



Foto: PantherMedia/wedmov

Systematisch zu mehr Energieeinsparung und -effizienz in Unternehmen und öffentlichen Gebäuden

# Messdatenbasierte Verbraucheridentifikation

Energieeinsparungen sowie die Steigerung der Energieeffizienz sind neben der Deckung des verbleibenden Energiebedarfs durch erneuerbare Energien wesentliche Faktoren zum Erreichen der Klimaziele. Die Folgen der Ukraine-Krise haben dieses Thema in den vergangenen Monaten vermehrt in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt. Neben Privathaushalten sind auch Unternehmen und öffentliche Institutionen dazu angehalten kurzfristige Einsparmaßnahmen zu ergreifen.

**T**ipps und Hinweise zur Energieeinsparung im privaten Bereich wurden in den vergangenen Monaten an vielen Stellen in den Medien besprochen. Auch öffentliche Institutionen formulierten neue, kurzfristige Einsparziele und -maßnahmen [1]. Durch die deutlich höhere Energiesystem-Komplexität in gewerblichen und öffentlichen Betrieben gestaltet sich die systematische Identifikation von individuellen Maßnahmen in diesem Bereich schwieriger, jedoch besteht auch hier erhebliches Potenzial zur Energieeinsparung und zur Steigerung der Energieeffizienz. **Bild 1** zeigt schematisch die Lastgänge verschiedener Verbraucher eines betrieblichen Energiesystems.

Die Bundesregierung veröffentlichte 2019 die „Energieeffizienzstrategie 2050“, inklusive des neuen Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (Nape 2.0). Das nationale Energieeffizienzziel sieht hier eine Reduktion des Primärenergiebedarfs um 30 % bis zum Jahr 2030 vor. Neben dem Ausbau und der Integration erneuerbarer Energien, sowie baulichen Maßnahmen

soll dieses Ziel in den Bereichen Industrie und Gewerbe, Handel, Dienstleistungen vor allem durch flächendeckende Energieberatung und verstärkte Digitalisierung erreicht werden. Neue Tools zur Verbrauchsmessung, -analyse und -optimierung sollen Energieaudits und Energiemanagement unterstützen, vereinfachen und effizienter machen [2].

## Energieberatung und -management im gewerblichen Bereich

Durch professionelle Energieberatung können über ein Energieaudit systematisch Potenziale zur Energieeinsparung, der Erhöhung der Energieeffizienz, den Einsatz regenerativer Erzeugung oder für die Nutzung von Energiespeichern identifiziert werden. Mit der Einführung eines Energiemanagementsystems (EnMS) werden Energiekennzahlen dauerhaft überwacht und bewertet. Maßnahmen können in regelmäßigen Abständen identifiziert und evaluiert werden [3].

Sowohl in Energieaudits, als auch in EnMS werden Energiedaten für alle relevanten Prozesse erhoben. Diese stammen aus vielfältigen Quellen. Neben allgemeinen Betriebskennzahlen, Listen energieverbrauchender Systeme, Prozessen und Einrichtungen, werden Gebäudeenergieausweise oder Typenschilder und unter anderem auch historische Verbrauchsdaten verwendet. Auch gezielte Messungen zur Bestimmung des Energieverbrauchs relevanter Verbraucher in unterschiedlichen Prozessschritten werden bei Bedarf eingesetzt. Je nach Komplexität des Energiesystems kann die Datenerfassung für Energieaudits beziehungsweise EnMS umfangreich und aufwendig sein [3].

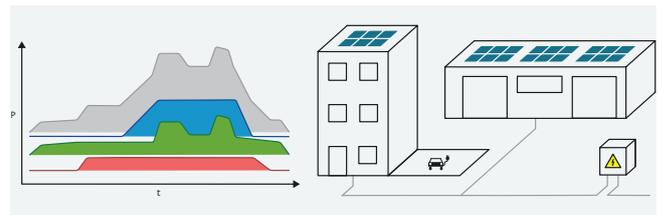
Im Folgenden wird ein Prozess zur datenbasierten Identifikation der Betriebsweise relevanter Verbraucher in Unternehmen vorgestellt. Dieser Prozess könnte in ein Energieaudit oder EnMS integriert und zukünftig in den Bereichen Energieberatung, -management und Facility Management genutzt werden.

### Lastidentifikation durch verteilte Leistungsmessung

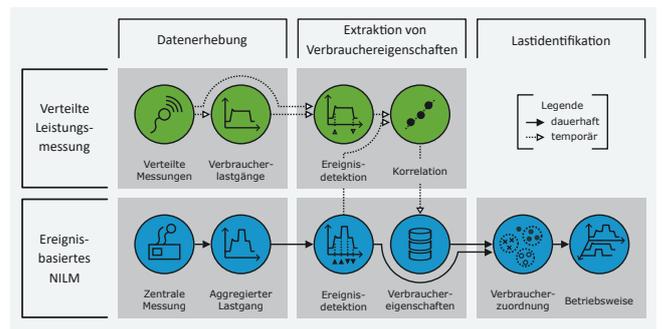
Im Forschungsbereich des „Non-intrusive Load Monitoring“ (NILM) wird das Ziel verfolgt, die Betriebsweise von Einzelverbrauchern lediglich mithilfe einer zentralen Lastgangmessung zu ermitteln und dauerhaft zu überwachen. **Bild 2** (unten) zeigt den Prozess des sogenannten ereignisbasierten NILM-Ansatzes. Dieser basiert auf der Detektion von Verbrauchereignissen, die auf Ein- oder Ausschaltvorgänge, beziehungsweise andere Änderungen in der Betriebsweise zurückzuführen sind. Dies erfordert Abstraten bei der Datenerfassung ab 1 Hz bis in den MHz-Bereich, um Ereignisse verschiedener Verbraucher voneinander unterscheiden zu können. Den detektierten Ereignissen werden dann mithilfe einer Datenbank von Verbrauchereigenschaften Verbraucher zugeordnet, und so deren Betriebsweise identifiziert. Dabei kommen Machine-Learning-Algorithmen zum Einsatz. Besonders in komplexen Gebäudestrukturen kann es hierfür notwendig sein, die Betriebsweise der Verbraucher temporär messtechnisch zu erfassen, um Kenntnis über die Verbrauchereigenschaften im Energiesystem zu erlangen [4].

Im hier beschriebenen Ansatz wurde dazu ein spezielles, verteiltes Messsystem entwickelt, das eine vereinfachte, hochauflösende Vermessung von Einzelverbrauchern ermöglicht. Das zugrundeliegende Messverfahren wurde zur Patentierung eingereicht [5]; **Bild 2** (oben) zeigt den Prozess. Relevante Verbraucher werden über einen gewissen Zeitraum, zum Beispiel einige Wochen, über ihre Anschlussleitung in den entsprechenden Gebäudeverteilungen des Betriebs vermessen. Auftretende Ereignisse werden identifiziert und mit den Ereignissen aus der hochgenauen, zentralen Messung korreliert. Anschließend kann, für dauerhaft aus dem Gesamtlastgang identifizierbare Verbraucher, auf die Einzelmessung verzichtet werden. Das Betriebsverhalten der Verbraucher wurde vollständig abgebildet, der zentralen Messung zugeordnet, in einer Datenbank für Verbrauchereigenschaften hinterlegt und das dauerhafte Monitoring erfolgt anschließend über die zentrale Messung.

Für Verbraucher die nicht kontinuierlich über den zentralen Lastgang identifizierbar sind, können verteilte Sensoren verbleiben und so ein dauerhaftes Monitoring sicherstellen. Insbesondere für Verbraucher, die im Betrieb nur geringe oder keine Leistungsänderungen aufweisen (zum Beispiel Grundlastverbraucher), kann dies notwendig sein. Im Vergleich zu üblichen Sub-



**Bild 1** Schematische Darstellung eines betrieblichen Energiesystems: Büronutzung, Produktion, regenerative Erzeugung, Elektromobilität, sowie Interaktion mit dem öffentlichen Netz. Es ist das Ziel die Betriebsweise von Einzelverbrauchern innerhalb des Gesamtlastgangs zu identifizieren (eigene Darstellung).



**Bild 2** Methodik zur Lastidentifikation mittels verteilter Leistungsmessung (NILM=Non-intrusive Load Monitoring; eigene Darstellung).

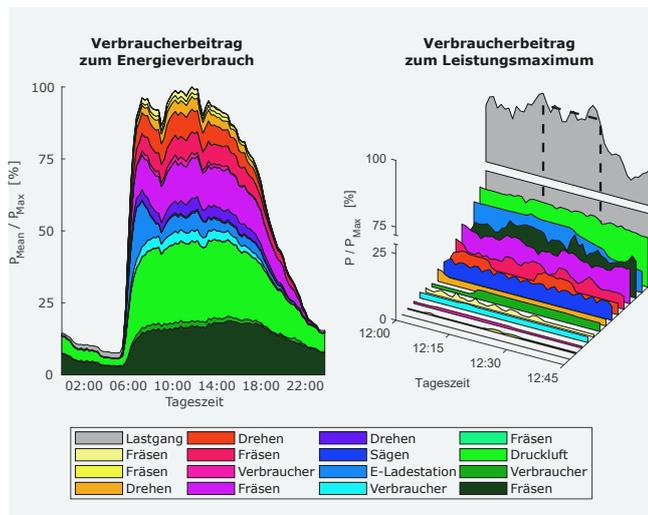
metering-Konzepten zeichnet sich das oben genannte Verfahren jedoch dadurch aus, dass auf Ebene der Einzelverbraucher auf Low-cost-Sensorik zurückgegriffen wird, und der Material- und Installationsaufwand so wesentlich reduziert werden kann.

### Verbraucher-Betriebsweise als neue Datengrundlage für die Energieberatung

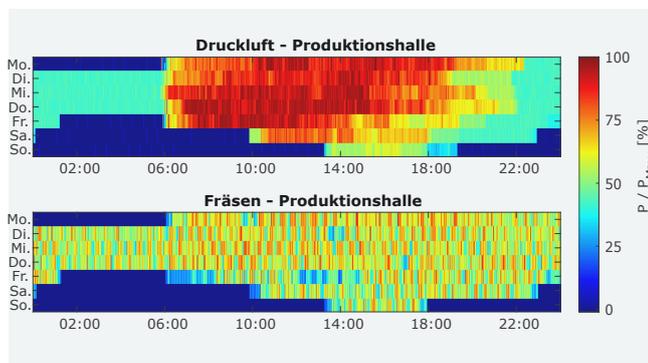
Der Prozess der Lastidentifikation wurde anhand realer Kundenanwendungen entwickelt und getestet. Erste Ergebnisse und Auswertungen können bereits nach der Phase der Einzelverbraucher-messungen, von Energieberatung, -management und Facility Management für Energieaudits und in EnMS genutzt werden. Im Folgenden werden Anwendungsmöglichkeiten anhand des Beispiels einer industriellen Produktionshalle, sowie aus der Gebäudetechnik eines Bürogebäudes diskutiert.

**Bild 3** (links) zeigt zunächst den durchschnittlichen Tagesenergieverbrauch einer Produktionshalle und den datenbasiert ermittelten Beitrag der jeweiligen Einzelverbraucher zum Gesamtverbrauch. Sowohl für den Gesamtlastgang der Produktionshalle, als auch für jeden Einzelverbraucherlastgang wurde ein mittleres Lastprofil über den Messzeitraum ermittelt. Aus dieser Darstellung lässt sich neben dem Einzelverbraucheranteil am Energieverbrauch auch der durchschnittliche Beitrag zu bestimmten Tageszeiten erkennen. Auf Basis dieser Daten können erste Maßnahmen identifiziert werden. Neben dem jeweiligen Energiebedarf lässt sich einzelnen Verbrauchern auch ein Arbeitspreisanteil an den Energiekosten zuweisen.

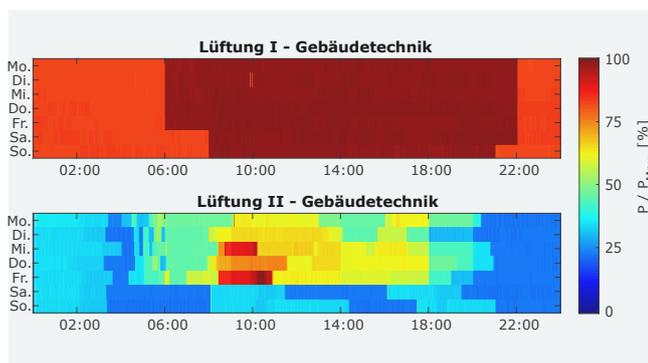
Der Energiekostenanteil für die Leistungsbereitstellung richtet sich nach dem auftretenden Leistungsmaximum innerhalb von 15 Minuten eines Jahres. Hierfür ist es notwendig den tatsächlichen Leistungsverlauf zu analysieren. **Bild 3** (rechts) zeigt



**Bild 3** Disaggregation des Energieverbrauchs einer Produktionshalle (eigene Darstellung).



**Bild 4** Betriebsweise ausgewählter Verbraucher: Produktionshalle (eigene Darstellung).



**Bild 5** Betriebsweise ausgewählter Verbraucher: Gebäudetechnik (eigene Darstellung).

den real gemessenen Lastgang zum Zeitpunkt des 15-Minuten-Leistungmaximums im Messzeitraum (gestrichelt umrandete Fläche), sowie die aktuelle Betriebsweise aller relevanten Einzelverbraucher in diesem Zeitbereich. Durch die Kenntnis der Betriebsweise der einzelnen Verbraucher können zum Beispiel Lastverschiebungs- beziehungsweise Flexibilisierungspotenziale identifiziert und datenbasiert bewertet werden. Durch die Darstellungen in Bild 3 können nun Verbraucher priorisiert werden, um sie bezüglich möglicher Maßnahmen im Detail zu analysieren.

In der Produktionshalle hat die Druckluftherzeugung mit 31 % sowohl den größten Anteil am Energieverbrauch, als auch den erkennbar größten Beitrag zum auftretenden Leistungmaximum. Viele Maschinen der Produktionshalle werden mit Druckluft versorgt, deshalb korreliert die Druckluftherzeugung mit der Betriebsweise dieser Maschinen. In Bild 4 ist das real gemessene Betriebsverhalten der Druckluft und einer Fräsmaschine in einem Carpetplot für eine typische Produktionswoche dargestellt. Beide Verbraucher sind auf ihr Leistungmaximum normiert.

Die für die Lastidentifikation erhobenen Messdaten ermöglichen die Analyse der Betriebsweise aller relevanten Verbraucher zu jedem Zeitpunkt. Ein Beispiel aus dem Bereich der Gebäudetechnik ist in Bild 5 dargestellt. Aufgrund häufig großer Effizienzpotenziale im Bereich der Lüftung und Klimatisierung von Bürogebäuden lohnt sich ein Blick auf die konkrete Betriebsweise.

Bild 5 zeigt die Betriebsweise zweier Lüftungsanlagen. Lüftung I weist eine etwa 80 %-ige Grundlast, sowie eine zeitplangesteuerte Komponente auf und wird somit weitgehend unabhängig vom konkreten, aktuellen Lüftungsbedarf betrieben. Dies kann in manchen Fällen notwendig sein, wie zum Beispiel bei zwingend zu belüftenden Technikräumen, es kann aber auch auf signifikante Einsparpotenziale hinweisen. Im Gegensatz dazu wird Lüftung II augenscheinlich bedarfsgerechter betrieben.

Durch den vorgestellten Prozess kann der elektrische Energieverbrauch von gewerblichen oder öffentlichen Betrieben datenbasiert und systematisch analysiert werden. Es ist vorab keine Kenntnis über konkrete Verbraucher notwendig. Falls noch nicht vorhanden, ist im ersten Schritt die Installation einer Leistungsmessung an den zentralen Gebäudeübergabestellen erforderlich. Dann erfolgt in den Gebäudeverteilungen eine temporäre Messung der relevanten Abgänge über einige Wochen. Die erste Analyse (Bild 3) ermöglicht eine Übersicht über die Energiebeziehungsweise Leistungsflüsse im Gebäude. Dadurch können relevante Verbraucher identifiziert und deren Betriebsweise im Detail analysiert werden. Mögliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und für Energieeinsparungen können anschließend mithilfe des technischen Know-hows von Facility Management, Energiemanagement oder externen Energieberatungen bewertet werden. Die Information, um welchen Verbraucher es sich bei einer bestimmten Messung handelt, ist erst zu diesem Zeitpunkt und nur für eine Auswahl von relevanten Verbrauchern notwendig. Das kann vor allem in schlecht dokumentierten Versorgungsstrukturen von Vorteil sein. Die dann identifizierten Maßnahmen können durch vorhandene Messdaten modelliert und quantifiziert, und über ein dauerhaftes Monitoring auch im Nachhinein evaluiert werden.

### Betriebe als wesentlicher Bestandteil im Energiesystem der Zukunft

Die oben genannten Ausführungen zur Verbraucheridentifikation sind ein wichtiges Instrument, um interne betriebliche Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und Senkung der Energiekosten zu identifizieren. Hier handelt jedes Unternehmen innerhalb seiner Bilanzgrenzen und optimiert seine Energiekosten mittels Effizienzmaßnahmen, Lastmanagement, flexiblen Energiebezugsverträgen, sowie gegebenenfalls Eigenerzeugung.

Zukünftig wird der Aspekt von regionalen Energiegemeinschaften und der Sektorenkopplung, das heißt das koordinierte

Zusammenspiel von Energieanwendungen in verschiedenen Verbrauchersektoren, für Unternehmen eine zunehmend wichtige Rolle spielen. Dies geht über die Optimierung des unternehmens-eigenen Energiebedarfs deutlich hinaus, weil das Unternehmen als Teil eines größeren Energiesystems zu sehen ist, entweder als Zusammenschluss einer überschaubaren Anzahl von Energiegemeinschaften oder sogar, aus volkswirtschaftlicher Sicht, die Gesamtheit aller Verbraucher im Energiesystem. Dabei spielt die Flexibilisierung von Energiebedarf und Eigenerzeugung eine entscheidende Rolle. Das Unternehmen wandelt sich vom reinen Energieverbraucher (Consumer, gegebenenfalls Prosumer mit Eigenerzeugung) zu einem „Flexumer“. Die Optimierung des Energiebedarfs aus systemischer Sicht ist wesentlich anspruchsvoller als reine unternehmensinterne Maßnahmen, und erfordert neue marktliche Anreize wie zum Beispiel eine Flexibilitäts-Plattform. Wichtige Trigger sind Verfügbarkeit und Preise von Energieträgern, insbesondere Leistungsengpässe bei den leitungsgebundenen Energieträgern oder auch Versorgungsengpässe bei fossilen und regenerativen Energieträgern.

## Fazit

Mit der Verbraucheridentifikation und Flexibilisierung vollzieht sich ein wichtiger Schritt vom EVU-Kunden zum EVU-Partner. Grundlage hierfür ist ein langfristiges Energiekonzept, mit teils grundlegenden Änderungen der betrieblichen Anlagen und Prozessführungen in Richtung Elektrifizierung oder Einsatz von Wasserstoff als Energieträger. ■

## Literatur

- [1] Bayerische Staatsregierung: Bericht aus der Kabinettsitzung vom 2. August 2022. Pressemitteilung vom 2.8.2022. <https://www.bayern.de/bericht-aus-der-kabinettsitzung-vom-02-august-2022/>, zuletzt aufgerufen am 27.2.2023.
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Energieeffizienzstrategie 2050. Stand: Dezember 2019, [https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=12](https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12), zuletzt aufgerufen am 27.2.2023.

- [3] Umweltbundesamt (UBA) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU): Energiemanagementsysteme in der Praxis. Stand: Dezember 2019, aktualisierte Version vom 30.3.2020, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020\\_04\\_07\\_energiemanagementsysteme\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020_04_07_energiemanagementsysteme_bf.pdf), zuletzt aufgerufen am 27.2.2023.
- [4] Zoha, A.; Gluhak, A.; Imran, M. A.; Rajasegarar, S.: Non-Intrusive Load Monitoring Approaches for Disaggregated Energy Sensing: A Survey. *Sensors* 12 (2012), no. 12, pp. 16 838-16 866, <https://doi.org/10.3390/s121216838>.
- [5] Maier, M.; Schramm, S.: Verteilte Messanordnung zum Erfassen der elektrischen Leistung in einem Teilnetz und Verfahren zum Erfassen der elektrischen Leistung. Patentantrag beim Deutschen Patent- und Markenamt, eingereicht am 27.2.2023.



**Matthias Maier**

Doktorand und wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Lastidentifikation an der Hochschule München

[maier71@hm.edu](mailto:maier71@hm.edu)

Foto: privat



Prof. Dr.-Ing.

**Simon Schramm**

Professor für regenerative Energien und Energienetze an der Hochschule München

[simon.schramm@hm.edu](mailto:simon.schramm@hm.edu)

Foto: privat



Prof. Dr.-Ing.

**Ulrich Wagner**

Professor für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik an der Technischen Universität München

[uwagner@tum.de](mailto:uwagner@tum.de)

Foto: privat