Veröffentlichung im Rahmen des Einsparzählerprojekts der Hörburger GmbH (ESZ-A-2018044)

1. Die Hörburger GmbH

Die Hörburger GmbH bietet umfassende Lösungen in den Bereichen intelligente Gebäude- und Anlagenautomation, Schaltschrankbau, Retail Facility Management, Energiemanagement und Maschinenautomatisierung an. Ziel des Unternehmens ist die optimale Vernetzung und Steuerung der Gebäude-, Anlagen- und Maschinentechnik, um einen ressourcenschonenden, effizienten und kostensparenden Betrieb zu garantieren.

Gegründet 1974, hat das Unternehmen heute mehr als 220 Mitarbeiter und bundesweit sechs Standorte sowie einen weiteren Standort in Rumänien. Mit fast 50 Jahren Erfahrung in unterschiedlichsten Branchen, einer starken Kundenorientierung, seiner Lieferantenunabhängigkeit und nachhaltigen Automations- und Energiemanagementkonzepten ist das Unternehmen mittlerweile auch über die deutschen Grenzen hinaus bekannt.

Digitalisierung und Konnektivität sind mehr als nur Begriffe für uns. Seit fast 50 Jahren steuern wir die Gebäudetechnik energieeffizient in Abhängigkeit voneinander. In dieser Zeit hat sich viel getan. Unsere eigene IoT-Plattform greift die Kernidee einer umfangreichen, zentralen Erfassung und Analyse sowie intelligenten, automatisierten Steuerung der Gebäudetechnik auf.

So kommt der Verbrauchsmessung der eingesetzten Energieträger und der Nachweis von Einsparungen durch Effizienzmaßnahmen im Sinne der ISO 50001 bei unseren Kunden immer größere Bedeutung zu. Speziell in diesem Zusammenhang spielt die dauerhafte Betreuung der inzwischen über 3.000 auf der IoT Plattform aufgeschalteten Objekte eine Schlüsselrolle.

2. Die Hörburger GmbH als Antragsteller

Aus dieser Situation heraus hat sich die Hörburger GmbH im Jahr 2017 entschlossen, einen Antrag auf Teilnahme am Förderprojekt „Einsparzähler" zu stellen. Dieser wurde Mitte 2018 positiv beschieden.

Zielgruppen des Projekts sind der filialisierende Einzelhandel, wie z. B. die Bereiche Lebensmittel, Drogerien oder Parfümerie, aber auch andere Kunden aus dem produzierenden Gewerbe oder Hotels werden adressiert. Durch Schaffung von Transparenz zu den Energieverbräuchen sollen Einsparpotenziale erkannt und der Kunde zur Umsetzung veranlasst werden.

Ein wichtiger Schwerpunkt bei den Effizienzmaßnahmen ist die Verbesserung der Steuerungs- und Regelungskonzepte für die Haustechnik, womit sich große Synergien zum Kerngeschäft von Hörburger ergeben. Aber auch die Begleitung des Kunden bei der Umsetzung von anderen Effizienzmaßnahmen im Bereich der Haustechnik und der Nachweis der erzielten Einsparungen sollen im Rahmen des Projektes zu einer neuen Kernkompetenz ausgebaut und daraus neue Geschäftsmodelle entwickelt werden.

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

3. Ausgangssituation

Im Rahmen des Pilotprojekts Einsparzähler des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle werden Energieeffizienzmaßnahmen bezüglich ihrer Einsparung beurteilt und die eingesparte Energiemenge nach einer bestimmten Methodik berechnet sowie vergütet. Die Hörburger GmbH, mit einem Fokus auf Filialisten, führt für ihre Kunden Energieeffizienz-Maßnahmen im Bereich der Gebäudetechnik durch, wobei Maßnahmen in Form von verbesserter Betriebsführung und durch den Austausch und Einsatz von energieeffizienteren Anlagenkomponenten erfolgen können.

Typische Haupt-Verbrauchergruppen in einer Filiale sind:

- Heizung (Gasheizung, Zentralheizung vom Vermieter, Fernwärme, Wärmepumpe)
- Kühlung (Strom)
- Lüftung (Strom)
- Beleuchtung (Strom)
- Kälte zur Kühlung von Nahrungsmitteln (Strom)
- Sonstige elektrische Anwendungen (Kassensystem, Telefonanlage, IT-Server usw.)

Üblicherweise werden die gelieferten Endenergien (Strom, Gas, Wärme) gemessen und Messdaten liegen als Zeitreihen vor. Untermessungen, insbesondere Stromzähler, sind in der Regel bei den Filialisten nicht vorhanden.

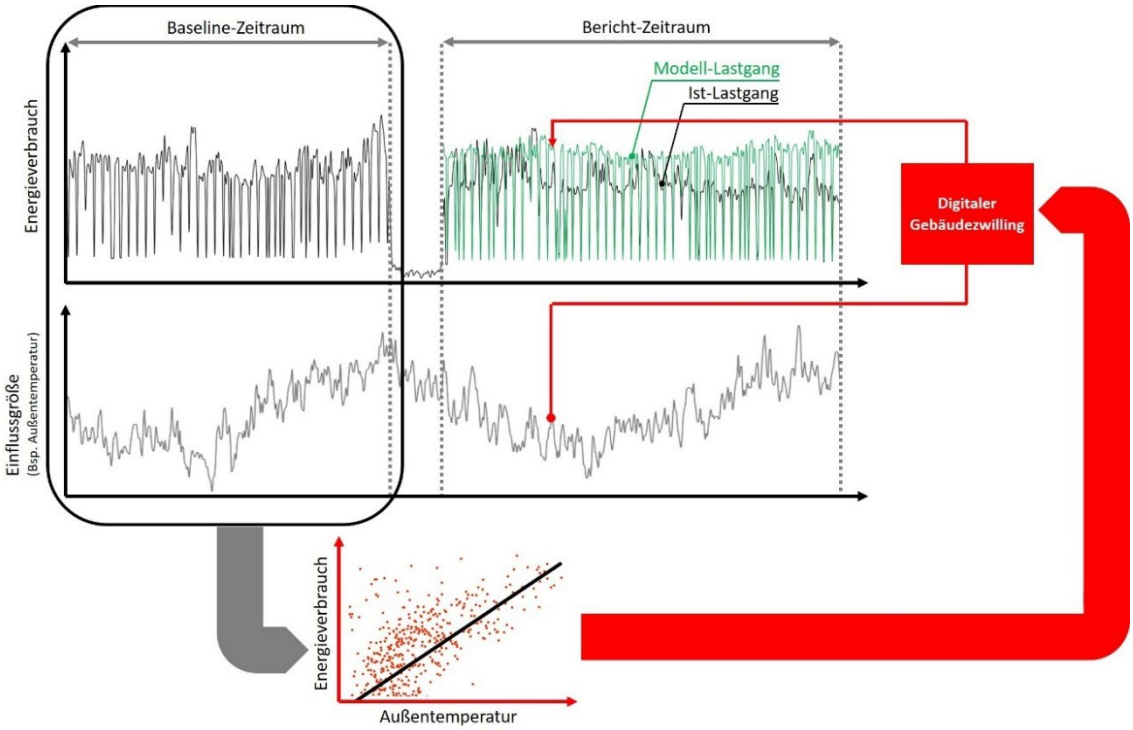
4. Exkurs: Methodik, Systemgrenze & statistische Modellbildung

Zur Beschreibung des energetischen Zustands vor Umsetzung einer Energieeffizienz-Maßnahme wird innerhalb eines geeigneten **Baseline**-Zeitraumes (**Bezugszeitraum**) ein **statistisches Modell** gebildet, mit dem der Energiebedarf für ein System anhand von externen Einflussgrößen (oder relevanten Variablen) beschrieben wird . Im späteren **Berichtszeitraum** (Monitoring) wird das zuvor im Baseline-Zeitraum definierte Modell dazu genutzt, um den Energiebedarf im Berichtszeitraum mit Hilfe von Einflussgrößen zu beschreiben. Die Differenz aus Modell-Energiebedarf und tatsächlichem Energiebedarf beschreibt die bereinigte Einsparung.

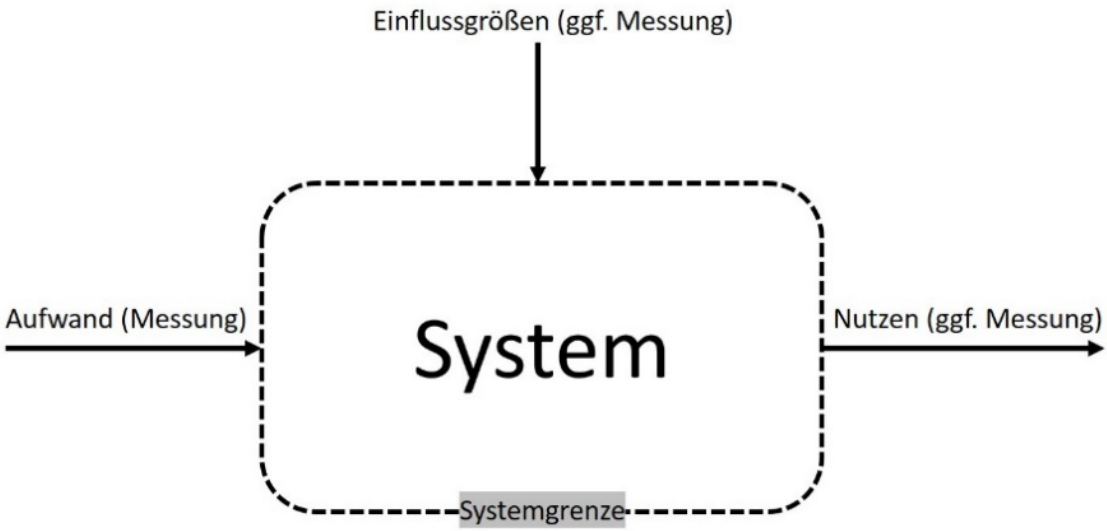
Grundlage hierfür ist der Ansatz aus der ISO 50006 und das alternative System des Einsparzählers.

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

Untenstehende Illustration verdeutlicht den Prozess der Modellbildung:



Um die zuvor beschriebene Methodik mit Baseline- und Berichtszeitraum inklusive Modellbildung nutzen zu können, müssen klare Systemgrenzen definiert werden, für welche der Energiebedarf betrachtet wird und für den Einflussgrößen identifiziert werden müssen, die zur Beschreibung dienen. Das daraus abgeleitete Messkonzept wird vereinfacht im Einsparzähler-Programm wie folgt dargestellt:



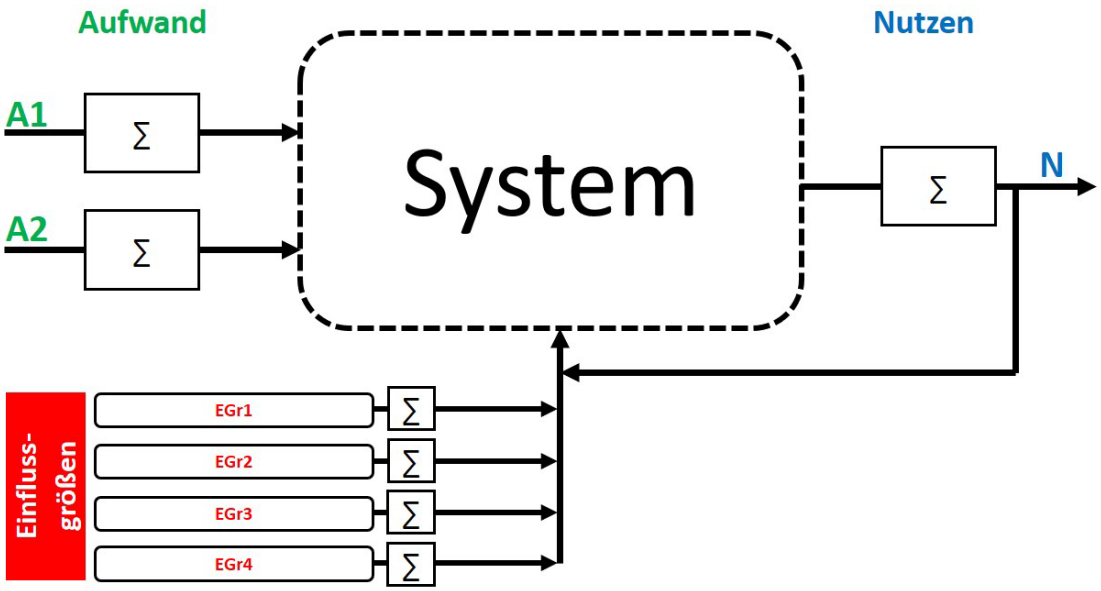
© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

Für die von Hörburger betrachteten Filialen ergeben sich folgende Möglichkeiten zur Definition eines betrachteten Systems:

- „Filiale“ als Ganzes (mit Gesamt-Aufwand Strom/Gas/Wärme) oder
- Aufteilung in Sub-Systeme, wie beispielsweise in die einzelnen typischen Haupt-Verbrauchergruppen

Beachtet werden muss für beide Betrachtungsansätze, dass geeignete Einflussgrößen gefunden werden müssen, die das System in einer ausreichend guten Qualität beschreiben. Diese Einflussgrößen müssen im Idealfall durch entsprechende Messgrößen direkt beschrieben werden können oder aus vorliegenden Größen ableitbar sein.

Allgemein dargestellt werden die - im nachfolgenden näher beschriebenen - Systeme methodisch wie folgt definiert und entsprechende Modelle abgeleitet:



Basierend auf den Messreihen der Aufwände (z. B. stündliche oder tägliche Werte) und Einflussgrößen (1 bis n) im Baseline-Zeitraum werden mit Hilfe des in EXCEL eingebetteten Statistikmoduls „DATENANALYSE – REGRESSION“ die Parameter k_{GL}, k_1, … k_i berechnet. Diese bilden dann die Grundlage der **Gleichung für den modellierten Aufwand** (wobei EGr_i die tatsächlichen Messwerte der Einflussgrößen sind):

$$A_{Modell,\ Gesamt} = k + k_1 * EGr1 + k_2 * EGr2 + k_3 * EGr3 + k_4 * EGr4$$

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung in XLS werden jeweils geprüft und kritisch hinterfragt:

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,967
Bestimmtheitsmaß	0,934
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,934
Standardfehler	3,971
Beobachtungen	22728

Zielwerte der **(adjustierten) Bestimmtheitsmaße** sind > 0,85, idealerweise noch höher, so wie hier im dargestellten Fall (0,934).

Weiterhin wird der – in EXCEL ausgegebenen ANOVA Analyse – **Fkrit-Wert** überprüft, Dieser sollte nach Möglichkeit kleiner als 0,05 sein.

Ebenso wird der **P-Wert** geprüft, der nahe Null sein soll. Dieser ist ein Indikator für die betrachtete Einflussgröße, wie wahrscheinlich es ist, dass der Koeffizient für die Einflussgröße nur zufällig aufgetreten ist. Er gibt keine Aussage über die Größe des Effektes der geprüften Parameter.

5. Methodisches Vorgehen (Allgemein)

Die Ausgangssituation und die Auswahl von Projekten für das Pilotprogramm Einsparzähler lässt sich in zwei Kategorien aufteilen:

1. **Energieeffizienzmaßnahmen als Teilbereich im Rahmen eines Umbaus der Gesamtfiliale**
2. **Energieeffizienz-Steigerung als systematische Beauftragung durch den Kunden**

Ausgangssituation 1 erfolgt oft durch eine kurzfristige Beauftragung durch den Kunden, Energieeffizienzmaßnahmen stehen hier nicht im Vordergrund. Wird eine Filiale innerhalb weniger Monate umgebaut, bleibt wenig Zeit, um geeignete Messungen zu installieren, die der Baseline-Bildung dienen sollen oder einzelne Sub-Systeme erfassen sollen. Dennoch eignet sich diese Ausgangssituation für das Pilotprojekt Einsparzähler, kann jedoch mit einem erhöhten Aufwand für die Baseline-Bildung verbunden sein.

Für Ausgangssituation 2 wird durch den Kunden speziell beauftragt, die Energieeffizienz eines oder mehrerer Standorte zu erhöhen. Eine gezielte Messung von Sub-Systemen oder Einflussgrößen zur Baseline-Bildung ist möglich. Dieser flexiblere Ansatz eignet sich daher besser für Projekte im Rahmen des Pilotprojekts Einsparzähler.

Liegen RLM-Messungen (**R**egistrierende **L**eistungsMessung mit 15-Minuten-Werten) vom Messstellenbetreiber vor, besteht die Möglichkeit (wie in Abschnitt 4 beschrieben) zur Baseline-Bildung die Filiale als Ganzes (für Ausgangssituation 1 der Fall) zu betrachten. Eine weitere Möglichkeit stellt die Messung von Sub-Systemen (Untermessungen) dar, um das System-Verständnis zu erhöhen. Systeme können auf diese Weise separiert von anderen Systemen betrachtet und so Verbrauchswerte eindeutig einem Teil-System zugeordnet werden. Dies hilft für die Baseline-Bildung als auch für die eindeutige Zuordnung einer Effizienzsteigerung. Als Nachteil verursachen Untermessungen jedoch Mehrkosten von etwa 1.000 € pro Messstelle (bei etwa 3-5 Messstellen)

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

durch die benötigte Hardware. Für die im Nachfolgenden (Kapitel 6) betrachtete Filiale ergeben sich durchschnittliche Energiekosten von rund 25.000 € pro Jahr. Bei einer erzielten Energieeinsparung von 20 % beläuft sich die monetär erzielte Einsparung pro Jahr auf 5.000 €. Dem gegenübergestellt können fünf Messstellen (rund 5.000 € Investment) direkt aus der Einsparung des ersten Jahres finanziert werden. Das Investment in fünf Messstellen erlaubt es zusätzlich, einzelne Komponenten direkt zu überwachen, um so beispielsweise Wartungen und Instandhaltungen gezielter einplanen zu können.

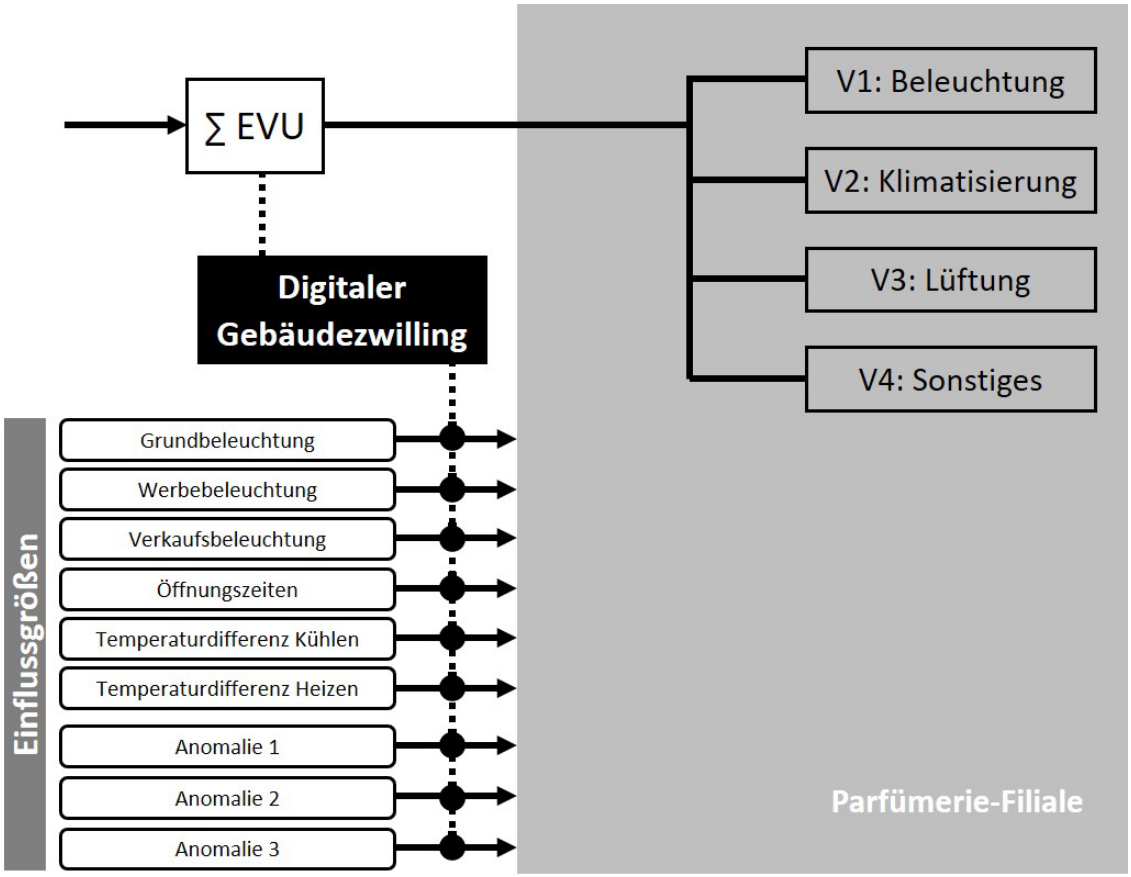
Der Prozess zur Auswahl von relevanten und sinnvollen Einflussgrößen ist nicht nur zwingend erforderlich für die spätere Baseline-Bildung, sondern kann auch zu einem verbesserten Systemverständnis führen. Dadurch ergeben sich oft auch direkt Einsparpotenziale. Als Beispiel kann eine Lüftungsanlage einer Supermarkt-Filiale angeführt werden, die primär als Nutzen das Ziel verfolgt, eine gute Luftqualität im Markt zu gewähren. Durch genauere Systembetrachtung, wurden als sinnvolle Einflussgrößen die Luftqualität sowie die Markt-Öffnungsdauer identifiziert. Die Betrachtung in der Baseline ergab jedoch, dass die benötigte elektrische Energie unabhängig von der Luftqualität war und konstant während der Öffnungszeit des Marktes für einen Luftaustausch sorgte. Im Rahmen der Energieeffizienzsteigerung wurde dies geändert und eine vom CO_2-Wert abhängige Lüftungsregelung implementiert.

Die konkreten Herausforderungen im Prozess der Modellbildung werden im Weiteren für eine ausgewählte Filiale näher beschrieben.

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

6. Methodisches Vorgehen und Herausforderungen am Beispiel einer ausgewählten Filiale

Dieses Kapitel geht explizit auf die vorgestellte Methodik der linearen Regression am Beispiel einer Filiale ein und wie diese genutzt werden kann, um einen digitalen Gebäudezwilling zu erstellen. Im Anschluss an eine kurze Einführung werden konkrete Probleme während des Prozesses erläutert.



System: Bei der betrachteten Filiale handelt es sich um ein Ladengeschäft in einer Einkaufsstraße mit einer Verkaufsfläche von 313 m^2.

Nutzen: Komfort in der Filiale bei möglichst geringem Gesamt-Energiebedarf

Systemgrenze: Gesamte Filiale ohne Nebenräume, Betrachtung aller elektrischen Verbraucher

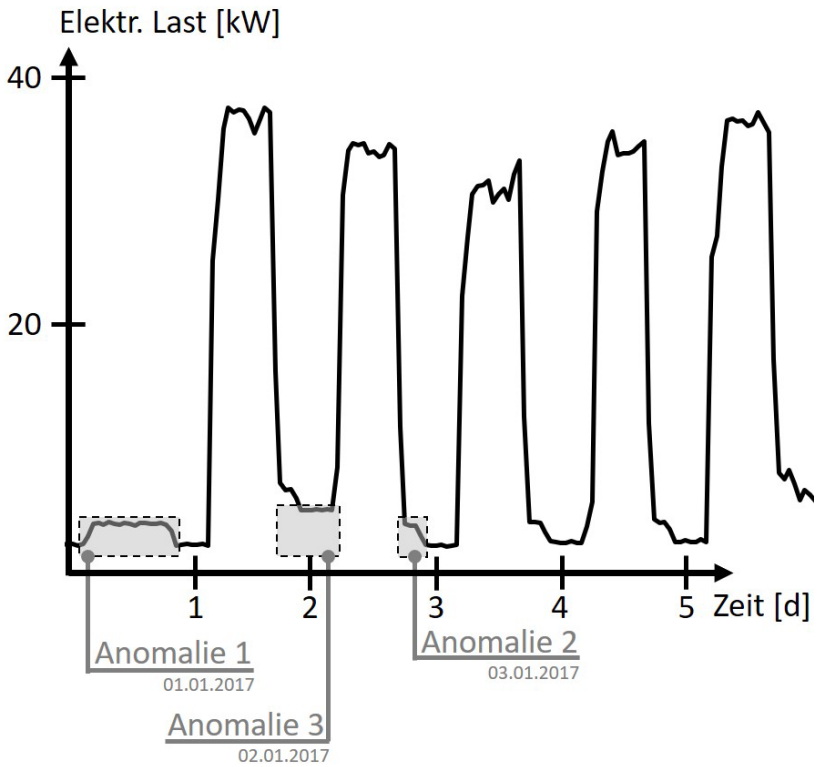
Teilsysteme: Kühlen/Heizen (Luft-Luft-Wärmepumpe), Lüftungsanlage mit Außenluft/Fortluft/Umluft mit Wärmerückgewinnung, Grundbeleuchtung, Werbebeleuchtung, Verkaufsbeleuchtung

Aufwand: Elektrische Last als 1h-Durchschnittswert aus EVU-Zähler (Energieversorgungsunternehmen-Zähler) – Zähler mit geloggten 1/4h-Werten

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

Einflussgrößen: Zur Bestimmung von Einflussgrößen werden zunächst alle Teilsysteme innerhalb der Systemgrenze betrachtet:

- Beleuchtung: ungeregelt, Zustände EIN/AUS über manuelle bzw. Zeitsteuerung;
  Hier sind die Aussagen des Betreibers der Filiale hilfreich und die Einflussgrößen wie folgt abgeleitet (Werbe-, Verkaufs- und Grundbeleuchtungen):
    - 0 oder 1 Betriebsstunden pro Stunde anhand der jeweils festgelegten Zeitpläne (Unterscheidung nach Öffnungszeiten an Wochentagen, Wochenenden, Feiertagen …)
- Kühlung: vorhandene Regelung Einhalten von Mindest-SOLL-Temperaturen im Kühl-/Heizbetrieb;
  z. T. Handbetrieb bzw. Nicht-Ausschalten außerhalb der Betriebszeiten
    - Außentemperatur (Daten der nächstgelegenen Wetterstation für den Standort herangezogen) – Unterscheidung in Heiz- & Kühlfall durch Festsetzen einer Grenztemperatur von 10 °C (ermittelt durch Analysen zum Auftreten Heizfall/Kühlfall in Verbindung mit der Außentemperatur)
    - Interne Lasten (hier: Beleuchtung, Personen, Luftwechsel): Diese werden nicht direkt gemessen, sondern aus den Öffnungszeiten abgeleitet (die damit verbundene Ungenauigkeit wird zunächst vernachlässigt)
    - Betriebszeiten der Filiale
- Anomalien 1, 2 und 3: Die Auswertung der Baseline-Daten weist Anomalien auf, die auch der Betreiber der Filiale nicht erklären konnte. Vermutlich kamen die erhöhten Verbräuche durch unsachgemäßen Betrieb der Klimaanlage zustande. Um ein statistisches Modell bilden zu können wurden diese als 0/1 Einflussgrößen-Werte aufgegriffen. Künftig soll durch den automatisierten und optimierten Regelbetrieb hier eine Einsparung erreicht werden.



© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

- Sonstige Kleinverbraucher: Annahme nach Interview mit den Betreibern, dass sie innerhalb der Öffnungszeiten recht gleichmäßig eingeschaltet sind.

Insgesamt wurden für dieses betrachtete System folgende Einflussgrößen (x_i) identifiziert, die aus bestehenden Messungen und Aufzeichnungen herangezogen werden konnten (z. B. sind es gut nachvollziehbare abgeleitete Einflussgrößen (Öffnungszeiten, Beleuchtung EIN/AUS), da sie z. T. nicht direkt gemessen werden können, z. B. die internen Lasten):

- **x1:** Werbebeleuchtung [h/h]
- **x2:** Öffnungszeiten [h/h]
- **x3:** Grundbeleuchtung [h/h]
- **x4:** Verkaufsraumbeleuchtung [h/h]
- **x5:** Temperaturdifferenz Kühlen [Außentemperatur - 10° C]
- **x6:** Temperaturdifferenz Heizen [10 °C - Außentemperatur]
- **x7:** Anomalie 1 [h/h]
- **x8:** Anomalie 2 [h/h]
- **x9:** Anomalie 3 [h/h]

Die mit dem Einsparzähler (ESZ) ermittelten Werte für Aufwand und Einflussgrößen im Baseline-Zeitraum (z. T. historische eingelesene Daten) liegen als stündliche Werte im Zeitraum 01.01.2016 bis 04.08.2018 vor.

Die statistische Modellbildung mit EXCEL liefert ein sehr gutes adjustiertes Bestimmtheitsmaß von 0,973.

Der Aufwand (elektrische Arbeit) des Systems wird unter Berücksichtigung der identifizierten Einflussgrößen wie folgt modelliert:

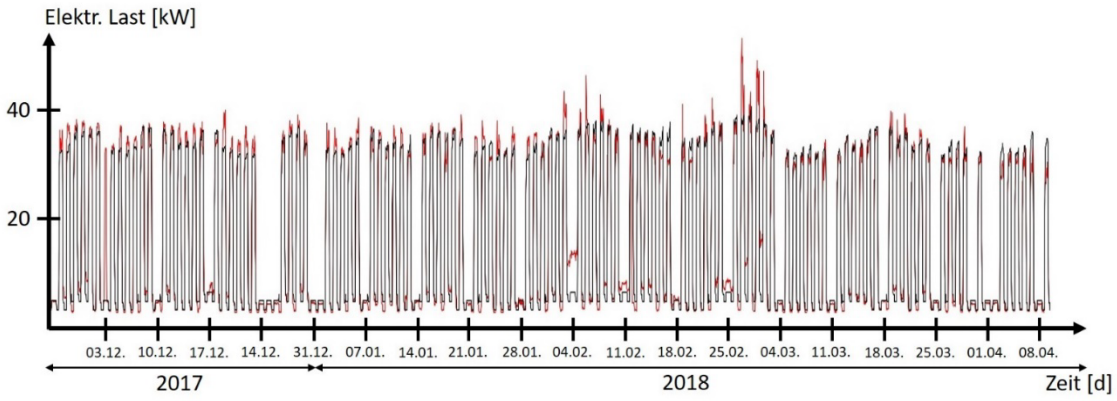
$$\boldsymbol{Lastgang\ [kW] = 3,21 + 0,65 * x1 + 17,88 * x2 +}$$

$$\boldsymbol{7,71 * x3 + \ 3,46 * x4 + 0,37 * x5 + 0,47 * x6 + 1,66 * x7 + 1,92 * x8 + 1,38 * x9}$$

Bei näherer Betrachtung der grafischen Darstellung der Baseline (IST-Werte und die modellierten Werte) fällt eine insgesamt gute Übereinstimmung (siehe nachfolgende Darstellung, November 2017 bis April 2018) der modellierten mit den tatsächlich gemessenen Aufwänden auf. Jedoch werden Extrem-Verbräuche teilweise nicht abgebildet. Mögliche Gründe hierfür könnten wie folgt sein:

- Heiz- und Kühl-Verhalten folgen einem nichtlinearen Schema
- manuelle Ansteuerung nicht erfasster Komponenten
- fehlerhaftes Verhalten in der Ansteuerung
- weitere fehlende Einflussgrößen
- unzutreffende Annahmen nicht-gemessener Daten
- charakteristisches Wärmespeicher- und Wärmeleitverhalten des Gebäudes
- Änderungen in der Betriebsführung

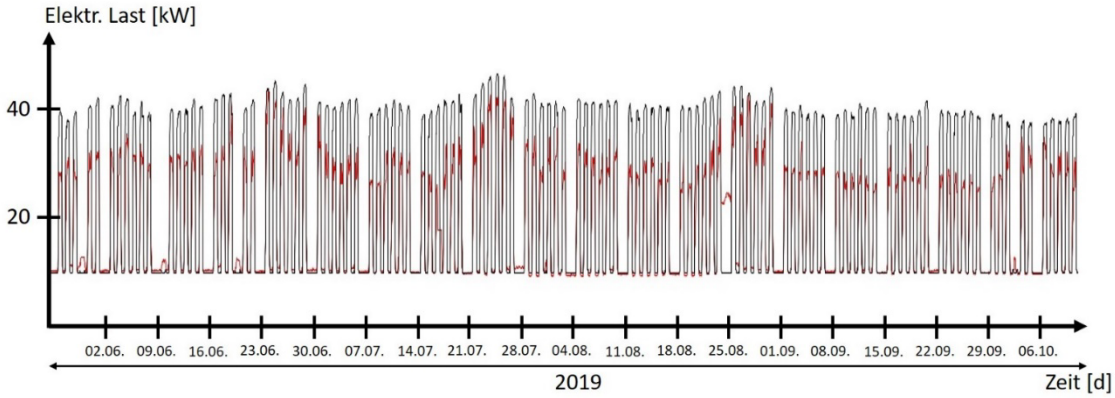
© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt



Im weiteren Zeitverlauf ist ab dem 01.10.2018 bis zum 14.06.2020 mit Hilfe des Einsparzählers eine elektrische Gesamteinsparmenge von 50.486 kWh sichtbar gemacht worden. Dabei wurde die Energieeffizienz um 22 % gegenüber dem Bedarf vor der Maßnahme gesteigert.

Als Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung wurde am vorliegenden Standort konventionelle Beleuchtung durch LED-Beleuchtung getauscht, ältere Klimageräte wurden durch effizientere Klimatechnik (Luft-Luft-Wärmepumpen) ersetzt und zusätzlich wurde eine bedarfsgeführte und vollautomatische Ansteuerung von Beleuchtung, Wärmepumpen und der Lüftungsanlage implementiert. Damit werden erhöhte Verbräuche infolge von Bedienfehlern vermieden. Durch Fernüberwachung der Anlagentechnik werden Fehler zeitnah erkannt und deren Beseitigung eingeleitet.

Die eingesparte Energiemenge ist nach der Maßnahme gut qualitativ ersichtlich – der IST-Verbrauch, also der tatsächlich gemessene, ist im gesamten Beobachtungszeitraum niedriger als der bereinigte bzw. modellierte Verbrauch:



Rote Linie: IST-Verbrauch

Schwarze Linie: Modellierter Verbrauch

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

Schlussfolgerung: Der Aufwand zur Messung der wesentlichen Einflussgrößen konnte deutlich reduziert werden, indem abgeleitete Werte der Einflussgrößen der im Gesamtsystem befindlichen Teilsysteme herangezogen wurden, die den tatsächlichen Aufwand sehr gut beschreiben. Dies konnte mit der statistischen Auswertung demonstriert und ein insgesamt sehr zufriedenstellendes statistisches Modell entwickelt werden. Mit Hilfe des implementierten Modells konnte ein Monitoring des Gesamtsystems erfolgen und Einsparpotenziale erkannt und erfolgreich umgesetzt werden.

7. Praxisnahe Hilfestellung

a. Auswahl von Einflussgrößen

i. Relevante Einflussgrößen

Hierunter verstehen wir Einflussgrößen, die von außen auf das betrachtete System wirken, die nicht beeinflussbar sind (z. B. Außentemperatur, Öffnungszeiten der Filiale, Anzahl Kunden, Produktionsmengen …). Diese Einflussgrößen bestimmen maßgeblich den Aufwand des Systems und deren Teilsysteme.

1. **Außentemperatur**

   Sofern ein Einfluss der Außentemperatur auf den Energieaufwand des Systems existiert, werden eigene Messdaten oder Daten aus der nächstgelegenen Wetterstation herangezogen.

2. **Handhabung von Zeitplänen**

   Existieren keine Zeitreihen von tatsächlichen Schaltzeiten für beispielsweise die Lüftungsanlage, sondern nur Zeitpläne, können diese genutzt werden, um eine Einflussgröße zu rekonstruieren. Beachtet werden müssen hierbei Sondertage wie Sonn- und Feiertage sowie weitere Tage, für welche der Zeitplan nicht angewandt werden kann.

3. **Handhabung eines Temperatureinflusses**

   Temperatureinflüsse auf Lasten existieren besonders bei hohen und niedrigen Temperaturen und resultieren durch die Klimatisierung. Wird die Außentemperatur als Einflussgröße genutzt, muss beachtet werden, dass diese nicht direkt mit den absoluten Werten korreliert werden darf, sondern ein Schwellwert genutzt werden sollte, ab welchem gekühlt und ab welchem geheizt wird. Existieren Informationen direkt aus der Anlagentechnik, ab welcher Außentemperatur geheizt bzw. gekühlt wird, kann dieser Wert genutzt werden. Liegt dies nicht vor muss dieser empirisch ermittelt werden. Die Einflussgröße wird dann als Abweichung vom Schwellwert definiert und muss stets positiv sein.

ii. Irrelevante Einflussgrößen

Neben den zuvor beschriebenen Einflussgrößen existieren auch solche, die statistisch relevant sind, jedoch nur eine kleine Last abbilden, die im Gesamt-Modell „Filiale“ nicht relevant sind und im Rauschen untergehen können.

Beispiel: Eine Filiale hat eine Außenbeleuchtung, die abends nach Ladenschluss noch weiterhin von 20:00 bis 23:00 Uhr angeschaltet bleibt. Die Einflussgröße als Schaltzeit liegt somit vor und es ergibt sich eine relevante Korrelation für diese Einflussgröße. Da die

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

Außenbeleuchtung jedoch nur eine Gesamtleistung von 0,5 kW aufweist, kann diese in Schwankungen der Grundlast untergehen. Trotzdem, dass die statistischen Ergebniswerte ergeben, dass die Einflussgröße relevant ist, sollte diese nicht zur Modellbildung miteinbezogen werden, da diese zu keiner signifikanten Verbesserung führt.

b. Handhabung von Anomalien

Anomalien bezeichnen Lasten, die nicht durch die zuvor identifizierten Einflussgrößen beschrieben werden.

i. Als wichtige Einflussgröße

Werden Tage mit Anomalien zur Baseline-Bildung berücksichtigt, empfiehlt es sich, diese als zusätzliche Einflussgröße mitaufzunehmen und mit zu modellieren. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass Anomalien nicht in Anteilen in andere Einflussgrößen miteinbezogen werden und das Modell erhält eine höhere Genauigkeit. Bisher wurden drei verschiedene Ansätze zum Umgang identifiziert:

- Ansatz 1: Hierzu wird das Lastprofil im Baseline-Zeitraum visualisiert und entsprechende Anomalien werden zunächst manuell identifiziert. Die Einflussgrößen werden also qualitativ ermittelt und dann für die entsprechenden Zeitintervalle, in denen die Anomalien beobachtet werden als 0/1 Werte manuell bzw. teilautomatisch markiert.
- Ansatz 2: Wie bei Fall 1 werden die Verbrauchswerte im Baseline-Zeitraum beobachtet. Die Anomalien werden als „Ausreißer“ identifiziert und bei der Modellbildung nicht berücksichtigt.
- Ansatz 3: Modellierung ohne Berücksichtigung der Anomalien, was zu einem Modell mit geringerer Genauigkeit führen kann

ii. Als negativer Einfluss auf die Energieeffizienz im Berichtszeitraum

Anomalien, die im Baseline-Zeitraum modelliert werden, sollen selbstverständlich im Berichtszeitraum vermieden werden. Es gibt somit keinen Einfluss, der im Berichtszeitraum eine Anomalie beschreibt. Durch die Modellierung von Anomalien im Baseline-Zeitraum hat daher bereits eine Bereinigung in Bezug auf die modellierten Anomalien stattgefunden. Wird anhand des Modells aus dem Baseline-Zeitraum nun die Energieeffizienz der Maßnahmen beurteilt ergibt sich ein geringerer Wert als der tatsächlich vorherrschende.

Beispiel: Ein Defekt einer Lüftungsanlage bedingt diese mehrmals monatlich einen Fehler auszugeben. Der Fehler bedingt zudem, dass die Lüftungsanlage unter Volllast läuft. Ein manueller Neustart behebt den Fehler kurzfristig. Werden diese Zeiträume, zu welchen die Anlage unter Volllast läuft durch eine zusätzliche Einflussgröße im Baseline-Zeitraum modelliert ergibt sich eine Korrelation. Als Effizienz-Maßnahme wird unter anderem auch der Fehler bei der Ansteuerung der Lüftungsanlage behoben, wodurch sich eine Einsparung ergibt. Da das Modell diesen Anomalie-Einfluss im Berichtzeitraum jedoch nicht mitabbildet, kann die Effizienzsteigerung nur unabhängig von dieser Anomalie angegeben werden.

Soll der Anteil der Anomalie im Berichtzeitraum mitberücksichtigt werden, wäre eine Annahme, die getroffen werden könnte, dass der Fehler jeden Monat auftritt (Ansatz 1). Ansatz 2 würde die Tage mit Anomalien aus dem Baseline-Zeitraum entfernen und das Modell ohne diese Tage bilden. Ein anderer Ansatz wäre, den Einfluss im Baseline-Zeitraum nicht zu berücksichtigten (Ansatz 3), was jedoch das Modell signifikant verschlechtern könnte.

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

c. *Auswahl geeigneter Aggregationsstufen für die lineare Regression*

Zur Erstellung des Modells müssen die Energiewerte bzw. Lastgangdaten für eine bestimmte Periode vorliegen. Die Wahl der Aggregationsstufe ist hierbei stark vom betrachteten System, der Systemgrenze und der vorliegenden Daten abhängig. Möglich wäre die lineare Korrelation auf Stunden, Tagen, Wochen, oder gegebenenfalls sogar Monatswerten zu bilden. Mit zunehmender Auflösung der Aggregationsstufe lassen sich beispielweise Einzelereignisse und deren Einfluss besser beschreiben. Bei der Betrachtung des Gesamtsystems „Filiale“ lässt sich beispielweise eine Außenbeleuchtung mit Ansteuer-Zeiten von 21:00 bis 23:00 Uhr eindeutig im Lastgang zuordnen. Auf diese Weise ist es möglich aus einem Lastgang einzelne Verbraucher-Gruppen der Filiale aufzugliedern und deren Einfluss separat zu beschreiben und zu betrachten.

Als Gegenbeispiel kann eine Lüftungsanlage genannt werden, welche ausschließlich zeitabhängig geregelt wird und in einer vereinfachten Betrachtung mit Tages-Werten modelliert werden kann. Die elektrische Last der Lüftungsanlage zeigt tagsüber unter Volllast einen relativ konstanten Wert, keine Einzelereignisse beeinflussen die Energiemengen pro Tag. Hier empfiehlt sich, das Modell auf Tagesdurchschnittswerten des Lastgangs oder auf Werten der kumulierten Gesamtenergie eines Tages zu bilden.

d. *Scheinkorrelationen*

Scheinkorrelationen beschreiben eine zufällig vorhandene Korrelation oder eine Korrelation, die auch durch eine andere Einflussgröße beschrieben werden kann. Als Beispiel kann hier der Wind als Einfluss auf den Lastgang einer Filiale angeführt werden. Durch Versuche und Analysen von Hörburger konnte herausgefunden werden, dass die Windgeschwindigkeit als Einflussgröße keine verbesserte Modellbeschreibung liefert, sondern nur einen Teil des Außentemperatur-Einflusses mit abbildet.

e. *Bestimmung der Modell-Güte*

Die Beurteilung eines Modells basierend auf einer linearen Regression kann sich als komplexe Angelegenheit herausstellen. Möglich ist, dass eine Beurteilung durch Zahlen-Werte, welche die lineare Korrelation beschreiben, in einem guten Ergebnis resultieren, wogegen eine subjektive Betrachtung des Modelllastgangs gegenüber dem Ist-Lastgang in einem Ergebnis resultiert, das noch nicht zufriedenstellend ist.

i. Anhand statistischer Ergebnis-Parameter

Beschreibung, wie die statistischen Ergebnis-Parameter genutzt werden können, um zu beurteilen, ob eine Regression gut ist. Dies ist als theoretischer Ansatz anzusehen.

ii. Anhand weiterer geeigneter Kennwerte

Als praxisorientierterer Ansatz sollte die Abweichung zwischen Modell und Ist-Lastgang als kumulierter Wert über verschiedene Zeiträume, wie beispielsweise Monatswerte, betrachtet werden. Als weitere Möglichkeit können negative und positive Abweichungen separat betrachtet werden.

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

8. Prozessuale Herausforderungen und Empfehlungen

An dieser Stelle sollen Herausforderungen beschrieben werden, die nicht die Methodik der linearen multiplen Regression betreffen, sondern aus der Praxis vor Ort in der Filiale resultieren.

a. Installation von zusätzlichen Untermessungen

Zur Beurteilung einer Filiale und für das Verständnis der Verbraucher-Gruppen ist oftmals eine einzelne (oft vorhandene) Messstelle für den Gesamtverbrauch nicht ausreichend. Untermessung(en), die einzelne Verbraucher-Gruppen messen sind teilweise unabdingbar zur Identifikation von Problemen und der genauen Zuordnung von Lastgängen.

b. Verfügbarkeit historischer Anlagendaten als Einflussgröße

In der Praxis ist oftmals keine Zeit, um ausführliche Baseline-Bildungen durchzuführen und um den Zustand vor der Energieeffizienz-Maßnahme ausreichend beschreiben zu können. Ist dies nicht möglich, müssen die benötigten Einflussgrößen nach Möglichkeit auf andere Weise beschafft oder abgeleitet werden, da sonst keine Modellbildung möglich ist. Je nach Verbraucher-Gruppe liegen eventuell in alten Steuerungen Zeitprogramme und Betriebsparameter vor, die es erlauben, die Einflussgröße(n) ausreichend genau zu rekonstruieren. Weiterhin können Mitarbeiter, die den Anlagenbetrieb mitbetreuen, wichtige Hinweise liefern. Liegen diese Daten nicht vor oder ist es nicht möglich Zugang zu diesen Daten zu erlangen, erweist sich eine Modellbildung mit gutem Ergebnis als kaum möglich. Es sollte also bereits im Vorfeld der Vorbereitung eines Projekts mit bedacht werden, wie diese Daten beschafft werden können.

c. Nicht erklärbare kurzfristige und langfristige Anomalien

Besonders im Fall der Betrachtung eines komplexen Systems, wie einer Filiale mit verschiedenen Verbraucher-Gruppen, ist es teilweise schwer, kurzfristig und langfristig erhöhte Lasten oder Unregelmäßigkeiten eindeutig einem Verbraucher zuzuordnen. Oftmals bestätigen sich Vermutungen, wie das Nicht-Ausschalten der Klimaanlage über Nacht oder die Aktivität der Lüftungsanlage über einen längeren Zeitraum aufgrund einer defekten Regelung als kurzfristige oder langfristige Anomalie.

Sollte kein Zugriff auf Anlagendaten gegeben sein oder sind keine verlässlichen Informationen aus der Filiale verfügbar, erweist sich die Installation von Untermessungen oft als unumgänglich.

d. Komfort-Steigerung vs. Einsparung

Neben einer reinen Energieeffizienzmaßnahme kann es auch vorkommen, dass die vorhandene Anlagentechnik im Filial-Betrieb nicht ausreichend ist, um gewünschte Zielwerte wie Temperaturen sowie eine bestimmte Luftqualität zu erreichen. Als Grund kann hier neben einer nicht idealen Ansteuerung der Anlagetechnik auch eine Unterdimensionierung der Anlagenkomponenten der Grund sein. Ist die Anlage unterdimensioniert und wird die Anlagentechnik ausgetauscht sowie korrekt dimensioniert, kann sich ein erhöhter Energiebedarf ergeben, obwohl energieeffizientere Komponenten zum Einsatz kommen. Eine Effizienzsteigerung ist damit nicht nachgewiesen worden (unterschiedliche Eigenschaften des System-Nutzens).

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt

9. Erkenntnisse und Fazit

Herausforderungen und zukünftige Bereiche für Verbesserungspotenzial:

- Historische Anlagendaten und Verbrauchsdaten/Unterzählung für Baseline-Bildung
- Handhabung der „Anomalien" im Baseline-Zeitraum mit Zeitreihen als zu aufwendiger Ansatz; Daher wird Nicht-Berücksichtigen dieser Zeiträume angestrebt.
- Gewerkspezifische Berücksichtigung von verschiedenartigen „Anomalien" im Baseline-Zeitraum als Mehrverbrauch im Modell

Ausblick:

Für den verbleibenden Förderzeitraum von 3 Jahren werden bei der Modellbildung anhand von vorhandenen Datensätzen gewerkspezifische Anomalien bzw. Einflüsse auf das Verbrauchsverhalten von Standorten weiter eingegrenzt und zusammengefasst. Die verfeinerte Modellierung hat das Ziel, eine mindestens gleichwertige oder verbesserte Baseline zur bisherigen Methode darzubieten. Weiterhin besteht die Aufgabe, die Modellbildung als Mikroservice in das eigens entwickelte IoT-Portal QBRX einzubinden und sich somit vom Excel-Tool zu lösen. Dadurch kann eine dynamische und anpassbare Modellbildung mit geringerem manuellem Aufwand stattfinden.

Zusammengefasst wurde die Erkenntnis gewonnen, dass die grundsätzliche Herangehensweise eine gute Basis zur Entwicklung der angestrebten neuen Geschäftsmodelle darstellt.

Stichworte: Einsparzähler, Digitaler Gebäudezwilling, Energieeffizienz, lineare Regression, Einflussgrößen

Sie haben Fragen zu diesem Artikel oder ganz allgemein zum Förderprogramm Einsparzähler und unseren Lösungen?

Wir sind gerne für Sie da.

Hörburger GmbH
Niederlassung Erfurt
Am Urbicher Kreuz 32
99099 Erfurt

Ihr Ansprechpartner:
Anni Blumenstock
Tel. +49 (0) 361 / 44214-0
E-Mail: anni.blumenstock@hoerburger.de

www.hoerburger.de

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

© 2023 Hörburger GmbH, Niederlassung Erfurt