



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Energieforschung und Cleantech

**Schlussbericht vom 30.09.2023**

---

# Energieeinsparpotenzial Fensterservice



Quelle: Adobe Stock



# HSLU Hochschule Luzern

**Datum:** 30.09.2023

**Ort:** Bern

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Ko-Finanzierung:**

Kanton Luzern, Umwelt und Energie (uwe),  
Libellenrain 15, Postfach, 6002 Luzern

SIEGENIA-AUBI AG,  
Zelgstrasse 97, 3661 Uetendorf

MAICO G.M.B.H  
Sandgrube 29, 9050 Appenzell

1a hunkeler fenster AG,  
Bahnhofstrasse 20, 6030 Ebikon

4B AG,  
an der Ron 7, 6280 Hochdorf

**Subventionsempfänger/innen:**

Hochschule Luzern, Technik & Architektur  
Technikumstrasse 21, 6048 CH-Horw  
[www.hslu.ch](http://www.hslu.ch)

**Autor/in:**

Reto Gadola, Hochschule Luzern, [reto.gadola@hslu.ch](mailto:reto.gadola@hslu.ch)  
Beda Bossard, Hochschule Luzern, [beda.bossard@hslu.ch](mailto:beda.bossard@hslu.ch)  
Gregor Notter, Hochschule Luzern, [gregor.notter@hslu.ch](mailto:gregor.notter@hslu.ch)  
Urs-Peter Menti, Hochschule Luzern, [urs-peter.menti@hslu.ch](mailto:urs-peter.menti@hslu.ch)

**BFE-Projektbegleitung:**

Nadège Vetterli, [nadege.vetterli@anex.ch](mailto:nadege.vetterli@anex.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/502487-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**



## Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Studie war die Beantwortung der Frage, ob mit einem Fensterservice eine relevante Energieeinsparung erzielt wird. Die Frage wurde anhand von Luftdichtigkeitsmessungen in zwanzig Wohneinheiten beantwortet, in denen die Fenster älter als acht Jahre waren. Dabei kamen Ein- und Mehrflügel Fenster aus Holz, Holz-Metall und Kunststoff vor. Für die Ermittlung des Energieeinsparpotenzials wurden in allen Wohneinheiten je eine Luftdichtigkeitsmessungen vor und nach dem Fensterservice durchgeführt.

Das Energieeinsparpotenzial ergibt sich aus der Differenz zwischen der gemessenen Luftdichtigkeit vor und nach dem Fensterservice. Aus der Luftdichtigkeit lässt sich der Lüftungswärmeverlust ermitteln und unter Berücksichtigung des entsprechenden Energieträgers und Wärmereizers kann die Endenergieeinsparung berechnet werden.

Die Resultate der einzelnen Wohneinheiten unterliegen grossen Schwankungen: Die Einsparungen liegen zwischen -120 kWh/a und +311 kWh/a. Ein negativer Wert bedeutet, dass bei der zweiten Messung ein höherer Volumenstrom gemessen wurde. Über alle gemessenen Wohneinheiten können 799 kWh/a Endenergie eingespart werden. Auf die EBF bezogen liegt die Einsparung bei 0.28 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Die Einsparung bei den Treibhausgasemissionen liegt bei 0.06 kg/(m<sup>2</sup>·a). Auf den gesamten Wohnungspark hochgerechnet liegen die Endenergie- und Treibhausgasemissions-Einsparung bei 132.8 GWh/a (0.23 %) und 28.4 MT/a.

Die relativ geringe Einsparung bei der Endenergie zeigt sich auch in der Wirtschaftlichkeit: Der Median der Rückzahldauer liegt bei 52.7 Jahren (der Mittelwert liegt bei 321 Jahren). Lediglich bei zwei Wohneinheiten ergab sich eine Rückzahldauer von unter 15 Jahren.

Die Messungen zeigen: Ein Fensterservice weist ein geringes Energieeinsparpotenzial auf und lohnt sich aus rein energetischer Sicht nicht. Nicht berücksichtigt in dieser Betrachtung sind aber der durch einen Fensterservice gesteigerte Komfort (Luftzug, Aussenlärm), die verbesserte Schlagregendichtheit sowie die erhöhte Lebensdauer und die verbesserte Bedienbarkeit des Fensters.

## Résumé

L'objectif de la présente étude était de répondre à la question suivante : un service de fenêtres permet-il de réaliser des économies d'énergie significatives. Pour répondre à cette question, des mesures d'étanchéité à l'air ont été effectuées dans vingt logements dont les fenêtres avaient plus de huit ans. Il s'agissait de fenêtres à un ou plusieurs battants en bois, bois-métal et plastique. Pour déterminer le potentiel d'économie d'énergie, une mesure d'étanchéité à l'air a été effectuée dans chaque unité d'habitation avant et après l'entretien des fenêtres.

Le potentiel d'économie d'énergie résulte de la différence entre l'étanchéité à l'air mesurée avant et après le service des fenêtres. L'étanchéité à l'air permet de déterminer la perte de chaleur due à la ventilation et, en tenant compte de la source d'énergie et du générateur de chaleur correspondants, de calculer l'économie d'énergie finale.

Les résultats des différentes unités d'habitation sont très variables : Les économies varient entre -120 kWh/a et +311 kWh/an. Une valeur négative signifie qu'un débit plus élevé a été mesuré lors de la deuxième mesure. Sur l'ensemble des unités d'habitation mesurées, 799 kWh/an d'énergie finale peuvent être économisés. Rapportée à la SRE, l'économie est de 0,28 kWh/(m<sup>2</sup>·an). L'économie sur les émissions de gaz à effet de serre est de 0,06 kg/(m<sup>2</sup>·an). Extrapolées à l'ensemble du parc de logements, les économies d'énergie finale et d'émissions de gaz à effet de serre sont respectivement de 132,8 GWh/an (0,23 %) et de 28,4 MT/an.



L'économie d'énergie finale relativement faible se reflète également dans la rentabilité : la durée médiane de remboursement est de 52,7 ans (la valeur moyenne est de 321 ans). Seules deux unités d'habitation ont une durée de remboursement inférieure à 15 ans.

Les mesures montrent que : Un service de fenêtres présente un faible potentiel d'économie d'énergie et ne vaut pas la peine d'un point de vue purement énergétique. Mais cette analyse ne tient pas compte du confort accru (courants d'air, bruit extérieur), de l'amélioration de l'étanchéité à la pluie battante, de la durée de vie accrue et de la facilité d'utilisation de la fenêtre.

## Summary

The aim of the present study was to answer the question of whether or not a window service achieves a relevant energy saving. The question was answered on the basis of airtightness measurements in twenty residential units in which the windows were older than eight years. The windows included single and multiple casement windows made of wood, wood-metal and plastic. In order to determine the energy saving potential, air tightness measurements were carried out before and after the window service in each of the residential units.

The energy saving potential results from the difference between the measured air tightness before and after the window service. The ventilation heat loss can be determined from the air tightness and, taking into account the corresponding energy source and heat generator, the final energy saving can be calculated.

The results of the individual residential units are subject to large fluctuations: The savings range from -120 kWh/a to +311 kWh/a. A negative value means that a higher volume flow was measured in the second measurement. Over all measured residential units, 799 kWh/a of final energy can be saved. In relation to the EBF, the saving is 0.28 kWh/(m<sup>2</sup>·a). The saving in greenhouse gas emissions is 0.06 kg/(m<sup>2</sup>·a). Extrapolated to the entire housing park, the final energy and greenhouse gas emission savings are 132.8 GWh/a (0.23 %) and 28.4 MT/a, respectively.

The relatively low savings in final energy are also reflected in the economic efficiency: the median payback period is 52.7 years (the mean value is 321 years). Only two residential units had a payback period of less than 15 years.

The measurements show: A window service has a low energy-saving potential and is not worthwhile from a purely energetic point of view. However, this consideration does not take into account the increased comfort (draught, external noise), the improved driving rain tightness, the increased service life and the improved operability of the window.

## Take-home messages

- Mehrheitlich sind die Energieeinsparungen aufgrund eines Fensterservices gering.
- Die Kosten für den Service liegen pro Fenster bei Fr. 33.7.
- Die Energiekosteneinsparung pro Fenster liegt bei Fr. 0.36 pro Jahr.



# Inhaltsverzeichnis

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Zusammenfassung</b> .....                         | <b>3</b>  |
| <b>Résumé</b> .....                                  | <b>3</b>  |
| <b>Summary</b> .....                                 | <b>4</b>  |
| <b>Take-home messages</b> .....                      | <b>4</b>  |
| <b>Inhaltsverzeichnis</b> .....                      | <b>5</b>  |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....                   | <b>6</b>  |
| <b>1 Einleitung</b> .....                            | <b>7</b>  |
| 1.1 Ausgangslage und Hintergrund .....               | 7         |
| 1.2 Motivation des Projektes .....                   | 7         |
| 1.3 Projektziele .....                               | 7         |
| <b>2 Vorgehen und Methode</b> .....                  | <b>8</b>  |
| 2.1 Vorgehen .....                                   | 8         |
| 2.2 Grundlage für die Berechnung der Kennwerte ..... | 9         |
| 2.2.1 Energetische Kennwerte .....                   | 9         |
| 2.2.2 Wirtschaftlichkeit.....                        | 11        |
| 2.2.3 Spezifische Werte für den Vergleich .....      | 12        |
| 2.2.4 Mittelwerte aller Messungen .....              | 14        |
| 2.2.5 Empirisches Quantil (Median) .....             | 15        |
| <b>3 Ergebnisse und Diskussion</b> .....             | <b>16</b> |
| 3.1 Ergebnisse.....                                  | 16        |
| 3.2 Diskussion .....                                 | 26        |
| <b>4 Schlussfolgerungen und Fazit</b> .....          | <b>27</b> |
| <b>5 Ausblick und zukünftige Umsetzung</b> .....     | <b>27</b> |
| <b>6 Publikationen</b> .....                         | <b>28</b> |
| <b>7 Literaturverzeichnis</b> .....                  | <b>29</b> |
| <b>8 Anhang</b> .....                                | <b>30</b> |
| 8.1 Aufnahmeformular .....                           | 30        |



## Abkürzungsverzeichnis

|       |                         |
|-------|-------------------------|
| EBF   | Energiebezugsfläche     |
| FW    | Fernwärme               |
| lm    | Laufmeter               |
| THGE  | Treibhausgas-Emissionen |
| THG   | Treibhausgase           |
| LW-WP | Luftwasser-Wärmepumpe   |
| SW-WP | Solewasser-Wärmepumpe   |
| WW-WP | Wasserwasser-Wärmepumpe |



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Eine hohe Luftdichtheit von Gebäuden führt zu tiefer Infiltration und reduziert somit die Lüftungswärmeverluste durch die Gebäudehülle. Fenster und Fensteranschlüsse sind wesentliche Faktoren für die Luftdichtheit, wie eine Studie der FHNW zeigt [1]. Mit einem fachgerechten Fensterservice sollte die Luftdichtheit verbessert werden. Beim Fensterservice werden typischerweise folgende Arbeiten durchgeführt: Fensterflügel über Beschläge einjustieren/ausrichten, Anpressdruck überprüfen/einstellen, Gummidichtungsprofile richten oder ersetzen, Überschlagsdichtung nachfräsen/ergänzen. Von den Fensterherstellern wird ein regelmässiger Fensterservice empfohlen, dies erhöht die Lebensdauer und den Bedienkomfort der Fenster. Eine Umfrage bei den Fensterherstellern EgoKiefer und 1a-hunkeler zeigt aber, dass ein Fensterservice nur relativ selten durchgeführt wird. Zahlen liegen keine vor.

Die These lautet, dass mit einem fachgerechten Fensterservice die Luftdichtheit verbessert und somit Energie eingespart wird. Falls dies zutrifft, wird mit einem Fensterservice ein u.U. wichtiger Beitrag zur Energieeffizienz von Gebäuden geleistet, dies bei vergleichsweise geringem Aufwand.

Eine Recherche zum Thema zeigt einige Arbeiten, welche das Thema Gebäudedichtheit aufgreifen ([1], [2], [3], [4] und [5]). In den Dokumenten wurde zwar die Gebäudedichtheit untersucht, speziell auf das Energieeinsparpotenzial luftdichter Fenster wurde nur in einer Arbeit [5] eingegangen. In dieser Studie wurden die zwei ersten Passivhäuser nach 25 Jahren mit einer Messung vor und einer Messung nach dem Fensterservice (Austausch der Fensterdichtungen) nachgemessen. Das erste Gebäude war nach dem Fensterservice um 25 %, das zweite Gebäude um 28 % luftdichter. Diese Ergebnisse stützen die hier formulierte These.

## 1.2 Motivation des Projektes

Bis auf die Studie des Passivhaus Instituts [5] sind weder bei Fensterherstellern noch bei Zulieferern oder Gebäudebetreibern verlässliche Informationen verfügbar, wie gross der Effekt eines Fensterservices auf die Luftdichtheit ist und wie viel Energie damit eingespart wird. Ein Fensterservice ist mit einem geringen finanziellen und materiellen Aufwand verbunden. Falls sich beim Einzelobjekt ein Potenzial zeigen sollte, hätte dies aufgrund des Multiplikationseffektes eine grosse Hebelwirkung auf den Energieverbrauch und die Treibhausgas-Emissionen im Betrieb der Gebäude in der Schweiz. Wird ein Einsparpotenzial aufgezeigt, kann durch gezielte Information bei Gebäudebesitzer:innen und Nutzer:innen der Anteil an Fensterservices erhöht und somit das Energieeinsparpotenzial realisiert werden.

## 1.3 Projektziele

Ziel der Studie ist die messtechnische Ermittlung der Infiltrationsverluste vor und nach einem Fensterservice und daraus das Abschätzen des Energieeinsparpotenzials eines Fensterservices im Gebäudebestand. Im Fokus stehen Ein- und Mehrfamilienhäuser mit Fenstern und Fenstertüren ab einem Alter von acht Jahren, da diese noch einige Jahre bestehen bleiben und doch schon einige Zeit im Einsatz stehen. Neuere Fenster werden nicht untersucht, da hier angenommen wird, dass diese korrekt eingestellt sind. Um das Ziel zu erreichen, werden nachfolgende Fragen beantwortet:

1. Wie verändert sich die Luftdichtheit der Wohneinheit dank eines Fensterservices?
2. Welches Energieeinsparpotenzial resultiert aus der Differenz der Luftdichtheit vor und nach dem Fensterservice?
3. Ist der Fensterservice wirtschaftlich?



## 2 Vorgehen und Methode

### 2.1 Vorgehen

Das Projekt wird in sechs Arbeitspakete gegliedert:

1. Vorbereitungsarbeiten
2. Suche nach geeigneten Objekten und Organisation der Termine
3. Durchführung der Messungen (inkl. Erfassen der gebäudespezifischen Kenngrößen) vor dem Fensterservice, Durchführung des Fensterservices, Messungen nach dem Fensterservice
4. Auswertung der Messungen, Berechnen der energetischen und wirtschaftlichen Kennwerte
5. Projektbericht
6. Dissemination der Resultate

Wurde eine geeignete Wohneinheit gefunden (Arbeitspaket 2), wird umgehend mit dem dritten und vierten Arbeitspaket gestartet. Parallel dazu geht die Suche nach weiteren Wohneinheiten weiter. So können Erfahrungen aus den ersten Messungen bereits in die nachfolgenden Messungen einfließen.

#### **Arbeitspaket 1 (Vorbereitungsarbeiten)**

Für die Erfassung der Kenngrößen der einzelnen Wohneinheiten wird ein Excelformular erstellt. Darin enthalten sind:

- die objektspezifischen Kennwerte
- die Messwerte (siehe Arbeitspaket 3)
- die Rechenwerte (siehe Arbeitspaket 4)

Die objektspezifischen Kenngrößen sind:

- Energiebezugsfläche (EBF) der Wohneinheit nach [6]
- Hüllfläche, Volumen; beide berechnet nach [7]
- Anzahl, Alter, Typ, Materialisierung, Rahmenlichtmass und Fugenlänge der Fenster
- Art der Wärmeerzeugung
- Baujahr / letzte Sanierung der Fenster

Wo vorhanden werden die Pläne als Quelle für die Kennwerte genutzt. Bei fehlenden Planunterlagen werden die Kenngrößen vor Ort erhoben.

#### **Arbeitspaket 2 (Objektsuche)**

Berücksichtigt werden zwanzig Wohneinheiten, bei denen die Fenster älter als acht Jahre sind. Um an geeignete Wohneinheiten zu gelangen, werden Kontakte der Fensterhersteller und Kontakte der HSLU genutzt. Neben dem Alter der Fenster wird nach Möglichkeit auf eine gleichmässige Verteilung bei der Materialisierung (Holz, Holz-Metall und Kunststoff) geachtet. Wohneinheiten mit Metall-Fenster bilden die Ausnahme.

#### **Arbeitspaket 3 (Messungen)**

Die Messungen werden folgendermassen durchgeführt:

- Durchführung der ersten Messung
- Fenster neu einstellen
- Durchführung der zweiten Messung

Die Wohneinheiten werden nach der RiLuMi [7], Verfahren 2 gemessen. Abluftanlagen und Lüftungsanlagen werden bei der Messung luftdicht abgeschlossen. Dies ermöglicht den Vergleich mit Grenzwerten von SIA [8] und Minergie [9].



Das Luftdichtheits-Messgerät wird in den Rahmen der Wohnungs-Eingangstüre eingebaut, diese wird somit nicht mitgemessen.

Aus organisatorischen Gründen können die verschiedenen Arbeitsschritte meist nicht am gleichen Arbeitstag ausgeführt werden. Es wird aber darauf geachtet, dass die beiden Luftdichtheitsmessungen mit möglichst identischen Rahmenbedingungen (prov. Abdichtungen etc.) ausgeführt werden.

Der Fensterservice wird von fachkundigem Personal durchgeführt. Die Auftragsvergabe ist Sache der Eigentümer:innen. Die Kosten für den Service (inkl. Spesen) gehen zu Lasten der Eigentümer:innen.

#### **Arbeitspaket 4 (Auswertungen)**

Anhand der objektspezifischen Kennwerte und der gemessenen Leckagenströme werden pro Wohneinheit die Rechenwerte ermittelt. Die EN 832 [10] bildet die Grundlage für die Berechnung der energetischen Rechenwerte. Die wirtschaftlichen Kennwerte berechnen sich nach der SIA 480 [11]. Die Berechnung ist in 2.2 beschrieben.

Folgende Grössen werden berechnet:

- Differenz der Leckagenströme

Aus der Differenz resultieren die

- jährliche Wärmemenge,
- jährliche Endenergie,
- jährliche Treibhausgas-Emissionen,
- jährliche Kosteneinsparungen und
- Rückzahldauer.

Üblicherweise sind in einer Wohneinheit verschiedene Fenstertypen anzutreffen, es gibt Ein-, Zwei- und Mehrflügel Fenster, Hebeschiebe-, Schiebefenstertüren und Balkontüren. Eine Aussage, wie gross die Leckage eines einzelnen Fensters in der Wohneinheit ist, ist mit dem gewählten Vorgehen nicht möglich.

Resultiert aus der Berechnung eine Einsparung, wird anhand der Rückzahldauer [12] die Wirtschaftlichkeit bestimmt. Die Einsparung wird als wirtschaftlich angesehen, wenn die Rückzahldauer unter 15 Jahren liegt. Diese Betrachtungsperiode leitet sich von der Nutzungsdauer der Fenster von 30 Jahren [13] ab und dass nach der halben Lebensdauer von 15 Jahren ein Fensterservice durchgeführt wird.

#### **Arbeitspaket 5 (Projektbericht)**

Die objektspezifischen Kennwerte sowie die Mess- und Rechenwerte der einzelnen Wohneinheiten werden zusammengetragen und im Bericht dokumentiert.

#### **Arbeitspaket 6 (Dissemination)**

Die Ergebnisse werden nach Möglichkeit in Fachzeitschriften publiziert und an Fachtagungen vorgestellt.

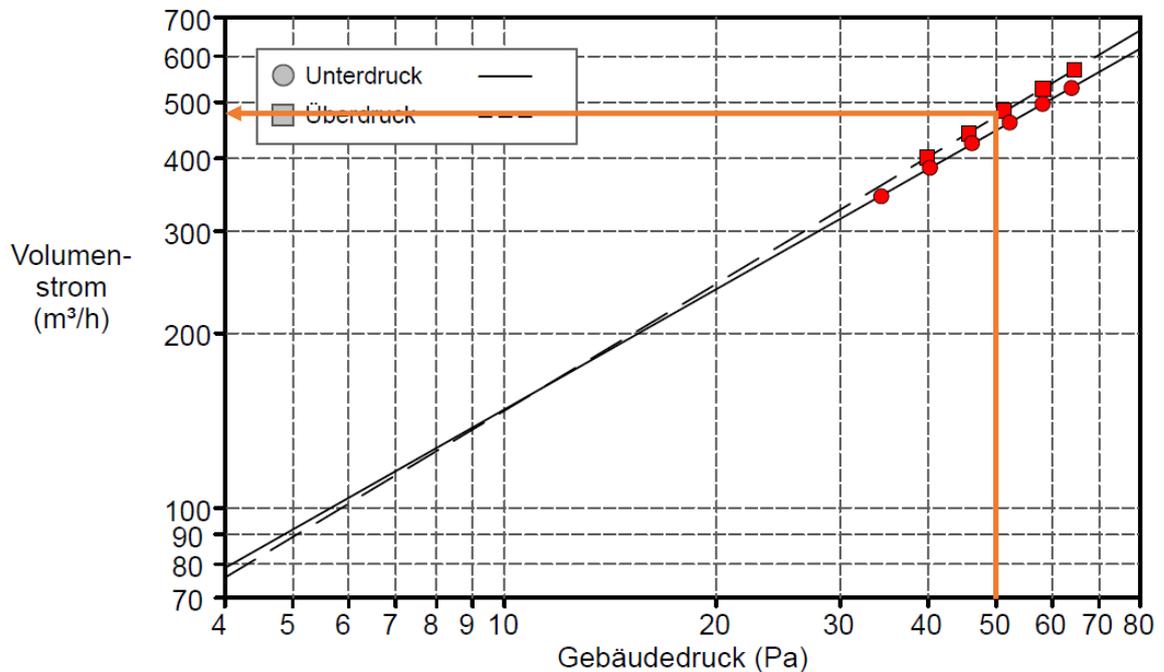
## **2.2 Grundlage für die Berechnung der Kennwerte**

### **2.2.1 Energetische Kennwerte**

Die Messungen erfolgen nach der RiLuMi [7], Messverfahren 2 einmal im Über- und einmal im Unterdruck. Dabei werden je mindestens fünf Druckstufen gemessen und in einem Diagramm dargestellt (siehe Abbildung 1). Beim Schnittpunkt bei 50 Pa und der Trendlinie aus den Messpunkten wird der Leckagestrom  $q_{50}$  für den Über- und Unterdruck abgelesen. Daraus wird ein Mittelwert gebildet, dies ist der massgebende Leckagestrom der Messung in  $m^3/h$  bei der Druckdifferenz von 50 Pa.



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Druckstufen von Über- und Unterdruckmessung. Das Ablesebeispiel zeigt bei 50 Pa einen Leckagestrom beim Überdruck von 480 m<sup>3</sup>/h



Die Messwerte werden auf repräsentative Druckverhältnisse (Windanströmung, Luftdruck) im schweizerischen Mittelland nach EN 832:1998 [10] umgerechnet.

$$\Delta V = (q_{50,1} - q_{50,2}) \cdot e$$

1

$\Delta V$  Volumenstromdifferenz bei Umgebungsbedingungen in m<sup>3</sup>/h

$q_{50,1}$  Gemessener, durchschnittlicher Leckagestrom aus erster Messung in m<sup>3</sup>/h

$q_{50,2}$  Gemessener, durchschnittlicher Leckagestrom aus zweiter Messung in m<sup>3</sup>/h

$e$  Korrekturkoeffizient nach Tabelle 1

Tabelle 1: Korrekturkoeffizient für die Umrechnung von 50 Pa Druckdifferenz auf durchschnittliche Druckdifferenzen

| Abschirmung | Abschirmungs-koeffizient<br>$e$ |
|-------------|---------------------------------|
| gut         | 0.01                            |
| moderat     | 0.07                            |
| keine       | 0.10                            |



Der jährliche Lüftungswärmeverlust wird monatsweise nach der Methode der SIA 380/1:2016 [14] (Anhang D, Gleichungen 108 und 110) berechnet.

$$\rho_a \cdot c_a = \frac{1220 - 0.14 \cdot h}{3600} \quad 2$$

$$\Delta Q_V = \sum_{j=1}^{12} \frac{(\theta_i - \theta_e) \cdot \Delta V \cdot t_c \cdot 24 \cdot \rho_a \cdot c_a \cdot f_c}{1000} \quad 3$$

$\rho_a \cdot c_a$  spez. Wärmespeicherfähigkeit der Luft in Wh/(m<sup>3</sup>·K)

$h$  Höhe Klimastation nach SIA 2028 in m ü.M.

$\Delta Q_V$  Lüftungswärmeverlust in kWh/a

$t_c$  Länge Berechnungsschritt in d nach Tabelle 2

$\theta_i$  Raumtemperatur nach SIA 380/1 [14] in °C

$\theta_e$  Durchschnittliche Monats-Ausentemperatur nach SIA 2028 [15] in °C

$f_c$  Korrekturfaktor nach Tabelle 2

Tabelle 2: Länge Berechnungsschritt und Korrekturfaktor für die monatliche Berechnung

| Monat     | Anzahl Tage | Heizmonat |
|-----------|-------------|-----------|
|           | $t_c$       | $f_c$     |
| Januar    | 31          | 1         |
| Februar   | 28          | 1         |
| März      | 31          | 1         |
| April     | 30          | 1         |
| Mai       | 31          | 0         |
| Juni      | 30          | 0         |
| Juli      | 31          | 0         |
| August    | 31          | 0         |
| September | 30          | 1         |
| Oktober   | 31          | 1         |
| November  | 30          | 1         |
| Dezember  | 31          | 1         |

### 2.2.2 Wirtschaftlichkeit

Die Berechnung der wirtschaftlichen Kennwerte erfolgt nach SIA 480 [11] anhand der Kosten für den Fensterservice (Investitionskosten)  $I$  und den jährlich eingesparten Energiekosten  $E$ . Dafür muss in einem ersten Schritt die jährliche Differenz bei der Endenergie berechnet werden.

$$\Delta E_{gen} = \frac{\Delta Q_V}{\eta} \quad 4$$

$\Delta E_{gen}$  Differenz der jährlichen Endenergie der Heizungsanlage in kWh/a

$\eta$  Nutzungsgrad aus Tabelle 3 gemäss [16]



Aus der Differenz der jährlichen Endenergie werden die Einsparungen, die Rückzahldauer und die Treibhausgasemissionen gerechnet.

$$E = \Delta E_{gen} \cdot f_{EP} \quad 5$$

$$p_0 = \frac{I}{E} \quad 6$$

$$\Delta M_{GHG} = \Delta E_{gen} \cdot k_{GFG} \quad 7$$

$E$  Energieeinsparung in Fr./a

$f_{EP}$  Energiepreis des Energieträgers aus Tabelle 3 gemäss [17] in Fr./kWh

$p_0$  Rückzahldauer in a (Jahre)

$I$  Kosten für den Fensterservice (gemäss Offerte, Rechnung) inkl. MwSt. in Fr.

$\Delta M_{GHG}$  eingesparte Treibhausgasemissionen in kg/a

$k_{GFG}$  Treibhausgasemissions-Koeffizient aus Tabelle 3 gemäss [18] in kg/kWh

Tabelle 3: Nutzungsgrad, Energiepreis und THG-Koeffizient verschiedener Wärmeerzeugungen

| Art Wärmeerzeugung      | Nutzungsgrad | Energiepreis | THG-Koeff. |
|-------------------------|--------------|--------------|------------|
|                         | $\eta$       | $f_{EP}$     | $k_{GFG}$  |
|                         | -            | Fr./kWh      | kg/kWh     |
| Öl-Heizung (ab 2000)    | 0.91         | 0.093        | 0.324      |
| Gas-Heizung (ab 2000)   | 0.95         | 0.106        | 0.230      |
| Öl-Heizung (vor 2000)   | 0.85         | 0.093        | 0.324      |
| Gas-Heizung (vor 2000)  | 0.85         | 0.106        | 0.230      |
| Aussenluft-Wärmepumpe   | 2.3          | 0.17         | 0.125      |
| Wasserwasser-Wärmepumpe | 3.2          | 0.17         | 0.125      |
| Sonden-Wärmepumpe       | 3.1          | 0.17         | 0.125      |
| Pellets-Heizung         | 0.85         | 0.074        | 0.028      |
| Hackschnitzel-Heizung   | 0.75         | 0.064        | 0.011      |
| Fernwärme               | 0.99         | 0.114        | 0.067      |

### 2.2.3 Spezifische Werte für den Vergleich

Um die Ergebnisse der gemessenen Wohneinheiten zu vergleichen, werden die nachfolgenden, spezifischen Werte berechnet. Neben der EBF und der Fugenlänge können die Werte auch auf die Anzahl Fenster bezogen werden.

Endenergie bezogen auf EBF und Fugenlänge

$$\Delta E_{gen,EBF} = \frac{\Delta E_{gen}}{A_E} \quad 8$$

$$\Delta E_{gen,lm} = \frac{\Delta E_{gen}}{l} \quad 9$$



Treibhausgasemissionen bezogen auf EBF und Fugenlänge

$$\Delta k_{GFG,EBF} = \frac{\Delta k_{GFG}}{A_E} \quad 10$$

$$\Delta k_{GFG,lm} = \frac{\Delta k_{GFG}}{l} \quad 11$$

Kosten Fensterservice bezogen auf EBF und Fugenlänge

$$I_{EBF} = \frac{I}{A_E} \quad 12$$

$$I_{lm} = \frac{I}{l} \quad 13$$

Energiekosten bezogen auf EBF und Fugenlänge

$$E_{EBF} = \frac{E}{A_E} \quad 14$$

$$E_{lm} = \frac{E}{l} \quad 15$$

Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle

$$q_{e50,x} = \frac{q_{50,x}}{A_{inf}} \quad 16$$

Luftwechselrate

$$n_{50,x} = \frac{q_{50,x}}{V} \quad 17$$

$\Delta E_{gen,EBF}$  Endenergieeinsparung pro EBF in kWh/(m<sup>2</sup>·a)

$\Delta E_{gen,lm}$  Endenergieeinsparung pro Laufmeter Fugenlänge in kWh/(lm·a)

$\Delta k_{GFG,EBF}$  Einsparungen Treibhausgasemissionen pro EBF in kg/(m<sup>2</sup>·a)

$\Delta k_{GFG,lm}$  Einsparungen Treibhausgasemissionen pro Laufmeter Fugenlänge in kg/(lm·a)

$I_{EBF}$  Kosten Fensterservice (Investitionskosten) pro EBF in Fr./m<sup>2</sup>

$I_{lm}$  Kosten Fensterservice (Investitionskosten) pro Laufmeter Fugenlänge in Fr./lm

$E_{EBF}$  Energiekosten pro EBF in Fr./(m<sup>2</sup>·a)

$E_{lm}$  Energiekosten pro Laufmeter Fugenlänge in Fr./(lm·a)

$q_{e50,x}$  Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle bei 50 Pa Druckdifferenz in m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·h)

$n_{50,x}$  Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz in h<sup>-1</sup>

$A_{inf}$  Hüllfläche nach RiLuMi in m<sup>2</sup>

$q_{50,x}$  Leckagestrom bei 50 Pa Druckdifferenz in m<sup>3</sup>/h

$A_E$  Energiebezugsfläche der Wohneinheit nach SIA 380 [6] in m<sup>2</sup>

$l$  Länge der Fensterfugen in m

$V$  Raum-Innenvolumen in m<sup>3</sup>

$\Delta E_{gen}$  Endenergieeinsparung in kWh/a

$\Delta k_{GFG}$  Einsparungen Treibhausgasemissionen in kg/a



|     |   |
|-----|---|
| $I$ | Kosten Fensterservice in Fr.                                  |
| $E$ | Energiekosten in Fr./a  |
| $x$ | $x = 1$ für die erste Messung, $x = 2$ für die zweite Messung |

#### 2.2.4 Mittelwerte aller Messungen

Über alle Messungen werden folgende Mittelwerte berechnet:

Kosten Fensterservice (Investition) pro Fenster

$$\bar{I} = \frac{\sum I}{\sum z} \quad 18$$

Energiekosteneinsparungen pro Fenster

$$\bar{E} = \frac{\sum E}{\sum z} \quad 19$$

Leckagestrom-Einsparung pro Fenster

$$\bar{q} = \frac{\sum (q_{50,1} - q_{50,2})}{\sum z} \quad 20$$

Einsparung Endenergie pro Fenster

$$\bar{E}_{gen} = \frac{\sum \Delta E_{gen}}{\sum z} \quad 21$$

Einsparung Treibhausgasemissionen pro Fenster

$$\bar{M}_{GHG} = \frac{\sum \Delta M_{GHG}}{\sum z} \quad 22$$

Einsparung Endenergie pro Fenster

$$\bar{E}_{gen} = \frac{\sum \Delta E_{gen}}{\sum A_E} \quad 23$$

Einsparung Treibhausgasemissionen pro EBF

$$\bar{M}_{GHG} = \frac{\sum \Delta M_{GHG}}{\sum A_E} \quad 24$$

|                        |   |
|------------------------|---|
| $\bar{I}$              | Durchschnittliche Kosten für Fensterservice pro Fenster |
| $\bar{E}$              | Durchschnittliche Energiekosteneinsparungen pro Fenster |
| $\bar{q}$              | Durchschnittlicher Leckagestrom-Reduktion pro Fenster   |
| $\bar{\Delta E}_{gen}$ | Durchschnittliche Endenergie-Einsparung pro Fenster     |
| $\bar{\Delta M}_{GHG}$ | Durchschnittliche Treibhausgas-Einsparung pro Fenster   |
| $I$                    | Kosten für Service n Fr.                                |
| $E$                    | Energiekosteneinsparung Fr.                             |
| $z$                    | Anzahl Fenster  |
| $q_{50,1}$             | Leckagestrom erste Messung in m <sup>3</sup> /h         |
| $q_{50,2}$             | Leckagestrom zweite Messung in m <sup>3</sup> /h        |



|                  |                                       |
|------------------|---------------------------------------|
| $\Delta E_{gen}$ | Endenergie-Einsparung in kWh/a        |
| $\Delta M_{GHG}$ | Treibhausgas-Einsparung in kg/a       |
| $A_E$            | Energiebezugsfläche in m <sup>2</sup> |

### 2.2.5 Empirisches Quantil (Median)

Neben den Mittelwerten wird für die Messreihe der Median (empirisches Quantil) berechnet. Bei dieser Auswertung werden die ersten 25 % und die letzten 25 % der Messreihe weggelassen und nur aus dem dazwischen liegenden Werten der Median ( $p = 0.5$ ) gebildet. Vorteil dieser Kennzahl ist, sie ist stabiler gegenüber Ausreisser nach oben oder unten. Berechnet wird der Median mit der Excelfunktion QUARTILE.INKL.



## 3 Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle sind für die zwanzig gemessenen Wohneinheiten die wichtigsten Kenngrößen dargestellt. Die Gebäude werden mit einer fortlaufenden Nummer anonymisiert dargestellt.

Tabelle 4: Übersicht der Kenngrößen der gemessenen Wohneinheiten

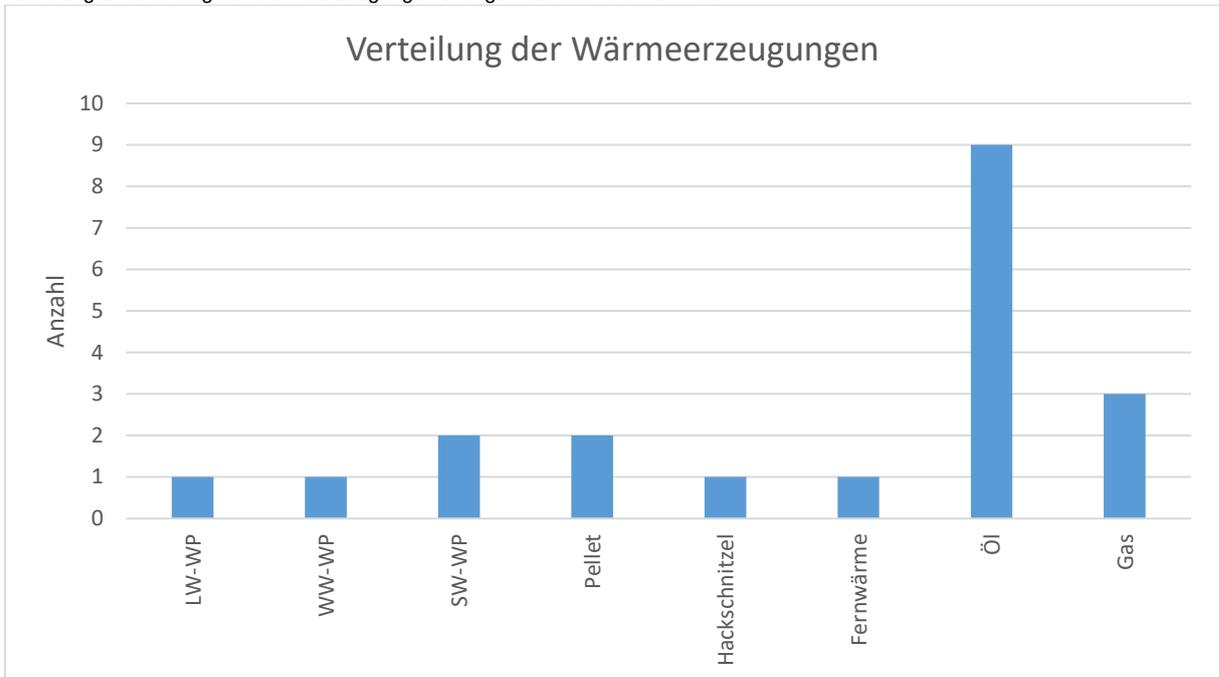
| Nr. | Nutzung | EBF            | Hüllfläche     | Volumen        | Fugenlänge | Fensterfläche  | Anzahl Fenster | Wärmeerzeugung |
|-----|---------|----------------|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|----------------|
|     |         | $A_E$          | $A_{inf}$      | $V$            | $l$        | $A_F$          |                |                |
|     |         | m <sup>2</sup> | m <sup>2</sup> | m <sup>3</sup> | m          | m <sup>2</sup> |                |                |
| 1   | EFH     | 163.2          | 297.7          | 324.5          | 72.8       | 17.3           | 14             | LW-WP          |
| 2   | EFH     | 321.7          | 741.3          | 749.9          | 84.9       | 18.7           | 14             | FW             |
| 3   | EFH     | 165.5          | 584.3          | 400.7          | 69.4       | 20.7           | 12             | Öl             |
| 4   | MFH     | 193.3          | 405.4          | 401.7          | 82.1       | 26             | 11             | Öl             |
| 5   | MFH     | 85.7           | 240.6          | 184.4          | 46.3       | 10.8           | 7              | Öl             |
| 6   | MFH     | 54             | 171.8          | 118.9          | 27.9       | 6.2            | 5              | Öl             |
| 7   | MFH     | 69.2           | 193.1          | 142.7          | 40.1       | 9.5            | 7              | Öl             |
| 8   | MFH     | 115.1          | 302.1          | 240.8          | 50.3       | 12.4           | 8              | Öl             |
| 9   | MFH     | 116.2          | 304.9          | 244.1          | 55.2       | 13.7           | 9              | Öl             |
| 10  | MFH     | 119.3          | 324.4          | 258.3          | 61         | 27.8           | 5              | Gas            |
| 11  | MFH     | 75.7           | 220.8          | 169.6          | 28.9       | 14.7           | 2              | Gas            |
| 12  | MFH     | 139.8          | 372.5          | 309.7          | 65.1       | 27.2           | 6              | Gas            |
| 13  | MFH     | 158.1          | 439.3          | 316.0          | 79.2       | 28.2           | 11             | Pellet         |
| 14  | MFH     | 137.4          | 425.9          | 304.4          | 64.6       | 31.9           | 5              | WW-WP          |
| 15  | MFH     | 99.1           | 280            | 208.4          | 54.5       | 16.3           | 9              | Öl             |
| 16  | EFH     | 292.2          | 347.7          | 596.3          | 91.6       | 32.2           | 14             | Pellet         |
| 17  | MFH     | 140.7          | 282.2          | 308.4          | 70.2       | 17.8           | 11             | Hackschnitzel  |
| 18  | EFH     | 72.7           | 186.2          | 124.5          | 52.1       | 13.1           | 8              | Öl             |
| 19  | EFH     | 157.2          | 392.6          | 322.6          | 63.4       | 18             | 11             | SW-WP          |
| 20  | EFH     | 172            | 383.8          | 481.1          | 129.7      | 46.7           | 22             | SW-WP          |

Sieben der gemessenen Wohneinheiten sind Einfamilienhäuser, die restlichen 13 Wohneinheiten sind in Mehrfamilienhäusern zu finden. Die Fenster sind zwischen 10 und 37 Jahre alt, der Mittelwert liegt bei 20 Jahren. Im Mittel weisen die Wohneinheiten eine EBF von 142 m<sup>2</sup> auf und es sind 9.5 Fenster vorhanden.



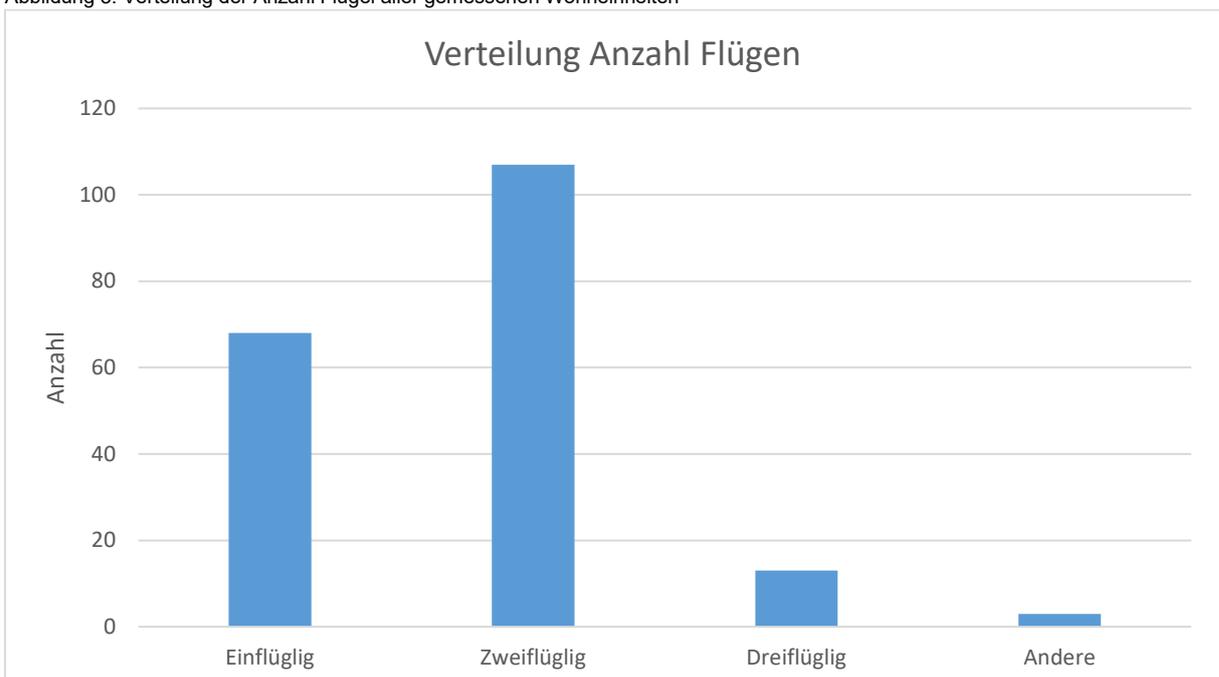
In der nachfolgenden Abbildung 2 ist die Verteilung der Wärmeerzeugungen aller gemessenen Wohneinheiten ersichtlich. Mit neun Öl- und drei Gasheizungen überwiegen die fossil betriebenen Anlagen.

Abbildung 2: Verteilung der Wärmeerzeugungen aller gemessener Wohneinheiten



Insgesamt wurden in den zwanzig Wohneinheiten 191 Fenster gemessen. Gemessen wurden Ein-, Zwei- und Dreiflügel Fenster. Bei drei Fenstern handelt es sich um Spezialanfertigungen mit deutlich mehr Unterteilungen. Balkontüren oder Schiebebefenster sind in den einflügeligen Fenstern enthalten.

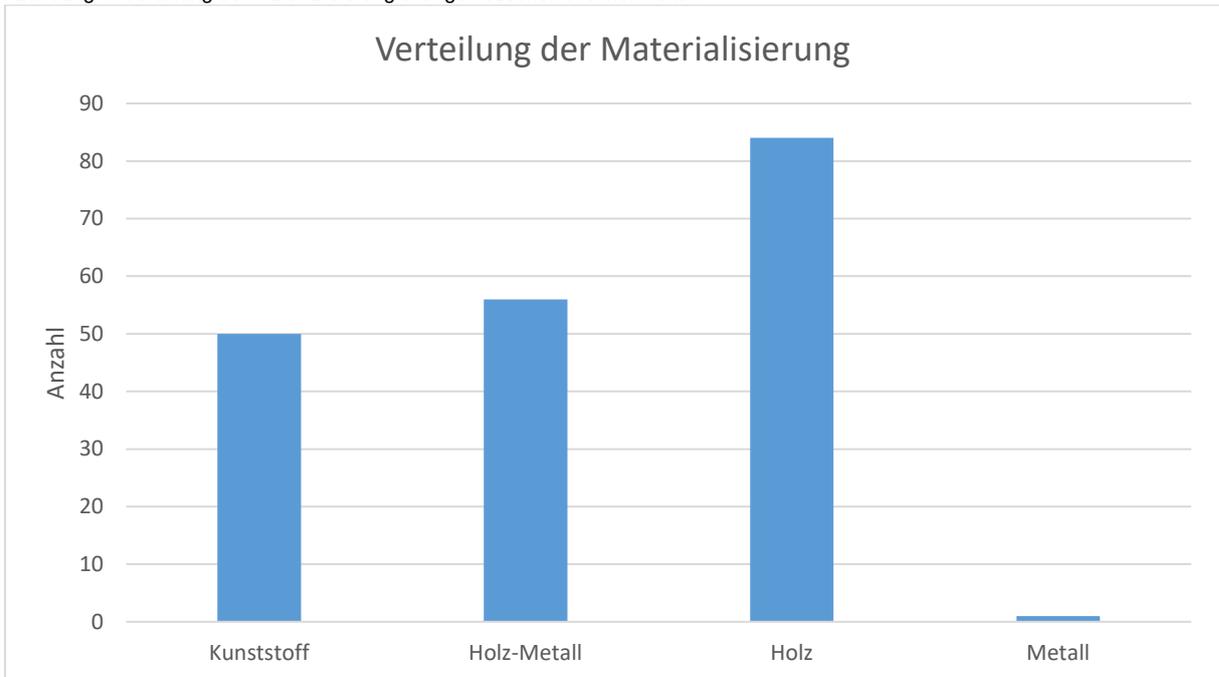
Abbildung 3: Verteilung der Anzahl Flügel aller gemessenen Wohneinheiten





Am häufigsten sind in den Wohneinheiten Holzfenster vorhanden (84). 56 Fenster waren aus Holz-Metall, gefolgt von 50 Kunststoff-Fenstern und einem Metall-Fenster (an diesem wurde kein Service durchgeführt).

Abbildung 4: Verteilung der Materialisierung aller gemessenen Wohneinheiten



In Abbildung 5 sind für jede Wohneinheit die absoluten, gemessenen Leckageströme (Mittelwert von Unter- und Überdruck bei 50 Pa) der ersten und zweiten Messung so wie in Abbildung 6 die prozentualen Abweichungen dargestellt.

Abbildung 5: Gemessene Leckageströme  $q_{50,x}$  der ersten und zweiten Messung

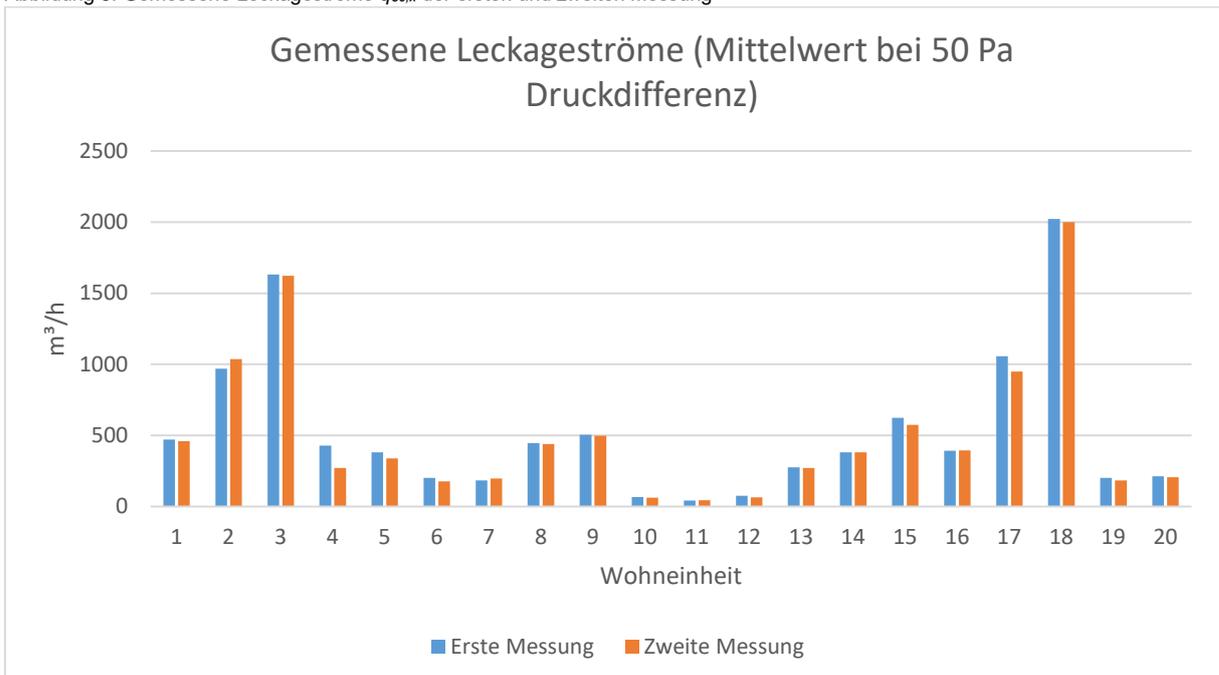
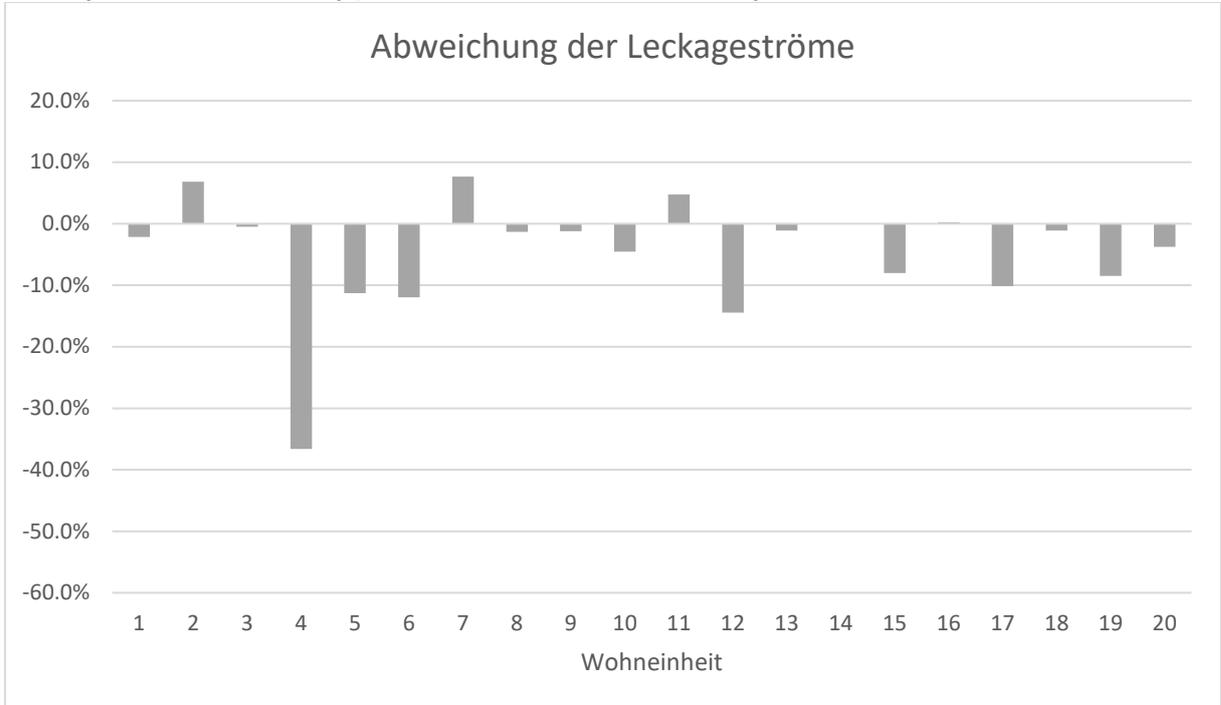




Abbildung 6: Prozentuale Abweichung  $q_{50}$  zwischen der ersten und zweiten Messung



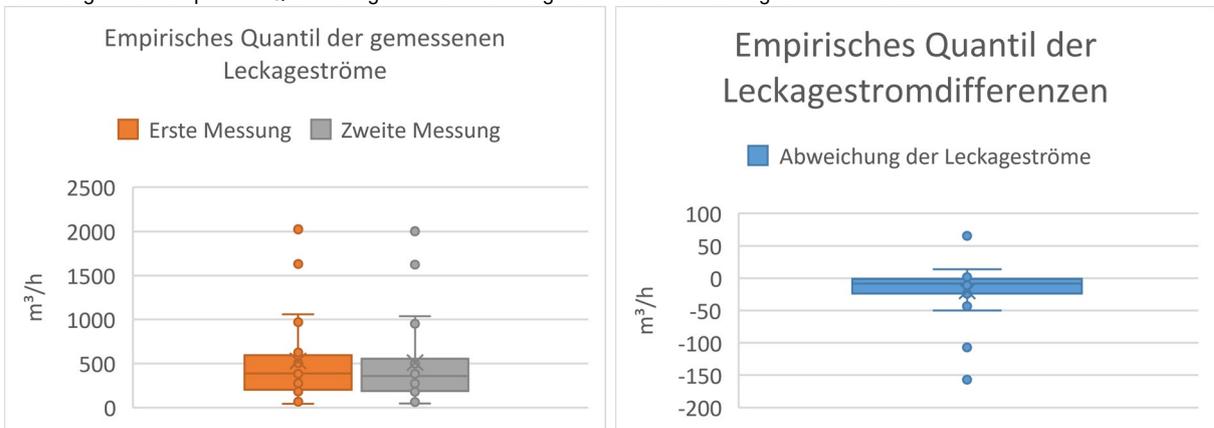
Bei den negativen Abweichungen, hier wurde bei der zweiten Messung ein tieferer Volumenstrom gemessen, sticht die Wohneinheit Nr. 4 mit einer Einsparung von -37 % hervor. Hier wurden neben dem üblichen Fensterservice (siehe 1.1) bei mehreren Fenstern zusätzlich Undichtheiten zwischen Fensterrahmen und angrenzender Decke abgedichtet. Die restlichen negativen Abweichungen liegen zwischen -1.1 % und -14.5 %.

Die positiven Abweichungen, hier wurde nach dem Fensterservice ein höhere Leckagenstrom gemessen, liegen zwischen 0.3 % und 7.7 %. Bei der Wohneinheit Nr. 14 wurden gleiche Leckagenströme gemessen.

Abweichungen unter 5 % liegen in der Messunsicherheit.

Der Median (siehe 2.2.5) bei den Leckagestromdifferenzen liegt bei  $-8 \text{ m}^3/\text{h}$ .

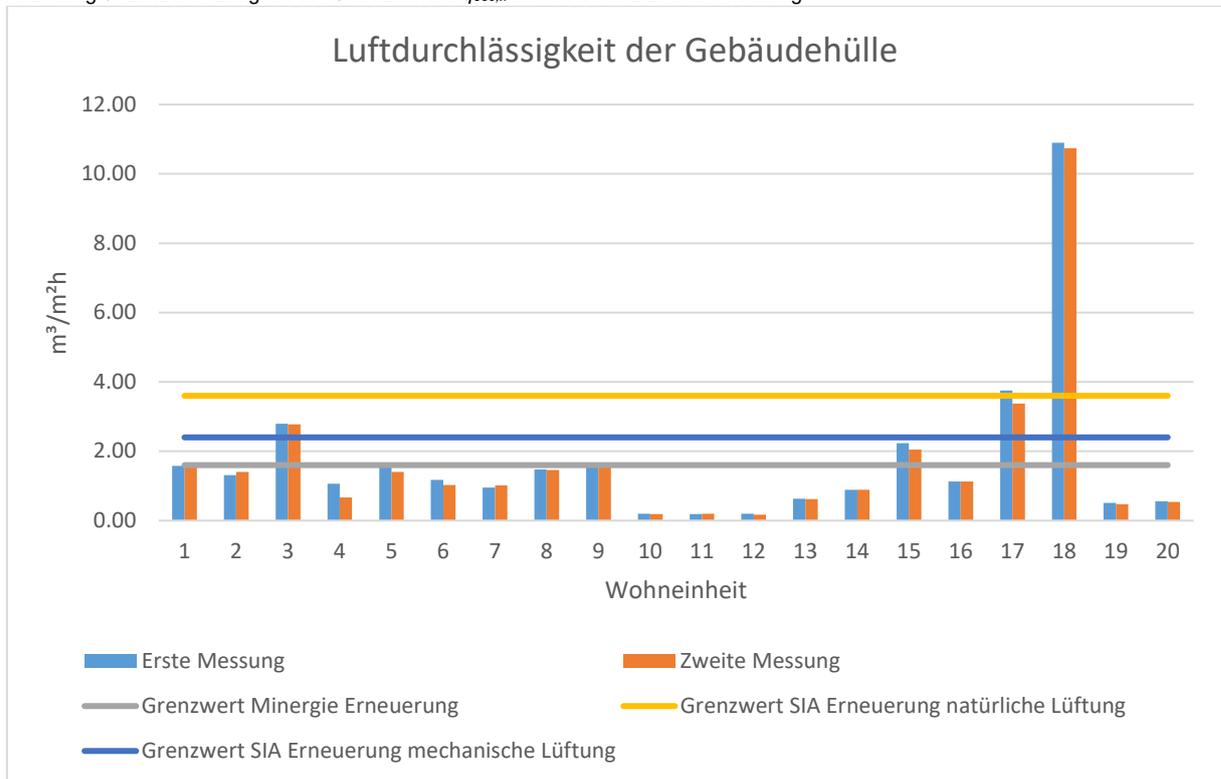
Abbildung 7: Das Empirische Quartil der gemessenen Leckageströme und der Leckagestromdifferenzen





Werden die gemessenen Leckageströme durch die Hüllfläche dividiert erhält man die spezifische Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle. Die Resultate sind in Abbildung 8 ersichtlich.

Abbildung 8: Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle  $q_{e50,x}$  der ersten und zweiten Messung



Ein Vergleich mit den Grenzwerten aus der SIA 180 [8] zeigt, dass der Grenzwert Erneuerung für natürlich belüftete Gebäude (oberste Linie in Abbildung 8) nur bei den Wohneinheiten Nr. 17 und Nr. 18 überschritten wird. Der Minergie-Grenzwert für Erneuerung wird in fünf Wohneinheiten überschritten (Nr. 3, 9, 15, 17 und 18). Die restlichen 15 Wohneinheiten liegen unter diesem Grenzwert und verfügen somit über eine betreffend Luftdichtheit gute Gebäudehülle.

Beim Gebäude Nr. 18 war die Messzone ein Geschoss eines 2 geschossigen EFH's mit grossen internen Undichtheiten gegen den unbeheizten Keller und ins beheizte Obergeschoss.



In der nachfolgenden Abbildung 9 ist die Einsparung bei den Treibhausgasemissionen und in der Abbildung 10 der Endenergie aufgeführt. Die Art der Wärmeerzeugung in den einzelnen Wohneinheiten ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Abbildung 9: Einsparungen an Endenergie und Treibhausgasemissionen

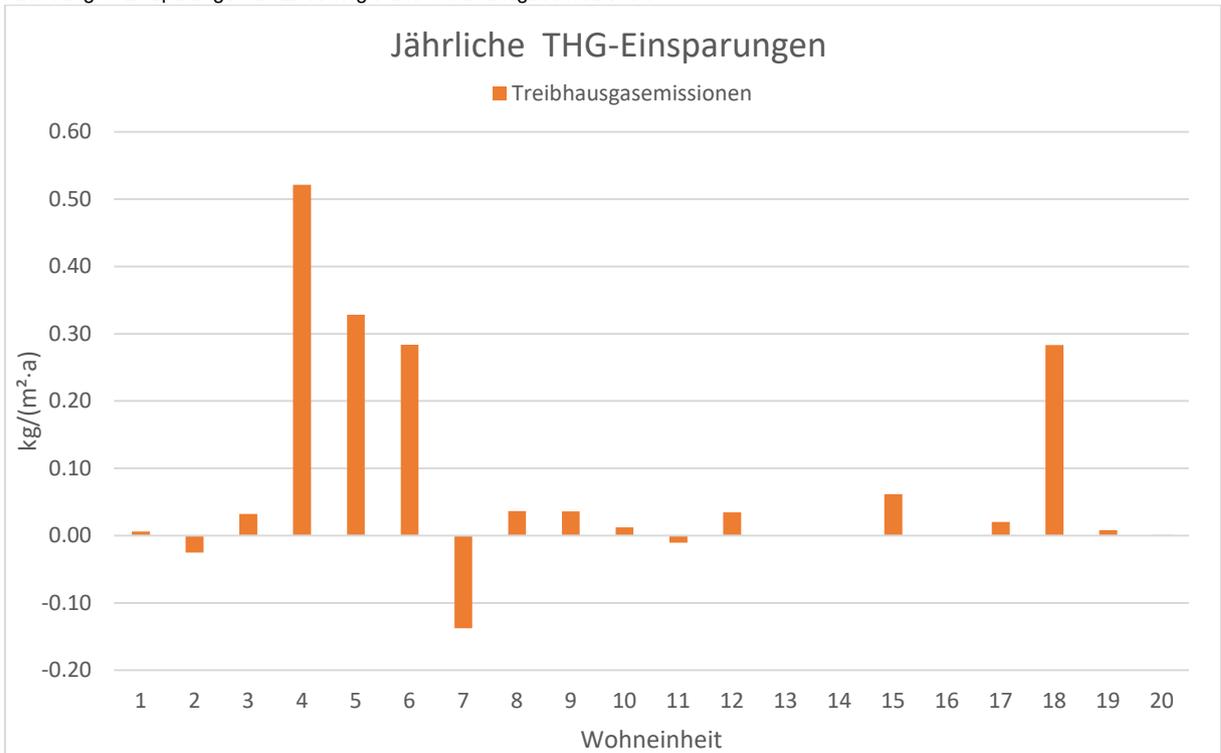
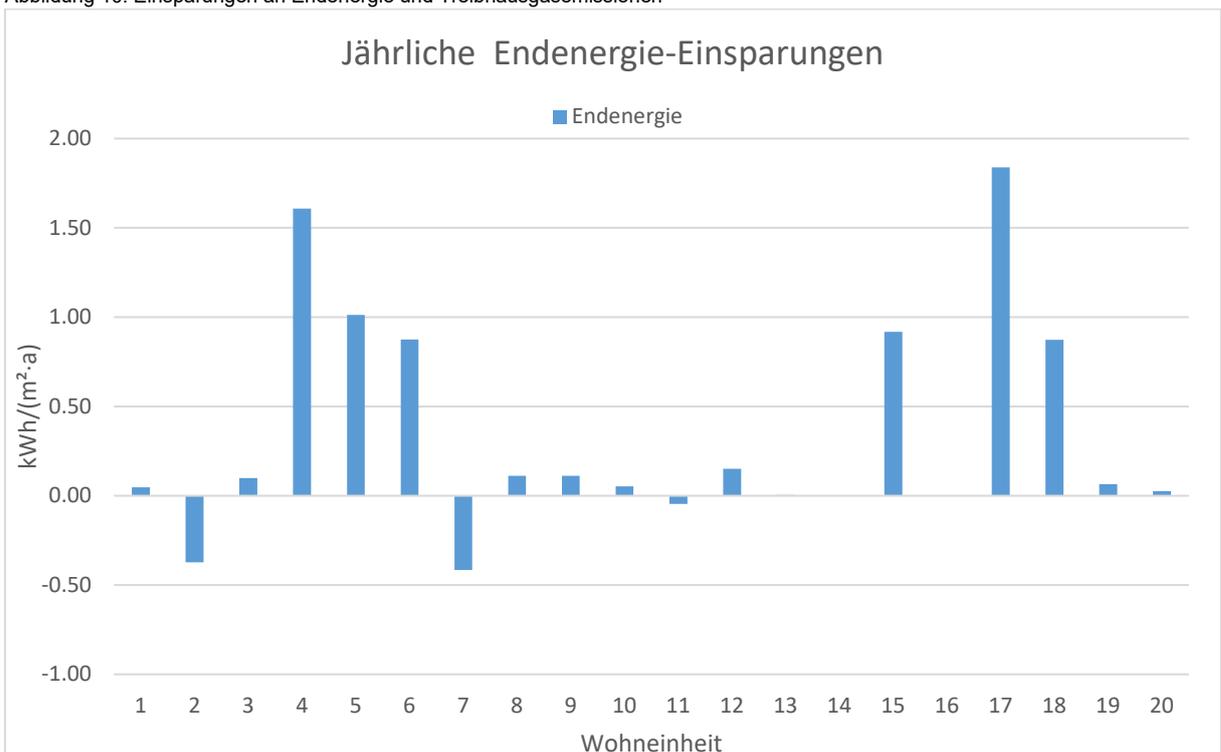


Abbildung 10: Einsparungen an Endenergie und Treibhausgasemissionen





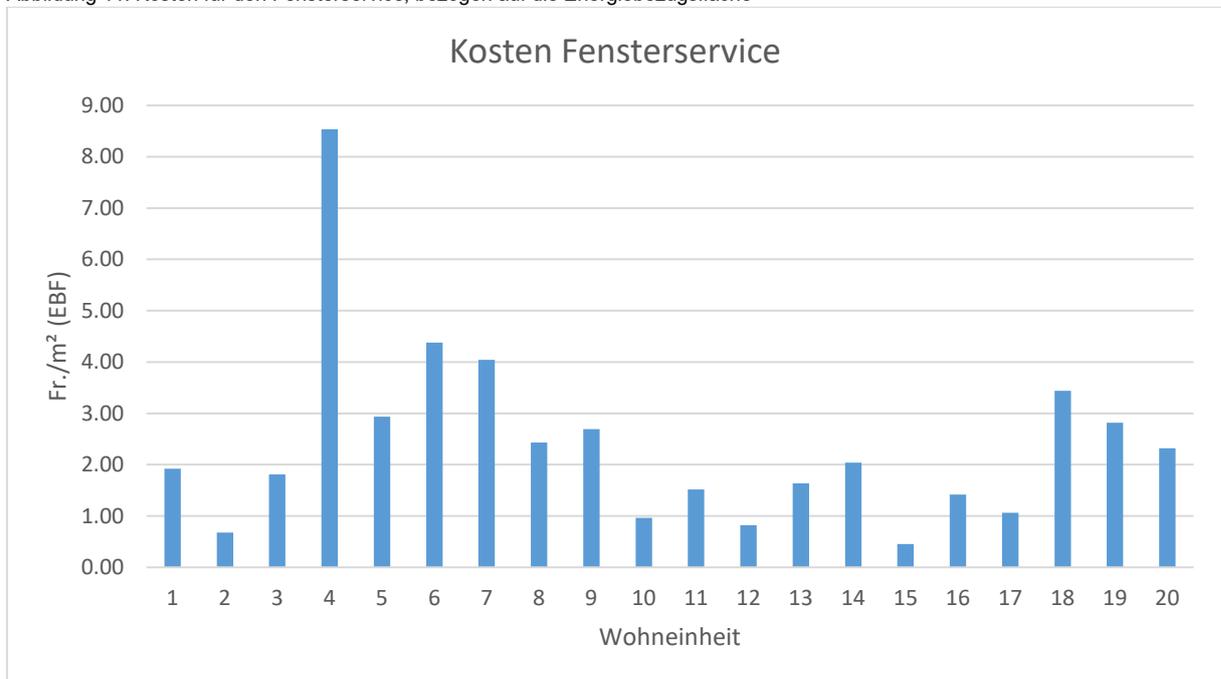
Der Median aller Gebäude liegt bei der Endenergieeinsparung bei 11.6 kWh/a und bei den Treibhausgasemissionen bei 2.15 kg/a. Pro Fenster liegt die Endenergieeinsparung bei 4.18 kWh/a und 0.93 kg/a bei den Treibhausgasemissionen.

Werden diese Einsparungen durch die Summe der EBF geteilt, ergeben sich über das ganze Gebäudesample jährliche Einsparungen von 0.28 kWh/(m<sup>2</sup>·a) und 0.06 kg/(m<sup>2</sup>·a). Der durchschnittliche Endenergieverbrauch im Wohnbau liegt bei 124 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ([19], [20]), die Einsparungen liegen damit um 0.2 %, was als marginal bezeichnet werden muss.



Um die Rückzahldauer zu berechnen, wurden die Kosten des Fensterservices angefragt. In den Kosten enthalten ist die Anfahrt, das Einregulieren der Fenster und Kleinmaterial. Um die Kosten vergleichen zu können, werden diese in Abbildung 10 bezogen auf die EBF dargestellt.

Abbildung 11: Kosten für den Fensterservice, bezogen auf die Energiebezugsfläche



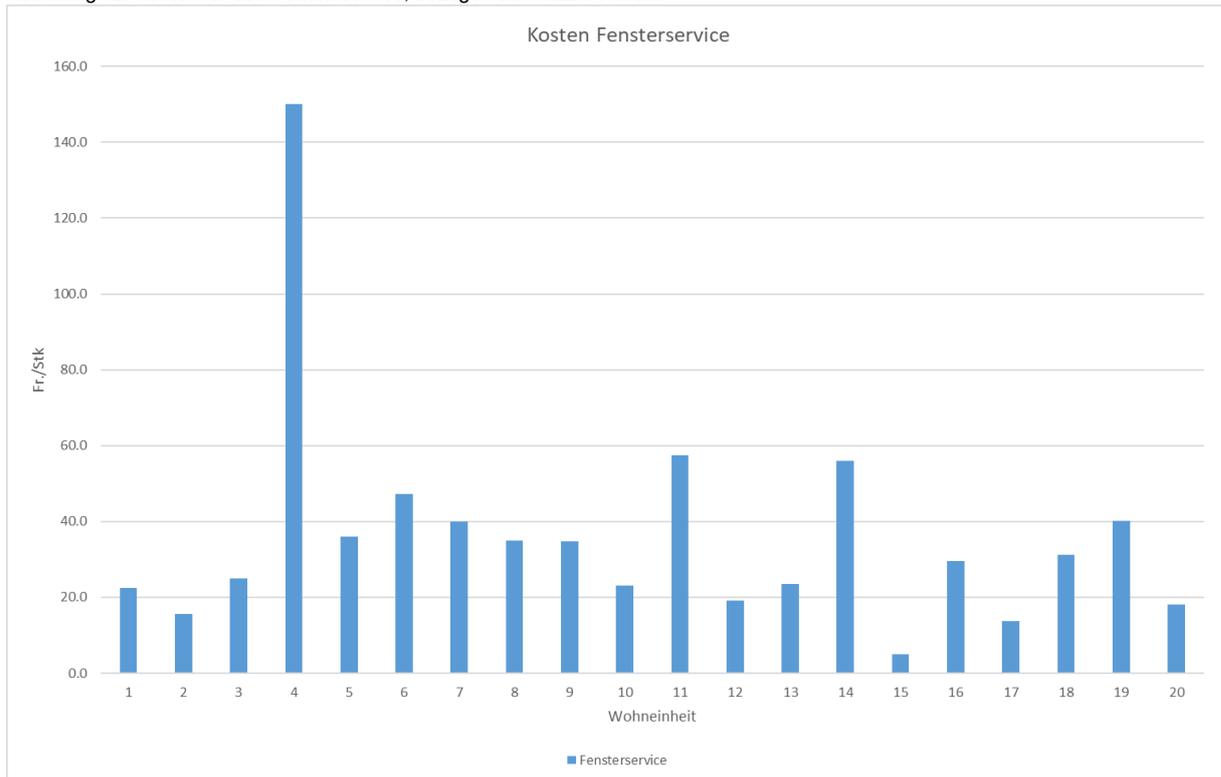
Mit Fr. 8.54 pro m<sup>2</sup> EBF liegen die spezifischen Kosten für die Wohneinheit Nr. 4 ca. 10-mal höher als in der Wohneinheit Nr. 12 mit Fr. 0.82 pro m<sup>2</sup> EBF. Der Median über alle Wohneinheiten liegt bei Fr. 1.98 pro m<sup>2</sup> EBF.

Absolut gesehen kostet der Service für die Wohneinheit Nr. 4 Fr. 1'650.- und für die Wohneinheit Nr. 12 Fr. 115.-. Der Median pro Wohneinheit liegt bei Fr. 269.20, der Mittelwert liegt bei Fr. 321.40.



Werden die Kosten für den Fensterservice auf die Anzahl Fenster bezogen (siehe Abbildung 11), variieren die spezifischen Kosten pro Fenster zwischen Fr. 5.- (Wohneinheit Nr. 12) und Fr. 150.- (Wohneinheit Nr. 4). Der Median der Kosten liegt pro Fenster bei Fr. 30.40, der Durchschnitt bei Fr. 33.70.

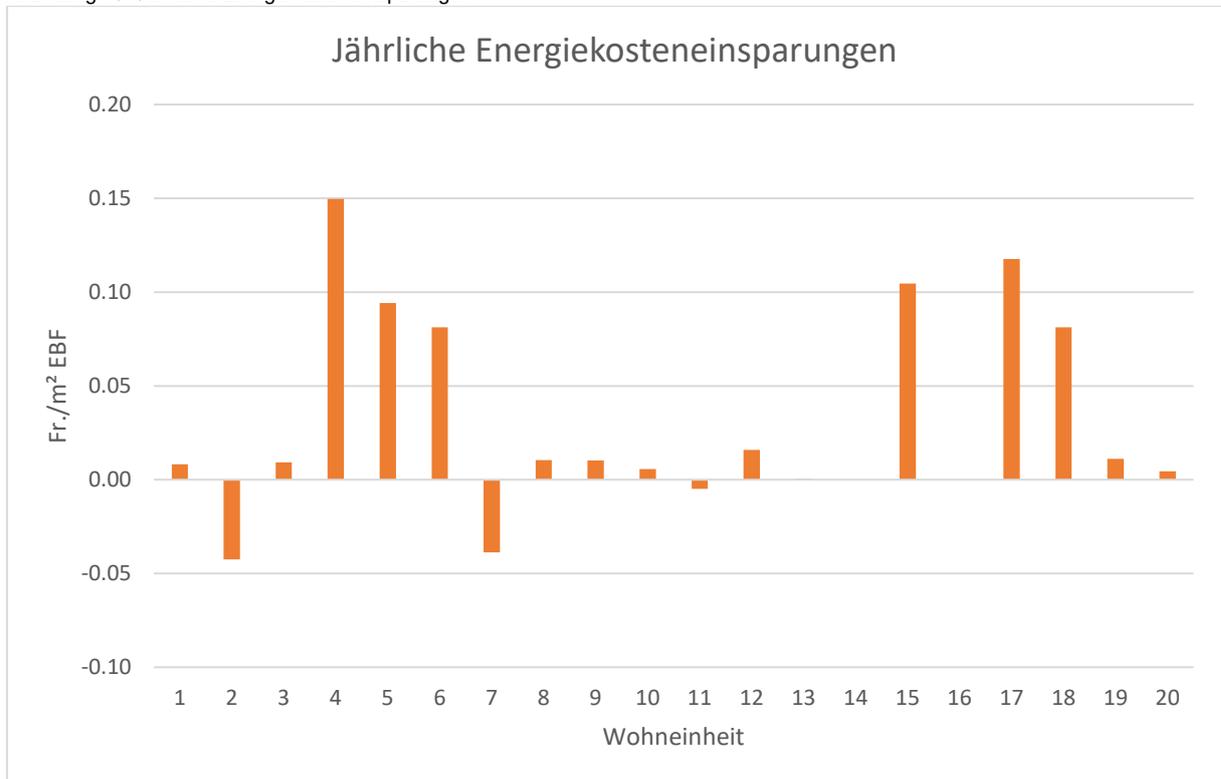
Abbildung 12: Kosten für den Fensterservice, bezogen auf Anzahl Fenster





Aus den Leckageströmen und dem Energieträger / Wärmeerzeugung werden die jährlichen Energiekosteneinsparungen berechnet und in Abbildung 12 bezogen auf die EBF dargestellt.

Abbildung 13: Jährliche Energiekosteneinsparungen



Die spezifischen Energiekosteneinsparungen reichen von  $-0.04 \text{ Fr}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  (Wohneinheit Nr. 2) bis  $0.15 \text{ Fr}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$  (Wohneinheit Nr. 4). Bei den Wohneinheiten Nr. 13, Nr. 14 und Nr. 16 ist die Differenz der Leckageströme  $0 \text{ m}^3/\text{h}$  und daher liegt auch die Energieeinsparung bei  $\text{Fr. } 0.-$ .

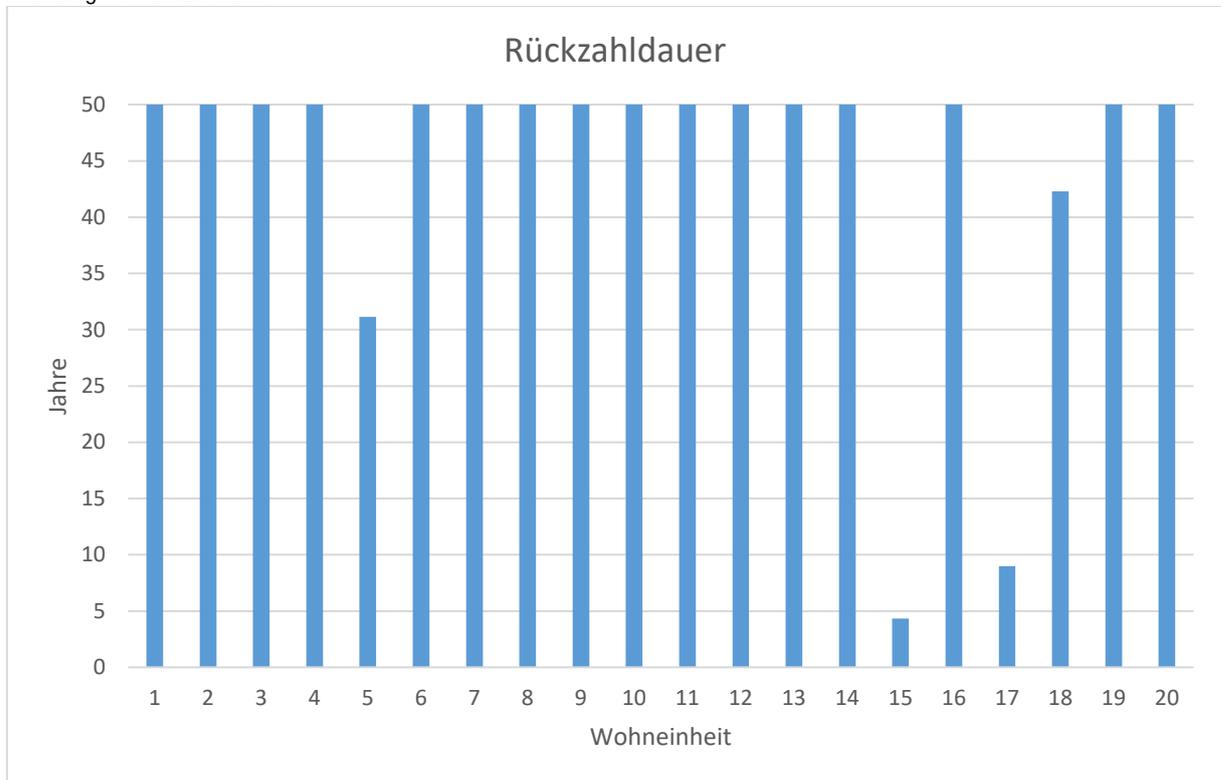
Der Median der Energiekosteneinsparung liegt bei  $\text{Fr. } 1.27$ . Bei den einzelnen Wohneinheiten liegen die Werte zwischen  $-13.70 \text{ Fr./a}$  (Nr. 2) und  $+28.90 \text{ Fr./a}$  (Nr. 4).

Werden auch hier die gesamten Einsparungen auf die Anzahl Fenster verteilt, resultiert eine Einsparung von  $\text{Fr. } 0.36$  pro Fenster und Jahr.



In Abbildung 14 ist die Rückzahldauer in Jahren angegeben:

Abbildung 14: Rückzahldauer



Aufgrund der sehr geringen Energiekosteneinsparungen ist die Rückzahldauer sehr hoch. Bei den Wohneinheiten Nr. 2, 7, 11, 14 und 16 konnten keine Verbesserungen gemessen werden, daher wird die Rückzahldauer als unendlich angesehen.

Die Rückzahldauer liegt zwischen 4.34 Jahren und unendlich vielen Jahren. Wie in 2.1 beschrieben, kann der Fensterservice aus rein energetischen Gründen als wirtschaftlich angesehen werden, wenn die Rückzahldauer unter 15 Jahren liegt. Bei den untersuchten Wohneinheiten ist dies nur bei den Wohneinheiten Nr. 15 und Nr. 17 gegeben, bei allen anderen Wohneinheiten ist der Fensterservice aus rein energetischen Gründen nicht wirtschaftlich.

### 3.2 Diskussion

Die Auswahl der Mess-Objekte hat einen Einfluss auf die Resultate, zumal die Auswahl von zwanzig Objekten eine nicht-repräsentative Stichprobe darstellt. Beispielsweise ist bei sehr undichten Wohneinheiten aufgrund des per se bereits hohen Leckagestroms der Einfluss des Fensterservices nicht eindeutig messbar, sondern eher im Bereich der Messunsicherheit. Oder bei Gebäuden mit gutem, allenfalls geprüftem Baustandard und hoher Fensterqualität, ist ein relativ kleines Verbesserungspotential vorhanden.

Insgesamt wurden 26 Wohneinheiten ausgewählt und gemessen, sechs Wohneinheiten konnten aus folgenden Gründen nicht berücksichtigt werden:

- Die Undichtheiten a Fassade, Kamine usw. waren so gross, dass die Bauherrschaft auf einen Fensterservice verzichtete.
- Aufgrund des Wetteinflusses (Wind), konnte die zweite Messung nicht verwendet werden.
- Bei der zweiten Messung können nicht alle Räume betreten werden und es konnte nicht überprüft werden, ob alle Fenster geschlossen waren.



Grossmehrheitlich (in 15 Wohneinheiten) konnten mit dem Fensterservice Verbesserungen der Luftdichtheit erzielt werden. Diese liegen im Bereich von 1 % bis 37 %, wobei zu erwähnen ist, dass bei der grössten Einsparung zusätzliche Abdichtungsmassnahmen zwischen Fensterrahmen und angrenzendem Bauteil (Decke) getätigt wurden. In drei Fällen wurde nach dem Fensterservice ein um 4 % bis 6 % höhere Leckströme gemessen. Gründe dafür sind, dass bei einzelnen Fenstern eine Neujustierung zwar eine Verbesserung in der Bedienung, leider aber auch eine Verschlechterung in der Luftdichtheit mit sich gebracht hat.

Aus den erzielten Verbesserungen der Leckströme ergibt sich bei der Energieeinsparung ein Median über alle Wohneinheiten von 11.6 kWh/a und eine Treibhausgasreduktion von 2.15 kg/a pro Objekt. Im Verbrauchsvergleich zu einem energetisch durchschnittlichen Gebäude liegen diese Einsparungen unter 1 %. Auf alle Wohnbauten in der Schweiz hochgerechnet liegt die Endenergie-Einsparung bei 132.8 GWh/a und die Einsparung bei den Treibhausgasemissionen bei 28.4 MT/a [20].

Die Kosten für den Fensterservice betragen durchschnittlich Fr. 33.7 pro Fenster, die Energiekosteneinsparung liegt bei Fr. 0.36 pro Fenster und Jahr. Damit liegt die Rückzahldauer der Massnahme bei den allermeisten Objekten weit über 15 Jahren und ist aus rein energetischen Gründen nicht wirtschaftlich.

Zusätzlich zur Antwort auf die eigentliche Fragestellung zeigen sich aufgrund der Untersuchungen weitere, erwähnenswerte Erkenntnisse und Erfahrungen:

- Bei der Leckageortung konnten im nahen Fensterbereich (Kurbelanschlüsse, Bauteilübergänge, Rollladen-Servicedeckel etc.) teilweise weitere Luftundichtheiten detektiert werden. Diese wurden im Rahmen des Fensterservice nicht bearbeitet.
- Der durchgeführte Fensterservice hatte in verschiedenen Fällen zusätzliche positive Auswirkungen, so z.B. eine Verbesserung der Schallimmissionen, die bessere Bedienbarkeit der Fenster und eine Verbesserung der Schlagregendichtheit.
- Bei einzelnen Fenstern musste der Anpressdruck nicht neu eingestellt und nicht justiert werden. Dies zeigt, dass es sich lohnt, beim Kauf und Einbau eines Fensters auf gute Qualität und fachmännische Ausführung zu achten.

## 4 Schlussfolgerungen und Fazit

Die These lautete, dass mit einem fachgerechten Fensterservice die Luftdichtheit verbessert und somit Endenergie und Treibhausgasemissionen eingespart werden. Die vorliegenden Resultate widerlegen diese These. Aufgrund der geringen Endenergieeinsparung ist auch die Wirtschaftlichkeit eines Fensterservice nicht gegeben.

Trotzdem hat der Fensterservice einige Vorteile im Bereich Komfort mit sich gebracht. Diese wurden aber in dieser Studie nicht untersucht.

## 5 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Eine Studie mit zwanzig Objekten kann keine repräsentativen Resultate ergeben, aber sie kann erste Tendenzen aufzeigen und Erkenntnisse bringen. Um die Qualität der Resultate zu verbessern, müsste die Stichprobe ausgeweitet werden und es müsste noch stärker darauf geachtet werden, dass bei den Messungen vor und nach dem Fensterservice exakt die gleichen Rahmenbedingungen herrschten.

Eigentlich kann erwartet werden, dass ein Fensterservice die Luftdichtheit verbessert oder mindestens nicht verschlechtert. Die Messungen zeigen, dass dies nicht immer der Fall war. Es müsste also



bei einer Weiterführung der Studie analysiert werden, was zu einer Verschlechterung der Luftdichtigkeit nach den Fensterservice führt und wie dieser Effekt vermieden werden kann. Eine lückenlose Dokumentation aller durchgeführten Arbeiten wäre essenziell.

Interessant wäre die Analyse, ob neben Undichtigkeiten im Fensterbereich auch an weiteren Stellen in der Gebäudehülle mit zunehmendem Alter eines Gebäudes Undichtigkeiten auftreten, die relativ einfach behoben werden können und die zu einer signifikanten Energieeinsparung führen.

Können die Unsicherheiten betreffend negativer Wirkung eines Fensterservices ausgeräumt werden, kann in der Kommunikation die positive Wirkung eines Fensterservices auf den Energieverbrauch hervorgehoben werden, die Energieeinsparung alleine dürfte aber kaum ein ausreichendes Argument für einen Fensterservice sein.

## 6 Publikationen

- Energieeinsparung durch Fensterservice (Werkstattbericht)  
13. Internationales BUILDAIR-Symposium, 2. und 3. Juni 2023, Hannover
- Energieeinsparung Fensterservice  
Blower-Door und Thermografie-Tagung, 22. September 2023



## 7 Literaturverzeichnis

- [1] M. Hall, «Airtight - Luftdichtheit von neuen Gebäuden,» Fachhochschule Nordwestschweiz, 4132 Muttenz, 2021.
- [2] G. Notter, B. Bossard, U. Menti und C. Tanner, «Praxistest Luftdichtigkeits-Messungen bei Minergie-P®-Bauten,» Hochschule Luzern, 6048 Horw, 2011.
- [3] B. Bossard und U.-P. Menti, «Luftdurchlässigkeitsmessung: Momentaufnahme oder längerfristiges Qualitätsmerkmal?,» Hochschule Luzern, 6048 Horw, 2013.
- [4] C. Hauri, H. Huber und A. Primas, «Küchenabluft bei der energetischen Gebäudesanierung und im Neubau,» Hochschule Luzern, 6048 Horw, 2019.
- [5] W. Dr. Feist, W. Dr. Ebel, S. Peper, R. Dr. Pfluger und M. Dr. Kirchmair, 25 Jahre Passivhaus Darmstadt Kranichstein, PASSIVHAUS INSTITUT, 2016.
- [6] SIA, «SIA 380, Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 8027 Zürich, 2015.
- [7] Minergie, «Richtlinie Luftdichtheit bei Minergie-Bauten (RiLuMi),» Minergie, 2022.
- [8] SIA, «SIA 180, Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden,» Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 8027 Zürich, 2014.
- [9] Minergie, «Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE/MINERGIE-P/MINERGIE-A,» 2020.
- [10] SNV, «SN EN 832 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs - Wohngebäude,» 1998.
- [11] SIA, «SIA 480, Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2016.
- [12] SIA, «SIA 2048 Energetische Betriebsoptimierung,» 2015.
- [13] SIA, «SIA 2032 Graue Energie - Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden,» 2020.
- [14] SIA, «SIA 380/1, Heizwärmebedarf,» Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2016.
- [15] SIA, «SIA 2028 Klimadaten für Bauphysik, Energie und Gebäudetechnik,» 2010.
- [16] ENDK, «Vollzugshilfe EN-101 Anforderungen an die Deckung des Wärmebedarfs von Neubauten,» 2018.
- [17] J. Galatti, R. Gadola, J. Z'Rotz, M. Niffeler und E. Estermann, «Regionalwirtschaftliche Auswirkungen der Energiewende für Gemeinden und Regionen,» Hochschule Luzern, 2023.
- [18] KBOB, «Ökobilanzdaten im Baubereich,» 2022.
- [19] Bundesamt für Energie BFE, «Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2022,» 2022.
- [20] Bundesamt für Statistik BFS, «Bau- und Wohnungswesen 2020,» 2020.
- [21] V. Pichler, «Wirtschaftlichkeit von integralen Erneuerungsmassnahmen im Wohnungsbau,» Hochschulverlag AG, 8000 Zürich, 2010.



## 8 Anhang

### 8.1 Aufnahmeformular

Das Formular für die Kennwerte besteht aus drei Excelblättern, einer Übersicht (siehe Abbildung 14), einem Hilfsblatt für die Berechnung der verschiedenen Basiswerte wie EBF, Volumen, Fläche der Fenster usw. und einem Blatt mit den Standardwerten (beide nicht abgebildet). Da mit den Eigentümer:innen keine entsprechende Vereinbarung getroffen wurde, werden keine Adressen oder Fotos im Bericht angegeben.

Abbildung 15: Erste Seite im Formular mit den allgemeinen Angaben und den berechneten Werten. Die gelb hinterlegten Zellen sind Eingabefelder.

Hochschule Luzern  
Energieeinsparpotenzial Fensterservice

| Energetische Einsparungen Fensterservice            |                    |       |                                   | Gebäudenummer: [ ]                |     |             |                  |      |                                      |
|---|--------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----|-------------|------------------|------|--------------------------------------|
| Gar, 18.08.2023                                     |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| Strasse und Nr.                                     |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| PLZ und Ort   |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
|   |                    |       | Quelle                            | Quelle für die Berechnung [2]     |     | [2] Gl. 110 |                  |      |                                      |
|   |                    |       |                                   | Monat                             | d   | $\theta_e$  | $f_c$            |      |                                      |
|   |                    |       |                                   |                                   |     | °C          | Einsparungen     |      |                                      |
|   |                    |       |                                   |                                   |     |             | kWh              |      |                                      |
|   |                    |       |                                   |                                   |     |             | Zeilenindex      |      |                                      |
| Erste Messung                                       | $q_{50}$           | [ ]   | m <sup>2</sup> /h [3]             | Jan                               | 31  | 0           | 1                | 0    | 3                                    |
| Zweite Messung                                      | $q_{50}$           | [ ]   | m <sup>2</sup> /h [3]             | Feb                               | 28  | 0           | 1                | 0    | 4                                    |
| Klimastation  | Bitte wählen ...   | [ ]   | [ ]                               | Mär                               | 31  | 0           | 1                | 0    | 5                                    |
| Höhe über Meer                                      | $h$                | 0     | m [1]                             | Apr                               | 30  | 0           | 1                | 0    | 6                                    |
| spez. Wärmekapazität                                | $\rho_a \cdot c_a$ | 0.339 | Wh/(m <sup>3</sup> K) [2] Gl. 108 | Mai                               | 31  | 0           | 0                | 0    | 7                                    |
|   |                    |       |                                   | Jun                               | 30  | 0           | 0                | 0    | 8                                    |
| Nutzung   | Bitte wählen ...   | [ ]   | [ ]                               | Jul                               | 31  | 0           | 0                | 0    | 9                                    |
| Raumtemperatur                                      | $\theta_i$         | 0     | °C [2]                            | Aug                               | 31  | 0           | 0                | 0    | 10                                   |
|   |                    |       |                                   | Sep                               | 30  | 0           | 1                | 0    | 11                                   |
| Abschirmung   | Bitte wählen ...   | [ ]   | [ ]                               | Okt                               | 31  | 0           | 1                | 0    | 12                                   |
| Faktor für die Abschirmung                          | $f$                | 0     | [4]                               | Nov                               | 30  | 0           | 1                | 0    | 13                                   |
| Massgebender Volumenstrom                           | $\Delta V$         | 0     | m <sup>2</sup> /h                 | Dez                               | 31  | 0           | 1                | 0    | 14                                   |
|   |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| <b>Investitionen für Neujustierung (ink. MwSt.)</b> |                    |       |                                   | Summe                             | 365 |             | $Q_V$            | 0    | kWh                                  |
| Kosten Fensterservice                               | [ ]                | Fr.   | [5]                               |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| Kosten Anfahrt                                      | [ ]                | Fr.   | [5]                               | Einsparung pro m <sup>2</sup> EBF |     |             | $Q_{V,EBF}$      | 0.0  | kWh/m <sup>2</sup>                   |
| Kosten Neujustierung                                | $I$                | 0.00  | Fr.                               | Einsparung pro lm Fensterfuge     |     |             | $Q_{V,L}$        | 0.0  | kWh/lm                               |
|   |                    |       |                                   | $q_{e50}$ erste Messung           |     |             | $q_{e50,1}$      | 0.00 | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> h [6] |
|   |                    |       |                                   | $q_{e50}$ zweite Messung          |     |             | $q_{e50,2}$      | 0.00 | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> h [6] |
| <b>Kennwerte</b>                                    |                    |       |                                   | Luftwechselrate erste Messung     |     |             | $n_{50,1}$       | 0.00 | h <sup>-1</sup> [6]                  |
| EBF der Wohneinheit                                 | $A_E$              | 0.0   | m <sup>2</sup> [3]                | Luftwechselrate zweite Messung    |     |             | $n_{50,2}$       | 0.00 | h <sup>-1</sup> [6]                  |
| Hüllfläche  | $A_{Hr}$           | 0.0   | m <sup>2</sup> [6]                |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| Innenvolumen  | $V$                | 0.0   | m <sup>3</sup> [6]                | Wärmeerzeugung                    |     |             | Bitte wählen ... |      |                                      |
| Laufmeter Fensterfugen                              | $L$                | 0.0   | m                                 | Energiepreis                      |     |             |                  | 0.00 | Fr./kWh                              |
| Fensterfläche                                       | $A_F$              | 0.0   | m <sup>2</sup>                    | Nutzungsgrad                      |     |             | $\eta$           | 0.00 |                                      |
|   |                    |       |                                   | CO <sub>2</sub> -Koeffizient      |     |             | $K_{GF,G}$       | 0.00 | kg/kWh                               |
| Quellen:  |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| [1] SIA 2028  |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| [2] SIA 380/1                                       |                    |       |                                   | Eingesparte Endenergie            |     |             | $\Delta E_{gen}$ | 0.0  | kWh                                  |
| [3] Beispiel Wohneinheit                            |                    |       |                                   | Eingespartes CO <sub>2</sub>      |     |             | $\Delta M_{GHG}$ | 0    | kg                                   |
| [4] SN EN 832                                       |                    |       |                                   |                                   |     |             |                  |      |                                      |
| [5] Gemäss Offerte/Rechnung                         |                    |       |                                   | Kosteneinsparung                  |     |             | $E$              | 0.00 | Fr./a                                |
| [6] Gemäss RiLuMi                                   |                    |       |                                   | Pay-Back (in Jahren)              |     |             | $p_o$            | 0.00 | a                                    |