

WOZU SMART METER GUT SIND

Wenn Stromzähler die Fähigkeit haben, den Stromverbrauch praktisch in Echtzeit an das Elektrizitätswerk zu übermitteln, spricht man von «Smart Metern». Diese «intelligenten» Messgeräte vereinfachen die Abrechnung – und eröffnen neue Nutzungsmöglichkeiten für Stromversorger und Konsumenten. Zwei Forschungsprojekte mit finanzieller Förderung durch das Bundesamt für Energie haben das Potenzial dieser Messgeräte in ausgewählten Bereichen untersucht. Sie sehen Anwendungen insbesondere bei grösseren Verbrauchern wie Wärmepumpen oder Ladestationen – etwa zur Bereitstellung von Serviceleistungen oder bei der Nutzung für Lastverschiebung (Peakshaving).



Ein CKW-Techniker installiert ein Smart Meter auf einem Bauernhof in Schüpfheim (Kanton Luzern). Foto: CKW

Im Mai 2017 haben die Schweizer Stimmberechtigten das neue Energiegesetz gutgeheissen. Auf dieser Grundlage hat der Bundesrat die Betreiber der Schweizer Stromverteilnetze verpflichtet, die Haushalte mit «intelligenten» Stromzählern auszurüsten. Die Smart Meter speichern die Stromverbrauchswerte in der Regel alle 15 Minuten und übermitteln diese am Folgetag teilweise oder vollständig an den Netzbetreiber. Dieser nutzt die Daten für die Rechnungsstellung oder kann sie über Webportale den Kunden zur Veranschaulichung ihres Verbrauchs zugänglich machen. Smart Meter sind auch in der Lage, Informationen (z.B. Tarifinformationen) vom Netzbetreiber zu empfangen. Auf dem Markt sind heute Auslesegeräte bzw. Apps erhältlich, mit denen Wohnungs- und Gebäudeeigentümer ihren Stromverbrauch selber in Echtzeit auslesen können.

Smart Meter erlauben auf diesem Weg eine genaue Analyse des Stromverbrauchs. Sie bieten den Stromkunden die Grundlage für einen bewussten, effizienten Umgang mit Elektrizität, indem sie zum Beispiel Geräte mit übermäßigem Stromverbrauch erkennen und entsprechende Sparmassnahmen ergreifen könnten. Die Versorger können die Smart-Meter-Daten etwa für die Kontrolle des Verteilnetzes nutzen oder neue Dienstleistungen entwickeln, wobei solche Angebote immer das Einverständnis von Kundinnen und Kunden voraussetzen. Energieversorger erforschen schon seit längerer Zeit, wie die «Intelligenz» der Smart Meter nützlich und gewinnbringend eingesetzt werden kann. Dies war nun auch das übergeordnete Ziel von zwei Forschungsprojekten, eines davon in Zusammenarbeit mit der Centralschweizerischen Kraftwerke AG (CKW).

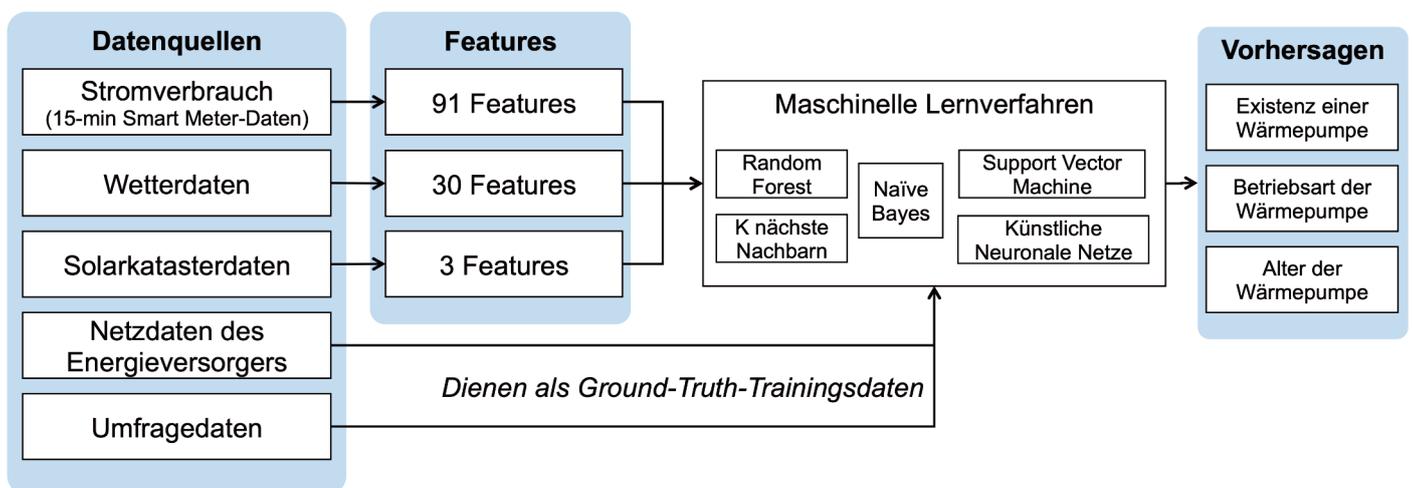


Das Team des Forschungsprojekts SmartLoad um die Projektleiter Dr. Konstantin Hopf (Universität Bamberg, Dritter von rechts) und André Rast (CKW AG, Vierter von links) während eines Workshops an der Universität Bamberg. Foto: Universität Bamberg

Haushalte mit und ohne Wärmepumpen

Die CKW hat bis im Frühjahr 2021 ein Drittel der Haushalte der insgesamt 180'000 Stromkunden mit Smart Metern ausgerüstet. Bis im Jahr 2023 soll die Umrüstung aller Haushalte abgeschlossen sein. In dem länderübergreifenden Projekt «SmartLoad» hat die CKW zusammen mit Wirtschaftsinformatikern der Universität Bamberg und BEN Energy AG (Zürich) untersucht, wie sich Kundendaten aus dem Bestand des Unternehmens für Marketing und Dienstleistungen nutzen lassen (dies stets unter Berücksichtigung der rechtlichen Vorgaben des «unbundlings», also der Entflechtung von Netzbetrieb und Dienstleistungen).

Eine Teilauswertung, die aus diesem Projekt hervorging, basiert auf Smart-Meter-Daten von 397 CKW-Haushalten. Die



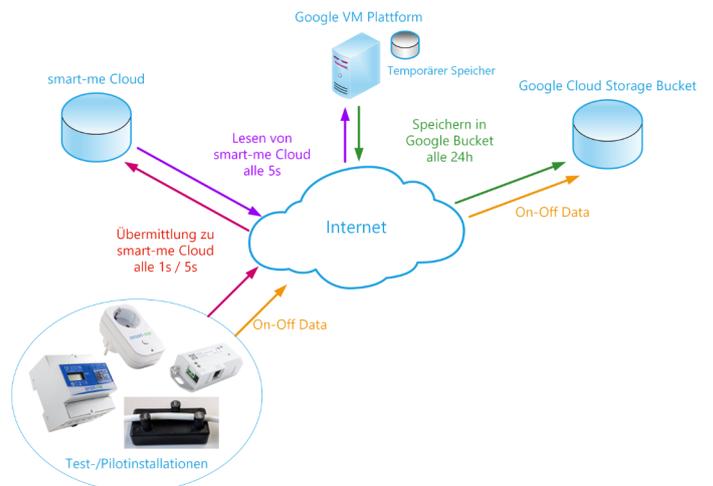
Schematische Darstellung des Datenanalyseprozesses zur Erkennung von Wärmepumpen-Informationen mithilfe von maschinellen Lernalgorithmen. Features sind Vorhersagevariablen, die aus den Datenquellen abgeleitet werden. Grafik: Universität Bamberg

Forschenden wollten wissen, ob es gelingt, aus den Messwerten der Smart Meter Rückschlüsse auf die in den Haushalten verwendeten Elektrogeräte zu ziehen. Dies untersuchten sie am Beispiel von Wärmepumpen. Sie konnten mit ihrer Untersuchung zeigen, dass es tatsächlich möglich ist, allein aus den Smart-Meter-Daten einer Woche Rückschlüsse auf die Existenz, den Typ (Luft oder Erdsonden als Energiequelle) und das Alter einer Wärmepumpe zu ziehen. Um dies zu erreichen, durchsuchten Algorithmen die Daten einer Teilmenge der Haushalte, von der Existenz, Typ und Alter der Wärmepumpen bekannt waren, nach Mustern. Waren diese Muster identifiziert, konnten diese in den Daten anderer Haushalte wiedererkannt werden – und daraus Rückschlüsse auf Existenz, Typ und Alter der Wärmepumpen gezogen werden.

«Der beste von uns eingesetzte Algorithmus schafft es, die Existenz einer Wärmepumpe in einem Haushalt mit einer Verlässlichkeit von 82 % zu ermitteln», sagt Dr. Konstantin Hopf von der Universität Bamberg. Laut André Rast, bei der CKW für den Smart-Meter-Rollout verantwortlich, können solche Informationen von hohem Nutzen für den sicheren Netzbetrieb sein: «Wir können die Eigentümer von Wärmepumpen zum Beispiel darauf hinweisen, die Heizkurve zu überprüfen oder die Wärmepumpe netzdienlich anzusteuern», sagt Rast. Ein ähnliches Projekt hatten die Forschenden der Universität Bamberg schon früher mit dem Thurgauer Energieversorger Arbon Energie AG durchgeführt (vgl. Fachartikel «Der Algorithmus als Energieberater», abrufbar unter dieser Adresse: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/8411>).

Erkennung des Gerätetyps am Verbrauch

Ein Smart Meter erfasst immer den gesamten Stromkonsum eines Haushalts, also die Summe aller eingeschalteten elektrischen Geräte. In so einer Lastkurve lassen sich mitunter einzelne grosse Verbraucher (wie z.B. eine Wärmepumpe) erkennen. Noch interessanter wäre, wenn man aus einer Lastkurve alle elektrischen Verbraucher herauslesen könnte, welche in einem Haushalt eingeschaltet sind. Genau das verspricht die NIALM-Technologie (für: non-intrusive appliance load monitoring). Das iHomeLab der Hochschule Luzern hat vor einigen Jahren einen Demonstrator entwickelt, der – unter vereinfachten Laborbedingungen – in der Lage war, aus einer Gesamtlastkurve einzelne Elektrogeräte mit ansprechender Zuverlässigkeit zu erkennen. Voraussetzung war, dass Algorithmen des maschinellen Lernens vorgängig auf die Erkennung der Geräte, die erkannt werden sollten, trainiert wurden (vgl. Fachartikel «Ein Messsystem, das (fast) alle



Die Illustration veranschaulicht, wie die im Forschungsprojekt Smart-NIALMeter gewonnenen Daten von 125 Elektrogeräten aus 23 Haushalten gespeichert wurden. Illustration: Schlussbericht Smart-NIALMeter

elektrischen Geräte erkennt», abrufbar unter folgendem Link: <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/8086>.

Dieses System hat ein Forscherteam des iHomeLab im Projekt «SmartNIALMeter» nun einem Praxistest unterzogen. Grundlage des zweijährigen Feldversuchs waren 23 Wohnungen, die mit Smart Metern ausgerüstet waren, die ihre Messdaten mit hoher Frequenz (alle 5 Sekunden statt alle 15 Minuten) übermitteln. Insgesamt wurden 125 elektrisch betriebene Geräte in die Studie mit einbezogen, darunter Küchengeräte, Boiler, Ladestationen für Elektroautos, Wärmepumpen, Waschmaschinen und Tumbler. Um überprüfen zu können, ob der Algorithmus die Elektrogeräte richtig erkennt, wurden die einzelnen Elektrogeräte mit eigenen Zählern ausgerüstet,



Mit diesem selbst entwickelten On-Off-Detektor stellten HSLU-Forscher im SmartNIALMeter-Projekt fest, ob das angeschlossene Elektrogerät eingeschaltet war oder nicht, ohne dass das Anschlusskabel dazu zuvor ausgesteckt oder aufgetrennt werden musste. Foto: Schlussbericht SmartNIALMeter

die den Stromverbrauch der Geräte erfassen und als Referenzmessungen (Ground Truth) für die Validierung dienen.

Waschmaschine ist nicht gleich Waschmaschine

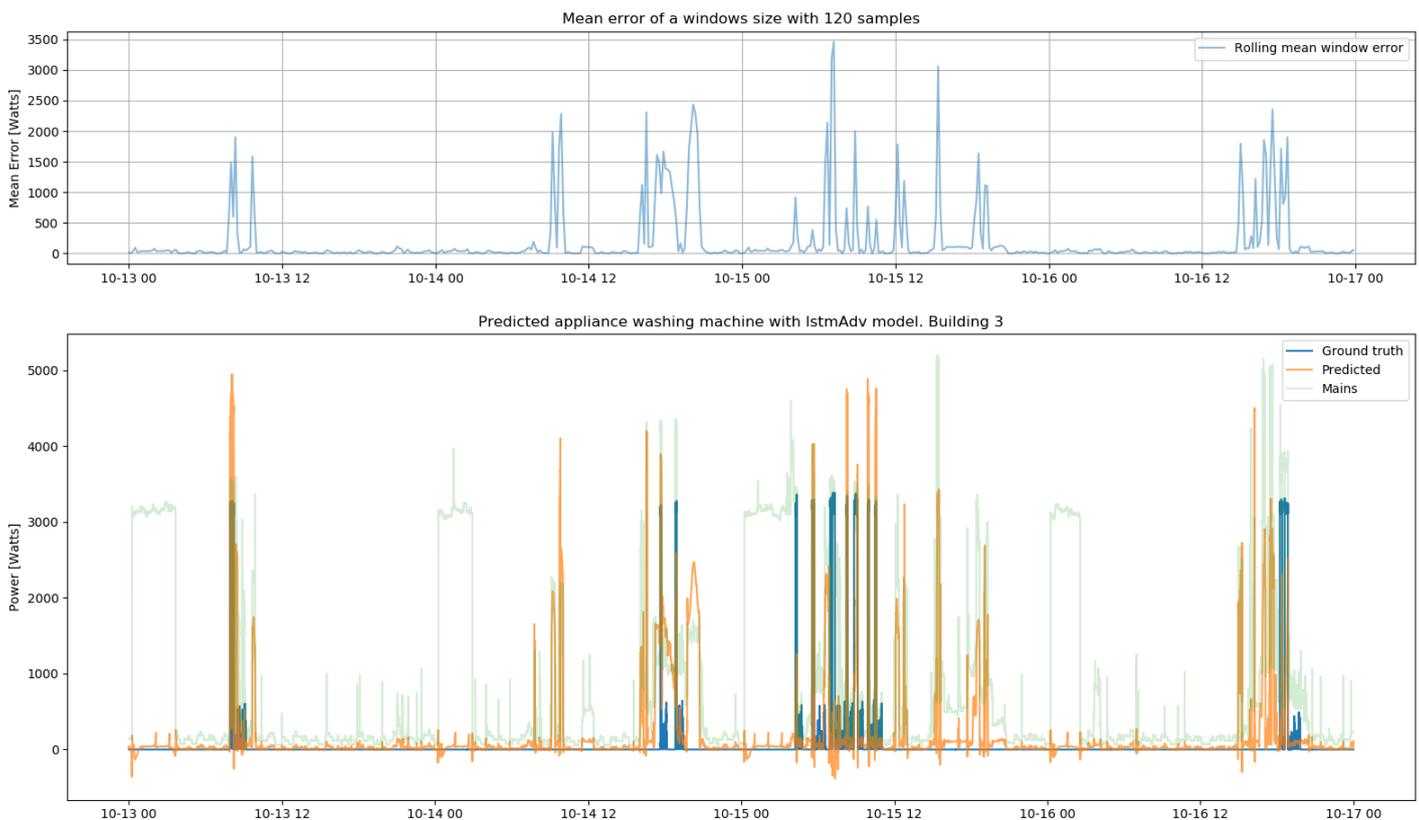
Der Schlussbericht des Projekts zieht eine ernüchternde Bilanz: «Die getesteten Algorithmen zur Lastaufschlüsselung konnten nicht die Genauigkeit erreichen, die für einen kommerziell verwertbaren Einsatz notwendig wären.» Den Grund dafür erläutert Projektleiter Guido Kniesel am Beispiel einer Waschmaschine: «Eine Waschmaschine ist hinsichtlich der Lastkurve und der Einschaltdauer extrem variabel. Aufgrund dieser hohen Varianz ist sie deshalb nicht einfach zu erkennen, denn während eines Waschgangs schwankt der Stromverbrauch abhängig beispielsweise vom Herstellermodell, dem gewählten Programm, der Waschtemperatur oder der Schleuderdrehzahl. Bei Geräten mit geringeren Leistungsaufnahmen wie beispielsweise Kühlschränken kommt noch hinzu, dass deren Lastkurven im verrauschten Gesamtsignal oftmals untergehen, weshalb sie nicht zuverlässig erkannt werden können.» Und wenn die Erkennung mit 5-Sekunden-Daten

FINDIGE ALGORITHMEN

Beide im Haupttext vorgestellten Projekte nutzen Algorithmen des maschinellen Lernens. Solche Algorithmen – selbstlernende Computerprogramme – gibt es in grosser Zahl. Bevor sie genutzt werden können, müssen sie trainiert werden: Dabei leitet das Computerprogramm aus Beispielaufgaben einen Lösungsweg ab, den er anschliessend zur Lösung neuer Aufgaben verwenden kann. Zwar löst der so trainierte Algorithmus die neuen Aufgaben in aller Regel nicht ausnahmslos korrekt. Aber oft erreichen die Lösungen eine Verlässlichkeit, die für eine bestimmte kommerzielle Anwendung ausreichend ist. BV

nicht befriedigend gelingt, ist ein tragfähiges Resultat mit 15-Minuten-Daten erst recht ausser Reichweite.

Das Autorenteam von der Hochschule Luzern und dem Bits-to-Energy-Lab der ETH Zürich sieht trotz dieser Schwächen



Die Grafik zeigt den gemessenen Lastgang einer Waschmaschine (Ground Truth in blau) sowie die mit der NIALM-Technologie erzeugte Verbrauchskurve (orange). Beide Kurven stimmen jedoch nur unzureichend überein. Die grüne Kurve im Hintergrund stellt das mit dem Smart Meter gemessene Gesamtsignal dar, welches dem NIALM-Algorithmus als Input dient und aus dem es das orangene Signal erzeugt. Grafik: Schlussbericht SmartNIALMeter

ein Anwendungsfeld für die NIALM-Technologie, nämlich bei grossen Verbrauchern wie Wärmepumpen, Elektroauto-Ladestationen oder Elektroboilern. Wenn diese über den NIALM-Ansatz erkannt werden, kann ihr Betriebsverhalten analysiert werden. Auf dieser Grundlage kann beispielsweise die Glättung von Lastspitzen (Peakshaving) realisiert werden, indem je nach Netzauslastung Wärmepumpen abgeschaltet oder als Energiespeicher genutzt werden, ohne dass die Bewohner einen Komfortverlust spüren.

- Der Schlussbericht zum BFE-Projekt **SmartLoad** – Smart Meter Data Analytics for Enhanced Energy Efficiency in the Residential Sector ist abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40143>
- Der Schlussbericht zum BFE-Projekt **SmartNIALMeter** – Lastaufschlüsselung mit Smartmeter ist abrufbar unter:
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=40224>
- **Auskünfte** zu dem Thema erteilt Roland Brüniger ([roland.brueeniger\[at\]brueniger.swiss](mailto:roland.brueeniger[at]brueniger.swiss)), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Elektrizitätstechnologien.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Elektrizitätstechnologien finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-strom.