

## Pilotprogramm „Einsparzähler“

# Mehr Energieeffizienz im Gewerbe

Die Steigerung der Energieeffizienz, insbesondere durch die Nutzung digitaler Technologien, ist neben dem Erneuerbare-Energien-Ausbau die zweite tragende Säule der Energiewende. Ein wichtiges Ziel ist, die Effizienz im Gewerbe nachhaltig zu verbessern und den Markt für entsprechende Produkte zu stärken. Das vom BAFA geförderte Pilotprojekt „Einsparzähler“ untersucht, wie sich im gewerblichen Bereich per Verbrauchsdatenerfassung IT-gestützte, individualisierte Einsparpotenziale ermitteln und umsetzen lassen.

Im Februar 2019 hat der Bund durch das BAFA die Förderung des Pilotprojekts „Einsparzähler“ bekanntgegeben. Unter „Einsparzähler“ (ESZ) ist die soft- und hardwaretechnische Bestimmung von Energieeinsparungen infolge von Effizienzmaßnahmen auf der Grundlage einer Vorher-Nachher-Messung einzelner Geräte- oder Anlagengruppen zu verstehen. Dazu wird der Verbrauch kontinuierlich gemessen und zur Analyse visualisiert. Es geht darum, Verbrauchsdaten geräte- und anlagenscharf zu erfassen und so IT-gestützt individualisierte Einsparpotenziale zu ermitteln<sup>1)</sup>. Basierend auf der Vorher-Messung wird das energetische Anlagenverhalten, die sog. Baseline, unter Berücksichtigung der beeinflussenden äußeren Bedingungen (z. B. Witterung, Nutzerverhalten, etc.) mit mathematischen Methoden erlernt. Die so ermittelten Parameter bilden ein mathematisches Modell. Als Zeitraum für die Vorher-Messung genügt i. d. R. ein Jahr; zumindest sollten die Daten eine Sommer-, Übergangs- und Winterperiode umfassen.

Das mathematische Modell wird idealerweise in der Verifikationsphase mit weiteren Messdaten und den aus den gemessenen äußeren Bedingungen berechneten Werten überprüft (s. Bild 1). Da das statistische Modell aufgrund fehlerbehafteter Messwerte die Realität nicht perfekt abbilden kann, sollte ein Fehlerband zeigen, wie weit die Messwerte statistisch vom mathematischen Modell abweichen können, ohne dass damit ein Fehlverhalten der Anlagentechnik zu vermuten ist. Das Fehlerband berechnet sich bspw. aus dem vom Modell kalkulierten Prognosewert plus/minus einem Vielfachen der ermittelten Standardabweichung. So liegen über 95 Prozent aller Messwerte im Bereich des berechneten Werts plus/minus dem Zweifachen der Standardabweichung. Anschließend werden die geplanten Optimierungsmaßnahmen umgesetzt; danach beginnt die Nachher-Messung. Hier vergleicht der „Einsparzähler“ die gemessenen Energieverbräuche nach der Optimierung mit den Werten des mathematischen Modells, das den Vorher-Zustand abbildet und bestimmt so die Energieersparnis.

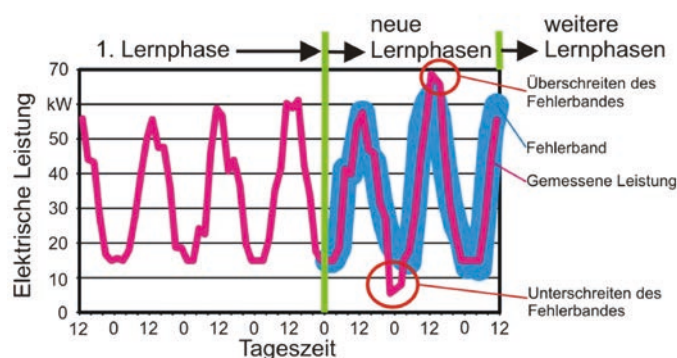


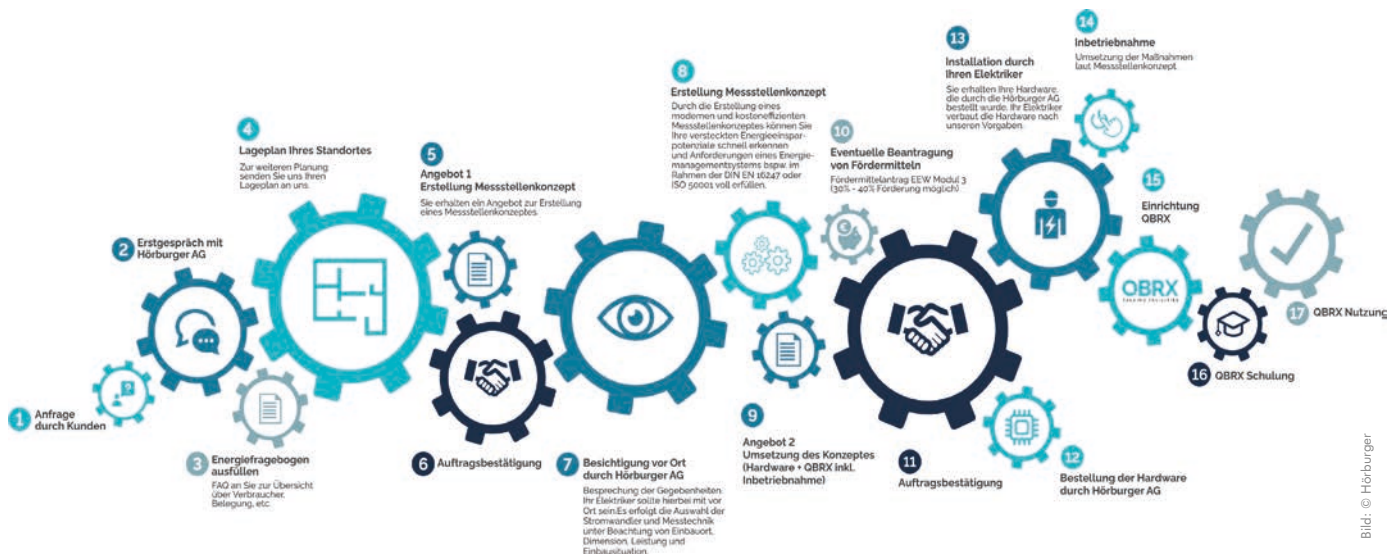
Bild: © Prof. Stanzel/Hörburger

1 | Vorher-Messung in der Anlernphase des mathematischen Modells mit anschließender Verifikationsphase

Weitere Ziele des Pilotprojekts sind, entsprechende kundenspezifische Sparmaßnahmen zu entwickeln, umzusetzen und die so eingesparten Energiemengen sowie Kosten zu prüfen. Mittel- bis langfristige Ziele sind die Bereitstellung innovativer Mehrwertdienste für Energieeffizienz sowie die Entwicklung und Demonstration von Anwendungen (Softwarelösungen u. a.) für intelligente Messsysteme zur Veranschaulichung und nachhaltigen Hebung möglicher Energieeinsparpotenziale.

## Die Projektpartner

Wissenschaftlicher Begleiter des Pilotprojekts war Prof. Dr.-Ing. Berthold Stanzel. Der Inhaber der Opti Energy GmbH lehrt an der FH Erfurt Versorgungstechnik. Weiterer Partner im Vorhaben



2 | Typische Vorgehensweise der Hörburger GmbH bei der Durchführung eines Energiemanagementprojekts

war die Hörburger GmbH, die u. a. Lösungen für die intelligente Gebäude- und Anlagenautomation anbietet. Beide Firmen arbeiten seit zwei Jahrzehnten im Bereich Energiemanagement zusammen und haben bspw. bereits umfassende Benchmarkings in Hotelketten umgesetzt. Hier wurden wertvolle Erfahrungen in der messtechnischen und mathematischen Analysetechnik sowie der methodischen Vorgehensweise gesammelt. In den folgenden Jahren kamen Filialketten als Kunden hinzu und die Analysemethoden wurden Zug um Zug verbessert.

Ein Ergebnis dieser Zusammenarbeit – und ein integraler Bestandteil des auch beim Pilotprojekt eingesetzten Energiemanagementsystems – ist das weiterentwickelte IoT-Service-Desk „QBRX“ einschließlich der neuimplementierten „Einsparzähler-Funktionen“<sup>(2)</sup>. Die Managementplattform verbindet Funktionen des Energiemanagements, des Facility Managements sowie der Gebäudeautomation und liefert aktuelle energieverbrauchsrelevante Daten. Dabei erlaubt die cloudbasierte Lösung es, immer und überall auf alle Daten, Tools, Vorgänge sowie Dokumente zuzugreifen.

### Pilotprojekt „Einsparzähler

Die Steigerung der Energieeffizienz, insbesondere durch die Nutzung digitaler Technologien, ist neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien die zweite tragende Säule der Energiewende. Ein wichtiges Ziel dabei ist, die Effizienz im Gewerbe nachhaltig zu verbessern und den Markt für entsprechende Produkte zu stärken. Der Export von Effizienzprodukten könnte Deutschland bis 2030 über 10 Mrd. Euro Umsatz und mehr als 50.000 Arbeitsplätze beschern. Das vom BAFA geförderte Pilotprojekt „Einsparzähler“ ermittelt, wie sich im gewerblichen Bereich per Verbrauchsdatenerfassung IT-gestützte, individualisierte Einsparpotenziale ermitteln und umsetzen lassen.

### Das Messkonzept

Die dem Kunden gelieferten Endenergien (Strom, Gas, Wärme) werden entweder vom Messstellenbetreiber als Zeitreihen zur Verfügung gestellt oder es werden Untermessungen, insbesondere Stromzähler, nachgerüstet. Typische Hauptverbrauchergruppen sind etwa im Fall eines Lebensmittelmarkts die Wärmeversorgung, der Strom zur Klimatisierung mit Luft/Luft-Wärmepumpen, die Beleuchtung, der Stromverbrauch zur Kühlung von Nahrungsmitteln sowie sonstige elektrische Anwendungen (Kassen, Telefonanlage, IT-Server usw.). Der „nicht strombasierte“ Endenergieverbrauch für die Beheizung und der Wasserverbrauch sind bei Filialisten meist nicht groß von Bedeutung.

Ziel der Modellbildung ist es, aus den gemessenen, relevanten Energieverbräuchen und den zeitgleich erfassten Einflussparametern (z. B. Außenluft- und Raumtemperatur, Kundenanzahl im Verkaufsraum, etc.) eine mathematische Gleichung zu finden, die aus den gemessenen Einflussparametern den Energieverbrauch möglichst genau berechnet. Dazu kann z. B. die multiple lineare Regressionsanalyse nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate verwendet werden. Die multiple Regressionsfunktion berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$E = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_NX_N \quad (Gl. 1)$$

Wobei E die Abhängige (in aller Regel der Energieverbrauch E),  $X_1$  bis  $X_N$  die Unabhängigen (z. B. die Außentemperatur, Öffnungszeiten, etc.),  $a_0$  die Regressionskonstante und  $a_1$  bis  $a_N$  die Regressionskoeffizienten sind. Fachliche Überlegungen sollten nun dazu führen, dass nur die wichtigsten Einflussparameter berücksichtigt werden. Die Voraussetzungen für die multiple lineare Regressionsanalyse sind:

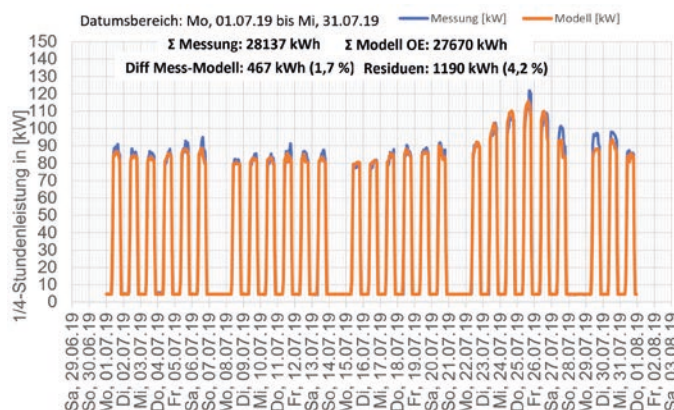
- Der Zusammenhang zwischen  $E = f(x)$  muss linear sein (kein polynomischer, logarithmischer oder andersfunktionaler Zusammenhang)

- Die Residuen, die sich aus den Abweichungen zwischen den berechneten und den gemessenen Werten ergeben, sollten „normalverteilt“ sein
- Die Unabhängigen ( $X_1$  bis  $X_N$ ) dürfen nicht untereinander abhängig sein

So stellte sich z. B. bei der Energieanalyse von Hotels heraus, dass die Parameter „Bettenzahl“ und „Zimmerzahl“ stets deutlich korrelierten (1 Zimmer wies statistisch 1,7 Betten auf), woraufhin der Parameter „Zimmerzahl“ bei der Modellbildung nicht mehr berücksichtigt werden sollte. Die genannten Voraussetzungen für die multiple lineare Regressionsanalyse sind nach der Bestimmung der zuvor aufgeführten Gleichung stets zu prüfen. Um eine zuverlässige Aussage zu treffen, wie gut das Regressionsmodell die Abhängige (z. B. den Energieverbrauch) erklärt, könnten z. B. der Standardfehler, das korrigierte Bestimmtheitsmaß  $R^2_{adj}$  und statistische Prüfmethode wie die F-Statistik verwendet werden. Da diese abstrakten Werte in der Praxis fast immer falsch interpretiert werden, empfiehlt es sich, eine Verifikationsphase (vgl. Bild 1) einzuführen. Die Verifikationsphase schließt sich direkt an die Lern- oder Baseline-Phase an, nur werden ihre Messdaten nicht mehr zur Ermittlung der Modellparameter ( $a_0, a_1$  bis  $a_N$ ) benutzt. Da in diesem Zeitraum sowohl die Abhängige  $E$  (der Energieverbrauch) als auch die Unabhängigen  $X_1$  bis  $X_N$  (z. B. Außen- und Innentemperaturen, Kundenfrequenz, etc.) als Messwerte vorliegen, lässt sich nun mit den in der Lernphase ermittelten Modellparametern  $a_0, a_1$  bis  $a_N$  mit dem mathematischen Modell der „berechnete“ Energieverbrauch modellieren. Der Vergleich des gemessenen und berechneten Energieverbrauchs in Bild 3 lässt die sehr gute Qualität des erstellten Modells erkennen.

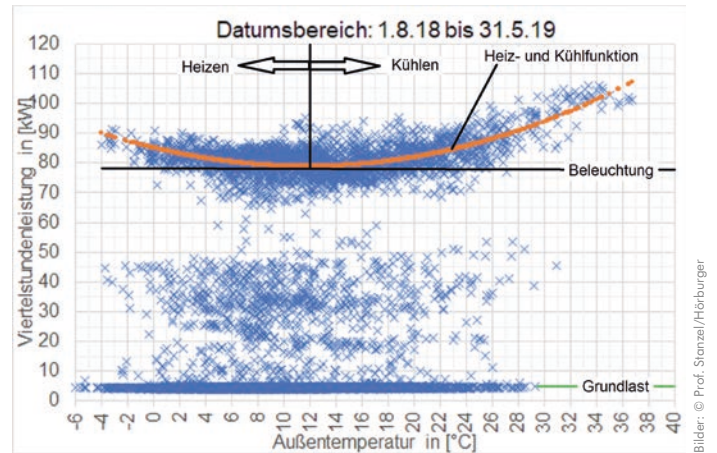
### Beispiel: Elektronikfachmarktfiliale

Oft möchten Kunden eines Energiemanagementanbieters zunächst an wenigen Filialen testen, ob und wie weit Effizienzmaßnahmen an einzelnen Standorten tatsächlich Kosten einsparen. Eine gezielte Messung von Sub-Systemen (Untermessungen an z. B. Beleuchtung, Klimatisierung, etc.) und deren Einflussgrößen (Außen-/Innentemperaturen, Kundenfrequenz, etc.) sind möglich, bedürfen



3 | Monatsprofil der gemessenen und berechneten ¼-Stundenleistung in der Verifikationsphase Juli 2019

aber der Installation zusätzlicher Messtechnik (z. B. Stromzähler). Eine Filiale einer Elektrofachmarktkette war zur Mitarbeit im Rahmen des Pilotprojekts „Einsparzähler“ bereit; es lagen aber nur die RLM-Messungen (Registrierende Leistungs-Messung mit 15-Minuten-Leistungswerten) vom Messstellenbetreiber zur Analyse vor (s. Bild 4).



4 | Gemessene ¼-Stundenleistung in der Lernphase vom 01.08.18 bis 16.10.19

**Hinweis:** Nachfolgend wird oft von Energieverbrauch in Zusammenhang mit Grafiken, die die Leistung darstellen, gesprochen. Die dargestellten (¼-Stunden-)Leistungen ergeben mit der auf der x-Achse dargestellten (Uhr-)Zeit den angesprochenen Energieverbrauch.

Zur Beschreibung des energetischen Zustands vor der Umsetzung einer Energieeffizienzmaßnahme wird innerhalb eines geeigneten Baseline-Zeitraums (auch Lernphase genannt, s. Bild 4 und vgl. Bild 2) ein statistisches Modell berechnet. Zeigt die darauffolgende Verifikationsphase, dass der Energieverbrauch für das untersuchte System (hier: Gesamtstromverbrauch der Filiale) anhand relevanter Einflussgrößen (z. B. Außentemperatur, Öffnungszeiten, etc.) zuverlässig vorhergesagt werden kann, ist das geeignete Vorhersagemodell gefunden.

Nach der Durchführung der Optimierungsmaßnahme folgt dann der „Berichtszeitraum“ („Monitoring-Phase“). Mit dem zuvor im Baseline-Zeitraum erstellten statistischem Modell, das das energetische Verhalten der Filiale vor der Optimierungsmaßnahme zuverlässig abbilden muss, wird nun der Energieverbrauch im Berichtszeitraum berechnet, wie er sich ohne Optimierung ergeben hätte. Die Energieeinsparung der Optimierungsmaßnahme ergibt sich dann aus der Differenz des mit dem Modell berechneten Energieverbrauchs (ohne Optimierung) und dem tatsächlich gemessenen Energieverbrauch nach der Optimierung.

Im konkreten Pilotprojekt dauerte die Lern- und Verifikationsphase vom 01.08.2018 bis 16.10.2019. Die zur Überprüfung der Modellqualität notwendige Verifikationsphase erstreckte sich vom 01.06.2019 bis zum 16.10.2019. Dabei wurde das statistische Modell nur mit den Daten vom 01.08.2018 bis 01.06.2019 angelernt und im nachfolgenden Verifikationszeitraum geprüft, ob

das Modell den gemessenen Stromverbrauch zuverlässig vorher-sagen kann. Bild 3 zeigt, dass die positiven wie negativen Abwei-chungen (Residuen) kleiner fünf Prozent sind. Das Modell ist damit erfolgreich verifiziert. Wegen der Coronakrise ließen sich die Effi-zienzmaßnahmen lange nicht umsetzen, so dass der Berichtszeit-raum erst am 20.08.2021 begann.

## Analyse der Energiedaten

Im ersten Schritt wurde ein Modell erstellt, das den Energiever-brauch allein als Funktion der Öffnungszeiten berechnet. Der be-rechnete Verbrauch an diesem Beispieltag beträgt 947 kWh, wäh-rend der gemessene Verbrauch bei 975 kWh liegt. Zwar beträgt die Abweichung mit 28 kWh nur ca. drei Prozent des gemessenen Werts, da sich ein zu hoher vorhergesagter Verbrauch außerhalb der Öffnungszeiten mit einem zu niedrigen Verbrauch während der Öffnungszeiten gegeneinander kompensiert. Die Residuen aber liegen bei 166 kWh (17 Prozent Abweichung von der Messung. Die Residuen sind die Summe des Betrags der Abweichungen zwis-chen jedem einzelnen berechneten Wert und dem zugehörigen Messwert. Ihr (Betrags-)Wert ist stets positiv. Die Residuensumme von 166 kWh zeigt also, dass zwischen Modell und Messung noch erhebliche Differenzen liegen. Zu solchen Fehleinschätzungen kommt es bei Energieanalysen sehr oft. **Daher sollte die Quali-tät eines Modells daran gemessen werden, ob die Residuen minimal werden.)**

## Häufige Fehlinterpretationen bei der Datenanalyse

Die oft anzutreffende Forderung bei der Energiedatenanalyse, dass ein Regressionskoeffizient von mindestens 0,9 bzw. 90 Pro-zent für ein gutes Modell ausreichend ist, ist falsch. Dagegen zeigt ein Minimalwert der Residuen an, dass die Abweichung zwischen Modell und Messung minimal sind und ein gutes Modell gefunden wurde. Aus den vorhergehenden Untersuchungen ergibt sich die Forderung der Autoren, dass die Residuen maximal fünf Prozent der Summe der gemessenen Verbräuche betragen sollten, um von einem „guten“ Modell sprechen zu können.

Es stellt sich nun die Frage, ob mit der multivariaten linearen Re-gression ein viel besseres statistisches Modell möglich ist, wenn nur genügend Einflussparameter berücksichtigt werden. Die Ant-wort lautet: Nein. Wie Bild 5 klar zeigt, führt die multivariate Re-gression mit den Einflussgrößen „Öffnungszeiten“, „Beleuchtung + Geräte“ sowie die Berücksichtigung der Klimaanlage zur Be-heizung und Kühlung der Filiale zwar zu kleinen Differenzen von 237 kWh bzw. einer Abweichung von ca. 1 Prozent (vom Mess-wert) zwischen Messung und Modellvorhersage.

Bild 5 zeigt aber auch, dass die Grundlast von ca. 7,5 kW gemäß dem Modell gegenüber 5 kW bei der Messung überschätzt wird. Dagegen unterschätzt das Modell der multivariaten Regression die Leistung in den Öffnungszeiten mit ca. 80 kW gegenüber ca. 85 kW gemäß der Messung. Diese nicht allzu großen Leistungs-unterschiede addieren sich jedoch mit der Anzahl an Stunden im Monat von immerhin 720 oder 744 h zu einer gewichtigen Fehl-

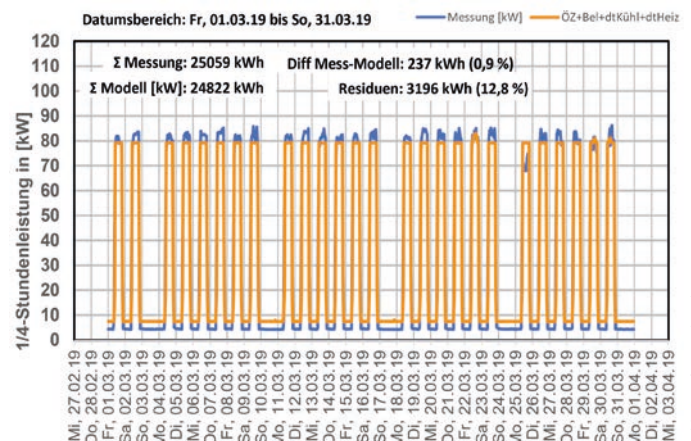


Bild: © Prof. Stanzel/Hörburger

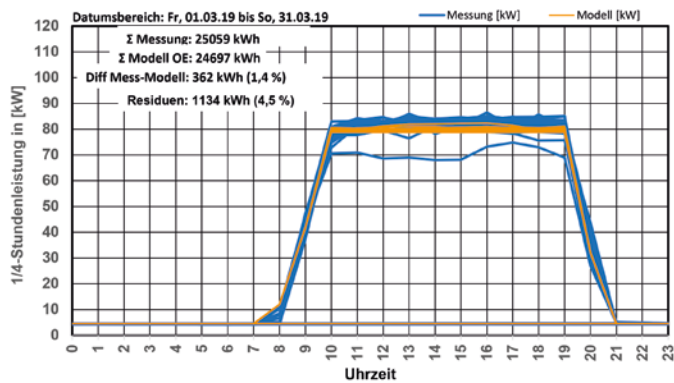
5 | Monatsprofil der gemessene und berechneten 1/4-Stundenleistung als Funktion der Öffnungszeiten, der Beleuchtung sowie der Heiz- und Kühl-funktion

einschätzung des Energieverbrauchs. Das Unterschätzen der Grundlast und das Überschätzen der Last in den Öffnungszeiten kompensiert sich gegenseitig, so dass die Abweichung zwischen Modell und Messung nur 237 kWh beträgt. Die Residuensumme von 3.196 kWh zeigt dagegen, dass das Modell die Messungen eben nur scheinbar gut wiedergibt (Abweichung von 12,8 Prozent vom Messwert). Woran könnte das liegen?

Da in den Öffnungszeiten die Beleuchtung und die Geräte einge-schaltet sind, korrelieren diese Größen (ÖZ und BEL) stark mitein-ander, so dass nur eine Größe zur Modellierung ausreicht. Die Klimatisierung mit ihrer Heiz-/Kühlfunktion (siehe Bild 4) verur-sacht nur eine geringe Steigerung der benötigten Leistung. Die Be-leuchtung (und Geräte) erklären mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,92 schon sehr gut den Energieverbrauch. Unter Berücksichti-gung der Parameter Beleuchtung, Öffnungszeiten, Heiz-/Kühlener-gieverbrauch steigt das Bestimmtheitsmaß nur noch auf 0,935 an; das ist eine vernachlässigbare Steigerung. Der Energieverbrauch für die Beleuchtung stellt den größten Anteil am Gesamtenergie-verbrauch dar. Die Öffnungszeiten, das Heizen und Kühlen erhö-hen die Modellqualität nur noch marginal. So belaufen sich im Baseline-Zeitraum (01.08.2018 bis 16.10.2019) die Abweichun-gen auf 0 kWh zwischen Modell und Messung, wogegen die Resi-duen 38.460 kWh bzw. 15,3 Prozent vom gemessenen Energie-verbrauch betragen. Das ist dadurch zu erklären, dass das Modell den Energieverbrauch außerhalb der Öffnungszeiten über- und während der Öffnungszeiten unterschätzt. Die multivariate Regres-sion führt mit 15 Prozent Residuen also zu keinem „ausreichend guten“ Modell.

## Manuelle Modellbildung in Einzelschritten

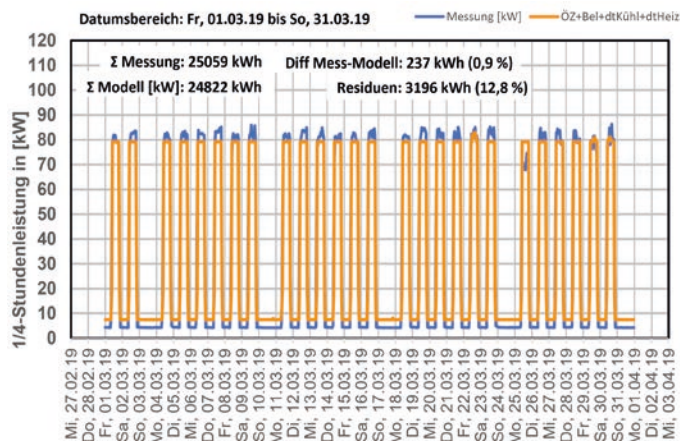
Wie zuvor gezeigt, führt die multivariate Regressionsanalyse nicht immer zu einem guten Modell, d.h. minimalen Residuen. Daher wird nun die Analyse in Einzelschritten (zuerst die Analyse der Grundlast, dann der Hochlast und schließlich der Lastdynamik) händ-isch durch den Energiemanager durchgeführt; dies wird nachfol-gend als „Old School“-Verfahren bezeichnet. In Bild 6 ist sehr gut zu erkennen, dass an den Werktagen das Lastprofil des Fachmarkts



6 | Gemessene und berechnete ¼-Stundenleistung nach dem Old-School-Modell

einen sehr charakteristischen Verlauf aufweist. Zwischen 0 und 7 Uhr sowie zwischen 21 und 24 Uhr liegt die Grundlast sehr konstant bei 4,5 kW. Zwischen 10 und 19 Uhr wird eine konstante Hochlast von ca. 80 kW plus der für die Heizung und Kühlung benötigten Leistung benötigt. Die Datenanalyse (in der Lernphase) zeigt, dass in den Übergangszeiten zwischen Grund- und Hochlast um 8 Uhr (7:30 bis 8:30 Uhr) eine mittlere Leistung von 12 kW, um 9 Uhr 42 kW und um 20 Uhr von 32 kW benötigt werden.

Die Hochlast (hier: Leistungen größer 70 kW) setzt sich aus der nahezu konstanten Leistung für die Beleuchtung von ca. 80 kW plus der für die Heizung und Kühlung benötigten Leistung zusammen. Eine Polynomregression zweiten Grades zeigt, dass das Hochlastminimum (nur Beleuchtung, kein Heizen oder Kühlen) bei ca. 80 kW bei einer Außentemperatur von ca. 12 °C liegt. Das bedeutet, dass die 80 kW Beleuchtungsleistung alle Wärmeverluste der Filiale bei einer Außentemperatur von 12 °C deckt (vgl. Bild 4). Bei niedrigeren Außentemperaturen muss geheizt, bei höheren gekühlt werden. Dieses einfache „Old School“-Modell gibt das energetische Verhalten der Filiale mit einer Monatssumme der Residuen von 1.134 kWh (rel. Fehler: 4,5 Prozent, Bild 6) besser wieder als das Modell mit der multivariaten linearen Regression (kurz: MLR-Modell) mit einer monatlichen Residuensumme von 3.196 kWh (rel. Fehler: 12,8 Prozent, Bild 5).

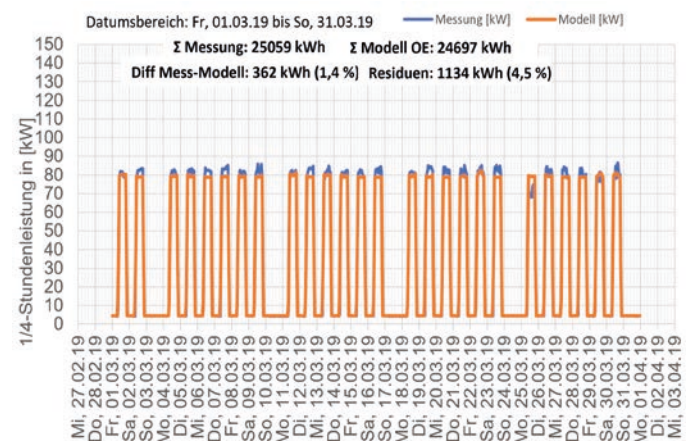


7 | Monatsprofil der gemessene und berechneten ¼-Stundenleistung nach dem MLR-Modell

Zweifellos ist die Old-School-Variante mit den geringeren Residuen die bessere Variante. Beim MLR-Modell sind die Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Werten nur geringer, da die Grundlast über- und die Hochlast unterschätzt wird. Das Old-School-Modell bildet die Grundlast und auch die Last in den Übergangszeiten zwischen Öffnungs- und Schließzeiten besser ab. Die Hochlast unterliegt einer sehr starken Streuung, wie Bild 4 erkennen lässt. Die Bilder 6 und 8 zeigen den gleichen Sachverhalt; Bild 6 zeigt alle Tage des Monats März in 24-Stunden-Darstellung und Bild 8 in monatlicher Darstellung. Die Spitzen der Hochlast werden von beiden Modellen noch nicht optimal vorhergesagt, doch erreicht das Old-School-Modell mit einer Abweichung der Residuen von 4,5 Prozent (< fünf Prozent-Ziel) eine sehr fehlerarme Vorhersage des energetischen Verhaltens der Filiale. In Bild 8 sind die gemessenen Verbräuche (blau) in der Verifikationsphase den nach dem Old-School-Modell berechneten Energieverbräuchen (orange) gegenübergestellt. Die gemessenen Energieverbräuche in der Verifikationsphase (01.6.2019 bis 16.10.2019) wurden nicht zum Anlernen des Modells genutzt. Bild 8 zeigt nun aufgrund der sehr guten Übereinstimmung von gemessenen und berechneten Werten, wie gut das Modell die künftigen Energieverbräuche vorhersagen kann.

Nachdem ein geeignetes und verifiziertes Modell des energetischen Verbrauchs der Filiale gefunden wurde, lässt sich die Energieeinsparung im Berichtszeitraum (20.08.2021 bis 14.06.2022) nach Umsetzung der Optimierungen bestimmen. Folgende Effizienzmaßnahmen wurden durchgeführt:

- 08/2019: Schulung der Mitarbeiter hinsichtlich der Bedienung des Touchdisplays der Klimatisierung
- 19.08.2021: Neuparametrierung der RLT-Anlage: Schaltzeiten, Zulufttemperatur, Zuluftmengen
- 23.11.2021: Installation eines Ferndiagnosetools und Anpassung der Temperaturschwellwerte für Heizen/Kühlen
- 01/2022: Installation einer CO<sub>2</sub>-Regelung für die Lüftungsanlage



8 | Monatsprofil der gemessene und berechneten ¼-Stundenleistung nach dem „Old School“-Modell

## Energieersparnis durch Optimierungen

Zu welchen Energieeinsparungen haben diese Maßnahmen geführt? Bild 9 stellt exemplarisch ein paar Tage aus dem Berichtszeitraum dar. Der grüne Verlauf zeigt den vom Modell berechneten Verbrauch, wie er sich ohne Optimierungsmaßnahmen ergeben hätte. Die Messung wiederum zeigt den Energieverbrauch, wie er sich nach der Optimierung tatsächlich eingestellt hat. Aus der Differenz zwischen Modell und Messung ergibt sich die erzielte Energieersparnis.

In Bild 10 sind die monatlichen gemessenen Energieverbräuche nach der Optimierung dargestellt. Die orangefarbenen Stapelbalken zeigen die monatliche Energieeinsparung, die sich aus der Differenz zwischen der Messung und den nach dem Modell für das energetische Verbrauchsverhalten vor der Optimierung berechneten Werten ergibt. Ohne Optimierung läge der Verbrauch bei 219.117 kWh und mit Optimierung bei tatsächlich gemessenen 164.368 kWh. Die Einsparung beträgt 54.749 kWh bzw. 25 Prozent des Verbrauchs vor der Optimierung. Ein witterungsgerechtes Hochrechnen auf den Jahresverbrauch ist mit Vorsicht zu interpretieren, da der Berichtszeitraum keinen sommerlichen Zeitraum enthält.

Von 2020 bis 2022 lag der mittlere Stromverbrauch ohne Optimierung bei 255.000 kWh/a. Geht man von der mittleren Einsparung von 25 Prozent aus, liegt die zu erwartende mittlere Energieeinsparung bei ca. 64.000 kWh/a. Das ergibt bei einem exemplarischen Strompreis von 35 ct/kWh eine jährliche Energiekostensparnis von 22.400 Euro/a. Damit sind Amortisationszeiträume von deutlich unter zwei Jahren möglich, da dank der geringinvestiven Maßnahmen die Umsetzungskosten gering waren. Werden durch die multivariate lineare Regressionsanalyse schon die fünf Prozent Abweichungen der Residuen erreicht, so ist dieses automatisierbare Verfahren dem zeitaufwendigeren Vorgehen der „Old School“-Methode vorzuziehen. Energiekosteneinsparungen von einigen 10.000 Euro pro Jahr mit marginalem Investitionsaufwand pro Filiale sind sicher für die Gewerbebetriebe sehr attraktiv und sollten nun auf Filialketten hochskaliert werden.

Die technischen Voraussetzungen hinsichtlich des methodischen Vorgehens und die Digitalisierung der Prozesse wurden bei der Hörburger GmbH bereits erfolgreich implementiert und in der Praxis umgesetzt.

Weitere Informationen zum Projekt unter [www.hoerburger.de](http://www.hoerburger.de)

<sup>1)</sup> Bundesanzeiger, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, vom 18. Februar 2019 <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung>

<sup>2)</sup> Internes Dokument, Hoerburger-GmbH-Foerderprogramm-Einsparzahler-2022-08-01-final.pdf

### Prof. Dr.-Ing. Berthold Stanzel

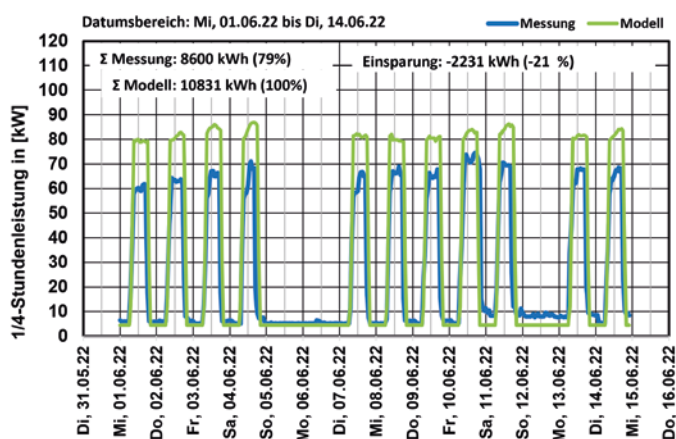
studierte an der TU Darmstadt Allgemeinen Maschinenbau und promovierte an der TU Stuttgart an der Fakultät Energietechnik. Als Abteilungsleiter „Wärmeversorgung“ der Technischen Werke Friedrichshafen baute er Großanlagen zur solaren Nahwärmenutzung. 1998 wurde er zum Professor an der FH-Erfurt berufen. Sein wissenschaftliches Interesse gilt der energiewirtschaftlichen Analyse von Hotel- und Filialketten.

Kontakt unter: [stanzel@fh-erfurt.de](mailto:stanzel@fh-erfurt.de)

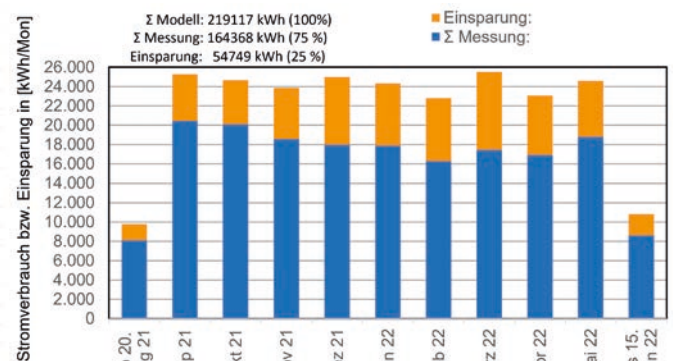
### Anni Blumenstock (M.Sc.)

studierte an der TU Bergakademie Freiberg Umweltingenieurwesen. Als Projektleiterin bei der Hörburger GmbH unterstützt sie seit 2021 Unternehmen auf dem Weg zu mehr Transparenz und Energieeffizienz durch die Installation und den Betrieb von Energiemanagementsystemen.

Kontakt unter: [Anni.Blumenstock@hoerburger.de](mailto:Anni.Blumenstock@hoerburger.de)



9 | Nach der Optimierungsmaßnahme gemessene und berechnete 1/4-Stundenleistung im Berichtszeitraum (hier: Juni 2022)



Bilder © Prof. Stanzel/Hörburger

10 | Nach der Optimierungsmaßnahme gemessener Energieverbrauch einschließlich der ermittelten Energieeinsparung im Berichtszeitraum