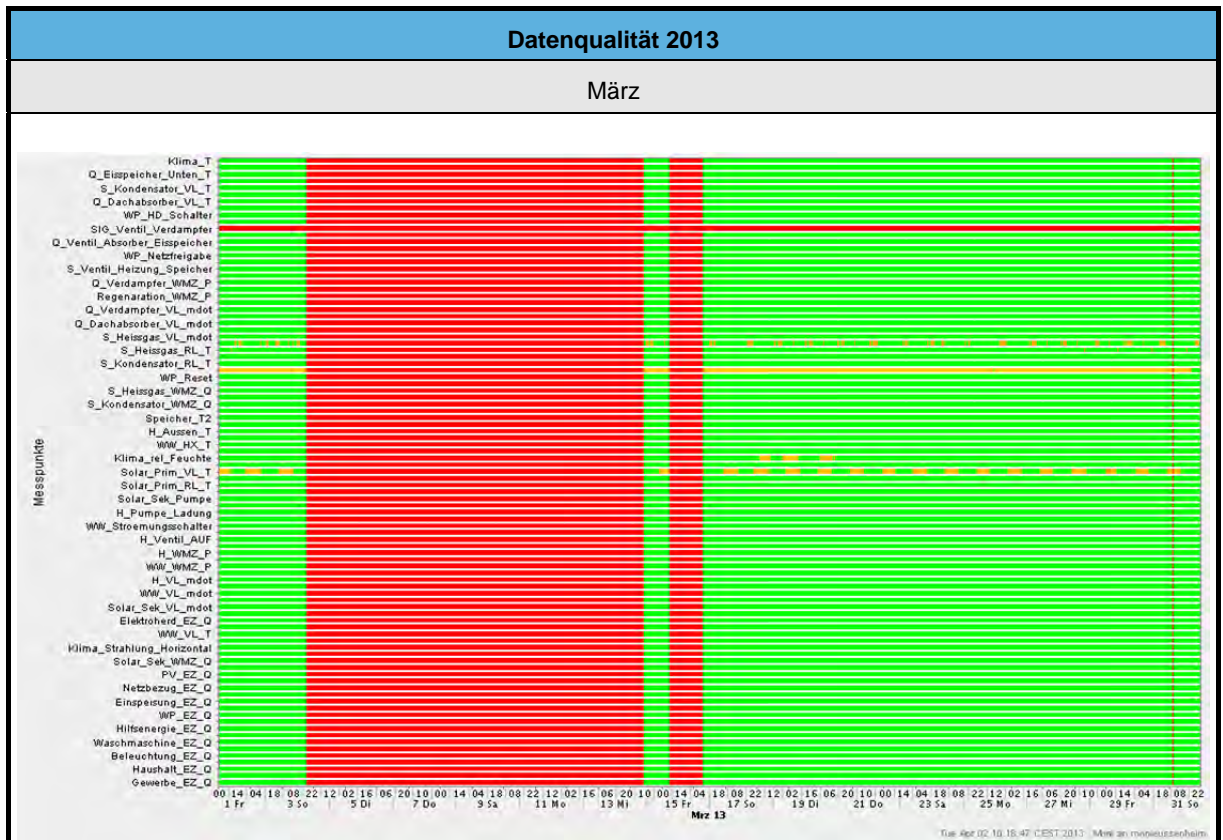
Raum

Messstelle	Einheit
T_Kinderzimmer	°C
T_Kueche	°C
T_Flur	°C

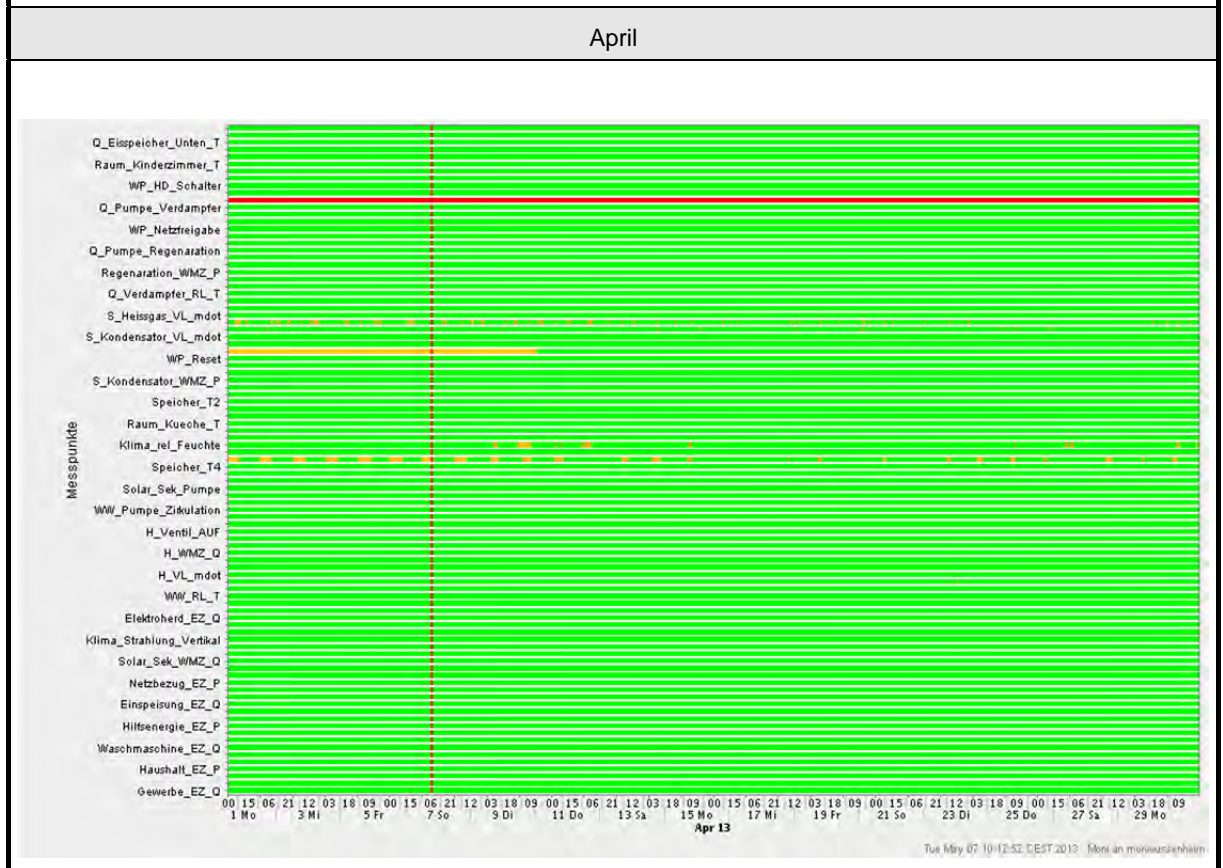
Klima

Messstelle	Einheit
T_Aussen	°C
relative_Feuchte_Aussen	% r.F.
Globalstrahlung_Horizontal	W/m <sup>2</sup>
Globalstrahlung_Vertikal	W/m <sup>2</sup>



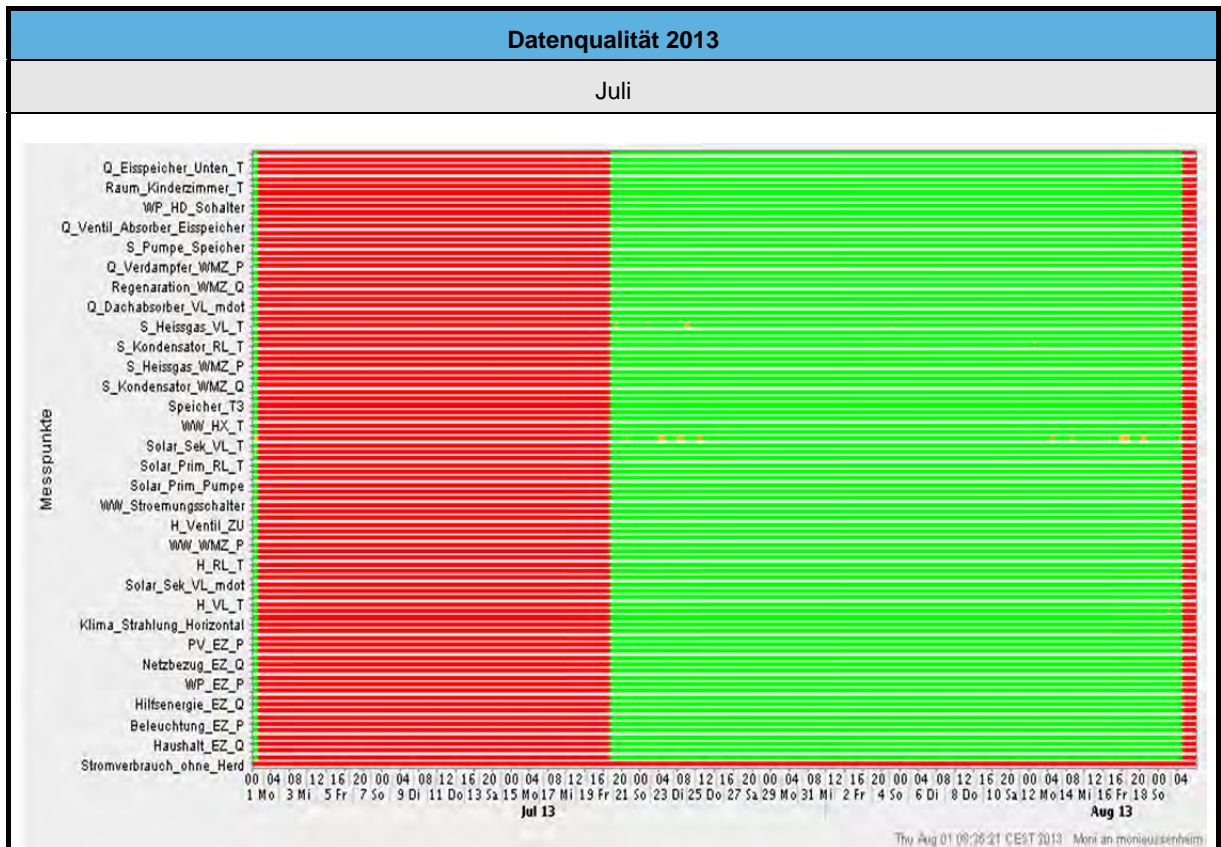


Messdatenverlust infolge ungeklärter Datumsänderung am Heizungsregler  
und Absturz des Bootloaders bei Datumskorrektur

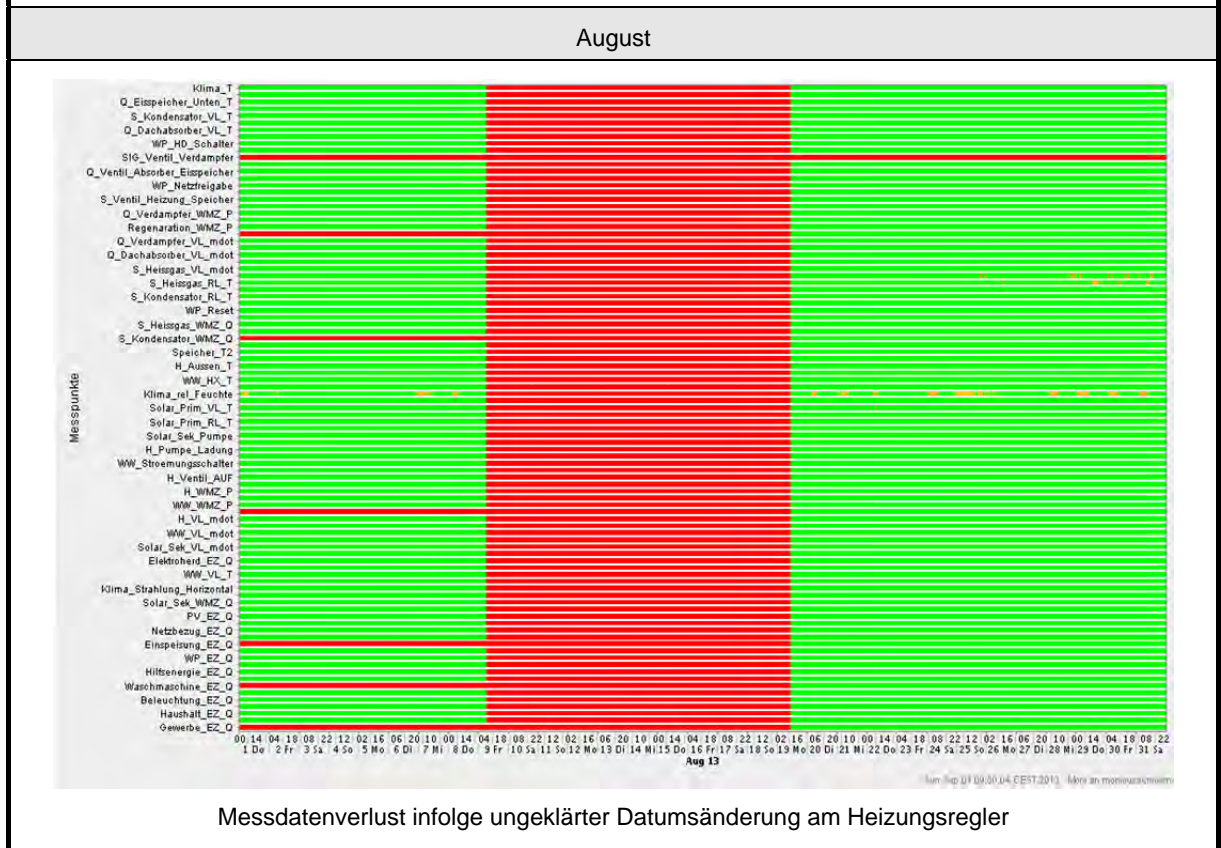




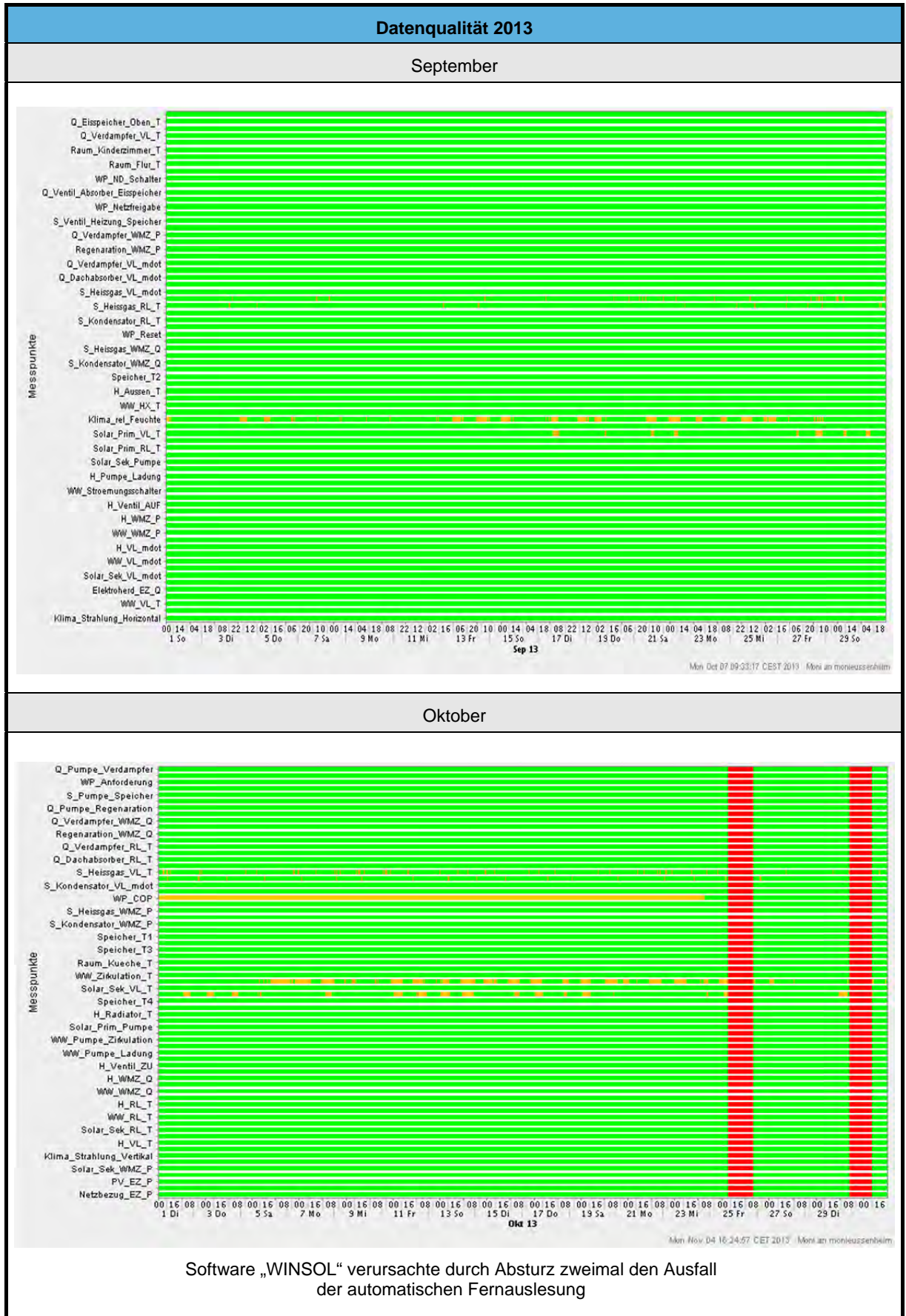




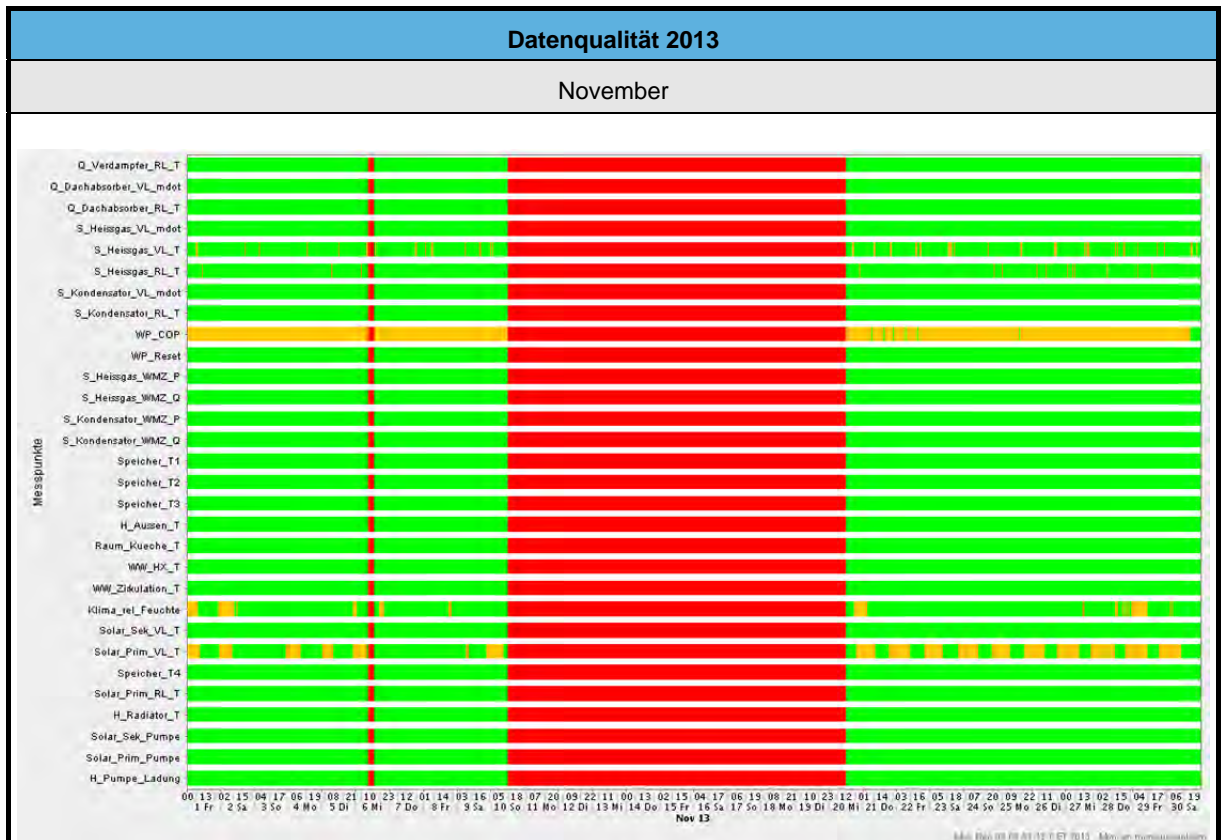
Messdatenverlust infolge ungeklärter Datumsänderung am Heizungsregler



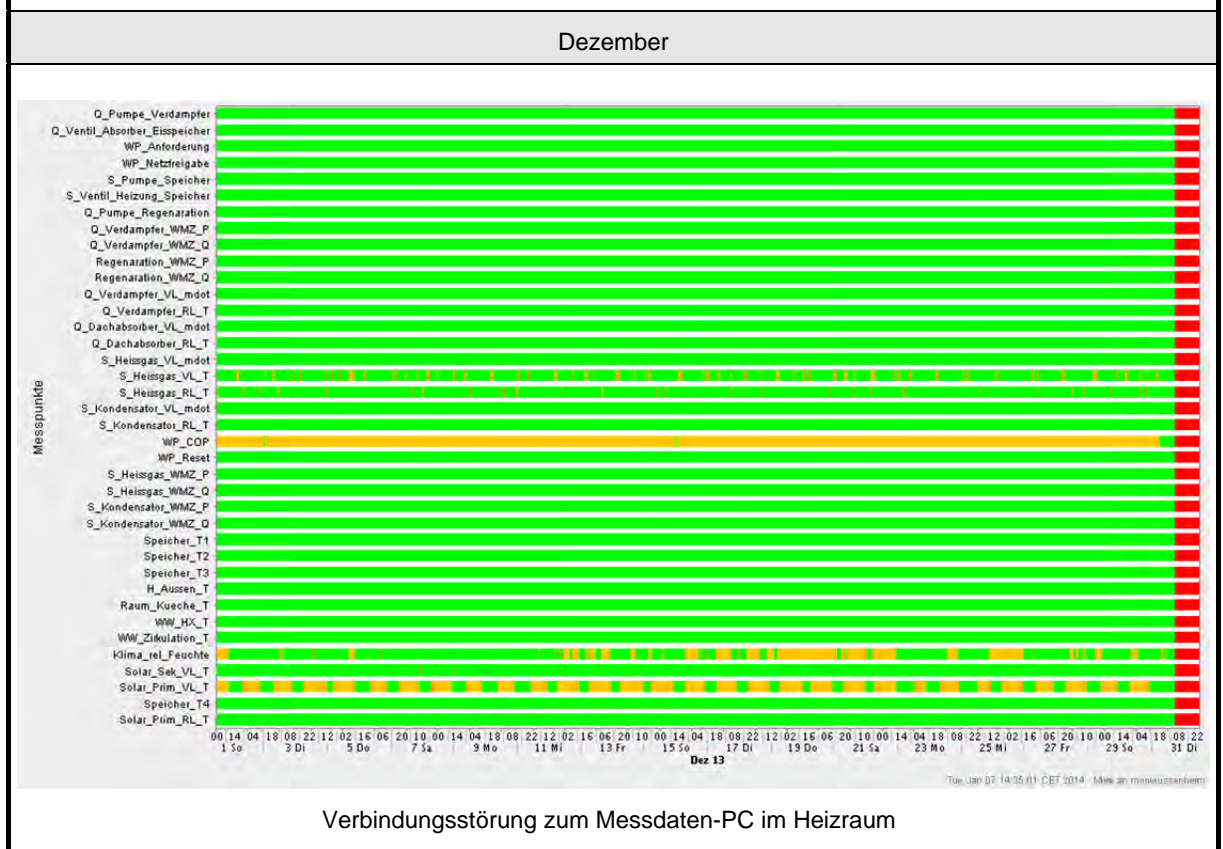
Messdatenverlust infolge ungeklärter Datumsänderung am Heizungsregler



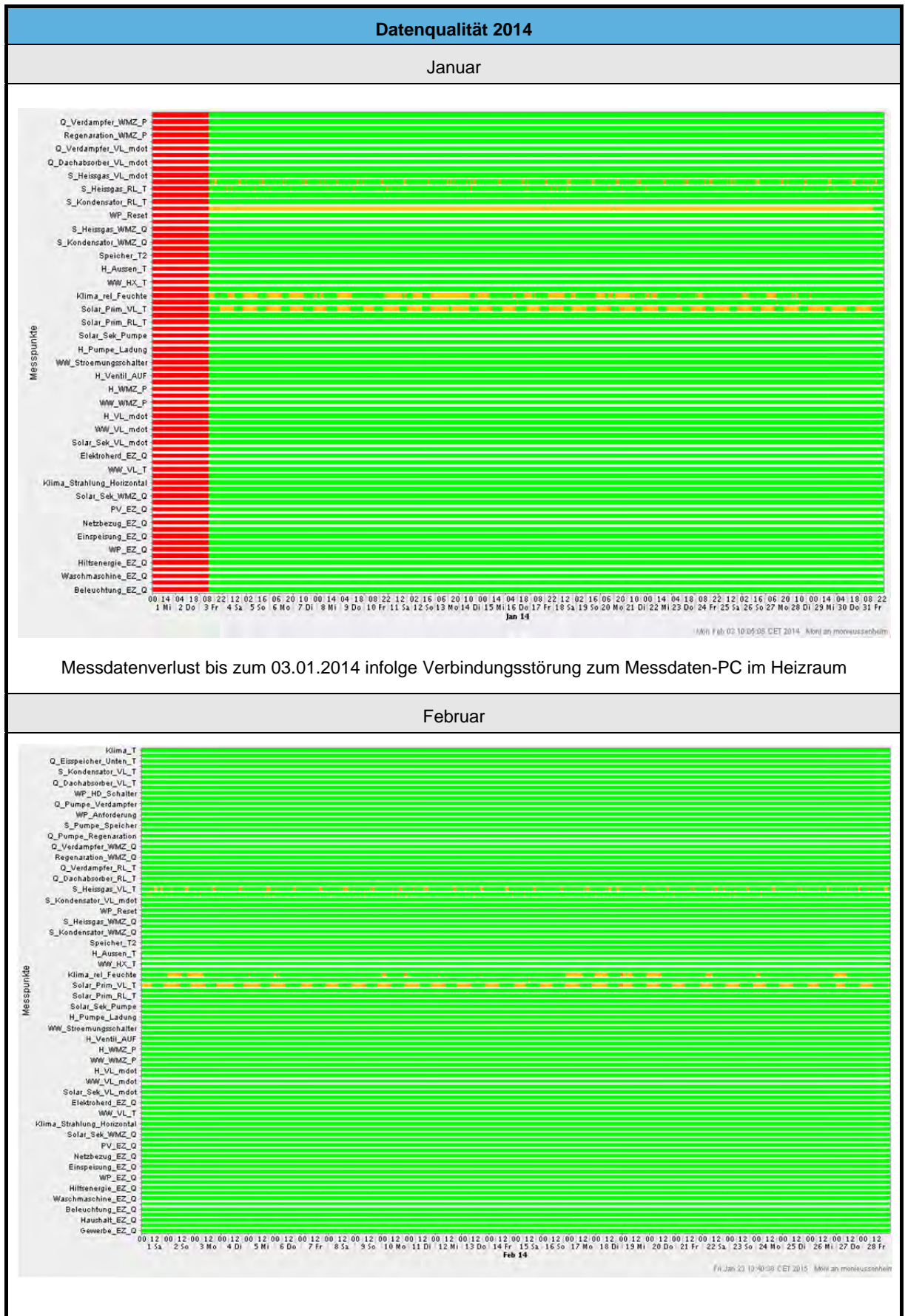


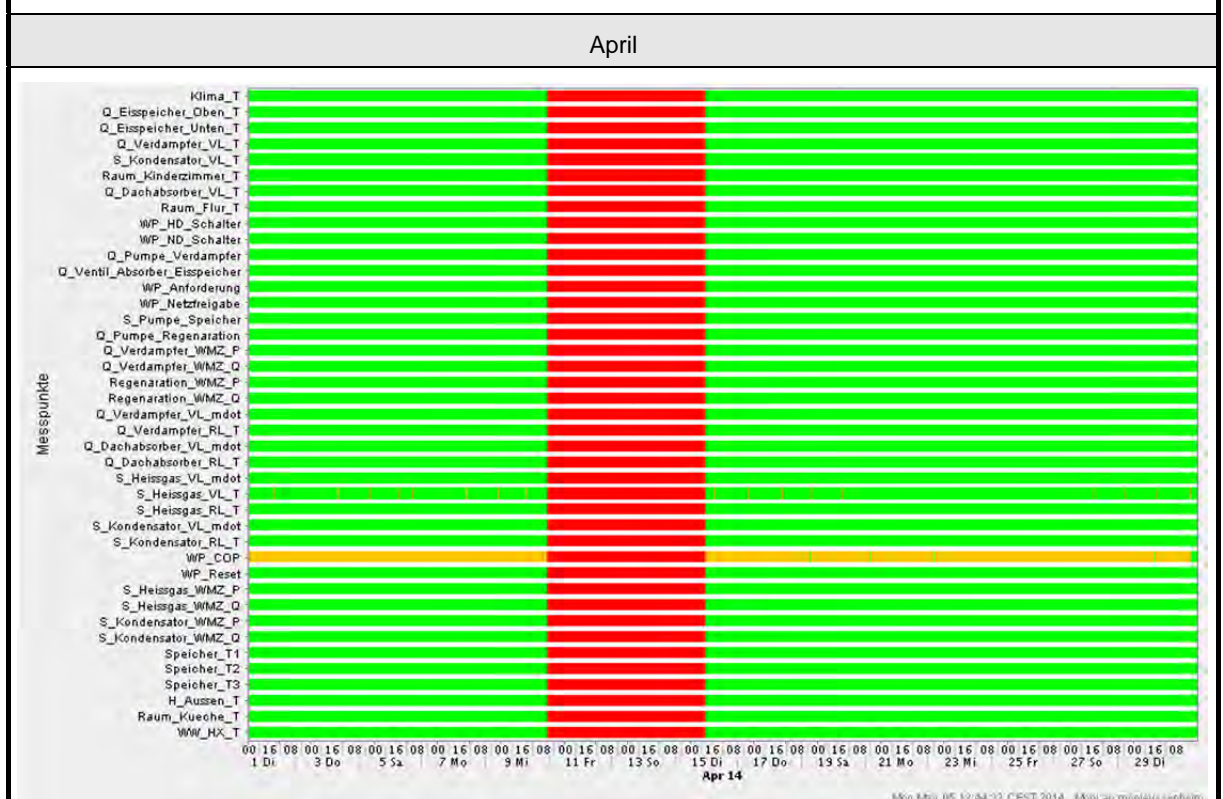
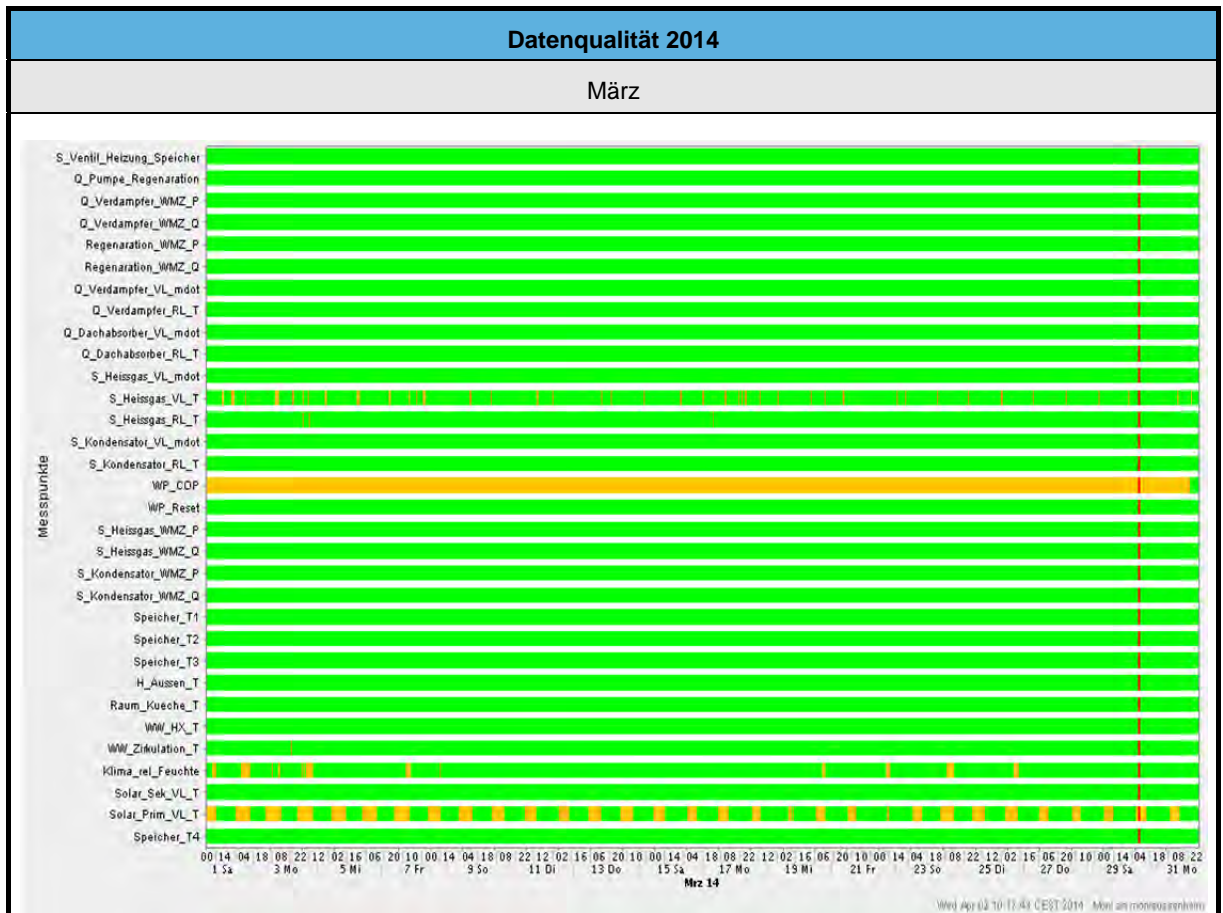


Messdatenverlust infolge Umbauarbeiten an der Anlage sowie ungeklärter Datumsänderung am Heizungsregler



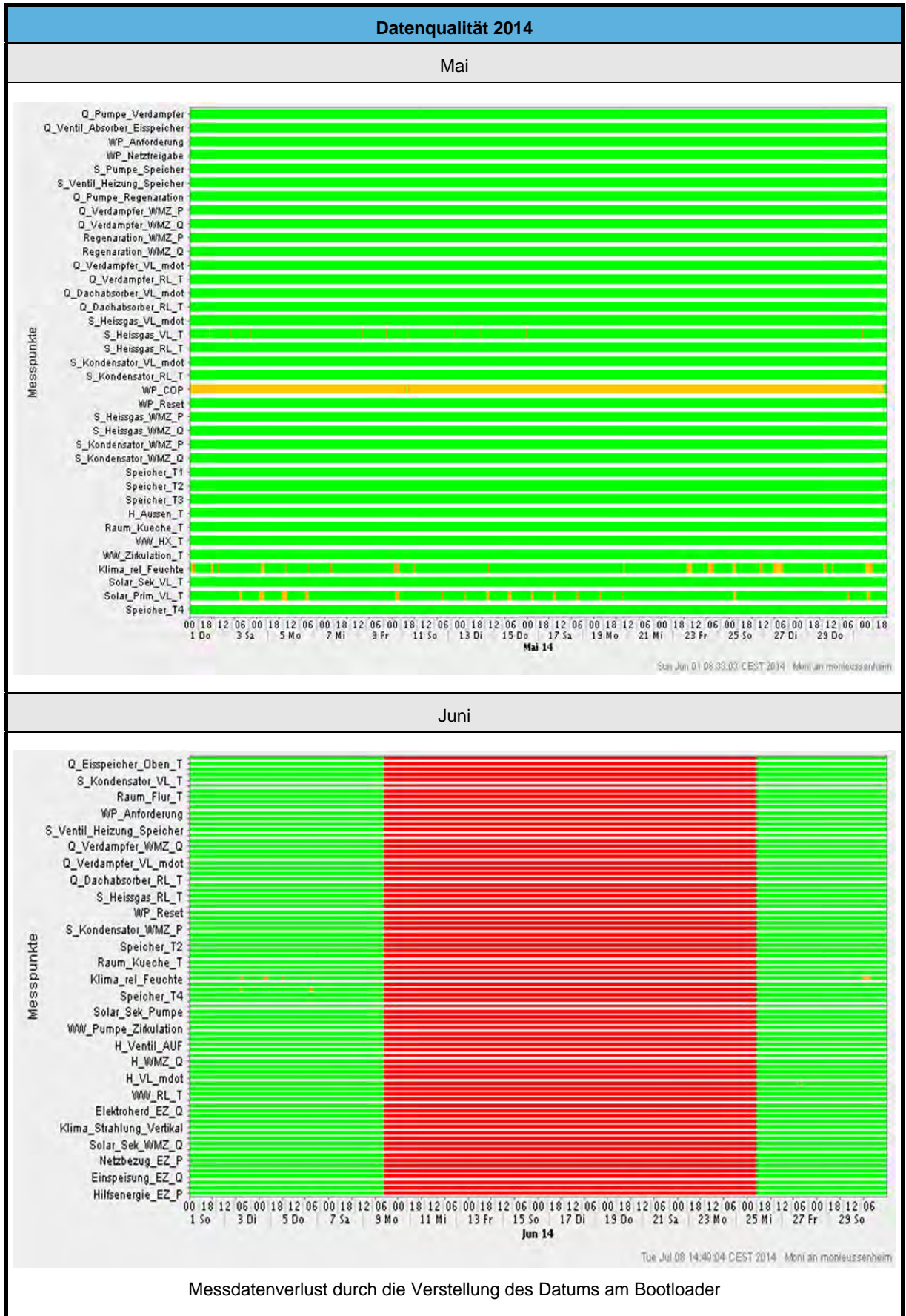
Verbindungsstörung zum Messdaten-PC im Heizraum

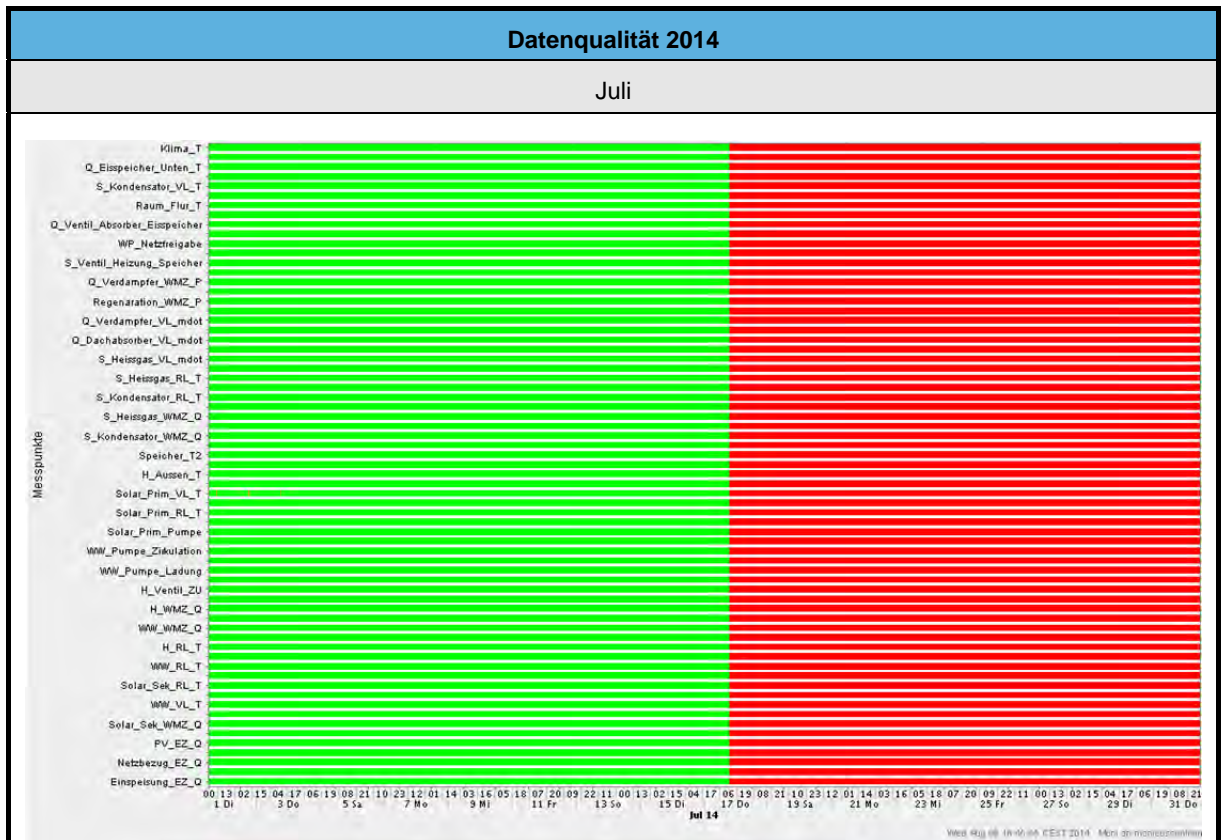




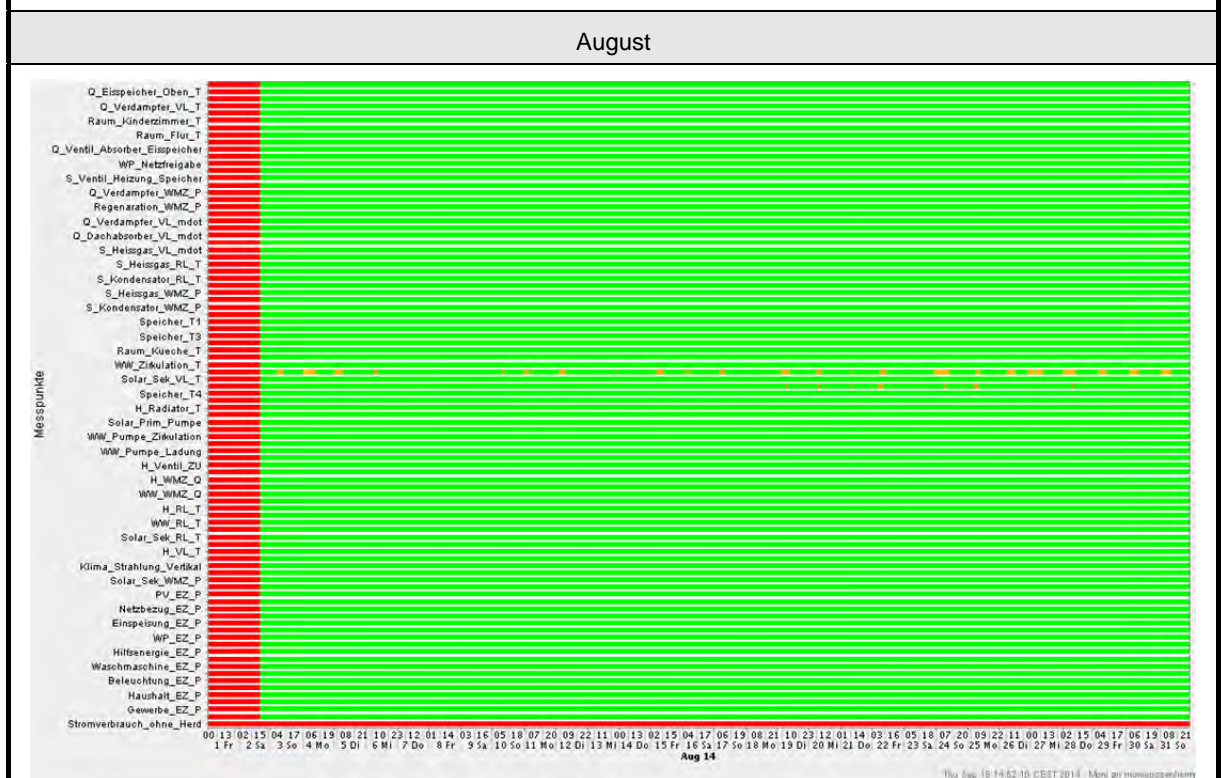
Messdatenverlust durch die Verstellung des Datums am Bootloader





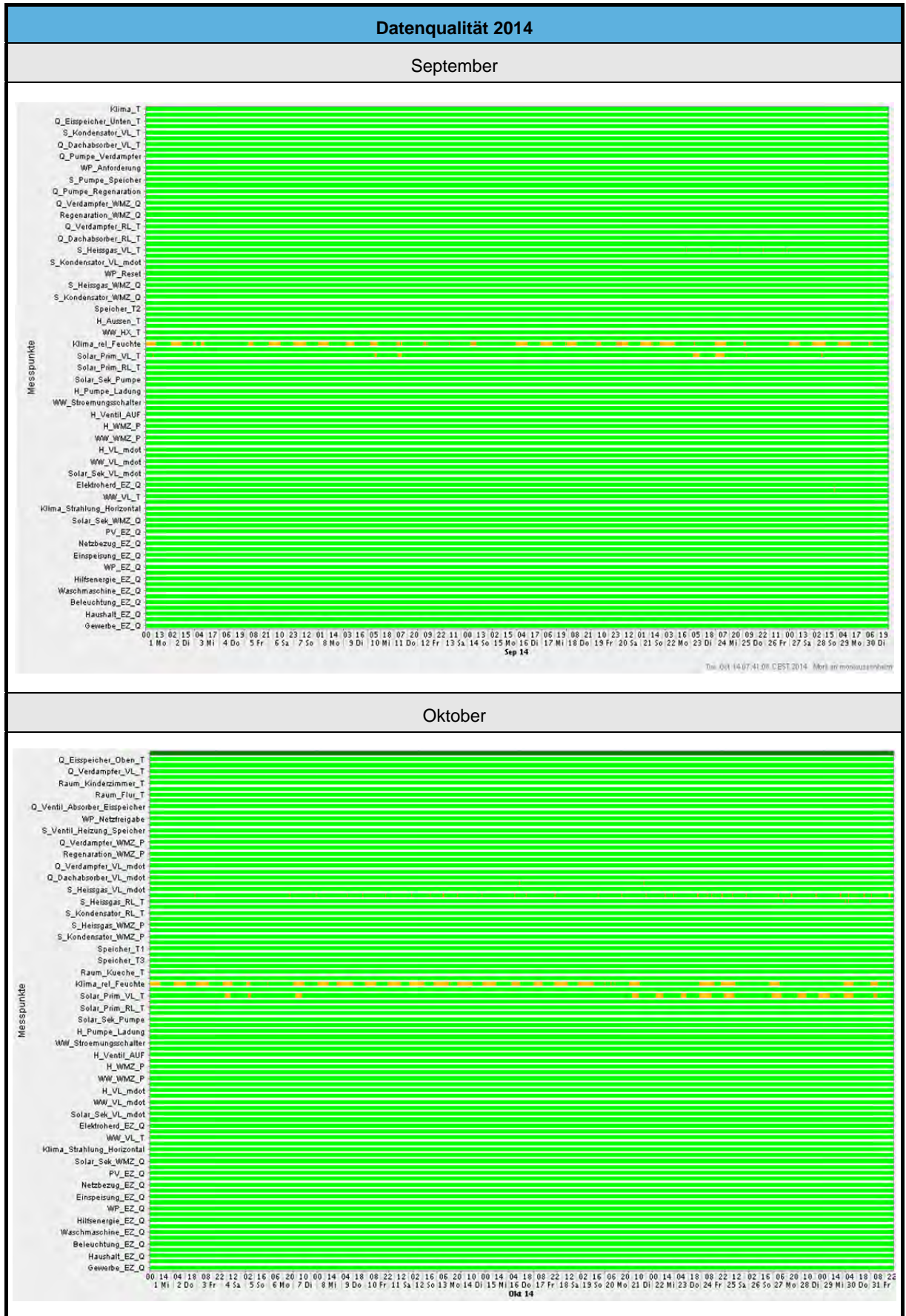


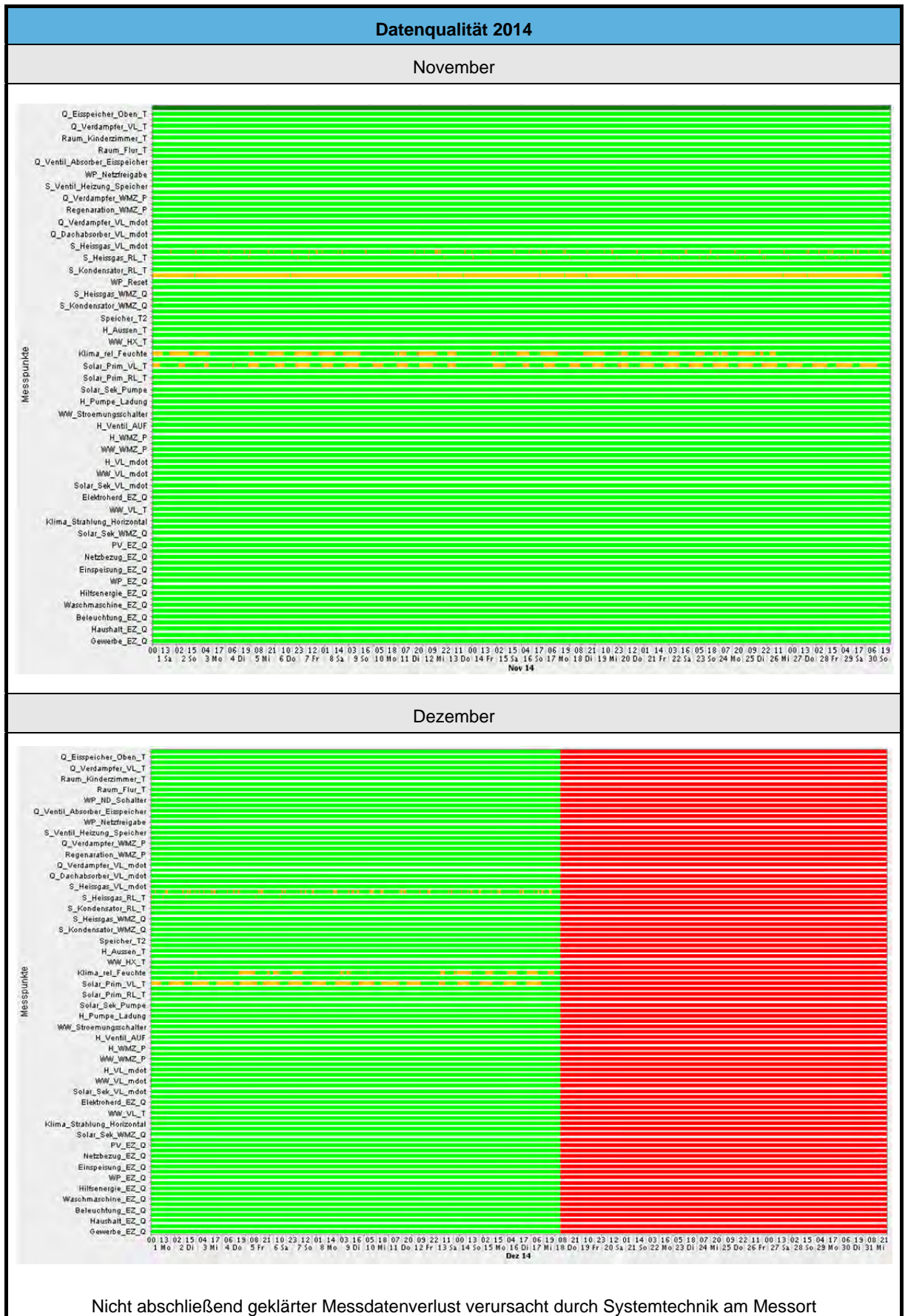
Messdatenverlust durch die Abschaltung des Notebooks. Eine rückwirkende Sicherung von Daten war erst wieder ab 02.08.2014 15:00 Uhr möglich.



Messdatenverlust durch die Abschaltung des Notebooks. Eine rückwirkende Sicherung von Daten war erst wieder ab 02.08.2014 15:00 Uhr möglich.





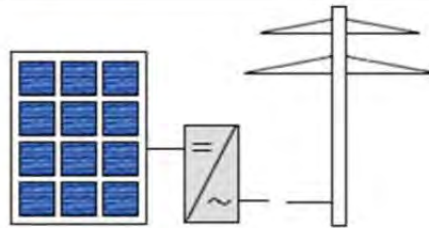


## Messergebnisse

Prognose des PV-Ertrages (gemäß technischer Ausführung)

### Kurz-Report

Effizienzhaus Plus "Eußenheim"



#### Dieser Report wurde erstellt durch:

Südwestpark 100  
90449 Nürnberg  
IFB Sorge GmbH Co. KG

#### Standort der Anlage

Eußenheim  
Längengrad: 9,817°  
Breitengrad: 49,983°  
Höhe ü.M.: 275 m

#### Übersicht Photovoltaik (Jahreswerte)

Bruttogesamtfläche	96 m <sup>2</sup>
Energieproduktion DC [Qpvf]	14.046,8 kWh
Energieproduktion AC [Qinv]	13.655,4 kWh
Performance Ratio	82,3 %
Spezifischer Jahresertrag	1.048,8 kWh/kWp/a
CO2 Einsparung	7.324,7 kg

#### Meteodaten-Übersicht

Mittlere Aussentemperatur	9,1 °C
Globalstrahlung, Jahressumme	1.094,6 kWh/m <sup>2</sup>
Diffusstrahlung, Jahressumme	567,7 kWh/m <sup>2</sup>

#### Komponentenübersicht (Jahreswerte)

Photovoltaik Dachplan 6	Sunmodule Plus SW 155 Compact mono	
Anzahl Module		84
Anzahl Module (Auslegung)		84
Gesamte Nennleistung Generatorfeld	kW	13,02
Bruttogesamtfläche	m <sup>2</sup>	95,96
Anstellwinkel (hor.=0°, vert.=90°)	°	38
Ausrichtung (O=+90°, S=0°, W=-90°)	°	-7

## Messergebnisse

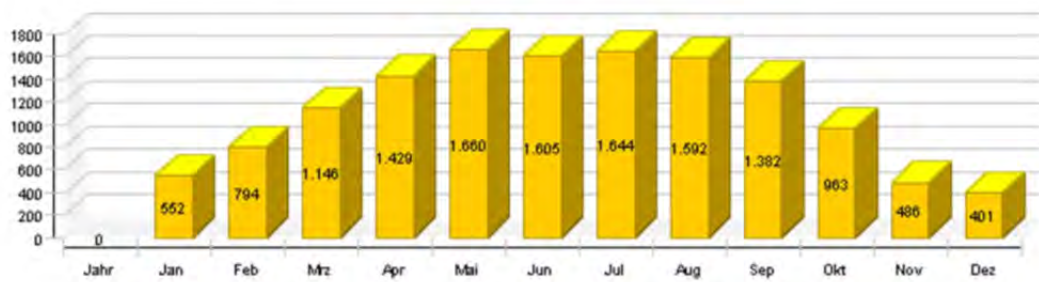
Prognose des PV-Ertrages (gemäß technischer Ausführung)

### Kurz-Report

Energieproduktion DC [Qpvf]	kWh	14.047
Energieproduktion AC [Qinv]	kWh	13.655
Spezifischer Jahresertrag	kWh/kWp/a	1.048,8

### Ertrag Photovoltaik AC [Qinv]

kW



	Jahr	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<b>Ertrag Photovoltaik DC [Qpvf]</b>													
kWh	14047	574	818	1179	1466	1703	1648	1688	1632	1417	993	508	421
<b>Einstrahlung in Modulebene [Esol PV]</b>													
kWh	122249	4722	6787	9973	12589	14954	14719	15091	14630	12476	8560	4258	3491
<b>Ertrag Photovoltaik AC [Qinv]</b>													
kWh	13655	552	794	1146	1429	1660	1605	1644	1592	1382	963	486	401



Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Hilfsenergie	Waschmaschine	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	E-Herd Backstube + Gewerbe	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan 13	1.109,5	227,2	105,7	121,5	691,1	111,0	153,6	53,2	192,5	32,8	1.234,2
Feb 13	1.049,0	426,7	161,5	265,2	792,1	105,5	145,8	46,8	189,7	48,1	1.328,0
Mrz 13	651,9	1263,7	787,0	476,7	595,6	136,7	150,7	35,9	179,6	32,4	1.130,9
Apr 13	398	1.443,3	1.048,6	394,7	266,0	125,1	150,5	30,2	194,2	66,4	832,4
Mai 13	290,2	1.436,0	1.088,7	347,3	146,1	98,7	114,7	28,4	217,4	47,8	653,1
Jun 13	175,5	1.819,9	1.534	285,9	31,9	96,3	81,7	19,5	197,9	42,4	469,7
Jul 13	128,8	2.096,2	1.811,2	285,0	4,5	90,4	67,6	18,9	198,2	47,4	427,0
Aug 13	184,8	1.801,4	1.578,4	223,0	10,8	76,6	82,2	19,7	221,0	52,2	462,5
Sep 13	283,7	1.363,6	1.120,0	243,6	77,7	78,0	88,9	27,4	196,9	72,7	541,6
Okt 13	436,0	988,5	734,8	253,7	144,0	81,2	112,	33,7	240,9	89,3	701,1
Nov 13	714,4	414,1	264,7	149,4	325,0	97,3	99,8	43,8	236,4	80,5	882,8
Dez 13	1.050,7	372,6	192,2	180,4	597,2	132,0	138,0	57,6	222,8	87,5	1.235,1
<b>Summe</b>	<b>6.472,8</b>	<b>13.653,2</b>	<b>10.426,8</b>	<b>3.226,4</b>	<b>3.682,0</b>	<b>1.228,8</b>	<b>1.385,5</b>	<b>415</b>	<b>2.487,5</b>	<b>699,4</b>	<b>9.898,3 <sup>1)</sup></b>

Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch im Jahr 2013. <sup>1)</sup> Zählerbedingte Messabweichungen bzgl. Summe Netzbezug + PV-Eigenverbrauch



Monat	Bezug		Photovoltaik		Hausverbrauch						Summe Hausverbrauch
	Netzbezug	PV-Ertrag	PV-Einspeisung	PV-Eigenverbrauch	Heizung + TWW + Lüftung + Kühlung	Hilfsenergie	Waschmaschine	Beleuchtung	Haushaltsgeräte	E-Herd Backstube + Gewerbe	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Jan 14	986,6	363,4	199,4	164,0	626,6	131,0	92,7	52,6	192,9	53,7	1.149,5
Feb 14	770,4	675,5	416,5	259,0	540,0	118,1	118,2	36,7	184,6	53,9	1.051,7
Mrz 14	437,3	1.628,7	1.344,4	284,3	191,4	92,8	123,1	36,2	232,6	62,7	738,8
Apr 14	295,8	1.729,1	1.382,6	346,5	82,3	73,0	138,8	30,8	224,1	85,8	634,8
Mai 14	228,0	1.761,2	1.420,2	341,0	59,3	72,1	111,8	28,9	222,0	83,5	577,6
Jun 14	175,3	2.025,4	1.714,9	310,5	9,0	72,4	91,9	23,5	208,9	100,8	506,3
Jul 14	224,1	1.924,3	1.548,5	375,8	8,9	100,6	119,2	23,8	231,0	117,5	601,0
Aug 14	236,9	1.484,8	1.201,5	283,3	41,0	72,7	96,8	22,5	202,2	105,4	540,6
Sep 14	314,8	1.127,1	883,3	243,8	86,3	72,7	92,5	26,0	185,4	96,1	559,0
Okt 14	501,6	776,9	569,1	207,8	178,5	93,9	109,8	43,5	212,9	71,4	709,8
Nov 14	741,2	290,7	162,8	127,9	365,5	100,4	74,0	49,5	213,9	66,1	869,4
Dez 14	1055,5	168,9	68,9	100,0	585,7	128,7	85,5	62,6	209,0	84,3	1.155,4
<b>Summe</b>	<b>5.967,5</b>	<b>13.956,0</b>	<b>10.912,1</b>	<b>3.043,9</b>	<b>2.774,5</b>	<b>1.128,4</b>	<b>1.254,3</b>	<b>436,2</b>	<b>2.519,7</b>	<b>981,0</b>	<b>9.094,1<sup>1)</sup></b>

Zusammenstellung des Stromverbrauchs für Bezug und Hausverbrauch im Jahr 2014. <sup>1)</sup> Zählerbedingte Messabweichungen bzgl. Summe Netzbezug + PV-Eigenverbrauch