



Bild 1: Das Hauptgebäude der HKG Group in Aarau wurde im Rahmen eines BFE-Projektes zwei Jahre lang messtechnisch untersucht. Millionen Daten wurden aufgezeichnet – nun sollen diese mittels explorativer Datenanalyse nochmals auf verborgene Zusammenhänge untersucht werden.

Ungeahnte Zusammenhänge offenlegen

Durch die wachsenden Anforderungen an unsere gebäudetechnischen Systeme kommt dem Monitoring eine immer zentralere Rolle zu. Bei den «klassischen» Auswertungen bleiben oft Zusammenhänge verborgen. Mit der explorativen Datenanalyse hingegen können ungeahnte Muster entdeckt werden.

Text und Bilder **Axel Seerig, Philipp Schütz, Volker Wouters et al.** *

Im Digitalzeitalter haben die Produktion, Verbreitung und Speicherung von Daten gigantische Ausmasse angenommen. Pro Minute werden weltweit fast 140 Millionen E-Mails verschickt, 100 Stunden Videomaterial auf YouTube hochgeladen, 350 000 Tweets geschrieben und 240 000 Fotos auf Facebook veröffentlicht – Tendenz steigend^[1]. Das Gleiche gilt für Daten im und um das Gebäude: Kühlschränke und Wasch-

maschinen stellen Daten ins Internet, Lüftungs- und Klimaanlage protokollieren ihr Verhalten und Stromnetze sind permanent «online». Derzeit wandelt sich im Gebäudebereich das Monitoring von einer fakultativen Massnahme zu einer gesetzlich geforderten Nachweismethode. Ein Resultat dieser Entwicklung war die Erkenntnis, dass die real gemessenen Verbrauchswerte von Gebäuden oft beträchtlich von den Planungswerten abweichen,

da reale Benutzungsmuster und/oder eingestellte Raumtemperaturen nicht den Planungsannahmen entsprechen.

Die erhobenen Daten werden heute zwar vielfach gespeichert, jedoch oft nicht oder nur wenig ausgewertet. Damit aus diesen Daten ein Mehrwert generiert werden kann, kommt der automatisierten Datenauswertung eine immer zentralere Rolle zu. Der Bedeutungszuwachs des Monitorings geht mit dem Anspruch

einher, dass durch diese Datenauswertung neue Erkenntnisse geschaffen, systemische Beziehungen besser verstanden und unsere Anwendungen «besser, schlauer oder gar intelligenter» ablaufen werden. Und es zeigt sich auch, dass Messdaten für deutlich weiterführende Anwendungsfelder eingesetzt werden können, als bei ihrem ursprünglichen Verwendungszweck angedacht war.

Interdisziplinäre Datenforschung

Bei der Auswertung der immens zunehmenden Datenmengen wird im naturwissenschaftlich-technischen Bereich in der Regel so vorgegangen, dass vorab eine Hypothese über gewisse Abhängigkeiten in den Daten aufgestellt wird. Durch die Hypothese wird jedoch eine erste subjektive Abstraktion gebildet, was zu Fehlurteilen führen kann. Dadurch werden Vorhersagen/Modelle erzeugt, die grundsätzlich gut zu den Messdaten passen, jedoch im Ernstfall versagen, da die Modelle auf unzureichenden oder gar falschen Annahmen basieren. Ausserdem bleiben eventuell weitere bestehende Zusammenhänge verborgen.

Hier setzt ein an der Hochschule Luzern initiiertes interdisziplinäres Forschungsschwerpunkt «Datenwelten» (IDS Datenwelten) an. Dieser möchte anhand konkreter Beispiele aufzeigen, wie aus Daten Werte geschaffen werden können.

Angeregt wurde das im Rahmen des IDS Datenwelten durchgeführte Projekt bereits vor über einem Jahr. Im vom BFE geförderten Pilot- und Demonstrationsprojekt «Ein Bürogebäude mit umschaltbarer Gebäudeautomations-Energie-

effizienzklasse»^[2] untersuchte die Hochschule Luzern gemeinsam mit der HKG Engineering AG, einem national tätigen Elektroingenieurbüro, den Einfluss der Energieeffizienzklassen auf den Energieverbrauch eines Bürogebäudes. Durch ein systematisches Umschalten zwischen den Energieeffizienzklassen für die Büronutzung der HKG wurden über zwei Jahre die spezifischen Energieverbräuche ermittelt. Im Laufe der Untersuchungen wurden Millionen von Messdaten durch die Gebäudetechnik generiert. Nach Projektabschluss stellte sich für die Projektpartner HKG und HSLU die Frage, ob nicht wesentlich mehr Informationen aus den Daten gewonnen werden können. Antworten hierauf geben Methoden der explorativen Datenanalyse.

Oft genügen aber bereits installierte Messsysteme. Mit Industriepartnern untersucht die HSLU, wie der aktuelle Betriebs- und Gesundheits-/Systemzustand der Wärmepumpe^[3], ja sogar das Verhalten des Gebäudes und der Bewohner alleine aus dem zeitabhängigen Verbrauch bestimmt werden kann. Die Messung dieser Werte erfolgt durch Smart Meter der Elektrizitätsversorger, die in fünf bis zehn Jahren flächendeckend eingeführt sind.

Für besondere Anwendungen kann auf Monitoringdaten verzichtet werden. Im Projekt «Heat4Cool» (www.heat4cool.eu) entwickelte die HSLU ein Online-Werkzeug, das interessierten Laien und Experten ermöglicht, verschiedene Renovationsmassnahmen^[5] nur mit wenigen Angaben über das Gebäude zu vergleichen. Unerfahrene Nutzende werden unterstützt durch sorgfältig ausgewählte Standardwerte für den Standort und das Gebäudealter. Die Vorgabewerte wurden anhand einer Vergleichsstudie des europäischen Gebäudeparks zusammengestellt^[6].

Klassische Statistik erweitert

In der beschreibenden Statistik wird ein vorgegebenes Modell (z. B. eine Normalverteilung) an die Daten angelegt und so lange angepasst, bis Modell und Daten übereinstimmen. Die Modelle werden aufgrund des physikalischen Verhaltens des Systems oder der Messgrösse ausgewählt. Ob das Modell passt, kann durch statistische Methoden beleuchtet werden. Dazu wird untersucht, ob die Abweichung zwischen Modell und Daten typisch ist oder nicht.

Für Daten aus der Gebäudetechnik sind diese Modelle oft zu komplex – zu viele Gebäudeeigenschaften müssen berücksichtigt werden oder sind gar nicht bekannt (z. B. die Anwesenheit von Personen). Um auch in diesen Fällen die Messdaten nutzen zu können, kommen Verfahren aus der Data Science zum Einsatz. Mit Data Science werden Verfahren bezeichnet, die Wissen aus Daten extrahieren und damit die klassische Statistik erweitern.

Die explorative Datenanalyse ist dabei oft der erste Schritt in solchen Untersuchungen. Mit Hilfe von Häufigkeitsanalysen (Histogrammen) und Abhängigkeitsmassen (Korrelationen) wird versucht herauszufinden, welche Grössen voneinander abhängen. Nebst offensichtlichen Zusammenhängen soll die explorative Datenanalyse vor allem unerwartete Zusammenhänge zutage fördern: Zum Beispiel lässt sich bei einer Liegenschaft mit vielen ÖV-Benutzenden die Verspätung eines Busses am Abend aus der Verschiebung des Anstiegs des Elektrizitätsbedarfs bestimmen.

Bild 2 zeigt einige Anwendungen für explorative Datenanalyse und Data Science in der Gebäudetechnik auf. Die Nutzergruppen reichen dabei von einzelnen Bewohnern, die auch an der Bushaltestelle überprüfen können, ob sie das Kochfeld eingeschaltet haben, bis zu Betreibern von elek-

* Axel Seerig, Philipp Schütz, Patrick Meyer, Andreas Melillo, Urs-Peter Menti (alle Hochschule Luzern – Technik & Architektur), Volker Wouters, HKG Consulting AG

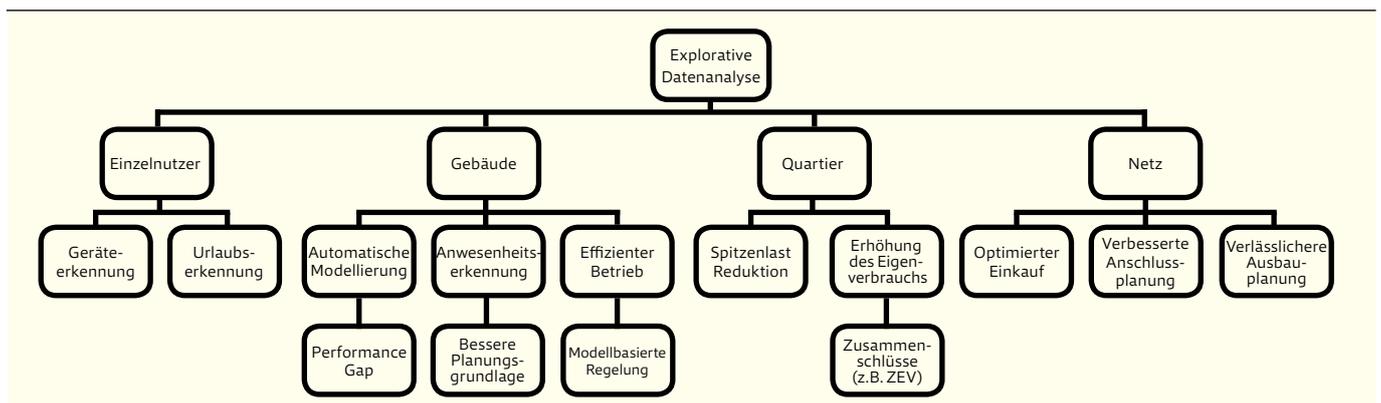


Bild 2: Mögliche Anwendungsfelder der explorativen Datenanalyse von Monitoring-Daten für unterschiedliche Anwendungsebenen.

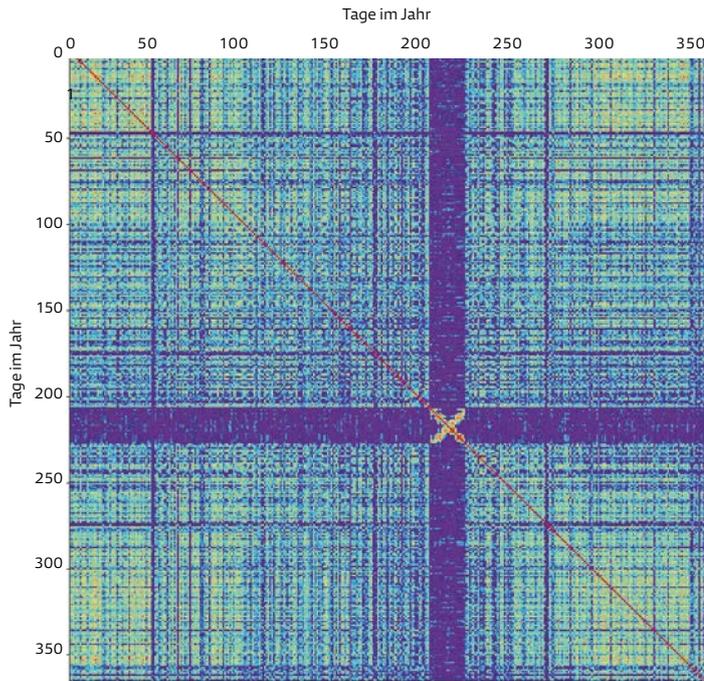


Bild 3: Ähnlichkeitsuntersuchung der Tagesprofile für ein Jahr.

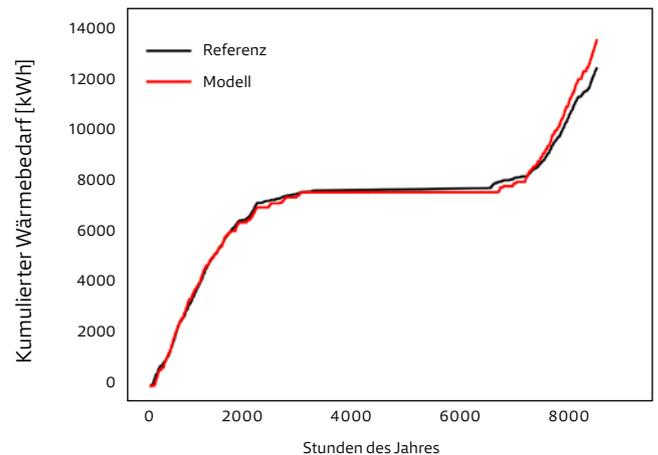


Bild 5: Vergleich des tatsächlichen kumulierten Wärmeverbrauchs (schwarze Linie) und der Vorhersage des Data-Science-Modells (rote Linie) für ein reales Gebäude aus England.

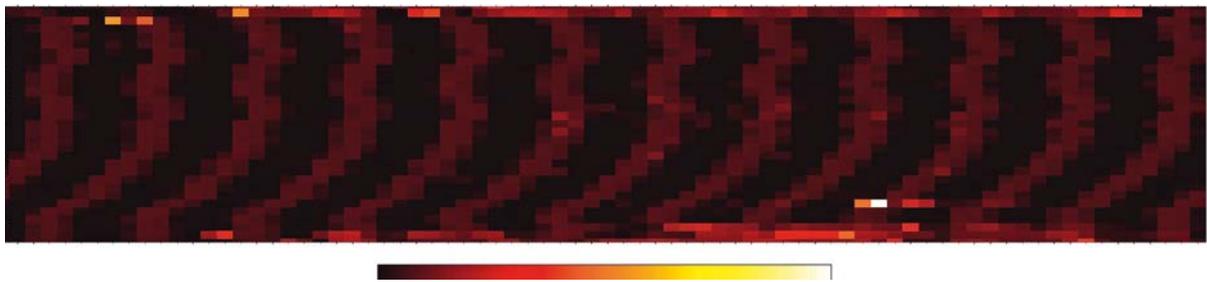


Bild 4: Dargestellt sind die Viertelstundenverbräuche (horizontal) an unterschiedlichen Tagen (vertikal). Bereits diese einfache Darstellung zeigt, dass ab Mitte der Messperiode die Verbraucher immer früher anlaufen.

trischen Netzen, die dank der gewonnenen Erkenntnisse ihre Kunden kostengünstiger und mit weniger Verlusten mit Elektrizität versorgen können. Im Folgenden werden einige dieser Anwendungen diskutiert.

«Fingerabdruck» von Gebäuden

Anhand von Verbrauchs-, Frequenz- oder Zählwerten (Mess- und Metadaten) von zwei Wohntürmen wurde der technische und wirtschaftliche Mehrwert der explorativen Datenanalyse gegenüber klassischen statistischen Methoden aufgezeigt. Die zentralen Fragen lauteten:

- ◊ Welche Fragestellungen lassen sich durch eine explorative Datenanalyse aus den Daten ableiten?
- ◊ Welches sind die geeigneten Auswertungsmethoden für diese Fragestellungen?
- ◊ Welche Ideen können dadurch generiert werden?
- ◊ Welche Daten müssen mindestens dafür aufgezeichnet werden, beziehungsweise welche können ohne Verlust weggelassen werden?

Für Auswertungen der elektrischen Viertelstunden-Messwerte von 90 Wohnungen wurde insbesondere die explorative Mustererkennung eingesetzt: eine komplexe Untersuchung der zur Verfügung stehenden Messdaten auf Muster, Zusammenhänge und Strukturen unter Einsatz von modernen Methoden der Mathematik und Informatik. Es wurden vorab keinerlei Hypothesen definiert, diese waren Resultat der Untersuchungen. Parallel dazu wurde am Institut für Gebäudetechnik und Energie der HSLU eine Bachelor-Diplomarbeit mit klassischen statistischen Ansätzen bearbeitet^[4].

Bild 3 zeigt eine Ähnlichkeitsuntersuchung der Tagesprofile für ein Jahr. Jede Zeile und jede Spalte stellen einen Tag dar, der mit jedem anderen Tag korreliert wurde. Helle Werte zeigen an, dass die Tagesverläufe analog sind (z. B. Werktag untereinander), dunkle Werte, dass grosse Unterschiede bestehen (z. B. Anwesenheitsperiode und Urlaub). In Bild 4 sind die

Energieverbräuche während der Urlaubszeit dargestellt. Durch die Absenz der Bewohner können «Standverbräuche» sichtbar gemacht werden (z. B. Kühlschrank). Bild 4 zeigt, wie selbst die einfache Darstellung von Viertelstundenwerten zu erkennen hilft, dass ab Mitte der betrachteten Periode die Geräte immer früher am Tag zu laufen beginnen. Eine der Anwendungen hierfür ist beispielsweise die Ferndiagnose von Geräten.

Ressourcenoptimierter Betrieb

Konventionelle Regler für Heiz- und Kühlsysteme arbeiten oft mit Schwellwerten und berücksichtigen so das Gebäudeverhalten nur implizit. Neue modellbasierte, prädiktive Regelungen senkten in Feldtests den Energiebedarf bei gleichbleibendem Komfort um über 25 Prozent^[7,8]. Voraussetzung für diese Verfahren ist ein «Modell» des Gebäudes/Heizsystems, das aus den Messdaten rekonstruiert wird.

In einem Forschungsprojekt untersucht die HSLU derzeit mehrere Verfahren, um

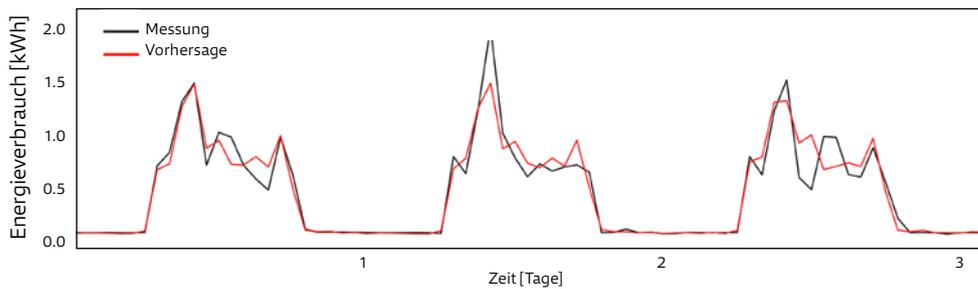


Bild 6: Vorhersage des Elektrizitätsverbrauchs für einen Haushalt mittels Deep-Learning-Verfahrens. Basierend auf dem historischen Verbrauch von drei zurückliegenden Tagen wird der Verbrauch in den kommenden Tagen vorhergesagt.

in kurzer Zeit genaue, zuverlässige, aber auch schnell berechenbare Modelle aus tatsächlichen Messdaten zu generieren. In Bild 5 ist ein Beispiel für die Ergebnisse eines solchen Modells dargestellt. Nur Temperatur- und Sonnenstrahlungsdaten einer nahe gelegenen Messstation und die Verbrauchswerte, wie sie ein Smart Meter auch aufzeichnet, waren erforderlich, um den Verlauf des Raumwärmebedarfs reproduzieren zu können.

Diese Modelle helfen aber nicht nur, die Regelung der Raumwärme- und Raum-

kältesysteme von einzelnen Gebäuden zu verbessern, sondern auch die Energieversorgung in Arealen zu optimieren. Falls die Aktivitätszeiten und der Wärmebedarf der einzelnen Gebäude bekannt sind, lassen sich die Laufzeiten der Wärmequellen so koordinieren, dass Spitzenlasten verhindert werden können. Die Verhinderung von Spitzenlasten ist nicht nur für die Netzstabilität zentral, sondern erlaubt den Besitzern und Besitzerinnen auch eine Kostenreduktion, da diese Leistungsspitzen den Netzbetreibern nicht mehr

im selben Umfang abgegolten werden müssen. Darüber hinaus kann durch die konsequente Integration dieser Modelle auch der Anteil an im Areal genutzten erneuerbaren Energien erhöht werden. Überschüsse einer Produktionsanlage können genutzt werden, um den Bedarf anderer Gebäude im Areal zu decken. Da die Modelle auch die Speicherfähigkeit der Gebäude berücksichtigen, kann erneuerbare Energie auch gezielt in thermischer Form gespeichert werden, indem die Raumtemperatur im Fall eines Überschusses an elektrischer Energie geringfügig angehoben wird^[9].

Kostengünstigere Netz-Integration

Nebst dem Wärme-/Kältebedarf tragen aber auch die stark variablen Anteile für Beleuchtung, Kochen oder Unterhaltungselektronik etc. zum Gesamtverbrauch bei. Lassen sich auch diese Teile mit Data-Science-Methoden schätzen?

Diese Frage hat die HSLU anhand der tatsächlichen Verbrauchsmuster eines Wohngebäudes untersucht. Die Resultate in Bild

ALL-IN

FLUMROC COMPACT PRO

Für die Verputzte Aussenwärmedämmung.

Vollflächig dämmen
ohne Materialwechsel.
Natürlich mit der
Flumroc-Dämmplatte
COMPACT PRO.

BRANDSCHUTZ

SCHALLSCHUTZ

WÄRMEDÄMMUNG

ÖKOLOGISCH

FORMSTABIL

www.flumroc.ch/allin

DACHCOM

6 stimmen zuversichtlich. Wenige Tage Vorlauf genügen, um mit geringen Abweichungen die Verbrauchsmuster vorherzusagen.

Für Elektrizitätsversorger bieten diese Modelle den Vorteil, dass der Energiebedarf für die kommenden Tage genauer vorhergesagt und damit die Energie präziser eingekauft werden kann. Zusammen mit den Wärme-/Kältebedarfmodellen lässt sich aber auch die Entwicklung des Bedarfs bei geänderten klimatischen Bedingungen untersuchen. Diese Vorhersagen helfen, den Anschluss neuer Liegenschaften besser zu planen, aber auch zukünftige Netzerweiterungen effizienter und kosteneffektiver durchzuführen.

Planer wird zum Datenmanager

Die Voraussetzungen für eine zielgerichtete Erfassung der relevanten Daten schaffen dabei der Gebäude-Elektroingenieur und Gebäude-Automationsplaner. Mit den gewählten Versorgungs- und Verteilstrukturen innerhalb der Gebäude sowie einem nach Verbrauchergruppen

differenzierten Messkonzept können die Messdaten in einer sinnvoll verwertbaren Form für die explorative Datenanalyse zur Verfügung gestellt werden.

Dem Gebäude-Automationsplaner kann in diesem Kontext die Rolle des Datenmanagers zugeordnet werden. Er stellt sicher, dass die «Rohdaten» verarbeitet und je nach Verwendungszweck für die verschiedenen Anspruchsgruppen aufbereitet werden. Nur so können «Daten» zu «Informationen» aufgewertet werden.

Ausblick und Gefahren

Innovative Datenanwendungen bieten ein riesiges Potenzial. Insbesondere die oben erwähnten «Reverse Engineering»-Verfahren erlauben einen tiefen Einblick in die Lebensweise und die Gewohnheiten der Nutzer. Dadurch stellen sich aber auch völlig neue Fragen der Datensicherheit, des Schutzes der digitalen Intimsphäre, des Eigentums an persönlichen und personalisierten Daten und vieles mehr. Aus diesem Grund wurden alle Auswertungen anonymisiert dargestellt.

Um Data Science aber verbreitet einsetzen zu können, stellen sich neben den technischen Herausforderungen (wie extrahiert man die gewünschten Informationen?) vor allem noch hohe rechtliche Hürden (wie darf ich die extrahierten Daten verwenden?). Die geltenden rechtlichen Grundlagen schützen den Nutzer gut und schränken die Nutzung stark ein. Trotzdem sind die neuen Möglichkeiten sowohl für Nutzende wie auch Anbietende überwältigend, sodass es spannend bleiben wird, diese Entwicklung zu beobachten. ▲

Literatur:

^[1] Ortner, H. (2016). Datenflut und Informationskanäle, Innsbruck University Press.

^[2] Seerig, A., Menti, U.P., Neuhaus, R. (2016). Ein Gebäude mit umschaltbaren Energieklassen. Proc. of Status Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt», ETH Zurich, Switzerland, 8–9 September 2016.

^[3] P. Schuetz, R. Durrer, D. Gwerder, M. Geidl, and J. Worlitschek, «Poster abstract: state of operation recognition for heat pumps from smart grid monitoring data», Comput. Sci. - Res. Dev., pp. 1–3, 2017.

^[4] Leiggenger, N., Storchenegger, S., Seerig, A. (Betreuer) 2018: Potenzialanalyse Strom, Wohntürme. Bachelor-Diplomarbeit, Hochschule Luzern.

^[5] P. Schuetz, R. Scoccia, D. Gwerder, R. Waser, and D. Sturzenegger, «Fast Simulation Platform for Retrofitting Measures in Residential Heating», in Cold Climate HVAC 2018, Springer Proceedings in Energy, 2019, pp. 713–723.

^[6] P. Elguezal et al., «Review of the European dwelling stock and its potential for retrofit interventions using solar-assisted heating and cooling», in Rehabend, 2018.

^[7] Y. Stauffer, E. Olivero, E. Onillon, C. Mahmed, and D. Lindelöf, «NeuroCool: Field tests of an adaptive, model-predictive controller for HVAC systems», Energy Procedia, vol. 122, pp. 127–132, 2017.

^[8] D. Lindelöf et al., «Field tests of an adaptive, model-predictive heating controller for residential buildings», Energy Build., vol. 99, pp. 292–302, 2015.

^[9] P. Schuetz, D. Gwerder, L. Gasser, L. Fischer, B. Wellig, and J. Worlitschek, «Improved flexibility for heat pumps by the integration of a thermal storage system», in 10th International conference of renewable energy storage, Düsseldorf, 2016.



NEU IN DER SCHWEIZ

**flüsterleise Wärmepumpen
mit integriertem
Energiemanagement**

jetzt informieren unter www.soltop.ch

SOLTOP
WÄRME WASSER STROM