



Bild 1: Areal-Überbauung in Möriken-Wildegg AG nach Minergie-P-Eco®-Standard mit PV-Anlagen auf Dächern, Fassaden, und Terrassen-Brüstungen. (Bild: Setz Architektur AG)

Digitalisierung im Gebäude mit Sinn: Farbliche und preisliche Anreize sollen Bewusstsein für erneuerbare Stromproduktion schaffen

Der Strom bekennt Farbe

In der innovativen Areal-Überbauung in Möriken-Wildegg [1] wurde eine schweizweite Neuheit realisiert. Der Benutzer «sieht» in Echtzeit, welche Art von Strom gerade aus der Steckdose fließt: Grün steht für Solarstrom von den eigenen Photovoltaik-Anlagen. Zudem sinkt der Strompreis, wenn genügend Produktion vorhanden ist. Damit haben auch Mieter und Stockwerkeigentümer endlich einen emotionalen und finanziellen Anreiz, günstigen Solarstrom direkt zu nutzen.

David Zogg *

Das Pilotprojekt von Smart Energy Control wird vom Bundesamt für Energie begleitet. Die Gebäude wurden alle im Verlaufe des Jahres 2019 unter der Koordination von Setz Architektur AG erstellt und sind in Betrieb. Eine einjährige Messkontrolle und Optimierungsphase unter der Leitung der Fachhochschule Nordwestschweiz hat soeben begonnen.

Vision

Der Strom «fließt» normalerweise unbemerkt aus der Steckdose. Niemand beachtet ihn, er wird als selbstverständlich angenommen. Nur viertel- oder halbjährlich bekommt der Bewohner seine Stromabrechnung, welche er emotionslos bezahlt.

Dies möchten wir grundsätzlich ändern. Wir geben dem Strom eine Farbe: Grün steht für Solarstrom, gelb für einen Mix aus Solar-/Netzstrom und rot für reinen Netzstrom. Die Farbe ändert in Echtzeit. Wenn also gerade die Sonne scheint und die Produktion höher ist als der Verbrauch, wechselt die Farbe auf grün. Der Bewohner kann dann garantiert 100 % Solarstrom von der loka-

len Produktion selbst nutzen. Er weiss also, woher sein Strom kommt. Durch die farbliche Visualisierung bekommt er auch einen emotionalen Bezug zum Strom und sieht, dass dieser nicht «von selbst» aus der Steckdose fließt.

Neben dem emotionalen Anreiz durch die Farbe hat der Bewohner zudem einen preislichen Anreiz. Der Strompreis sinkt in Echtzeit, wenn genügend Solarstrom vorhanden ist. Der grüne Strom ist also auch der kostengünstigste.

Durch gezielten Eingriff kann der Bewohner seinen Stromverbrauch manuell oder automatisch «grüner» machen und seinen Eigenverbrauchsanteil erhöhen sowie den Energieverbrauch senken. Durch ein direktes Feedback über eine Smartphone-App sieht er auch jeden Tag, wie viel er eingespart hat. So macht Digitalisierung Freude und spornt zum Sparen an!

Auch die Stromabrechnung ist konsistent. Sie wird basierend auf dem angezeigten Preis berechnet und belohnt diejenigen Bewohner, welche einen hohen Eigenverbrauchsanteil erzielen bzw. wenig Strom verbrauchen.

Vision umgesetzt

Die oben beschriebene Vision wurde mit dem System von Smart Energy Control umgesetzt. Eine App zeigt farblich hinterlegt den aktuellen Strompreis (Bild 2, links). Bei solarem Überschuss wechselt die Farbe auf grün und der Preis sinkt. Die Berechnung des Preises erfolgt im **Eigenverbrauchsmanager** über die in [5] vorgestellte Berechnungsmethode eines variablen Tarifs, bestehend aus Solar- und Netzanteil. Als Alternative wird der Preis auch in jeder Wohnung im Raumbediengerät farblich angezeigt (Bild 2, oben rechts). Die Bewohner haben also auch ohne Smartphone jederzeit den Überblick.

Alle Bewohner sehen den gleichen Preis und können ihr Verhalten nach diesem richten. Entweder betreiben sie ihre Haushaltgeräte manuell oder sie übergeben diese Aufgabe dem **Eigenverbrauchsmanager**. Dieser schaltet dann automatisch den Geschirrspüler oder die Waschmaschine ein, wenn genügend Solarstrom vorhanden ist bzw. der Tarif günstig ist. Der Benutzer hat jedoch immer die Kontrolle: Über Taster im Raumbediengerät (Bild 2, oben rechts)

kann er zwischen manuellem Betrieb (sofortiger Start) oder automatischem Betrieb bei Solarstrom wählen. Über die App kann er vorgeben, wann das Geschirr oder die Wäsche gereinigt sein soll (z. B. abends um 18 Uhr). Den Rest erledigt die Software für ihn. Selbstverständlich werden laufende Wasch- oder Spülprogramme nicht unterbrochen und die Software garantiert dem Benutzer, dass das Programm bei der vorgegebenen Zeit beendet ist (auch wenn mal zu wenig Solarstrom vorhanden wäre).

Als weiteres «Goodie» hat jede Wohnung eine Solarsteckdose (Bild 2, rechts unten). Sie ist nur eingeschaltet, wenn ein solarer Überschuss vorliegt. Entsprechend wird dies durch eine grüne LED angezeigt. Damit können z. B. Smartphones oder Notebooks aufgeladen werden oder Geräte betrieben werden, welche nicht dauernd am Netz sein müssen.

Speicherung von Energie durch Intelligenz statt in teuren Batterien

Auch bei der Speicherung von Energie wurden im Projekt neue Maßstäbe gesetzt. Statt auf teure künstliche Speicher zu setzen, werden möglichst die Speicher verwendet, welche im Gebäude natürlicherweise vorhanden sind. Dazu gehören sowohl die Warmwasserspeicher, welche nur leicht überdimensioniert wurden, als auch die Gebäudemasse als thermischer Speicher. Frühere

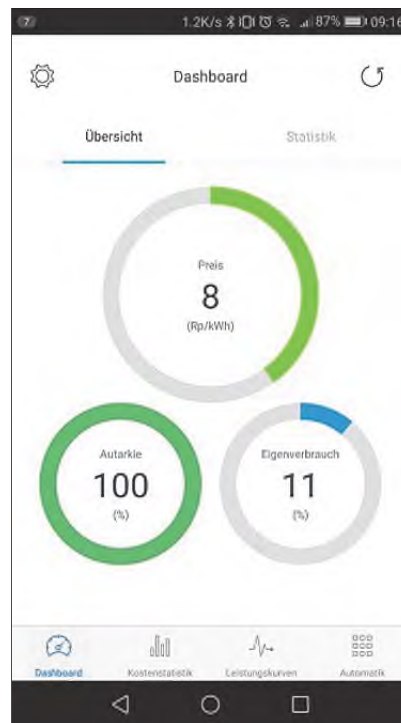
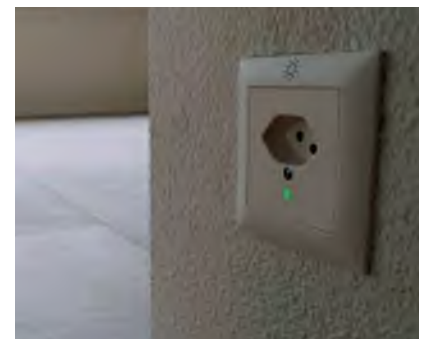


Bild 2: Smartphone-App mit farblicher Darstellung des Strompreises (links), Raumbediengerät mit Beeinflussung der Raumtemperatur, Taster für solarbetriebene Haushaltgeräte sowie farbliche Anzeige des Stromtarifs (oben rechts), Solarsteckdose mit Anzeige des Solarstroms (rechts). (Bilder: Smart Energy Control AG)



Berechnungen und Simulationen im Rahmen des Projekts [5] haben bereits gezeigt, dass das Potenzial der Gebäudemasse enorm ist und die Kapazität von technischen Speichern um ein Vielfaches übersteigt. Über das sogenannte **Thermomanagement** werden die Raumtemperaturen vom **Eigenverbrauchsmanager** über den Tagesgang leicht beeinflusst (1..2°C, einstellbar). Damit kann über die Mittagszeit aktive und passive solare Energie im Gebäude

gespeichert werden. Die Raumtemperatur wird bewusst etwas angehoben. Am Abend fühlt sich der Bewohner behaglich im aufgewärmten Wohnzimmer und die Wärmepumpen können abgeschaltet bzw. reduziert werden. Nachts muss nur noch bei tiefen Aussentemperaturen geheizt werden. Am frühen Morgen ist die Raumtemperatur dann etwas tiefer. Diese im Tagesgang leicht schwankenden Temperaturen tragen auch zur Sensibilisierung der Bewohner



Bild 3: Visualisierung von Produktion und Verbrauch des gesamten Areals und der einzelnen Wohnungen inkl. täglicher Energiestatistik (links). Installation der geeichten Zähler zur Erfassung aller Verbraucher und Wohnungen (rechts). (Bilder: Smart Energy Control AG)



Bild 4: Eigenverbrauchsmanager von Smart Energy Control (links) und Wärmepumpe von Stiebel Eltron (rechts) mit Erdwärmesonden und «Natural Cooling».
(Bilder: Smart Energy Control AG)

bei bezüglich Umgang mit Wärme/Energie. Selbstverständlich kann der Bewohner die Raumtemperatur über das Raumbediengerät auch direkt beeinflussen (Bild 2, oben rechts). Er kann den Sollwert entsprechend seinem persönlichen Komfortgefühl nach oben oder unten korrigieren (Offset).

Auf die Verwendung von künstlichen Batterien wurde aus ökologischen und ökonomischen Gründen bewusst verzichtet. In diesem Projekt soll gezeigt werden, dass auch mit intelligenter Bewirtschaftung der bestehenden Speicher ein erhebliches Optimierungspotenzial besteht.

Direktes Feedback

Wichtig ist ein direktes Feedback der Energiedaten an die Verbraucher. Neben der Smartphone-App stellt Smart Energy Control auch ein Webportal zur Verfügung, über welches sämtliche Daten abgerufen werden können (Bild 3, links). Der Bewohner wird somit informiert über die Produktions- und Verbrauchskurven des gesamten Gebäudes, die tägliche Energiestatistik mit Eigenverbrauch, den Netzbezug und den Überschuss sowie seine persönlichen Verbrauchsdaten der eigenen Wohnung. Selbstverständlich kann der Bewohner aus Datenschutzgründen keine Daten anderer Bewohner einsehen, aber er hat die Möglichkeit, sich mit dem Gesamtverbrauch des Gebäudes zu vergleichen und seine tägliche Energiestatistik zu verbessern.

Vernetzte Installation mit verteilter Intelligenz

Für die Datenerfassung werden in jedem Gebäude geeichte Zähler eingebaut (Bild 3, rechts). Damit werden die elektrischen Energieflüsse aller PV-Anlagen, Geräte und der einzelnen Wohnungen erfasst. Es werden auch Wärme und Wassermengen erfasst. Alle Zähler sind geeicht und werden zu Abrechnungszwecken verwendet. Die Daten werden automatisch ausgelesen und in der Software verarbeitet. Auch die Rechnungserstellung erfolgt automatisch mit elektronischer Zustellung an den Betreiber.

Der **Eigenverbrauchsmanager** ist das «Gehirn» des Systems (Bild 4, links). Er managt alle Energieflüsse und steuert alle Verbraucher eines Gebäudes. Dazu gehören die Wärmepumpen, Boiler, Elektromobil-Ladestationen und Haushaltgeräte. Im Gegensatz zu konventionellen Systemen mit einer zentralen Steuerung wird hier mit verteilter Intelligenz gearbeitet [2], d. h. jedes Gebäude hat sein eigenes «Gehirn». Die Steuerungen kommunizieren über ein digitales Bussystem miteinander und optimieren gemeinsam das gesamte Areal (= sogenannte «Schwarmintelligenz»). Wenn also beispielsweise die PV-Anlage auf dem Gebäude 1 mehr liefert, kann es sein, dass eine Waschmaschine im Gebäude 2 gestartet wird und ein Elektromobil in der Tiefgarage anfängt zu laden. Insgesamt werden auf diese

Art über 60 Haushaltgeräte, 4 Wärmepumpenanlagen und mehrere Elektromobil-Ladestationen koordiniert. Die grossen Vorteile dieses Systems liegen in der einfachen Erweiterbarkeit und Wartbarkeit. Auch die gestaffelte Inbetriebnahme der vier Gebäude verteilt übers Jahr wurde dadurch wesentlich erleichtert.

Für die Heizung und Warmwasserproduktion werden Sole/Wasser-Wärmepumpen von Stiebel Eltron eingesetzt (Bild 4, rechts). Die Systeme mit Erdwärmesonden verfügen über einen hohen COP (Coefficient of Performance) im Zusammenhang mit den Fussbodenheizungen. Sie können zweistufig betrieben werden, was wiederum die Freiheitsgrade für die Regelung auf insgesamt 8 Stufen für die gesamte Überbauung erhöht (4×2: 4 MFH mit je 2 WP-Stufen). Im Sommer können die Erdsonden zudem genutzt werden, um über «Natural Cooling» die Wohnungen kühl zu halten. Im Prinzip ist auch eine solaroptimierte aktive Kühlung möglich, wurde hier aber nicht umgesetzt. Die Wärmepumpen werden vom **Eigenverbrauchsmanager** intelligent über einen digitalen Bus angesteuert, d. h. die Trinkwarmwasser-, Pufferspeicher- und Vorlauftemperatur ins Gebäude werden je nach aktuellem Strompreis und lokaler Produktion variabel angesteuert. Im Zusammenhang mit dem **Thermomanagement** kann damit die Speicherfähigkeit des Gebäudes ma-

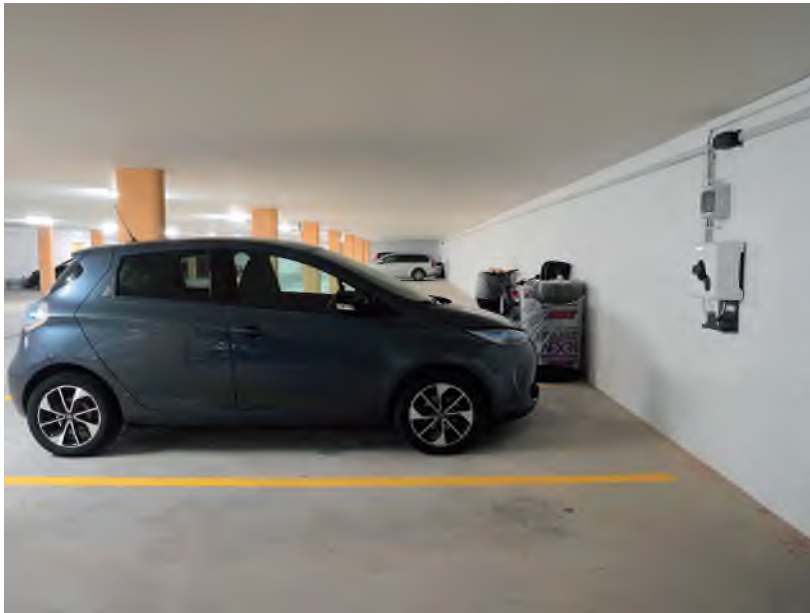


Bild 5: erweiterbare Lade-Installation für Elektromobile (links) und optimiertes benutzergeführtes Laden über eine Smartphone-App (rechts). (Bilder: Smart Energy Control)

ximal genutzt werden. Durch die leichte Anhebung der Gebäudetemperatur ist das System effizienter als bei einer starken Anhebung der technischen Speichertemperaturen oder Verwendung von Elektroheizungen, wie dies bei konventionellen Eigenverbrauchslösungen der Fall ist.

Intelligente Elektromobilität

Die komplette Tiefgarage ist vorbereitet zur Installation von Elektromobil-Ladestationen (Bild 5). Um die nachträgliche Installation zu vereinfachen, wurden Flachkabel mit einem Piercing-System verwendet. Dadurch können weitere Ladestationen einfach nachträglich montiert werden, ohne die Stromleitungen neu verlegen zu müssen. Die Ladestationen haben auch einen integrierten, geeichten Stromzähler für Abrechnungszwecke. Sie können über die Software bestimmten Wohnungen zugeordnet werden (oder optional per RFID-Karte freigegeben werden).

Selbstverständlich werden die Ladestationen intelligent geregelt. Anstatt beim Einstecken auf volle Leistung zu gehen, werden die Lasten möglichst gleichmässig verteilt. Damit können die Anschlussleistung begrenzt und die Installationskosten tief gehalten werden. Pro Strang mit einer 63A-Absicherung können bis zu 10 Ladestationen angeschlossen werden. Insgesamt ist die Tiefgarage mit 2 Strängen also für 20 Ladestationen vorbereitet.

Neben dem Lastmanagement werden die Ladestationen möglichst mit Solarstrom aus der eigenen Produktion betrieben. Die Ladeströme werden variabel angesteuert, sodass möglichst der gesamte PV-Überschuss genutzt werden kann. Eine intelligente Ladeplanung gewährleistet dabei, dass der Benutzer stets genügend Reichweite hat. Er kann über einen Ladeplan die nächste Abfahrt und die Anzahl Kilometer vorgeben [4]. Das System berechnet aufgrund dieser Daten automatisch die minimal benötigte Ladeleistung. Das Sys-

tem ist lernfähig und kann sich die Abfahrts- und Ankunftszeiten merken.

Bewohner im Zentrum und laufende Messkontrolle

Trotz dem hohen Automatisierungsgrad stehen eindeutig die Bewohner im Zentrum. Erstmals sollen auch Mieter und Stockwerkeigentümer den Anreiz und die Möglichkeit haben, ihr Verhalten zu optimieren. Durch die Anzeige des Strompreises und den Betrieb der Haushaltgeräte sowie der Ladestationen kann jeder Benutzer selbst das System



Bild 6: Technikraum in einem der vier MFH mit Eigenverbrauchsmanager-Bedienstelle, Speicher, Elektro-Hauptverteilung mit elf geeichten Stromzählern, Wechselrichter und weiteren Elektroinstallationen zu PV-Anlagen, Wärmepumpe. (Bild: Smart Energy Control)

optimieren und wird für sein ökologisches Verhalten belohnt. Neben dem rein monetären Anreiz (welcher heute aufgrund der tiefen Energiepreise noch relativ begrenzt ist) wird hier insbesondere auf den emotionalen Anreiz gesetzt (farbliche Anzeige des Strompreises, tägliche Verbrauchsstatistik).

Im Rahmen der laufenden Messkontrolle sollen nicht nur Daten ausgewertet werden, sondern auch die Bewohner eingebunden und befragt werden. Es ist klar, dass das Verhalten der Bewohner eine wichtige Rolle spielen wird. Die Bewohnerin oder der Bewohner kann entscheiden, ob die Waschmaschine sich sofort oder solaroptimiert einschalten soll, ob das Elektromobil in der Nacht oder am Tag geladen werden soll oder ob die Raumtemperatur generell erhöht oder abgesenkt werden soll.

Es zeigt sich jetzt schon, dass die Bewohner entsprechend informiert werden müssen. Beispielsweise wurde festgestellt, dass das (bis jetzt leider einzige) Elektromobil tagsüber nicht eingesteckt wird, obwohl es auf dem Parkplatz steht. So kann natürlich kein Solarstrom getankt werden. Es wäre auch schön, wenn im Verlaufe der Zeit noch etwas mehr Elektromobile oder Plug-In-Hybride in der Tiefgarage stehen würden. Nur so kann der Sommerstrom sinnvoll verwendet werden!

Um wissenschaftlich exakt zu arbeiten, wird bei der Messkontrolle zunächst eine Phase ohne spezielle Information an den Bewohner gefahren. In einer zweiten Phase werden die Bewohner sensibilisiert, die Möglichkeiten auszuschöpfen, und die Einstellungen des Systems werden weiter optimiert. Wir sind gespannt, was dabei herauskommen wird!

Visionen in die Zukunft

Der von Smart Energy Control realisierte Ansatz hat enormes Potenzial für die Zukunft. So könnte dereinst jede Steckdose in der Schweiz oder weltweit eine farbliche Anzeige haben, welche über die momentane Herkunft des Stroms informiert. Also z. B. grün für Solarstrom, blau für Wasserstrom, grau für Strom aus dem AKW, braun für Kohlestrom, usw. Das würde das Bewusstsein enorm steigern. Beispielsweise würde man sehen, welcher Strom wohl im Winter aus einer konventionellen Steckdose fließt. Die Leute würden dann weniger verschwenderisch mit dem Strom umgehen und ihn als kostbarsten Energieträger erkennen (das sagt übrigens auch die Thermodynamik: Strom ist rei-

ne Exergie, also die höchstwertige Energieform, welche in alle anderen umgewandelt werden kann).

Neben der farblichen Kennzeichnung könnte sich auch das in Möriken realisierte «Real-Time-Pricing» global durchsetzen. Wenn der aktuelle Strompreis von tatsächlichem Angebot und Nachfrage abhängig wäre, würden automatisch die richtigen Anreize geschaffen. Man hätte im Sommer günstigen Solarstrom aus dem Überschuss und könnte damit (fast) gratis Elektromobil fahren. Man hätte im Winter teuren Importstrom (oder hoffentlich in Zukunft eigenen erneuerbaren Strom) und würde sparsam damit umgehen und vielleicht mal das Gebäude sanieren. Man hätte am Tag günstigen Solarstrom und könnte damit alle Speicher aufladen. In der Nacht könnte man diesen Strom dann teurer verkaufen. Dann würden sich sogar die heute noch teuren Batteriesysteme langsam rechnen!

Auch beim Elektromobil liegt noch viel Potenzial. Zuerst müssen jetzt mal Elektromobile gekauft werden (also muss in Möriken die Tiefgarage gefüllt werden). Dann müssen diese zwingend mit Solarstrom getankt werden (die Möglichkeiten bestehen, zumindest in $\frac{3}{4}$ des Jahres). Und in Zukunft können die Batterien in den Elektromobilen sogar genutzt werden, um damit Gebäude zu betreiben oder das Stromnetz zu entlasten. Wir haben in einem anderen Projekt bereits bidirektionale Ladestationen integriert (Erlenmatt Ost in Basel, [3]). Das funktioniert im Prinzip heute schon, vorausgesetzt, man fährt ein Elektromobil mit moderner Schnittstelle. So kann man in Zukunft die Elektromobile tagsüber aufladen (am Arbeitsplatz, auch da braucht es PV-Anlagen) und am Abend mit dem überschüssigen Strom noch das Licht und die Kaffeemaschine im eigenen Gebäude betreiben. Die technischen Möglichkeiten sind heute schon alle gegeben, es braucht nur das richtige finanzielle Anreizsystem und die gesetzlichen Anpassungen. Ins Kapitel der gesetzlichen Anpassungen gehört auch die Zukunft der virtuellen ZEV (Zusammenschlüsse zum Eigenverbrauch). Die Software von Smart Energy Control ist aufgrund des Prinzips mit verteilter Intelligenz bereits vorbereitet für einen virtuellen Zusammenschluss von Gebäuden über die Cloud. Leider verlangt das Gesetz heute aber noch, dass ZEVs über physische, eigene Stromleitungen verbunden sein müssen. Wenn die unterste Netzebene

freigegeben würde, könnte man ab sofort Kupfer sparen und doppelte Installationen vermeiden. Ein «Möriken» wäre dann überall möglich, auch als nachträglicher Zusammenschluss von bestehenden Gebäuden. Je grösser die virtuellen Zusammenschlüsse werden, desto höher das Potenzial zur Eigenstromnutzung und Entlastung des Stromnetzes. Ganz nach dem Motto «Think global, act local». ■

* Zum Autor: Prof. Dr. David Zogg ist Dozent für Regeltechnik an der Fachhochschule Nordwestschweiz und Geschäftsleiter der Smart Energy Control AG.

Quellen

- [1] P. Warthmann: Vier MFH am Grabenweg in Möriken AG sind ein gelungenes Beispiel für eine PEB-Überbauung – **PlusEnergie-Häuser mit modernstem Wohn- und Energiekonzept**, HK-Gebäudetechnik 10/2019, Seite 6.
- [2] D. Zogg: Optimierung Eigenverbrauch und Lastmanagement – **Eigenverbrauchsoptimierung von Arealen mit verteilter Intelligenz**, HK-Gebäudetechnik 02/2019, Seite 43.
- [3] J. Wellstein: Elektromobilität im Ein- und Mehrfamilienhaus sowie im Plusenergie-Areal – **Gebäudetechnik mit Elektromobilität optimal kombinieren**, HK-Gebäudetechnik, Special Elektromobilität, 03/2019, Seite 4.
- [4] D. Zogg: Steigerung des zeitgleichen Eigenverbrauchs und Entlastung des Stromnetzes durch Speicherung im Elektromobil – **Intelligente Einbindung von Elektromobilität**, HK-Gebäudetechnik 05/2016, Seite 78.
- [5] D. Zogg et al.: OPTEG – **Regelstrategien für die Optimierung des Eigenverbrauchs von Gebäuden, Simulation und Realisierung**, Bundesamt für Energie BFE, Fachhochschule Nordwestschweiz, 2016.

www.fhnw.ch/ia
www.smart-energy-control.ch
www.setz-architektur.ch