



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

2. Zwischenbericht 1. Februar 2013

MEHRFAMILIENHAUS MIT ELEKTRO- MOBILITÄT IN RUPPERSWIL, AG

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Fachhochschule Nordwestschweiz – FHNW
Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik – HABG
Institut Energie am Bau – IEBau
St. Jakobs Strasse 84
CH – 4132 Muttenz
iebau.habg@fhnw.ch

Projektpartner

Setz Architektur
Obermatt 33
CH – 5102 Rapperswil
info@setz-architektur.ch

Spline AG
Seestrasse 93
CH – 8800 Thalwil
sc@spline.ch

Autoren:

Dipl.-Ing. Falk Dorusch, falk.dorusch@fhnw.ch
Dr.-Ing. Monika Hall, FHNW, monika.hall@fhnw.ch
Dipl.-Ing. Ralf Dott, FHNW, ralf.dott@fhnw.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Rolf Moser

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500645 // SI/500645-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

ZUSAMMENFASSUNG.....	4
1 ZIELSETZUNG	6
2 GRUNDLAGEN UND VORGEHEN	6
2.1 Beobachtungszeitraum	6
2.2 Messkonzept.....	6
2.3 Datenanalyse.....	6
2.4 Datenerfassung	7
2.5 Weitere Datenquellen	7
2.6 Abkürzungen und Definitionen	8
3 ERGEBNISSE	9
3.1 Solare Einstrahlung	9
3.2 Aussentemperaturen am Gebäudestandort	10
3.3 Wärmepumpe	10
3.4 Warmwasserverbrauch.....	11
3.5 Heizwärmebezug.....	12
3.6 Arbeitszahl Warmwasser.....	12
3.7 Kühlbetrieb.....	13
3.8 Lüftung.....	14
3.9 Elektrizitätsbezug im Gebäude.....	16
3.10 Elektrizitätsbezug in den Wohnungen	16
3.11 Beeinflussbare Verbraucher	18
3.12 Elektromobilität	19
3.13 PV-Ertrag	20
3.14 Energetische Jahresbilanz	21
3.14.1 Gesamtbilanz.....	21
3.14.2 Endenergiebezug in den Wohnungen	22
3.14.3 Vergleich mit der Wärmebedarfsberechnung.....	23
4 ERKENNTNISSE	24
4.1 Bilanzierung Elektrizität	24
4.2 Eigenverbrauch.....	25
4.3 Residuallast	26
4.4 Netzeinspeisung	27
4.5 Gleichzeitigkeit.....	28
5 FAZIT	30
6 AUSBLICK	30
LITERATURVERZEICHNIS	31

ZUSAMMENFASSUNG

In dem Projekt *Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität in Rapperswil* wird über ein detailliertes Monitoring untersucht, wann und wo welche Energieflüsse anfallen und ggf. hinsichtlich der Effizienz aber auch der Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsproduktion und -verbrauch optimiert werden können. Sowohl die Ansprüche der Mieter an den Komfort des Gebäudes als auch die Nutzung der Elektromobilität spielen dabei eine wesentliche Rolle. Die Mieter erhalten über ein Display Auskunft über ihren Energieverbrauch für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom und können somit auf ihren Verbrauch sensibilisiert werden. Bei der Nebenkostenabrechnung kommt ein Bonus-/Malussystem zum Tragen.

Im Zeitraum zwischen September 2011 und April 2012 wurde die energetische Situation des Gebäudes über eine Heizperiode genauer beobachtet. Die Resultate wurden im ersten Zwischenbericht beschrieben. Der vorliegende Bericht fokussiert auf die Sommerperiode des Jahres 2012 mit dem Betrachtungszeitraum zwischen 01.05.2012 bis 30.09.2012 und gibt zusätzlich Auskunft über die Energiebilanz des ersten Betriebsjahres (01.10.2011 bis 30.09.2012).

Sommerperiode 2012:

In diesem Zeitraum sind alle drei Wohnungen des Gebäudes vermietet. Zwischen dem 01.05.2012 und 30.09.2012 produziert die Photovoltaik-Anlage 12'521 kWh Elektrizität. Insgesamt werden 4'939 kWh Elektrizität bezogen. Das Gebäude weist somit einen Energieüberschuss von 7'582 kWh (165%) auf. Von den 12'521 kWh solare erzeugter Elektrizität werden 9'556 kWh Elektrizität ins Netz eingespeist, respektive 2'965 kWh Elektrizität im Gebäude selbst genutzt. Um den Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude zu decken, werden zusätzlich 1'974 kWh Elektrizität aus dem Netz bezogen.

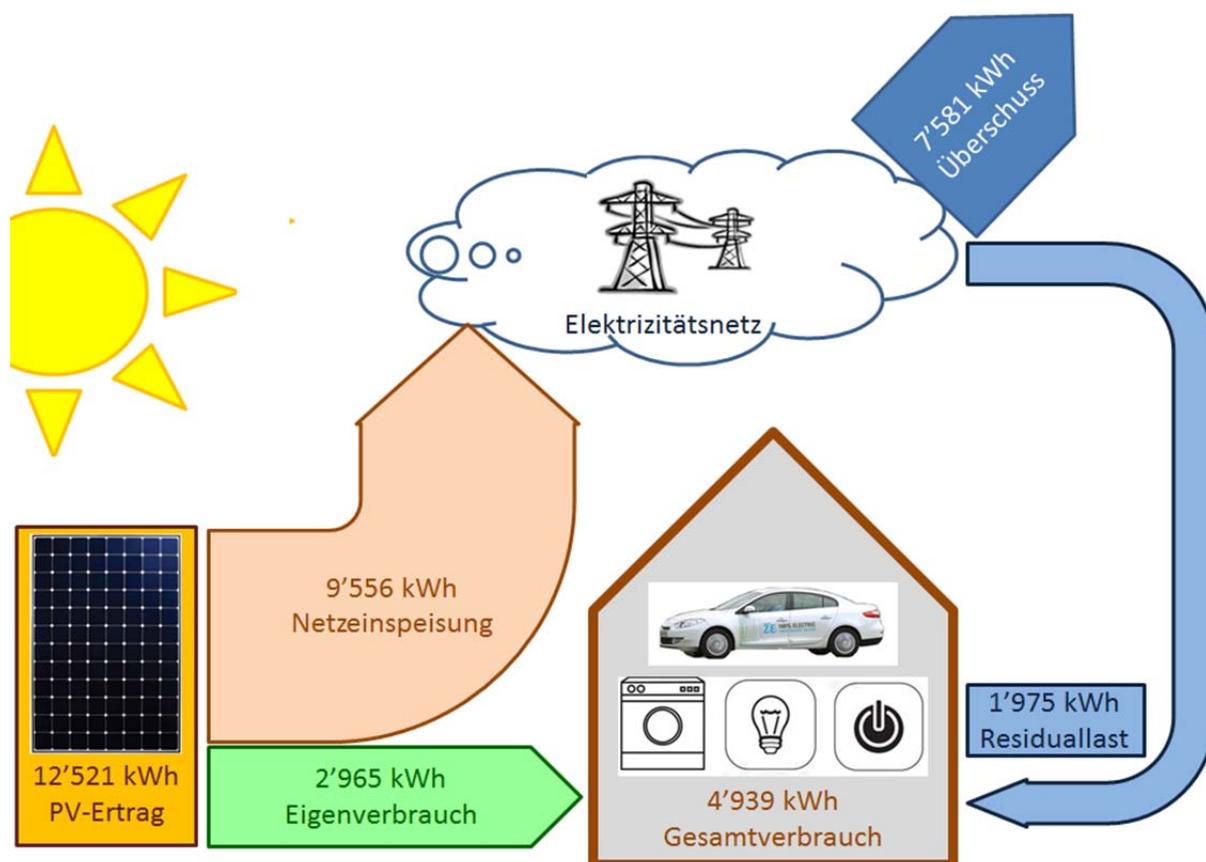


Abbildung 1: Schematische Elektrizitätsbilanz im Sommer 2012

Saisonal bedingt, wird im Gebäude keine Heizwärme bezogen. Der Warmwasserverbrauch beträgt 32 m^3 und entspricht bei einer Warmwassertemperatur von $50 \text{ }^\circ\text{C}$ $1'489 \text{ kWh}_{\text{therm}}$. Die Betriebszeiten der Wärmepumpe sind auf den Zeitraum zwischen 13 Uhr und 17 Uhr beschränkt und liegen im Zeitraum des höchsten zu erwartenden PV-Ertrags. Bei einer täglichen Betriebsdauer zwischen 30 und 120 min kann die im Gebäude verbrauchte Warmwassermenge nahezu vollständig mit erneuerbarer Energie produziert werden. Durch einen kurzzeitigen technischen Defekt der Wärmepumpe war es über einen Zeitraum von sieben Tagen erforderlich, Warmwasser mit Hilfe der elektrischen Zuheizung zu erwärmen. Der Warmwasserverbrauch im Gebäude liegt, wie bereits im Winter 2011/2012 beobachtet, unterhalb des SIA Standardwertes.

Für den Betrieb der Lüftungsanlage werden zwischen 01.05.2012 und 30.09.2012 insgesamt 409 kWh Elektrizität aufgewendet. Die dem Gebäude zugeführte Frischluft wird mit Hilfe kalten Wassers aus der Erdsonde abgekühlt. Ein Absinken der Raumtemperaturen durch diese Massnahme –besonders an Hitzetagen– ist jedoch nicht erkennbar.

Der Elektrizitätsverbrauch der einzelnen Wohnungen beträgt 49% des Gesamtverbrauchs. 24% des Gesamtelektrizitätsverbrauchs entfällt auf das Elektroauto, je 9% auf den Allgemiestrom und den Betrieb der Wärmepumpe. Die Lüftungsanlage bezieht 8% des Gesamtverbrauchs.

Das Elektroauto wird regelmässig eingesetzt und legte eine Strecke von 5'937 km zurück. Zum Laden der Akkumulatoren des Elektromobils werden im Beobachtungszeitraum 1'210 kWh Elektrizität genutzt. Das Fahrzeug wird vorwiegend am Gebäude geladen. Lediglich 16 kWh wurden an einer externen Ladestation bezogen.

Die im vorangegangenen Bericht erwähnte Gleichzeitigkeitsbetrachtung wird ebenfalls weitergeführt. Es zeigt sich, dass während 1866 h (51%) im Betrachtungszeitraum mehr Elektrizität solar produziert, als zeitgleich im Gebäude verbraucht wird. Gegenüber der Winterperiode 2011/2012 ist eine Zunahme der Ein-Stunden-Zeiträume, in denen Gleichzeitigkeit erreicht wird, von 34% auf 51% zu beobachten. Eine Auswertung auf Basis von Tagesdaten ergibt, dass an 93% der Tage mehr Elektrizität produziert als verbraucht wird.

Es hat sich bestätigt, dass für den Zeitraum zwischen 10 Uhr bis 16 Uhr eine hohe Wahrscheinlichkeit besteht, Erzeugung und Verbrauch zu synchronisieren.

Im Beobachtungszeitraum entfallen 37% des Gesamtelektrizitätsbezuges in den Zeitraum zwischen 10 Uhr und 16 Uhr. Würden alle beeinflussbaren Verbraucher konsequent im Zeitraum des höchsten PV-Ertrags betrieben, liessen sich weitere 15% des Gesamtelektrizitätsbezugs solar decken.

Energiebilanz des ersten Betriebsjahres:

Für das erste Betriebsjahr zeigt sich, dass die PV-Anlage mit 19'805 kWh etwa 6'600 kWh mehr Elektrizität produziert, als im Gebäude verbraucht wird und 1'805 kWh mehr als in der Ertragsprognose berechnet wurde. Der Stromverbrauch verteilt sich zu 49% auf den Haushaltsstrom der drei Wohnungen, zu 23% auf den Betrieb der Wärmepumpe, zu 15% auf das Aufladen des Elektroautos, zu 6% auf das Belüften des Gebäudes und zu 7% auf den Allgemiestrom.

Das Elektroauto legt eine Fahrstrecke von 8'740 km zurück und wird überwiegend am Gebäudestandort geladen. Der Heizwärmebezug beträgt $8'915 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ und liegt über dem in der Heizwärmebedarfsberechnung prognostizierten Wert. Es werden 81 m^3 respektive 3'768 kWh Warmwasser verbraucht.

An 244 Tagen wird im Tagesverlauf mehr Elektrizität solar erzeugt als im Gebäude selbst genutzt wird. 80 dieser Tage mit positiver Tagesbilanz liegen im Zeitraum zwischen Oktober und April, 164 Tage zwischen Mai und September. 4'165 kWh der solar erzeugten Elektrizität können als Eigenverbrauch genutzt werden.

Das Gesamtprojekt befindet sich im zweiten Projektjahr und wird bis 2014 fortgeführt.

1 ZIELSETZUNG

Die betrachtete Sommersaison soll zeigen, wie sich die Gesamtenergiebilanz entwickelt und in welchem Umfang Gleichzeitigkeit zwischen PV-Produktion und Elektrizitätsbezug erreicht werden kann.

Unter Berücksichtigung der Zeitraums vom 01.10.2011 bis 30.04.2012 (Heizperiode) sowie des Beobachtungszeitraum dieses Berichts soll eine Elektrizitäts- Bilanz des ersten Betriebsjahres aufgestellt werden.

Von grossem Interesse sind der Umfang der Nutzung des Elektroautos und das Aufladen der Akkus des Fahrzeugs an der PV-Anlage des Gebäudes.

Ebenso soll das energetische Verhalten des Gebäudes unter Sommerbedingungen untersucht und die Möglichkeit der Verschiebung der Betriebszeiten der Wärmepumpe in die Mittagszeit geprüft werden.

Weitere Abklärungen sollen aufzeigen, worin die Ursache für in der vorangegangenen Beobachtungsperiode gefundene Auffälligkeiten im Elektrizitätsbezug einzelner Verbraucher im Gebäude zu suchen ist.

2 GRUNDLAGEN UND VORGEHEN

2.1 Beobachtungszeitraum

Dieser Zwischenbericht fokussiert sich auf die Sommersaison des Jahres 2012. Alle Betrachtungen beziehen sich auf den Zeitraum zwischen dem 01.05.2012 und dem 30.09.2012.

Für die Berechnung der Kapazität eines Elektrizitätsspeichers sowie zum Aufstellen der Jahresbilanz der PV-Ertrags und des Elektrizitätsbezugs wird der Beobachtungszeitraum ausgeweitet und zusätzlich Daten des Zeitraums zwischen 01.10.2011 und 30.04.2012 genutzt.

2.2 Messkonzept

Das etablierte Messkonzept mit Datenerhebung im 15-Minuten-Takt hat sich bewährt. Die Datenerfassung läuft problemlos und liefert mit Ausnahme kurzzeitiger Unterbrechungen im Oktober 2012 kontinuierliche Werte zur Elektrizitätsproduktion der Photovoltaik-Anlage, zum Elektrizitäts-, Heizwärme- und Warmwasserbezug in den Wohnungen, zum Elektrizitätsbezug der Heizungs-, und Lüftungsanlage sowie zu Ladezyklen des Elektroautos.

Darüber hinaus werden Klimadaten am Gebäudestandort sowie Raumtemperaturen in den Wohnungen automatisch erfasst. Der technische Aufbau der Messwerterfassung wurde seit Bezug des Gebäudes im September 2011 nicht verändert. Es wurden keine neuen Messpunkte hinzugefügt und keine bestehenden Messpunkte entfernt.

2.3 Datenanalyse

Die bereits für die Auswertung der Winterperiode 2011/2012 angewendete Vollständigkeits- und Plausibilitätsanalyse der Rohdaten wurde beibehalten.

Alle Berechnungen von Ein-Stunden-Summen- und Mittelwerten, von Tages- und Monatswerten werden aus 15-Minuten-Werten durch arithmetische Mittelung oder durch Aufsummieren (1) berechnet.

Den Mietern steht ein Energie-Informationssystem zur Verfügung, welches über den tages- und monatsweisen Energiebezug informiert und zur Orientierung für effizienzbewusstes Verhalten genutzt werden kann. Die Vorgabewerte dieses Systems wurden gegenüber dem vorangegangenen Beobachtungszeitraum nicht verändert. Real bezogene Energiemengen werden mit den Vorgabewerten verglichen. Es wird geprüft, ob das Nutzerverhalten auf diesem Wege beeinflusst werden kann.

2.4 Datenerfassung

Die Messdatenerfassung lief im beobachteten Zeitraum stabil, eine kurzzeitige Unterbrechung trat lediglich zwischen 02.10.2012, 19:00 Uhr und 03.10.2012, 4:00 Uhr auf. Zur Wahrung der Konsistenz wurde die entstandene Datenlücke mit linear interpolierten Werten aufgefüllt. Kürzere Datenlücken bis 30 Minuten (entspricht zwei fehlenden Messwerten) sowie fehlende Einzelwerte wurden durch den letzten zuvor aufgezeichneten Wert gefüllt.

An der technischen Konfiguration der Datenaufzeichnung und Messwarterfassung wurden keine Veränderungen vorgenommen.

Der Tagesverlauf des PV-Ertrags zeigte bei der Auswertung der Heizperiode 2011/2012 im 75-Minuten-Intervall regelmässige Einbrüche. Die Ursache dieser Einbrüche war auf eine fehlerhafte Berechnung der 15-Minuten-Summenwerte zurückzuführen. Durch Anpassung der Abfragezeiten und -zyklen der Elektrizitätszähler durch die Firma Spline konnte dieser Fehler behoben werden.

2.5 Weitere Datenquellen

Zur genaueren Erfassung des Elektrizitätsbezugs in der Erdgeschosswohnung und des Mobilitätsverhaltens aller Mieter des Gebäudes werden die Werte des Elektrizitätsbezugs einzelner Elektrogeräte (Computer, Kasse, Kosmetik-Arbeitsplatz) sowie die zurückgelegten Strecken in einem Protokoll erfasst.

Die Daten zur solaren Einstrahlung der Sommersaison 2012 werden aus dem Datensatz der Klimastation Buchs/Aarau (2) gewonnen. Der Datensatz liefert Momentan-Werte mit 10-Minuten-Auflösung. Daraus werden Ein-Stunden Mittelwerte sowie Monatssummenwerte errechnet und zur Beschreibung der realen Einstrahlungssituation herangezogen.

Die Angaben zu langjährigen Aussentemperaturen und langjährigen solaren Einstrahlungen werden dem METEONORM 6- Datensatz (3) entnommen.

2.6 Abkürzungen und Definitionen

Folgende Abkürzungen werden im nachfolgenden Text ohne weitere Erläuterung verwendet:

AZ:	Arbeitszahl,
EG:	Erdgeschoss,
elektr.:	elektrisch,
HZ:	Heizung,
Mon.	Monat / monatsweise,
OG:	Obergeschoss,
PV:	Photovoltaik,
RT:	Raumtemperatur
therm.	Thermisch,
UG:	Untergeschoss,
WW:	Warmwasser.

Zusätzlich werden die nachfolgend genannten Begriffe verwendet:

Der *Eigenverbrauch* bezeichnet die Menge an Elektrizität, die von der PV-Anlage des Gebäudes erzeugt und unmittelbar zum gleichen Zeitpunkt von Verbrauchern im Gebäude bezogen wird.

Die *Residuallast* ist die Menge an Elektrizität, die abzüglich der im Gebäude selbst verbrauchten Menge an Elektrizität aus dem Netz bezogen wird. Die Residuallast gleicht die Differenz zwischen Angebot (PV-Ertrag) und Nachfrage (Gesamtelektrizitätsbezug) im Gebäude aus.

Als *Netzeinspeisung* wird die Menge an Elektrizität bezeichnet, die nicht unmittelbar zum Zeitpunkt der Erzeugung im Gebäude selbst genutzt werden kann und daher an das Elektrizitätsnetz abgegeben (*eingespeist“) wird.

Als *Gleichzeitigkeit* wird der Zeitraum bezeichnet, in dem der Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude durch den PV-Ertrag gedeckt wird.

Zur Berechnung des Eigenverbrauchs, der Residuallast, der Netzeinspeisung sowie der Gleichzeitigkeit werden Ein-Stunden-Verbrauchswerte der assoziierten Elektrizitätsmengen herangezogen.

Der *Graustrom* ist die Elektrizitätsmenge, die nicht von den direkt zuordenbaren Verbrauchern „Kühlschrank“, „Kraftverbraucher“, „Geschirrwashmaschine“ und „Dampfanzug“ bezogen wird. Der Graustrom wird wohnungsweise berechnet.

3 ERGEBNISSE

3.1 Solare Einstrahlung

Die über den Beobachtungszeitraum kumulierte Summe aus Diffus- und Globalstrahlung am Standort Buchs/Aarau beträgt 843 kWh/(m²*5 Mon.). Der Beobachtungszeitraum weist eine um 19 % erhöhte solare Einstrahlung auf gegenüber dem langjährigen Mittelwert (710 kWh/(m²*5 Mon.)) auf.

Die Anzahl an Sonnenstunden (Ein-Stunden-Mittelwert der solaren Einstrahlung >120 W/m²) beträgt 1'765 h und liegt damit etwa 11 % über dem langjährigen Mittel der Monaten Mai bis September (1'590 h). In Abbildung 2 werden die Solarstrahlung und die Sonnenstunden grafisch dargestellt.

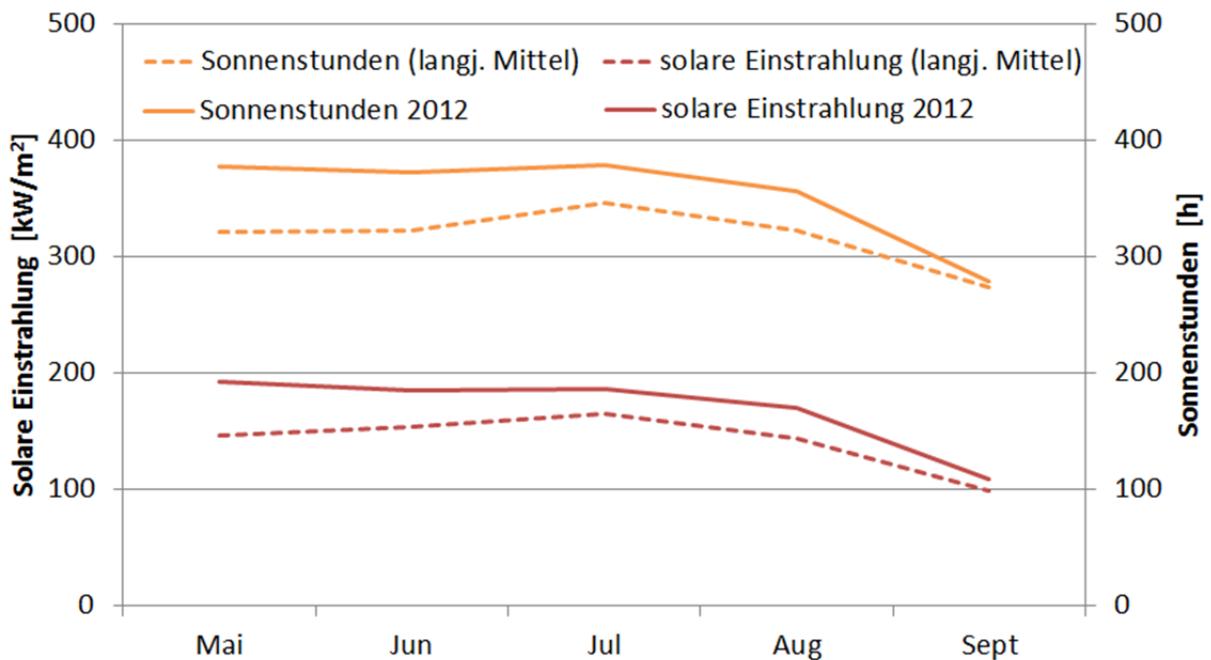


Abbildung 2: Monatsverlauf von Sonnenstunden und solarer Einstrahlung

3.2 Aussentemperaturen am Gebäudestandort

Die Durchschnittstemperatur des Beobachtungszeitraums von 18.5 °C liegt um 2.0°C über dem langjährigen Mittelwert des Zeitraums Mai bis September (16.5 °C). Die höchste Tagesdurchschnittstemperatur (27.0 °C) wird am 29.06.2012 beobachtet, die niedrigste Tagesdurchschnittstemperatur (8.5 °C) am 16.05.2012. Abbildung 3 zeigt Tagesdurchschnitts-, Monatsdurchschnittstemperaturen und langjährige Monatsmittelwerte der Aussentemperatur.

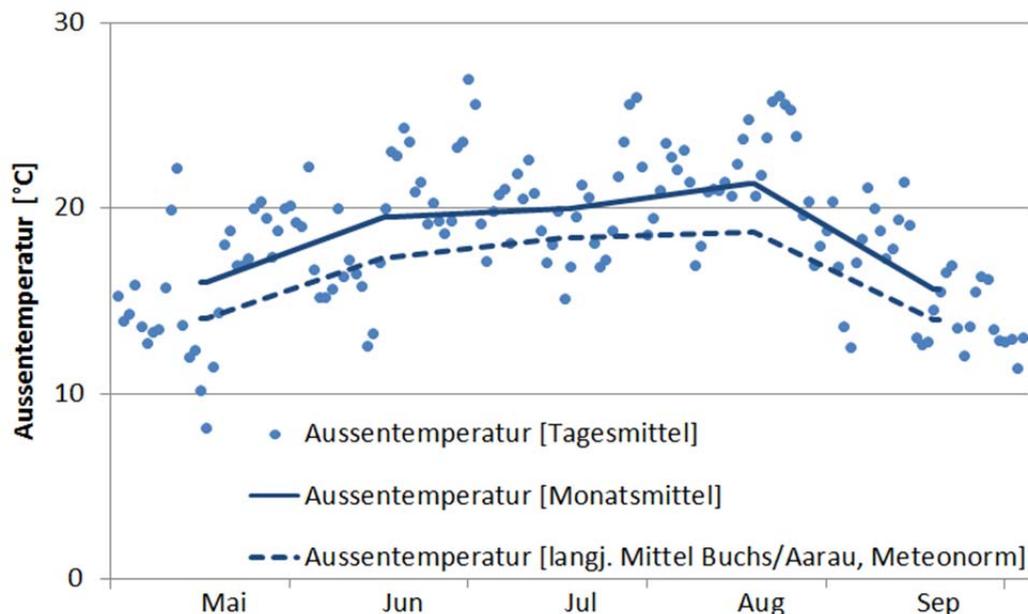


Abbildung 3: Tages- und Monatsmittelwerte der Aussentemperatur

3.3 Wärmepumpe

Im Unterschied zur Winterperiode 2011/2012 produzierte die Wärmepumpe im Beobachtungszeitraum überwiegend Warmwasser.

Durch einen technischen Defekt war die Wärmepumpe zwischen 01.05.2012 und 08.05.2012 ausser Betrieb. In diesem Zeitraum übernahm die elektrische Zuheizung die Warmwasserproduktion. Die dabei bezogene Elektrizitätsmenge beläuft sich auf etwa 103 kW_{elektr.} und wird konstruktionsbedingt über den Allgemiestrombezug des Gebäudes erfasst. Der Allgemiestrombezug ist in diesen Tagen deutlich höher als sonst.

Als Beitrag zur Erhöhung des Eigenverbrauchs wird die Wärmepumpe seit 09.05.2012 zwischen 11 Uhr und 17 Uhr betrieben und produziert in diesem Zeitraum ausschliesslich Warmwasser. Dieses Zeitfenster ist per Restriktion vorgegeben.

Es ist zu beobachten, dass eine tägliche Betriebsdauer zwischen 30 bis 120 min ausreicht um den Warmwasserbedarf eines Tages bereit zu stellen. Während dieser Betriebszeit wird der Warmwasserspeicher auf 50 °C Speichertemperatur erwärmt, dazu werden durchschnittlich 3.2 kWh Elektrizität pro Tag aufgewendet.

Die Wärmepumpe bezieht im Beobachtungszeitraum insgesamt 462 kWh Elektrizität. Pro Monat beträgt der Elektrizitätsbezug der Wärmepumpe zwischen 76 kWh und 113 kWh. Abbildung 4 stellt die über alle Tage des Beobachtungszeitraums kumulierte Tages-Lastgangskurve grafisch dar. Der Doppelpeak in der Lastgangskurve ist mit zwei verschiedenen Einschaltzeitpunkten zu erklären. Zwischen 09.05.2012 und 10.07.2012 läuft die Wärmepumpe vorwiegend zwischen 11:00 Uhr und 12:30 Uhr, ab 11.07.2012 wird der Einschaltzeitpunkt auf 13:00 Uhr verlegt.

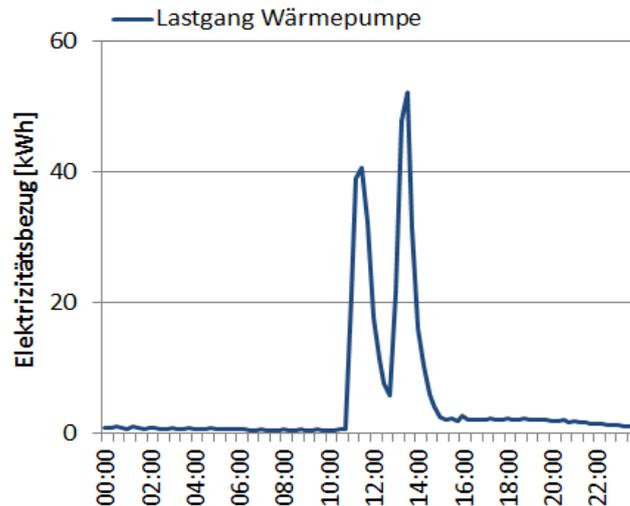


Abbildung 4: kumulierter Elektrizitätsbezug der Wärmepumpe im Tagesverlauf

3.4 Warmwasserverbrauch

Im Beobachtungszeitraum wurden 32 m^3 Warmwasser verbraucht. Bei $50 \text{ }^\circ\text{C}$ Warmwassertemperatur und 40 K Temperaturdifferenz entspricht diese Menge einer Nutzenergie von $1'489 \text{ kWh}$. Dafür werden 462 kWh Endenergie bezogen. Der Warmwasserverbrauch der UG-Wohnung schwankt zwischen 117 und $155 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ pro Monat, in der EG-Wohnung werden zwischen 54 und $92 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ Warmwasser verbraucht, in der OG-Wohnung zwischen 93 und $115 \text{ kWh}_{\text{therm}}$ pro Monat. Die monatlichen Verbrauchswerte sind in Abbildung 5 grafisch dargestellt.

Der monatliche Vorgabewert des Warmwasserverbrauchs (83 kWh/Monat) wird in der UG-Wohnung in allen Monaten des Beobachtungszeitraums um durchschnittlich 61% überschritten. Eine Analyse der Zeitpunkte des Warmwasserverbrauchs im Tagesverlauf zeigt, dass mit Ausnahme der Zeiträume zwischen $15.07.2012$ und $23.07.2012$ sowie zwischen $22.09.2012$ und $30.09.2012$ Warmwasser stets in den Morgen- und Abendstunden verbraucht wird.

In der EG- und OG-Wohnung werden die monatlichen Vorgabewerte des Warmwasserverbrauchs im Gegensatz zur vorangegangenen Heizperiode stets unterschritten. In diesen Wohnungen wird Warmwasser vorwiegend in den Abendstunden verbraucht. Die im 1. Zwischenbericht dieses Projekts vorgeschlagene Anpassung der Vorgabewerte scheint aus derzeitiger Sicht nicht erforderlich zu sein.

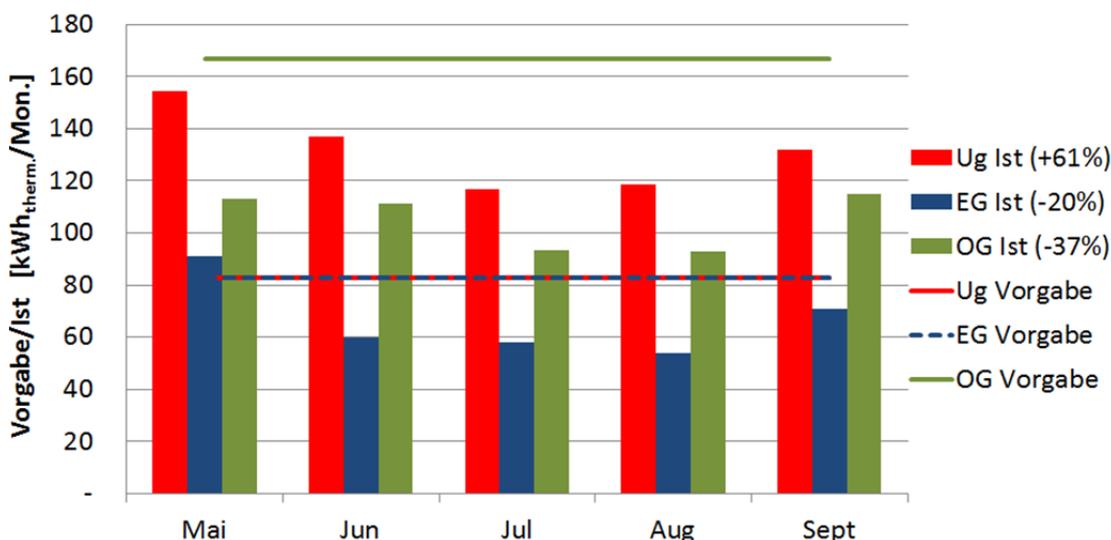


Abbildung 5: Monatlicher Warmwasserverbrauch und Vorgabewerte in den Wohnungen

3.5 Heizwärmebezug

Zwischen 01.05.2012 und 26.09.2012 wurde im gesamten Gebäude keine Heizwärme bezogen. Mit sinkenden Aussentemperaturen ab dem 27.09.2012 werden die Wohnungen wieder beheizt. Da die Summe des Heizwärmebezugs zwischen 27. und 30.09.2012 in allen Wohnungen lediglich 12 kWh beträgt, kann dieser vernachlässigt werden.

3.6 Arbeitszahl Warmwasser

Aus den Daten der Winterperiode 2011/2012 konnte bisher keine verlässliche Arbeitszahl für Warmwasser berechnet werden. Da zwischen 25.04.2012 und 26.09.2012 kein Heizwärmebezug in den Wohnungen zu beobachten ist, kann davon ausgegangen werden, dass in dieser Zeit ausschliesslich Warmwasser produziert wird. Der Zeitraum ist daher für die Berechnung der Warmwasser-Arbeitszahl besonders geeignet.

Die von der Wärmepumpe aufgenommene Menge Endenergie variiert zwischen 1.4 kWh/d und 6.0 kWh/d. Die als Warmwasser bezogene Menge Nutzenergie bewegt sich zwischen 1.4 kWh/d und 26.5 kWh/d bei 40 K Temperaturdifferenz zwischen Trinkwasser- und Warmwassertemperatur. Die beobachteten Werte des Nutzenergiebezugs und korrespondierenden Endenergieaufwendungen sind in Abbildung 6 dargestellt.

Ausgehend von 1'489 kWh Nutzenergie und 462 kWh Endenergie ergibt der Quotient aus Nutzenergie (Q_{nutz}) und Endenergie (Q_{zu}) eine Arbeitszahl von 3.2. Die Berechnung beruht auf der Annahme, dass die Temperatur frisch zugeführten Trinkwassers stets 10 °C beträgt und das Warmwasser auf 50 °C erwärmt wird. In der Realität schwankt die Temperatur des Trinkwassers jedoch zwischen 5 °C und 15 °C (4). Werden diese Schwankungen bei der Berechnung der Nutzenergie berücksichtigt bewegt sich die Arbeitszahl der Wärmepumpe im Warmwasserbetrieb zwischen 2.8 und 3.6.

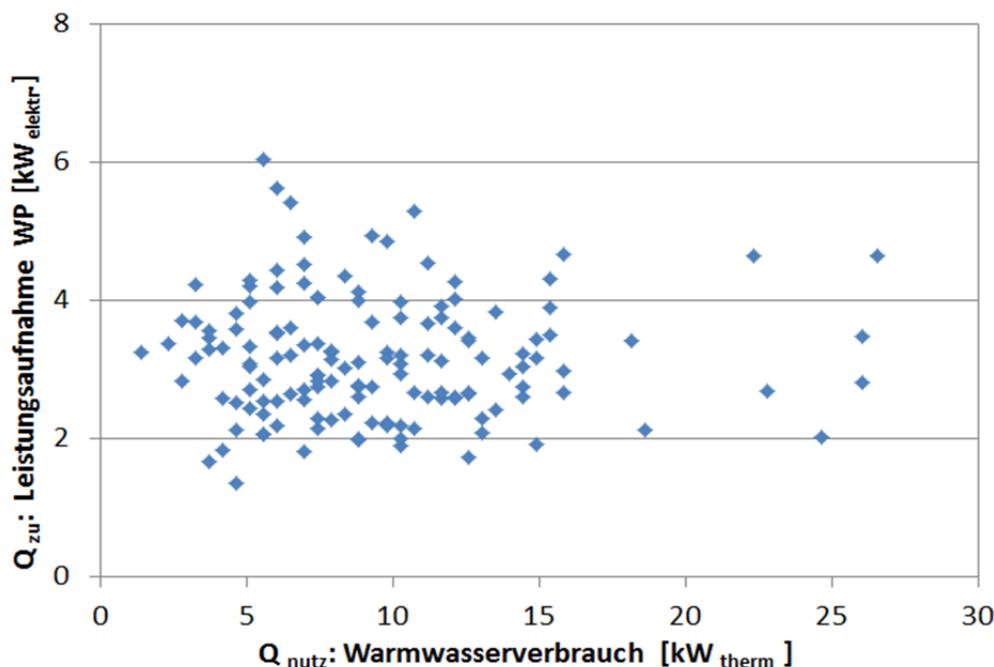


Abbildung 6: Nutz- zu Endenergie bei Warmwasserproduktion

3.7 Kühlbetrieb

Obwohl die im Gebäude installierte Wärmepumpe nicht für den Kühlbetrieb ausgerüstet ist, ist es möglich, die Enteisungsfunktion der Lüftungsanlage zur Abkühlung der ins Gebäude geleiteten Frischluft zu nutzen. Kühles Wasser wird direkt aus der Erdsonde in den ansaugseitig platzierten Wärmetauscher der Lüftungsanlage geleitet und kühlt dabei die zugeführte Frischluft ab. Diese „Kühlfunktion“ ist bei Aussentemperaturen über 20 °C aktiviert und an insgesamt 75 Tagen (49%) in Betrieb. Als Folge der daraus resultierenden erhöhten Förderleistung der Solepumpe ist ein Anstieg der Leistungsaufnahme dieser Pumpe beobachten. So bezieht die Solepumpe an Tagen ohne aktivierte „Kühlfunktion“ etwa 0.1 bis 0.2 kWh Elektrizität, an Tagen mit Kühlfunktion ist die Elektrizitätsaufnahme auf etwa 1.0 bis 2.5 kWh erhöht.

Im gesamten Beobachtungszeitraum werden etwa 83 kWh Elektrizität benötigt, um die Solepumpe zu betreiben. Durch die Erhöhung der Förderleistung der Solepumpe, die für das Abkühlen der Zuluft nötig ist, steigt der Stromverbrauch der Solepumpe um etwa 60 kWh im Beobachtungszeitraum an. Ohne die Erhöhung der Förderleistung an Hitzetagen würde der Elektrizitätsbezug der Solepumpe im gesamten Beobachtungszeitraum bei lediglich 20 bis 25 kWh liegen.

Abbildung 5 zeigt die Leistungsaufnahme der Solepumpe während einer Hitzeperiode im Juli und August 2012. Es ist erkennbar, dass die Solepumpe verstärkt in den Mittags- und Nachmittagsstunden in Betrieb ist und meist in den frühen Morgenstunden abstellt. Der charakteristische Tagesverlauf der Solepumpe folgt dem Verlauf der Aussentemperaturen und ist durch die Westausrichtung des Gebäudes erklärbar.

An Tagen, an denen die Temperaturen während der Nacht 25 °C nicht unterschreiten (20.8.2012 und 22.8.2012), läuft die Solepumpe kontinuierlich über den gesamten Tag.

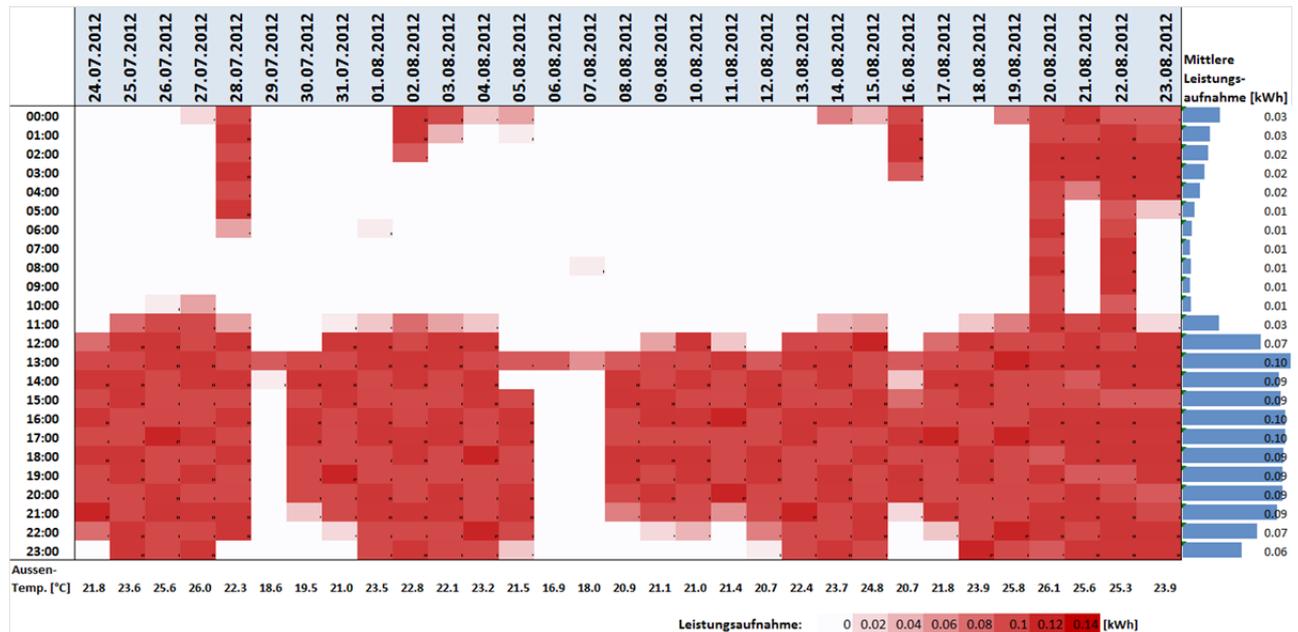


Abbildung 7: Energieaufnahme der Solepumpe im Tagesverlauf (24.07.2012 bis 23.08.2012)

Obwohl die „Kühlfunktion“ an etwa der Hälfte der Tage des Beobachtungszeitraums in Betrieb war, ist keine Verringerung der Raumtemperaturen in den Wohnungen erkennbar. Die Mieter der Wohnungen empfinden das „kühlende Lüftchen“ der Komfortlüftungsanlage an heißen Tagen jedoch subjektiv als sehr angenehm (5). Die Innenraumtemperaturen der Wohnungen sind nachfolgend in Abbildung 8 grafisch dargestellt. Die Werte bewegen sich im Bereich zwischen 21.3 °C und 26.6 °C. Die Obergeschosswohnung weist erwartungsgemäss die höchsten Raumtemperaturen auf.

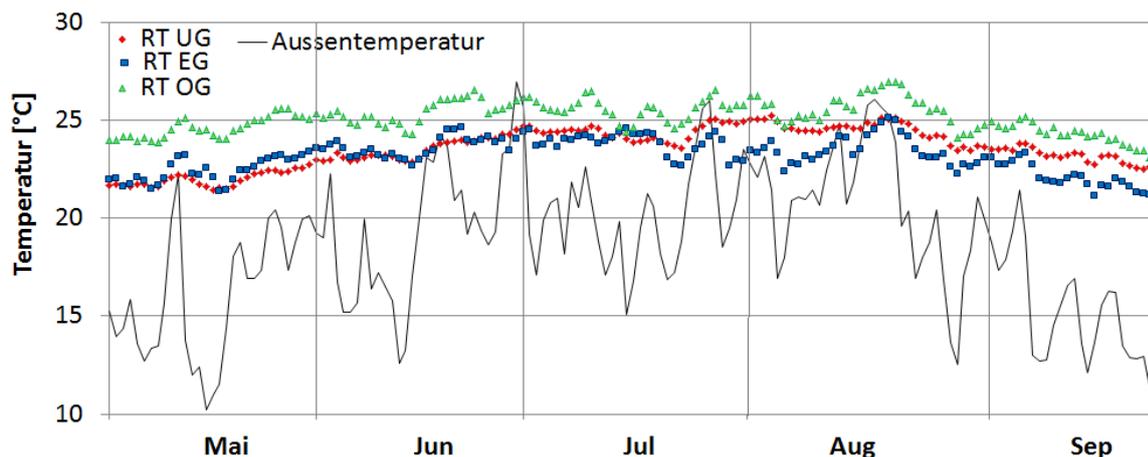


Abbildung 8: Raumtemperaturen in den Wohnungen

3.8 Lüftung

Für den Betrieb der Lüftungsanlage werden zwischen 01.05.2012 und 30.09.2012 insgesamt 409 kWh Elektrizität aufgewendet. Der monatliche Elektrizitätsbezug liegt zwischen 65 kWh im Mai 2012 und 83 kWh bis 89 kWh in den Monaten Juni bis September. Die zeitlich differenzierte Betrachtung zeigt, dass die Lüftungsanlage zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr mit erhöhter Leistung betrieben wird und während der Nacht mit reduzierter Leistung läuft.

Bis zum 03.06.2012 bezieht die Lüftungsanlage im Tagesmittel etwa 2.1 kWh Elektrizität, ab 04.06.2012 erhöht sich der tägliche Elektrizitätsbezug auf durchschnittlich 2.8 kWh. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anlage zur Reduzierung von Lüftungswärmeverlusten bis zum 03.06.2012 im „Winterbetrieb“ mit verringertem Luftvolumenstrom läuft. Im Zeitraum zwischen 04.06.2012 und 30.09.2012 wird der Luftvolumenstrom erhöht. Zeitgleich dazu ist die in Kapitel 3.7 beschriebene Kühlfunktion im Gebäude aktiviert. Die genauen Luftvolumenströme werden nicht erfasst und sind im Moment noch nicht bekannt. Nach Aussage des Gebäudeeigentümers haben die Mieter die Möglichkeit, die Frischluftzufuhr ihrer Wohnung individuell anzupassen. Jedoch ist dies nicht am Stromverbrauch der Lüftungsanlage –beispielsweise durch einen Anstieg der Verbrauchswerte in den Abendstunden und am Wochenende– erkennbar.

Abbildung 9 zeigt den Tagesverlauf der Raumtemperaturen aller drei Wohnungen, der Aussentemperatur sowie den Stromverbrauch der Lüftungsanlage eines beispielhaften Zeitraums von sieben Tagen (19.06.2012 bis 25.06.2012). Sollte das Einblasen abgekühlter Luft zur aktiven Kühlung des Gebäudes beitragen, so müssten die Raumtemperaturen um 6:00 Uhr absinken. Dies ist jedoch nicht erkennbar. Ein weiteres Indiz für den geringen Effekt dieser Kühlmethode zeigt sich in der Beeinflussung des Gebäudes durch Sonneneinstrahlung. Bedingt durch die Westorientierung des Gebäudes steigt die Raumtemperatur insbesondere in der OG-Wohnung an sonnigen Tagen in den Abendstunden und bei niedrigem Sonnenstand an. Ob die Sonnenstoren abhängig von der Einstrahlung gesteuert werden, konnte nicht geprüft werden. Ein gezieltes Herablassen der Sonnenstoren am Nachmittag und in den Abendstunden könnte die Raumtemperatur absenken und damit besser zum sommerlichen Wärmeschutz beitragen.

Das Gebäude ist nicht mit Sensoren ausgestattet, die das Öffnen von Fenstern registrieren. Häufig wird ein kurzzeitiges Absinken oder Ansteigen der Raumtemperaturen in einer oder in mehreren Wohnungen beobachtet. Diese Schwankungen deuten auf das Öffnen eines Fensters hin. Es zeigt sich jedoch, dass die Lüftungsanlage zeitgleich mit unveränderter Leistung weiterläuft.

Zur Verringerung des Elektrizitätsbedarfs der Lüftung wäre es sinnvoll, den Luftvolumenstrom wohnungsweise zu verringern oder die Lüftungsanlage einer Wohnung ganz abzuschalten, wenn ein

oder mehrere Fenster im Gebäude geöffnet sind. Einen weiteren, mit geringem Aufwand realisierbaren Beitrag zur Absenkung der Raumtemperaturen während der Sommermonate könnte die Fensterlüftung leisten.

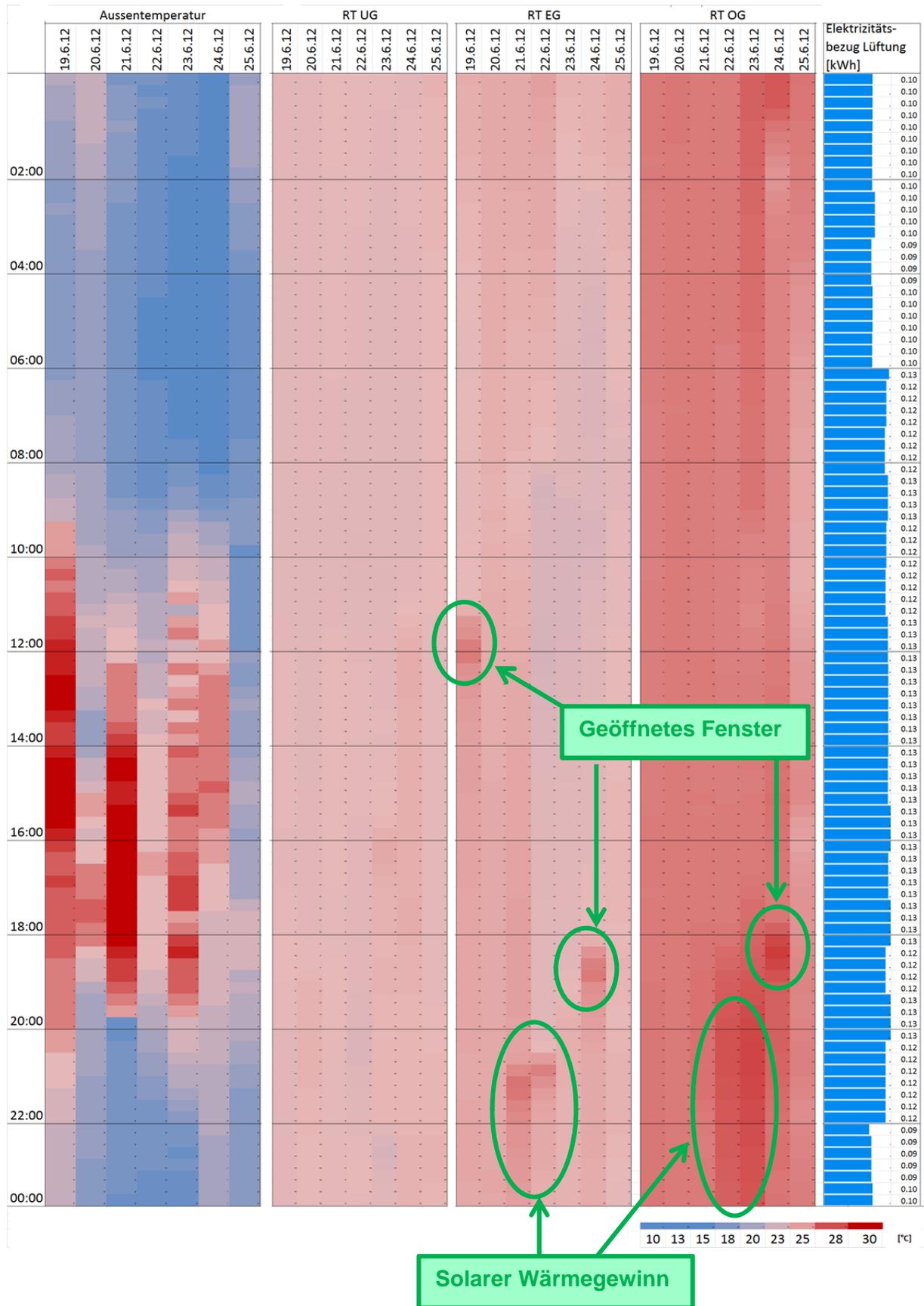


Abbildung 9: Aussen- und Raumtemperaturen im Tagesverlauf (19.06.2012 bis 25.06.2012)

3.9 Elektrizitätsbezug im Gebäude

01.05.2012 bis 30.09.2012

Im Beobachtungszeitraum werden insgesamt 4'939 kWh Elektrizität im Gebäude bezogen. Damit werden sowohl sämtliche Verbraucher im Gebäude versorgt, die Warmwasserversorgung sichergestellt als auch der Akkumulator des Elektroautos geladen.

Der gesamte Elektrizitätsbezug verteilt sich wie folgt auf die einzelnen Verbraucher: 48% (2'392 kWh) wurden in den Wohnungen bezogen, 9% (462 kWh) entfallen auf den Betrieb der Wärmepumpe, 24% (1'210 kWh) werden ins Elektroauto gespeist, 8% (409 kWh) benötigt die Lüftungsanlage, weitere 9% (440 kWh) des Gesamtbezugs werden als Allgemestrom u.a. zur Beleuchtung des Gebäudes bezogen. Abbildung 10 stellt die Verteilung des Elektrizitätsbezugs auf die einzelnen Verbraucher dar.

Im Vergleich zur Winterperiode 2011/2012 bleiben die prozentualen Anteile des Allgemestroms, Haushaltsstroms der Wohnungen und der Lüftung am Gesamtelektrizitätsbezug etwa gleich, während für das Elektroauto prozentual mehr Elektrizität eingesetzt wird und die Wärmepumpe weniger Elektrizität bezieht.

Der monatliche Elektrizitätsbezug bewegt sich zwischen 909 kWh (September 2012) und 1'047 kWh (Mai 2012) auf einem relativ konstanten Niveau. Im Verlauf eines Tages werden zwischen 18.4 kWh und 71.4 kWh Elektrizität bezogen. Der mittlere tägliche Elektrizitätsbezug beläuft sich auf 32.3 kWh. Der höchste Tagesbezug wird am 05.05.2012 beobachtet und ist auf eine Störung der Wärmepumpe zurückzuführen, in deren Folge Warmwasser durch elektrische Direktheizung erzeugt wurde.

Detaillierte Informationen Jahres-Elektrizitätsbilanz des Gebäudes werden in Kapitel 3.14 aufgeführt.

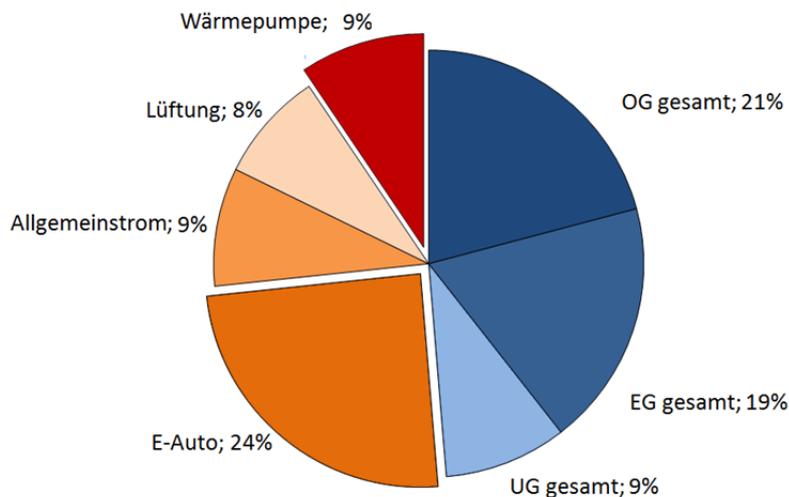


Abbildung 10: Verteilung des Elektrizitätsbezugs im Beobachtungszeitraum

3.10 Elektrizitätsbezug in den Wohnungen

Im Beobachtungszeitraum werden insgesamt 2'392 kWh Elektrizität als Haushaltsstrom in den Wohnungen bezogen. Diese Menge entspricht 48% des gesamten Elektrizitätsbezugs zwischen Mai 2012 und September 2012. Die durchschnittlich pro Monat bezogene Menge an Haushaltstrom liegt zwischen 458 kWh (Juni 2012) und 532 kWh (Mai 2012) auf etwa konstantem Niveau. Gegenüber der Heizperiode 2011/2012 (durchschnittlich 590 kWh/Monat) ist ein deutlicher Rückgang des monatlichen Haushaltsstrombezugs erkennbar. Der grafische Verlauf wird wohnungsweise in Abbildung 11 dargestellt. Die wohnungs- und monatsweise zugewiesenen Elektrizitätsbedarfsmengen wurden, wie bereits im 1. Zwischenbericht erwähnt, vom Eigentümer des Gebäudes festgelegt.

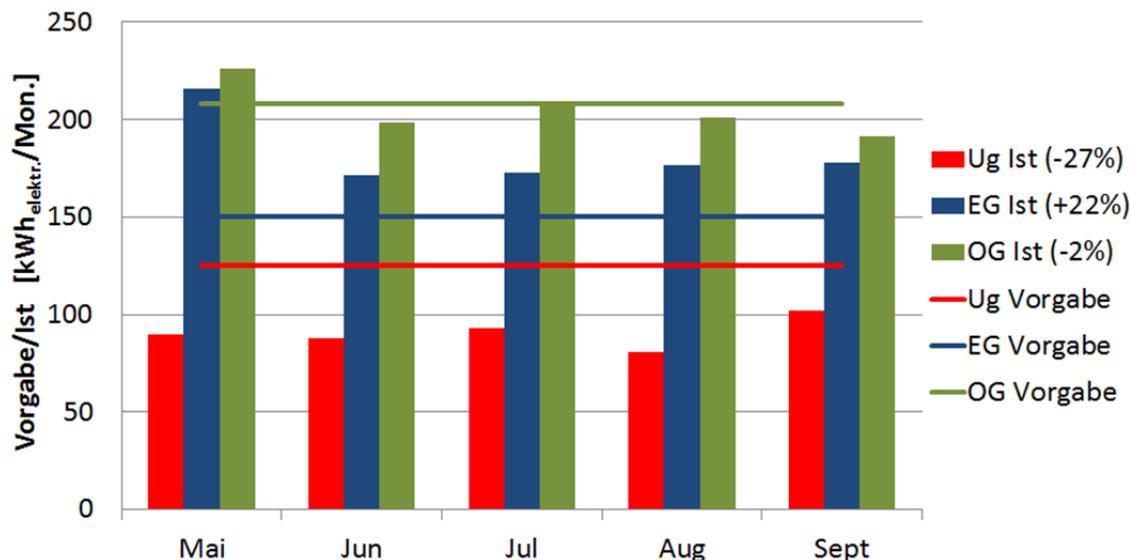


Abbildung 11: Monatlicher Elektrizitätsbezug und Vorgabewerte in den Wohnungen

Die Obergeschosswohnung, in der zwei Personen leben, weist den höchsten Gesamtbezug im Beobachtungszeitraum (1024 kWh) und den höchsten monatlichen Bezug (226 kWh im Mai 2012) auf. Der monatliche Elektrizitätsbezug sinkt im Vergleich zur Heizperiode 2011/2012 erkennbar ab, zeigt aber kein Minimum während des Sommers. Der monatliche Vorgabewert von 208 kWh wird lediglich im Mai 2012 überschritten.

Der Elektrizitätsbezug der von einer Mieterin bewohnten Erdgeschosswohnung beläuft sich zwischen Mai 2012 und September 2012 auf 914 kWh. Der monatliche Elektrizitätsbezug der Erdgeschosswohnung bewegt sich zwischen 171 kWh und 216 kWh und überschreitet den monatlichen Vorgabewert von 150 kWh in allen Monaten. Im Vergleich zur Heizperiode 2011/2012 ist eine sinkende Tendenz im Elektrizitätsbezug dieser Wohnung und ein Minimum in den Monaten Juli 2012 und August 2012 zu erkennen.

In der Untergeschosswohnung (ein Mieter) werden im gleichen Zeitraum 454 kWh bezogen, der monatliche Elektrizitätsbezug liegt zwischen 81 kWh und 102 kWh. Der monatliche Vorgabewert von 125 kWh wird stets eingehalten. Verglichen mit der Heizperiode 2011/2012 lassen sich keine Veränderungen im monatlichen Elektrizitätsbezug erkennen. Wie bereits im 1. Zwischenbericht erwähnt, ist weiterhin zu beobachten, dass der Dampfabzug etwa 11 kWh Elektrizität pro Monat benötigt. Eine Befragung des Mieters (5) zeigt, dass die im Dampfabzug eingebauten Glühbirnen häufig zur Beleuchtung der Wohnung genutzt werden.

Da die monatlich bezogenen Elektrizitätsmengen in der Unter- und Obergeschosswohnung überwiegend den Vorgabewerten des Energie-Informationssystems entsprechen, wird davon ausgegangen, dass die Mieter ihr Energiebezugsverhalten entsprechend anpassen.

Der erhöhte Elektrizitätsbezug in der Erdgeschosswohnung ist auf die teilgewerbliche Nutzung als Nail-Studio zurückzuführen. Dafür werden verschiedene elektrische Geräte betrieben (UV-Härtungsgerät, Computer, Kasse), deren Elektrizitätsbezug zwischen Mai und September manuell erfasst werden. Da die Länge der Erfassungszeiträume zwischen 27 und 37 Tagen variiert und der Beginn und das Ende dieser Zeiträume nicht deckungsgleich mit den einzelnen Monaten des Beobachtungszeitraums sind, können monatliche Bezugswerte nur näherungsweise bestimmt werden. Zwischen Mai und September beläuft sich der zusätzliche Elektrizitätsbezug in der Erdgeschosswohnung auf 152 kWh, respektive ca. 40 kWh pro Monat. Der grösste Anteil dieses zusätzlichen Elektrizitätsbezugs (etwa 25 kWh pro Monat) entfällt auf den Betrieb des Computers. Würde der gewerbsmässig bedingte zusätzliche Elektrizitätsbezug in der Erdgeschosswohnung

entfallen, könnten, die monatlichen Bezugs-Vorgabewerte mit Ausnahme des Monats Mai 2012 eingehalten werden.

Der Graustrombezug in den Wohnungen beläuft sich in Beobachtungszeitraum auf insgesamt 1'567 kWh. Im Vergleich zur Heizperiode 2011/2011 sinkt der Anteil des Graustroms am Elektrizitätsbezug in den Wohnungen nur geringfügig von 68% auf 65% ab. Die monatlichen Werte bewegen sich zwischen 298 kWh (63%) und 351 kWh (66%). Wohnungsweise betrachtet steigt der Anteil des Graustrombezugs am Haushaltstrom gegenüber der Heizperiode 2011/2012 in der UG-Wohnung von 77% auf 80% an, während er in der EG- und OG-Wohnung von 75% auf 70% respektive von 63% auf 61% absinkt.

Der Betrieb der Kühlschränke aller Wohnungen erfordert 207 kWh Elektrizität, was 9% des gesamthaft bezogenen Haushaltsstroms entspricht. Die monatlichen Elektrizitätsbezüge der Kühlschränke der EG- und OG-Wohnung liegen konstant zwischen 19 und 24 kWh/Monat. Auffällig ist der niedrige Elektrizitätsbezug des Kühlschranks der UG-Wohnung. Sowohl die monatlichen Werte (1 kWh) als auch die Summe über den gesamten Beobachtungszeitraum (7 kWh) erscheinen deutlich zu niedrig. Es wird abgeklärt, ob der Kühlschrank durch den Mieter nicht genutzt wird, oder ob der zugeordnete Elektrizitätsmengenähler einen Defekt aufweist.

Die Kraftverbraucher (E-Herde und Waschmaschinen) aller Wohnungen benötigen im Beobachtungszeitraum 406 kWh Elektrizität (17% des Haushaltsstroms). Der Mieter der UG Wohnung bezieht zwischen 3 kWh/Monat und 7 kWh/Monat, die EG-Wohnung weist einen Bezug zwischen 24 kWh/Monat und 32 kWh/Monat auf, während die Werte der OG-Wohnung zwischen 40 kWh/Monat und 55 kWh/Monat liegen. Im Vergleich zur Heizperiode 2011/2012 sinkt der Elektrizitätsbezug der Kraftverbraucher der UG- und OG-Wohnung leicht von durchschnittlich 7 kWh/Monat auf 5 kWh/Monat respektive 52 kWh/Monat auf 48 kWh/Monat ab. In der EG-Wohnung geht der Elektrizitätsbezug der Kraftverbraucher deutlich von durchschnittlich 40 kWh/Monat auf 28 kWh/Monat zurück.

Die Geschirrwashmaschinen aller Wohnungen benötigen 118 kWh Elektrizität. Diese Menge entspricht 9% des gesamthaft bezogenen Haushaltsstroms im Beobachtungszeitraum. Die monatlichen Elektrizitätsbezüge der Geschirrwashmaschinen der EG- und OG-Wohnung liegen konstant zwischen 10 kWh/Monat und 12 kWh/Monat. Der Elektrizitätsbezug des Geschirrspülers der UG-Wohnung bewegt sich zwischen 1 kWh/Monat und 2 kWh/Monat, was auf eine seltene Nutzung hindeutet. Der Elektrizitätsbezug der Geschirrspüler im Sommer 2012 bewegt sich in etwa im Bereich der Heizperiode 2011/2012.

3.11 Beeinflussbare Verbraucher

Als beeinflussbare Verbraucher werden alle elektrischen Geräte zusammengefasst, deren Betriebszeitpunkt und Elektrizitätsbezug ohne Einbusse von Komfort oder Funktionalität beeinflusst werden kann. Mit der aktuellen Messkonzeption des Gebäudes können Aussagen zum Einfluss der Lastverschiebung des Elektrizitätsbezugs der Wärmepumpe, der Geschirrwashmaschinen in den Wohnungen sowie der Ladezeitpunkte des Elektromobils getroffen werden. Diese Verbraucher können genutzt werden, um den Elektrizitätsbedarf und das PV-Angebot besser zu synchronisieren. Im Verlauf eines Tages steht zwischen 10 Uhr und 16 Uhr erwartungsgemäss ausreichend Elektrizität zur Verfügung, um den Bedarf im Gebäude zu decken. Im Sinne eines hohen Eigenverbrauchs und der daraus resultierenden hohen Gleichzeitigkeit von Erzeugung und Bezug sowie zur Reduzierung der Residuallast in den Abend- und Nachtstunden wäre es günstig, steuerbare Verbraucher konsequent zwischen 10 Uhr und 16 Uhr zu betreiben.

Der Elektrizitätsbezug aller steuerbaren Verbraucher im Beobachtungszeitraum beträgt 1'816 kWh und entspricht 37% des gesamten Elektrizitätsbezugs zwischen Mai 2012 und September 2012.

Im Beobachtungszeitraum beträgt der Elektrizitätsbezugs steuerbarer Verbraucher zwischen 10 Uhr und 16 Uhr 1086 kWh, dies entspricht etwa 56% des Gesamtelektrizitätsbezugs von 1'943 kWh zwischen 10 Uhr und 16 Uhr.

Die von beeinflussbaren Verbrauchern ausserhalb des Zeitfensters zwischen 10 Uhr bis 16 Uhr bezogene Elektroenergie kann als Verschiebepotential betrachtet werden. Ausserhalb dieses Zeitfensters werden insgesamt 2'996 kWh Elektroenergie von allen Verbrauchern im Gebäude bezogen, die zu 730 kWh (24%) auf beeinflussbare Verbraucher und zu 2'266 kWh (76%) auf nicht beeinflussbare Verbraucher entfallen.

Das Verschiebepotential von 730 kWh setzt sich wie folgt zusammen:

- 541 kWh werden zur Ladung der Akkumulatoren des Elektromobils eingesetzt,
- 106 kWh auf den Betrieb der Geschirrwashmaschinen,
- 83 kWh entfallen auf die Wärmepumpe.

Eine vollständige Lastverschiebung aller beeinflussbaren Verbraucher in den Zeitraum zwischen 10:00 Uhr bis 16:00 Uhr würde die Residuallast in den Abend und Nachtstunden (siehe Kapitel 4.3) von bisher 1'865 kWh auf 1'135 kWh reduzieren.

3.12 Elektromobilität

Das Elektroauto (Renault Fluence Z.E) wird im Beobachtungszeitraum intensiv vom Gebäudeeigentümer gefahren. Die mit dem Elektroauto zurückgelegte Strecke wird monatlich erfasst und in einem „elektronischen Fahrtenbuch“ dokumentiert. Das Fahrzeug wird überwiegend an der Ladestation des Gebäudes mit Elektrizität versorgt. An externen Ladestationen wurde wenig Elektrizität (16 kWh respektive 2% der am Gebäudestandort bezogenen Elektrizitätsmenge) bezogen. Die „extern“ bezogene Elektrizitätsmenge wird ebenfalls im elektronischen Fahrtenbuch dokumentiert.

Zwischen Mai 2012 bis September 2012 wurden 5'937 km Fahrstrecke mit dem Elektroauto zurückgelegt. Zur Ladung der Akkumulatoren des Fahrzeugs werden 1'210 kWh Endenergie in 134 Zyklen mit durchschnittlich 8.8 kWh pro Ladezyklus bezogen. Das Aufladen erfolgt fast ausschliesslich am Gebäudestandort. Die Fahrleistungen des Elektroautos werden seit Juli 2012 monatsweise erfasst. Durchschnittlich wird mit dem Fahrzeug eine Fahrstrecke von 1'250 km im Monat zurückgelegt. Im Mittel werden dafür 17.8 kWh pro 100 km aufgewendet. Die zurückgelegte Strecke, der monatliche Elektrizitätsbezug sowie der Lastgang und die Lage der Ladezeitpunkte im Tagesverlauf sind in Abbildung 12 dargestellt. Es zeigt sich, dass der Akkumulator des Fahrzeugs überwiegend zwischen 10 Uhr und 16 Uhr geladen und dabei 545 kWh Elektrizität bezogen wird. Das Bezugsmaximum liegt vorwiegend in den Mittagsstunden (12 Uhr bis 13 Uhr). Während dieser Zeit werden 270 kWh Elektrizität zum Laden des Fahrzeugakkumulators bezogen.

Wie in Kapitel 3.11 aufgeführt, könnten durch die Verschiebung in die Tagesstunden der restlichen 665 kWh Elektrizität zur Ladung der Akkumulatoren des Elektroautos im Sinne einer Erhöhung des Eigenverbrauchs in die Mittagsstunden verlegt werden. Die 665 kWh wurden hauptsächlich zwischen 16 Uhr und 20 Uhr bezogen.

Allerdings könnte diese Massnahme dazu führen, dass der Akku des Fahrzeuges nicht vollständig aufgeladen ist, wenn es genutzt werden soll. Um die Verfügbarkeit und die Reichweite des Fahrzeugs nicht zu stark einzuschränken, wäre es sinnvoll, weitere Massnahmen zur Lastverschiebung an eine Vorausplanung der beabsichtigten Fahrdistanzen zu koppeln. Wenn beispielsweise bekannt ist, dass das Fahrzeug erst am übernächsten Tag genutzt werden soll, könnte der Akku anstatt in den Abend- und Nachtstunden erst bei ausreichendem PV-Ertrag am kommenden Tag geladen werden.

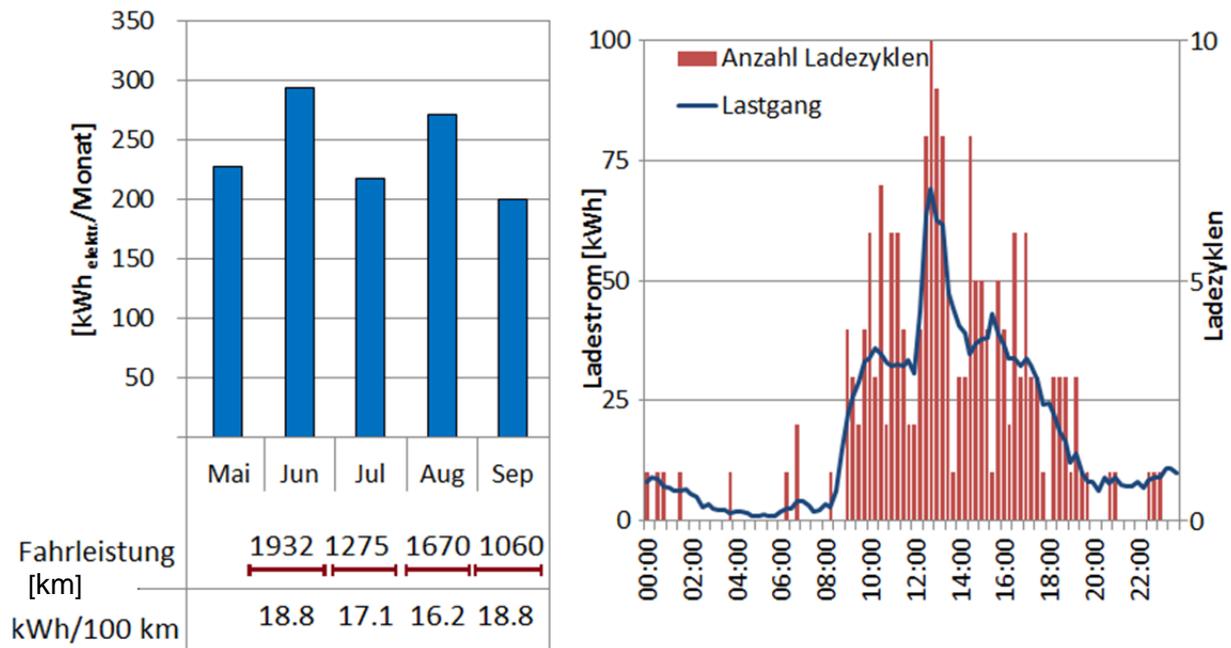


Abbildung 12: Links: Monatlicher Elektrizitätsbezug und Fahrleistungen des Elektroautos, Rechts: kumulierter Lastgang und Lage der Ladezeitpunkte im Tagesverlauf

3.13 PV-Ertrag

Der Ertrag der PV-Anlage im Beobachtungszeitraum beläuft sich auf 12'521 kWh. Der höchste Monatsertrag (2'916 kWh) wurde im Mai 2012 erzielt. Der höchste Tagesertrag (136.0 kWh) wurde am 22.06.2012 erzielt, am 22.09.2012 beträgt der PV-Ertrag lediglich 6.0 kWh. Die Ertragsprognose auf Meteonorm-Basis geht für den Zeitraum zwischen Mai bis September von einem PV-Ertrag von 11'179 kWh aus. Der prognostizierte PV-Ertrag wird in den Monaten Mai bis August um 5 bis 27% überschritten, im September bleibt der PV-Ertrag um 2% hinter der Prognose zurück. Über den Beobachtungszeitraum gemittelt, werden 11% mehr Elektrizität solar erzeugt als in der Prognose vorhergesagt. Die Abbildung 13 stellt den prognostizierten und den erzielten monatlichen PV-Ertrag grafisch dar.

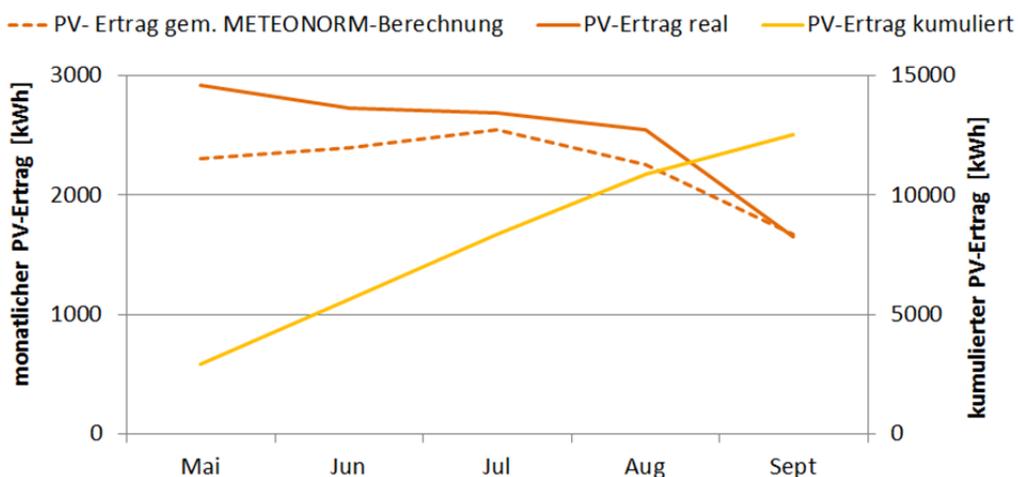


Abbildung 13: Prognostizierter und erzielter PV-Ertrag (Sommer 2012)

3.14 Energetische Jahresbilanz

3.14.1 Gesamtbilanz

Im ersten Betriebsjahr (01.10.2011 bis 30.09.2012) werden 19'805 kWh Elektrizität erzeugt und 13'210 kWh Elektrizität im Gebäude bezogen. Somit ergibt sich gegenüber dem Elektrizitätsbezug im Gebäude ein Überschuss von 6'595 kWh. Im Vergleich zum prognostizierten Jahresertrag erzeugt die PV-Anlage mit 1'805 kWh etwa 10% mehr Elektrizität, als durch die Ertragsprognose vorhergesagt wurde. Abbildung 14 zeigt den kumulierten monatlichen Ertrag der PV-Anlage, die im Gebäude bezogene Elektrizität sowie die prozentuale Deckung des monatlichen Verbrauchs.

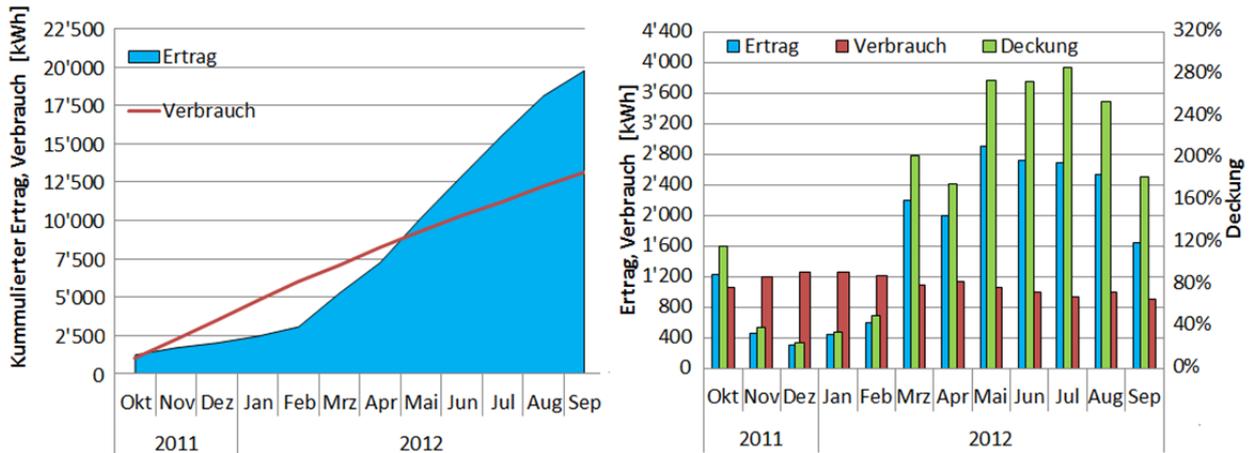


Abbildung 14: PV-Ertrag, Gesamtelektrizität, links; monatliche Werte, rechts: kumulierte Werte

Der gesamte Elektrizitätsbezug verteilt sich wie folgt auf die einzelnen Verbraucher: 49% (6'519 kWh) wurden in den Wohnungen bezogen, 23% (3'069 kWh) entfallen auf den Betrieb der Wärmepumpe, 14% (1'598 kWh) werden ins Elektroauto gespeist, 6% (826 kWh) auf die Lüftung, weitere 7% (940 kWh) des Gesamtbezugs werden als Allgemeinstrom u.a. zur Beleuchtung des Gebäudes bezogen. Abbildung 15 stellt die Verteilung des Elektrizitätsbezugs auf die einzelnen Verbraucher dar.

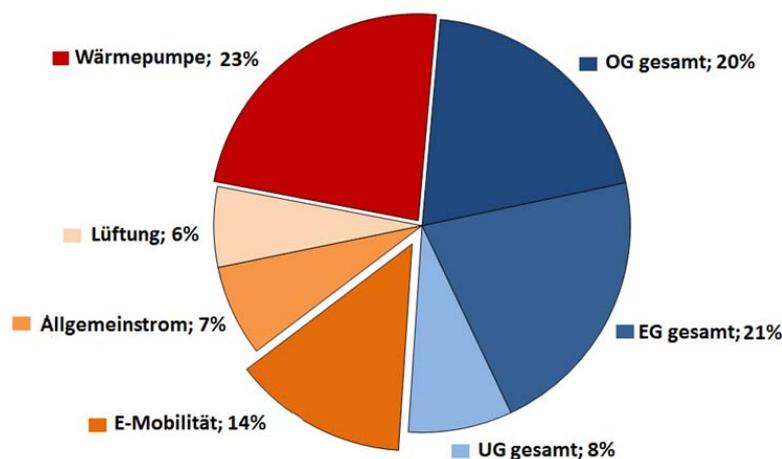


Abbildung 15: Verteilung des Elektrizitätsbezugs im ersten Betriebsjahr (01.10.2011 bis 30.09.2012)

3.14.2 Endenergiebezug in den Wohnungen

Um den Einfluss des Mieterverhaltens auf den Energiebezug einschätzen zu können, werden die berechneten Vorgabewerte den gemessenen Verbrauchswerten gegenübergestellt.

Hierzu werden die monatlich bezogenen Nutzenergiemengen in Endenergie umgerechnet und mit den monatsweise Vorgabewerten für Heizwärme-, Haushaltsstrombezug sowie Warmwasserverbrauch (6) verglichen.

Für die Aufstellung einer Jahresbilanz wird die monatlich in den Wohnungen bezogene Menge an Endenergie wie folgt berechnet:

Der Nutzenergiebezug (Heizwärmebezug und Warmwasserverbrauch) wird mit den assoziierten Arbeitszahlen ($AZ_{WW} = 3.2$, $AZ_{HZ} = 4.4$) (Kapitel 3.6, (6)) dividiert und die als Haushaltsstrom bezogenen Elektrizitätsmenge addiert.

Bei der Berechnung des monatlichen Endenergie-Vorgabewertes wird analog vorgegangen. Die Nutzenergie-Vorgabewerte für Heizwärme, Warmwasser und Haushaltsstrom der Wohnungen entstammen dem ersten Zwischenbericht.

Es ergibt sich ein jährlicher Endenergiebedarf in den Wohnungen von 8'320 kWh. Der monatliche Endenergiebedarf liegt im Bereich zwischen 587 kWh bis 982 kWh und folgt im Jahresverlauf dem Heizwärmebedarf.

Im ersten Betriebsjahr beläuft sich der Endenergiebezug aller Wohnungen auf 9'716 kWh. Der Wert liegt um 17% über der Vorgabe des gesamten Jahres. Wie bereits im ersten Zwischenbericht aufgeführt und erläutert, überschreitet der Endenergiebezug in den Monaten zwischen Oktober 2011 und April 2012 die Vorgabewerte deutlich. Für diesen Zeitraum werden Überschreitungen der monatlichen Vorgabewerte zwischen 13% und 29% festgestellt. Die Ursachen dafür liegen im Mieterverhalten und waren vorwiegend auf einen deutlich erhöhten Heizwärme- und Elektrizitätsbezug zurückzuführen.

Zwischen Juni und September 2012 liegt der monatliche Energiebezug unterhalb der Vorgabewerte. Im Mai 2012 ist ein leicht erhöhter Endenergiebezug festzustellen, der, wie bereits in Kapitel 3.10 erwähnt, auf einen erhöhten Elektrizitätsbezug in der EG-Wohnung zurückzuführen ist.

Generell ist zu beobachten, dass ein gewisser Ausgleich der Endenergie-Gesamtbilanz zwischen Wohnungen mit Mehr- und Minderbezug stattfindet. So führen verminderte Elektrizitätsbezüge in der UG- und OG- Wohnung dazu, dass der erhöhte Stromverbrauch der EG-Wohnung ausgeglichen wird. Analog verhält sich der Warmwasserverbrauch. Die erhöhten Verbrauchswerte der UG-Wohnung werden durch Minderverbräuche in der EG- und OG-Wohnung kompensiert.

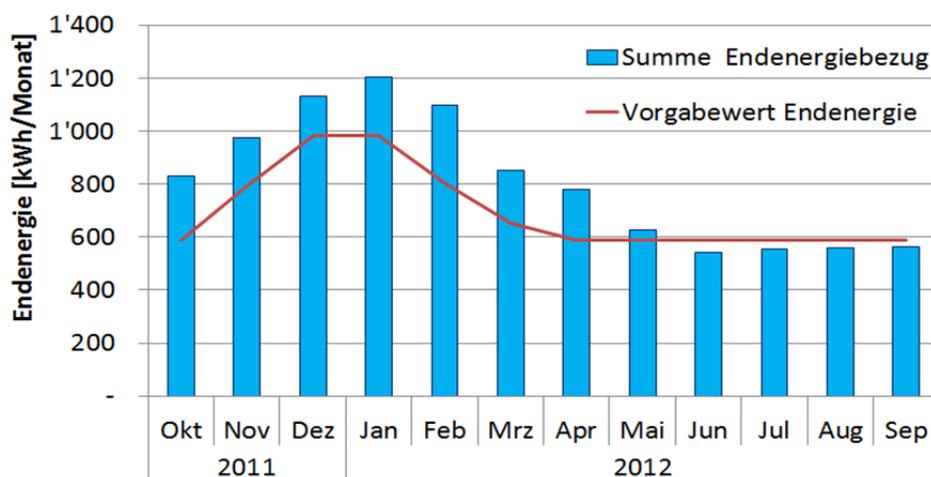


Abbildung 16: Endenergiebezug aller Wohnungen im ersten Betriebsjahr (01.10.2011 bis 30.09.2012)

3.14.3 Vergleich mit der Wärmebedarfsberechnung.

Die spezifischen Endenergiebezüge für Heizung, Lüftung und Warmwasserproduktion werden durch Division der Summe des gesamten Endenergieverbrauchs des Gebäudes im ersten Betriebsjahr durch die Energiebezugsfläche des Gebäudes (396 m², (6)) berechnet. Als Vergleich wird der Endenergiebedarf der Wärmebedarfsberechnung gemäss *Minergie*-Antrag herangezogen. Für den spezifischen Endenergiebedarf und –bezug des ersten Betriebsjahres ergeben sich die folgenden Werte:

	Referenzwert gemäss <i>Minergie</i> Antrag	Gemessene Werte des 1. Betriebsjahres	
	spezifischer Endenergiebedarf	spezifischer Endenergiebezug	spezifischer Endenergiebezug
		berechnet mit gemessenen Arbeitszahlen (AZ _{WW} = 3.2, AZ _{HZ} = 4.4)	berechnet mit Arbeitszahlen aus <i>Minergie</i> -Antrag (AZ _{WW} = 2.7, AZ _{HZ} = 3.1)
	[kWh/(m ² *a)]	[kWh/(m ² *a)]	[kWh/(m ² *a)]
Heizung	3.5	5.1	7.3
Warmwasser	7.7	3.0	3.5
Lüftung	2.2	2.1	2.1
Summe	13.4	10.2	12.9

Tabelle 1: Spezifischer Endenergiebezug und –bedarf im ersten Betriebsjahr

Wie bereits im ersten Zwischenbericht gezeigt, liegt der der gemessene Heizwärmebezug deutlich über dem berechneten jährlichen Heizwärmebedarf. Die Berechnung, der zur Produktion von Heizwärme aufgewendeten Menge an Endenergie, verdeutlicht diesen Sachverhalt noch. Sowohl bei Berechnung mit der real gemessenen Arbeitszahl (AZ_{HZ}= 4.4) als auch für die gemäss Standard-Arbeitszahl berechneten spezifischen Endenergiebezüge ergeben sich deutliche Überschreitungen des spezifischen Endenergiebedarfs für die Heizwärmeproduktion.

Der Endenergiebezug für die Warmwasserproduktion fällt geringer als die Bedarfsberechnung aus. Die Ursache dafür liegt zum einen in der geringen Mieterbelegung des Gebäudes (vier Personen), zum anderen im besseren Ausnutzungsgrad der Wärmepumpe. So wird der Endenergiebedarf mit der Standard-Arbeitszahlen (AZ_{WW}= 2.7) berechnet, während im realen Betrieb eine deutlich bessere Arbeitszahl bestimmt wird (Kapitel 3.6). Bei Berücksichtigung der Arbeitszahlen gemäss *Minergie* nähert sich der spezifische Endenergiebezug für die Warmwasserproduktion dem entsprechenden Referenzwert nur geringfügig an.

Der spezifische Endenergiebezug für den Betrieb der Lüftungsanlage entspricht in etwa dem Vorgabewert. Würde auf die Anhebung des Luftvolumenstroms während der Sommermonate über den Tag (Kapitel 3.8) verzichtet werden, könnte der spezifische Endenergiebezug auf 1.9 kWh/(m²*a) reduziert werden.

In der Summe liegt der tatsächliche spezifische Endenergiebezug unterhalb des im *Minergie* Antrag definierten Referenzwertes.

4 ERKENNTNISSE

4.1 Bilanzierung Elektrizität (01.05.2012 bis 30.09.2012)

Um die tatsächlichen Elektrizitätsströme im Gebäude, vom Elektrizitätsnetz ins Gebäude und vom Gebäude ins Elektrizitätsnetz zu quantifizieren, wurde ein einfacher Bilanzkreis (Abbildung 17) aus PV-Ertrag, Netzeinspeisung, Netzbezug (Residuallast) und Eigenverbrauch aufgestellt.

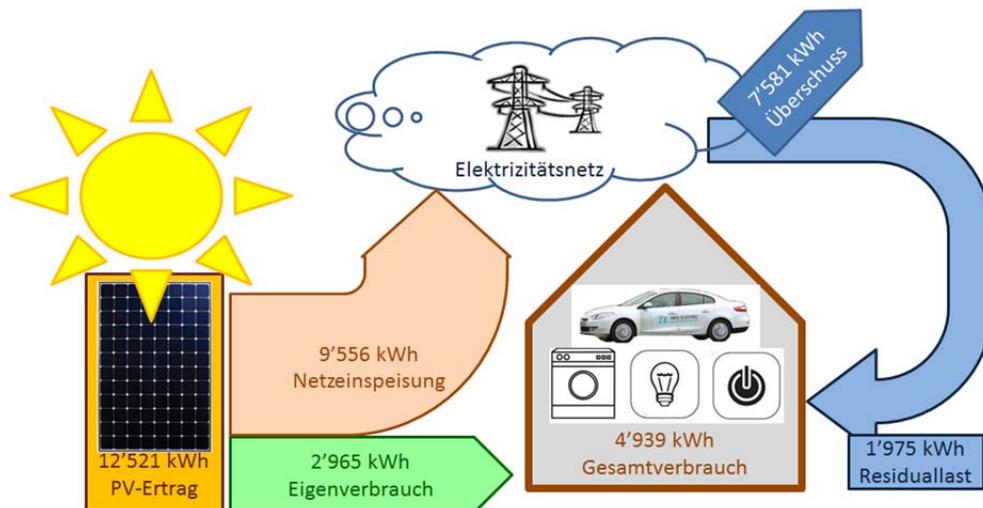


Abbildung 17: Bilanzkreis Elektrizität (Sommer 2012)

Der Bilanzkreis wird genutzt, um die entsprechenden Elektrizitätsmengen zu berechnen. Die monatlichen Werte der Netzeinspeisung, des Netzbezugs und des Eigenverbrauchs sowie deren prozentualen Anteile am PV-Ertrag respektive Gesamtbezug sind in Abbildung 18 dargestellt.

Monatlich werden zwischen 465 kWh (51%) und 648 kWh (65%) des solar erzeugten Stroms direkt im Gebäude verbraucht. Die monatlich selbst verbrauchte Elektrizitätsmenge bleibt über den Betrachtungszeitraum recht konstant, der prozentuale Anteil am Gesamtelektrizitätsbezug weist im Juni und Juli ein Maximum auf und sinkt im September wieder ab.

Pro Monat werden zwischen 354 kWh (35%) und 444 kWh (49%) Elektrizität aus dem Netz bezogen. Der Anteil des Netzbezugs am Gesamtelektrizitätsbezug erreicht im Juni und Juli ein Minimum auf und steigt im September wieder an.

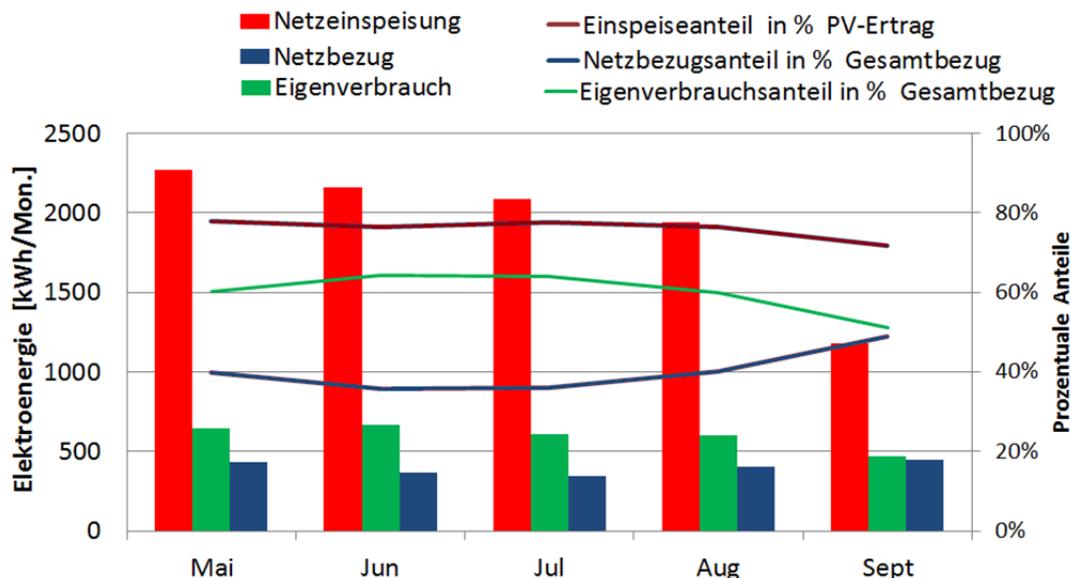


Abbildung 18: Monatlich kumulierte Werte für Netzeinspeisung, Netzbezug und Eigenverbrauch

Die monatlich ins Netz eingespeiste Menge Elektrizität beträgt zwischen 1'181 kWh und 2'271 kWh. Dies entspricht zwischen 72% und 78% des PV-Ertrags im entsprechenden Monat. Es ist ein kontinuierliches Absinken der monatlich ins Netz eingespeisten Elektrizitätsmenge zwischen Mai und September 2012 zu beobachten. Der prozentuale Anteil der Netzeinspeisung am PV-Ertrag bleibt dagegen im Beobachtungszeitraum recht stabil.

4.2 Eigenverbrauch

Der Elektrizitäts-Eigenverbrauch im Gebäude wird mit folgender Formel berechnet:

$$E(\text{Eigenverbrauch}) = \begin{cases} E_{PV}, & E_{PV} < E_{gesamt} \\ E_{gesamt}, & E_{PV} > E_{gesamt} \end{cases} \quad \text{Gleichung 1}$$

Zwischen 01.05.2012 und 30.09.2012 beträgt der Elektrizitäts-Eigenverbrauch im Gebäude insgesamt 2'965 kWh. Dies entspricht 51% des Gesamtelektrizitätsbezugs des Beobachtungszeitraums. Der kumulierte Tages-Lastgang sowie die Verteilung der pro Tag eigenverbrauchten Elektrizitätsmenge werden in Abbildung 19 abgebildet.

Am 22.09.2012 wird mit 5.6 kWh die geringste Menge Elektrizität selbst verbraucht, der Tagesmaximalwert von 43.4 kWh wird am 17.06.2012 erreicht. Am häufigsten werden tägliche Eigenverbrauchsmengen zwischen 14 kWh und 34 kWh beobachtet. Der täglich erzielte Eigenverbrauch überschreitet den Wert von 34 kWh/d an insgesamt 4 Tagen, während an 21 Tagen weniger als 24 kWh/d im Gebäude selbst genutzt werden.

Bei Betrachtung des Tagesverlaufs zeigt sich, dass es möglich ist zwischen 6:00 Uhr und 20:30 Uhr solar erzeugte Elektrizität direkt im Gebäude zu nutzen. Im Zeitraum zwischen 8:30 Uhr und 16:45 Uhr folgt der Tagesgang des Eigenverbrauchs dem Verlauf des Gesamtelektrizitätsbezugs. Ab 17:00 Uhr ist eine starke Abnahme des Eigenverbrauchs zu beobachten.

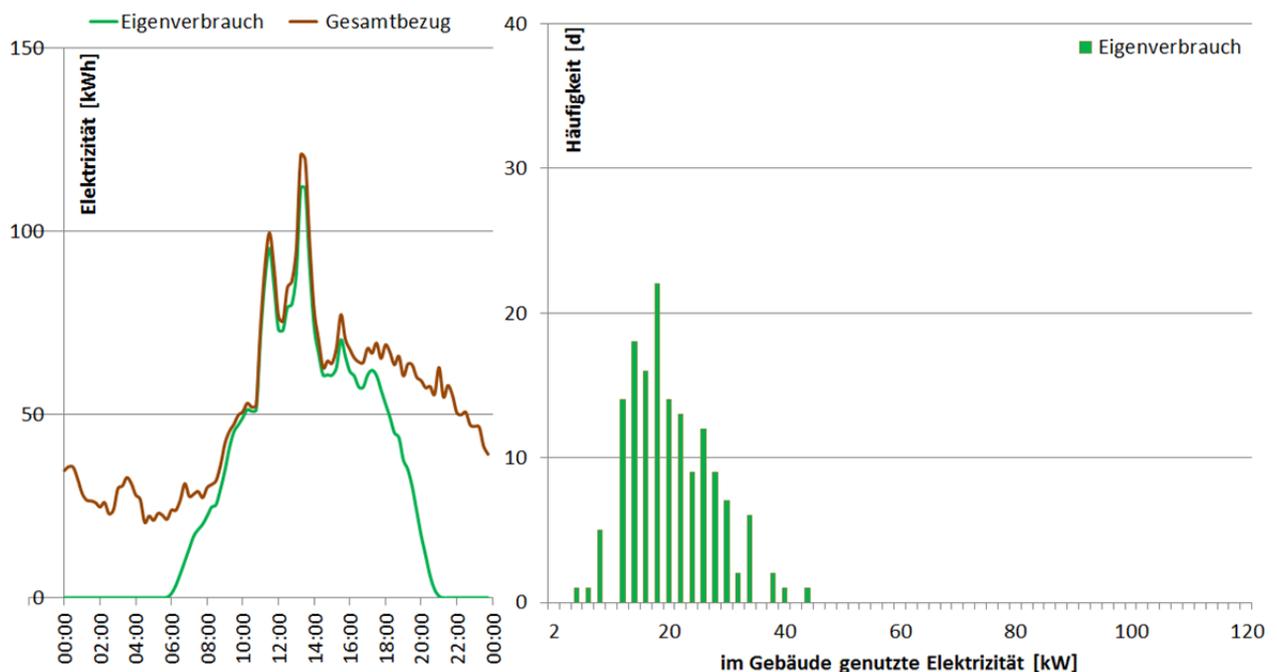


Abbildung 19: Im Gebäude genutzte Elektrizität (kumuliert), links: Tagesgang, rechts: Häufigkeitsverteilung

4.3 Residuallast

Die aus dem Elektrizitätsnetz bezogene Residuallast deckt den Elektrizitätsbezug aller Verbraucher im Gebäude. Die Berechnung erfolgt mit folgender Formel:

$$E(\text{Netzbezug}) = E_{\text{gesamt}} - E_{\text{PV}} \quad \text{Gleichung 2}$$

Zur Deckung des verbleibenden Elektrizitätsbedarfs des Gebäudes werden zwischen 01.05.2012 und 30.09.2012 insgesamt 1'974 kWh Elektrizität als Residuallast aus dem Netz bezogen. Diese Menge entspricht 40% des Gesamtelektrizitätsbezugs des Beobachtungszeitraums. Am 07.07.2012 wurde mit 5.8 kWh die geringste Menge an Elektrizität aus dem Netz bezogen, am 05.05.2012 erreichte der Tageswert des Netzbezugs den Maximalwert von 37.7 kWh. Am häufigsten wird eine Elektrizitätsmenge zwischen 8 kWh/d und 20 kWh/d aus dem Netz bezogen. Der tägliche Netzbezug überschreitet den Wert von 20 kWh/d an insgesamt 17 Tagen, während an 4 Tagen weniger als 8 kWh/d aus dem Elektrizitätsnetz bezogen werden.

Der durchschnittliche Tages-Lastgang sowie die Verteilung der pro Tag aus dem Netz bezogenen Elektrizitätsmenge werden in Abbildung 20 dargestellt.

Der Tagesverlauf des Netzbezugs zeigt, dass es möglich ist, zwischen 5:45 Uhr und 20:45 Uhr die Residuallast von Gesamtbezug abzukoppeln. Es gelingt, die Spitzenwerte des Gesamtelektrizitätsbezugs zwischen 10:30 Uhr und 14:30 Uhr durch den PV-Ertrag zu kompensieren.

Im Beobachtungszeitraum beträgt die zwischen 10 Uhr und 16 Uhr bezogene Residuallast 109 kWh. Diese Elektrizitätsmenge entspricht lediglich 2% des Gesamtelektrizitätsbezugs.

Während der Abend und Nachtstunden (16 Uhr bis 10 Uhr des Folgetages) werden 1'865 kWh Elektrizität respektive 38% des Gesamtelektrizitätsbezugs aus dem Netz bezogen.

Als Folge des erwartungsgemäss im Tagesverlauf abnehmenden PV-Ertrags nähert sich die Residuallast ab 18:00 Uhr an die Kurve des Gesamtbezugs an. Das Angleichen an den Verlauf des Gesamtelektrizitätsbezugs zwischen 18:00 Uhr und 20:45 Uhr ist auf einen höheren Stromverbrauch bei zeitgleichem Absinken des PV-Ertrags in den Abendstunden zurückzuführen.

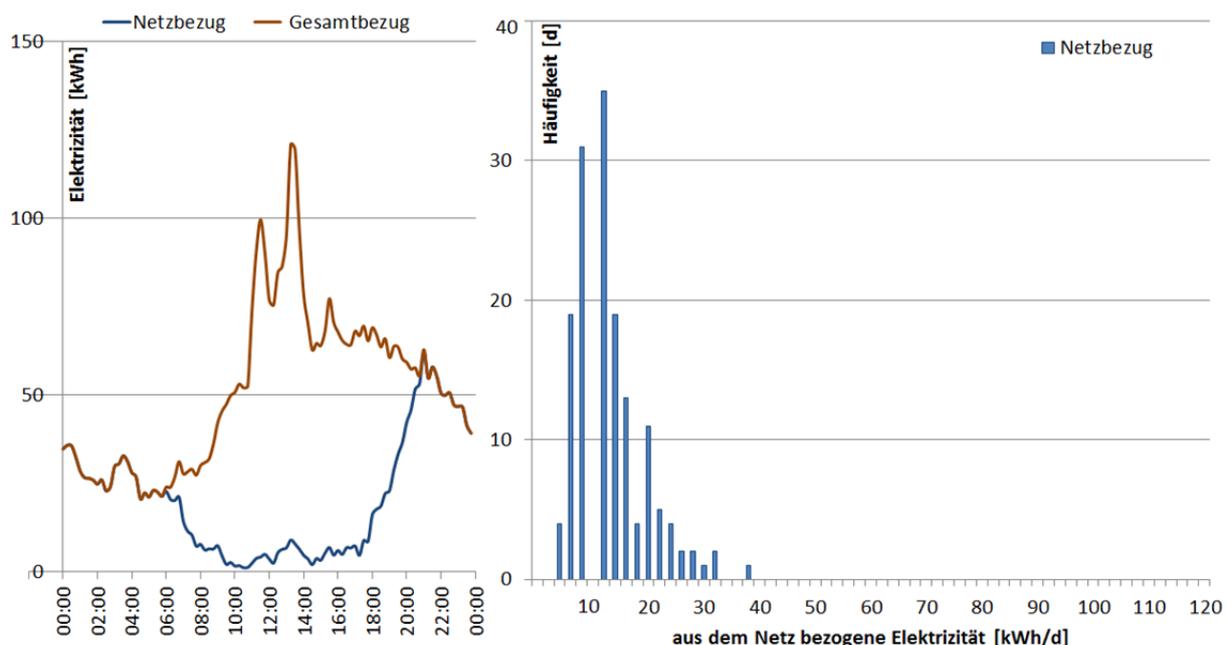


Abbildung 20: Vom Netz bezogene Elektrizität (kumuliert), links: Tagesgang, rechts: Häufigkeitsverteilung

4.4 Netzeinspeisung

Nicht unmittelbar zum Zeitpunkt der Erzeugung im Gebäude verbrauchter Strom wird ins Elektrizitätsnetz eingespeist. Die entsprechende Menge an Elektrizität wird gemäss folgender Formel berechnet:

$$E(\text{Netzeinspeisung}) = E_{PV} - E_{Gesamt} \quad \text{Gleichung 3}$$

In Abbildung 21 wird der Tages-Lastgang der Netzeinspeisung sowie die Verteilung der dabei abgegebenen Elektrizitätsmengen dargestellt.

Im Beobachtungszeitraum beträgt die eingespeiste Elektrizitätsmenge insgesamt 9'556 kWh. Dies entspricht 76 % des PV-Ertrags. Die tägliche ins Netz gespeiste Menge Elektrizität bewegt sich zwischen 0.3 kWh (22.09.2012) und 181 kWh (17.05.2012). Die tageweise eingespeisten Elektrizitätsmengen weisen eine flache und breit gespreizte Verteilung ohne deutliches Maximum auf. An insgesamt 16 Tag wird weniger als 20 kWh/d ins Netz gespeist, während die tägliche Netzeinspeisung an insgesamt 12 Tagen den Wert von 100 kWh/d überschreitet. Der Tagesverlauf zeigt, dass zwischen 6:15 Uhr und 19:45 Uhr Solarstrom ins Netz eingespeist wird. Nach 19:45 Uhr sinkt der PV-Ertrag soweit ab, dass die verbleibende Elektrizitätsmenge meist direkt im Gebäude genutzt. Im Zeitraum zwischen 8:30 Uhr und 16:45 Uhr folgt der Tagesgang der ans Netz abgegebenen Elektrizität erwartungsgemäss dem Verlauf des PV-Ertrags. In den Morgenstunden ist eine Verzögerung von etwa 30 min gegenüber dem Tagesgang des PV-Ertrags zu beobachten. Am Nachmittag eilt der Tagesgang der Netzeinspeisung dem PV-Ertrag um etwa 45 min voraus. Die Ursache des Vorseilens und Nachlaufens („delay gap“) könnte in der Fluktuation des PV-Ertrags bei relativ gleichbleibenden Elektrizitätsbezug zu suchen sein. Während der Vor- und Nachlaufzeiten erzeugt die PV-Anlage bereits Strom, die Elektrizitätsmenge reicht jedoch nicht aus, um den gesamten Elektrizitätsbezug im Gebäude vollständig zu decken.

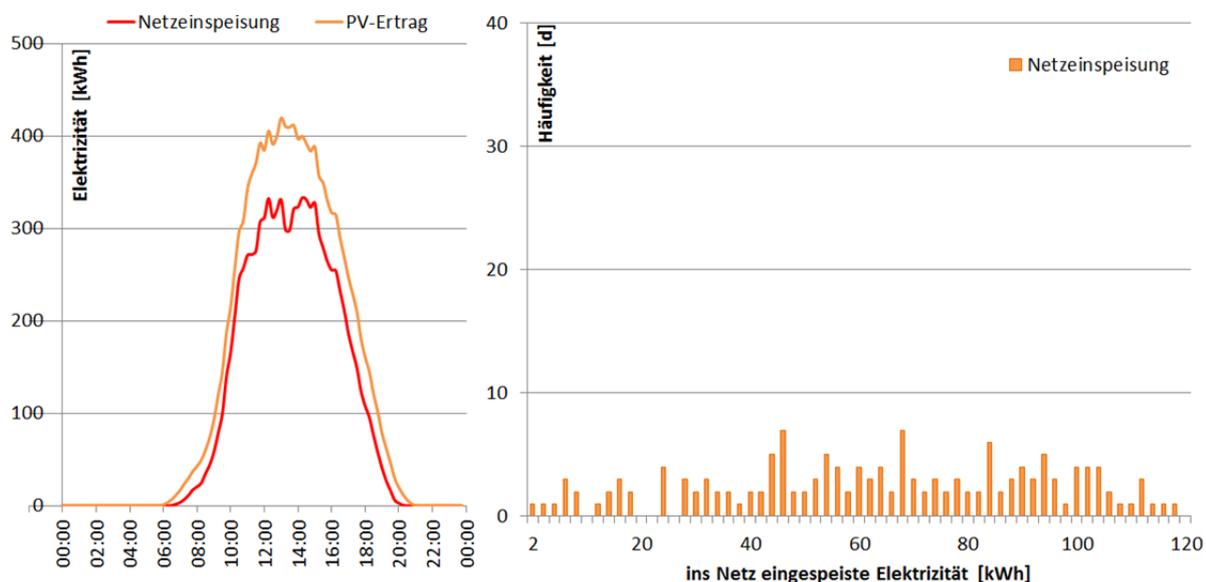


Abbildung 21: Ins Netz eingespeiste Elektrizität (kumuliert), links:Tagesgang, rechts: Häufigkeitsverteilung

4.5 Gleichzeitigkeit

In der Abbildung 22 werden alle Zeiträume, in denen die Ein-Stunden-Elektrizitätsbilanz positiv ausfällt, d.h. durch die PV-Anlage im Verlauf einer Stunde mehr Elektrizität erzeugt, als im Gebäude verbraucht wird, als rot markierte Fläche dargestellt. Zusätzlich sind alle Tage, an denen die Tagesbilanz positiv ist, in grün dargestellt.

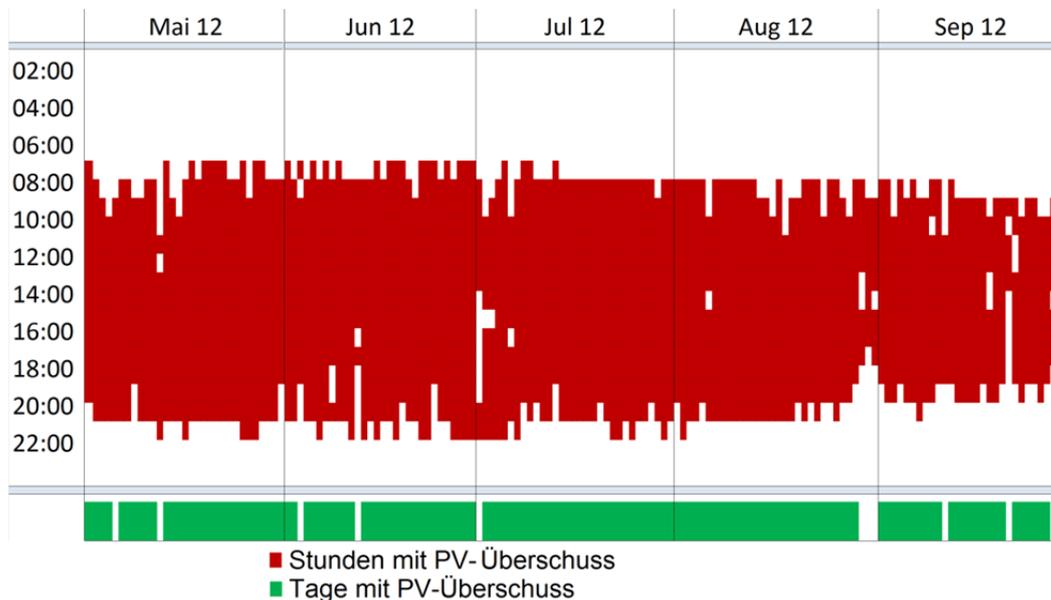


Abbildung 22: Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsbezug und PV-Produktion

Im Beobachtungszeitraum wird an 1866 h (51%) der Elektrizitätsbezug durch den PV-Ertrag gedeckt. Pro Monat wird Gleichzeitigkeit an 300 h (40%) bis 404 h (56%) erreicht. An 141 Tagen (93%) wurde im gesamten Tagesverlauf mehr Elektrizität von der PV-Anlage erzeugt, als im Gebäude bezogen. An 11 Tagen (7%) weist die Elektrizitäts- Tagesbilanz ein Defizit aus.

Am 22.09.2012 wird an lediglich 4 h mehr Elektrizität erzeugt als zeitgleich im Gebäude bezogen. An sieben Tagen (27.05.2012, 18.06.2012, 22.06.2012, 23.06.2012, 28.06.2012, 29.06.2012, 30.06.2012 sowie am 05.07.2012) wird Gleichzeitigkeit während 15 h des jeweiligen Tages erzielt.

Ausgehend von der Ein-Stunden- Elektrizitätsbilanz des Gebäudes, werden die Zeitpunkte im Laufe eines Tages, an denen der Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude den PV-Ertrag überschritt, genauer analysiert. Die dabei festgestellten Zeitpunkte oder Zeiträume werden nachfolgend als „Ereignisse“ bezeichnet. Als Randbedingung wird ein jahreszeittypischer Tagesgang der solaren Einstrahlung sowie zur Abgrenzung in den Morgen- und Abendstunden ein minimaler stündlicher PV-Ertrag von mehr als 1 kWh angenommen.

Es ist zu erkennen, dass der Umstand, die Elektrizitätserzeugung und den Stromverbrauch im Gebäude genauso auszubalancieren, das die Residuallast minimiert und Gleichzeitigkeit erzielt wird, von drei Hauptfaktoren abhängt.

Die am häufigsten beobachtete Ursache (15 Ereignisse) für nicht erreichte Gleichzeitigkeit liegt im zu geringen PV-Ertrag als Folge geringer tageszeit- und witterungsbedingter solarer Einstrahlung. Neun Ereignisse sind auf das Laden des Elektromobils und die daraus resultierenden Lastspitzen zurückzuführen. Fünf Ereignisse resultieren aus den Lastspitzen des Wärmepumpenbetriebs. Im Beobachtungszeitraum werden insgesamt 29 Ereignisse festgestellt, welche in der nachfolgenden Tabelle 2 chronologisch aufgelistet sind:

Datum	Zeitraum (vom-bis)	Witterung / zu geringe Einstrahlung	Durch die Ladung des Elektroautos bedingt	Durch den Betrieb der Wärmepumpe bedingt
12.05.2012	7 bis 11 Uhr	X		
12.06.2012	15 bis 20 Uhr	X		
24.06.2012	18 bis 20 Uhr			
01.07.2012	13 bis 18 Uhr	X	X	
02.07.2012	7 bis 8 Uhr			
02.07.2012	14 Uhr		X	
03.07.2012	14 Uhr		X	
06.07.2012	7 bis 8 Uhr	X		
06.07.2012	15 Uhr		X	
13.07.2012	18 bis 19 Uhr	X		
06.08.2012	7 bis 8 Uhr	X		
06.08.2012	13 Uhr	X		X
18.08.2012	8 bis 9 Uhr		X	
24.08.2012	7 bis 8 Uhr			
30.08.2012	12 bis 13 Uhr	X	X	X
31.08.2012	16 bis 19 Uhr			
01.09.2012	13 Uhr	X		X
01.09.2012	17 bis 19 Uhr	X		
04.09.2012	7 bis 8 Uhr	X		
10.09.2012	9 Uhr		X	
10.09.2012	7 bis 10 Uhr	X		
12.09.2012	7 bis 9 Uhr	X		
19.09.2012	12 bis 13 Uhr	X	X	X
22.09.2012	13 bis 18 Uhr	X		
23.09.2012	10 bis 11 Uhr		X	
29.09.2012	13 Uhr			X

Tabelle 2: Ereigniszeitpunkte

Die beobachteten Ereignisse zeigen, dass kurzzeitige Bezugsspitzen einen wesentlichen Einfluss auf das Verhalten des Gebäudes am Elektrizitätsnetz haben. Ob in Zeiträumen eines Tages, in den die Produktion der PV-Anlage den Bedarf des Gebäudes decken könnte, Elektrizität aus dem Netz bezogen wird, hängt vorrangig von der Steuerung der Wärmepumpe und Elektroauto ab.

Im Sinne einer Minimierung der Residuallast zu Zeiten mit ausreichendem PV-Ertrag sollte ein Managementsystem zur Vermeidung von Lastspitzen etabliert werden. Das Lastmanagementsystem sollte in erster Linie vermeiden, dass die Wärmepumpe zum gleichen Zeitpunkt Warmwasser produziert, zu dem der Akkumulator des Elektroautos aufgeladen wird. Dazu sollten Massnahmen zur Priorisierung oder Posteriorisierung der Rangfolge des Einschaltzeitpunktes der Wärmepumpe und des Ladezeitpunktes des Elektroautos getroffen werden.

Es ist denkbar, einerseits die Lastspitzen durch ein geschicktes Lademanagement des Elektroautos zu vermeiden, andererseits die Leistungsaufnahme der Wärmepumpe im Warmwasserbetrieb so zu reduzieren, dass sie die augenblicklich zur Verfügung stehende Ertragsleistung der PV-Anlage nicht überschreiten.

Alternativ bietet sich die Etablierung eines meteorologischen Kurzzeitprognoseinstruments, welches den Schaltzeitpunkt der Wärmepumpe oder den Ladezeitpunkt des Elektroautos solar geführt und dynamisch steuert, an. Am Markt sind bereits Systeme verfügbar (z.B. das System Sunny Home Manager der Firma SMA (7)), welche eine kurzfristige „Solarertragsvorhersage“ zum gezielten Ein- und Ausschalten einzelner Verbraucher nutzen.

Auch wäre es möglich, kurzzeitige Lastspitzen durch Einsatz eines lokalen, in die Gebäudeelektroinstallation integrierten Elektrizitätsspeicher zu brechen und diesen Speicher weiterhin zur Reduzierung von Einspeisespitzenlasten bei hohem PV-Ertrag zu nutzen.

5 FAZIT

Die betrachtete Sommersaison zeigt, dass durch gezielte Lastverschiebung (Verlegung der Warmwasserproduktion in die Mittagsstunden) eine Erhöhung der Zeiträume mit Gleichzeitigkeit erreicht werden kann. Zusätzlich erhöht sich der Anteil der im Gebäude selbst genutzten Elektrizität gegenüber der Heizperiode 2011/2012 deutlich.

Die Elektrizitätsbilanz des ersten Betriebsjahrs zeigt, die Menge an solar erzeugter Elektrizität den Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude deutlich übersteigt und erkennbar über der Ertragsprognose liegt. Der Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude ist, über das erste Betriebsjahr betrachtet, relativ konstant.

Im ersten Betriebsjahr unterschreitet der spezifische Endenergiebezug für Warmwasser und Lüftung den Referenzwert der Wärmebedarfsberechnung und des *Minergie*-Antrags deutlich. Auffallend ist, dass der spezifische Endenergiebezug für Heizwärme im Gebäude knapp 50% über dem *Minergie*-Referenzwert liegt.

Gegenüber dem Vorgabewert, der den Mietern als Orientierung ihres Bezugsverhaltens dienen soll, weist die Jahresbilanz einen um 17% erhöhten Endenergiebezug aus. Deutliche Überschreitungen sind vorwiegend während der Heizperiode zu beobachten. Im Verlauf der Sommerperiode 2012 lässt der Endenergiebezugs der Mieter eine verstärkte Orientierung des Bezugsverhaltens an den Vorgabewerten des Energie-Informationssystems erkennen.

Das Elektroauto wird regelmässig genutzt. Etwa die Hälfte des zum Laden der Akkus des Autos benötigten Stroms wird in den Mittagsstunden bezogen. Da z.Zt. noch einige Ladezeitpunkte in die Abend- und Nachtstunden entfallen, besteht noch Potential für weitere Lastverschiebungen und für eine bessere Synchronisation mit dem PV-Ertrag.

Durch die Verlegung der Betriebszeit der Wärmepumpe in die Mittagsstunden, gelingt es, die im Gebäude verbrauchte Warmwassermenge nahezu vollständig mit erneuerbarer Energie zu produzieren.

Obwohl im Gebäude keine aktive Kühlung installiert ist, besteht die Möglichkeit, durch Abkühlen der Zuluft des Lüftungssystems an Hitzetagen für ein subjektiv als angenehm wahrgenommenes Raumklima zu sorgen. Der dafür zusätzliche erforderliche Strombedarf fällt gering aus. Eine Absenkung der Raumtemperaturen ist mit dieser Kühlmethode nicht zu erreichen.

6 AUSBLICK

Offene Punkte, die sich aus der Auswertung der Sommerperiode 2012 ergeben, werden im Projektverlauf weiter verfolgt:

- Weiteres Beobachten der Energieflüsse im Gebäude und eventuelles Abklären von Artefakten bei der Messwerterfassung
- Beobachten des Einflusses der Verschiebung des Einschaltzeitpunktes der Wärmepumpe in die Mittagszeit während der kommenden Heizperiode
- Abklärung der Differenz zwischen Heizwärmebedarf und –verbrauch während der Heizperiode
- Abklärung der Differenz zwischen Elektrizitätsbedarf und –verbrauch durch weitere detailliertere Erfassung in der Erdgeschosswohnung (Wohnen/Dienstleistungsbetrieb)
- Abklärung des geringen Stromverbrauchs des Kühlschranks der Erdgeschosswohnung
- Evtl. Anpassung der Referenzwerte
- Messung der Lufttemperatur im Keller in der nächsten Heizperiode

- Aufzeigen weiterer Möglichkeiten zur Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils
- Berechnen eines Elektrizitätsspeichers für das Gebäude

Allgemeine Punkte, die weitergeführt werden:

- Fortführen der derzeitigen Monitoring-Strategie
- Beschreibung der kommenden Heizperiode
- Gleichzeitigkeit von Elektroerzeugung und –bezug weiter optimieren
- Energiebilanzen für längere Zeiträume aufstellen Jahresbilanz auswerten
- Überprüfen der Einbindung der Elektromobilität über einen längeren Zeitraum
- Rückmeldung der Mieter bzgl. des Infodisplays und Bonus-/Malussystem einholen
- Einordnung des Gebäudes in den SIA Effizienzpfad Energie

LITERATURVERZEICHNIS

1. **Dott, Ralf.** Skript zur Verarbeitung von Messdaten. *unveröffentlicht*. 2011.
2. **MeteoSchweiz, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie.** *Klimadaten Buchs/Aarau, Stundenwerte*. 1. 12 2012.
3. **Meteonorm 6.1.0.9.** *Globale Meteorologische Datenbank für Ingenieure, Planer und Bildung*. Bern, Schweiz : s.n., 2009.
4. **Haller, Michel Y, et al., et al.** *The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38*. 2012.
5. **Setz, Werner.** *E-Mail-Korrespondenz vom 4.7.2012*. 2012.
6. **Hall, Monika, Dott, Ralf und Dorusch, Falk.** *Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität, 1. Zwischenbericht Heizperiode 2011/2012*. Muttenz : s.n., 2012. Zwischenbericht.
7. **SMA, Solar Technology AG.** *Produktbeschreibung Sunny Home Manager*. <http://www.sma.de/produkte/monitoring-systems/sunny-home-manager.html> : s.n., 19. 12 2012.
8. **SPLINE AG.** *Rohdatensatz zum Gebäude*. 2012.
9. **SIA 380/1, SIA.** *Thermische Energie im Hochbau*. Zürich, Schweiz : s.n., 2009.
10. *Elektrizitätsflüsse eines Mehrfamilienhauses unter der Lupe*. **Dorusch, Falk, Hall, Monika und Dott, Ralf**. 06/2012, hk Gebäudetechnik.
11. **SMA Solar Technologies AG.** *Produktbeschreibung Sunny Backup-System M + L*. <http://www.sma.de/produkte/backup-systeme/sunny-backup-system-ml.html> : s.n., 19. 12 2012.
12. **Lederle, Norbert, Dott, Ralf und Afjei, Thomas.** *SEK: Standardlösungen zum effizienten Kühlen mit Wärmepumpen, Abschlussbericht*. 2010.
13. **Link, Jochen.** *Elektromobilität und erneuerbare Energien: Lokal optimierter Einsatz von netzgekoppelten Fahrzeugen*. Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Dortmund. Dortmund : s.n., 2011. Dissertation.
14. *Electricity storage for grid-connected household dwellings*. **Mulder, Grietus, De Ridder, Fjo and Six, Daan**. 2010, Solar Energy 84, pp. 1284-1293.