

MATURAARBEIT

---

**Energieeffizienz im Fokus -  
Sanierungsvorschlag für ein Altgebäude**

---



Leoni Isabella Friedel

Kantonsschule Rämibühl

Mathematisch-Naturwissenschaftliches Gymnasium

Betreuer: Philipp Rüdisühli

Abgabedatum : 8.Januar 2024



## **Abstract**

Meine Arbeit widmet sich dem Thema der energetischen Sanierung und der daraus resultierenden Verbesserung der Energieeffizienz eines Altgebäudes. Als Anwendungsbeispiel dient das Ferienhaus meiner Familie, das um 1850 gebaut wurde und dementsprechend nicht die heutigen energetischen Anforderungen erfüllt. Durch die Auswertung des aktuellen Stromverbrauches und der Berechnung des Wärmeverlustes konnte die energetische Lage genau bewertet werden. Das Hauptziel der Arbeit bestand darin, einen Verbesserungsvorschlag zu entwickeln, der durch einfache und kostengünstige Sanierungsmethoden die Nachhaltigkeit des Hauses steigern könnte. Die Auseinandersetzung mit den Themen Energieeffizienz, Wärmedämmung, und Photovoltaik generierte interdisziplinäre Erkenntnisse zum Energieverbrauch und Wärmeverlust, begleitet von einer architektonischen Konstruktion des Hauses mithilfe der erlernten Architektursoftware ArchiCAD. Zusammenfassend verdeutlicht die Arbeit nicht nur das Potenzial, zur energetischen Optimierung von Altbauten, sondern betont auch die Relevanz energetischer Sanierungen gegenüber Neubauten.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen und Grundzustand</b>	<b>4</b>
3.1	Nachhaltigkeit . . . . .	4
3.2	Energieeffizienz und energetische Sanierung . . . . .	5
3.3	Geografische Ausgangslage . . . . .	6
3.4	Energetische Ausgangslage . . . . .	8
3.5	Resultate . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Wärmedämmung</b>	<b>10</b>
4.1	Grundlagen . . . . .	10
4.2	Berechnung des U-Wertes der Fenster . . . . .	11
4.3	Resultate . . . . .	14
<b>5</b>	<b>Photovoltaik</b>	<b>18</b>
5.1	Grundlagen . . . . .	18
5.2	Anwendung . . . . .	20
5.3	Resultate . . . . .	21
<b>6</b>	<b>Architektur</b>	<b>23</b>
6.1	Grundzustand . . . . .	23
6.2	Konstruktion des Grundzustandes . . . . .	24
6.3	Konstruktion des Konzepts . . . . .	24
6.4	Architektonische Resultate . . . . .	24
<b>7</b>	<b>Diskussion</b>	<b>28</b>
<b>8</b>	<b>Reflexion und Ausblick</b>	<b>32</b>
8.1	Arbeitsprozess . . . . .	32
8.2	Grenzen . . . . .	33
8.3	Ausblick . . . . .	34
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>38</b>
A.1	Architektur . . . . .	38
A.2	Wärmedämmung . . . . .	43
A.3	Photovoltaik . . . . .	52

# 1. Vorwort

Als Verfasserin dieser Arbeit möchte ich meine Motivation und Herangehensweise kurz vorstellen. Die Idee, mich mit dem Thema Sanierung und Energieeffizienz auseinanderzusetzen, entstand aus der Faszination für die Schnittstelle zwischen Architektur und Nachhaltigkeit. Die Arbeit ist jedoch nicht nur eine akademische Auseinandersetzung mit der Welt des nachhaltigen Bauens, sondern auch eine Reflexion über das Potenzial des Ferienhauses meiner Familie.

Das Haus wurde 2018 gekauft, überzeugt von der einzigartigen Lage und der Vision von einem Ort der Ruhe und Entspannung. Während dem Lockdown 2020 verbrachten wir viel Zeit dort und verbesserten in kleinen Schritten die Behaglichkeit der alten Räume, bemalten die Fensterläden und frischten den Garten auf. Aufgrund des begrenzten Aufenthaltes geriet das Haus danach für eine Weile in den Hintergrund, bis Anfangs 2021 meine Grosseltern dort einzogen. Sie flohen aus der Ukraine und weil in unserer Wohnung in Zürich nicht genügend Raum zur Verfügung stand wurde das Ferienhaus zu einem Wohnort umgestaltet. Durch die Veränderung der Nutzung wurde im Jahr 2023 entschieden, die Renovierung des Hauses mit professioneller Unterstützung der JUD Architekten AG in Angriff zu nehmen. So sollte neuer Anreiz geschaffen werden, das Haus regelmässiger zu besuchen und es als Wohnraum attraktiver zu gestalten. Aus Interesse an Nachhaltigkeit und Architektur entschied ich mich aktiv an der Planung zu beteiligen, dies in Form meiner Maturaarbeit. Mein Ziel war es, nicht nur theoretische Überlegungen anzustellen, sondern auch praktische Lösungsansätze zu entwickeln, die einen Beitrag zur Verbesserung der Energieeffizienz leisten könnten. Ich wollte herausfinden, welchen Einfluss auch nur kleine Verbesserungen hätten, falls man sich dazu entschied, das Haus nur zu renovieren. Die Leitfragen wurden ausserdem so konzipiert, dass sie nicht nur auf unser Ferienhaus anwendbar sind, sondern auch allgemeine Erkenntnisse und Ideen zur Anwendung auf andere Objekte liefert. Die Entscheidung, eine Architektursoftware zu erlernen, war ein Schritt, um die Ergebnisse nicht nur in Diagrammen und Text darzustellen, sondern meine Vorstellung auch visuell greifbar zu machen.

Bei der Unterzeichnung des Kaufvertrages stand ich unmittelbar vor meiner Aufnahmeprüfung ins Langgymnasium, nun schliesst sich der Kreis, indem ich meine Schulzeit ebenfalls in Bezug auf das Ferienhaus abschliesse.

## Danksagung

Zum Schluss möchte ich mich noch herzlich für die Unterstützung und Ratschläge bei meinem Betreuer Philipp Rüdüsühli bedanken. Auch danke ich der JUD Architekten AG für Ihre Zusammenarbeit und Zustellung der architektonischen Pläne. Ein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich während der Arbeit mit Ratschlägen und Fahrten zum Haus unterstützt hat.

## 2. Einleitung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, vier Leitfragen zu beantworten und sich somit mit dem Thema des nachhaltigen Bauens, der Sanierung und dem Konzept der Energieeffizienz auseinander zu setzen. Als Produkt soll eine Visualisierung mit den Daten und Plänen des Grundzustandes und denen des konzipierten Hauses entstehen. Die Verbesserungsmöglichkeiten, die im Laufe der Arbeit erarbeitet und mit dem Bestand verglichen werden, sind nicht unbedingt zur Realisation bestimmt, sondern eher eine theoretischer Entwurf. Es soll dabei klar werden, wie viel energieeffizienter das Haus wäre, wenn man es vor dem betrachteten Zeitraum minimal umgebaut hätte. Folgende Leitfragen dienen zur Strukturierung und genaueren Zielsetzung der Arbeit.

1. Wie energieeffizient ist das Haus im Grundzustand?
2. Wie viel Wärmeenergie wird durch alte Fenster verloren?
3. Lohnt es sich selbst Strom zu produzieren?
4. Wie konstruiert man ein Haus in einer Architektursoftware?

### 1. Wie energieeffizient ist das Haus im Grundzustand?

Die Idee einen Verbesserungsvorschlag zu konzipieren, beruht auf der begründeten Annahme, dass das Haus im jetzigen Zustand eine geringe energetische Effizienz aufweist. Doch um ein Konzept zur Verbesserung der Energieeffizienz eines Gebäudes zu erstellen, muss zuerst die Ausgangslage analysiert werden. Ausserdem werden geografische Faktoren, die die Effizienz beeinflussen, betrachtet. Dazu zählen die Sonnenscheindauer, Sonneneinfallswinkel, jährliche Temperaturen und die Ausrichtung des Hauses. Die meisten Neubauten besitzen einen Gebäudeenergieausweis der Kantone, aus dem sich die Effizienz schliessen lässt. Da es sich beim betrachteten Haus um einen Altbau handelt, der noch nicht saniert wurde, gibt es keinen Gebäudeenergieausweis der Kantone. Ziel ist es daher, die Energieeffizienz qualitativ mit verschiedenen Daten zu bestimmen. Auf diesen Grundlagen werden dann die weiteren Leitfragen beantwortet.

### 2. Wie viel Wärmeenergie wird durch alte Fenster verloren?

Ein Faktor, der den Besuch des Ferienhauses besonders im Winter hindert, ist die unzureichende Wärmedämmung. Es ist kalt und in den oberen Stockwerken herrscht Aussentemperatur, nur im Erdgeschoss mit Kamin und Nachtspeicherofen ist es angenehm warm. Die Lösung dieses Problems wird in dieser Arbeit erarbeitet und nach einem Weg, der sowohl kostengünstig, nachhaltig und einfach umsetzbar ist, gesucht. Die unterliegende Hypothese ist, dass die Fenster, aufgrund ihres Alters und schlechten Isolierung, den grössten Wärmeverlust aufweisen. Ziel ist es, den Energieverlust, der dadurch entsteht, zu berechnen und mit einer Alternative zu vergleichen. Die Alternative soll den Energieverlust deutlich reduzieren und zudem nicht zu viel Kosten oder Aufwand verursachen.

### **3. Wie viel Strom könnte man selbst produzieren?**

Immer mehr rücken erneuerbare Energien in den Vordergrund der Energieeffizienz. Als Teil der Arbeit soll das Potenzial einer eigenen Photovoltaikanlage zur Stromproduktion, geprüft werden. Dazu werden zuerst die Faktoren, die eine solche Erweiterung begünstigen, betrachtet und dann ausgewertet, ob sich das Ferienhaus tatsächlich dafür eignet. Da die Installation teuer werden kann, wird auch in diesem Teil nach einer kostengünstigen und effizienten Lösung gesucht. In diesem Teil ist es zentral zu ermitteln, wie viel des produzierbaren Stroms tatsächlich genutzt werden könnte, dies wird mit den gesammelten Daten zum Stromverbrauch nachprüfbar sein.

### **4. Wie konstruiert man ein Haus in einer Architektursoftware?**

Für die Visualisierung der Verbesserungen der Energieeffizienz sowie ein erweitertes Verständnis architektonischer Planung wurde das Erlernen einer Architektursoftware als Teil der Arbeit integriert. Auch hier gibt es vom 170 Jahre alten Haus keine Baupläne auf die man sich beziehen kann, alle Messungen müssen selbst gemacht werden. Hilfreich werden hierfür Anleitungen im Internet und auch der Austausch mit Architektinnen sein. Das Projekt der Sanierung oder allenfalls des Neubaus wurde 2021 der JUD Architekten AG in Auftrag gegeben, welche auch zuerst einen Grundzustand des Hauses konstruierte. Dieser Teil bietet eine Chance, die Gesamtheit der Ergebnisse visuell darzustellen und die Arbeit interdisziplinär zu gestalten.

### 3. Grundlagen und Grundzustand

#### 3.1. Nachhaltigkeit

Das Thema Nachhaltigkeit ist mittlerweile in aller Munde, doch das Verständnis, besonders in Bezug auf den Bausektor ist unterschiedlich. Es lässt sich in einem Dreiecksschema illustrieren, wobei die sozialen, ökonomischen und ökologischen Bereiche gleichwertig beachtet werden müssen, damit das Dreieck erhalten bleibt und das Produkt den Nachhaltigkeitskriterien entspricht. Es gibt auch die Ansicht, dass die Ökologie soziale Aspekte und diese zusammen die ökonomischen Aspekte beinhalten. Ein nachhaltiges Gebäude zeichnet sich in beiden Fällen durch eine hohe Qualität der Erfüllung dieser Faktoren aus. Die Faktoren werden im folgenden in Bezug auf ein Gebäude erklärt.

Die ökologische Dimension bezieht sich auf die Reduktion des Treibhauseffektes durch Einsetzen von Materialien, die ressourcen- und umweltschonend hergestellt wurden, den Einsatz von optimalen Heiztechniken und den Fokus auf erneuerbare statt fossile Energien. Die ökonomische Dimension beschreibt die wirtschaftliche Säule des nachhaltigen Bauens und bezieht sich dabei auf den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes. Dafür werden Kosten für die Herstellung, den Erhalt und die Nutzungskosten des Gebäudes berechnet. Die soziale Qualität wird durch akustischen, thermischen und visuellen Komfort in einem Gebäude erreicht sowie durch Mobilität und öffentliche Zugänglichkeit.<sup>1</sup>

Die Bereiche kreuzen sich in ihren Definitionen und es entstehen oftmals Widersprüche, wenn ein Gebäude beispielsweise eine bessere Dämmung erhalten soll, doch dadurch höhere Kosten entstehen und der Wohnraum eingeschränkt wird. Das Ziel des nachhaltigen Bauens ist es, die Bereiche auszugleichen und so ein nachhaltiges Gebäude hochwertiger Qualität zu erschaffen. In der Abbildung 1 ist das Nachhaltigkeitsdreieck schematisch mit den wichtigsten Aspekten dargestellt.

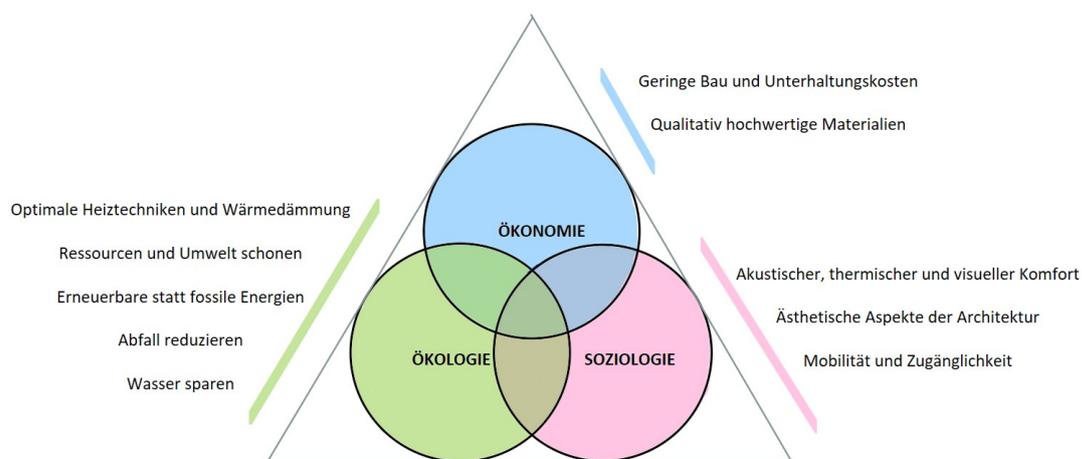


Abbildung 1: Dimensionen der Nachhaltigkeit

### 3.2. Energieeffizienz und energetische Sanierung

Die Energieeffizienz eines Hauses wird durch den notwendigen Energieeinsatz zur Bereitstellung von Wärme und Elektroenergie bestimmt. Ein Haus ist demnach umso energieeffizienter, desto weniger Energie für dessen gleichbleibende Nutzung bereitgestellt werden muss. Als Normzustand der Nutzung wird hier eine Zimmertemperatur von 20°C angenommen. Die Energieeffizienz wird nicht nur durch den Energieverbrauch bestimmt, sondern auch durch die Lage des Gebäudes, die Heiztechnik und Witterungsverhältnisse.<sup>1</sup>(S.16) Üblicherweise wird die Energieklasse eines Gebäudes durch die Vornorm "Energetische Bewertung von Gebäuden" von Fachleuten bestimmt, die diese dann in einem GEAK dokumentieren. Die meisten Wohnbauten, welche in der Schweiz vor 1980 gebaut wurden, weisen eine ungenügende Dämmung auf und entsprechen aus heutiger Sicht den energetischen Anforderungen nicht mehr.<sup>2</sup> (S.6) Die potenziellen Vorteile einer energetischen Gebäudesanierung sind folgende:

- Steigert die Energieeffizienz und Wert des Gebäudes
- Bedarf weniger Ressourcen als ein vollständiger Umbau
- Verbessert die Nachhaltigkeit durch Umstieg auf erneuerbare Energien oder Ersatz von Bauteilen durch nachhaltigere Alternativen

Für Besitzerinnen und Besitzer eines sanierungsbedürftigen Hauses gibt es seit einiger Zeit Unterstützungen auf politischer Ebene. Beispielsweise unterstützt der Bund mit verschiedenen Arten von Einmalvergütungen den Bau von Photovoltaikanlagen und fördert energetisch wirksame bauliche Massnahmen.<sup>2</sup> (S.9) Dadurch soll die energetische Sanierung attraktiver wirken und Projekte zur Förderung der Nachhaltigkeit unterstützt werden. Verschiedene Unternehmen fördern die Umsetzung auch durch Leitfäden oder Informationskampagnen zum Thema, wie zum Beispiel das EWZ als nachhaltiger Energiedienstleister. Im Whitepaper des EWZ<sup>2</sup> zur energetischen Sanierung werden elf Lösungsschwerpunkte im Bereich der Gebäudehülle, Gebäudeteilen und der Gebäudetechnik vorgestellt. In dieser Arbeit werden die Aspekte 4.) Aussenwände und Fenster sowie 7.) Energieversorgungsoption genauer betrachtet und auf Machbarkeit geprüft. In Abbildung 2 werden die elf Lösungsschwerpunkte aus dem Whitepaper illustriert.

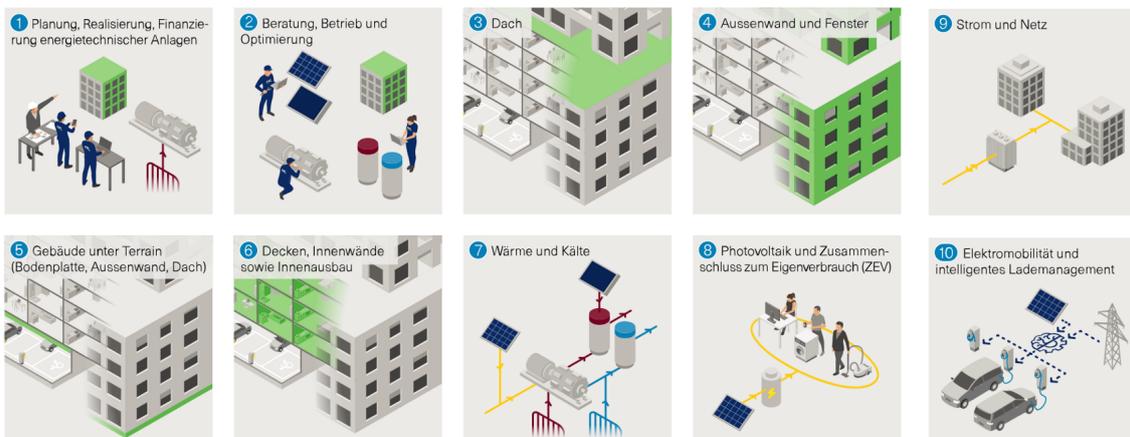


Abbildung 2: Die elf Lösungsschwerpunkte zur energetischen Sanierung gemäss der EWZ<sup>2</sup>

### 3.3. Geografische Ausgangslage

Das betrachtete Haus steht an der Betliser Adresse Vorderbetlis 715, unweit der Seerenbachfälle, umgeben von Land, welches landwirtschaftlich genutzt wird, in der Landwirtschaftszone. Betlis liegt am Südhang der Ammler-Südwände, am Ufer des Walensees zwischen den Ortschaften Quinten und Weesen. In den Abbildungen 3a und 3b ist das Haus von verschiedenen Seiten zu sehen. Es wurde schätzungsweise zwischen 1850 und 1860 erbaut, wobei der Grossteil als Wohnhaus genutzt wurde und ein kleinerer Teil als Schulzimmer fungierte. Umbauten gab es seither keine, weshalb das Haus wie in Abschnitt 3.2 erwähnt nicht mehr den heutigen energetischen Anforderungen oder Nachhaltigkeitskriterien entspricht.



(a) Südfassade



(b) Ostfassade

Abbildung 3: Bilder des Ferienhauses

In Abbildung 4 sieht man die erwähnten Orte Quinten, Weesen und Amden auf einer Karte. Die rote Markierung zeigt den Standort des Ferienhauses, die blaue denjenigen der Wetterstation in Weesen.



Abbildung 4: Karte zur Lageübersicht von Betlis, Weesen und Umgebung<sup>3</sup>, Massstab 1:50'0000

Für die genauere Bestimmung und Verbesserung der Energieeffizienz müssen die Umgebung und vor allem die klimatischen Bedingungen am Ort des Gebäudes analysiert

werden. Für die Beantwortung der Leitfragen 2 und 3 ist vor allem die Sonnenscheindauer und Temperatur relevant. Die Daten können vom Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz bezogen werden und stammen von dem nächstgelegenen Klimamonitor in Weesen. Die Jahresdurchschnittstemperatur und das monatliche Mittel von Niederschlag und Sonnenscheindauer werden in Abbildung 5 für das Jahr 2022 und in Abbildung 6 für das Jahr 2023 dargestellt. Bei der Temperatur zeigen die Balken an wie stark die Abweichung von der Normtemperatur ist. Bei Niederschlag und Sonnenscheindauer sind die Balken die Summe der Daten des Monats und die gestrichelte weisse Linie der Durchschnittswert von 1991-2020. Aus den Grafiken ist klar ersichtlich, dass es ausgeprägte Jahreszeiten gibt und während fünf Monaten sicher eine Aussentemperatur unter der Heizgrenze ( $12^{\circ}\text{C}$ ) herrscht. Diese Temperaturschwankungen sollten auch im Energieverbrauch reflektiert werden, wenn in den kälteren Perioden geheizt wird. Auch die Sonnenscheindauer ist ausgeprägt, was auf eine gute Voraussetzung für eine Photovoltaikanlage ist.

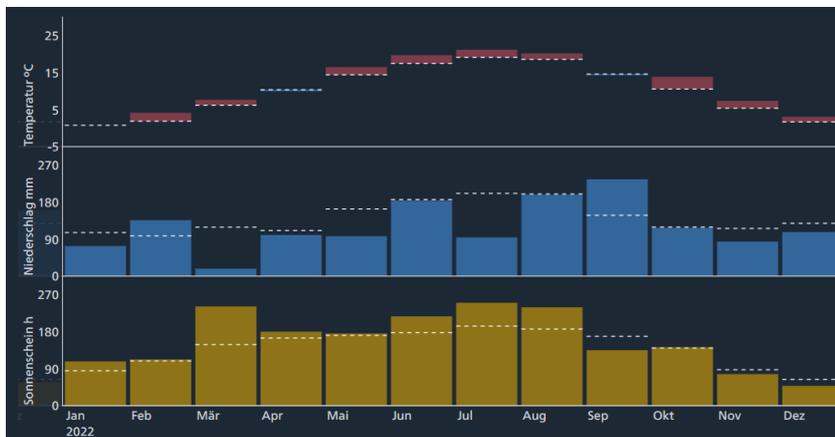


Abbildung 5: Wetterdaten in Weesen, Januar-Dezember 2022<sup>4</sup>

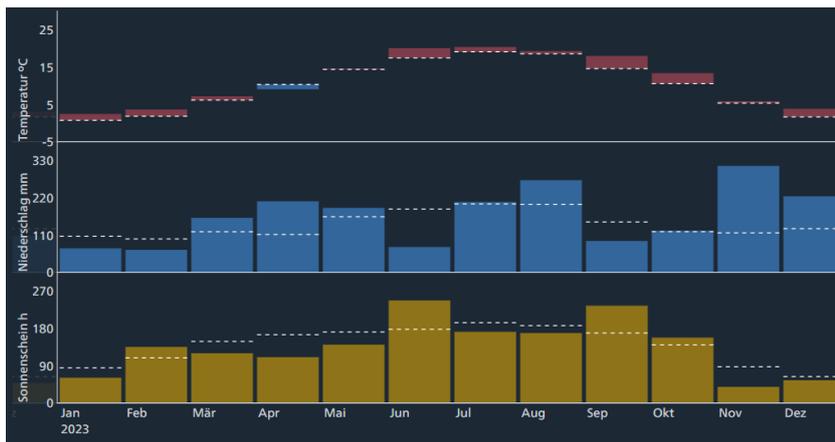


Abbildung 6: Wetterdaten in Weesen, Januar-Dezember 2023<sup>4</sup>

### 3.4. Energetische Ausgangslage

Im Haus ist ein Stromzähler der SAK angebracht, durch welchen der Energieverbrauch der Quartale Q1 2021 bis Q4 2023 bestimmt und ausgewertet wird. Dabei muss die Differenz zwischen aktuellem Zählstand und dem des vorherigen Monats verglichen werden, um den Monatsverbrauch zu erhalten. Weiter konnte die Summe von jeweils einem Quartal zusammengefasst werden, dies vereinfacht die Kostenberechnung, die pro Quartal erfolgt. Der Stromverbrauch ist vom SAK wegen der Kostendifferenz pro kWh in zwei Kategorien aufgeteilt<sup>5</sup>:

1. Normallast (T1) : Montag-Freitag: 07:00-19:00 Uhr
2. Schwachlast (T2) : Montag-Freitag: 00:00-07:00 und 19:00-24:00 Uhr  
Samstag-Sonntag 00:00-24:00

Der Aufteilung der zwei Kategorien liegt die Auslastung des Stromnetzes zugrunde. Da der Energiebedarf tagsüber höher ist als nachts, steigt der Preis, bei schwacher Netzbelastung ist der Strom wiederum günstiger. Der Energieverbrauch sagt viel über die Nutzung des Hauses aus, daher ist es eine gute Stelle um Verbesserungsmöglichkeiten miteinander zu vergleichen. Die Einheit Kilowattstunde (kWh) mit der sämtliche Daten der Energie angegeben werden findet sich auch in der Wärmedämmung und Stromproduktion wieder. Das Kürzel kWh gibt an wie viel Kilowatt Energie in einer Stunde erzeugt werden kann. Zur Berechnung, ob sich eine Investition in eine eigene Energiequelle lohnt, braucht es ausserdem eine Auswertung der Kosten für den Stromverbrauch. Stromrechnungen des SAK wurden dafür gesammelt und zusammengetragen. Auch dort lassen sich die Kosten in Energie und Netznutzung für je T1 und T2 aufteilen, hinzu kommen noch die Abgaben an der Gemeinde, der Netzzuschlag und die Mietwertsteuern. Die Daten werden auf die Jahre 2022 und 2023 bezogen. Das Haus bezieht die Stromkategorie «Naturstrom Basic» dessen Strommix sich aus 93.4% Wasserkraft, mindestens 6.6% davon 'Naturmade Star' (Label), und 6.6% Photovoltaik zusammensetzt.<sup>5</sup> Der grosse Anteil an erneuerbaren Energien des Strombezugs spricht für die Nachhaltigkeit des Gebäudes da dies den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit erfüllt.

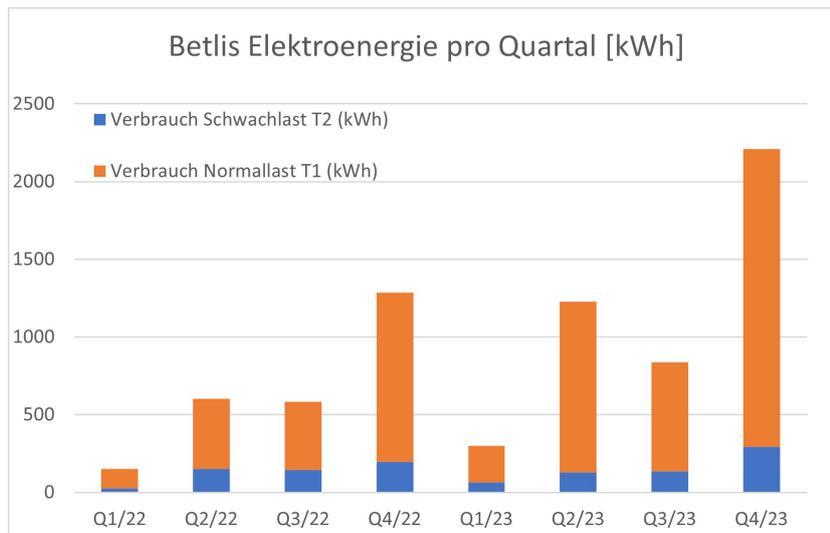
### 3.5. Resultate

In der Tabelle 1 sind die ausgewerteten Daten zum Stromverbrauch ersichtlich. In der Abbildung 7 ist ein Balkendiagramm zum besseren Überblick der Zahlen zu sehen. Die Quartale sind nach rechts aufsteigend sortiert und die Balken in den Verbrauch der Normallast (orange) und der Schwachlast (blau) unterteilt. Die aussagekräftigsten Quartale, in denen das Haus von mindestens zwei Personen bewohnt wurde, haben in der Tabelle einen weissen Hintergrund. Die weniger aussagekräftigen Quartale sind grau markiert. Als weniger aussagekräftig werden Quartale angesehen, in denen es nur wenige Wochenendbesuche gab und man nicht von einem bewohnten Haus sprechen kann.

Bis zum 2. Quartal des Jahres 2022 diente das Haus mehrheitlich als Wochenendhaus

	2022				2023			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Normallast T1	27	153	144	197	64	128	134	294
Schwachlast T2	125	450	439	1087	235	1098	705	1915
Gesamt	152	603	583	1284	299	1226	839	2209

**Tabelle 1:** Elektroenergieverbrauch in kWh der Jahre 2022 und 2023, nicht aussagekräftige Quartale grau markiert



**Abbildung 7:** Messdaten des Elektroenergieverbrauches der Jahre 2022 und 2023

und wurde maximal eine Woche pro Monat besucht, weshalb der Elektroenergieverbrauch geringer und unregelmässig und ist. Von Mai bis November 2022 wurde das Haus als Zwei-Personen-Haushalt gebraucht, der Herd, die Dusche und im Winter auch der Elektroheizer wurden regelmässig benutzt. Ab dem März 2023 war das Haus durchgehend bewohnt, ab Oktober wurde geheizt mit dem Nachtspeicherofen sowie Kamin. Über die betrachteten Jahre kann man von einem durchschnittlichen Energieverbrauch von 4'500kWh/Jahr ausgehen für einen Haushalt der von zwei Personen bewohnt wird. In der grafischen Darstellung ist gut zu erkennen, wann das Haus überwiegend bewohnt war, weil dort der Gesamtenergieverbrauch deutlich anstieg. Das Jahr 2023 hat deshalb auch einen höheren Verbrauch.

In einer separaten Analyse der Kosten konnte festgestellt werden, dass der Strompreis nicht so stark ansteigt wie der Elektroenergieverbrauch. Der Preis für die Normallast beträgt im Durchschnitt über die Jahre 2022 und 2023 29.71.- Rappen/kWh. Im Sommerhalbjahr wurde durchschnittlich 145.-/Quartal bezahlt und im Wintermonaten 265.-CHF. Der Preis ist nicht nur von den verbrauchten Kilowattstunden abhängig, sondern auch von dem aktuellen Strompreis, welcher auf der Webseite der SAK eingesehen werden kann. Im Durchschnitt wurde 29 Rappen/kWh bezahlt, dieser Preis ist höher als der Verdienst durch Energieeinspeisung ins öffentliche Netz (siehe Kapitel 5)

## 4. Wärmedämmung

Eine weitere Massnahme zur Verbesserung der Energieeffizienz eines Hauses ist die Sanierung der Wärmedämmung. Diese kann man an verschiedenen Bauteilen des Hauses verbessern und somit die Heizkosten senken. Ausserdem wird durch verbesserten Wärmeschutz der Energieverbrauch reduziert, wodurch die Energieeffizienz und auch die Nachhaltigkeit des Gebäudes steigt. Da in dem in dieser Arbeit betrachteten Haus kein Gas oder Ölheizung vorhanden ist, würde die zusätzliche Wärmedämmung stattdessen den Verbrauch von Holz für den Kamin und den Stromverbrauch für die Kleinheizer senken. Eine Wärmedämmung zahlt sich allerdings nicht nur im Winter aus, auch im Sommer trägt eine gute Isolierung dazu bei, das Gebäude zu kühlen und ein angenehmes Klima herzustellen. Für die Verbesserung der Wärmedämmung des Hauses käme beispielsweise ein Fensteraustausch infrage. Eine zusätzliche Aussendämmung wäre hingegen nicht empfehlenswert, da die Fassade mit Asbest verkleidet ist und eine Sanierung daher sehr teuer und sanierungstechnisch anspruchsvoll wäre.<sup>1</sup>

### 4.1. Grundlagen

In der Theorie der Wärmedämmung gibt es einige wichtige Fachbegriffe:

- U-Wert [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]

Der Wärmedurchgangskoeffizient dient als Mass für die Dämmeigenschaften eines Bauteils. Er gibt die Wärmemenge, an welche die in einer Sekunde durch einen Quadratmeter vom warmen in kalten Bereich eines Bauteils transportiert wird, wobei der Temperaturunterschied der Seiten 1 Kelvin beträgt. Je kleiner die Menge ist, desto kleiner ist der U-Wert und grösser die Wärmedämmung des Bauteils.

- $\lambda$ -Wert [ $W/(m \cdot K)$ ]

Die Wärmeleitfähigkeit beschreibt die Wärmemenge, die in einer Sekunde durch ein Bauteil mit einem Meter Dicke, einer Fläche von einem Quadratmeter und einem Temperaturunterschied von 1 Kelvin fliesst.

- g-Wert [%]

Der Gesamtenergiedurchlassungsgrad bestimmt die Menge der Sonnenstrahlung, die durch ein Fenster eindringt. Als Kennwert für die Verglasung wird der Gesamtenergiedurchlassungsgrad für senkrecht einfallende Strahlung  $g$  verwendet.

- $H_T$  [W/K]

Der Wärmeverlust ist die Wärmemenge, die durch das gesamte Bauteil verloren geht. Sie wird gemäss Formel 4.1 berechnet

$$H_T = U \cdot A \tag{1}$$

Der Austausch der Fenster oder des Glases bietet eine sehr effiziente Aufwand-Nutzen-Lösung, um den Wärmeverlust, der bei Altbauten bei ca. 80% liegt, zu reduzieren<sup>6</sup> (S.17). Da Glas ausserdem ein recyclebarer Werkstoff ist, bleibt die ökologische Qualität der Nachhaltigkeit eines Gebäudes erhalten. Die Fenster zu ersetzen, lohnt sich, wenn die Fenster älter als 20 Jahre sind, einfachverglast oder nicht mehr den Anforderungen des Energiegesetzes entsprechen. Deren U-Wert beträgt oft das Fünffache der Gebäudehülle, doch ist durch eine Renovierung oft um ein Drittel zu minimieren. Idealerweise sollte der U-Wert des Glases kleiner als 0.7 und der gesamten Konstruktion kleiner als 1 betragen.<sup>1</sup> (S.68)

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten alte Fenster aufzurüsten, je nachdem welches Element ersetzt oder verbessert wird. In der Berechnung wurde die Methode des Glaserersatzes gewählt. Es ist zwar einfacher, die Gläser bei einem Kunststofffenster zu ersetzen, doch auch bei Holzfenstern ist der Austausch möglich. Einfach oder Zweifachverglasste Fenster weisen insgesamt eine Dicke von ungefähr 20mm auf. Eine dreifach verglaste Scheibe ist 48-53 mm dick und deshalb nur dann einsetzbar, wenn der Rahmen einfach erweitert werden kann oder schon dick genug ist. Dies ist beim betrachteten Beispielhaus nicht der Fall, daher wird in diesem Kapitel die Variante des Glaserersatzes nur minimal berechnet und mehr Wert auf den gesamten Fensterersatz gelegt. Neue Fenster, die bei einem Austausch infrage kommen würden, bestehen aus drei 4mm dicken Wärmeschutzgläsern mit zwei Scheibenzwischenräumen (>9mm) und zwei selektiven Schichten, die mit Argon befüllt sind. Der Wärmedurchgangskoeffizient dieses Glases ist 0.7 und der g-Wert liegt bei 53%. Doppelverglasste Fenstern hingegen, wie sie bis 1980 grösstenteils verbaut wurden, weisen einen U-Wert ab 2.5 (1.4 cm) auf und haben einen g-Wert von über 75%.<sup>7</sup>

In den folgenden Berechnungen und Aussagen wird Bezug auf die Tabellen aus der Dokumentation von Daniel Kehl über die energetische Klassifizierung von Altbau Fenstern<sup>8</sup> genommen. Die wichtigsten Tabellen mit U-Werten sind im Anhang A.2 zu finden. Als alternativ einsetzbare Fenster, mit denen der Wärmeverlust verglichen wird, wird der Vorschlag von Dominik Portmann der 4B Holding AG (Bauteilzulieferer/Fensterverkäufer) benutzt. Der Vorschlag wurde auf Anfrage zur Kostenrechnung erstellt.<sup>9</sup> (siehe A.2)

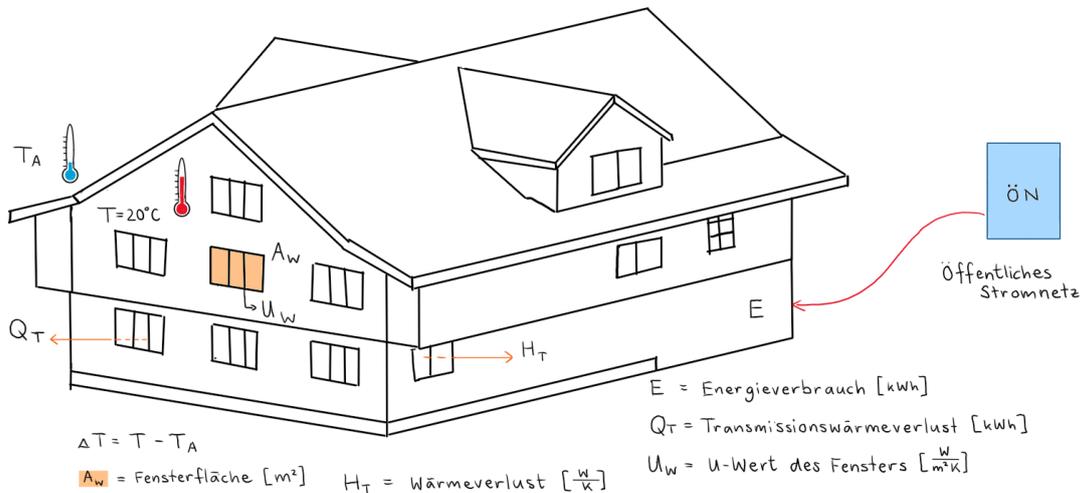
## 4.2. Berechnung des U-Wertes der Fenster

Fenster sind Bauteile, welche einen nicht konstanten U-Wert aufweisen, da sie aus mehreren Komponenten bestehen. In der Berechnung werden daher die U-Werte des Glases und des Rahmens sowie die Wärmebrückenverlustkoeffizienten des Randverbundes und der Einbausituation berücksichtigt. Für die Berechnung werden folgende Variablen benötigt, die abhängig vom Material und Art der Verglasung sind. Fachbegriffe, wie in

4.1 bereits erklärt, bekommen dabei einen Index, um sie zu klassifizieren.

- $U_f$  = Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens  $[W/(m^2 \cdot K)]$
- $l_f$  = Rahmenbreite  $[m]$
- $A_f$  = Fläche des Rahmens  $[m^2]$
- $s_f$  = Umfang des Rahmens  $[m]$
- $U_g$  = Wärmedurchgangskoeffizient des Glases  $[W/(m^2 \cdot K)]$
- $l_g$  = Breite des Glases  $[m]$
- $A_g$  = Fläche des Glases  $[m^2]$
- $s_g$  = Umfang des Glases  $[m]$
- $A_w$  = Fläche des gesamten Fensters  $[m^2]$
- $\psi_g$  = Wärmebrückenverlustkoeffizient des Glasrandverbunds  $[W/m \cdot K]$
- $\psi_{\text{Einbau}}$  = Wärmebrückenverlustkoeffizient der Einbausituation  $[W/m \cdot K]$
- $H_T$  = Wärmeverlust  $[W/K]$
- $Q_T$  = Transmissionswärmeverlust  $[kWh]$

Zum besseren Verständnis sieht man in Abbildung 8 die wichtigsten Komponenten der Wärmedämmung, die in den vorherigen Abschnitten erklärt wurden.



**Abbildung 8:** Übersichtliche Zeichnung der wichtigsten Größen der Wärmedämmung in Bezug auf ein Haus

Die Formel 2 erlaubt die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten des gesamten Fensters:

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi_g \cdot s_g + \psi_{\text{Einbau}} \cdot s_f}{A_w} \quad (2)$$

Der Transmissionswärmeverlust  $Q_T$  in einem gegebenen Zeitraum ist ein praktischer Wert, da er den Wärmeverlust durch ein Bauteil während einer Heizperiode in Kilowattstunden angibt. Um  $Q_T$  zu berechnen wird von einer Temperatur im Innenraum

von 20° Grad ausgegangen und die im Aussenbereich jeweils die Monatsdurchschnittstemperatur gemäss den Daten aus Abbildung 5 und 6. Als Zeitraum wird für die Berechnung die Monate mit einer Monatsdurchschnittstemperatur von unter 12°C gewählt. Der Wert des Transmissionswärmeverlust pro Monat erleichtert den Vergleich mit dem Stromverbrauch und verdeutlicht den Unterschied zu dem Verlust durch neue Fenster. Die Formel 3 zeigt die Berechnung.

$$Q_T = H_T \cdot \Delta T \quad (3)$$

Das Haus besitzt drei verschiedene Fenstertypen, die jeweils andere U-Werte aufweisen und diese auch anders berechnet werden müssen. Sie wurden zuerst vermessen und dann mit dem selbsterstellten Excel-Tool (siehe Anhang A.2) erfasst, um den U-Wert zu berechnen. In den Grafiken 9(Typ 1), 10a (Typ 2) und 10b (Typ 3) sind die Skizzen der Vermessungen zu sehen. Blau markiert ist die Gesamtfläche, sämtliche Längen sind in Metern angegeben.

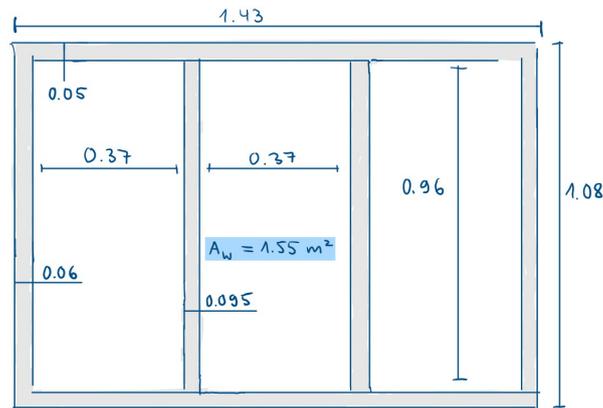


Abbildung 9: Skizze vom Fenstertyp 1 mit Messangaben in m

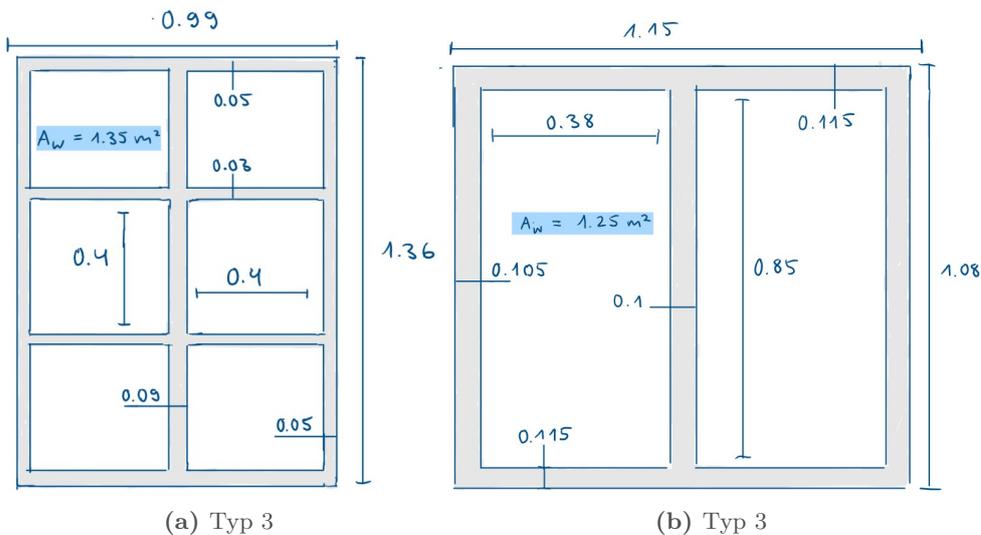


Abbildung 10: Skizzen der Fenstertypen 2 und 3 mit Messangaben in Metern

### 4.3. Resultate

Die Vermutung, dass das Haus eine schlechte Wärmedämmung besitzt, wurde theoretisch bestätigt. Die Resultate zeigen, dass sich viel Energie und Wärme einsparen lassen könnte, mit einem Fensteraustausch für Fenster mit einem U-Wert kleiner als 0.7. Unterhalb sind die U-Werte der drei Fenstertypen aufgelistet.

- Fenstertyp 1 :  $2.78 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenstertyp 2 :  $5.71 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenstertyp 3 :  $2.8 \text{ W/m}^2\text{K}$

In Tabelle 2 wird die Gesamtfläche der jeweiligen Fenstertypen pro Seite des Hauses dargestellt. Die Gesamtfläche wurde dann mit dem jeweiligen U-Wert des Fenstertypen multipliziert und so die Wärmemenge  $H_T$  erhalten, die durch die Fenster pro Kelvin Temperaturunterschied entweicht. In Tabelle 3 sind in den Spalten [T] die

Lage	Fenstertyp 1	Fenstertyp 2	Fenstertyp 3	$H_T$
Nordseite	0	5.39	0	32.43
Ostseite	1.54	2.69	1.24	26.02
Südseite	10.81	0	0	36.65
Westseite	1.54	0	3.73	18.99

Tabelle 2: Gesamtfläche  $A_W$  [ $m^2$ ] und Wärmeverlust  $H_T$  [W/K] nach Fassadenseite

Monatsdurchschnittstemperaturen der jeweiligen Monate aufgezeigt. Sie sind aus den Abbildungen 5 und 6 bezogen worden. In den Spalten rechts davon ist der Temperaturunterschied  $\Delta T$  zwischen der Raumtemperatur von  $20^\circ\text{C}$  und der Aussentemperatur angegeben. Die Daten der Monate mit einer Temperatur oberhalb der Heizgrenze von  $12^\circ\text{C}$  sind grau markiert, da sie für den Wärmeverlust weniger relevant sind. Aus dem Temperaturunterschied und den Wärmeleitwerten werden dann die Gesamtwärmeverluste pro Monat berechnet.

Monat	Jahr	T ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta T$ (K)	Jahr	T ( $^\circ\text{C}$ )	$\Delta T$ (K)
Januar	2022	0.6	19.4	2023	2.3	17.7
Februar	2022	4	16	2023	3.5	16.5
März	2022	7.5	12.5	2023	7	13
April	2022	9.8	10.2	2023	8.9	11.1
Mai	2022	16.3	3.7	2023	14.4	5.6
Juni	2022	19.5	0.5	2023	19.9	0.1
Juli	2022	21	-1	2023	20.2	-0.2
August	2022	20	0	2023	19.1	0.9
September	2022	14.1	5.9	2023	17.8	2.2
Oktober	2022	13.7	6.3	2023	13.2	6.8
November	2022	7.2	12.8	2023	5.7	14.3
Dezember	2022	2.9	17.1	2023	3.7	16.3

Tabelle 3: Monatsdurchschnittstemperaturen und Temperaturunterschiede, Monate mit Durchschnittstemperatur über Heizgrenze sind grau markiert

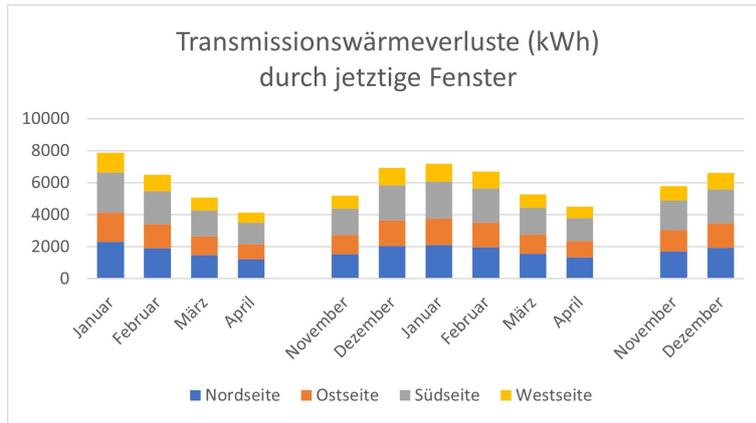


Abbildung 11: Diagramm zum momentanen Transmissionswärmeverlust

Die Tabelle 4 zeigt die Transmissionswärmeverluste aller Fenster während den Monaten, deren Durchschnittstemperatur unter  $12^\circ$  lag. In Abbildung 11 wird der Verlust in auf die vier Fensterseiten aufgeteilt, um die Verteilung des Verlustes klarer darzustellen. Durch die schlecht isolierten Fenster wäre in der Heizperiode 2022 insgesamt 35'683 kWh an Wärmeenergie verloren gegangen. In der Heizperiode 2023 läge der Verlust sogar bei insgesamt 36'048 kWh.

Jahr	Monat	$H_T$ (kWh)	Jahr	Monat	$H_T$ (kWh)
2022	Januar	7867	2023	Januar	7177
2022	Februar	6488	2023	Februar	6691
2022	März	5069	2023	März	5271
2022	April	4136	2023	April	4501
2022	November	5190	2023	November	5799
2022	Dezember	6934	2023	Dezember	6609

Tabelle 4: Transmissionswärmeverlust durch Fenster während Heizmonaten

Als Nächstes werden die Ergebnisse dargestellt, welche ein Glasaustausch durch Wärmeisoliertes Glas dargestellt. In der Abbildung 12 wurde das Diagramm aus Abbildung 11 angepasst. Es wurden dabei die Bedingungen, welche in der Theorie der Wärmedämmung 4 besprochen wurden, angewendet. Der  $U_g$ -Wert, der  $\psi_g$ -Wert werden dafür angepasst, der  $U_f$  und  $\psi_{\text{Einbau}}$ -Wert bleibt bestehen. Die U-werte der gesamten Fenster lauten dafür :

- Fenstertyp 1 :  $1.29 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenstertyp 2 :  $1.49 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenstertyp 3 :  $1.83 \text{ W/m}^2\text{K}$

Da der Glasaustausch allein aufgrund der geringen Fensterbreite nicht möglich ist, wurde der bereits erwähnte Vorschlag von 4B geprüft. Dazu wurde der  $U_g$ -Wert, der  $\psi_g$ ,  $\psi_{\text{Einbau}}$ -Wert und der  $U_f$ -Wert gemäss Angaben angepasst. Die Auflistung zeigt nun die erhaltenen U-werte der Fenster, die eingesetzt werden könnten.

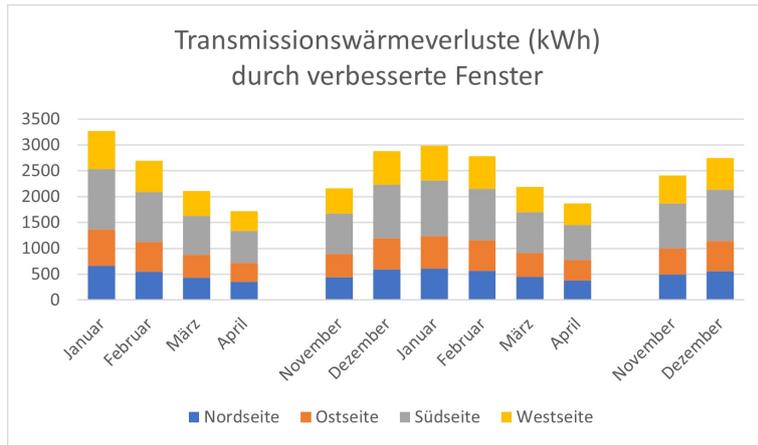


Abbildung 12: Diagramm zum Transmissionswärmeverlust durch Fenster mit Glasersatz

- Fenstertyp 1 :  $0.86 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenstertyp 2 :  $0.93 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Fenstertyp 3 :  $1.07 \text{ W/m}^2\text{K}$

Die Abbildung 13 stellt wie die Abbildung 11 den Transmissionswärmeverlust aufgeteilt in die Seiten des Hauses dar. Darunter findet sich ein Vergleich der beiden Diagramme, indem jeweils der gesamte Transmissionswärmeverlust des Hauses pro Monat gezeigt wird. Orange wird der Grundzustand dargestellt, gelb die Variante des Glasaustausches und grün die des gesamten Fensteraustausch.

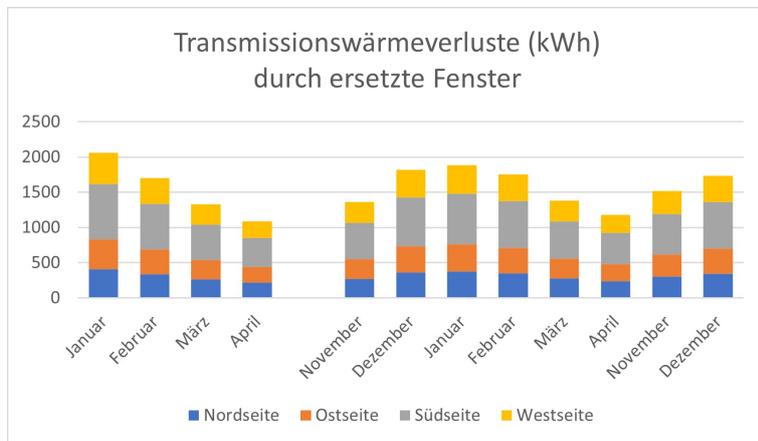
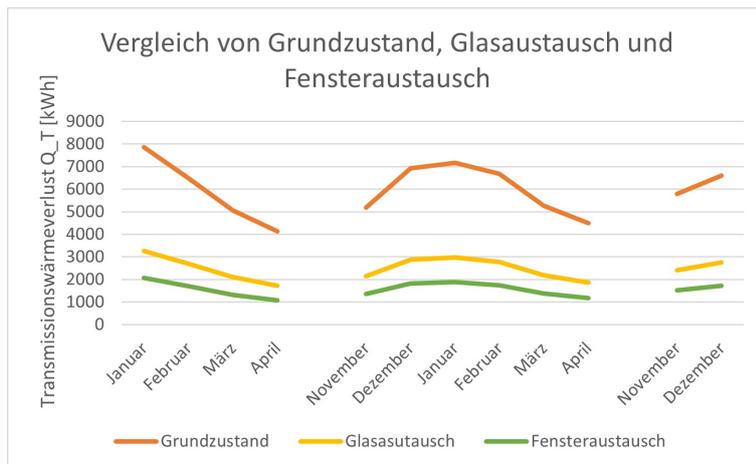


Abbildung 13: Diagramm zum konzeptionellen Transmissionswärmeverlustes

Der Transmissionswärmeverlust könnte mit dem Glasaustausch um 51% und mit einem Totalfensteraustausch um 74% verringert werden. Der theoretisch gesamte Wärmeverlust von rund 35'680 Kilowattstunden in den Heizmonaten 2022 hätte mit Wärmeschutzglas nur 14'830kWh betragen, mit neuen Fensterrahmen dazu nur 9'350kWh. Für 2023 ohne Sanierung 36'048, mit neuem Fensterglas 14'985 und ganz neuen Fenstern 9'442.



**Abbildung 14:** Vergleichsdiagramm von momentanem und möglichem Transmissionswärmeverlust

**Kosten** Auf Anfrage an die 4B AG wurde eine grobe Kosteneinschätzung bezüglich Glasaustausch und Fensteraustausch gefertigt. Die Kosten der Sanierung sind abhängig von vielen Faktoren, der Lage des Hauses, der benötigten Anzahl Monteure, die Art des Glases. Grundsätzlich kostet der Glasaustausch etwa ein Drittel des Totalfensterersatzes. Die Kosten können in folgender Auflistung für einen Glasaustausch dargestellt werden, als Zusatz kommen Kosten für Helikopter und Kleinmaterial dazu, welche nicht gut eingeschätzt werden können.

- Glaskosten : 8'000 - 9'000.-
- Montagekosten : 6'000 - 7'000.-
- Zusatz : 5'000 - 6'000.-

Der Glasaustausch kostet somit ca. 18'000-22'000.- CHF, ist aufgrund des Alters der Fenster gar nicht möglich. Die Sanierung der Fenster wird somit für mindestens 54'000.- CHF verrechnet.

## 5. Photovoltaik

### 5.1. Grundlagen

Die Technologie der Photovoltaik, die Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie, entwickelte sich aus den Beobachtungen der Fotoelektrizität. Bei den Entwicklungen der ersten Silizium-Solarzellen (1954), die eine elektrische Spannung von 0,6 Volt erzeugten, war die Technologie noch nicht genug fortgeschritten, um diesen Solaranlagen eine kommerzielle Bedeutung zuzuschreiben. Mit der Verbesserung der Technologie wurden die Solarzellen ab den 1970er Jahren effizienter und günstiger und es wurden mehr Anlagen zur Stromproduktion für den öffentlichen Verbrauch installiert. Mittlerweile hat sich die Photovoltaik eine entscheidende Rolle im Bereich der erneuerbaren Energien ergattert und man hofft den Anteil an der weltweiten Stromproduktion zu steigern.<sup>10</sup>

Photovoltaik (PV) Module sind aus Platten, welche aus zwei Schichten eines Halbleiters, meistens Silizium, aufgebaut. Diese sind unterschiedlich dotiert und bilden so einen PN-Übergang. Bei Sonnenaufprall auf diesen Übergang entsteht ein Stromfluss mit geringer Spannung. Um eine höhere Gleichspannung zu erhalten, werden mehrere Module in Serie geschaltet und so zu einem Solargenerator zusammengeschlossen. Die Plattenoberfläche ist ausserdem besonders beschichtet, um die Lichtabsorption und Elektronenbeweglichkeit der Metalle zu erhöhen. Der erzeugte Gleichstrom muss dann für den Netzgebrauch durch einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt werden. Im Normalfall wird im Wechselrichter auch ein Zähler eingebaut, welcher den eigenen Strombezug und die Einspeisung ins öffentliche Netz misst. Überschüssiger Strom, der nicht direkt verbraucht wird, kann zwar in Wasserstoffanlagen oder Redox-Flow Batterien gespeichert werden, jedoch sind diese noch nicht für Einfamilienhäuser geeignet.<sup>10,1</sup> (S.98) In der Abbildung 15 ist zu sehen, wie der Solarertrag vom PV-Modul verwendet wird. Der Wechselstrom wird für den Haushaltsstrom und den Warmwasserverbrauch benutzt, der überschüssige Teil wird ins öffentliche Netz eingespeisen.

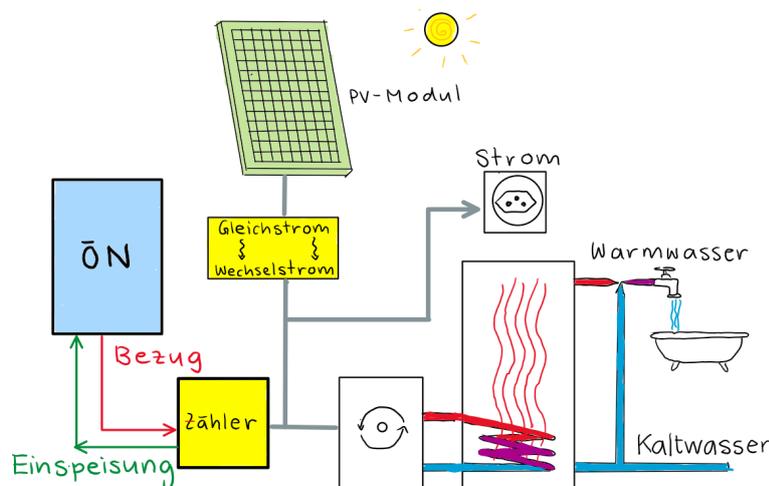


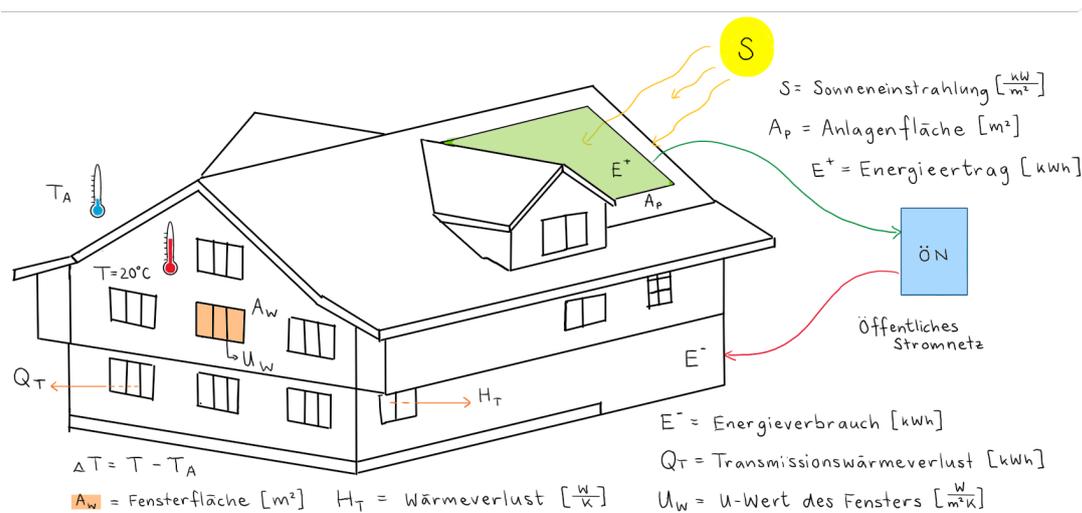
Abbildung 15: Zeichnung zur Erläuterung des Stromverbrauches

		Dachausrichtung																			
		Süd		Südost/Südwest						Ost/West				Nordost/Nordwest						Nord	
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	
Dachneigung	0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%		
	10°	93%	93%	93%	92%	92%	91%	90%	89%	88%	86%	85%	84%	83%	81%	81%	80%	79%	79%	79%	
	20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%	
	30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%	
	40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%	
	50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%	
	60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%	
	70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	63%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%	
	80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%	
	90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%	

Abbildung 16: Abhängigkeit des Photovoltaikertrages von der Dachneigung, Die Ausrichtung der Dachflächen ist gelb markiert

Der Ertrag einer PV-Anlage ist nicht nur abhängig von den Halbleitermaterialien und dem Aufbau der Solarzelle, sondern auch von der Ausrichtung und Neigung der Module zur Sonneneinstrahlung. Eine Südaufstellung von 30-40° zur Waagerechten gilt als Optimum, auch Süd-Ost und Süd-West Neigungen zwischen 20 und 50 Grad gelten als ertragreich. In der Tabelle der Abbildung 16 ist die Abhängigkeit von Ausrichtung und Neigung der PV-Module auf den Ertrag ersichtlich. Auch die Verschattung der Module ist ausschlaggebend für den Ertrag, da das schwächste in Reihe geschaltete Modul über die Leistung entscheidet. Daher ist es wichtig keinen Schattenwurf auf die Module zu haben, doch auch ein klarer Sommertag ist nicht immer von Vorteil für die Module laut<sup>11</sup>. «Sobald die Solarzellen eine höhere Temperatur als die 25 °C [...] erreichen, sinkt die Leistung um 0,3 - 0,4% pro Grad.» In Abbildung 16 ist zusehen, wie kleinere Neigungswinkel bei Abweichungen von Süden einen besseren Ertrag erzeugen. Die grünen Farbbereiche symbolisieren in der Abbildung besonders ertragreiche Ausrichtungen und die roten, die vermieden werden sollten. Gelb markiert ist die Ausrichtung der Dachflächen des Ferienhauses. In Abbildung 17 wurde der Zeichnung aus Abbildung 8 noch die erwähnten Größen der PV-Grundlagen ergänzt. Im Bereich der Photovoltaik spielt ausser der Masseinheiten Kilowattstunde (kWh) der Kilowatt-Peak (kWp) eine wichtige Rolle. Der Kilowatt-Peak wird auch Nennleistung genannt und ist die Maximalleistung in Kilowatt, die eine PV-Anlage erzielen kann. Eine Stromerzeugung von 1000kWh/Jahr wird als 1kWp bezeichnet, Mehrfamilienhäuser haben eine durchschnittliche Leistung von 5 bis 10 kWp.<sup>11</sup> Bei Berechnungen wird meist pro Person ein Verbrauch von 1000kWh pro Jahr angenommen und daher PV-Erträge von 1kWp pro Person berechnet, diese Leistung kann je nach Eigenverbrauchsanteil und Ausrichtung der Dachfläche angepasst werden. Ein einziges Modul mit Grösse 1.7m<sup>2</sup> hat üblicherweise eine maximale Leistung von 300 bis 500Wp wobei die mit geringerer Leistung günstiger sind und ausreichen, wenn andere Faktoren für einen hohen Ertrag sprechen.

Die zentrale Frage, ob eine PV-Anlage sich auch lohnt, hängt vor allem vom Stromverbrauch und dem Energiepreis ab und ob es möglich ist, diesen durch PV-Strom zu minimieren. Die mögliche Stromerzeugung wird daher mit dem Eigenverbrauch vergli-



**Abbildung 17:** Übersichtliche Zeichnung der wichtigsten Grössen der Wärmedämmung & Photovoltaik in Bezug auf ein Haus

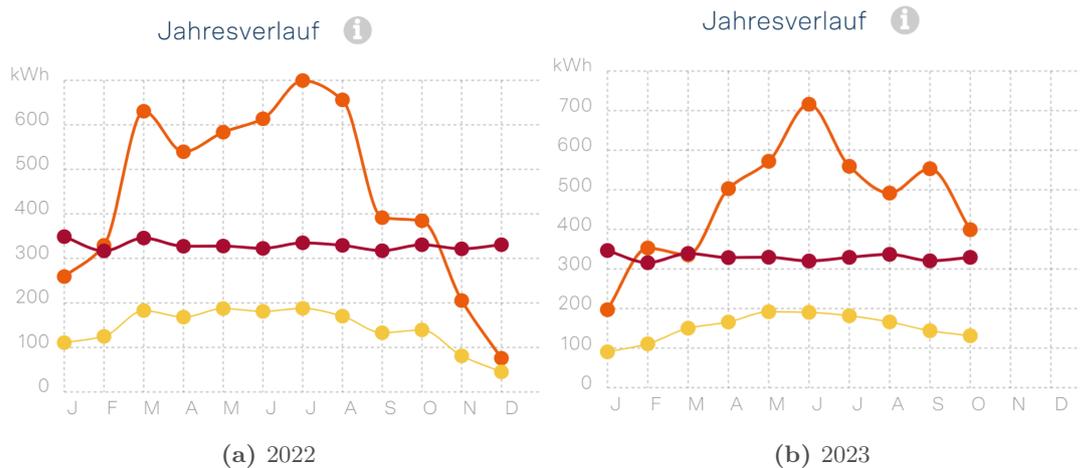
chen und dabei auf die Amortisationszeit geachtet, die möglichst gering bleiben soll. Die Amortisationszeit ist die Zeit, die vergeht, bis die Nettoinvestition wieder beglichen wird durch Einnahmen des eingespeisten Stroms ans öffentliche Netz. Ob es sich lohnt, mehr des produzierten Stromes selbst zu verbrauchen oder einspeisen zu lassen, hängt vom aktuellen Strompreis ab. Für den eingespeisten Strom ins Netz, der nicht selber verbraucht wird, liegt der Vergütungstarif der Gemeinde bei 14.07 Rappen/kWh, in 4 wurde der Strompreis von 29.71 Rappen/kWh festgestellt. Der Eigenverbrauch ist der Anteil des produzierten Stromes den man selbst verbraucht. Mit einem höheren Eigenverbrauch kann man somit bis zu 15 Rappen pro Kilowattstunde einsparen und erhöht so die Wirtschaftlichkeit der Anlage. "Wenn der Jahresverbrauch etwa der jährlichen Solarstromproduktion entspricht und der Eigenverbrauch nicht optimiert wird, kann ein Haushalt ohne Energiespeicher ca. 15% bis 30% seines selbstproduzierten Solarstroms zeitgleich verbrauchen."<sup>12</sup> (S.6)

## 5.2. Anwendung

Mit dem Tool des Bundesamts für Energie<sup>13</sup> lässt sich der Ertrag und die Eignung einer beliebigen Dachfläche berechnen. Weitere Informationen erhält man mit dem Solarrechner von Energie Schweiz, worauf sich auch folgende Schlüsse beziehen. Wichtig für die Berechnung ist die Ermittlung der Dachneigung und der Gesamtdachfläche, die zur Verfügung steht. Wie bereits erwähnt spielt, die Richtung in die sich ein Dach neigt auch eine Rolle.<sup>14</sup> Zum Eigenverbrauch wird hier eine Anlage betrachtet, die Strom für den Haushalt sowie für die Warmwasserbereitstellung erzeugen würde.

### 5.3. Resultate

Das Dach des Ferienhauses ist durch Erfüllung mehrerer Faktoren sehr gut für eine Stromerzeugung mittels PV-Anlage geeignet. Die eine Dachseite (Nordost) neigt sich  $36^\circ$ , mit  $25^\circ$  gegen Süden und ist daher optimal positioniert. Die mittlere Sonneneinstrahlung beträgt auf dieser Seite rund  $1'228 \text{ kW/m}^2$  pro Jahr, auf eine Dachfläche von  $79 \text{ m}^2$  erhält man etwa  $97'584 \text{ kWh}$  gesamte Einstrahlung pro Jahr. Würde man  $25 \text{ m}^2$ , rund ein Drittel, der Dachfläche mit einer Anlage bedecken, die einen Wirkungsgrad von 20% aufweist, könnte man pro Jahr bis zu  $5'000 \text{ kWh}$  Solarstrom produzieren. Die Nettoinvestition einer Anlage dieser Grösse liegen bei ungefähr  $15'000 \text{ CHF}$ , darin enthalten sind die Kosten für die Anlage sowie die Abzüge für die kleine Einmalvergütung und Steuereinsparungen. Für den eingespeisten Strom könnte pro Jahr ca.  $530 \text{ CHF}$  verdient werden und die Kosten für den Stromverbrauch würden sinken, da der Eigenverbrauchsanteil des selbst produzierten Stromes bei ca. 35% liegt.<sup>15,16</sup> In den folgenden Abbildungen 18a und 18b ist die Simulation des möglichen Solarertrages der Jahre 2022 und 2023 zu sehen. Es ist die Solarenergie, die mit einer PV-Anlage mit einer Nennleistung von 5.0 Kilowatt Peak ( $25 \text{ m}^2$ ) theoretisch erzielt worden wäre. Der Energieverbrauch ist für  $4'500 \text{ kWh}$  angegeben und vom Tool selbst auf die Monate verteilt worden und entspricht nicht den selben Daten wie im Kapitel 3.4 (Quelle: siehe Anhang A.3)



**Abbildung 18:** Orange: Durch PV-Anlage erzeugter Strom, Braun: Gesamt verbrauchter Strom, Gelb: Eigenverbraucher Strom

Die andere Dachseite mit einer Neigung von  $39^\circ$  und Ausrichtung  $295^\circ$  ist mit einem Ertrag von 54 % eher mittelmässig geeignet. Die mittlere Sonneneinstrahlung beträgt  $820 \text{ kW/m}^2$  pro Jahr, das heisst rund  $46'125 \text{ kWh/Jahr}$ . Eine Anlage mit gleichem Wirkungsgrad und Fläche wie für die erste Dachseite könnte pro Jahr rund  $3'800 \text{ kWh}$  Energie bereitstellen, würde jedoch für einen geringeren Ertrag genauso viel kosten.<sup>17</sup> Wenn man auf der maximal nutzbaren Dachfläche PV-Module installieren würde, könnte man damit im Jahr gerundet  $8'900 \text{ kWh}$  auf der ersten und  $6'700 \text{ kWh}$  auf der zweiten Dachseite, also  $15'600 \text{ kWh}$  elektrische Energie durch Sonneneinstrahlung gewinnen. Eine so grosse Anlage kostet aktuell ca.  $60'000 \text{ CHF}$ . Die Amortisationszeit für eine solche Anlage ist über 20 Jahre lang und der Eigenverbrauch nur sehr gering.

In Kapitel 3.4 wird der Strommix des Strombezugs erwähnt. In der folgenden Tabelle ist ein Vergleich vom bisherigen Strombezug und dem Strombezug einer Solaranlage auf der Nordostseite wie zuvor erläutert und dem öffentlichen Netz zu sehen.

**Tabelle 5:** Energiemix vor und nach PV-Installation

<b>Energiequelle</b>	<b>Bisher</b>	<b>Mit PV-Anlage</b>
Wasserkraft	93%	61%
Photovoltaik	7%	39%

**Tabelle 6:** Vergleich vom Energiebezugsanteil von Wasserkraft und Photovoltaik

## 6. Architektur

### 6.1. Grundzustand

Für die Konstruktion des Hauses wurde die Architektursoftware von Grafisoft namens Archicad gewählt. Die Software wird bereits von den meisten Architekturbüros genutzt und bietet ausserdem eine kostenfreie Studentenversion an. Mit dieser können zwar nicht alle Funktionen wie in der professionellen Version benutzt werden, doch die Grundkonstruktion des Hauses ist damit möglich. Archicad ist eine BIM-Software, welche zu verschiedenen Stadien der architektonischen Planung genutzt werden kann. Es werden sowohl 3D-Modelle als auch Masse und Eigenschaften der einzelnen Komponenten eines Objektes gespeichert. Das Programm kann gut durch "learning-by-doing" erschlossen werden, da die Werkzeuge und integrierte Bibliotheken intuitiv zu erschliessen sind. Tools wie das Fenster-Werkzeug sind einfach durch Symbole zu erkennen und die Standardfunktionen können weiter individualisiert werden. Beim Bezug einer kostenfreien Bildungsversion erhält man ebenfalls Zugang zu ACADEMY, einer Webseite mit zahlreichen Tutorials zum Umgang mit BIM-Programmen.<sup>18</sup> Der Datenaustausch mit der professionellen Software ist auch möglich, wodurch die zugeschickten Pläne der Architekten<sup>19</sup> problemlos als Vergleich betrachtet werden können.

Im Weiteren wird hier ein Überblick über das Vorgehen beschrieben, die detaillierte Konstruktion wird im Anhang A.1 beschrieben. Die Grundlage für eine Visualisierung eines Gebäudes sind Messdaten, welche zuerst vor Ort gemacht werden müssen. Dafür werden mit Massstab und Lasermessgerät sämtliche Höhen, Breiten und Längen des Hauses bestimmt und zusammengetragen. Mit Rasterpapier werden dann Skizzen angefertigt und die Messungen übertragen. Durch die Skizzen erschafft man sich einen groben Überblick des Grundrisses und Unvollständigkeiten können entdeckt werden. In Abbildung 19 werden die ersten Skizzen der groben Vermessung, welche nur mit Massstab gemessen wurden, vom ersten Stock dargestellt. Rechts daneben sieht man die Verbesserungen nach erneutem Messen mit einem Lasermessgerät. Im Anhang A.1 sind weitere Skizzen zu finden.

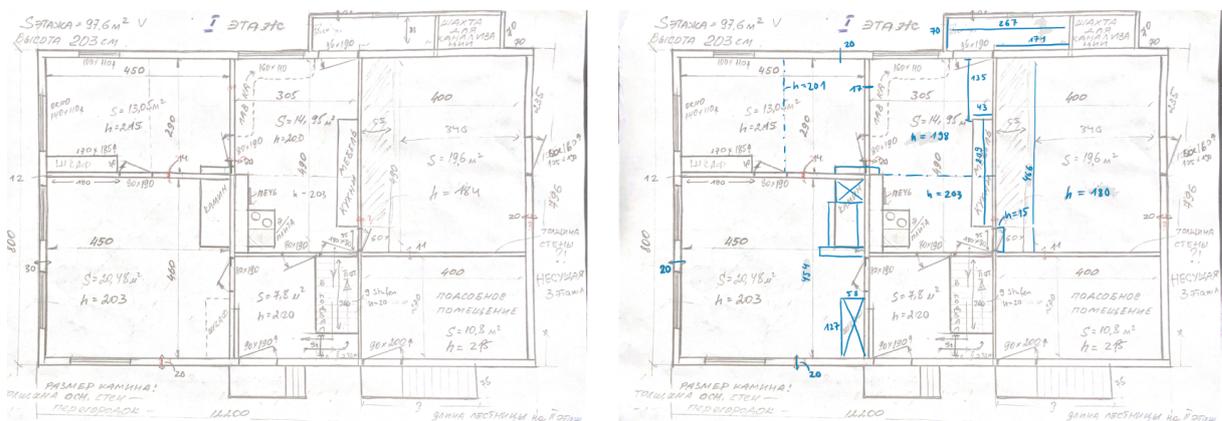


Abbildung 19: Skizzen nach der Vermessung, rechts: 1. Version, links: verbesserte Version

## 6.2. Konstruktion des Grundzustandes

Bei der Konstruktion des Grundzustandes wird zuerst der Grundriss des Grundstücks in das Programm importiert. Dieser dient als Orientierung für die Dimension und allenfalls als Nachprüfung der Daten. Der Grundriss eines beliebigen Grundstücks kann auf der Webseite des schweizerischen Katasterwesens ([cadastr.ch/](http://cadastr.ch/)) eingesehen werden. «Der OEREB-Kataster ist das offizielle Informationssystem für die wichtigsten öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen».<sup>20</sup> Das Kataster beinhaltet Informationen zur Grundstücksart, dem Gelände und dort geltenden Bauvorschriften. Der Grundriss von Vorderbetlis 715 wird in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abbildung 20: Auszug aus dem OEREB Kataster Schweiz, Vorderbetlis 715<sup>20</sup>

## 6.3. Konstruktion des Konzepts

Zur fertigen Konstruktion des Grundzustandes wurden in der Visualisierung des Verbesserungsentwurfes neue Fenster eingefügt. Die Fensterrahmen sind weiss und besitzen ein anderes Glas, um den Unterschied aufzuzeigen. Die Photovoltaikanlage wurde in der Grösse, die als optimal berechnet wurde, auf dem Dach angebracht. Die grüne Farbe wurde absichtlich gewählt, um die Verbesserung in den Vordergrund zu stellen. Die anderen Eigenschaften wurden von der ursprünglichen Konstruktion übernommen, die Abbildungen der Grundrisse bleiben daher gleich. Die Ansicht aus allgemeiner Perspektive findet man in Abbildung 27 im Kapitel 7.

## 6.4. Architektonische Resultate

Die nachfolgenden Bilder zeigen die Grundrisse der Geschosse (21a, 21b, 22a, 22b, 23), sowie die Ansichten der Fassaden (24,25). An den Fassaden sieht man auch die verschiedenen Fenstertypen, welche im Kapitel 4.3 genauer betrachtet wurden.

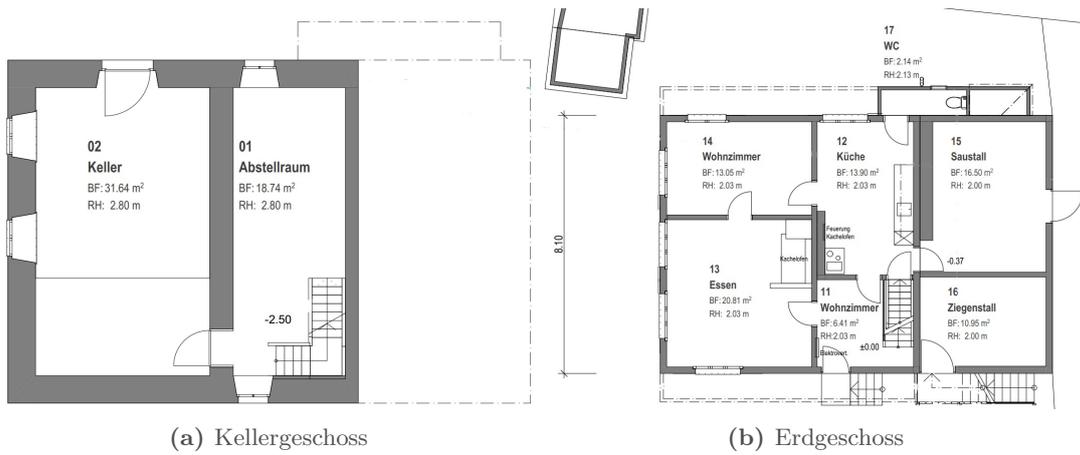


Abbildung 21: Grundriss Bestand

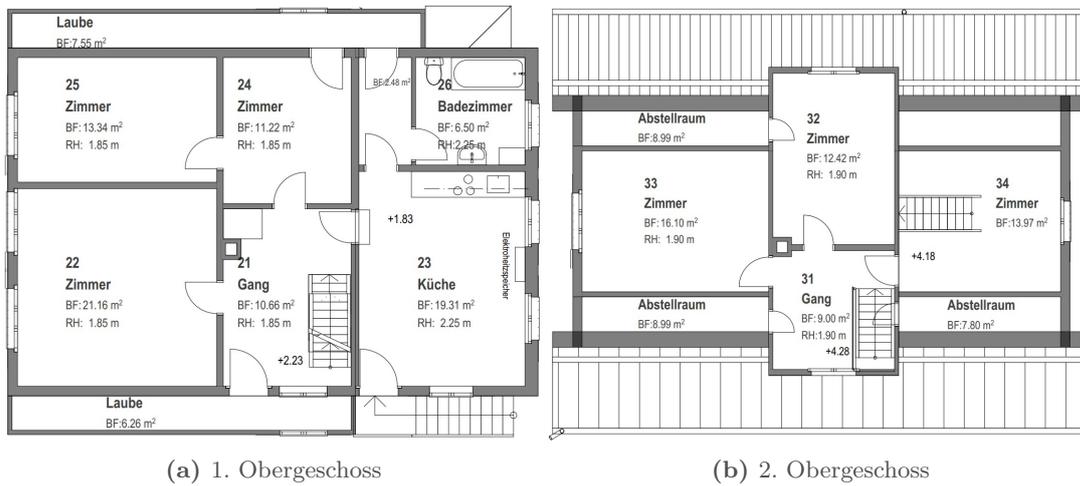


Abbildung 22: Grundriss Bestand

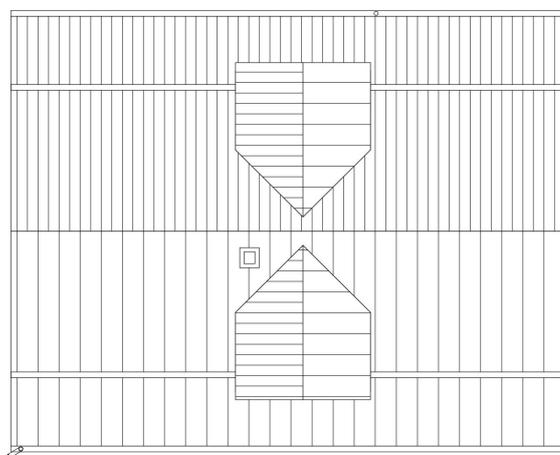


Abbildung 23: Dachgeschoss

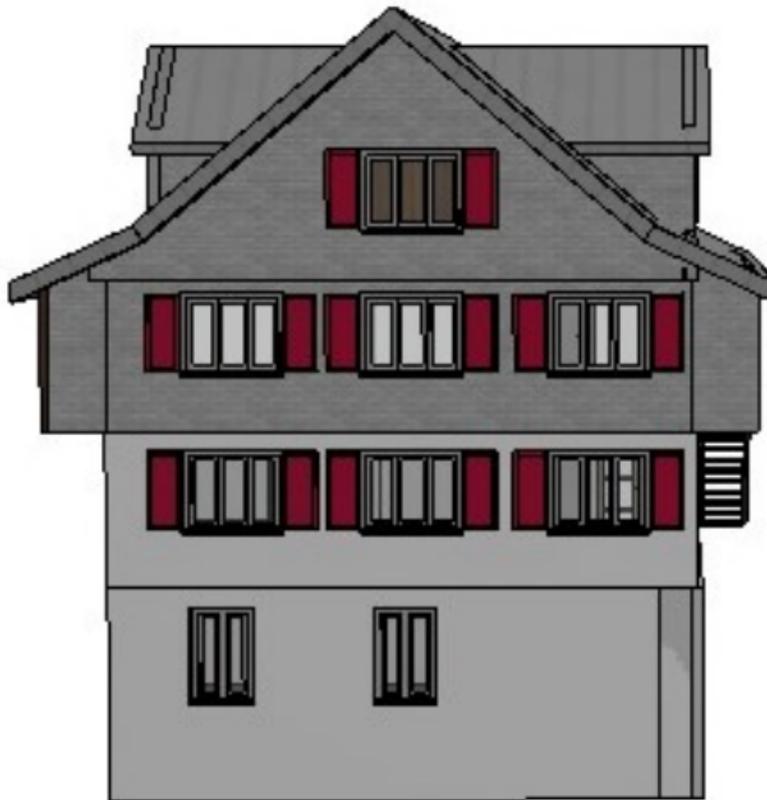


Abbildung 24: Nord- (oben) und Südfassade (unten) Grundzustand Konstruktion



Abbildung 25: Ost- (oben) und Westfassade (unten) Grundzustandkonstruktion

## 7. Diskussion

In diesem Teil werden die Resultate der vorherigen Kapitel genauer erklärt und interpretiert. Im zweiten Abschnitt befindet sich die Visualisierung der wichtigsten Daten. Abbildung 26 zeigt die Konstruktion vom Grundzustand und dessen Merkmale. In Abbildung 27 wurden die Verbesserungsvorschläge eingefügt und die wichtigsten Ergebnisse noch einmal zusammengefasst.

### **Wie energieeffizient ist das Haus im Grundzustand ?**

Die Ergebnisse des Stromverbrauches sind überraschend und sehr vielfältig. Der Verbrauch ist stark abhängig von der Nutzung des Hauses und da diese immer variiert ist es schwer konkrete Schlüsse zu ziehen. Einige Muster lassen sich dennoch erkennen und bewerten. Der starke Unterschied der Normallast der in Abbildung 7 ist mit dem Anschluss der Heizer verbunden, welche einen enormen Stromverbrauch haben, sowohl als auch ein gesteigerter Warmwasserverbrauch und häufigere Herdnutzung im Winter. In den Heizmonaten steigt allerdings nicht, wie erhofft, der günstigere Schwachlastverbrauch an, sondern der Normallastverbrauch. Dieser liesse sich reduzieren, wenn der Nachtspeicherofen ausschliesslich nachts eingeschaltet wird und Heizer auch erst ab 19:00 angeschlossen werden. Der gesamte Energieverbrauch von ca. 4'500kWh pro Jahr ist ausserdem sehr hoch, für einen Zwei-Personen-Haushalt, der in der Schweiz durchschnittlich bei 2'000 - 3'500 kWh pro Jahr verbraucht. Zu beachten ist dabei auch, dass in der Heizperiode lediglich zwei Zimmer richtig geheizt wurden und daher der Verbrauch nicht vergleichbar ist mit dem von einem ganzen Einfamilienhaus. Würde das gesamte Haus geheizt werden oder der das Haus tatsächlich das ganze Jahr über gleich genutzt werden, läge der Stromverbrauch deutlich noch höher. Den Unterschied sieht man allein im Energieverbrauch vom letzten Quartal 2022 und dem im Jahre 2023, das Haus wurde 2022 im Dezember nicht bewohnt, 2023 aber durchgehend. Im berechneten Stromverbrauch ist auch keine Energienutzung von Wäsche und Fernsehanschlüssen enthalten, diese gehören in der Norm zu einem Haushalt dazu. Der dadurch entstehende hohe Energieverbrauch lässt daher schliessen, unter Berücksichtigung der speziellen Situation, dass es einiges Einzusparen gäbe durch eine energetische Sanierung.

### **Wie viel Wärmeenergie wird durch alte Fenster verloren?**

Die Berechnungen der U-Werte der Fenster und deren Wärmeverlust zeigen und bestätigen die Theorie, dass alte Fenster rund 80% des Wärmeverlustes ausmachen. Mit den neuen Fenstern könnte man den Wärmeverlust um 74% verringern, was einen enormen Energieverbrauch einschränken könnte. Aus der Tabelle 2 ist ersichtlich, dass die Südseite des Hauses am meisten Wärme durchlässt. Auf dieser Seite liegen auch die Schlafzimmer, die im Winter sehr kalt sind und zusätzlich beheizt werden müssen. Die Südseite verliert nicht nur wegen des grossen U-Wertes so viel Wärme, sondern hauptsächlich durch die grosse Gesamtfläche an Fenstern. Die Nordseite besitzt ebenfalls viele Fenster, jene mit dem höchsten Wärmedurchgangskoeffizienten, Fenstertyp 2, und weist daher einen grossen Wärmeverlust auf. Aus den Daten kann man nicht schliessen, wie viel Kosten man durch den Fensteraustausch einsparen würde, da es keine Heizung gibt, deren Stromverbrauch isoliert messbar ist. Mit dem Einsatz von

neuen Fenstern müsste man sicher weniger heizen, um die Wärme im Haus zu behalten, in den nicht geheizten Räumen gäbe es trotzdem eine angemessene Raumtemperatur. Diese Sanierungsmassnahme fördert die Nachhaltigkeit des Hauses (vgl. Abb.1) indem der thermische Komfort gefördert wird und auch die Heiztechnik und Wärmedämmung verbessert wird.

Die Kosten der Massnahme sind laut Auskunft (ab 54'000.- CHF) nicht gering, doch der Arbeitsaufwand schon. In etwa einer Woche könnten die Fenster eingesetzt werden und der Dämmeffekt wäre sofort spürbar. Alle Wände zu sanieren wäre hingegen aufwändiger und die Kosten noch höher. Der in im Kapitel 4.1 erwähnte Satz "Die Fenster zu ersetzen, lohnt sich, wenn die Fenster älter als 20 Jahre sind, einfach verglast oder nicht mehr den Anforderungen des Energiegesetzes entsprechen." bestätigt die Hypothese der Leitfrage und auch die gefundenen Ergebnisse.

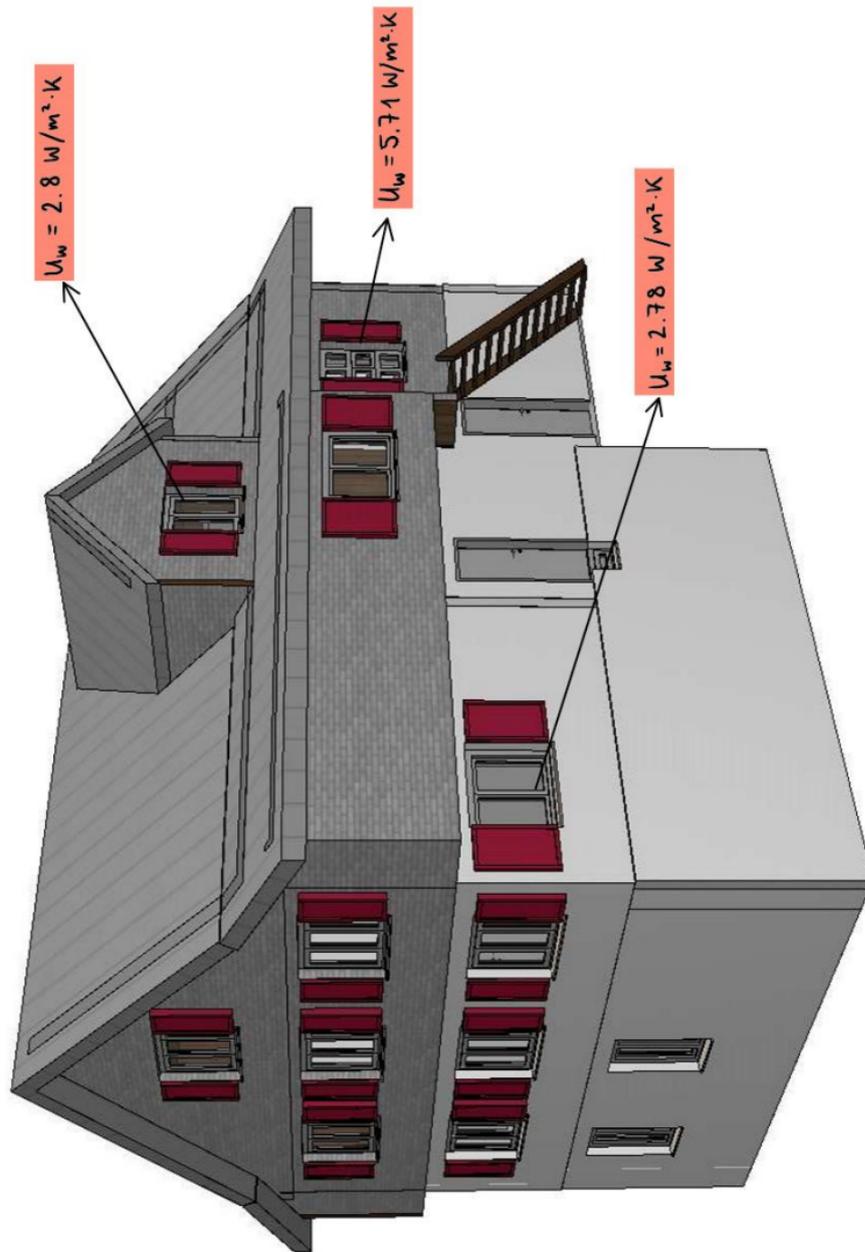
### **Lohnt es sich selbst Strom zu produzieren?**

Die Hypothese dieses Kapitels wird durch die Ergebnisse bestätigt. Eine Anlage von 5kWp auf der Dachseite gegen Nordosten, die pro Jahr bis zu 5'000 Kilowattstunden Strom produziert, erweist sich als besonders rentabel. 31% Eigenverbrauchsanteil für eine Anlage ohne Batterie ist laut der Theorie üblich für PV-Anlagen. In diesem Falle entspricht die Nennleistung nicht nur einem Kilowatt-Peak pro Person, sondern 2.5kWp. Dies, weil der Energieverbrauch wie die Resultate im Kapitel 3.5 von 4'500 Kilowattstunden pro Jahr sehr hoch ist. Diese Verbesserung würde erneuerbare statt fossile Energien fördern und die Nachhaltigkeit des Hauses weiter steigern. Die Tabelle 6 zeigt, dass sich der Anteil des Energiebezugs auf der Seite der Photovoltaik vergrössern würde, ob dies nun nachhaltiger als ein grösserer Wasserkraftbezug ist, ist diskutierbar. Auf jeden Fall erfüllt die Sanierungsmöglichkeit die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit auch, weil nur geringe Bau- und Unterhaltungskosten entstehen und die Amortisationszeit mit 16 Jahren eher kurz ist. Durch steigende Energiepreise steht es ausser Frage, dass sich ein Anteil Autonomie des Strombezuges lohnt, welche Anlage für das Ferienhaus am besten wäre, wurde in dieser Arbeit geklärt.

### **Wie konstruiert man ein Haus in einer Architektursoftware?**

Die Wahl einer BIM-Software wie ArchiCAD zur architektonischen Konstruktion eines Modells des Ferienhauses erwies sich als sinnvoll. Zwar konnte mit der kostenlosen Architektursoftware nicht dieselbe Qualität wie die der Vorstudie der Architekten ermöglicht werden, doch sie war für die Grundkonstruktion ausreichend. Die Konstruktion erfordert viel Geduld und präzise Messungen sowie einen grossen Eigenaufwand, die Software zu erlernen. Präzise Messungen wären ohne das Lasermessgerät und mehrmaligen Besuch des Hauses nicht möglich gewesen, auch die Skizzen und deren Überarbeitung war äusserst wichtig als Referenz. Ein wichtiger Schritt und Hinweis der Architekten war, der Grundriss des Gebäudes zu importieren. Der Einblick im OEREB-Kataster gab auch weitere Auskunft über die Eigenschaften des Grundstücks auf baurechtlicher Ebene, auch wenn diese Informationen nicht von Relevanz für die Arbeit waren. Weiter dienten Bilder dem Abgleich des Designs von Fenstern, Türen und der Fassade. Die Ergebnisse lieferten die Grundlage für die Visualisierung des Verbesserungsentwurfes und rundeten die Arbeit ganzheitlich ab.

## Grundzustand



### Wärmeverlust durch Fenster

36'00 kWh/Jahr

- Zimmertemperatur schlecht regulierbar
- Temperatur Aussen  $\approx$  Innen

### Strombezug

4'500 kWh/Jahr

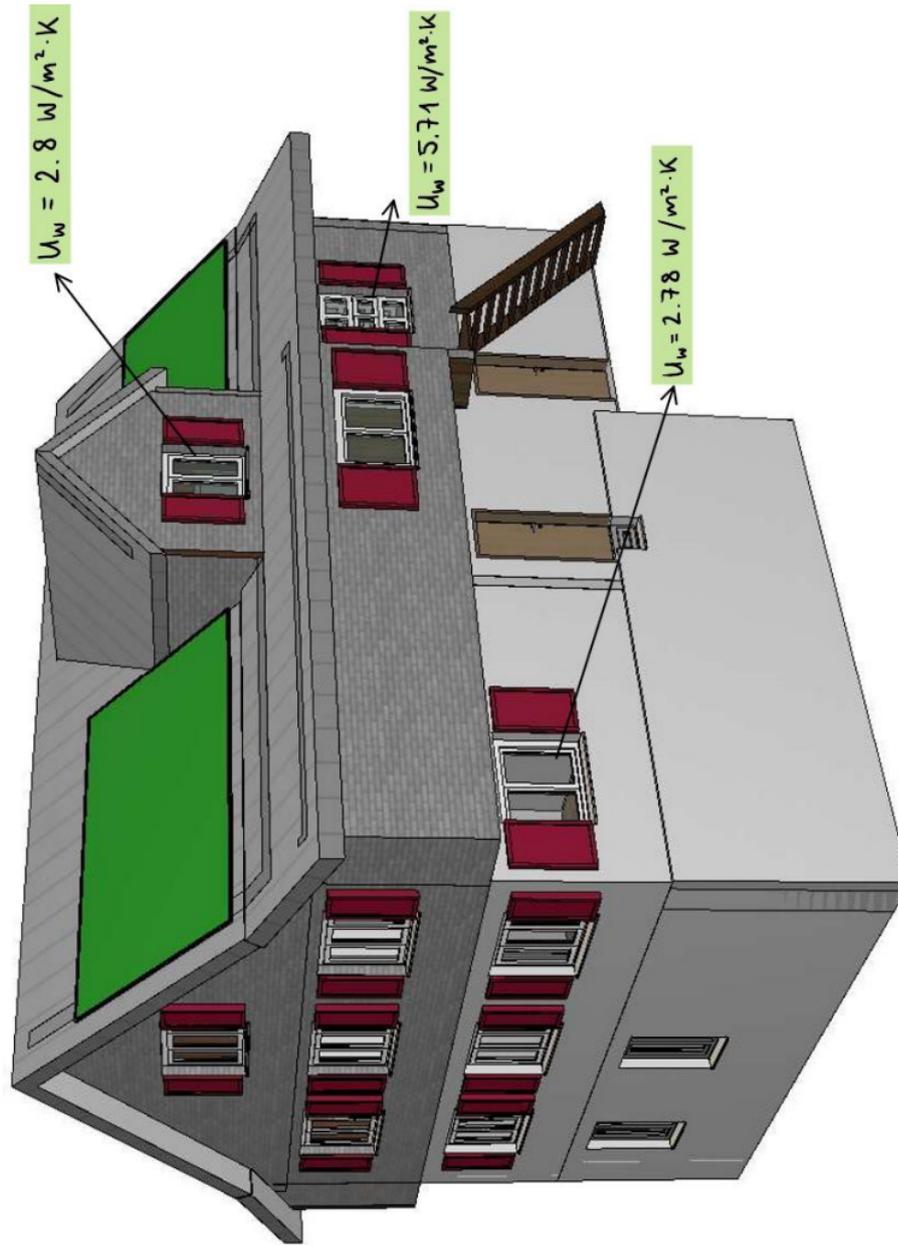
- 93.4% Wasserkraft
- 6.6% Photovoltaik
- 530.-/Jahr

### Stromerzeugung

keine

Abbildung 26: Visualisierung aller Daten des Grundzustandes

## Verbesserungsentwurf



### **Wärmeverlust durch Fenster**

**9'400 kWh/Jahr**

- Zimmertemperatur regulierbar
- Heizung ist effektiver

### **Strombezug**

**<4'500 kWh/Jahr**

- 61% Wasserkraft
- 39% Photovoltaik (davon 33% selbsterzeugt)
- 348.-/Jahr

### **Stromerzeugung**

**4'500 kWh/Jahr**

- Bis 1'600kWh selbst verbrauchbar
- 2'900kWh Einspeisung ins öffentliche Netz
- Bis zu 455.-/Jahr erhalten

### **Kosten der Verbesserungen**

- PV-Anlage : ca. 15'000.-
- Neue Fenster: ca. 55'000.-

Abbildung 27: Visualisierung aller Daten des Sanierungsvorschlags

## 8. Reflexion und Ausblick

### 8.1. Arbeitsprozess

Der Arbeitsprozess der Maturaarbeit war eine spannende, herausfordernde und ebenso lehrreiche Zeit. Durch den starken persönlichen Bezug zum Thema und dem hohen Interesse fehlte es nicht an Motivation. Direkt nach Festlegung der Grundidee begann ich mit der Recherche zu nachhaltigen Sanierungsmöglichkeiten und der Analyse des Stromverbrauches. Der Entscheid einen allgemeinen Ratgeber mit aktuellen Informationen und Grundbausteinen zu verschiedenen Themen zu kaufen, erwies sich als gute Investition. Ich er schaffte mir einen groben Überblick über meine Möglichkeiten und merkte mir, was als wichtig und interessant erschien. Das Thema der Photovoltaik begeisterte mich anfangs besonders und ich sah das Potenzial einer solchen Erweiterung für das Haus. Die genaue Berechnung der Sonneneinstrahlung und Solarertrages war theoretisch anspruchsvoll, doch der Hinweis des Betreuers auf die Nutzung vom Online Tool von Energie Schweiz erleichterte meine Arbeit. Im Sommer hatte ich den Teil zur Photovoltaik fertiggestellt, ich wollte jedoch noch einen weiteren Sanierungsaspekt beleuchten. Mein bisheriges Arbeitstempo war durch die Motivation, nach Fertigstellung der Theorie, mit der Konstruktion zu beginnen angekurbelt worden.

Die Wärmedämmung des Hauses erschien mir als sinnvoller Zusatz, da dort auch Energieverbrauch und Verlust eine grosse Rolle spielt. Die theoretische Einarbeitung in diesen Teil war zeitintensiv und ich stiess auf einige Hürden. Zum einen ist die Wärmedämmung und Fensterrenovation ein Bereich der nicht oft auf wissenschaftlicher Basis betrachtet wird, daher fand ich wenige detaillierte Arbeiten und mehrheitlich Ratgebermagazine von Firmen. Ich versuchte Anhaltspunkte aus dem Buch zu finden und neue Informationen kritisch zu betrachten und auf Übereinstimmung mit anderen Quellen zu prüfen. Eine andere Schwierigkeit, war die Berechnung, die nur durch das Erstellen von mehrerer Tabellen möglich war und trotzdem mehrmals überarbeitet wurde. Der Abschluss dieses Teils, durch Absprache mit einem Experten und Fertigstellung der Berechnungen, war sehr zufriedenstellend. Den Effekt eines Fensteraustausches nicht nur theoretisch behandelt zu haben, sondern die Ergebnisse auch mit der Theorie übereinstimmend zu sehen zeigt, dass sich die detaillierte Arbeit und Entwicklung einer Lösung gelohnt hat.

Gleichzeitig zum Kapitel der Wärmedämmung begann ich das Haus zu konstruieren. Die ersten Skizzen und Messungen waren schon 2022 gefertigt worden, mehrheitlich von meiner Grossmutter, deshalb sind in den Abbildungen 30, 32, 33, 21a, 29, 28 im Anhang A.1 auch russische Notizen zu sehen. Schon Ende Juli hatte ich die Möglichkeit erste Erfahrungen mit der Software zu sammeln, bei meinem Berufsschnuppertag bei der Firma "FANGAN Architekten". Einige Tricks, die ich dort lernte, konnte ich auch später in der Konstruktion anwenden. Ich hatte eine Deadline gesetzt, bis zum Treffen mit den Architektinnen die Konstruktion fertig zu haben, so konnte ich die Ergebnisse abgleichen. Ich schaffte es nicht vollständig fertig zu sein, wiederholte Messungen, unterschiedliche Wanddicken und die Dachkonstruktion nahmen mehr Zeit in Anspruch. Während dem Arbeitsprozess wurden einige Messungen überprüft und auch mit den Referenzbildern des Hauses abgeglichen. Auch wenn die Konstruktion für diese Arbeit

als ein Zusatz angesehen werden könnte, für mich hat sie eine besondere Bedeutung. Eine kreative Komponente im Gegensatz zur Theorie mit Berechnungen, Analysen und Interpretationen gleicht die Arbeit aus und rundet sie durch die Visualisierung ab. Genauso wie in Zahlen und Daten konnte ich auch in meinen Skizzen und Modellen versinken, als Endprodukt erhielt ich keine Grafen, sondern Bilder. Mein Modell hat zwar leichte Abweichungen vom Original und ist auch nicht so detailliert, wie die Vorstudie der Architekten, doch die ausgehende Leitfrage konnte ich damit beantworten und mein Ziel erreichen. Die fehlende Genauigkeit liegt vor allem an der Studentenversion des Programms, mit der viele Funktionen nur ein begrenztes Ausmass an Individualisierung besitzen. Mit den Architektinnen hatte ich keine Möglichkeit mich über meine Arbeit auszutauschen, weil es in den Treffen eher um das Gebäude und die Möglichkeiten zum Neubau ging.

## 8.2. Grenzen

Wenn ich die Arbeit ein zweites Mal schreiben würde, würde ich nicht vieles ändern. Das Arbeitstempo und vor allem die Konsistenz empfand ich als angemessen, die Analyse der einzelnen Thematiken könnte jedoch als zu detailliert betrachtet werden. Durch viele verschiedene Aspekte und Informationen, die in der Arbeit enthalten sind, könnte es für die Lesenden schwierig sein, die Verknüpfungen der Teile von Anfang an zu erkennen. Deshalb habe ich die erklärenden Zeichnungen hinzugefügt um die Lektüre zu vereinfachen und die Arbeit ansprechender zu gestalten.

Weitere Zweifel kamen mir bei der Genauigkeit und Qualität meiner Beurteilungen als LAiin. Die Energieeffizienz wird normalerweise von Experten bestimmt und auch bei der Berechnung des Wärmeverlustes und der Stromproduktion gehen Fachleute genauer vor. Für die Zwecke dieser Arbeit, der Breite der behandelten Aspekte und meinem Vorwissen denke ich allerdings, dass die Genauigkeit durchaus angemessen ist. Die Daten, die ich auswerten konnte, habe ich mit grosser Sorgfalt behandelt und immer wieder überprüft, die Ergebnisse stimmen auch grösstenteils mit der Theorie überein. Leider konnten die Ergebnisse des Wärmeverlustes nicht mitr Aufnahmen einer Wärmebildkamera bestätigt werden. Der Bezug einer solchen Kamera war mehrmals geplant, geriet jedoch in den Hintergrund und konnte schlussendlich doch nicht geschafft werden.

Als ich anfang, die Arbeit dann zusammenzufügen, gab es Unklarheiten, wie deren Aufbau aussehen sollte. Da es keine rein wissenschaftliche und auch nicht nur ein Thema behandelnde Arbeit ist, kam der Aufbau "Methodik, Theorie, Resultate" nicht infrage. Ich hatte zuerst die Idee, die Teile nacheinander zu behandeln und in den Kapiteln einzeln Theorie, Methodik und anschliessend die Resultate einzubeziehen. So würde man aufbauend immer mehr über das Haus und dessen energetische Effizienz erfahren und zum Schluss noch einmal zusammenfassend die wichtigsten Ergebnisse, im Architekturteil, visuell dargestellt sehen. Nach der ersten Rohfassung kam jedoch das Feedback, die Resultate aller Teile an den Schluss zu hängen. Dies schien nach Umsetzung und erneuter Überprüfung jedoch nicht sinnvoll, man müsste zu lange auf Ergebnisse "warten und dabei den Faden des Themas verlieren. Der Aufbau wurde daraufhin wieder geändert, so ist er übersichtlicher und die Verknüpfung klarer.

Meine grösste Schwierigkeit würde ich in der Eingrenzung des Themenbereiches sehen und in meiner eigenen Bewertung der Arbeit. Bis zum Schluss habe ich nach Wegen gesucht, meine Maturaarbeit noch weiter zu verbessern, meine Arbeitsmethoden und die Resultate hinterfragt. Ich hatte Bedenken, dass die Vision und Hypothesen nicht sichtbar genug wären und der Entwurf einer Verbesserungsmöglichkeit unsinnig scheint. Auch den roten Faden in die Arbeit zu bringen schien anfangs schwer, weil ein Kapitel ohne das andere nicht viel Sinn ergab aber die Verknüpfung auch nicht von Anfang an sichtbar ist. Durch Elimination von irrelevanten Informationen und verstärktem Fokus auf die Arbeit als Ganzes und der ursprünglichen Leitfragen, gelang es mir schlussendlich klare Grenzen zu ziehen.

### **8.3. Ausblick**

Aus dieser Arbeit lassen sich noch viele weitere Fragestellungen und Hypothesen formulieren. Eine wichtige Thematik wäre sicherlich, den Wasserverbrauch zu betrachten und allenfalls zu optimieren. Diesen Aspekt musste ich jedoch weglassen, da die Wasserregulation keinem Zähler angeschlossen ist und direkt aus der Rhinquelle (bei den Seerenbachfällen) bezogen wird. Weiter konnte ich auch aufgrund mangelnder Daten den Wärmeverlust durch das Dach oder Wände nicht berechnen. Diese könnten durch eine Sanierung auch besser gedämmt werden, allerdings vermute ich, dass sich der Aufwand nicht auszahlen würde und in diesem Falle ein Neubau sinnvoller wäre.

Zu den Sanierungsmöglichkeiten, die in meiner Maturaarbeit beschrieben wurden habe ich während der Recherche noch alternative Möglichkeiten angeschaut, ein Vergleich zwischen Photovoltaik und Solarwärmeanlagen könnte man dafür erstellen.

Rückblickend war die Recherche, das Schreiben und das Fertigstellen dieser Maturaarbeit eine sehr lehrreiche Erfahrung. Auch die unsicheren und verzweifelten Momente haben mir gelehrt, das Produkt als Ganzes zu betrachten und neue Lösungen zu finden. Ich bin sicher, dass die Arbeit einen Einfluss auf das weitere Vorhaben des Ferienhauses haben wird und freue mich die untersuchten Verbesserungen in Zukunft umzusetzen.

## Literaturverzeichnis

- [1] A. Raupach, E. Ricks und J. Spruth (Hrsg.) *Nachhaltig Bauen und Sanieren*. Verbraucherzentrale Düsseldorf, 2023.
- [2] EWZ. *Energetische Sanierung Whitepaper 1*. Persönlich Zugeschickt (PDF). 2023. URL: [https://www.ewz.ch/dam/ewz/Geschaeftskunden/Immobilien/ContentHub/Fachinhalte/Dokumente/ewz\\_whitepaper\\_energetische\\_sanierung\\_teil\\_1\\_d.pdf](https://www.ewz.ch/dam/ewz/Geschaeftskunden/Immobilien/ContentHub/Fachinhalte/Dokumente/ewz_whitepaper_energetische_sanierung_teil_1_d.pdf) (besucht am 23.09.2023).
- [3] Geo.admin.Map. *Karte zur Übersicht*. 9. Dez. 2023. URL: <https://s.geo.admin.ch/81p12hopu4j8>.
- [4] MeteoSchweiz. *Klimamonitor Weesen*. website. 1. Nov. 2023. URL: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/lokalprognose/weesen/8872.html#forecast-tab=detail-view>.
- [5] St. Gallisch-Appenzellische Kraftwerke. *Strom Preisblatt Privat Kompakt*. PDF. 2022. URL: [https://www.sak.ch/downloads/strom/strompreise/strom\\_preisblatt-privat-kompakt-2022.pdf](https://www.sak.ch/downloads/strom/strompreise/strom_preisblatt-privat-kompakt-2022.pdf) (besucht am 23.09.2023).
- [6] EWZ. *Energetische Sanierung Whitepaper 2*. Persönlich Zugeschickt (PDF). 2023. URL: <https://www.ewz.ch/dam/ewz/Geschaeftskunden/Immobilien/ContentHub/Fachinhalte/Dokumente/whitepaper-energetische-sanierung-teil-2.pdf> (besucht am 23.09.2023).
- [7] Konferenz Kantonaler Energiefachstellen. *Merkblatt Fenster*. Persönlich Zugeschickt (PDF). 2023. URL: <https://www.ewz.ch/dam/ewz/Geschaeftskunden/Immobilien/ContentHub/Fachinhalte/Dokumente/whitepaper-energetische-sanierung-teil-2.pdf> (besucht am 02.09.2023).
- [8] Daniel Kehl. *Energetische Klassifizierung von Fenstern*. Hrsg. von IWU. PDF. 2. Aug. 2000. 44 S. URL: [https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/klima\\_altbau/2000\\_IWU\\_Kehl\\_Energetische-Klassifizierung-von-Fenstern.pdf](https://www.iwu.de/fileadmin/publikationen/energie/klima_altbau/2000_IWU_Kehl_Energetische-Klassifizierung-von-Fenstern.pdf) (besucht am 08.12.2022).
- [9] 4B Holding AG. *Webseite der 4B AG*. 11. Dez. 2023. URL: <https://www.4-b.ch/de/>.
- [10] Luna Ludwig. *Mit der Solaranlage Strom sparen*. epubli, 2023.
- [11] Stefano Fonseca. *Photovoltaik-Ratgeber*. <https://gruenes.haus/photovoltaik-solaranlage-leistung/>. 2. Aug. 2023.
- [12] Energie Schweiz. *Solarstrom Eigenverbrauch Optimieren - Handbuch*. PDF. 7. Nov. 2023. URL: [https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop\\_mimes\\_bbl/9F/9F8E10D0A01B1EEDBBB09B11497D6929.pdf](https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/9F/9F8E10D0A01B1EEDBBB09B11497D6929.pdf).
- [13] Bundesamt für Energie. *sonnendach.ch*. webseite, Aug. 2023. URL: <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/?lang=de>.
- [14] Energie Schweiz. *Solarrechner*. <https://www.energieschweiz.ch/tools/solarrechner/>. Aug. 2023.
- [15] Bundesamt für Energie. *Sonnendach für Vorderbetlis 715 SO*. 1. Aug. 2023. URL: <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/print.html?featureId=19189411&header=0&lang=de>.

- [16] Wetzikon Solar Campus GmbH. *Solarrechner-Report*. PDF. Aug. 2023. (Besucht am 01.08.2023).
- [17] Bundesamt für Energie. *Wie viel Strom oder Wärme kann mein Dach produzieren? Vorderbetlis 715 NW*. Aug. 2023. URL: <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/print.html?featureId=19189410&header=0&lang=de> (besucht am 01.08.2023).
- [18] Graphisoft Deutschland. *Webartikel "Warum Archicad"*. 13. Dez. 2023. URL: <https://graphisoft.com/de/archicad/vorteile/warum-archicad>.
- [19] Nina Jud JUD Architekten AG. *Entwurf Grundzustand*. PDF und pln-Datei Persönlich zugeschickt. 2023.
- [20] Cadastre. *cadastre.ch*. 1. Sep. 2023. URL: <https://www.cadastre.ch/de/oereb.html>.

## Abbildungsverzeichnis

1	Dimensionen der Nachhaltigkeit . . . . .	4
2	Die elf Lösungsschwerpunkte zur energetischen Sanierung gemäss der EWZ <sup>2</sup> . . . . .	5
3	Bilder des Ferienhauses . . . . .	6
4	Karte zur Lageübersicht von Betlis, Weesen und Umgebung <sup>3</sup> , Massstab 1:50'0000 . . . . .	6
5	Wetterdaten in Weesen, Januar-Dezember 2022 <sup>4</sup> . . . . .	7
6	Wetterdaten in Weesen, Januar-Dezember 2023 <sup>4</sup> . . . . .	7
7	Messdaten des Elektroenergieverbrauches der Jahre 2022 und 2023 . . . . .	9
8	Übersichtliche Zeichnung der wichtigsten Grössen der Wärmedämmung in Bezug auf ein Haus . . . . .	12
9	Skizze vom Fenstertyp 1 mit Messangaben in m . . . . .	13
10	Skizzen der Fenstertypen 2 und 3 mit Messangaben in Metern . . . . .	13
11	Diagramm zum momentanen Transmissionswärmeverlust . . . . .	15
12	Diagramm zum Transmissionswärmeverlust durch Fenster mit Glasersatz	16
13	Diagramm zum konzeptionellen Transmissionswärmeverlustes . . . . .	16
14	Vergleichsdiagramm von momentanem und möglichem Transmissionswärmeverlust . . . . .	17
15	Zeichnung zur Erläuterung des Stromverbrauches . . . . .	18
16	Abhängigkeit des Photovoltaikertrages von der Dachneigung, Die Ausrichtung der Dachflächen ist gelb markiert . . . . .	19
17	Übersichtliche Zeichnung der wichtigsten Grössen der Wärmedämmung & Photovoltaik in Bezug auf ein Haus . . . . .	20
18	Orange: Durch PV-Anlage erzeugter Strom, Braun: Gesamt verbrauchter Strom, Gelb: Eigenverbrauchter Strom . . . . .	21
19	Skizzen nach der Vermessung, rechts: 1.Version, links: verbesserte Version	23
20	Auszug aus dem OEREB Kataster Schweiz, Vorderbetlis 715 <sup>20</sup> . . . . .	24
21	Grundriss Bestand . . . . .	25
22	Grundriss Bestand . . . . .	25
23	Dachgeschoss . . . . .	25
24	Nord- (oben) und Südfassade (unten) Grundzustand Konstruktion . . . . .	26
25	Ost- (oben) und Westfassade (unten) Grundzustandkonstruktion . . . . .	27

26	Visualisierung aller Daten des Grundzustandes . . . . .	30
27	Visualisierung aller Daten des Sanierungsvorschlags . . . . .	31
28	Skizze der Südseite . . . . .	39
29	Skizze der Westseite . . . . .	39
30	Skizze der Ostseite . . . . .	40
31	Grundrisssskizze Keller . . . . .	41
32	Grundrisssskizze 2.Stock . . . . .	41
33	Grundrisssskizze 3.Stock . . . . .	42
34	Auszug aus dem U-Wert Berechnungstool . . . . .	43
35	Tabelle 2- U-Wert verschiedener Verglasungen <sup>8</sup> . . . . .	44
36	Tabelle 3 - U-Werte von Aussenwänden <sup>8</sup> . . . . .	44
37	Tabelle 4.1 - Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Randverbünde <sup>8</sup> . . .	45
38	Tabelle 4.2 - Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Randverbünde <sup>8</sup> . . .	45
39	Tabelle 5 - Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Einbausituationen <sup>8</sup> . .	46
40	Tabelle 6 - U-Werte von Fenstern <sup>8</sup> . . . . .	46
41	Kontaktanfrage (Leoni Friedel), 11.12.2023 . . . . .	47
42	Kontaktaufnahme (Dominik Portmann), 12.12.2023 . . . . .	48
43	Antwort auf Kontaktaufnahme (Leoni Friedel), 12.12.2023 . . . . .	49
44	Antwort mit Grobkosteneinschätzung (Dominik Portmann), 13.12.2023 .	50
45	Antwort auf Grobkosteneinschätzung (Leoni Friedel), 13.12.2023 . . . .	50
46	Antwort mit Grobkosteneinschätzung zum Fensteraustausch (Dominik Portmann), 14.12.2023 . . . . .	51
47	Report PDF zur Photovoltaikanlage . . . . .	52
48	Report PDF zur Photovoltaikanlage . . . . .	53

## Tabellenverzeichnis

Aufgelistete Tabellen wurden von der Autorin selbst erstellt.

1	Elektroenergieverbrauch in kWh der Jahre 2022 und 2023, nicht aussa- gekräftigte Quartale grau markiert . . . . .	9
2	Gesamtfläche $A_W$ [ $m^2$ ] und Wärmeverlust $H_T$ [W/K] nach Fassadenseite	14
3	Monatsdurchschnittstemperaturen und Temperaturunterschiede, Mona- te mit Durchschnittstemperatur über Heizgrenze sind grau markiert . .	14
4	Transmissionswärmeverlust durch Fenster während Heizmonaten . . . .	15
5	Energiemix vor und nach PV-Installation . . . . .	22
6	Vergleich vom Energiebezugsanteil von Wasserkraft und Photovoltaik . . . .	22

## A. Anhang

### Glossar

**GEAK** Gebäudeenergieausweis der Kantone.

**EWZ** Elektrizitätswerk der Stadt Zürich.

**SAK** St. Gallisch-Appenzellischen Kraftwerke.

**PV** Photovoltaik.

**BIM** Building-Information-Modeling.

**OEREB** Öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen.

#### A.1. Architektur

Im Folgenden wird der Vorgang der Konstruktion genauer erklärt. Begonnen wird die Konstruktion des Gebäudes mit dem Erstellen der Geschossebenen. Dazu wird die höchste Raumhöhe als Geschosshöhe angewendet und damit alle Wände im ausgewählten Geschoss dieser Höhe angepasst. Die Geschosse werden dann von unten nach oben her aufgebaut, jeweils mit den Wänden beginnend, wo dann Fenster und Türen eingefügt werden. Bei den Fenstern kann durch erweitertes Einstellungen der Sturz zur Decke oder der Sonnenschutz geändert werden. Es wird nur die Innenausstattung eingefügt, dazu gehören Küchenelemente, der Kamin, Einbauschränke und sanitäre Anlagen. In der ArchiCAD Software gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Dachkonstruktion. Da das Haus eine spezielle Dachform aufweist, ein mit  $40^\circ$  geneigtes Satteldach mit je einer Dachgaube auf der Ost und Westseite, muss man besonders auf genaue Messungen und Winkel achten. Ausserdem gibt es noch auf diesen Seiten ein kleines Vordach, wodurch die Dachfläche einen Knick aufweist, weil der Neigungswinkel ändert. Diese komplexe Form zu konstruieren, beginnt man mit den zwei unteren Teilen des Daches, die noch im zweiten Obergeschoss angelegt werden. Im Dachgeschoss fügt man dann zuerst das Satteldach ein und dann die Gauben. Die Software verbindet dann die drei Bestandteile, sofern sie richtig aufeinander abgestimmt sind, und es entsteht ein zusammenhängendes Bauteil. Als letzter Schritt der Konstruktion werden die Aussenseiten der Wände zur entsprechenden Fassadenfarbe und Art geändert. Dadurch entsteht ein einheitliches Bild. Je mehr an der Konstruktion gearbeitet wird, desto mehr Details und Genauigkeit erhält das Modell. Um die Grundrisse dann übersichtlich zu gestalten, wird jeder Raum mit einer Zahl versehen, wobei die vordere Ziffer das Geschoss angibt. Zur Beschriftung gehört auch der Name des Raumes und Werte der wichtigsten Masse, Fläche und Raumhöhe.

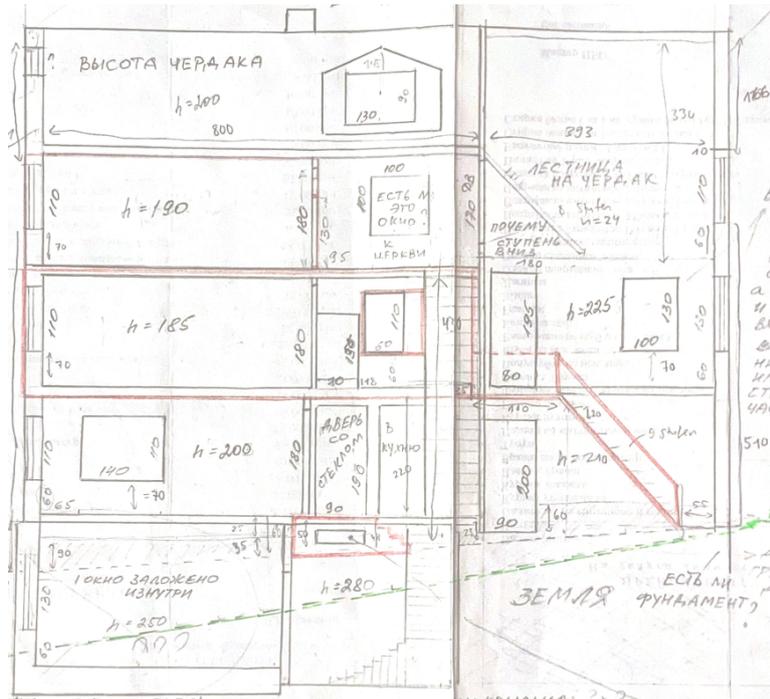


Abbildung 28: Skizze der Südseite

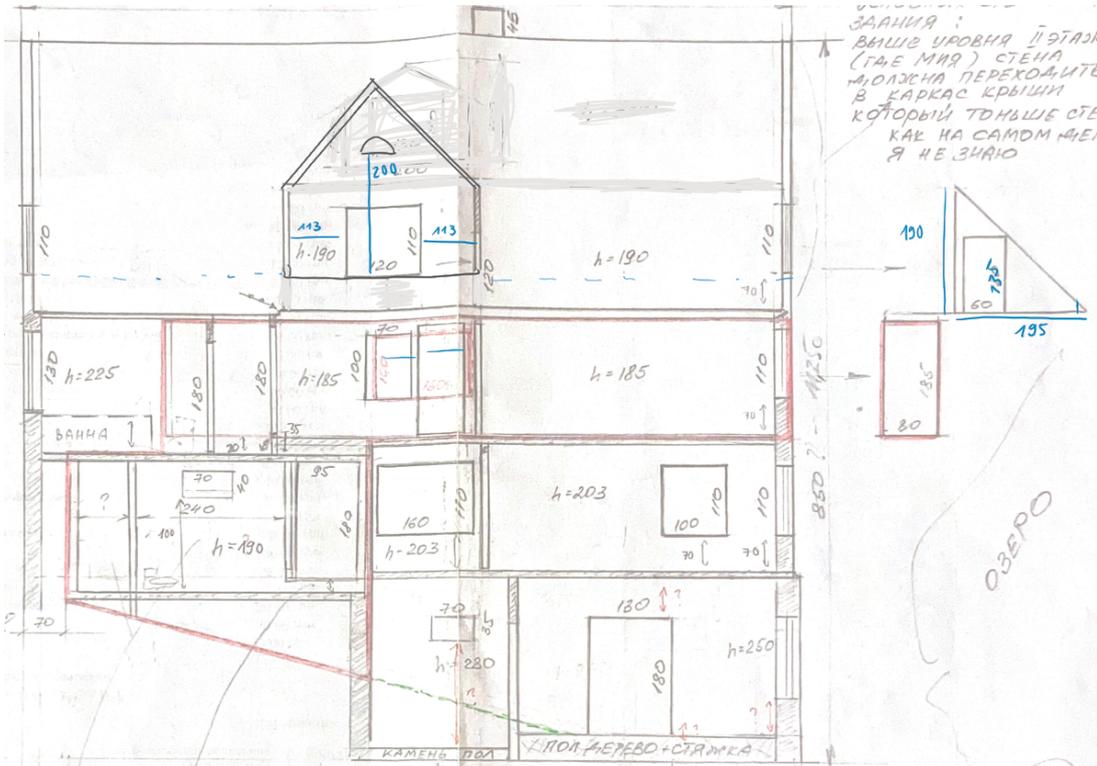


Abbildung 29: Skizze der Westseite

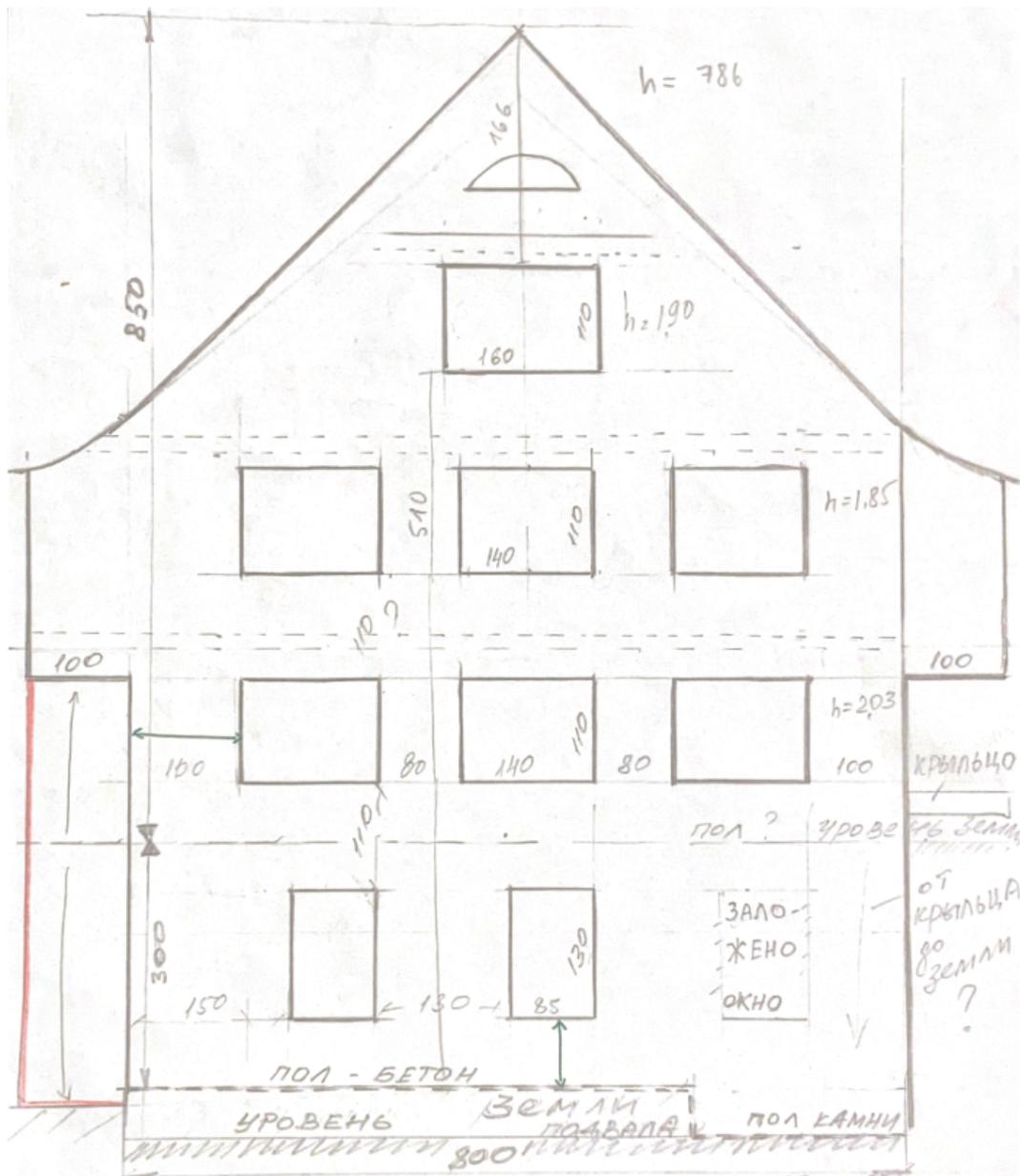


Abbildung 30: Skizze der Ostseite

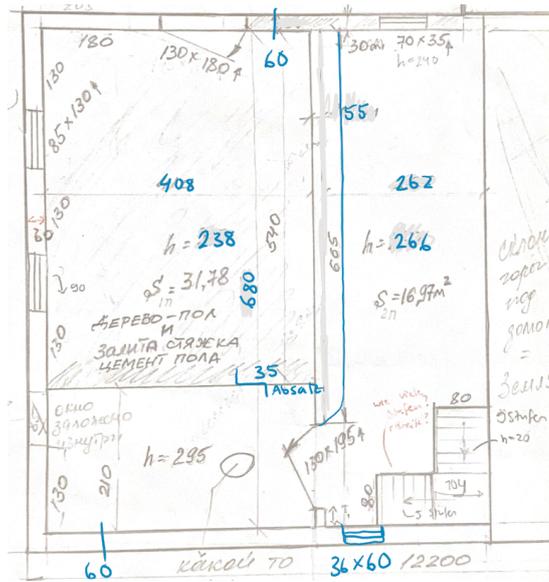


Abbildung 31: Grundrisskizze Keller

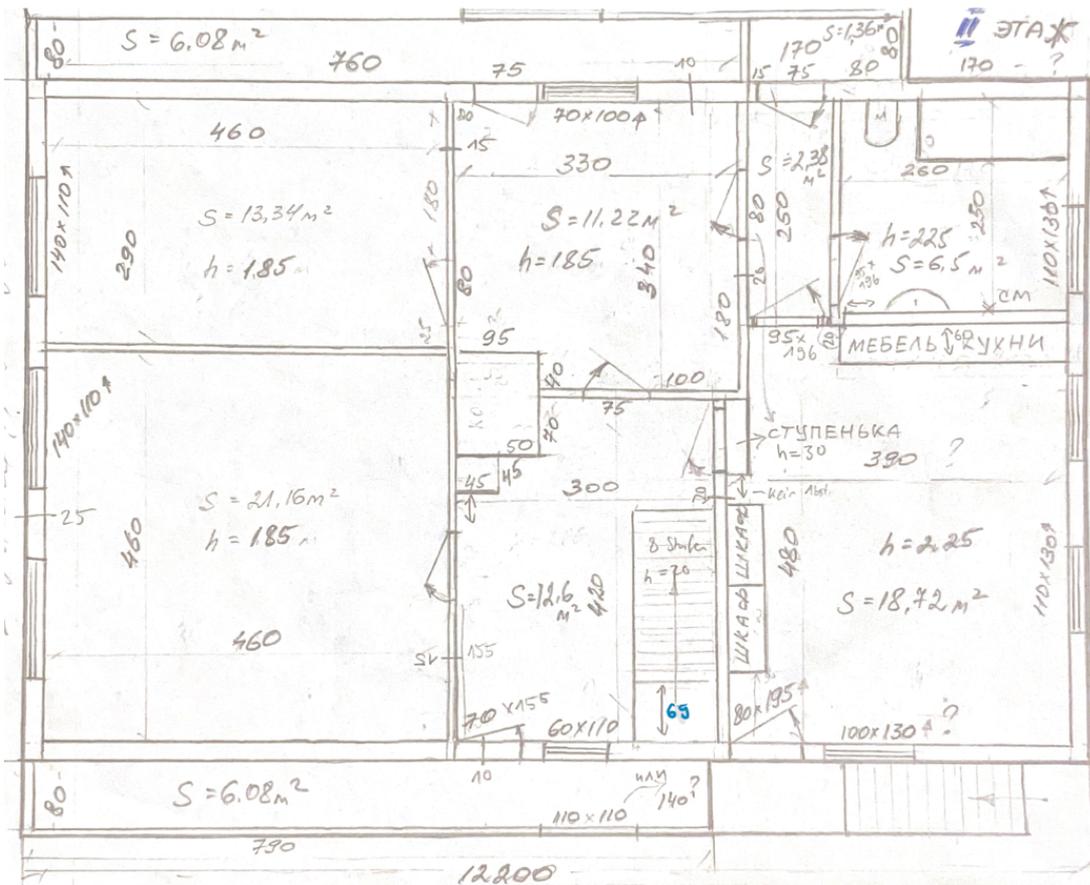


Abbildung 32: Grundrisskizze 2.Stock

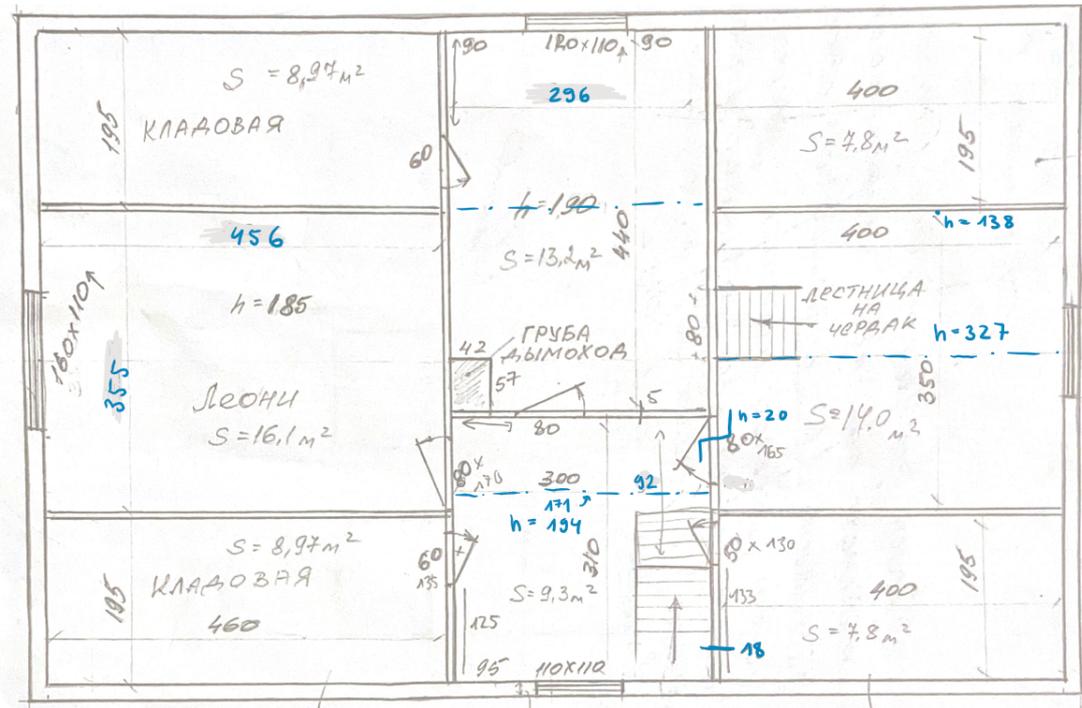


Abbildung 33: Grundrisskizze 3.Stock

## A.2. Wärmedämmung

Da die Berechnung der U-Werte sehr aufwändig ist, wurden mehrere Excel-Tabellen erstellt, die aufgrund der eingegebenen Daten den U-Wert und den Transmissionswärmeverlust ausgeben. In der folgenden Abbildung 34 ist ein Ausschnitt aus dem Berechnungstool zum U-Wert zu sehen. Die gelben Felder müssen mit den gesammelten Werten gefüllt werden und im grünen Feld wird dann der U-Wert des gesamten Fensterbauteils ausgegeben. Die Abbildung zeigt das Beispiel zum Fenstertyp 1.

WOHNZIMMER / SCHLAFZIMMER			
Berechnungsverfahren Fenster U-Wert für Systemnachweis		Berechnungsschritte	
<b>Rahmen</b>			
Material	Holzrahmen nach DIN 68121		0.1573
U-Wert Rahmen (W/m <sup>2</sup> *K)	1.45		0.1152
Fläche des Rahmens (m <sup>2</sup> )	0.3637		0.0912
Umfang des Rahmens (m)	5.02		5.02
<b>Verglasung</b>			
Glasbezeichnung	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm		
Füllung Luftzwischenraum	Luft		
U-Wert Glas (W/m <sup>2</sup> *K)	2.8		
Fläche des Glases (m <sup>2</sup> )	1.0656		1.0656
Umfang des Glases (m)	7.98		7.98
<b>Glasrandverbund</b>			
Material, bezeichnung	2-fache unbeschichtete Verglasung, Aluminium Abstandhalter Holzrahmen		2.22
Wärmebrückenverlustkoeffizient des Glasrandverbundes (W/m*K)	0.04		5.76
<b>Einbausituation</b>			
Bezeichnung	Holzständerwand		
Wärmebrückenverlustkoeffizient der Einbausituation (W/m*K)	0.28		
Fläche des gesamten Fensters (m <sup>2</sup> )	1.5444		1.5444
		Höhe	1.08
		Breite	1.43
		Fensterbreite	0.37
		Fensterhöhe	0.96
		Rahmenbreite seitlich	0.06
		Rahmenbreite Mitte	0.095
		Rahmenbreite Oben	0.055
Anzahl Aussenrahmen	2		
Anzahl Innenrahmen V	1		
Anzahl Innenrahmen H			
Anzahl Fenster	3		
Anzahl Verbunde	6		
$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + \Psi_g \cdot S_g + \Psi_{Einbau} \cdot S_f}{A_w}$			
			3.390213028

Abbildung 34: Auszug aus dem U-Wert Berechnungstool

Im Beispiel werden die Fenster an der Südostseite betrachtet, sie sind dreiflügelig und verfügen über eine Zweischeibenverglasung mit einem U-Wert von 2.8 W/(m<sup>2</sup> · K). Sie besitzen einen Holzrahmen gemäss DIN 68121, der einen U-Wert von 1.45 aufweist, und sind mit dem Fenster durch einen Aluminiumabstandhalter verbunden.

Im Folgenden sind die Tabellen aus der Dokumentation von Daniel Kehl "Energetische Klassifizierung von Fenstern"<sup>8</sup> entnommen. Rot ist der Grundzustand markiert, Gelb die Verbesserung mittels Glasaustausch und Grün die der neuen Fenster. Blau sind die

Angaben die für alle Fälle gleich bleiben.

**Tabelle 2: Untersuchte Verglasungen**

Abkürzung	Verglasungsart	U-Wert Verglasung[W/(m²K)]	Gesamtenenergie-durchlaßgrad
EV	Einfachverglasung	5,8	0,86
2-Lu	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Luft	2,8	0,80
2-Py-Lu	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Pyrolytische Beschichtung; Luft	1,8	0,63
2-Py-Ar	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Pyrolytische Beschichtung; Argon	1,5	0,63
2-Py-Kr	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Pyrolytische Beschichtung; Krypton	1,4	0,63
2-Ag-Ar	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Silberbeschichtung; Argon	1,3	0,62
2-Ag-Kr	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Silberbeschichtung; Krypton	1,2	0,62
2-Mag-Ar	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Magnetronbeschichtung; Argon	1,1	0,58
2-Mag-Kr	Zweischeibenverglasung mit SZR 15mm; Magnetronbeschichtung; Krypton	1,0	0,58
3-2Py-Kr	Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xPyrolytische Beschichtung; Krypton	0,9	0,57
3-2Ag-Kr	Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xSilberbeschichtung; Krypton	0,7	0,48
3-2Mag-Kr	Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xMagnetronbeschichtung; Krypton	0,6	0,42
3-2Ag-Xe *	Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xSilberbeschichtung; Xenon	0,5	0,48
3-2Mag-Xe **	Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 8mm; 2xMagnetronbeschichtung; Xenon	0,4	0,42

\*) auch mit Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 10mm; 2x Magnetronbeschichtung; Krypton erreichbar

\*\*\*) auch mit Dreischeibenverglasung mit 2x SZR 14mm; 2x Magnetronbeschichtung; Krypton erreichbar

Abbildung 35: Tabelle 2- U-Wert verschiedener Verglasungen<sup>8</sup>

**Tabelle 3: Übersicht der  $U_{AW}$ -Werte**

Bezeichnung	$U_{AW}$ -Wert W/(m²*K)
Monolithische Außenwand alt	2,07
Monolithische Außenwand neu	0,49
Außenwand mit Wärmedämmverbundsystem	0,35
Zweischaliges Mauerwerk mit Dämmung Variante 1 und Variante 2	0,34
Zweischaliges Mauerwerk ohne Dämmung Variante 1	1,73
Holzständerkonstruktion Ständerabstand 62,5 cm	0,28

Abbildung 36: Tabelle 3 - U-Werte von Aussenwänden<sup>8</sup>

**Tabelle 4: Wärmebrückenverlustkoeffizienten für die Randverbünde**

**Altes Holzfenster**  
( $U_f$ -Wert = 2,21 W/(m<sup>2</sup>\*K))

U-Wert	$\Psi$
Glas	
[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]
5,80	0,076 EV
3,10	0,052
2,35	0,055
1,96	0,059

EV = Einfachverglasung

**Holzfenster DIN 68121**  
( $U_f$ -Wert = 1,45 W/(m<sup>2</sup>\*K))

U-Wert	$\Psi$		
	Aluminium	Edelstahl	Kunststoff
Glas			
[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]
2,8	0,040	0,029	0,019
1,8	0,058	0,044	0,032
1,7	0,059	0,045	0,033
1,6	0,061	0,046	0,034
1,5	0,063	0,048	0,035
1,4	0,065	0,049	0,037
1,3	0,067	0,051	0,038
1,2	0,068	0,052	0,039
1,1	0,072	0,055	0,042
1,0	0,074	0,057	0,043
0,9	0,067	0,053	0,040
0,8	0,069	0,054	0,041
0,7	0,070	0,055	0,042
0,6	0,072	0,057	0,044
0,5	0,073	0,058	0,045
0,4	0,076	0,060	0,047

Abbildung 37: Tabelle 4.1 - Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Randverbünde<sup>8</sup>

**PH Fenster**  
( $U_f$ -Wert = 0,73 W/(m<sup>2</sup>\*K))

U-Wert	$\Psi$		
	Aluminium	Edelstahl	Kunststoff
Glas			
[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]	[W/m <sup>2</sup> *K]
1,2	0,046	0,037	0,029
1,1	0,050	0,040	0,032
1,0	0,050	0,041	0,032
0,9	0,047	0,038	0,030
0,8	0,048	0,039	0,031
0,7	0,049	0,040	0,032
0,6	0,051	0,042	0,033
0,5	0,052	0,041	0,033
0,4	0,054	0,043	0,035

Abbildung 38: Tabelle 4.2 - Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Randverbünde<sup>8</sup>

	Monocalt	Mononeu	WDVS	ZSMW mit V1	ZSMW ohne V2	ZSMW mit V2	Holzständer
	$\Psi_{\text{Einbau}}$						
	[W/(m²K)]						
Holzalt	0,160	-	0,035	-	0,110	0,14	-
HolzNeu	0,115	0,065	0,035	0,025	0,095	0,15	0,035
Kunststoff	0,110	0,065	0,025	0,015	0,085	0,135	0,010
Alumit	0,110	0,070	0,060	0,035	0,085	0,16	0,025
Aluohne	0,140	0,115	-	-	-	-	-
PH-Fenster	-	0,040	0,040	0,015	-	0,15	0,010

Abbildung 39: Tabelle 5 - Wärmebrückenverlustkoeffizienten für Einbausituationen<sup>8</sup>

Basistabelle: U-Werte von Fenstern *					Vergleich zur
	große Fenster und Fenstertüren	mittlere Fenster	kleine Fenster	Sprossenfenster	DIN V 4108-4 Tab.2
					In der DIN 4108-4 Tabelle 2 fehlt $\Psi_{\text{Einbau}}$ und $\Psi_{\text{Randverbund}}$
Fensterfläche	von ..... bis 2,0 m² 4,0 m²	von ..... bis 1,0 m² 2,0 m²	von ..... bis 0,3 m² 1,0 m²	von ..... bis 0,5 m² 3,0 m²	von ..... bis Keine Angaben
<b>"Passivhaus-Rahmen" mit <math>U_f \leq 0,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math></b>					
Glasanteil der Fensterfläche	71 %	60 %	43 %	63 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters in W/(m²K)				
$U_g = 0,9$ (z.B. 3-2Py-Kr)	1,06	1,12	1,22	1,23	1,2
$U_g = 0,7$ (z.B. 3-2Ag-Kr)	0,92	1,00	1,13	1,11	1,1
$U_g = 0,4$ (z.B. 3-2Mag-Xe)	0,71	0,82	1,00	0,92	-
<b>"Niedrigenergie-Rahmen" Material mit <math>U_f \leq 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math> (z.B. IV 68 Holzrahmen <math>U_f = 1,45 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math>)</b>					
Glasanteil der Fensterfläche	75 %	65 %	50 %	67 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters in W/(m²K)				
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,71	2,67	2,62	2,78	2,5
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,02	2,10	2,24	2,26	1,8
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,79	1,91	2,09	2,06	1,6
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,49	1,65	1,89	1,79	1,3
$U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr)	1,20	1,39	1,69	1,53	1,1
<b>Rahmenmaterial der Gruppe 1 nach DIN 4108 Teil 4: mit <math>U_f \leq 2,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math> (z.B. Vierkammerkunststoffrahmen)</b>					
Glasanteil der Fensterfläche	75 %	65 %	49 %	67 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters in W/(m²K)				
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	2,85	2,87	2,90	2,99	2,5
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,12	2,25	2,45	2,37	1,8
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	1,90	2,06	2,30	2,17	1,6
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,60	1,80	2,11	1,90	1,3
$U_g = 0,7$ (z.B. 2-Ag-Kr)	1,32	1,57	1,95	1,68	1,2
<b>Rahmenmaterial der Gruppe 2.1 nach DIN 4108 Teil 4: mit <math>2,0 &lt; U_f \leq 2,8 \text{ W/(m}^2\text{K)}</math> (z.B. Dreikammerkunststoffrahmen / alter Holzrahmen)</b>					
Glasanteil der Fensterfläche	75 %	65 %	49 %	67 %	70 %
Verglasungstyp **	U-Wert des Fensters in W/(m²K)				
$U_g = 5,8$ (z.B. EV)	5,34	5,16	4,88	5,40	5,2
$U_g = 3,1$ (z.B. 2-Lu; 8mmSZR)	3,28	3,35	3,46	3,46	3,0
$U_g = 2,8$ (z.B. 2-Lu)	3,05	3,15	3,31	3,26	2,7
$U_g = 1,8$ (z.B. 2-Py-Lu)	2,33	2,53	2,86	2,64	2,0
$U_g = 1,5$ (z.B. 2-Py-Ar)	2,10	2,34	2,71	2,43	1,8
$U_g = 1,1$ (z.B. 2-Mag-Ar)	1,81	2,08	2,51	2,17	1,6

Abbildung 40: Tabelle 6 - U-Werte von Fenstern<sup>8</sup>

## Abbildung 41: Kontaktanfrage (Leoni Friedel), 11.12.2023

### Kontaktanfrage 4B AG

4B Service <service@4-b.ch>

Sat 9 Dec 2023 13:20

To: Leoni Friedel (MNG) <leoni.friedel@mng.ch>

Herzlichen Dank für Ihre Kontaktanfrage!

Wir werden uns schnellstmöglich mit Ihnen in Verbindung setzen.

Freundliche Grüsse

4B AG

An der Ron 7

6280 Hochdorf

+41 41 914 50 50

Folgende Angaben haben wir von Ihnen erhalten:

Von: Frau

Vorname: Leoni

Nachname: Friedel

Firma: MNG Rähmbühl

Strasse: Rütihofstrasse 67, ( Schweiz )

Postleitzahl: 8049

Ort: Zürich

Telefon: 0799408162

E-Mail: leoni.friedel@mng.ch

Ausgewählter BeraterIn: nicht gewählt

Ich bin: Privatperson

Mein Bedürfnis: Renovation

Interesse:

Kontaktieren Sie mich für eine unverbindliche, persönliche und kostenlose Fachberatung.

Nachrichtentext:

Betreff: Anfrage zur Maturaarbeit: Kostenabschätzung für Glasaustausch in meinem Ferienhaus

Sehr geehrtes Team der 4B AG,

Mein Name ist Leoni Friedel und arbeite gerade am MNG Rähmbühl am Abschluss meiner Maturaarbeit zum Thema "Energetische Sanierung – Fallbeispiel Ferienhaus". Im Rahmen meiner Arbeit habe ich den Wärmeverlust durch die bestehenden alten Fenster berechnet und bin zu dem Schluss gekommen, dass ein Glasaustausch eine effektive Lösung sein könnte.

Mein Ferienhaus verfügt über insgesamt 19 Fenster mit einer Gesamtfläche von  $27m^2$ , und ich habe den Austausch dieser Fenster gegen Wärmeschutzglas mit einem U-Wert von maximal 0.7 durchgerechnet. Die Fensterrahmen sind aus Holz und ich habe sie in den Berechnungen genauso übernommen. Die Ergebnisse zeigen, dass rund die Hälfte des Energieverlustes eingespart werden könnte und somit die Sanierung sinnvoll wäre. Ich sehr dankbar, wenn Sie mir bei der Kostenabschätzung behilflich sein könnten, um herauszufinden, ob sich die Sanierung auch finanziell lohnt.

Könnten Sie mir bitte Informationen zu den durchschnittlichen Kosten pro Quadratmeter für den Glasaustausch mit Wärmeschutzglas (U-Wert von maximal 0.7) hat, zukommen lassen? Zudem wäre es hilfreich zu erfahren, ob zusätzliche Kosten wie Installation, Entsorgung der alten Fenster oder andere Nebenkosten berücksichtigt werden müssen.

Ich schätze Ihre fachkundige Meinung in diesem Bereich und hoffe auf Ihre Unterstützung, um einen fundierten Abschluss meiner Arbeit zu erstellen.

Vielen Dank im Voraus für Ihre Zeit und Antwort. Ich stehe Ihnen selbstverständlich zur Verfügung, falls weitere Informationen benötigt werden.

Mit freundlichen Grüssen,

Leoni Isabella Friedel

Datenschutz:

Zugestimmt: Ich akzeptiere die elektronische Speicherung meiner Daten gemäss der [Datenschutzerklärung](#).

## Abbildung 42: Kontaktaufnahme (Dominik Portmann), 12.12.2023

### 4B AG, Kontaktaufnahme

Portmann Dominik <dominik.portmann@4-b.ch>

Tue 12 Dec 2023 12:59

To: Leoni Friedel (MNG) <leoni.friedel@mng.ch>

Sehr geehrter Frau Friedel

Besten Dank für Ihre Anfrage.

Ich versuchte Sie heute zu erreichen (Tel. 079 558 48 72) leider ist Ihre Voicemail zu kurz und die Nachricht wurde nicht komplett aufgenommen.

Eine sehr spannende und zeitgemässe Thematik haben Sie für Ihre Maturaarbeit aufgegriffen. Gerne werde ich so gut es geht Hand bieten, um Ihnen die Antworten zu liefern, welche Sie benötigen.

Energetisch gesehen macht ein Glaswechsel von 2-fach auf 3-fach durchaus Sinn. Kostentechnisch sind noch viele Fragen offen, welche einen Einfluss auf die Preise für einen solchen Ersatz haben.

- Wie alt sind die Bestehenden Fenster?
- Was für eine Materialisierung haben die alten bestehenden Fenster (Holz, Ganzmetall Holz/Alu oder Kunststoff)
- Gibt es Fotos zu dem besagten Objekt?
- Wie breit sind die alten Fenster in der Dicke (passt eine 3-Fachverglasung in die bestehenden Fenster)  
-> Als Bps: 2-Fachverglasung / Aufbau Glasdicke: 4mm – 12Ar – 4 mm = 20mm eine 3-Fachverg. Ist ca. 48-53mm dick.
- Logistik: Kran, Helikopter, Lagerplatz, Zufahrt für LKW
- Benötigt es zusätzliches Personal (Glasgewicht / gem. SUVA 25kg pro Person)
- Wie sollte der Glasaufbau sein, Einbruchssicher, Personenschutz, Schallschutz etc. (Wir haben über 10'000 verschiedene Gläser im Sortiment)
- Befindet sich das Objekt über 1000 m.ü.m
- Fragekatalog nicht abschliessend...

Sie sehen, dass hier eine Preisberechnung nur sehr ungenau wäre ohne die «Hard Facts» zu kennen.

Kostenvergleich zwischen neuen Fenstern und Glaswechsel:  
Der Glaswechsel kostet in etwa 1/3 des Neupreises eines Fensters.

Nun stellt sich die nächste Frage. Sind die alten Fenster so alt, dass sich der Glasersatz noch lohnt oder investiert man die Kosten von 1/3 gleich in neue Fenster.

Gerne dürfen Sie mich Anrufen oder eine Rückmeldung per Mail geben, damit wir genaueres besprechen können.

Sobald ich den Sachverhalt besser einschätzen kann, werde ich Ihnen einen Richtpreis angeben.

Freundliche Grüsse

**4B**

Dominik Portmann  
Verkaufsberater

---

Sehr Geehrter Herr Portman,

Ich freue mich sehr über Ihre Antwort und Hilfsbereitschaft, zur Zeit des Anrufes war ich gerade im Unterricht und konnte nicht zurückrufen. Da es sich um so viele Informationen handelt, ist es wohl auch einfacher diese per Mail zu besprechen. Ich hoffe diese Mail beantwortet einige Fragen und die Informationslücken können teilweise gefüllt werden. Der Richtpreis soll auch nicht unbedingt genau der Realität entsprechen, doch ich wäre über eine grobe Einschätzung froh, vor allem, um die Amortisationszeit und die Kosteneinsparungen abzuschätzen.

Ich habe durch Recherche verschiedene Anleitungen zur Berechnung des U-Wertes von Fenstern gefunden und berechnet. Ich habe dafür eine Tabelle in Excel erstellt (Im Anhang ein Ausschnitt) in der einige Informationen zu Material und Grössen eingetragen sind. Das Haus steht an einer baulich eher ungünstigen Lage in Vorderbetlis 715, 8872 Amden und es wurde ca. 1850 gebaut. Von Sanierungen ist mir nichts bekannt, das Haus ist deshalb sehr alt und vor allem im Winter kalt. Mein Konzept beruht auf der Hypothese, dass die Fenster am meisten Wärme durchlassen und die Wärmedämmung dort am einfachsten verbessert werden könnte. Ausserdem ist der Wärmeverlust durch Fenster am einfachsten zu berechnen, da ich (als Laiin) dort ziemlich genaue Informationen über deren Aufbau annehmen kann. Ich habe im Anhang ebenfalls Bilder der Fenster geladen, um ihnen einen besseren Überblick der Objekte zu erschaffen.

Die Sanierung habe ich von einem Glasersatz ausgehend berechnet, da ich herausgefunden habe, dieser sei am einfachsten umzusetzen. Falls sich die Investition in einen gesamten Fensterersatz mehr lohnen sollte, würde ich auch für diesen den neuen Wärmeverlust berechnen. Ich vermute jedoch, dass dieser auch aufwändiger wäre und ich eher auf der Suche nach nachhaltigen und einfach umsetzbaren Verbesserungsmöglichkeiten der Energieeffizienz bin.

Vielen Dank für Ihre Unterstützung und Beratung.

Freundliche Grüsse

Leoni Friedel

**Abbildung 43:** Antwort auf Kontaktaufnahme (Leoni Friedel), 12.12.2023

Grüezi Frau Friedel

Danke für die Dokumentation und die Ausführung.  
Wie gewünscht meine Rückmeldung zu Ihren Fragen:

Ein Glasersatz ist realistisch gesehen nicht möglich bei so alten Fenstern.  
Gehen wir aber davon aus, dass die Fenster noch nicht so alt sind und es wäre «möglich» diese zu ersetzen.

Grobkostenschätzung:

- > Glaskosten: - ca. 8'000-9'000.- CHF (nur Material) Standardglas: 4mm-14Ar-4mm-14Ar-4mm
- > Montagekosten: - ca. 6'000-7'000.- CHF (Nur Montagekosten mit 1 Monteur)
- > zusätzlich: - ca. 5'000-6'000.- CHF (Infos Unten)
  - Wir benötigen für die Glasgewichte ein zusätzlicher Monteur
  - Die Krankkosten oder Helikopter werden immer nach Aufwand gerechnet (somit keine Kostenangabe möglich)
  - Kleinmaterial wie zum Bsp: Fugendichtmittel, Kompribänder, Schrauben etc.

Aufwand der Arbeit ca. 5 Arbeitstage mit 2 Mann  
Somit würde ein Glasersatz zwischen 18'000.- CHF und 22'000.- CHF kosten.

Wie bereits im E-Mail unten beschrieben sind die Angaben nur sehr schwammig und man müsste für eine genaue Preisberechnung einen Termin vor Ort vereinbaren.  
Es gibt so viele Faktoren, welche einen Einfluss auf den Preis haben (Normen und Richtlinien die eingehalten werden müssen)

Ich hoffe Ihnen aber so mit dieser Antwort weitergeholfen zu haben und Sie können so weiterarbeiten an Ihrer Maturaarbeit.

Falls nicht, dürfen Sie gerne wieder auf mich zukommen.

Freundliche Grüsse

**4B**

Dominik Portmann  
Verkaufsberater

#### Abbildung 44: Antwort mit Grobkosteneinschätzung (Dominik Portmann), 13.12.2023

Lieber Herr Portmann,

Danke für Ihre Einschätzung, sie bringt mich bereits sehr viel weiter und ich kann mir eine besser Preisvorstellung machen. Ich wäre allerdings froh, wenn sie noch einige Fragen beantworten könnten, damit ich den Sachverhalt besser verstehen kann.

Könnten sie mir vielleicht genauer Auskunft geben, warum ein Glasersatz bei diesen Fenstern nicht möglich wäre? Ist es stattdessen möglich ganzheitlich neue Fenster einzusetzen oder ist auch dies ein Problem?  
(Ich schätze der Ersatz der gesamten Fenster wäre teurer als nur der Glasersatz, aber die Montagekosten sollten wohl ähnlich bleiben. Ich war übrigens überrascht, dass die Montagedauer nur sehr kurz ist.)

Bei Ihrer Grobkosteneinschätzung gehen Sie von einem Dreifach-verglastem Fenster mit Argonfüllung aus. Welchen Wärmedurchgangskoeffizienten hätten diese?

Vielen dank für Ihre Zeit und Antwort,

Freundliche Grüsse,  
Leoni Friedel

#### Abbildung 45: Antwort auf Grobkosteneinschätzung (Leoni Friedel), 13.12.2023



## A.3. Photovoltaik

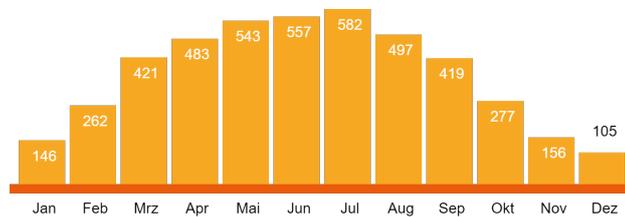
Abbildung 47: Report PDF zur Photovoltaikanlage

# Schlüsseldaten rund um meine Solaranlage

Standort: 8872 Weesen | Bewohner im Haus: 3 | Typ: Photovoltaik (Strom + Warmwasser / Luft-Wasser-Wärmepumpe) | 29.12.2023

Orientierung der Module: -65° | Dachneigung: 36° | Leistung auf Dach: 5.0 kW (25 m<sup>2</sup>)

### Jährliche Stromproduktion (kWh)



$$\begin{aligned} &4'447 \text{ kWh} \\ &- 1'581 \text{ kWh} \\ &= 2'866 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Gesamtstromproduktion  
- Solarstrom selber verbraucht  
= Solarstrom ans Netz abgegeben



fachion  
Simulation Framework

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE  
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen  
Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch) [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

Meteodaten: Meteonorm

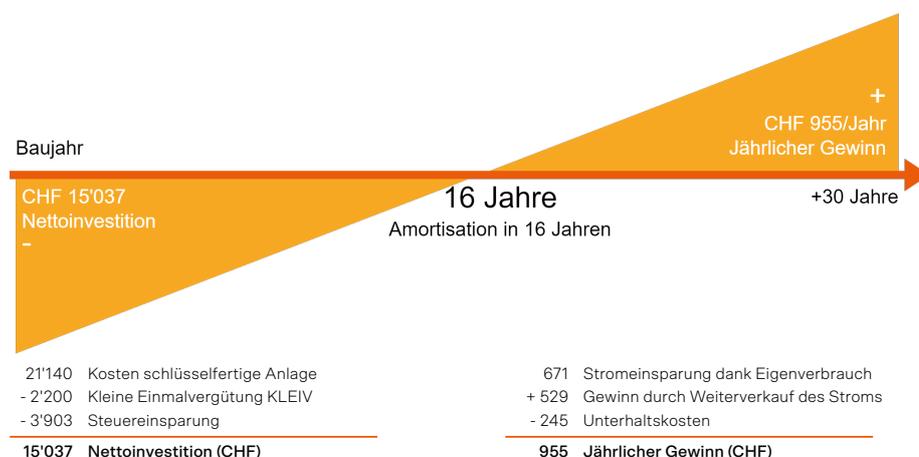
Abbildung 48: Report PDF zur Photovoltaikanlage

# Schlüsseldaten rund um meine Solaranlage

Standort: 8872 Weesen | Bewohner im Haus: 3 | Typ: Photovoltaik (Strom + Warmwasser / Luft-Wasser-Wärmepumpe) | 29.12.2023

Orientierung der Module: -65° | Dachneigung: 36° | Leistung auf Dach: 5.0 kW (25 m²)

## Finanzielle Daten



## Und dann?

Der Solarrechner ist ein unentgeltlicher Service von EnergieSchweiz. Diese Dienstleistung dient nur zu Ihrer ersten Orientierung. Für eine detaillierte Planung holen Sie drei Offerten von Solarinstallateuren ein und vergleichen Sie die Offerten mit Hilfe der EnergieSchweiz-Experten.

- Nehmen Sie mit Solarinstallateuren Kontakt auf und treffen Sie sich mit ihnen.
- Informieren Sie sich. Unsere [Frageliste](#) hilft Ihnen, die richtigen Fragen zu stellen.
- Wählen Sie eine einfache Lösung: Mit einer schlüsselfertigen Anlage vermeiden Sie Unannehmlichkeiten.
- Holen Sie Offerten von drei Installateuren ein. Der Branchenverband Swissolar führt beispielsweise eine Liste von qualifizierten Installateuren auf [www.solarprofis.ch](http://www.solarprofis.ch).
- Lassen Sie die Offerten von einem Experten vergleichen: [energieschweiz.ch/tools/solar-offerte-check](http://energieschweiz.ch/tools/solar-offerte-check)
- Weitere Infos zur Solarenergie unter [www.energieschweiz.ch/solarenergie](http://www.energieschweiz.ch/solarenergie)

**fachion**  
Simulation Framework

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE  
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen  
Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 058 462 56 11, Fax 058 463 25 00  
[energieschweiz@bfe.admin.ch](mailto:energieschweiz@bfe.admin.ch) [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

Meteodaten: Meteonorm

 **energieschweiz**

## Eigenständigkeitserklärung

Die Unterzeichnete bestätigt mit Unterschrift, dass

- die Arbeit selbständig verfasst und in schriftliche Form gebracht worden ist
- dass sich die Mitwirkung anderer Personen auf Beratung und Korrekturlesen beschränkt hat
- dass alle verwendeten Unterlagen und Gewährspersonen aufgeführt sind

Ort

Datum

Leoni Friedel