



# MEHRFAMILIENHAUS MIT ELEKTRO-MOBILITÄT IN RUPPERSWIL, AG

## Jahresbericht 2012

Autor und Koautoren	Falk Dorusch, Dr. Monika Hall, Ralf Dott,
beauftragte Institution	Institut Energie am Bau, HABG, FHNW
Adresse	St. Jakobs-Str. 84, CH-4132 Muttenz
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41-61-4674561, <a href="mailto:monika.hall@fhnw.ch">monika.hall@fhnw.ch</a> , <a href="http://www.fhnw.ch">www.fhnw.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	SI/500645 // SI/500645-01
BFE-Projektleiter	Rolf Moser, Andreas Eckmanns
Dauer des Projekts (von – bis)	02.08.2011 – 30.04.2014
Datum	07.01.2013

### 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.

Die Auswertung des ersten Betriebsjahres (01. Oktober 2011 bis 30. September 2012) liefert einen genauen Einblick in die Energiebilanz des Gebäudes. Im Zeitraum zwischen Oktober 2011 und April 2012 wurde die energetische Situation des Gebäudes über eine Heizperiode beobachtet. Die Resultate wurden im ersten im 1. Zwischenbericht beschrieben. Zwischen Mai 2012 und September 2012 wurde die Sommerperiode genauer untersucht und eine Jahresenergiebilanz aufgestellt. Diese Ergebnisse werden im 2. Zwischenbericht zusammengefasst.

Die PV-Anlage produziert mit 19'805 kWh etwa 6'600 kWh mehr Elektrizität, als im Betriebsjahr im Gebäude verbraucht wird und 1'805 kWh mehr als in der Ertragsprognose berechnet wurde. Der Stromverbrauch verteilt sich zu 49% auf den Haushaltstrom 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 Allgemeinstrom.

Das Elektroauto legt eine Fahrstrecke von 8'740 km zurück und wird überwiegend am Gebäudestandort geladen. Der Heizwärmebezug beträgt 8'915 kWh<sub>therm</sub> und liegt über dem in der Heizwärmebedarfsberechnung prognostizierten Wert. Es werden 81 m<sup>3</sup> 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.

## 1 PROJEKTZIELE

Gebäude mit lokaler Stromerzeugung werden immer öfter gebaut. Die Bilanz für den Energieverbrauch und die dezentrale Stromerzeugung für das Gesamtsystem "Gebäude" geht auf dem Papier immer auf. Ob ein bestehendes Gebäude sein Effizienzpotenzial ausschöpft oder vergeudet, entscheidet jedoch erst der Betrieb. Für diese Phase fehlt i.d.R. die nötige Aufmerksamkeit. Energetische Zielwerte werden von Architekten und Energieplaner vorgegeben, ob sie tatsächlich erreicht werden, wird nicht überprüft. Gerade anspruchsvolle und innovative Energiekonzepte benötigen anfangs eine kompetente Einregulierung und Begleitung. Das haben Untersuchungen an anderen hoch effizienten Gebäuden, z.B. Kraftwerk B, Marché Kempthal, deutlich gemacht.

Beim vorliegenden Projekt handelt es sich um ein nach Minergie-P-ECO zertifiziertes Mehrfamilienhaus (MFH) mit 3 Mietparteien (Zertifikat: AG-005-P-ECO). Die Photovoltaikanlage des Hauses produziert mehr Elektrizität als für Heizung, Warmwasser, Lüftung und den gesamten Haushaltsstrom im Jahr benötigt wird. Ziel ist es, die überschüssige Stromproduktion möglichst lokal zur Deckung der Mobilitätsbedürfnisse zu nutzen und damit ein Elektroauto zu betreiben. Das Gebäude ist an das Verteilernetz des örtlichen Energieversorgers angeschlossen und wird nicht als Insel betrieben. Die zeitlichen Abweichungen zwischen Produktion und Verbrauch im Haus werden über das Stromnetz ausgeglichen.

Das Projekt hat das Ziel, mit einem breit angelegten Monitoring die Elektrizitätsproduktion, den Verbrauch für die Elektromobilität und den Verbrauch der einzelnen Mieterparteien zu erfassen, um daraus Wissen zu gewinnen bzgl.

- wie sich ein Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität und lokaler Stromerzeugung am Stromnetz verhält (Gleichzeitigkeit, saisonale Effekte),
- ob die berechnete Energiebilanz eingehalten wird,
- welcher Energieverbraucher welche Rolle spielt,
- wie sich der Energieverbrauch beeinflussen, optimieren und reduzieren lässt
- ob es dafür besonders geeignete Elektrizitätsverbraucher im Gebäude gibt,
- wie die Nutzer das Energiemanagement wahrnehmen und damit umgehen,
- Bauherren zu motivieren, Mehrfamilienhäuser im Mietverhältnis mit lokaler Stromerzeugung zu erstellen.

Das Projekt liefert Echtzeitdaten (15-Minuten-Takt) zur Energiebilanz eines MFH inkl. Elektromobilität. Das detaillierte Monitoring zeigt auf, wann Energie produziert und wann für welchen Zweck Energie verbraucht wird. Die zeitlichen und mengenmässigen Energieflüsse werden damit transparent und können somit optimiert werden und eine Grundlage für zukünftige Gebäude mit lokaler Stromerzeugung bilden. Ein wesentlicher Aspekt ist die Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsverbrauch und -produktion sowie die Einbindung der Mobilität.

## 2 DURCHGEFÜHRTE ARBEITEN UND ERREICHTE ERGEBNISSE

### 2.1 Gebäude

Das im Jahr 2011 in Massivbauweise erstellte Drei-Parteien-Mehrfamilienhaus ist auf einen niedrigen Endenergiebedarf optimiert. Das Gebäude verfügt über zwei 4.5 Zimmerwohnungen und eine 1.5 Zimmer-Studiowohnung mit insgesamt 396 m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche. Die Wärmeversorgung wird durch eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 180 m Sondenlänge gewährleistet. Eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 20 kW<sub>p</sub> und einem prognostiziertem Jahresertrag von 18'000 kWh liefert die erforderliche Elektrizität zur Deckung des Gesamtbedarfs des Gebäudes.

## 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 Februar 2012 und 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 die Außenlufttemperatur am Gebäudestandort sowie die Raumtemperaturen in den Wohnungen automatisch gemessen. An der Konfiguration der Messwerterfassung wurden seit Bezug des Gebäudes im September 2011 keine Veränderungen vorgenommen. Ergänzend zur automatischen Messwerterfassung werden die monatliche Fahrstrecke des Elektroautos des Gebäudeeigentümers und der Privatfahrzeuge der Mieter sowie der Elektrizitätsbezug der Geräte des in der Erdgeschosswohnung befindlichen Nagelstudios monatlich in einem Protokoll dokumentiert

## 3 MESSDATEN

### 3.1 Datenanalyse

Die Energiebilanzen einzelner Monate sowie für den gesamten Betrachtungszeitraum werden aus den erhobenen Momentanwerten durch Aufsummieren errechnet. Die Gleichzeitigkeitsbetrachtungen werden auf Basis von stündlichen Ertrags- und Verbrauchswerten durchgeführt.

Den Mietern stehen Vorgabewerte zur Orientierung und Anpassung des Energiebezugs zur Verfügung: Durch Vergleich der real bezogenen Energiemengen mit den Vorgabewerten wird geprüft, ob das Nutzerverhalten auf diesem Wege beeinflussbar ist.

### 3.2 Elektrizität

Im ersten Betriebsjahr (1. Oktober 2011 bis 30. September 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 1 zeigt den kumulierten monatlichen Ertrag der PV-Anlage, die im Gebäude bezogene Elektrizität sowie die prozentuale Deckung des monatlichen Verbrauchs.

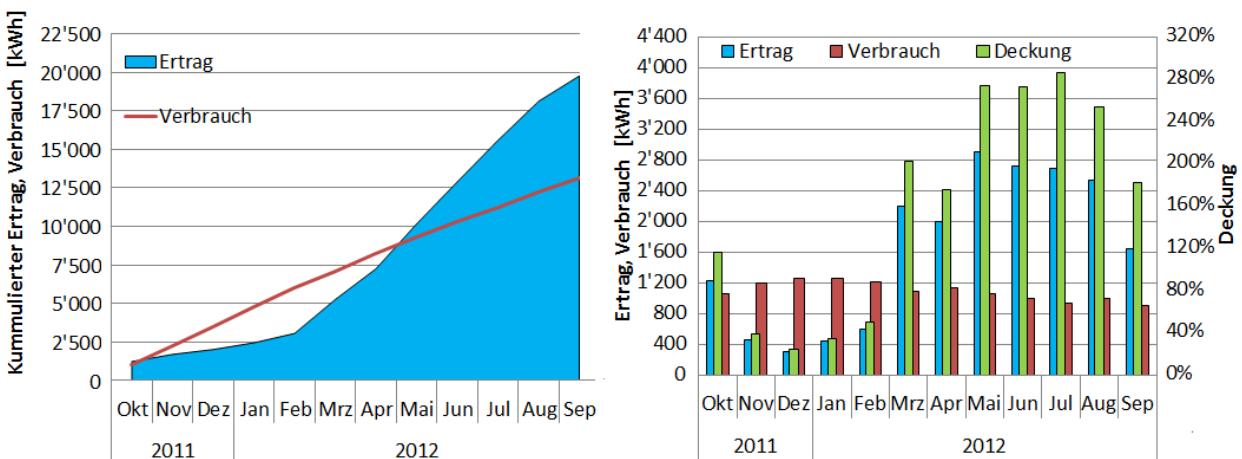


Abbildung 1: PV-Ertrag, Gesamtelektrizität, links; kumulierte Werte, rechts: monatliche Werte

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 2 stellt die Verteilung des Elektrizitätsbezugs auf die einzelnen Verbraucher dar.

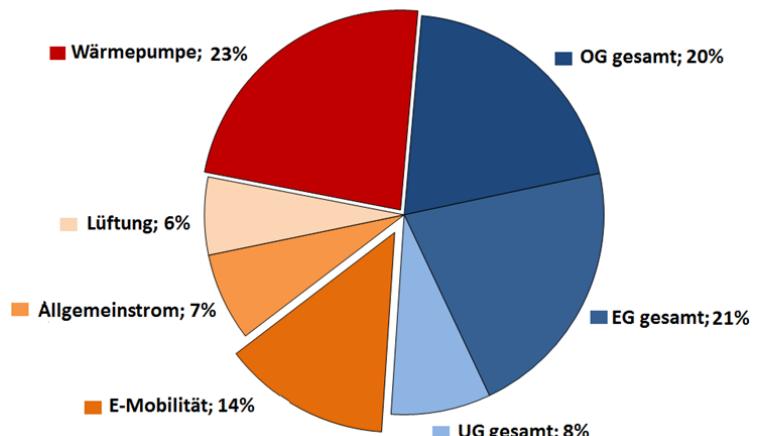


Abbildung 2: Verteilung des Elektrizitätsbezugs

### 3.3 Heizung

Der Heizwärmebezug im Betrachtungszeitraum beträgt 8'915 kWh. Erwartungsgemäss folgt der monatliche Heizwärmebezug dem Jahresverlauf und weist zwischen November 2011 und Februar 2012 die höchsten Werte auf. Im Zeitraum Mai 2012 und September 2012 wurden die Wohnungen nicht beheizt. Der spezifische Heizwärmebezug beträgt 22.5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Die Abbildung 3 stellt die monatlichen Werte grafisch dar.

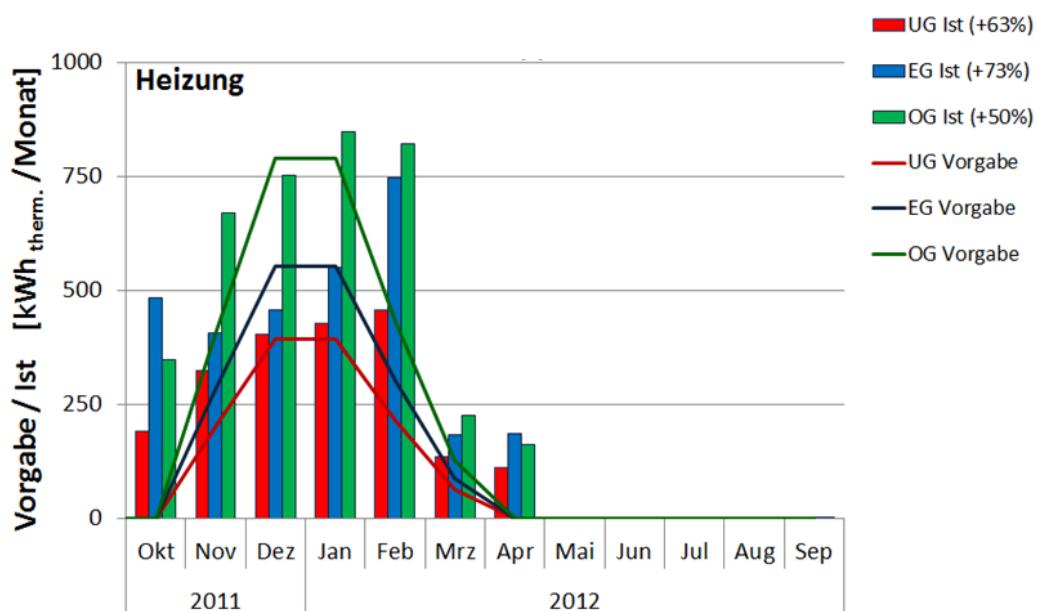


Abbildung 3: Monatsdiagramm Heizung

### 3.4 Warmwasser

Der Warmwasserverbrauch aller Wohnungen wird seit 1. Januar 2012 quantitativ erfasst. Zwischen 1. Januar 2012 und 30. September 2012 wurden  $81 \text{ m}^3$  verbraucht. Bei  $50^\circ\text{C}$  Warmwassertemperatur und  $40\text{ K}$  Temperaturdifferenz entspricht diese Menge einer Nutzenergie von  $3'768 \text{ kWh}$  respektive  $9.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Der Warmwasserverbrauch wird in Abbildung 4 grafisch dargestellt.

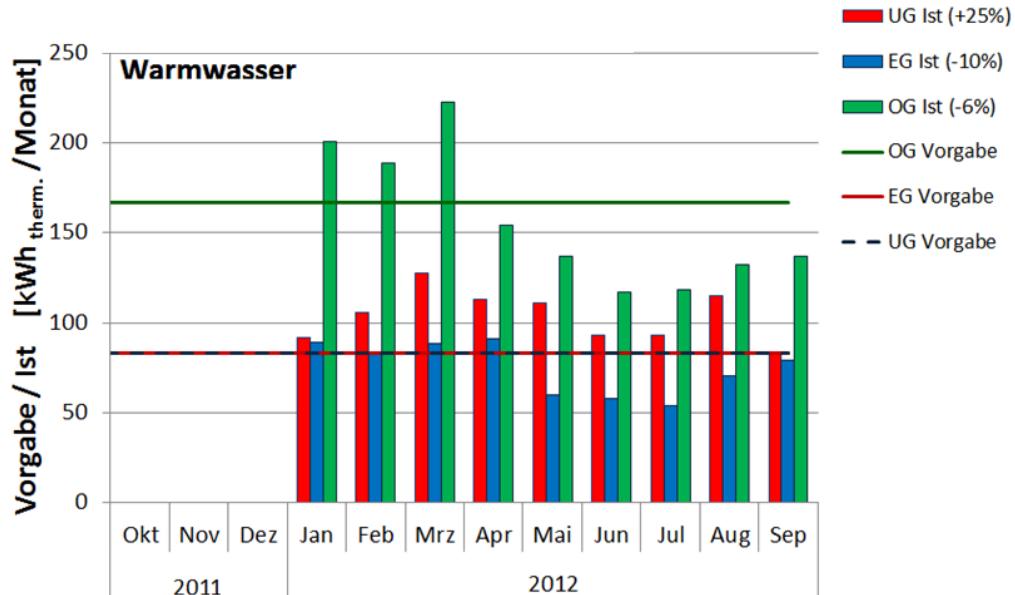


Abbildung 4: monatlicher Warmwasserverbrauch

### 3.5 Elektromobilität

Im Oktober und November 2011 stand für kurze Zeit ein Elektroauto zur Verfügung, dass jedoch in Folge eines Defekts ersetzt werden musste. Seit Anfang März 2012 wird das Elektroauto, Typ Renault Fluence Z.E., dauerhaft genutzt. Das Fahrzeug wird derzeit ausschliesslich vom Gebäudeeigentümer gefahren. Zwischen März 2012 bis September 2012 wurden  $8'740 \text{ km}$  Fahrstrecke mit dem Elektroauto zurückgelegt. Zur Ladung der Akkumulatoren des Fahrzeugs werden  $1'792 \text{ kWh}$  Endenergie in 182 Zyklen mit durchschnittlich  $8.8 \text{ kWh}$  pro Ladezyklus bezogen. Die Ladung erfolgt fast ausschliesslich am Gebäudestandort. Die Fahrleistungen des Elektroautos werden seit Juli 2012 monatsweise erfasst. Durchschnittlich legt das Fahrzeug im Monat eine Fahrstrecke von  $1'250 \text{ km}$  zurück. Im Mittel werden dafür  $17.8 \text{ kWh}$  pro  $100 \text{ km}$  aufgewendet. Die zurückgelegte Strecke und der monatliche Elektrizitätsbezug sind in Abbildung 5 dargestellt.

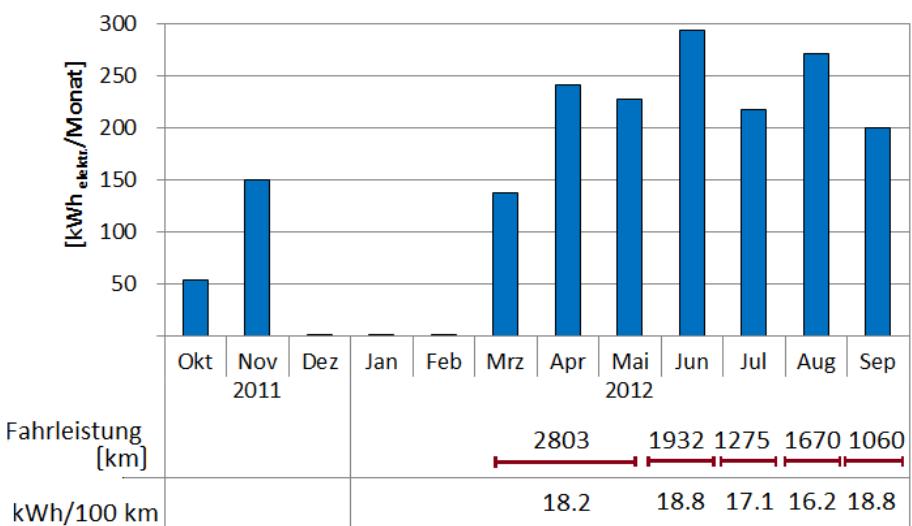


Abbildung 5: Elektrizitätsbezug und Fahrleistungen des Elektroautos

### 3.6 Gleichzeitigkeit

Als Gleichzeitigkeit wird der Zeitraum definiert, in dem der Gesamtelektrizitätsbezug im Gebäude durch den Ertrag der PV-Anlage gedeckt wird. Zur Berechnung der Gleichzeitigkeit wird die Differenz aus PV-Ertrag und Gesamtelektrizitätsbezug auf Basis der Ein-Stunden-Werte gebildet.

Die Abbildung in Anhang 1 stellt 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, in Rot dar. Zusätzlich sind alle Tage, an denen die Tagesbilanz positiv ist, in Grün dargestellt.

An 244 Tagen (67%) fällt die Tagesbilanz positiv aus. 80 Tage mit positiver Tagesbilanz liegen im Zeitraum zwischen Oktober und April, 164 Tage zwischen Mai und September. 319 Tage (87%) weisen an mindestens einer Stunde pro Tag einen Überschuss in der Energiebilanz auf.

Die stundenweise Betrachtung zeigt, dass an insgesamt 3'059 Stunden (35%) mehr Elektrizität erzeugt als verbraucht wurde. Diese "Überschussstunden" verteilten sich gleichmäßig über den gesamten Beobachtungszeitraum, finden sich also auch in den Monaten November bis Februar.

In den Zeiträumen, in denen der PV-Ertrag dem Gesamtverbrauch überschreitet, werden insgesamt 4'165 kWh (32%) Elektrizität als Eigenverbrauch genutzt.

## 4 INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt fliessen in die Zusammenarbeit des IEBAU-FHNW im Rahmen des IEA SHC Task 40 / HPP Annex 38 „Solar and Heat Pump Systems“ sowie des IEA SHC Task 40 / ECBCS Annex 52 „Towards Net Zero Energy Solar Buildings“ ein.

## 5 NATIONALE ZUSAMMENARBEIT

Es besteht die Zusammenarbeit mit dem Büro Setz Architektur, Rapperswil (Planer, Bauherr und Eigentümer des Gebäudes), der Firma Spline, Thalwil (Infodisplay für Mieter, Datenerfassung und -übermittlung), der Firma Brönimann, Rapperswil (Elektroinstallationen) und dem energie-cluster, Bern (Beratung, Evaluation zur Rechtssituation von lokaler Energieerzeugung und unterschiedlicher Tarifierung).

## 6 BEWERTUNG 2012 UND AUSBLICK 2013

Die Wintersaison 2011/2012 zeigte, dass trotz des zum Teil deutlich über den Annahmen und Bedarfsberechnungen liegenden Energiebezugs ein Überschuss in der Energiebilanz erreicht werden kann.

Aus der Gleichzeitigkeitsbetrachtung geht hervor, dass ein solar geführter Betrieb der Wärmepumpe das höchste Potential zur Synchronisation eröffnet. Als erster Beitrag zur Erhöhung der Gleichzeitigkeit wurde der Einschaltzeitpunkt der Wärmepumpe im Mai 2012 in die Mittagsstunden gelegt und damit das Tagesmaximum der PV-Anlage besser genutzt. Die kommende Wintersaison wird zeigen, ob dies auch für den Heizbetrieb möglich ist.

Die Einbindung der Mieter in das innovative Gebäudekonzept zeigt bereits erste Erfolge. Aus Rückmeldungen der Wohnungsmieter geht hervor, dass der Wohnkomfort, insbesondere die vollautomatische Lüftung als sehr angenehm empfunden wird und die Innenraumtemperaturen den Ansprüchen der Mieter gerecht werden.

Durch weitergehende Sensibilisierung der Mieter für energetische Fragen z.B. durch verbesserte Information über das momentan zur Verfügung stehende Energieangebot der PV-Anlage, könnte die Gleichzeitigkeit von Produktion und Verbrauch weiter erhöht werden. So könnten die Mieter den Betrieb von Haushaltsgeräte mit hohem Stromverbrauch (z.B. Waschmaschinen und -trockner) in Zeiträumen mit hohem Energieangebot verlegen.

Von grossem Interesse ist auch der zukünftige Umfang der Nutzung von Elektrofahrzeugen und deren Aufladung an der PV-Anlage des Gebäudes. Das Potential der Nutzung des Elektrofahrzeugs ist derzeit noch nicht ausgeschöpft, da die Mieter eigene, konventionelle Kraftfahrzeuge benutzen und das verfügbare Elektrofahrzeug ausschliesslich vom Gebäudeeigentümer gefahren wird.

## 7 PUBLIKATIONEN

1. Zwischenbericht Heizperiode 2011-2012, 28.06.2012,  
<http://www.fhnw.ch/habg/iebau/dokumente-1/afue/bau/zwischenbericht-mfh-e-mobilitaet-rupperswil>

2. Zwischenbericht Sommerperiode 2012 und erstes Betriebsjahr, in Bearbeitung

Dorusch, F. Hall, M., Dott, R. *Die Energiesituation eines Mehrfamilienhauses unter der Lupe*, hk Gebäudetechnik 10/2012, S. 38-42.

Setz W., *Energie und Saft vom Dach*. hk Gebäudetechnik, 06/2012, S. 46-47.

## 8 REFERENZEN

[1] Datenerfassung und Displaydarstellung von Firma Spline, Thalwil

## ANHANG 1

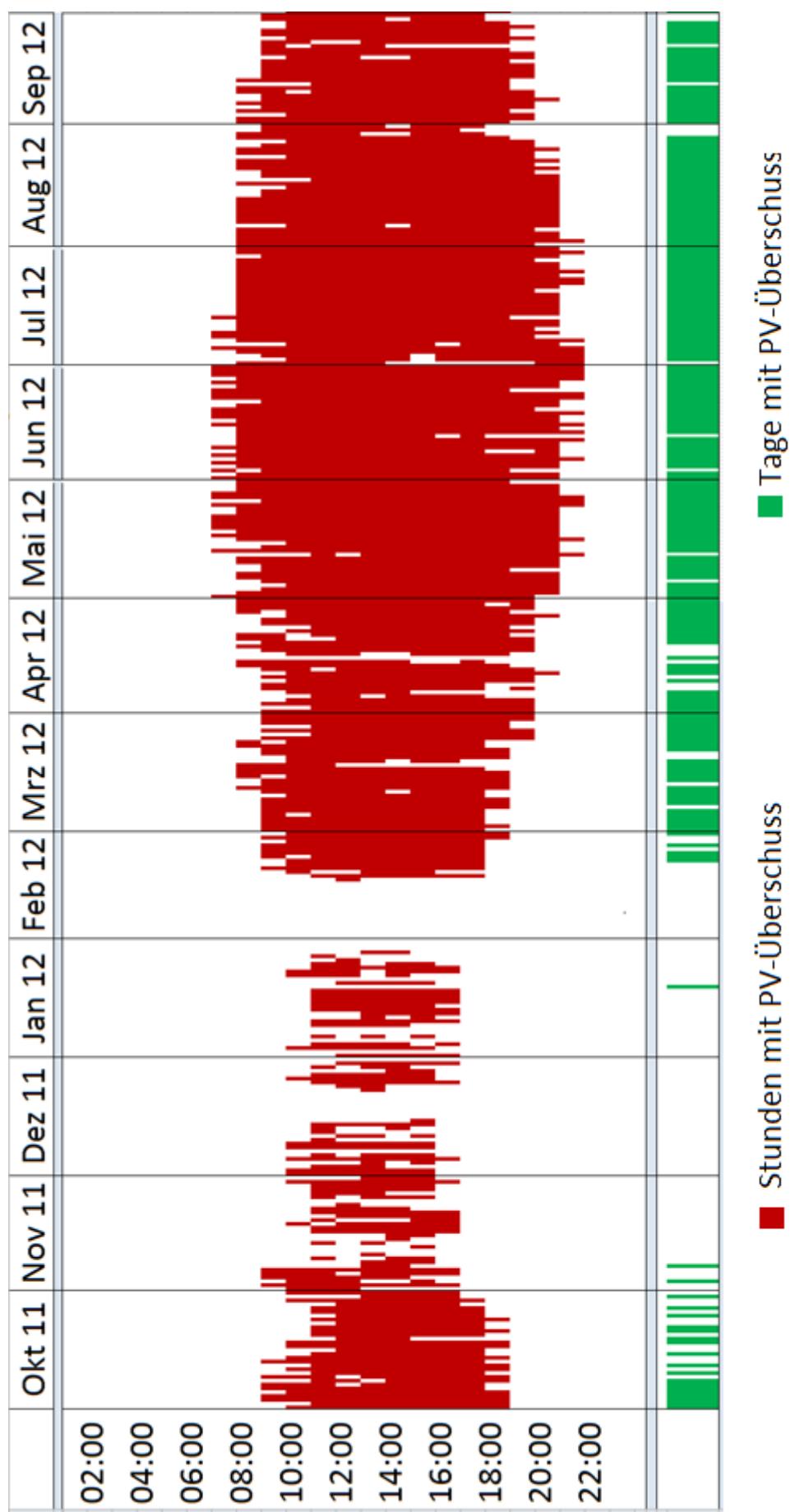


Abbildung 6: Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsbezug und PV-Ertrag