

# NACHWEIS-DOKUMENTATION – EINSPARZÄHLERPROJEKT (ESZ-A-2018044)

Hörburger GmbH, Objekt Nr. 23\_L – Einzelhandelsfiliale

## 1. Systembeschreibung

Betrachtet wird das System „Lüftungsanlage Einzelhandelsfiliale“ in Bezug auf den elektrischen Gesamt-Energiebedarf. Die „Lüftungsanlage Einzelhandelsfiliale“ dient als einziges System zur Beheizung, Klimatisierung und zum Luftersatz der gesamten Verkaufsfläche. Wärme und Kälte werden der Lüftungsanlage aus separaten Erzeugungsanlagen zugeführt und hier zunächst nicht betrachtet, da keine Daten zur Baseline-Bildung vorlagen. Als Teilsysteme des Energiebedarfs sind folgende Komponenten anzuführen: Abluftventilator, Zuluftventilator sowie Pumpen. Die Optimierung des Systems betrifft alle Energieformen, die Einsparung an Wärme und Kälte kann aber leider aus voran genannten Gründen nicht belastbar nachgewiesen werden. Die Optimierungsmaßnahme besteht in der Veränderung der Steuerungs- und Regelungsstrategie der Lüftungsanlage hin zu einer bedarfsgeführten Strategie. Genutzt wurde das Pilotprojekt Einsparzähler zur Identifikation der bisher nicht bedarfsgeführten Ansteuerung, wobei die Lüftungsanlage während Öffnungszeiten der Filiale konstant unter Volllast betrieben wurde. Die Regelstrategie der Lüftungsanlage wurde so angepasst, dass diese nur in dem Maße betrieben wird, wie es Heiz- oder Kühlbedarf oder die Luftqualität erfordern.

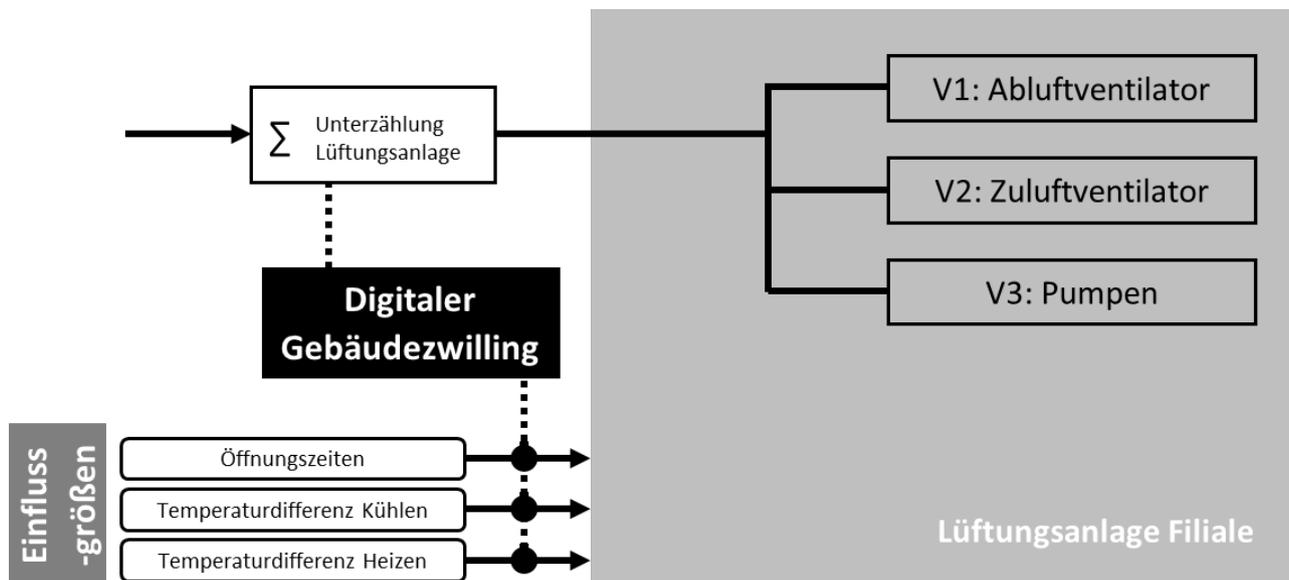


Abbildung 1: Systemskizze mit den Einflussgrößen für die betrachtete Filiale

**Messkonzept:** Standard-Messkonzept

**Energieeffizienzmaßnahmen:**

1. Bedarfsgeführte Ansteuerung der Lüftungsanlage unter Nutzung des Regelparameters Luftqualität

## 2. Modellbildung

### Beschreibung der Einflussgrößen

Einflussgröße	Beschreibung
Öffnungsstunden pro Tag (x1)	Öffnungsdauer in Stunden für jeden Tag
Temperaturdifferenz Kühlen (x2)	Wert zur Beschreibung des Kühl-Falles in Abhängigkeit der Außentemperatur als Tagesmittelwert
Temperaturdifferenz Heizen (x3)	Wert zur Beschreibung des Heiz-Falles in Abhängigkeit der Außentemperatur als Tagesmittelwert

Tabelle 1: Einflussgrößen für die Modellbildung

### Außentemperatur-Einfluss und Schwellwert-Kühlen/-Heizen:

- Der Heiz-Fall und Kühl-Fall wird als Teil der elektrischen Last separat betrachtet.
- Ein starker Anstieg in der Nutzung der Kühlung verzeichnet sich im Kühl-Ast ab einer Außentemperatur von  $> 10\text{ °C}$ .
- Im Heiz-Ast verzeichnet sich ab einer Außentemperatur von  $< 8\text{ °C}$  eine zunehmende Aktivität der Heiz-Funktionalität.

### Die Werte für den Heiz-Fall und Kühl-Fall beschreiben sich wie folgt:

- Heiz-Fall: „Schwellwert-Heizen  $T_S$ “ – „Außentemperatur  $T_A$ “ → Einflussgröße Heiz-Fall:  $T_S - T_A$
- Kühl-Fall: „Außentemperatur  $T_A$ “ – „Schwellwert-Kühlen  $T_S$ “ → Einflussgröße Kühl-Fall:  $T_A - T_S$

### Baseline-Zeitraum

Zur Bildung des Modells und als Baseline wurde der Zeitraum vom 24.10.2018 bis zum 14.05.2019 vor Umsetzung der Energieeffizienzmaßnahmen gewählt. Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgten im Zeitraum Juni bis August 2019, sodass der Berichtszeitraum ab dem 10.09.2019 begann. Der gewählte Zeitraum für die Baseline umfasst für das betrachtete System kein gesamtes Jahr, da vor dem Beginn des Baseline-Zeitraums im September 2018 eine andere Betriebsführung erkennbar ist. Dennoch eignet sich der Zeitraum von mehr als 9 Monaten zur Baseline-Bildung, da in diesem Zeitraum auch der Außentemperatureinfluss mitmodelliert werden kann. Zur Bildung der Baseline wurde im vorliegenden System nicht der gesamte Zeitraum vom 24.10.2018 bis 14.05.2019 genutzt, da unterschiedliche Fahrweisen der Anlage identifiziert wurden. Nicht repräsentative Tage wurden daher für den Digitalen Gebäudewilling eliminiert und die Modellbildung nur anhand relevanter Verbrauchsdaten generiert.

### Baseline-Bildung

Zur Baseline-Bildung wird die Modellbildung auf Basis der Regressions-Analyse anhand von Tages-Werten durchgeführt. Das vorliegende System zeigte vor der Effizienz-Maßnahme einen massiven Mehrverbrauch auf, der sich durch eine nicht bedarfsgeführte Ansteuerung ergab. Die gewählte Baseline zeigt den Energiebedarf in Abhängigkeit von den Filial-Betriebsstunden pro Tag, dem Außentemperatureinfluss im Kühl-Fall und dem Außentemperatureinfluss im Heiz-Fall auf.

### 3. Ergebnisse und Auswertung

#### Beispielhafte Ausschnitte des Lastgangs

Im Folgenden wird der tatsächliche Lastgang dem Modelllastgang in zwei Darstellungen gegenübergestellt. Dazu wird der Verlauf im Zeitraum der Baseline-Bildung, sowie des Berichtszeitraums aufgezeigt. Der unbereinigte Verlauf (in rot) zeigt die tatsächlich benötigte elektrische Energiemenge auf. Der bereinigte Verlauf (in schwarz) zeigt den durch die Einflussgröße gebildeten Verlauf der benötigten elektrischen Energiemenge pro Tag als Modell auf. Im Baseline-Zeitraum kann gegengeprüft werden, wie gut das Modell den IST-Bedarf abbildet. In der zweiten Darstellung ist im weiteren Verlauf des Berichtszeitraums zu sehen, inwieweit sich der Betrieb der Lüftungsanlage L01 geändert hat und die resultierende Auswirkung auf den elektrischen Energiebedarf.

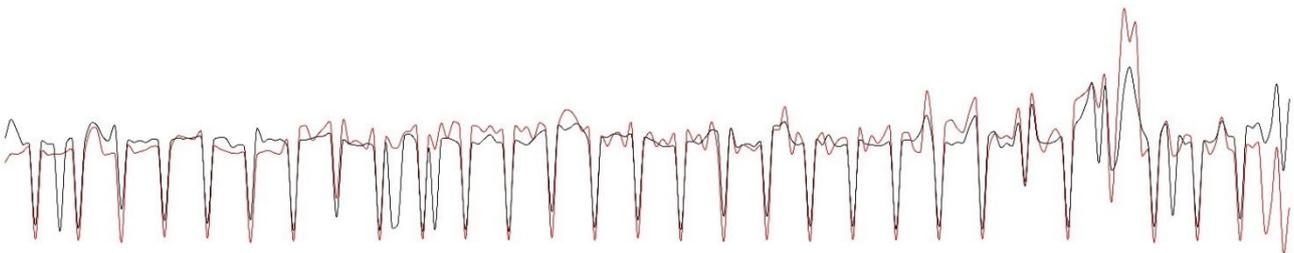


Abbildung 2: Baseline-Zeitraum (24. Oktober 2018 – 14. Mai 2019). Rot: unbereinigt; Schwarz: bereinigt.

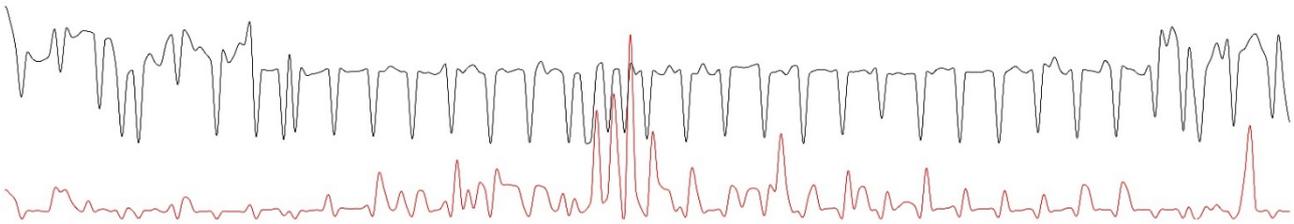


Abbildung 3: Ausschnitt Berichtszeitraum (September 2019 – April 2020). Rot: unbereinigt; Schwarz: bereinigt.

#### Ergebnis der Baseline-Bildung

Als Ergebnis der statistischen Modell-Bildung ergibt sich folgende mathematische Funktion in Abhängigkeit der drei Einflussgrößen:

$$\text{Energiemenge pro Tag [kWh]} = 379,1 + 23,06 * x1 + 38,53 * x2 + 7,22 * x3$$

Wobei die Zuordnung zu den Einflussgrößen aus der Tabelle der vorherigen Seite entnommen werden kann.

Die Lineare Regression zur Erstellung des Modells zeigt dabei folgende statistische Ergebnis-Werte auf:

Multipler Korrelationskoeffizient	0,884
Bestimmtheitsmaß	0,781
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,777
Standardfehler	75,1
Beobachtungen	182

Tabelle 2: Statistische Ergebniswerte der linearen Regression

### Einsparungen im Zeitraum 10.09.2019 – 14.06.2023 (Ergebnis aus Berechnung nach Modellanpassung):

Energiemenge: 699.851 kWh

Effizienzsteigerung: 71 % (eingesparte Energiemenge in Bezug auf Modell-Verbrauch im Betrachtungszeitraum)

### Ergänzende Anmerkungen nach Überarbeitung zum 3. Zwischennachweis 2021 (Modell 2):

Zur Verbesserung der Modellgüte (R2) wurde das Regressionsmodell weiter angepasst:

- Umstellung von Tages- auf Stundenbasis
- Identifikation von Anomalien im Baseline-Zeitraum und Berücksichtigung dieser durch Abbildung als weitere Einflussgrößen:
  - Anomalie 1 (x4): „manuelle Zuschaltung“: Die Lüftungsanlage wurde nach Kundenangaben bei Bedarf manuell in eine höhere Leistungsstufe geschaltet. Da keine Messwerte zur Beschreibung dieses Einflusses vorliegen, wird dieser durch Ableitung aus dem gemessenen Lastgang ermittelt.
  - Anomalie 2 (x5): „erhöhte Grundlast“: Beschreibt die Nicht-Abschaltung der Anlage in den Nachstunden
- Es kommt zu einer leichten Verringerung der ausgewiesenen Einsparung.
- Der Zeitraum für die Baseline-Bildung bleibt unverändert.
- Reduktion der Einsparung von 191.954 kWh auf 166.454 kWh (Delta von 25.500 kWh).
- Neuer Korrelationskoeffizient: 0,952, (adj.) Bestimmtheitsmaß: 0,906.
- Die Abbildung des Lastganges auf Basis von Stundenwerten durch die Modellwerte im Baseline-Zeitraum ist in Abbildung 4 ersichtlich.



Abbildung 4: Lastgang aus Messwerten (grau) und Modellrechnung (rot) im Baseline-Zeitraum, Ausschnitt vom 07.10.18 – 12.11.18

- Die Energieeinsparung im Nachweiszeitraum durch Absenkung der Grundlast zeigt Abbildung 5.



Abbildung 5: Lastgang aus Messwerten (grau) und Modellrechnung (rot) im Nachweiszeitraum, Ausschnitt vom 05.03.20 – 18.03.20

#### Ergänzende Anmerkungen nach Überarbeitung zum 4. Zwischennachweis 2022 (Modell 3):

- Die Abhängigkeit der Last von der Außentemperatur während der Öffnungszeiten am Standort wurde durch Auftragung der Messwerte im Baseline-Zeitraum in einem Streudiagramm untersucht.
- Ein Außentemperatureinfluss konnte nicht nachgewiesen werden (vgl. Abbildung 6 und 7), sodass die Einflussgrößen x2 (Temperaturdifferenz Kühlen) und x3 (Temperaturdifferenz. Heizen) aus dem Modell gestrichen wurden.
- Die weiterhin identifizierten Anomalien wurden weiter untersucht und deren Berücksichtigung als Einflussfaktor im Modell weiter angepasst:
  - Anomalie 1 (x4): „manuelle Zuschaltung“: Im Baseline-Zeitraum wird der Einfluss aus dem Lastgang abgeleitet, da aufgrund der händischen Schaltung durch Mitarbeiter vor Ort keine adäquaten Messwerte verfügbar sind. Mit der Modernisierung der Anlage wurde diese manuell geregelte freie Kühlung um ein Kühlaggregat, welches nach Temperatur und CO<sub>2</sub>-Gehalt der Raumluft geregelt wird, erweitert. Die Lüftung schaltet in eine höhere Leistungsstufe nach Steuerungsvorgaben der verbrauchten MSR-Technik (z. B. TAbluft > 22 °C, vgl. Abbildung 8). Aufgrund der Komplexität des hinterlegten Algorithmus wird die Regelgröße „Anforderung Luftmenge“ zur Abbildung verschiedener Einflussgrößen, wie z. B. „Raumtemperatur“, „Sollwert Raumtemperatur“, „Luftqualität“ („CO<sub>2</sub>-Gehalt Raumluft“), „Sollwert Luftqualität“ und „Außentemperatur“ verwendet. Die Zuschaltung entspricht daher im Nachweiszeitraum den Messwerten der Regelgröße „Anforderung Luftmenge“ und wird zur weiteren Abbildung der Einflussgröße im Modell verwendet.
  - Anomalie 2 (x5): „erhöhte Grundlast“: Die Einflussgröße wurde wieder aus dem Modell gestrichen, da die Nicht-Abschaltung der Anlage bereits durch die Öffnungszeiten hinreichend beschrieben wird.
- Nach Neuberechnung der Modellparameter mit den Einflussgrößen Öffnungszeiten (x1) und „manuelle Zuschaltung“ (x2) ergibt sich für den Modelllastgang folgende Funktion:

$$\text{Lastgang}_{\text{neu}}[\text{kW}] = 15,99 + 20,16 * x1 + 26,88 * x2$$

Mit den statistischen Werten: Multipler Korrelationskoeffizient: 0,945; Bestimmtheitsmaß: 0,893; Adj. Bestimmtheitsmaß: 0,893; Standardfehler: 4,58.

- Die aus der Differenz von Modell- und gemessenem Lastgang berechneten Energieeinsparungen ändern sich im bisher betrachteten Nachweiszeitraum gegenüber dem zuvor eingereichten Modell um insgesamt -3 %. Nachfolgend eine vergleichende Übersicht der bisherigen (eingereichten) mit den Neuberechneten Summen.

	Berechnete Energieeinsparungen in kWh			Abweichung Modell 2-3
	Modell 1	Modell 2	Modell 3	
1. Förderjahr	–	–	–	–
2. Förderjahr	186.656	166.455	166.076	0 %
3. Förderjahr	268.754	184.224	175.346	-5 %
4. Förderjahr	305.660	190.259	185.604	-2 %
Gesamt	761.070	540.937	527.026	-3 %

Tabelle 3: Vergleich der berechneten Energieeinsparungen in kWh vor und nach der Modellanpassung von Modell 2 zu Modell 3

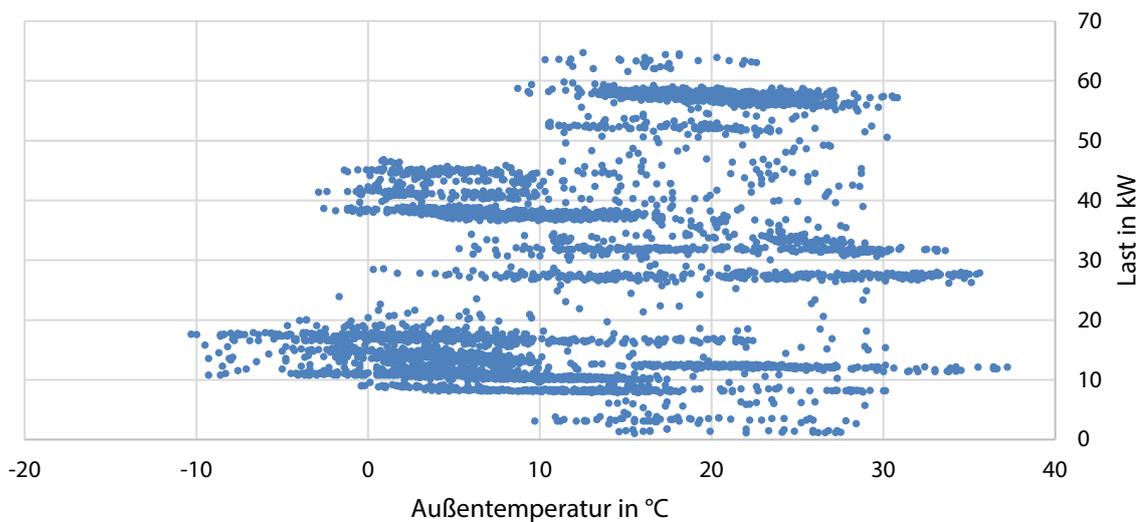


Abbildung 6: Mittlere stündliche Leistung über der Außentemperatur. Messwerte aus dem Jahr 2018 während der Öffnungszeiten (ÖZ = 1).

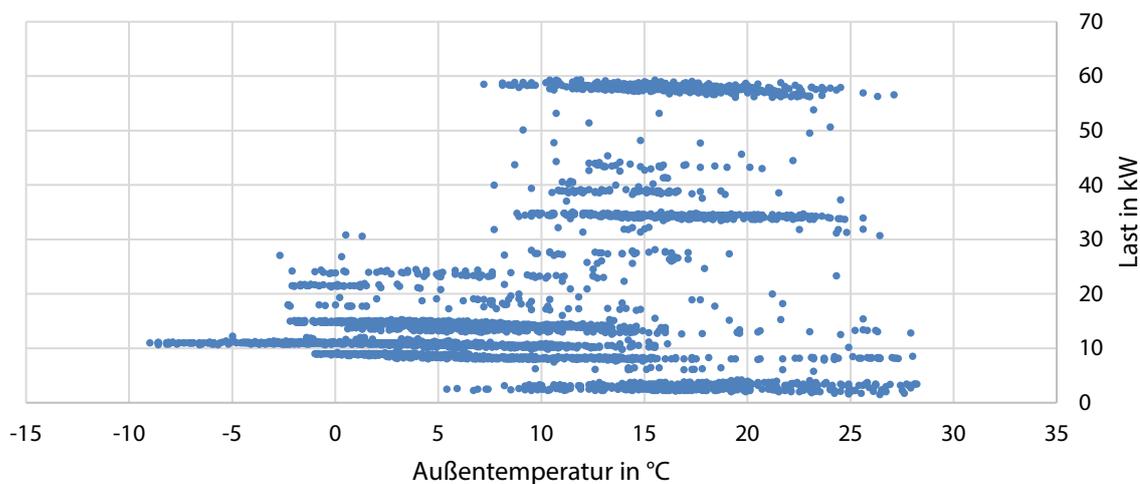


Abbildung 7: Mittlere stündliche Leistung über der Außentemperatur. Messwerte aus dem Jahr 2018 außerhalb der Öffnungszeiten (ÖZ = 0).

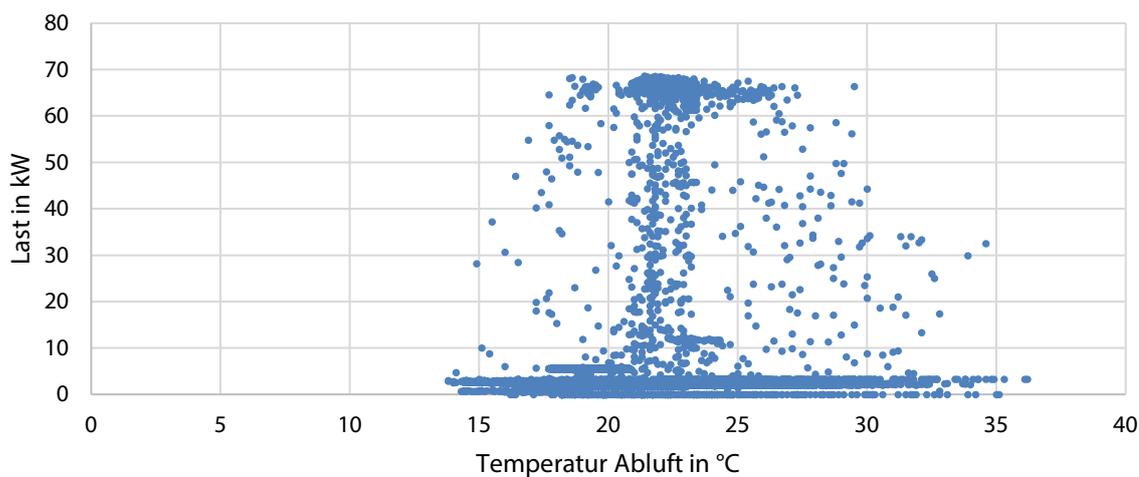


Abbildung 8: Mittlere stündliche Leistung über der Ablufttemperatur während der Öffnungszeiten. Messwerte aus dem Nachweiszeitraum ab 10.09.2019 bis 14.06.2022. Ab 22 °C schaltet die Lüftungsanlage in eine höhere Leistungsstufe.

## Sie haben Fragen zu diesem Nachweis 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: [erfurt@hoerburger.de](mailto:erfurt@hoerburger.de)

[www.hoerburger.de](http://www.hoerburger.de)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages