

Plusenergiehaus mit Elektromobilität: Gebäudekonzept für Wohnen inklusive Mobilität, Teil 2 (Teil 1: HK-GT 6/12, S. 46)

Energieflüsse eines Mehrfamilienhauses unter der Lupe

Ein detailliertes Monitoring der Energieflüsse ermöglicht Einblicke in die Energiebilanz eines Mehrfamilienhauses mit Elektromobilität in Rapperswil. Dank eines 15-minütigen Messwerterfassungsintervalls können Aussagen zur Gleichzeitigkeit von solarer Energieerzeugung und Stromverbrauch getroffen und Potenziale zur Lastverschiebung aufgezeigt werden.



Das «Plusenergiehaus mit Elektromobilität» in Rapperswil: Minergie-P-Eco, auf dem Dach die PV-Anlage mit total 20 kWp Leistung. (Foto: Setz Architektur)

Falk Dorsch, Monika Hall, Ralf Dott *

Die Idee: Die lokale Nutzung erneuerbarer Energieträger bietet ein hohes Potenzial zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Gebäudebestand. Die gebäudeintegrierte Photovoltaikanlage (PV) spielt dabei eine Schlüsselrolle. Sie stellt eine besondere Herausforderung für das Management von Energieerzeugung und bedarfsgerechter Energieabgabe an Verbraucher im Gebäude dar. Da das Gebäude an das öffentliche Stromnetz angeschlossen ist, kann der technisch aufwendige Ausgleich zwischen Energieangebot und -nachfrage mittels Speicherung im Netz umgangen werden. Das Stromnetz übernimmt die Funktion eines Puffers: Überschreitet der PV-Ertrag den Verbrauch im Gebäude, wird die überschüssige Elektrizität eingespeist. Bei Bedarf kann die erforderliche Elektrizitätsmenge aus dem Netz bezogen werden.

Bei dem untersuchten Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität kann der gesamte Elektrizitätsbedarf durch den Ertrag der PV-Anlage rechnerisch über die Jahresbilanz gedeckt werden. Im Rahmen eines zweijährigen Monitorings wird geschaut, ob die erwartete Bilanz aufgeht. Es werden detailliert die Ener-

gieflüsse des Gebäudes aufgenommen und das Potenzial der Gleichzeitigkeit evaluiert. Die Auswertung der ersten Heizperiode (1. September 2011 bis 30. April 2012) liefert erste Ergebnisse, wann und wo Energie benötigt wird und wie die Gleichzeitigkeit erhöht werden kann. Das Projekt wird durch das Bundesamt für Energie (SI/500645) und die Klimastiftung Schweiz gefördert (SI/500645-01).

Energiesituation

Das Monitoring eines im Jahr 2011 von Setz Architektur neu erstellten Dreiparteien-Mehrfamilienhauses in Rapperswil [1] zeigt auf, wann und wo welche Energieflüsse anfallen. Weiterhin wird untersucht, ob die Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsproduktion und -verbrauch optimiert werden kann.

Seit Mitte September 2011 sind alle Wohnungen komplett bezogen, die Messtechnik und Messdatenerfassung ist ab Beginn des Beobachtungszeitraums nahezu vollständig verfügbar. Einzelne Messgrößen werden im Januar 2012 ergänzt.

Das Gebäude ist mit einer PV-Anlage mit 102,7 m² Panelfläche ausgestattet.

Die Panelfläche besteht aus 63 im 10-Grad-Neigungswinkel nach Süden ausgerichteten monokristallinen Modulen vom Typ Sunpower SPR-318-WHT-D. Drei Wechselrichter vom Typ SMA Sunny Mini Central 6000 A kommen zum Einsatz. Die Leistung der PV-Anlage liegt bei 20 kWp, es wird mit einem Jahresertrag von 18 000 kWh gerechnet.

Im Beobachtungszeitraum produzierte die Photovoltaik-Anlage 9222 kWh Elektrizität. Insgesamt wurden 8783 kWh Elektrizität bezogen. Das Gebäude weist somit für die Wintermonate 2011/2012 einen Energieüberschuss von 439 kWh (5%) auf. **Abbildung 1** stellt den Jahresgang des Stromverbrauchs und des PV-Ertrags grafisch dar.

Der gesamte Stromverbrauch teilt sich wie folgt auf: 50% der Elektrizität werden durch die Mieter in den Wohnungen bezogen (30% für Küchengeräte/Waschmaschine/Tumbler, 70% für Kleingeräte und Beleuchtung), 30% werden für den Betrieb der Wärmepumpe eingesetzt, je 7% entfallen auf den u.a. zur Beleuchtung des Gebäudes genutzten Allgemestrom und auf die Ladung des Elektrofahrzeugs, 6% der gesamten Elektrizität werden von der Lüftungsanlage des Gebäudes verbraucht.

Der Heizwärmebedarf wurde nach SIA 380/1:2009 [3] zu 23,7 kWh/(m²a) berechnet. Bei Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage beträgt der Heizwärmebedarf 10,8 kWh/

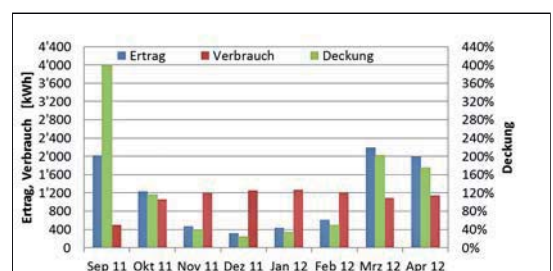


Abb. 1: Monatlicher PV-Ertrag und Stromverbrauch im Gebäude.

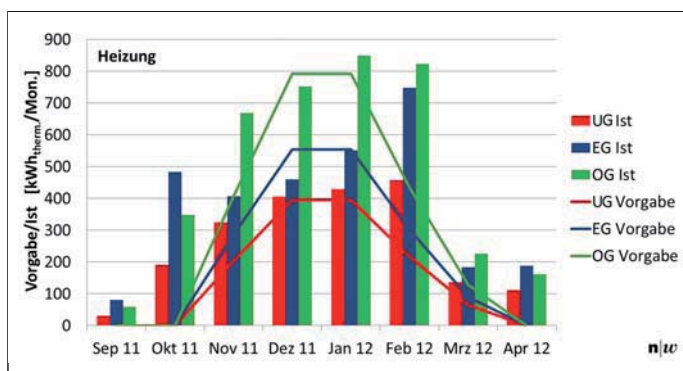


Abb. 2: Monatlicher Heizwärmebedarf und tatsächlicher Wärmebezug.

(m²a). Die Energiebezugsfläche des Gebäudes beträgt 396 m². Die Norm-Heizlast nach SIA 384.1 [4] liegt bei 10,8 kW bei einer Auslegungstemperatur von -8 °C und 20 °C Raumtemperatur. Die Fussbodenheizung ist auf 30 °C Vorlauf- und 25 °C Rücklauf temperatur ausgelegt. Da die Mieter im Schnitt eine Raumtemperatur von 22 °C haben, wird der Jahres-Heizwärmebedarf darauf basierend neu zu 14,2 kWh/(m²a) berechnet. Alle anderen Parameter wurden hierbei auf den Standardwerten gemäss SIA 380/1:2009 belassen.

In SIA 380/1:2009 [3] wird der Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung auf 20,8 kWh/(m²a) bei einer Warmwassertemperatur von 60 °C angenommen. Der Jahres-Warmwasserbedarf wurde an die von 60 °C auf 50 °C verringerte Warmwassertemperatur und an die Zahl der Mieter pro Wohnung auf 10,1 kWh/(m²a) angepasst.

Um die Mieter der Wohnungen über ihren Heizwärme-, Warmwasser- und Stromverbrauch zu orientieren, ist das Gebäude mit einem Energieinformationssystem ausgestattet. Im Informationssystem sind folgende Jahresreferenzwerte hinterlegt:

- Heizwärme: 5740 kWh/a
- Warmwasser: 4000 kWh/a
- Elektrizität: 5800 kWh/a

Für die Festlegung von monatlichen Referenzwerten im Energieinformationssystem werden die Jahreswerte für Warmwasser und Elektrizitätsbedarf prozentual gleichmässig auf die Monate verteilt. Monatliche Referenzwerte des Heizwärmebedarfs werden durch prozentuale Verteilung über die Heizperiode festgelegt. Die Referenzwerte für einzelne Tage werden auf $\frac{1}{30}$ des Monatswertes festgelegt.

Der Bezug an Heizwärme (9074 kWh) (**Abbildung 2**) und Warmwasser (33,5 m³/1916 kWh) (**Abbildung 3**) während der Messperiode konnte vollständig über die Wärmepumpe mit Erdwärmesonde gedeckt werden. Der Betrieb der elektrischen Notheizung war nicht erforderlich. Der Heizwärmebezug ist um 62 % höher, als in der Wärmebedarfsberechnung prognostiziert. Die Ursachen hierfür sind Gegenstand weiterer Abklärungen. Der Warmwasserverbrauch überschreitet den Jahres-Referenzwert, liegt jedoch unterhalb der jährlichen Warmwasserbedarfsberechnung gemäss SIA-Norm.

Die Mieter der drei Wohnungen bezogen insgesamt 4379 kWh Elektroenergie. Der monatliche Stromverbrauch der einzelnen Wohnungen lag zwischen 510 und 690 kWh. Der Monatsreferenzwert des Stromverbrauchs einer Wohnung wurde, auf Erfahrungswerten des Architekten des Gebäudes basierend, festgelegt.

Im Oktober 2011 stand ein Elektroauto für einen begrenzten Zeitraum bereit, seit März 2012 ist dauerhaft ein Fahrzeug einsatzbereit. Zum Laden der Akkumulatoren des Elektromobils wurden bisher 564 kWh bezogen. Das derzeit genutzte Fahrzeug legte bisher eine Laufleistung von 2803 km zurück. Der Umfang der Elektromobilität ist im Beobachtungszeitraum jedoch nicht repräsentativ, da einerseits nicht in der gesamten Zeit ein Elektroauto zur Verfügung

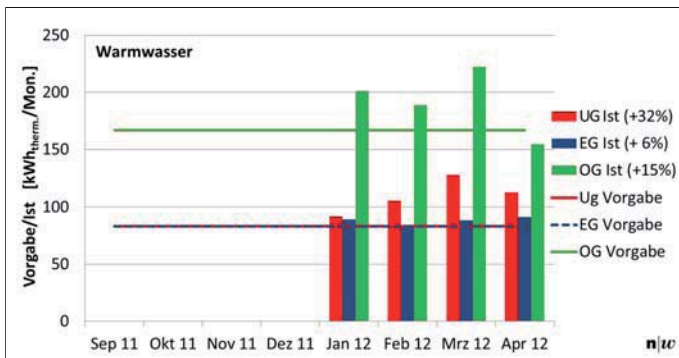


Abb. 3: Monatlicher Warmwasserbedarf und tatsächlicher Bezug.

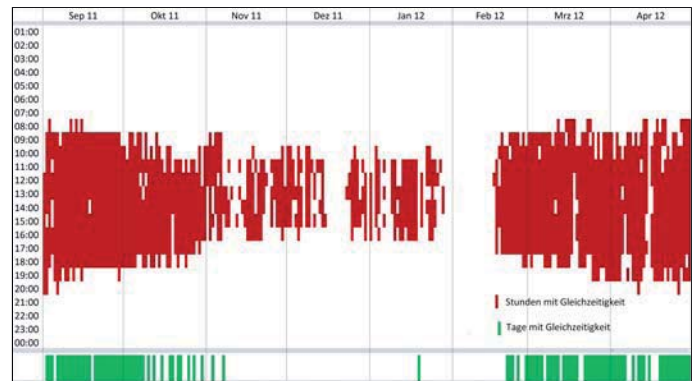


Abb. 5: Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsbezug und PV-Produktion.

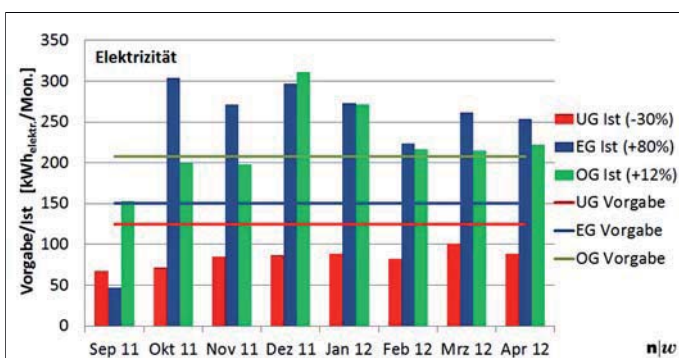


Abb. 4: Monatlicher Elektrizitätsbedarf und tatsächlicher Bezug.

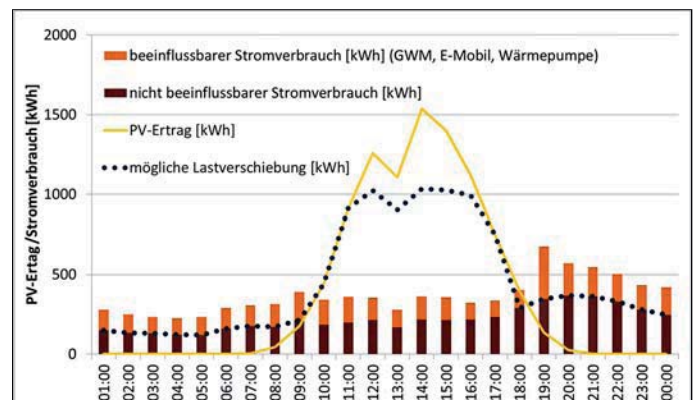


Abb. 6: Tagesgang PV-Ertrag und mögliche Lastverschiebung.

stand und andererseits das Fahrzeug von den Mietern noch nicht im vollen Umfang genutzt wird, weil sie über eigene, konventionelle Fahrzeuge verfügen.

Gleichzeitigkeit

Dank zeitlich hoch aufgelöster Erfassung des Elektrizitätsbezugs und des PV-Ertrags ist es möglich, Aussagen zur Gleichzeitigkeit von Stromerzeugung und -verbrauch zu treffen. Dafür werden monats-, tages- und stundenspezifische Differenzen aus erzeugter und bezogener Strommenge für die Heizperiode gebildet (**Abbildung 4**).

An 104 Tagen (43 %) fällt die Tagesbilanz positiv aus, d. h. es wird im Verlauf des Tages mehr Elektrizität von der PV-Anlage erzeugt, als im Gebäude verbraucht wird. Diese «Überschusstage» lagen vorwiegend in den Monaten September, Oktober, März und April.

209 Tage (86 %) weisen an mindestens einer Stunde pro Tag einen Überschuss in der Energiebilanz auf. Die stundenweise Betrachtung zeigt, dass an insgesamt 1516 Stunden (26 %) mehr Elektrizität erzeugt als verbraucht wurde. Diese «Überschusstunden» verteilten sich gleichmäßig über den gesamten Beobachtungszeitraum, finden sich also auch in den Monaten November bis Februar.

Längere zusammenhängende Perioden ohne Überschuss waren zwischen 16. bis 22. Dezember 2011 (jahreszeitliches solares Minimum, zeitgleich mit hohem Verbrauch)

und zwischen 25. Januar bis 17. Februar 2012 (Kälteperiode mit Schnee) zu beobachten.

Eine tageszeitabhängige Betrachtung zeigt, dass auch im Monat Dezember an sonnigen Tagen in den Mittagsstunden mehr Elektroenergie zur Verfügung steht, als vom Gebäude bezogen wird. Beispielsweise wird am 25. Dezember 2011 für eine Dauer von 4 Stunden mehr Elektrizität erzeugt als verbraucht. Die Globalstrahlung betrug an diesem Tag im Mittel 146 W/m^2 . Dieser zeitweilige Energieüberschuss reichte jedoch nicht aus, um einen Bilanzüberschuss am gesamten Tag zu erzielen.

Demgegenüber stehen Tage mit geringer Einstrahlung im Frühjahr und Herbst. So wird beispielsweise am 15. April 2012 bei einer Globalstrahlung von 50 W/m^2 im Tagesmittel zu keinem Zeitpunkt am Tag mehr Elektrizität von der PV-Anlage erzeugt, als im Gebäude verbraucht wird. **Abbildung 5** zeigt eine chronologische Darstellung der Gleichzeitigkeit von Stromproduktion und -verbrauch.

Möglichkeiten zur Lastverschiebung

Die Möglichkeit zur Lastverschiebung ohne Komforteinbußen besteht durch zeitliche Beeinflussung des Elektrizitätsbezugs der Wärmepumpe, der Waschmaschinen und -trockner, der Geschirrspülmaschinen und der Ladezeitpunkte des Elektroautos.

Das detaillierte Monitoring erlaubt es, bereits realisierte Synchronisationen zwischen

PV-Produktion und Elektrizitätsbezug dieser Verbraucher zu erkennen und weiteres Verschiebepotenzial aufzuzeigen.

Die Gleichzeitigkeitsbetrachtung zeigt, dass im Zeitraum zwischen 10:00 Uhr bis 16:00 Uhr mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Synchronisation von Erzeugung und Bezug hergestellt werden kann.

Bisher wurden in diesem Zeitraum 7330 kWh (80 %) von der PV-Anlage erzeugt. Der Gesamtbezug an Elektroenergie aller Verbraucher im Gebäude zwischen 10:00 Uhr bis 16:00 Uhr beläuft sich derzeit auf 2032 kWh (28 %).

Ausserhalb dieses Zeitfensters wurden 6750 kWh Elektroenergie bezogen, die zu 4021 kWh auf nicht beeinflussbare Verbraucher und zu 2730 kWh auf beeinflussbare Verbraucher entfallen.

Die von beeinflussbaren Verbrauchern ausserhalb des Zeitraums zwischen 10:00 Uhr bis 16:00 Uhr bezogene Elektroenergie kann als Verschiebepotenzial betrachtet werden. Mit 2730 kWh beträgt ihr Anteil am Gesamtenergiebezug 31 %. Das Verschiebepotenzial setzt sich wie folgt zusammen:

- 2342 kWh (26,7 % des Gesamtbezugs) entfallen auf die Wärmepumpe,
- 170 kWh (1,9 % des Gesamtbezugs) auf den Betrieb der Geschirrwashmaschinen,
- 217 kWh (2,5 % des Gesamtbezugs) werden zur Ladung der Akkumulatoren des Elektromobils eingesetzt.

Eine vollständige Lastverschiebung aller beeinflussbaren Verbraucher in den Zeitraum zwischen 10:00 Uhr bis 16:00 Uhr ergäbe im Mittel eine Deckung von 65%. **Abbildung 6** zeigt den Tagesgang des PV-Ertrags, die Lastkurve der bisherigen Beobachtungsperiode sowie die Lastkurve bei maximal erreichbarer Lastverschiebung.

Fazit/Perspektiven

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 Potenzial zur Synchronisation eröffnet. Die laufende Sommersaison wird zeigen, wie sich die Gesamtenergiebilanz entwickelt und in welchem Umfang Gleichzeitigkeit zwischen PV-Produktion und Stromverbrauch erreicht werden kann.

Als erster Beitrag zur Erhöhung der Gleichzeitigkeit wurde der Einschaltzeitpunkt der Wärmepumpe in die Mittagstunden gelegt. Im Sommer läuft

damit die Wärmepumpe für die Warmwassererwärmung zu einer Zeit mit hohem Solarangebot. 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 und die Innenraumtemperaturen, als sehr angenehm empfunden werden.

Durch weitergehende Sensibilisierung der Mieter für energetische Fragen, z. B. durch verbesserte Information über das Energieangebot der PV-Anlage, könnte die Gleichzeitigkeit von Produktion und Verbrauch erhöht werden. So könnten die Mieter den Betrieb von Haushaltgeräten 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 Potenzial der Elektrofahrzeugnutzung ist

Literatur- und Quellenverzeichnis

1. IEBau, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut für Energie am Bau. (2011). Institutshomepage <http://www.fhnw.ch/habg/iebau/afue/gruppe-bau/mfh-mit-elektromobilitaet-in-rupperswil>, aufgerufen 18.07.2012
2. Setz, W. (2012). Energie und Saft vom Dach. HK-Gebäudetechnik, 6/2012, 46–47.
3. SIA 380/1, S. (2009). Thermische Energie im Hochbau. Zürich, Schweiz.
4. SIA 384/1, S. (2009). Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen.

derzeit noch nicht ausgeschöpft, da die Mieter eigene, konventionelle Kraftfahrzeuge nutzen und das verfügbare Elektrofahrzeug ausschliesslich vom Gebäudeigentümer gefahren wird.

Das Projekt zeigt, dass die Technologien für eine vollständig regenerative Energieversorgung schon heute existieren und den Anforderungen des Alltags gerecht werden. Die Elektromobilität und das energetische Gebäudekonzept der Zukunft müssen dafür eng miteinander verzahnt sein und eine Einheit bilden. ■

* Autoren: Falk Dorusch (Assistent), Monika Hall und Ralf Dott (wissenschaftliche Mitarbeiter), Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz.