

Gleichzeitigkeit von PV-Ertrag und Stromverbrauch an einem Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität

Dr. Monika Hall, monika.hall@fhnw.ch, Falk Dorusch falk.dorusch@fhnw.ch,
Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, St. Jakob-Strasse 84, 4132 Mut-
tenz, www.fhnw.ch/habg/iebau

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Die detaillierte Erfassung der Energieflüsse an einem Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität und einer grossen Photovoltaikanlage zeigt, wann welcher Energieverbraucher wieviel Elektrizität bezieht. Hieraus wird abgeleitet, welche Verbraucher zur Erhöhung der Gleichzeitigkeit von Produktion und Verbrauch geeignet sind. In den Wintermonaten besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, zwischen 10 und 16 Uhr Gleichzeitigkeit zu erreichen. Die Wärmepumpe weist das grösste Einzelpotential auf, um die Gleichzeitigkeit zu erhöhen. Aus diesem Grund wird die Laufzeit der Wärmepumpe auf die Tagesstunden limitiert (10-19 Uhr für den Heizbetrieb, 13-17 Uhr den Betrieb für Warmwasser). Die Auswertungen zeigen, dass bei dem betrachteten Gebäude die Verschiebung des Wärmepumpenbetriebs in die Tagesstunden ohne Komforteinbusse möglich ist. Dabei wird der Heizbetrieb in der Mittagszeit für die Warmwassererwärmung unterbrochen. Mit dieser Strategie wird nicht nur die Gleichzeitigkeit erhöht und die Netzbelastung reduziert, sondern auch die Einspeisespitze zur Mittagszeit, insbesondere durch die Warmwassererwärmung, geglättet.

Thermische Simulationen zeigen, dass die gewählte Strategie sowohl in Massiv- als auch in Leichtbauten angewendet werden kann. Die von den Mietern gewünschten Temperaturen werden erreicht. Um im Mittel eine Temperatur von 20°C in allen drei Wohnungen sicherzustellen, reicht für fast alle Bauweisen eine Wärmepumpenlaufzeit zu Heizzwecken von 5 h aus.

Based on a small, well insulated multi-family dwelling with included e-car and large PV installation the load with the highest potential for increasing self-consumption is evaluated. The monitoring shows that the heat pump has the highest potential for increasing self-consumption. The run-time schedule of the heat pump is limited to daytime hours as a proof of concept. At noon the heating of domestic hot water suspends the run-time schedule for heating (10-19 Uhr heating, 13-17 Uhr domestic hot water). This increases the self-consumption and decreases the net interaction and also shaves the peak electricity export at noon. The thermal comfort does not decrease, hereby.

Thermal simulations show that the chosen strategy is possible for heavy and light weight construction, also. The favorite temperatures of the tenants are ensured. At this building is a heating period of 5 h sufficient to reach an average temperature of 20 degrees in all three flats.

1. Ausgangslage – Contexte – Scope

1.1 Hintergrund

Der Trend, Gebäude mit lokaler Elektrizitätsproduktion auszurüsten, hält an und wird sich in Zukunft noch verstärken. Meist erfolgt diese Produktion mittels einer Photovoltaikanlage (PV-Anlage). In der Regel entsteht eine bidirektionale Netznutzung, welche neue Herausforderungen für die Regelung der Netzstabilität sowie für die Netzkapazität birgt. Um die Netzinteraktion zu reduzieren, ist eine hohe Gleichzeitigkeit von PV-Ertrag und Strombezug und damit ein hoher Eigenverbrauch des PV-Ertrags, anzustreben.

In vorliegendem Forschungsprojekt wird über ein detailliertes Energiefluss-Monitoring an einem kleinen, gut gedämmten Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität untersucht, wann und wo welche Energieflüsse anfallen und daraus abgeleitet, welche wesentlichen Verbraucher sich für die Steigerung des Eigenverbrauchs eignen. Durch einfache Massnahmen soll die Gleichzeitigkeit von Elektrizitätsproduktion und -verbrauch optimiert werden. Es wird weder ein komplexes Lastmanagement noch ein Batteriespeicher eingesetzt.

Ausgehend von dem Monitoringprojekt wird in einem zweiten Forschungsprojekt untersucht, unter welchen Bedingungen eine Limitierung der Wärmepumpenlaufzeit auf die Tagesstunden zur Erhöhung der Gleichzeitigkeit ohne Komforteinbusse möglich ist. Mit Hilfe von thermischen Simulationen sollen die Auswirkungen unterschiedlich langer Laufzeiten der Wärmepumpen für Heizzwecke untersucht und das Verhalten von Massiv- und Leichtbau gegenübergestellt werden.

1.2 Beispielgebäude

Das zweigeschossige, unterkellerte Mehrfamilienhaus ist in semi-Massivbauweise errichtet und verfügt über eine beheizte Wohnfläche von 320 m². Im Erd- und Obergeschoss befindet sich je eine 4 ½-Zimmerwohnung mit einer beheizten Fläche von je 135 m². Der Raum "Wohnen" ist mit dem Balkon bzw. der Terrasse nach Westen orientiert (Abbildung 1). Im Kellergeschoss befindet sich ein nach Osten ausgerichtetes Studio mit einer beheizten Fläche von 50 m². Auf dem Dach des Hauses ist eine PV-Anlage mit einer Leistung von 20 kWp installiert. Es wird mit einem Jahresertrag von 18'000 kWh gerechnet. Eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit 8.9 kW (B0/W35) Nennleistung erzeugt die Wärme für Warmwasser und Raumheizung. Die erzeugte Wärme wird in einem integrierten Pufferspeicher mit 200 l für die Heizung und einem Brauchwasserspeicher mit 800 l zwischengespeichert. Die Wärmeabgabe in den Wohnräumen erfolgt über eine Fussbodenheizung. Eine mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Gegenstrom (η WRG =80%) versorgt die Wohnungen mit Frischluft. Das Gebäude ist gemäss Minergie-P-ECO (AG-005-P-ECO) zertifiziert und hat den Schweizer Solarpreis 2012 in der Kategorie PlusEnergieBau [1] gewonnen. Das betrachtete Gebäude steht in Rapperswil, Kanton Aargau und wurde im September 2011 bezogen. Die Mieterschaft hat sich über die Dauer des Monitorings von zwei Betriebsjahren (Okt 2011 bis Sep. 2012 und Okt. 2012 bis Sep. 2013) nicht geändert.



Abbildung 1: West/Ost-Ansicht des untersuchten Mehrfamilienhauses (Quelle: Setz Architektur, FHNW IEBAU).

2. Vorgehen – Méthode – Methods

2.3 Energiefluss-Monitoring

Das Energiefluss-Monitoring erfolgt mit 15-minütiger Zeitauflösung [2], wie es in der Energiewirtschaft zur Leistungsmessung und zur Lastgangbestimmung üblich ist. Monitort werden der Ertrag der Photovoltaikanlage (PV-Ertrag), der Elektrizitätsbezug für das Elektroauto, der Allgemeinstrombezug sowie der Elektrizitätsbezug der mechanischen Lüftungsanlage für alle drei Wohnungen gemessen. Je Wohnung wird der Gesamtbezug sowie der Verbrauch der Weissen Ware (Elektroherd/Backofen/Waschmaschine/Tumbler, Kühlschrank, Geschirrspüler, Dunstabzugshaube) separat erfasst.

Der Elektrizitätsbezug der Wärmezeugung wird durch Messung des Elektrizitätsbezugs der Wärmepumpe, des Betriebsstatus „Heizen / Warmwasserbereitung“ und der darauf basierenden Berechnung des Elektrizitätsbedarfs zur Warmwasserbereitung bestimmt. Zusätzlich wird der Elektrizitätsbezug der Umwälzpumpen für die Erdwärmesonde und die Wärmeverteilung im Gebäude erfasst. Der Wärmeverbrauch in allen drei Wohnungen ergibt sich aus der verbrauchten Warmwassermenge sowie aus dem Heizwärmebezug. Zusätzlich wird pro Wohnung die Raumlufttemperatur im Raum "Wohnen" als Komfortparameter gemessen. Der Temperaturfühler ist jeweils in einer Art Unterputzdose an einer Innenwand positioniert.

2.4 Wetterdaten

Neben der am Gebäude gemessenen Aussenlufttemperatur werden die Messwerte der Solarstrahlung von der Klimastation Buchs/Aarau (MeteoSchweiz) genutzt. Prinzipiell ist das zweite Betriebsjahr etwas wärmer, weist aber weniger Sonnenstunden als das erste Betriebsjahr auf.

2.5 Randbedingungen für die thermische Simulation

Für die Validierung bzw. Anpassung des Simulationsmodells werden als freie Parameter die gemessenen Temperaturen am Temperaturfühler „Wohnen“ und der gemessene Heizwärmeverbrauch je Wohnung herangezogen. Nach der Anpassung werden sämtliche Einstellungen am Modell für alle Varianten beibehalten und nur die Dauer der Wärmepumpenlaufzeit variiert. Die detaillierten Randbedingungen zur thermischen Simulation (ESP-r) sind in [3] erläutert. Für die Untersuchung der verschiedenen Bauweisen werden die U-Werte (Aussenbauteile) aller Varianten gleich gehalten und die Konstruktion wie folgt variiert:

- Das reale Gebäude ("real") weist Aussen- und Innenwände aus Porenbeton auf, während das Dach und die Zwischendecken aus Beton sind (Wärmekapazität: 63 Wh/(m²K) bzw. 17 kWh/K nach SIA 382/1 für 24 h).
- Für die Variante Massivbau ("massiv") werden die Aussenwände und die Innenwände aus Beton modelliert (Wärmekapazität: 79 Wh/(m²K) bzw. 21 kWh/K nach SIA 382/1 für 24 h).
- Im Fall Leichtbau ("leicht") sind die Aussen- und Innenwände, das Dach sowie die Zwischendecke in Leichtbauweise ausgeführt (Wärmekapazität: 39 Wh/(m²K) bzw. 10 kWh/K nach SIA 382/1 für 24 h).

Das Kellergeschoss inklusive der Kellerdecke (Beton) ist für alle Varianten unverändert. Insgesamt besteht das Gebäudemodell aus 15 Zonen. Der betrachtete Zeitraum ist der 10.2.-11.03.2013. In diesen vier Wochen nimmt die Aussenlufttemperatur Werte zwischen -10 und +17°C an. Mittelwert und Standardabweichung betragen $1.8 \pm 4.5^\circ\text{C}$.

3. Resultate – Résultats – Results

3.6 Gesamtbilanz

Das Monitoring der Energieflüsse umfasst die beiden Betriebsjahre zwischen Oktober 2011 und September 2013. Die Monatssummen zeigt Abbildung 2. Der Jahresgang im Elektrizitätsverbrauch

wird hauptsächlich durch die Wärmepumpe bestimmt. Ab März 2012 steht das Elektroauto dauerhaft zur Verfügung und der Elektrizitätsbezug ist im zweiten Betriebsjahr doppelt so hoch wie im ersten. Über beide Betriebsjahre werden etwa 27'500 kWh Elektrizität verbraucht und rund 37'800 kWh Elektrizität solar erzeugt, was einem Überschuss von ca. 37% entspricht. Der gesamte Elektrizitätsbezug aus den beiden Jahren verteilt sich wie folgt: 12'600 kWh werden als Haushaltsstrom in den drei Wohnungen genutzt, wovon rund 30% der Weissen Ware zugeordnet werden können, 4'300 kWh dienen der Wärmepumpe zur Gebäudebeheizung, 1'900 kWh sind erforderlich, um Warmwasser zu produzieren, rund 5'300 kWh werden zum Laden des Elektroautos aufgewendet, je 1'700 kWh sind erforderlich, um die Lüftungsanlage zu betreiben und den Allgemiestrom bereitzustellen.

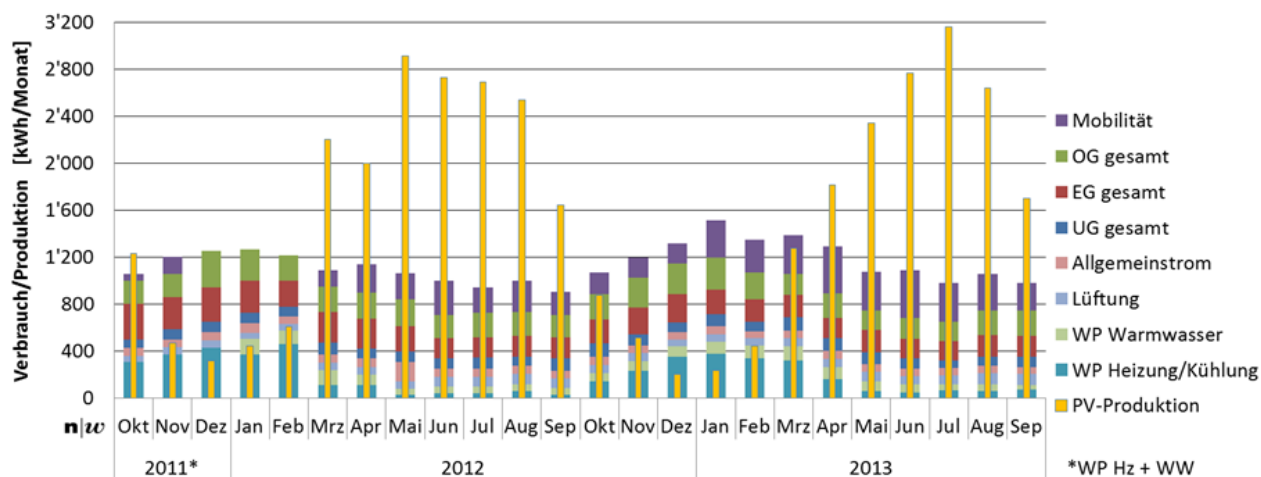


Abbildung 2: Die Monatssummen des PV-Ertrags und der erfassten Elektrizitätsverbraucher [4].

3.7 Möglichkeiten der Lastverschiebung

Um die Gleichzeitigkeit von Verbrauch und PV-Ertrag zu erhöhen, wird auf Grundlage der ersten Heizperiode 2011/2012 evaluiert, welche separat erfassten Verbraucher ohne Komforteinbusse für die Nutzer aus den Abend- und Nachtstunden in die Tagesstunden verlegt werden können. Die Analyse zeigt, dass in den Wintermonaten im Zeitraum zwischen 10-16 Uhr mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Synchronisation von Erzeugung und Bezug hergestellt werden kann (Abbildung 3). Zwischen Oktober 2011 – April 2012 wurden 7'284 kWh von der PV-Anlage erzeugt. Der Elektrizitätsverbrauch aller Verbraucher im Gebäude zwischen 10-16 Uhr beläuft sich auf 2'091 kWh, was einer Eigendeckungsrate von 29% entspricht. Die grössten Einzelverbraucher, für welche separate Daten vorliegen, werden für eine mögliche Lastverschiebung bestimmt; dies sind die Wärmepumpe, die Geschirrspülmaschinen und das Elektroauto. Ihre ausserhalb des Zeitraums zwischen 10-16 Uhr bezogene Elektrizität kann als Verschiebepotenzial betrachtet werden und beträgt mit 2'574 kWh 31% am Gesamtenergieverbrauch. Das Verschiebepotenzial aus dem Zeitraum 16-10 Uhr setzt sich wie folgt zusammen:

- 2'194 kWh (26.5% des Gesamtverbrauchs) entfallen auf die Wärmepumpe,
- 185 kWh (2.2% des Gesamtverbrauchs) auf den Betrieb der Geschirrspüler,
- 195 kWh (2.4% des Gesamtverbrauchs) werden zur Ladung der Akkumulatoren des Elektroautos eingesetzt (ab März 2012).

Da die Wärmepumpe das grösste Verschiebepotential aufweist, wird die Laufzeit der Wärmepumpe optimiert. Die bedarfsgeführte Wärmepumpensteuerung für Heizbetrieb und Warmwasser wird zur Erhöhung der Gleichzeitigkeit auf eine beschränkte Betriebszeit in den Tagesstunden umgestellt. Ab Mai 2012 wird die Warmwasserbereitung auf 11-17 Uhr und ab Juli 2012 auf 13-17 Uhr begrenzt. Zusätzlich wird ab Februar 2013 der Heizbetrieb auf 10-19 Uhr limitiert.

Während im ersten Betriebsjahr zwischen 16-10 Uhr etwa 2'300 kWh Elektrizität zum Betrieb der Wärmepumpe eingesetzt werden, verringert sich dieser Betrag im zweiten Betriebsjahr auf etwa

1'500 kWh. Gleichzeitig steigt die über den Tag bezogene Elektrizitätsmenge von ca. 800 kWh im ersten auf knapp 1'700 kWh im zweiten Betriebsjahr an. Durch die Verschiebung der Laufzeit in die Tagesstunden erhöht sich der Eigenverbrauch der Wärmepumpe um 116%, obwohl die Umstellung für den Heizbetrieb erst gegen Ende der Heizperiode erfolgte. (Tabelle 1). Insgesamt kann der Eigenverbrauch der beeinflussbaren Verbraucher um 31% gesteigert werden. Die Messung der Temperaturen "Wohnen" zeigt, dass der thermische Komfort durch die Laufzeitbeschränkung nicht beeinflusst wird, auch steht den Bewohnern stets ausreichend Warmwasser zur Verfügung.

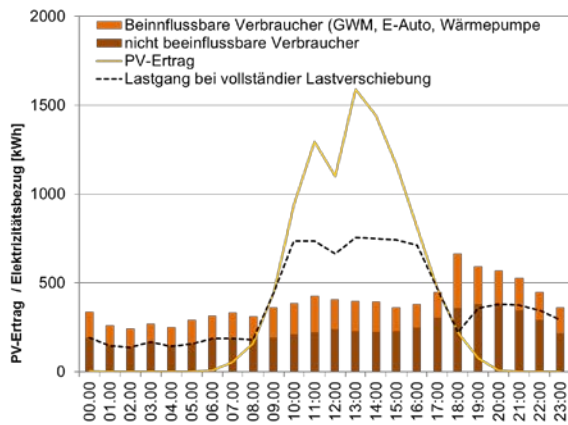


Tabelle 1: Vergleich des Elektrizitätsverbrauchs der zeitlich beeinflussbaren Verbraucher für die beiden Betriebsjahre [4].

	1. Betriebsjahr		2. Betriebsjahr			
	10-16 Uhr	16-10 Uhr	10-16 Uhr	%	16-10 Uhr	%
	kWh/a	kWh/a	kWh/a		kWh/a	
Wärmepumpe	792	2'277	1'676	+116	1'506	-34
Elektroauto	1'056	736	933	-11	2'543	+246
Geschirrspüler	32	291	55	+72	273	-6
Total	1'880	3'304	2'664	+43	4'322	+31

Abbildung 3: Mittlerer Tagesgang der PV-Erzeugung und des Elektrizitätsbezugs ohne und mit theoretischer Lastverschiebung (Okt. 11- April 12) [4]

Die Auswirkungen der Massnahmen zur Lastverschiebung auf den zeitlichen Verlauf des Elektrizitätsbezugs sind in Abbildung 4 für drei verschiedene Perioden dargestellt. Die beiden Mittagsspitzen des Gesamtbezugs bzw. des Eigenverbrauchs im "Sommer 2012" resultieren aus den verschobenen Zeitpunkten der Warmwasserbereitung. In den Tagesstunden ist der Eigenverbrauch sehr hoch.

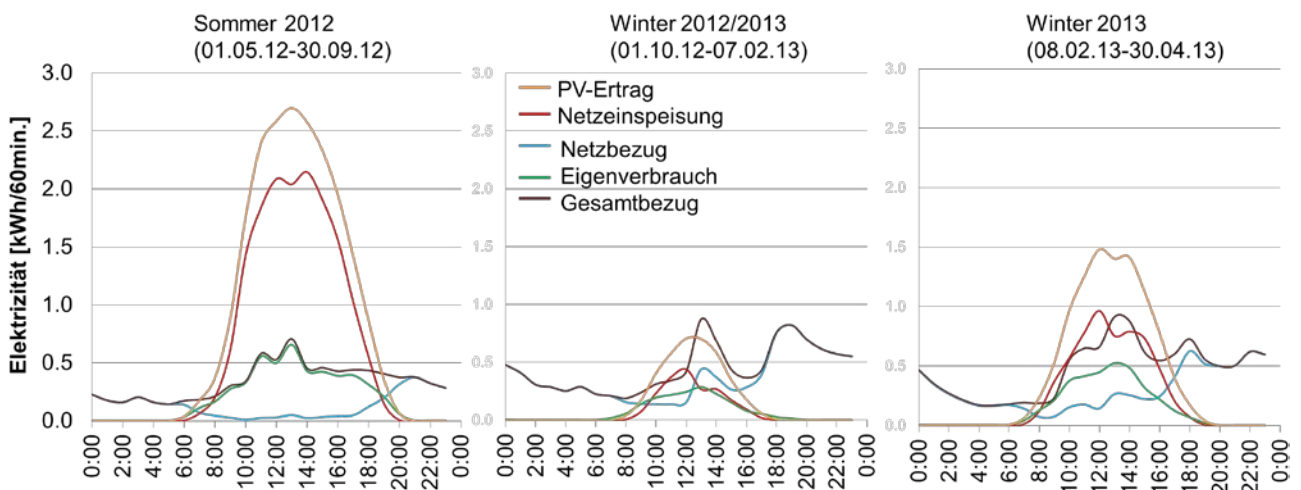


Abbildung 4: Gemittelte stündliche Lastgangprofile für "Sommer 2012" bis "Winter 2013".

In beiden Winterperioden ist ein auffälliges Maximum im Gesamtbezug zur Mittagszeit erkennbar, welches ebenfalls auf die zeitlich begrenzte Warmwassererzeugung zurückzuführen ist. Das Abendmaximum resultiert zum einen aus den Aktivitäten der Nutzer und zum anderen durch das Aufladen des Elektroautos. Die kleine Bezugsspitze um Mitternacht im "Winter 2013" ist durch das Laden des Elektroautos bedingt. Der steile Anstieg des Gesamtbezugs in den Morgenstunden im "Winter 2013" ist eine Folge der Restriktion der Wärmepumpenlaufzeit für den Heizbetrieb. Gut erkennbar ist der Anstieg des Eigenverbrauchs durch den Wärmepumpenbetrieb.

In allen drei Perioden ist ein deutliches Absinken der Einspeisemenge während der Mittagszeit erkennbar, obwohl dies der Zeitraum mit der höchsten Einstrahlung ist. Die Ursache hierfür liegt im zeitlich begrenzten Wärmepumpenbetrieb für die Warmwasserbereitung. Diese Regelstrategie wirkt wie eine lastbeschränkte Ladesteuerung eines Batteriespeichers.

Der Lastgang des Gesamtbezugs setzt sich aus fünf Hauptverbrauchern im Gebäude zusammen: dem Allgemeinstrom, der Lüftungsanlage, der Wärmepumpe, dem Strombezug der Wohnungen und dem Elektroauto (Abbildung 5). Der Elektrizitätsverbrauch für die mechanische Komfortlüftungsanlage und den Allgemeinstrom bildet eine konstante Grundlast über das Jahr. Der Verbrauch in den Wohnungen weist einen Tagesgang mit einem Maximum in den Abendstunden auf. Der Bezug der Wärmepumpe wechselt von bedarfsangepasst "Winter 2011/2012", über Limitierung auf Niedertarif "Winter 2012/2013" zu Optimierung auf Gleichzeitigkeit "Winter/Sommer 2013". Das Elektroauto bezieht im zweiten Betriebsjahr nahezu die doppelte Energiemenge und wird überwiegend in den Abend- und Nachtstunden geladen. Dies ist ein typisches Muster für Personen, die das Elektroauto für die tägliche Arbeit verwenden. Damit ist ohne Nutzungseinschränkungen das Elektroauto bei diesem Gebäude nicht geeignet, die Gleichzeitigkeit zu erhöhen.

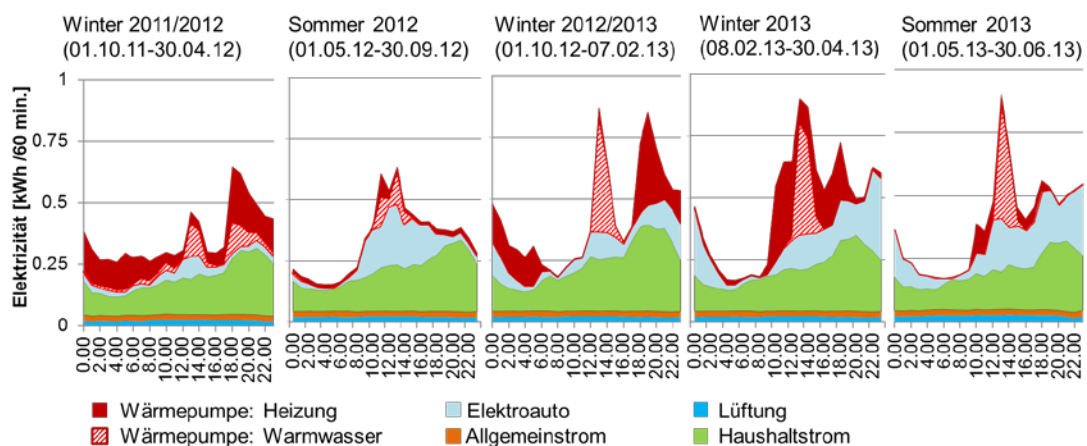


Abbildung 5: Die gemittelten stündlichen Lastgangprofile für die verbraucher-spezifische Aufteilung des Netzbezugs [4].

3.8 Netzverhalten

Das Netzverhalten des Gebäudes wird durch das Aufstellen der Bilanz aus Elektrizitätsbezug und Elektrizitätserzeugung in Ein-Stunden-Schritten aufgestellt, da durch Messdatenausfälle nicht immer 15 min Werte vorliegen. Die Bilanz gibt an, welche Elektrizitätsmengen aus dem Netz bezogen, ins Netz gespeist sowie im Gebäude selbst genutzt werden. Über die beiden Betriebsjahre können ca. 3'300 kWh bzw. 3'500 kWh der solar erzeugten Elektrizität pro Jahr im Gebäude direkt selbst genutzt werden. Dies entspricht etwa 23% bzw. 26% des Gesamtelektrizitätsbezugs im Betriebsjahr. Im Gebäude nicht direkt selbst genutzte Elektrizität (14'000 kWh bzw. 16'000 kWh pro Betriebsjahr) wird in das Netz eingespeist. Die Netzeinspeiserate (das prozentuale Verhältnis aus der ins Netz abgegebenen Elektrizitätsmenge zum PV-Ertrag) beträgt 78% bzw. 81%. Zum Ausgleich der Elektrizitätsbilanz ist es erforderlich, 10'000 kWh bzw. 11'000 kWh Strom aus dem Netz zu beziehen. Dies entspricht einer Netzbezugsrate (das prozentuale Verhältnis der vom Netz bezogenen Elektrizitätsmenge zum Gesamtelektrizitätsverbrauch) von ca. 74% bzw. 77%. Der Elektrizitätsbezug eines Jahres kann an 1'600 bzw. 1'800 Stunden eines Jahres vollständig direkt aus dem PV-Ertrag gedeckt werden. An weiteren 1'000 bzw. 1'200 Stunden ist eine teilweise Deckung des Stromverbrauchs möglich. Insgesamt führt die grosse PV-Anlage des Gebäudes zu einer starken Netzinteraktion durch Einspeisespitzen im Sommer, die durch die Eigennutzung jedoch abgemindert werden können.

3.9 Vergleich verschiedener Bauweisen und Wärmepumpenlaufzeiten

Die Messwerte zeigen, dass im Mittel für eine Stunde am Mittag Warmwasser produziert wird, daher steht in dieser Zeit die Wärmepumpe für Heizzwecke nicht zur Verfügung. Aus diesem Grund wird die Wärmepumpenlaufzeit für die Simulation auf 10-13 und 14-19 Uhr festgelegt, was einer

Gesamtlaufzeit von 8 h entspricht. Bei der Beschränkung des Wärmepumpenbetriebs auf das genannte Zeitfenster zeigen alle drei Bauweisen nur eine sehr geringe Abweichung ($< \pm 0.5 \text{ K}$, $< 5\%$) von den gemessenen Werten und können somit mit dieser Regelstrategie betrieben werden (Abbildung 6 oben, Abbildung 7 links).

Um zu untersuchen, ob eine höhere Gleichzeitigkeit erzielt werden kann, wird die Laufzeit der Wärmepumpe für den Heizbetrieb von 8 h auf 5 h (10-13/14-16 Uhr) reduziert. Bei dieser Variante sinken alle berechneten mittleren Temperaturen "Wohnen" und weichen deutlich von der jeweiligen mittleren Referenztemperatur – hier die gemessenen Temperaturen "Wohnen" – ab (Abbildung 6 unten). Die Laufzeit der Wärmepumpe reicht nicht mehr aus, um die Referenztemperaturen sicher zu stellen. Entsprechend der niedrigen Temperaturen reduziert sich auch der Heizwärmebedarf (Abbildung 7 rechts). Eine Verkürzung der Wärmepumpenlaufzeit auf 5 h ist unter Berücksichtigung der gewünschten Referenztemperatur für keinen betrachteten Fall möglich. Erst wenn die Nutzer tiefere Temperaturen akzeptieren (Suffizienz) kann diese Laufzeitverkürzung erfolgen. Mit einer Laufzeit von 5 h wird eine mittlere Temperatur "Wohnen" von 20°C bei fast allen Wohnungen und Bauweisen eingehalten.

Die massive Bauweise weist für fast alle Wohnungen und Varianten die niedrigsten Temperaturen und die geringsten Temperaturschwankungen auf. Die grössten Temperaturschwankungen treten beim Leichtbau auf.

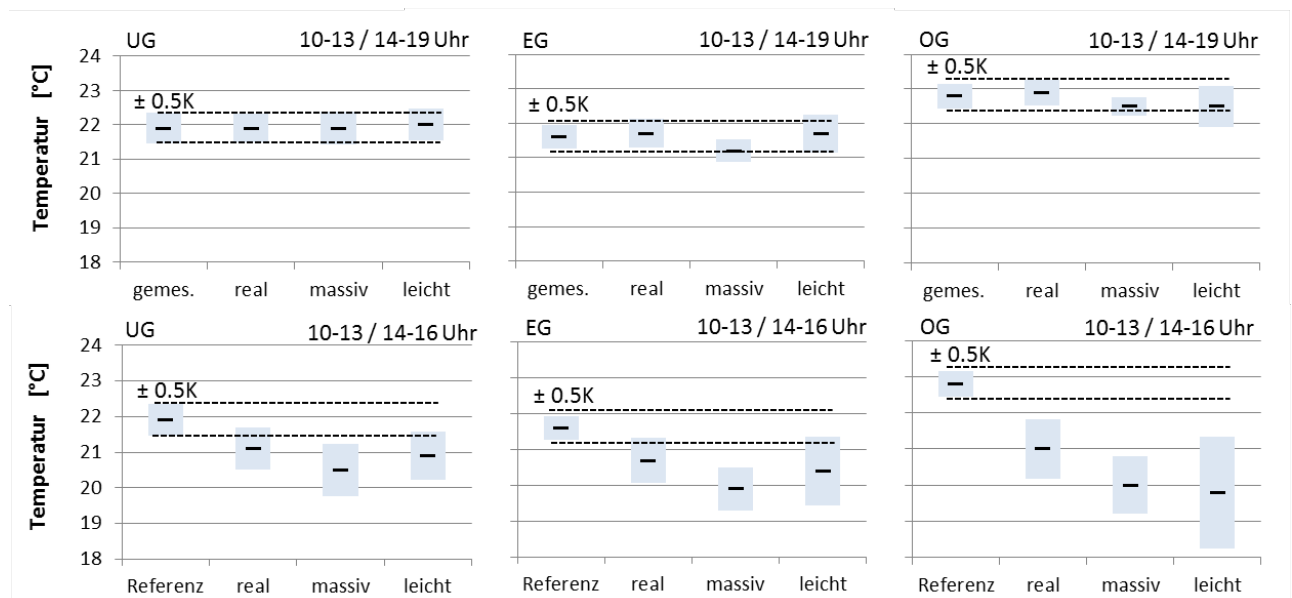


Abbildung 6: Mittelwerte und Standardabweichung der gemessenen und berechneten Temperatur "Wohnen" der Unter-, Erd- und Obergeschosswohnung für den Zeitraum 10.2.-11.03.2013 in Abhängigkeit von verschiedenen Bauweisen und zwei Zeitfenster für die Wärmepumpe zu Heizzwecken.

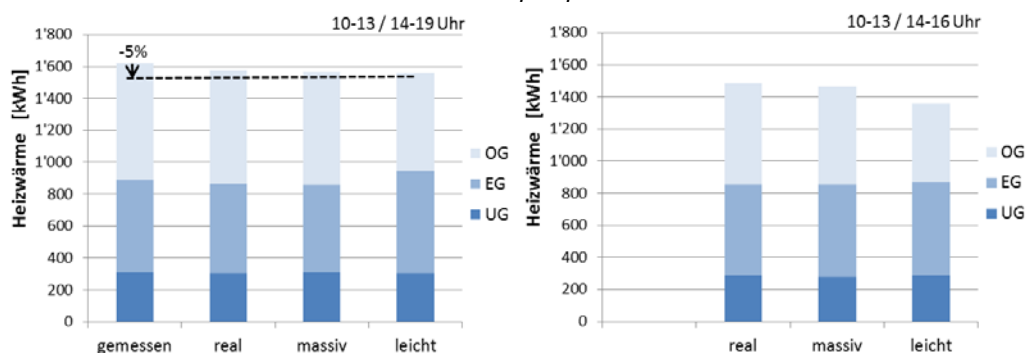


Abbildung 7: Gemessene und berechnete Heizwärme für die Unter-, Erd- und Obergeschosswohnung im Zeitraum 10.2.-11.03.2013 in Abhängigkeit von verschiedenen Bauweisen und zwei Zeitfenster für die Wärmepumpe zu Heizzwecken.

4. Diskussion – Discussion – Discussion

Das Monitoring zeigt auf, dass sich nicht alle Verbraucher in einem Gebäude eignen, nur in den Tagesstunden betrieben zu werden. Zum einen eignet sich dazu nicht die Weisse Ware, da sie nur einen geringen Anteil am Gesamtverbrauch aufweist. Es erscheint daher wenig sinnvoll, etwaige Massnahmen (Einschränkung der Nutzungszeiten, aufwendige, ertragsabhängige Steuerung) für diese Geräte zu etablieren. Zum anderen muss die Eignung von Elektroautos diskutiert werden. Hier kommt es sehr stark auf die Nutzung an. Wird das Elektroauto für den Arbeitsweg verwendet, steht es in der Regel nicht zur Speicherung in den Tagesstunden am Wohngebäude zur Verfügung. Wird das Auto nur selten genutzt, kann es zwar Tagsüber geladen werden, wird aber eventuell nicht entsprechend entladen, um am nächsten Tag wieder genügend Kapazität zum Aufladen zu haben.

Die Verschiebung der Laufzeit der Wärmepumpe in die Tagesstunden hat mehrere Vorteile: einerseits ist ihr Energieverbrauch hoch und somit die Verschiebung effektiv und andererseits ist diese Verschiebung unabhängig vom Nutzer, so dass er nicht in seiner Handlungsfreiheit eingeschränkt ist. Würde eine Luft-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt, könnte diese tagsüber bei wärmeren Temperaturen betrieben werden. Nachteilig an dieser Regelstrategie der Wärmepumpe ist, dass an Tagen mit wenig oder keinem PV-Ertrag in der Mittagszeit ein ebenfalls hoher Netzbezug erfolgt. In Hinblick auf eine weitere Optimierung des Wärmepumpenbetriebs wäre eine solar- bzw. wetterdatengeführten Leistungsregelung denkbar. Generell ist zur weiteren Steigerung des Eigenverbrauchs ein lokaler Batteriespeicher unumgänglich. Ohne dass der PV-Ertrag durch Speicherung in die Abend- und Nachtstunden verschoben wird, kann die Gleichzeitigkeit nicht wesentlich über die hier ermittelten Werte erhöht werden.

5. Ausblick – Perspectives – Perspectives

Die gewonnenen Erkenntnisse über die Erhöhung der Gleichzeitigkeit durch eine Laufzeitbeschränkung der Wärmepumpe auf die Tagesstunden beziehen sich bislang nur auf sehr gut gedämmte Gebäude mit einem recht grossen Warmwasserspeicher. Prinzipiell können die Erkenntnisse dennoch auch auf andere Gebäude übertragen werden. Insbesondere über weitere Parameterstudien mit dem Simulationsmodell können die Auswirkung des Dämmstandards oder auch der Speichergrosse mit vergleichsweise geringem Aufwand ermittelt werden. Die Erfassung von Messdaten in dem hier vorhandenen Umfang an weiteren Gebäuden ist zur Ergänzung rechnerischer Untersuchungen äusserst wünschenswert.

Das Monitoring wurde April 2014 beendet und der Schlussbericht wird im Herbst 2014 vorliegen. Das auf rechnerischen Untersuchungen basierende Projekt über die Auswirkungen der Dauer verschiedener Wärmepumpenlaufzeiten und unterschiedlichen Bauweisen auf die Temperatur wird Ende 2014 abgeschlossen. Hier ist noch geplant, das Dämmniveau auf den Grenzwert nach SIA 380/1 einzustellen und Vergleichsrechnungen durchzuführen.

Die präsentierten Ergebnisse wurden im Rahmen der Forschungsprojekte „Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität in Rapperswil, AG“ (SI/500645//SI/500645-01) und "Netzbelastung durch Nullenergiegebäude" (810000723, SI/500217-02) erarbeitet. Beide Projekte werden durch das Bundesamt für Energie BFE gefördert. Wir danken zudem Herrn Werner Setz, Setz-Architektur, für die sehr gute Zusammenarbeit.

Literatur/Referenzen – Littérature/références – Literature/references

- [1] http://solaragentur.ch/dokumente//G-12-09-24%20Klein-Solarpreispublikation%202012-DEF_Setz_kleinste.pdf
- [2] Firma Spline AG, Messdatenerfassung, www.spline.ch
- [3] Hall M., Geissler A.: Netzbelastung durch Nullenergiegebäude. FHNW, Institut Energie am Bau, Zwischenbericht 2013, www.fhnw/habg/iebau
- [4] Hall M., Dorusch F., Geissler A.: Optimierung des Eigenverbrauchs, der Eigendeckungsrate und der Netzbelastung von einem Mehrfamiliengebäude mit Elektromobilität. Bauphysik 3/2014, S. 117-129, DOI: 10.1002/bapi.201410023, www.fhnw/habg/iebau