

Vergleich Tiny House – Einfamilienhaus

Alea Stalder, 25g

Christian Schneeberger

Gymnasium Biel-Seeland

Maturajahrgang 25

Abstract

Meine Maturaarbeit soll die Frage «*Sind Tiny Houses ökologisch nachhaltiger als Einfamilienhäuser?*» beantworten. Kurz gesagt ist meine Forschungsarbeit eine Analyse dieser Frage aufgrund eigener Berechnungen. Ich habe den Energieaufwand von Bau und Betrieb beider Gebäude, Tiny House und Einfamilienhaus, berechnet. Dafür habe ich für beide Gebäudetypen je einen Bauplan ausgewählt und mit diesen dann mein Tiny House bzw. Einfamilienhaus definiert. Für den ökologischen Fussabdruck der Bauten habe ich den Energieaufwand der für den Bau verwendeten Materialien berechnet. Für den Betrieb habe ich als Vergleichszahl den Heizwärmebedarf pro Energiebezugsfläche in einem Jahr genommen. Die Ergebnisse dieser Berechnungen habe ich dann auf verschiedene Arten verglichen. Zum Schluss bin ich auf das Ergebnis gekommen das je nachdem wie man die Ergebnisse vergleicht entweder das Tiny House oder das Einfamilienhaus ökologisch nachhaltiger ist.

Vorwort

In der letzten Zeit kam das Thema Tiny House immer mehr auf und, wie wahrscheinlich schon viele, habe auch ich mir vorgestellt in einem solchen zu leben. Das Tiny House gilt als nachhaltig, minimalistisch und innovativ. Es fasziniert mich, da das Tiny House ein Beispiel für die Gegenbewegung zu unserer Konsumgesellschaft ist. Der Schweizer Wohnflächen-Durchschnitt pro Person liegt bei 46.5 Quadratmetern¹. Braucht man wirklich so viel Platz für nur eine Person? Beim Tiny House muss man sich automatisch begrenzen und erreicht so eine minimalistischere Lebensweise. Bei dem Thema Tiny House wird immer wieder die Nachhaltigkeit angesprochen, denn Tiny Houses sollen ökologisch viel nachhaltiger sein als beispielsweise ein Schweizer Einfamilienhaus mit Eltern und 2 Kindern. Bei diesen Behauptungen stellt sich mir die Frage, ob ein solches Tiny House wirklich so viel besser ist.

¹ (Bundesamt für Statistik, 2024) 05. Okt. 2024

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Untersuchungsgegenstand	1
Ziel & Methoden	4
Ausgangslage.....	5
Theorieteil	6
Pro und kontra: <i>Leben im Tiny House</i>	6
Recherchen für Materialien & Begriffe	7
Vorgehen	14
Vorgehen Baumaterialien Einfamilienhaus.....	14
Vorgehen Baumaterialien Tiny House.....	25
Vorgehen Betrieb Einfamilienhaus	28
Vorgehen Betrieb Tiny House.....	33
Schwierigkeiten	35
Schwierigkeiten Bau	35
Schwierigkeiten Betrieb	37
Ergebnisse	38
Auswertung & Ergebnisse.....	38
Vergleich Energieaufwand Materialien	43
Vergleich Energieaufwand Materialien pro Quadratmeter EBF	43
Vergleich Energieaufwand Materialien pro Person	44
Vergleich Energieaufwand Materialien pro Quadratmeter EBF einzelner Bauteile ..	45
Vergleich Heizwärmebedarf pro Quadratmeter EBF Q_H des ganzen Hauses	46
Vergleich U-Werte einzelner Bauteile	46
Vergleich Heizwärmebedarf des ganzen Hauses.....	47
Vergleich Heizwärmebedarf pro Person	47
Vergleich Transmissionswärmeverluste Q_t einzelner Bauteile	48
Vergleich Tiny House und Einfamilienhaus	49
Heizwärmebedarf über 50 Jahre	50
Heizwärmebedarf gleich mit dem Energieaufwand	50
Diskussion & Schlussfolgerungen.....	51
Schlussfolgerungen.....	51
Diskussion.....	55
Reflexion & Arbeitsprozess.....	56

Quellen- und Literaturverzeichnis	57
Abbildungsverzeichnis.....	57
Literaturverzeichnis	58
Redlichkeitserklärung.....	61
Anhang.....	62

Einleitung

In meiner Maturaarbeit habe ich untersucht, ob der Energieaufwand für Bau und Betrieb eines Tiny Houses kleiner ist als der eines Einfamilienhauses.

Untersuchungsgegenstand

Da ich aus Zeitgründen kein eigenes Tiny House und Einfamilienhaus konstruieren konnte, habe ich als Grundlage für meine Berechnungen zwei bereits konstruierte Häuser genommen und mit den Bauplänen der beiden Häuser gearbeitet.

Tiny House

Um ein typisches Tiny House zu analysieren und dessen Energieverbrauch zu berechnen habe ich ein Tiny House namens LignAlea aus einer Projektarbeit von 2019 genommen ². Der Autor teilt dieses Tiny House zwar mehr als Mini-Haus ein, aber da es gesamthaft nur 45.6 m² und die Wohnfläche 35.3m² gross ist habe ich es als Tiny House definiert. Denn durch meine Recherchen über dieses Thema habe ich herausgefunden, dass es zwar keine offizielle Definition eines Tiny Houses gibt aber das in den USA der Begriff *tiny house* im Gesetz ein Haus unter 37m² bezeichnet ³. Hingegen auf der Webseite glovital.ch wird ist ein Tiny House zwischen 15 und 55 Quadratmetern ⁴. Und somit würde dieses Tiny House noch in die Kategorie *tiny house* gehen.

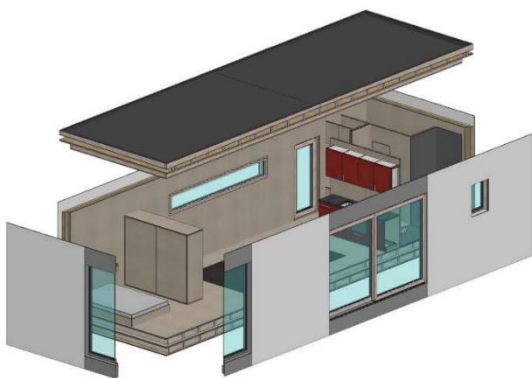


Abbildung 1: Tiny House L. Renggli Südwest-Ansicht

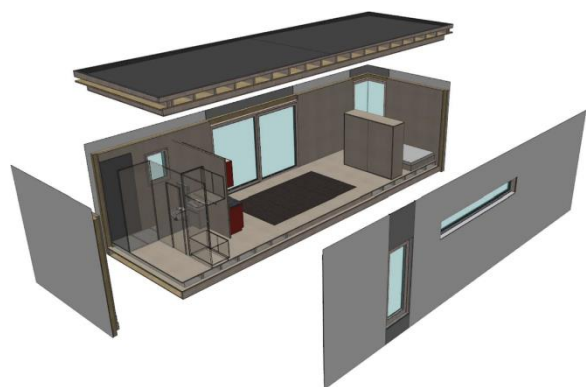


Abbildung 2: Tiny House L. Renggli Nordost-Ansicht

² (Renggli, 2019) 05. Okt. 2024

³ (swb.de, 2024) 05. Okt. 2024

⁴ (Glovital AG, 2024) 09. Okt. 2024

Das Tiny House LignAlea erschien mir ideal, da es eine längliche rechteckige Form hat und man auf nur einem Stock wohnt, denn viele Tiny Houses sind so. Beispiele in der Schweiz sind die *Tiny Houses* ⁵, das *Tiny Home LUNA* ⁶ oder das *Tiny House Singolo* ⁷.



Abbildung 3: Tiny Houses (das-tiny-house.ch)



Abbildung 4: Tiny Home LUNA (tinyhome.ch)



Abbildung 5: Singolo (minicasa.ch)

Das Tiny House hat alles, was es zum Leben braucht, einen Platz zum Schlafen, zum Wohnen und Essen. Eine kleine Küche und ein Badzimmer mit Dusche und Toilette. Dieses Tiny House bietet Platz für zwei Personen.

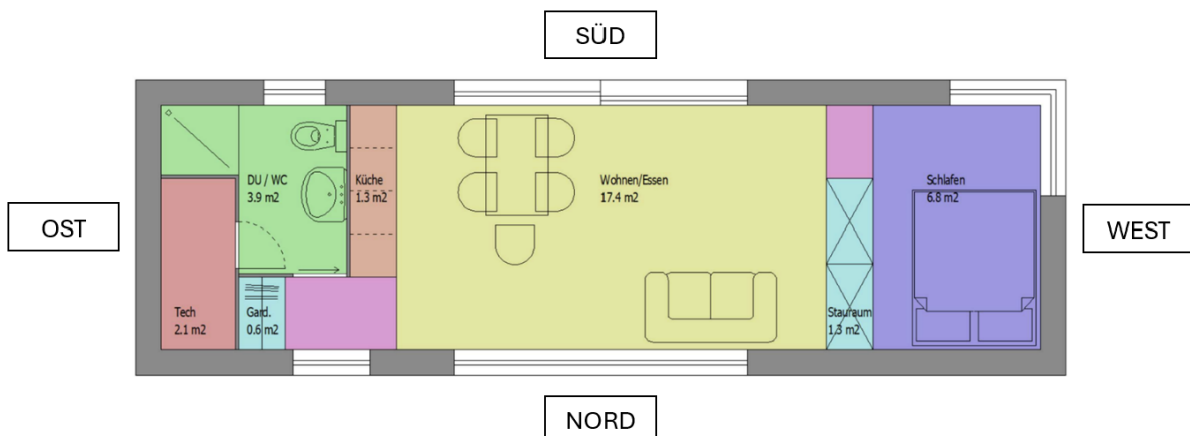


Abbildung 6: Grundriss des Tiny House

⁵ (Das Tiny House GmbH, 2024) 05. Okt. 2024

⁶ (Spa at Home GmbH, 2024) 05. Okt. 2024

⁷ (MINICASA GmbH, 2024) 05. Okt. 2024

Einfamilienhaus

Einen Plan für das Einfamilienhaus hat mit meine Betreuungsperson besorgt. Das Einfamilienhaus ist in 3 Geschosse unterteilt, Unter-, Erd- und Obergeschoss, und hat eine Energiebezugsfläche von 212 m². Es ist für vier Personen, eine Familie mit zwei Kindern, gedacht. Ich habe das Tiny House mit einem Einfamilienhaus verglichen, da 56.7% (admin.ch, 2023)⁸ aller Gebäude in der Schweiz Einfamilienhäuser sind.

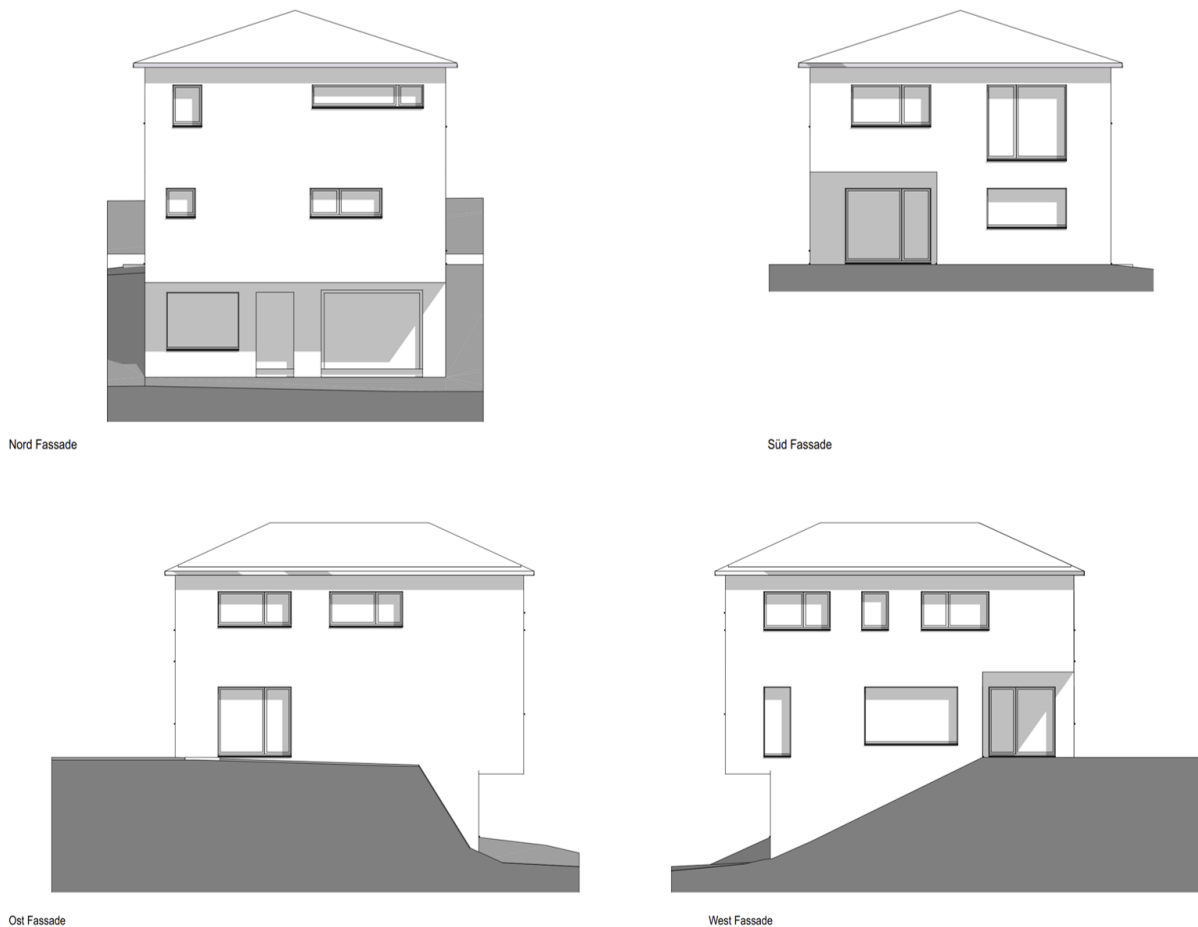


Abbildung 7: Einfamilienhaus Fassaden

⁸ (Bundesamt für Statistik, 2024) 05. Okt. 2024

Ziel & Methoden

Meine Forschungsmethode ist eine Analyse aufgrund eigener Berechnungen.

Bei Tiny Houses werden oft ihr geringer Energieaufwand und -bedarf bei Bau und Betrieb angepriesen. Nun möchte ich mit meiner Arbeit untersuchen, ob das stimmt und ob ein Tiny House wirklich nachhaltiger ist als ein Einfamilienhaus. Dabei beschränke ich meine Untersuchungen bei dem Bau auf den Primär-Energieaufwand der Materialien und bei dem Betrieb auf den Heizwärmebedarf und lasse andere Kriterien, die man sonst noch bei der Nachhaltigkeit und Energie vergleichen könnte, wie zum Beispiel die Treibhausgasemissionen, weg.

Meine Arbeit ist in drei Teile eingeteilt:

1. Bau: Berechnung des Energieaufwands der Baumaterialien
2. Betrieb: Berechnung des Heizwärmebedarfs
3. Auswertung & Vergleich

Um den Bau zu ermitteln, habe ich in meiner Arbeit den Primär-Energieaufwand aller im Haus verbauten Baumaterialien berechnet. So habe ich dann für beide Häuser Werte, welche ich vergleichen kann. Für die Ermittlung der Daten habe ich mich auf den Primärenergieaufwand total der KBOB-Ökobilanzdatenbank⁹ verwendet.

In einem zweiten Schritt möchte ich den theoretischen Energiebedarf jedes Hauses für den Betrieb berechnen. Hier habe ich mich als Vergleichszahl nur auf den Heizwärmebedarf Q_H nach der SIA-Norm 380/1 konzentriert.

Am Schluss habe ich die Ergebnisse auf verschiedene Arten ausgewertet und interpretiert. Verglichen habe ich den Energieaufwand der Materialien des ganzen Hauses oder nur der Gebäudehülle, den Heizwärmebedarf beider Gebäude und die Prozentanteile der Baumaterialien und wie viele Energie diese je verbrauchen. Ausserdem habe ich den Energieaufwand auf den Quadratmeter runtergerechnet oder ihn pro Person berechnet.

⁹ (KBOB, 2024) (3.10.2024)

Ausgangslage

Es gibt viele Berechnungen über den Energieverbrauch von Wohnhäusern. Jedoch wenige für Tiny Houses. Es gab viele Quellen, welche sagten, dass Tiny Houses nachhaltiger sind als Standardhäuser aber diese haben keine Quellen zu expliziten Berechnungen angegeben. Einen Vergleich von Standardwohnhäusern mit einem Einfamilienhaus mit Tiny Houses habe ich nur in einer wissenschaftlichen Arbeit gefunden.

Nämlich eine Arbeit von Crawford mit dem Namen «Tiny House, Tiny Footprint?» (Crawford, 2020). Diese vergleicht den Treibhausgas-Ausstoss von einem Tiny House mit einem «traditional House» an 2 Standorten in Australien. Ich kann diese Studie nicht mit meiner Arbeit vergleichen, da die beiden Standorte nicht mit unseren klimatischen Bedingungen übereinstimmen. Zudem hat diese Studie den Treibhausgas-Ausstoss verglichen und ich den Primär-Energieaufwand.

Theorieteil

Bei meinem Theorieteil habe ich alle Themen und Begriffe eingeführt, welche ich für die Arbeit recherchiert habe und man für das Verständnis meiner Arbeit kennen sollte.

Pro und kontra: *Leben im Tiny House*

Das Leben in einem Tiny House hat viele Vorteile. Viele entscheiden sich in einem Tiny House zu wohnen da gilt, dass es nachhaltiger ist. Denn der Ressourcenverbrauch im Bau und Betrieb soll kleiner sein als bei anderem, konventionellem Wohnen, wie zum Beispiel in einem Einfamilienhaus. So ist neben den Kosten auch der ökologische Fussabdruck kleiner. Ein Einfamilienhaus ist beispielsweise viel teurer. Je nach Tiny House ist es auch mobil und lässt sich beispielsweise auf einem Anhänger transportieren. Da man so nicht an einem bestimmten Ort gebunden ist, gibt das auch Flexibilität und vor allem mehr Freiheit. Kleinere Wohnfläche heisst auch weniger Dinge, die geputzt werden müssen. Spart man so Zeit im Haushalt können mehr andere Aktivitäten ausgeführt werden, wie zum Beispiel ein Hobby. Da Tiny Houses oft innovativ sein müssen, weil auf wenig Platz trotzdem alles da sein muss, um zu leben, muss man neue Ideen entwickeln. So entsteht oft ein origineller Wohnraum. Wer in einem Tiny House lebt, muss auch lernen mit weniger auszukommen und einfacher zu leben. Dieser minimalistischere Lebensstil soll einem lehren, wieder auf die wesentlichen Dinge zu schauen. Ausserdem ist es auch ein Schritt gegen die Konsumgesellschaft.

Natürlich birgt es auch einige Nachteile da man in einem Tiny House meist nur sehr wenig Stauraum hat. Durch den begrenzten Platz muss man sich vor einem Umzug in ein Tiny House von vielen Dingen trennen. Ausserdem kann es durch den kleinen Raum auch eine Herausforderung seine Gäste einzuladen, oder mit einer Familie darin zu leben. Es kann auch rechtliche Hürden geben, vor allem bei mobilen Tiny Houses. Ein grosser Punkt ist auch der eingeschränkte Komfort zum Beispiel im Badezimmer, mit nur einer winzigen Dusche oder in der Küche, wo man nicht alle Haushaltsgeräte haben kann. Bei mobilen Tiny Houses sind denn auch die Sanitäranlagen weniger gut und es kann dann auch sein, dass es kein fliessend und warmes Wasser hat. Ein wichtiger Punkt, welcher meistens bei Familien zur Sprache kommt, ist die mangelnde Privatsphäre da man auf engen Raum

und in ständigem Kontakt miteinander leben muss und auch kein eigenes Zimmer als Rückzugsort hat (swb.de, 2024). Das ist bei einem Einfamilienhaus besser, wo die Eltern und Kinder ein eigenes Zimmer haben und sich auf eine grössere Fläche verteilen können. Von Einigen wird auch kritisiert, dass das Leben im Tiny House nur von privilegierten Menschen machbar ist, die den Luxus haben auf Sachen zu verzichten.

Recherchen für Materialien & Begriffe

Da mein Wissen über Bau und Bauprozesse sehr begrenzt war, musste ich viele Dinge recherchieren. Nachfolgend sind diese Recherchen zu Begriffen oder Materialien als «Inputs» aufgeführt.

Input Ziegel

Als Dachziegel habe ich die Abmessungen von einem Biberschwanzziegel bzw. Taschenziegel genommen welche laut ziegel-technik.at¹⁰ 15-20cm breit sind. Für die Dicke habe ich 15mm angenommen. Zusätzlich musste ich noch recherchieren wie viel ein Dachziegel jeweils einen anderen überlappt. Hier habe ich eine Grafik von wienberger.at¹¹ genommen die zeigt das Biberschwanzziegel ca. zur Hälfte überlappen. Als Annäherung habe ich das Volumen der Ziegel mal 1.5 gerechnet.

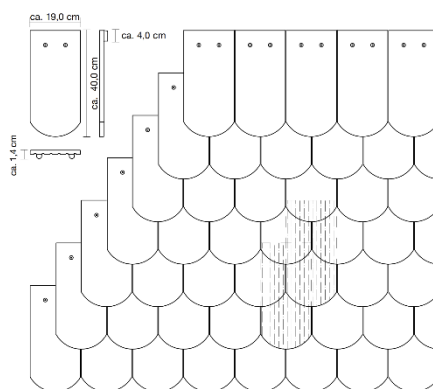


Abbildung 9: Dachziegel

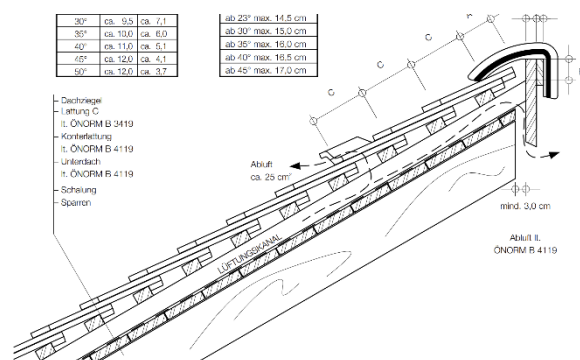


Abbildung 8: Dachziegel Aufbau

¹⁰ (Fachverband der Stein- und keramischen Industrie, 2024) 04.10.2024

¹¹ (Wienerberger Österreich GmbH, 2024) 04.10.2024

Input *Trag- und Konterlattung*

Da Ziegel nicht einfach so auf dem Dach halten braucht es eine Trag- und Konterlattung. Die Dachlatte ist ein zentrales Bauelement im Dachbau und dient zur Befestigung der Dachziegel. Sie wird horizontal angebracht. Die Konterlattung hingegen sorgt für eine Hinterlüftungsebene zwischen der Dachunterkonstruktion und der Dacheindeckung.

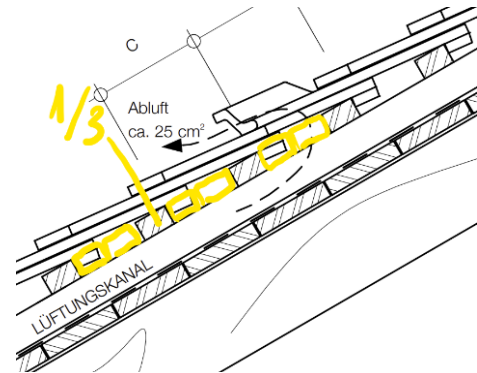


Abbildung 10: Traglattung Dach

Diese Hinterlüftung sorgt für thermische Regulierung. Im Sommer als Hitzeschutz und im Winter als Dämmung. Darüber hinaus ist sie wichtig um die Feuchtigkeit abzutransportieren und somit die Bildung von Schimmel oder Feuchteschäden zu verhindern. Zusätzlich verbessert sie auch den Schallschutz des Gebäudes. Sie trägt ausserdem zu der Stabilität der Traglattung bei. Meistens bestehen Trag- aber auch Konterlatten aus Holz. ¹²

Bei den Biberschwanzziegeln machen die Konter- sowie Traglattung je etwa ein Drittel der Fläche des Dachs aus (Bild oben rechts). Heisst ich musste bei meinen Berechnungen mal 1/3 rechnen. ¹³

Input *Dämmung und Rostung*

Wärme bewegt sich immer vom wärmeren Ort zum kälteren. Die Dämmung ist dazu da die Temperatur im Innenraum konstant zu halten, ohne dass sie sich mit der Aussentemperatur reguliert. Das heisst sie versucht die Wärmeleitung und Wärmeübertragung von aussen nach innen oder umgekehrt zu reduzieren. Die Wärmedämmung funktioniert also wie eine Barriere. Es gibt verschieden gute Dämmmaterialien. Die besseren haben eine niedrige Wärmeleitfähigkeit. Es ist aber nicht nur das Material wichtig, sondern auch die Struktur und Anordnung der Materialien. Zum Beispiel kann man eine Aussendämmung wählen, welche die Wärmespeicherfähigkeit der Aussenwände verbessert, aber gleichzeitig kombinieren mit einer Innendämmung,

¹² (Mertl-Bedachungen GmbH, 2024) 04.10.2024

¹³ (Wienerberger Österreich GmbH, 2024) S.8, 05. Okt. 2024

welche diese Wärmespeicherfähigkeit reduziert. Einige Dämmungen sind allein mechanisch zu wenig stabil, da es wichtig ist, dass sie eine geringe mittlere Dichte und somit viele Hohlräume, haben. Deswegen braucht es zum Beispiel Holzlatten, welche die Dämmung halten und stabilisieren.¹⁴

Input *Beton & Armierung*

Armierung, aber auch Bewehrung genannt, hat die Aufgabe die Stabilität von Beton zu verbessern. Sie steigert die Tragfähigkeit des Betons und erhöht dessen Widerstandsfähigkeit gegenüber äusseren Witterungseinflüssen. Wenn die Armierung aus festem Material wie Stahl in den flüssigen Beton integriert wird, entsteht ein Verbundwerkstoff, bekannt als Stahlbeton. Diese Bewehrung sorgt dafür, dass der Beton Zug- und Druckkräfte besser aufnehmen kann, was die Statik eines Bauwerks deutlich verbessert.¹⁵

Input *Primärenergie*

Die Primärenergie ist die Energie, die direkt aus natürlichen Ressourcen wie fossile Brennstoffe, erneuerbare Energien oder nukleare Energie kommt. Das ist, bevor sie in nutzbare Energieformen wie Elektrizität oder Wärme umgewandelt wird. Das sind dann Sekundärenergieträger¹⁶. Bei der Primärenergie kann man zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Primärenergie unterscheiden. Zu der erneuerbaren Primärenergie zählen Wind, Sonne, Wasser und Biogas. Fossile Brennstoffe, darunter Erdöl, Erdgas und Braunkohle, und nukleare Energie, also Kernenergie gehören zu den nicht erneuerbaren Primärenergien. Während fossile Brennstoffe die Luft und Umwelt verschmutzen und wesentlich zur Klimaerwärmung beitragen und die nukleare Energie mit Risiken, wie der Radioaktivität, verbunden ist, ist die erneuerbare Primärenergie klimaneutral und ungefährlich.¹⁷

¹⁴ (Doozer Real Estate Systems GmbH, 2024) 05. Okt. 2024

¹⁵ (BurdaVerlag Publishing GmbH, 2024) 13. Okt. 2024

¹⁶ (Kesselheld, 2024) 30. Sept. 2024

¹⁷ (Vattenfall Europe Sales GmbH, 2024) 30. Sept. 2024

Input *Graue Energie*

Graue Energie ist die gesamte nicht erneuerbare Primärenergie. Es ist die Energie, welche in allen Prozessen des Lebenszyklus eines Produkts oder Materials steckt, aber nicht direkt sichtbar oder messbar ist. Sie umfasst die gesamte Energie, die für die Gewinnung der Rohstoffe, die Herstellung, den Transport, die Lagerung, den Verkauf und letztendlich die Entsorgung eines Produkts benötigt wird.

Sie muss bei der Berechnung berücksichtigt werden, denn wird bei der Planung beispielsweise eines Hauses darauf geschaut das erneuerbare Energien verwendet wurden und wenig nicht erneuerbare Energie, bei zum Beispiel der Entsorgung, anfällt. Denn «bei Neubauten, die mit erneuerbarer Energie versorgt werden, fällt die graue Energie um Größenordnungen höher aus als die Betriebsenergie über die gesamte Lebensdauer.»¹⁸

Input *minimalistisches Leben*

Minimalismus bedeutet, sich auf das Wesentliche zu konzentrieren, unnötigen Besitz zu reduzieren und sich auf das zu beschränken, was wirklich von Wert ist. Auch beim minimalistischen Leben steht im Mittelpunkt die Reduzierung von Konsum und der Fokus auf Qualität statt Quantität. Das heisst weniger kaufen, weniger besitzen und bewusster konsumieren.¹⁹

Bei dem Leben im Tiny House steht vor allem die Platzersparnis und die Reduzierung der Ressourcen im Vordergrund.

¹⁸ (Verein ecobau, 2024) 30. Sept. 2024

¹⁹ (Westdeutscher Rundfunk Köln, 2024) 30. Sept. 2024

Input Bodenplatte, Betonelement (Tiny House)

Die Betonplatte funktioniert als Fussbodenheizung, denn bevor der Beton gegossen wird, werden Heizrohre verlegt, durch die dann warmes Wasser vom Warmwasserspeicher ausfliesst, seine Wärme abgibt und dann kalt wieder zurückfliesst. Der Beton ist dazu da die Wärme gleichmässig und langsam im Raum zu verteilen. ²⁰

Input Excel Ökobilanzen im Baubereich KBOB

Das Excel *Ökobilanzen im Baubereich* von KBOB ist eine Datenbank mit den Resultaten von Sachbilanzen einzelner Baumaterialien (Durchschnitt und herstellerspezifische). In diesen Sachbilanzen sind unter anderem die Primärenergien erfasst (KBOB, 2024). Für die Berechnungen in dieser Arbeit wurde die Version 3.0 verwendet.

Sie enthält noch mehr Daten, aber diese habe ich in meiner Maturaarbeit nicht verwendet.

Die KBOB ist die Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren. Sie erarbeitet zusammen mit anderen Organisationen diverse Richtlinien, Merkblätter und Empfehlungen zum Bauen. ²¹

²⁰ (Matthias Gengenbach & Joachim Schork GbR, 2024) 05. Okt. 2024

²¹ (KBOB, 2024) 13. Okt. 2024

Input *sia-Norm 380/1 Heizwärmebedarf*

Die SIA-Norm 380/1 ist eine schweizerische Norm, die den «Heizwärmebedarf» von Gebäuden regelt. Ihr Hauptziel ist es, den Energieverbrauch für Raumheizung und Warmwasser in Gebäuden zu optimieren und zu minimieren. Dies wird durch spezifische Anforderungen an den Wärmeschutz der Gebäudehülle erreicht. Die Norm definiert dafür die Rechenregeln.²²

Für die Arbeit hatte ich die Ausgabe 2016 zur Verfügung. Der Heizwärmebedarf wird in Kilowattstunden pro Jahr angegeben.

Input *Berechnung Transmissionswärmeverluste (Tabelle Bauteile in Excel sia 380/1)*

Eine Berechnung des Transmissionswärmeverlusts zeigt auf, wie viel Wärme durch Bauelemente wie Wände, Decken, Fenster, Türen und das Dach verloren geht. Diese Angabe ist ein zentraler Wert im Gebäudeenergiegesetz und im Energieausweis. Ein niedriger Transmissionswärmeverlust deutet auf eine bessere Dämmung hin und kann in der Regel zu geringeren Heizkosten führen.²³

Die in der Arbeit verwendete Version habe ich von der Website der Konferenz Kantonalen Energiefachstellen²⁴ heruntergeladen.

Input *Energiebezugsfläche*

Die Energiebezugsfläche ist «die Summe aller ober- und unterirdischen Geschossflächen, die innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist».²⁵

²² (Kommission SIA 380/1, 2016) 13. Okt. 2024

²³ (Trimble International, 2024) 13. Okt. 2024

²⁴ (Energiefachstellenkonferenz Zentralschweiz, 2024) 07. Okt. 2024

²⁵ (EnergieSchweiz Bundesamt für Energie (BFE), 2024) v 07. Okt. 2024

Input *Perimeterdämmung*

Wenn Kellerräume zu Wohnzwecken genutzt werden möchten, muss die Gebäudehülle unterhalb der Erdoberfläche ebenfalls ausreichend wärmegeklämt werden. Dafür sind herkömmliche Fassadendämmstoffe oft nicht geeignet. Stattdessen werden spezielle Perimeterdämmungen benötigt, die besonders widerstandsfähig gegenüber Druck und Feuchtigkeit sind, um den Bedingungen unter der Erde gerecht zu werden.²⁶

Input *Wärmebrücken*

Wärmebrücken sind lokal begrenzte Bereiche in der wärmeleitenden Hülle eines Gebäudes, in denen eine höhere Wärmestromdichte als in den angrenzenden Bauteilen auftritt. Aufgrund dieser Eigenschaft gelten sie als Schwachstellen in der Wärmedämmung. Diese Zonen führen zu einem erhöhten Wärmeverlust durch die Konstruktion, da sie im Vergleich zu den restlichen, ungestörten Bauteilen mehr Wärme nach aussen abgeben.²⁷

Input *U-Wert bzw. Wärmedämmungskoeffizient*

Wärme bewegt sich stets vom wärmeren zum kälteren Punkt. Der U-Wert, auch als Wärmedurchgangskoeffizient bezeichnet, gibt an, wie gut Bauelemente wie Wände, Böden, Dächer oder Fenster oder nur einzelne Dämmstoffe den Wärmefluss hemmen können. Er wird in $\text{W/m}^2\text{K}$ gemessen. Ein niedrigerer U-Wert bedeutet eine bessere Wärmedämmung des Bauteils, da es weniger Wärmeenergie durchlässt.²⁸

²⁶ (RM Rudolf Müller Medien GmbH & Co. KG, 2024) 13. Okt. 2024

²⁷ (BauNetz Wissen, 2024) 13. Okt. 2024

²⁸ (Bundesamt für Energie (BFE), 2024) 13. Okt. 2024

Vorgehen

Vorgehen Baumaterialien Einfamilienhaus

Als erstes habe ich mir eine Excel-Datei erstellt. Bevor ich irgendeinen Energieaufwand berechne, habe ich zuerst allen Materialien der Bauteile bestimmt. Ich habe mich vom **Untergeschoss** aus nach oben gearbeitet und gestartet den Innen- und Aussenwänden des Untergeschosses. Ich habe zuerst das Volumen von jedem Material dieser **Wände** berechnen. Damit ich das Volumen herausfinde, habe ich Dicke mal Breite mal Höhe gerechnet. Um eine Übersicht zu haben, habe ich alle Materialien, welche in den Wänden vorkommen, in einer Excel-Tabelle aufgelistet. In einer zweiten Spalte trug ich die Dicke eines jedes Materiales ein. Der Wandaufbau mit der Dicke der einzelnen Schichten steht im Vertikalschnitt des Einfamilienhauses.

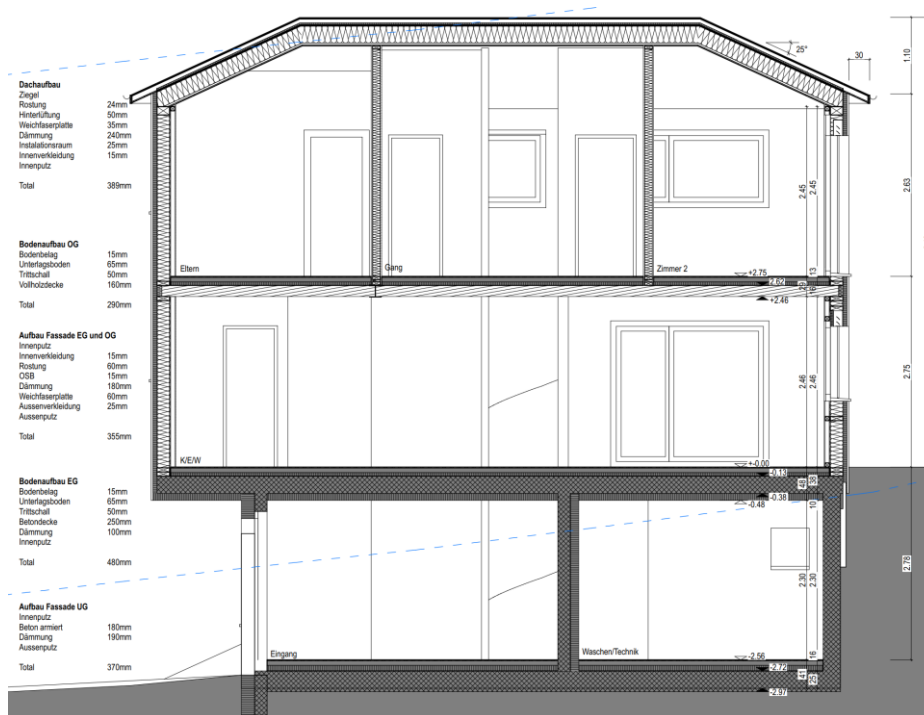


Abbildung 11: Vertikalschnitt EFH

Mit Ausnahme von dem Innen- und Aussenverputz, dort stand keine Dicke. Um das herauszufinden habe ich zuerst im Internet recherchiert, wie dick man den Verputz üblicherweise aufträgt. Hier bin ich bei dem Innen- sowie Aussenputz auf 15mm gekommen (baukobox.de)²⁹.

²⁹ Innenputz: (baukobox GmbH, 2024), Aussenputz: (baukobox GmbH, 2024) 10. Okt. 2024

Da es bei dem Beton zwei unterschiedlich Dicken gab, erstellte ich dazu zwei einzelne Zeilen in der Tabelle. Wie bei dem Beton gibt es auch eine dickere und eine dünnere Wärmedämmung. Die dünnere Wärmedämmung ist nur in den Innenwänden, bis auf ein winziges Stück, während die dickere Wärmedämmung nur in den Aussenwänden verbaut ist.

Die Breite und die Höhe habe ich mit den Massen ausgerechnet, welche bei Bauplan in den Grundriss standen. Ich habe hier die Innen- und Aussenwände separat ausgerechnet. Bei der Breite habe ich zuerst die Fenster abgerechnet, und dann in einem zweiten Schritt das Volumen der Wand ober und unter dem Fenster, der Tür und dem Garagentor dazugerechnet. Zum Schluss habe ich dann diese drei Zahlen multipliziert und herausgefunden wie viele Kubikmeter von jedem Material in den Wänden des UG waren.

Bei dem Beton und der Wärmedämmung musste ich jedoch bei dem Volumen noch weiterrechnen, denn die Betonwand ist nicht aus purem Beton, sondern hat noch Armierungsstahl zur Stabilisierung drin. Aus diesem Grund musste ich in einer zusätzlichen Zeile noch den Armierungsstahl berechnen. Da dieser zwei Massenprozent des Betons ausmacht, habe ich später dort die Masse des gesamten Betons, dick und dünn, mal 0.02 gerechnet. Bei dem Beton selbst habe ich vereinfacht und nicht mal 98% gerechnet, weil der Unterschied nur minimal wäre.

Bei der Wärmedämmung ist die dünnere Wärmedämmung aus Steinwolle. Steinwolle ist weich und braucht deswegen eine Holzlattung, welche sie stützt (Abbildung 12) Diese Holzlattung macht meist einen Anteil von $\frac{1}{7}$ der Wärmedämmung aus. Das heisst ich musste das Volumen der dünneren Wärmedämmung mal $\frac{6}{7}$ und die Holzlattung mal $\frac{1}{7}$ rechnen. Auf diese Anteile bin ich durch meine Betreuung CS gekommen. Die dickere Wärmedämmung ist eine Perimeterdämmung. Sie besteht aus expandierten Polystyrolplatten (EPS) und braucht keine Holzlattung, welche sie stabilisiert.



Abbildung 12: Installation WD

Da ich bei den **Wänden** erst das gesamte Volumen jedes einzelnen Materials berechnet habe, ohne die Fenster und die anderen Maueröffnungen, wie Garagentor und

Aussentür, zu berücksichtigen. Muss ich noch die Fenster von dem Volumen abziehen. Das habe ich erst später gemacht, nachdem ich auch die Fenster berechnet habe. Ich habe aber bereits einen Verweis eingetragen, welcher, sobald ich die Fläche der Fenster eintrage, diese direkt von den Wänden abzieht.

Um die Fenster von dem Volumen habe ich die Summe der Fläche von allen Fenstern mit der Dicke des jeweiligen Materials multipliziert. So bekam ich ein Volumen. Diesen Wert habe ich dann von dem Volumen der Wände subtrahiert.

Den Energieaufwand der Materialien habe ich ganz am Schluss, nachdem ich das Volumen aller Bauteile des Hauses eingetragen habe, berechnet.

Der nächste Schritt war der **Boden**. Das Volumen habe ich wieder gleich berechnet. Da der Boden aber kein Rechteck ist, sondern eine Ecke fehlt musste ich diese Fläche noch vom Volumen abziehen. Um dies zu machen habe ich dann die jeweilige Dicke des Materials multipliziert mit dieser Fläche gerechnet und das dann noch von dem gesamten Volumen subtrahiert. Speziell beim Boden war, dass beim Bodenaufbau ein Bodenbelag welcher 15mm dick ist, vorgesehen ist. Jedoch haben meine Betreuung und ich keinen geeigneten Bodenbelag für Keller und Garage gefunden. Wir uns dann für PVC homogen entschieden welcher aber nur 2mm statt 15mm dick ist. Deswegen habe ich hier die Dicke geändert und mit 2mm gerechnet.

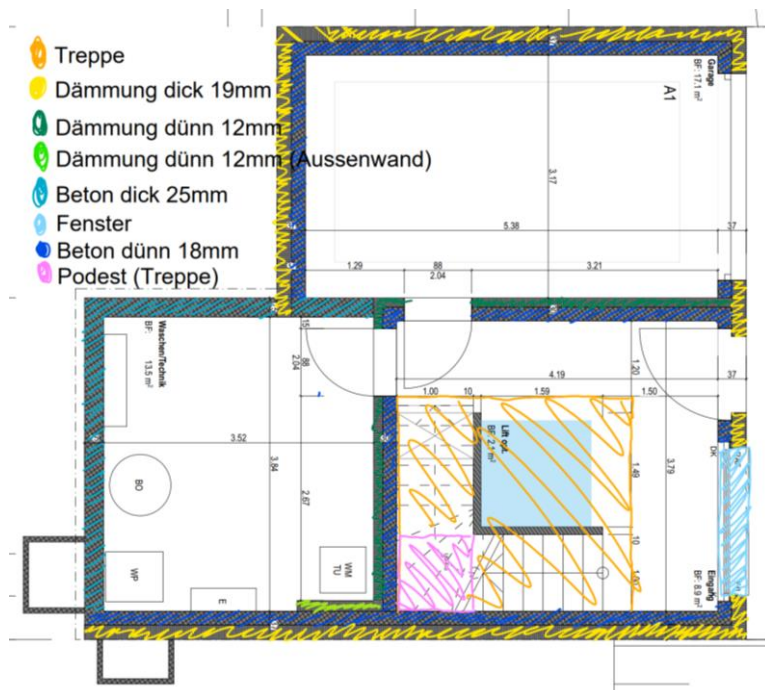


Abbildung 13: EFH Grundriss UG

Weiter ging es mit dem **Erdgeschoss**, denn die Fenster, die Tür und das Garagentor habe ich ganz am Schluss mit allen Fenstern des Hauses gemacht. Da es bei den **Wänden** des Erdgeschosses auch wieder Fenster hat, habe ich das Gleiche gemacht wie schon im Untergeschoss beschrieben.

Anschliessend ging es dann mit dem **Boden** weiter. Hier wurde wieder das Volumen berechnet. Da wieder beim Boden eine Ecke vom Rechteck, denn das wird später eine gedeckte Terrasse sein, gefehlt hat, bin ich gleich vorgegangen wie schon beim Boden im Untergeschoss, nur mit anderen Materialien. Zusätzlich musste ich noch die Fläche, wo die Treppe ist, wegrechnen. Das habe ich auch auf die gleiche Art wie beim Boden im Untergeschoss gemacht.



Abbildung 14: EFH Grundriss EG

Als nächstes kam dann das **Obergeschoss** dran. Die **Wände** und der **Boden** waren hier sehr einfach und ich konnte einfach alle vier Seiten summieren. Für die Höhe der Wände waren auf dem Bauplan zwei unterschiedliche Höhen, für die Längs- und die Breitseite des Hauses, angegeben. Diese haben die Differenz von 5 cm. Deswegen habe ich einfach mit dem Durchschnittswert gerechnet, es macht nur einen minimalen Unterschied, und es so ein wenig vereinfacht. Beim Boden musste ich noch die Fläche der Treppe wegrechnen und bei den Wänden die Fenster. Dies habe ich in der gleichen Art weggerechnet wie weiter oben beschrieben.

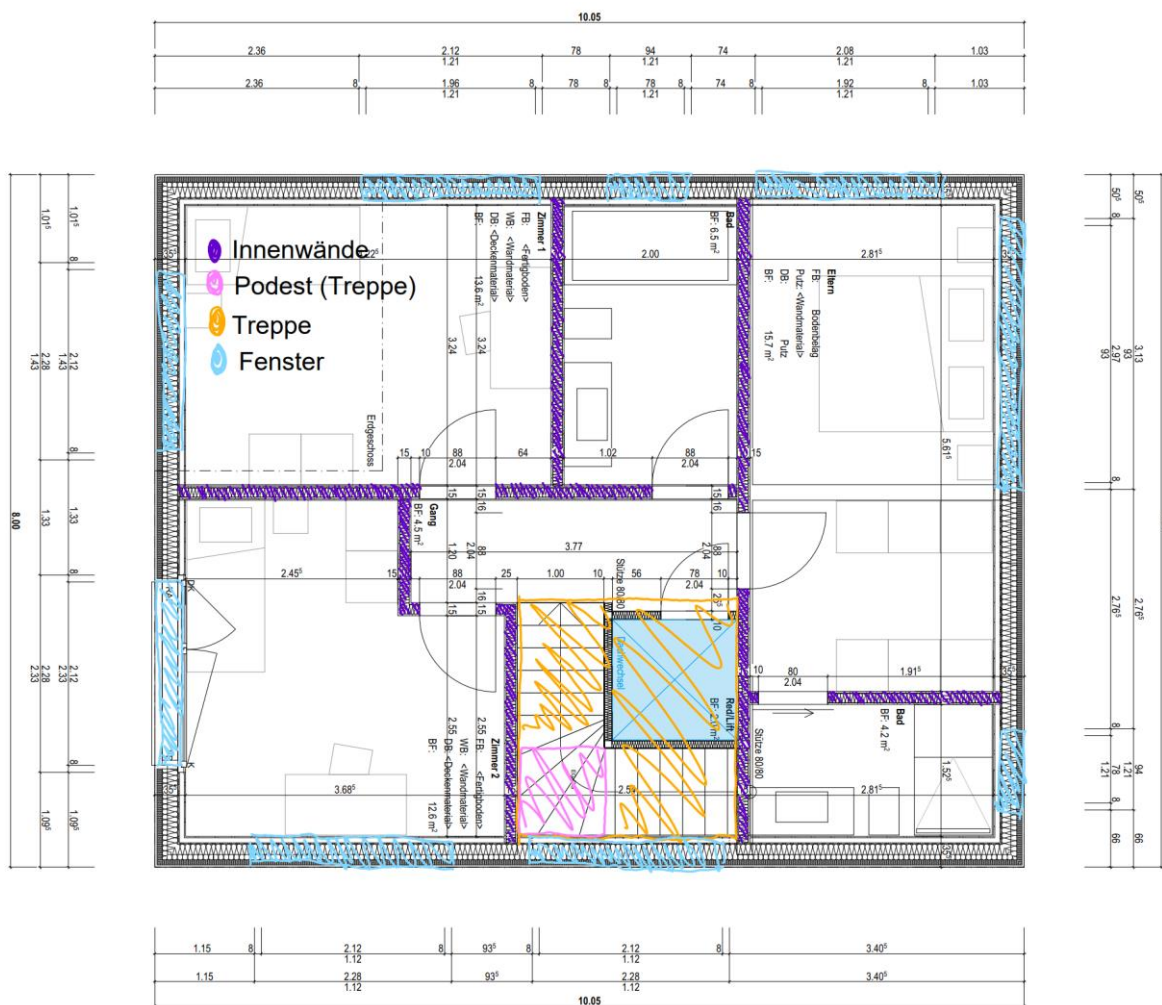


Abbildung 15: EFH Grundriss OG

Zum Schluss habe ich dann noch das Dach berechnet. Beim Dach kamen noch einmal neue Materialien, wie zum Beispiel Dachziegel, dazu. Bei den Dachziegeln ist keine Dicke angegeben, deswegen habe ich mithilfe von Recherchen eine Dicke von 15mm festgelegt. Die Fläche des Daches habe ich mit geometrischen Formeln berechnet.

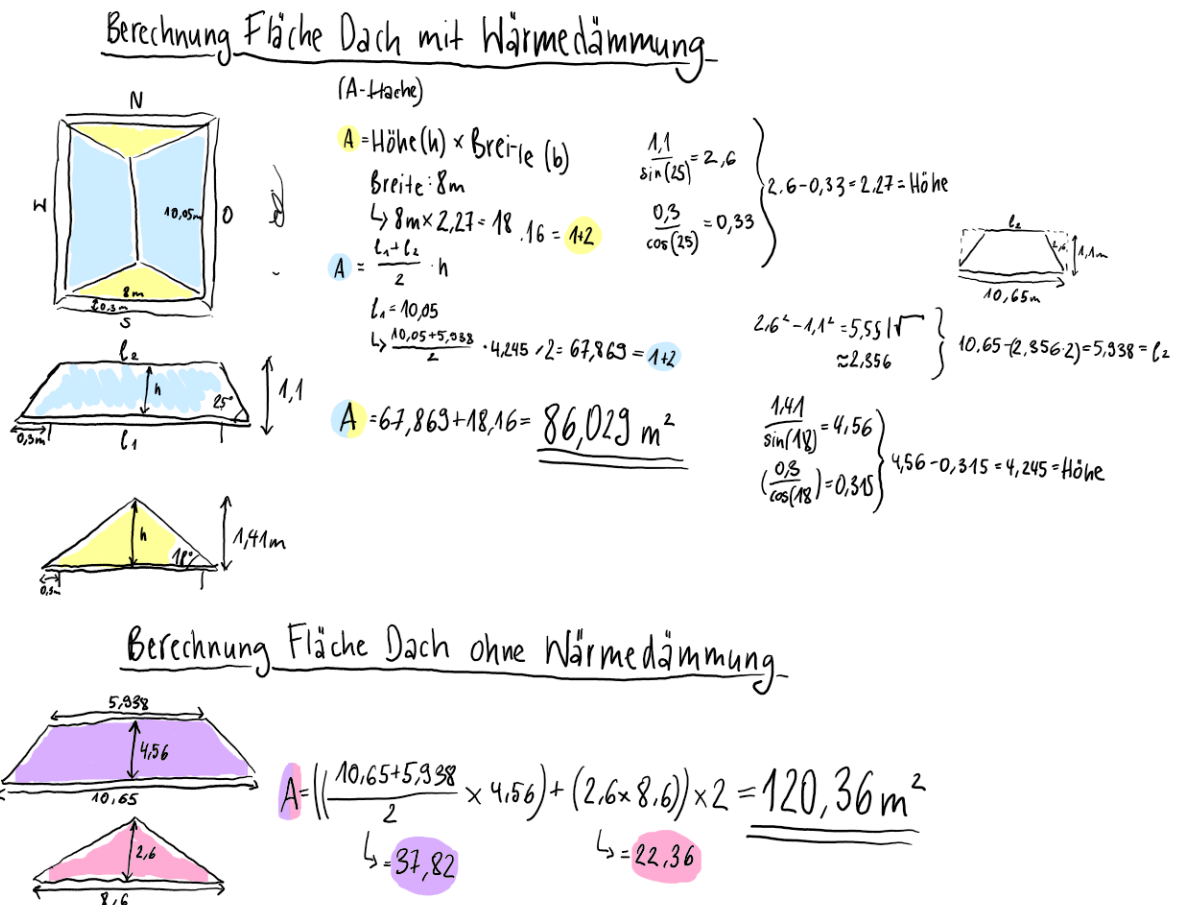


Abbildung 16: Berechnung Fläche Dach

Die Fläche habe ich multipliziert mit der Dicke von dem jeweiligen Material und so das Volumen erhalten.

Jetzt fehlen, bis auf die Fenster und Türen, nur noch die **Innenwände** des Erd- und Obergeschosses und die Treppe. Die Innenwände bestehen aus 3 Materialien nämlich in der Mitte die Konstruktion aus Holz eine Dämmung aus Steinwolle und auf den Seiten je eine Gipskartonplatte. Das heisst ich musste später das Volumen der Gipskartonplatte mit zwei statt mit eins multiplizieren. Angefangen habe ich mit den Innenwänden des Erdgeschosses. Dort habe ich die Länge berechnet, indem ich alle einzelnen Wände zusammengerechnet habe. Die Masse für die einzelnen Wände standen im Plan.

Beim Obergeschoss habe ich das Gleiche gemacht. Jedoch hatte ich dann noch die Innenwände, die bis zum Dach hinaufgingen. Diese habe ich mit der Breite von den Innenwänden vom Obergeschoss multipliziert mit der Höhe vom Dach multipliziert mit der Dicke des jeweiligen Materials. Nun hatte ich aber erst das Volumen des Dachs, wenn es ein Quader wäre. Deswegen habe ich es durch 2 dividiert und so ungefähr das Volumen der Innenwände im Dach bekommen. Es ist nur eine Annäherung, da das Dach nicht genau das Volumen eines halben Quaders hat.

Bei der **Treppe** habe ich stark vereinfacht, weil es sonst mit den zur Verfügung stehenden Daten sehr mühsam geworden wäre, das Volumen zu berechnen. Ich habe statt einer Wendeltreppe eine zweiläufige Winkeltreppe mit Viertelpodest³⁰ aus Beton gemacht. Diese sollte ein ähnliches Volumen wie die originale Treppe haben. Meine Treppe hat jetzt 12 Stufen welche 1m mal 0.25m gross sind, mit einem grossen 1m mal 1m quadratförmigen Podest aus Beton in der Mitte. Die Stufen und das Podest haben alle eine Dicke von 0.2 Metern. Damit die Treppe hält hat es noch Zwischenelemente, gleichviele wie Stufen, welche je ein halb so grosses Volumen wie eine Stufe haben. Diese Treppe kommt zweimal in dem Haus vor: einmal vom Untergeschoss ins Erdgeschoss und einmal vom Erdgeschoss ins Obergeschoss.

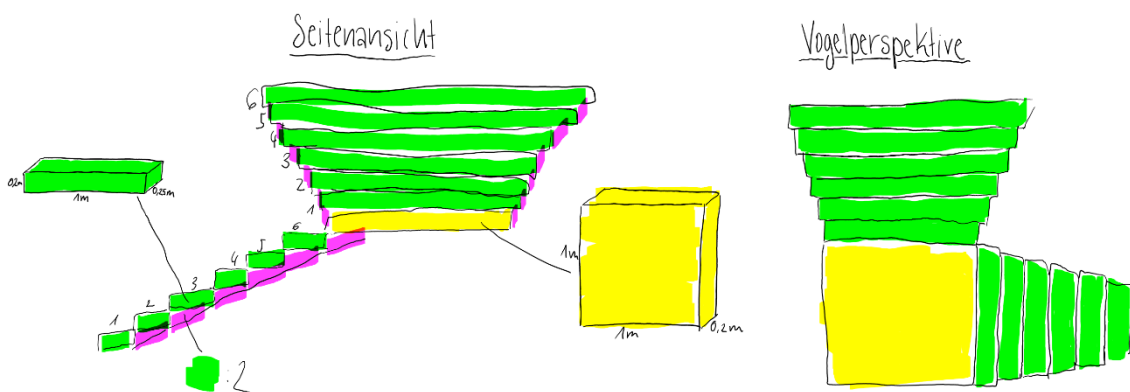


Abbildung 17: Skizze Treppe

Materialauswahl und Berechnung des Energieaufwands

Bevor ich jetzt noch die Fenster, Türen und das Garagentor gemacht habe, habe ich den Energieaufwand von allen Bauteilen berechnet, weil man diesen ein wenig anders als der Energieaufwand der Fenster und Türen berechnet.

³⁰ (Heinze GmbH, 2024) 09. Okt. 2024

Um herauszufinden wie viel Energie in Kilowattstunden (kWh) ein Bauteil verbraucht, also den Energieaufwand, musste ich zuerst eine Datenbank mit Datensätzen für alle Baumaterialien, die ich benötige, finden. Gefunden habe ich für dies eine Datenbank der KBOB. Die Werte, die ich in dieser Datenbank brauchte, ist die totale Primärenergie [kWh/kg] (erneuerbar und nicht erneuerbar) und die Rohdichte [kg/m³].

Die Primärenergie wird in Kilowattstunden pro Kilogramm angegeben oder bei Materialien, die bereits fix in der Dicke sind, wie Fenster und Türen, in Kilowattstunden pro Quadratmeter. Ausserdem beinhaltet diese Datenbank auch noch die Angaben der die Rohdichte (kg) für jedes Material. Diese benötige ich damit ich das berechnete Volumen (m³) mit der Angabe für die Flächenmasse durch Rohdichte (kg/m³) multiplizieren kann und so das Gewicht in Kilogramm des Materials bei dem berechneten Volumen erhalte. So kann ich die Primärenergie (kWh/kg) mit dem Gewicht multiplizieren und erhalte den Primärenergieaufwand in verbrauchten Kilowattstunden dieses Materials. Wenn notwendig, kann ich diese Zahl noch mal 3600 rechnen, um so die Anzahl Kilojoules herauszufinden. Hier noch alles noch an einem Beispiel aufgezeigt:

Beispiel „Perimeterdämmung“ bzw. „Dämmung dick“ UG

Material	Volumen [m ³]	Rohdichte [kg/m ³]	Gewicht [kg] = [m ³ × kg/m ³]	Primärenergie [kWh/kg]	Energieaufwand [kWh] = [kg × kWh/kg]
Polystyrol expandiert, Swisspor EPS	10,912	16,8	10,912 × 16,8 = 183,33	27,4	183,33 × 27,4 = 5023,3

Angaben aus Excel „Ökobilanzen Baubereich KBOB“

Abbildung 18: Beispielrechnung Energieaufwand

Bei der Auswahl der Materialien, also beispielsweise welche Dämmung ich aus der Statistik von KBOB nehmen soll, hat mir entweder meine Betreuungsperson CS geholfen oder ich habe im Internet recherchiert. Die einzelnen Recherchen findet man in dem Kapitel «Recherchen für Materialien und Begriffe».

Fenster & Türen

Zuletzt habe ich dann noch alle Fenster, Türen und das Garagentor gerechnet. Angefangen habe ich mit den **Fenstern**. Insgesamt hat das Haus 18 Fenster, eines im Untergeschoss, acht im Erdgeschoss und neun im Obergeschoss.

Um die Fläche zu berechnen konnte ich die Angaben aus den Grundrissen nehmen. Dort stand überall die Höhe und Breite der Fenster mit und ohne Rahmen. Ausser bei zwei Fenstern, bei dem Fenster im Untergeschoss und bei einem der Fenster im Erdgeschoss. Hier habe ich die Aussenansichten der Fassaden ausgedruckt und die Fenster mit einem Lineal ausgemessen. Als nächstes habe ich die gesamte Breite der Fassade ausgemessen und dann diese Zahl durch die reale Breite dividiert, um das Verhältnis herauszufinden. Zum Schluss habe ich dann das Verhältnis mit der Breite und der Höhe des Fensters multipliziert.

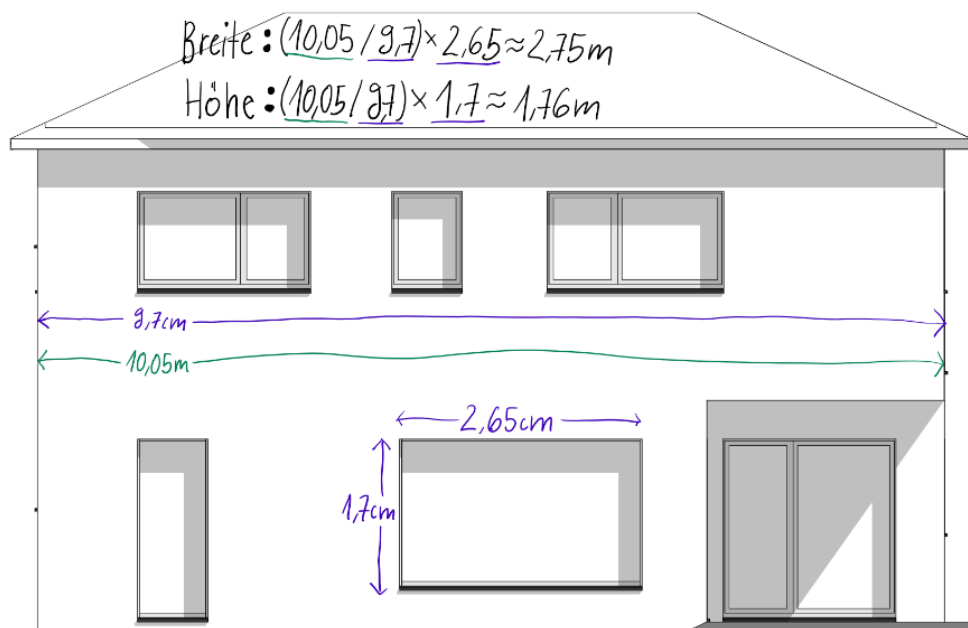


Abbildung 19: Berechnung Fenster

Primärenergieaufwand der Fenster berechnen

Der Primärenergieaufwand der Fenster, anders als die anderen Materialien, ist in Kilowattstunden pro Quadratmeter angegeben. Heisst, ich muss statt des Volumens nur die Fläche der Fenster berechnen. Habe ich dann die Fläche (m^2) muss ich dies dann mit der Primärenergie (kWh/m^2) multiplizieren, damit ich den Energieaufwand in Kilowattstunden erhalte.

Da aber das Fenster nicht nur aus Glas besteht, sondern auch noch einen Rahmen hat, ist die Berechnung ein wenig umständlicher. Beim Rahmen habe ich einen Holz-Metall-Rahmen gewählt, dort kann ich einfach die Höhe mal die Breite des Fensters rechnen, ohne die Fläche des Glases abzurechnen, da dies in den KBOB-Daten bereits berücksichtigt wird.

Anschliessend musste ich, um die Fläche des Glases herauszufinden, die Breite und die Höhe des Fensters minus den Rahmen rechnen.

Beispiel Fenster (Maueröffnung bzw. Rahmen & Glas)

Material	Fläche [m^2]	Primärenergie [kWh/m^2]	Energieaufwand [kWh] = [$\text{m}^2 \times \text{kWh}/\text{m}^2$]
Fensterrahmen Holz-Metall	4,836	479	$4,836 \times 479 = 2316,4$
Isolierverglasung 3-Fach	4,005	271	$4,005 \times 271 = 1085,6$

Fläche Glas: $(\text{Höhe Maueröffnung} - \text{Höhe Rahmen}) \times (\text{Breite Maueröffnung} - \text{Breite Rahmen})$

Angaben aus Excel „Ökobilanzen Baubereich KBOB“

Abbildung 20: Beispielrechnung Energieaufwand Fenster

Der Rahmen ist unten jeweils unten 11cm und oben 9 cm breit. Links und rechts ist er nur 9 cm breit und wenn es ein Doppel-Fenster ist, dann habe ich in der Mitte noch mit 11cm Breite gerechnet (Bild links). Das habe ich dann mit jedem Fenster gemacht und es in meine Excel-Tabelle eingetragen. Als Fensterscheibe habe ich eine 3-fache Isolierverglasung mit einem U_g -Wert von $0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ gewählt.

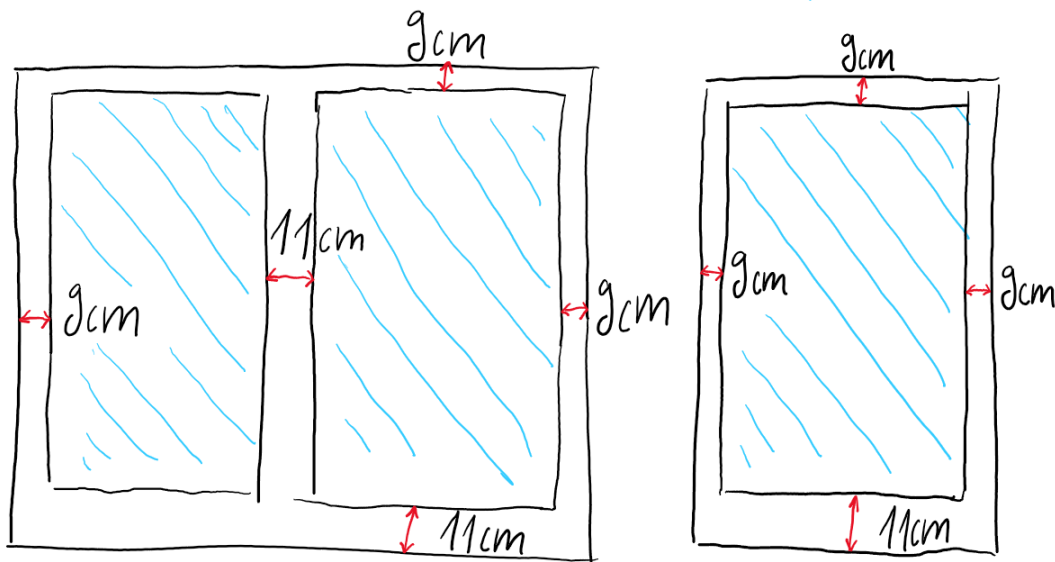


Abbildung 21: Skizze Fensterrahmen

Die Primärenergie der **Türen** ist wie die der Fenster in Kilowattstunden pro Quadratmeter angegeben. Deshalb wird der Energieaufwand auch gleich berechnet. Da die Tür im Untergeschoss nach aussen führt, habe ich eine Aussentür aus Holz mit Glaseinsatz angenommen. Sonst habe ich für die insgesamt 9 Innentüren einfache Zimmertüren aus Holz gewählt.

Bei dem Garagentor habe ich eine Aussentüre aus Aluminium mit Paneel-Füllung gewählt, denn ich habe mich an dem Garagentor von Hörmann «LPU 42», ein doppelwandiges Garagen-Sektionaltor mit Isolation (hoermann.ch)³¹, orientiert. Sonst konnte ich hier, wie bei den Fenstern und Türen rechnen.



Abbildung 22: Aufbau Garagentor

³¹ (Hörmann Schweiz AG, 2024) 08. Okt. 2024

Vorgehen Baumaterialien Tiny House

Da das Tiny House aus einer Projektarbeit ist, wurden dort schon viele Werte angegeben unter anderem welche Materialien der Autor vorgesehen hatte.

Bei dem Tiny House habe ich mit den Wänden gestartet. Ich habe alle Wände, also Nord-Wand, Ost-Wand, usw., einzeln gemacht.

Bei den Aussenwänden habe ich die Dämmung und das Brettsper Holz in die Berechnungen einbezogen. Die nur einen Millimeter dicke Textilfassade wurde nicht berücksichtigt.

Da ich alle Materialien schon hatte, konnte ich die Energie direkt ausrechnen. Berechnet habe ich diese gleich wie beim Einfamilienhaus.

Zuerst habe ich die Nordwand berechnet dort habe ich die Wand in Sektoren unterteilt: mit Fenster und ohne. Begonnen habe ich mit den Sektoren ohne Fenster. Dort habe ich das Volumen der Materialien mithilfe der Masse, welche im Bauplan standen, berechnet. Danach habe ich die Wand ober und unter dem kleinen langen Fenster und der Tür (Abbildung 23) berechnet.

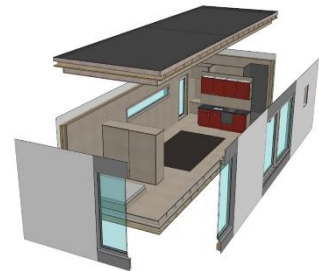


Abbildung 23: TH L. Renggli

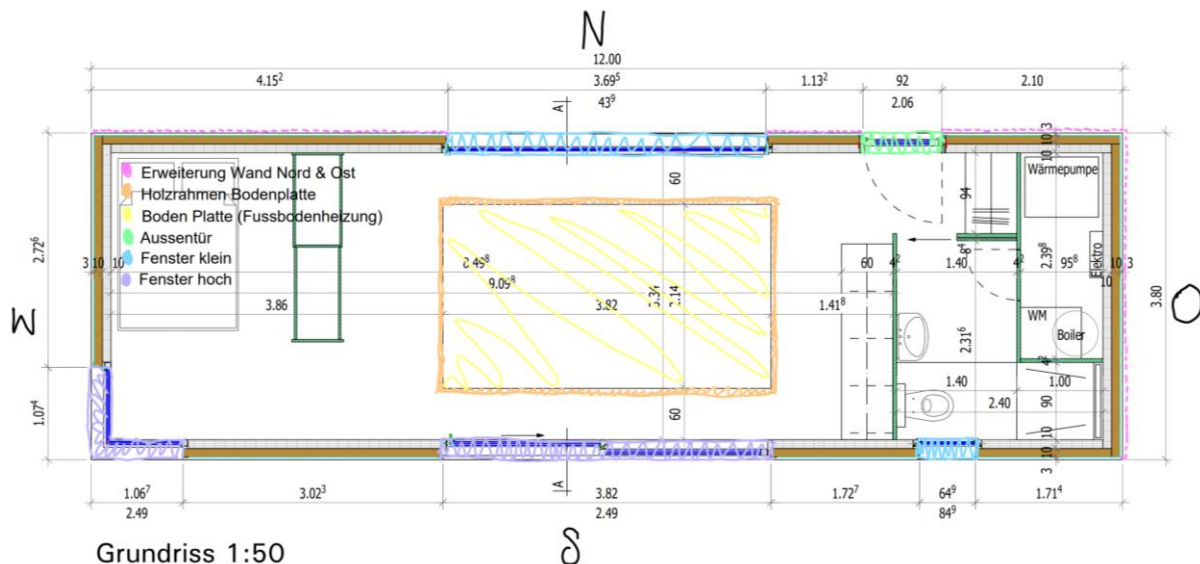


Abbildung 24: Grundriss TH

Nun wäre eigentlich laut Grundriss überall eine Wärmedämmung von 100 Millimetern gedacht, jedoch hat der Schreiber dieser Projektarbeit in der Projektarbeit den Gedanken aufgebracht «die Aussenwände selbst nicht einheitlich zu konstruieren, sondern lagebedingt zu optimieren. Also beispielsweise die Süd- und Westwände minimal zu halten und die Nord- und Ostwände stärker zu dämmen» (Projektarbeit L. Renggli, 2019, S. 23)³². Da bei einer Dämmung von 100 mm der U-Wert 0.28 W/m²K wäre und von Gesetzes wegen ein maximaler U-Wert von 0.17 W/m²K vorgeschrieben ist (SIA 380/1, Tabelle 2, 2016)³³, habe ich mich dazu entschieden, die Dämmung an der Nord- und Ostwand, wie in der Projektarbeit vorgeschlagen, dicker zu machen um so einen U-Wert von 0.15 statt 0.28 zu bekommen. So wäre gemäss der Projektarbeit von L. Renggli auch der Systemnachweis erfüllt. Um herauszufinden welche Dicke die Dämmung bei einem U-Wert von 0.15 hat, habe ich in dem online-Programm *Ubakus* verschiedene Werte ausprobiert. Schlussendlich bin ich auf die Dicke von 240 mm gekommen.

Bauteil:	U-Wert:
Dach	0.15
Boden	0.13
Nord	0.15
Ost	0.15
Süd	0.28
West	0.28
Fenster	0.50
Glas	0.55

Abbildung 25: U-Werte TH

Mit dem gleichen Vorgehen habe ich auch die restlichen drei Wände berechnet. Bei der Südwand hat es noch ein anderes kleines Fenster, bei dem habe ich wieder die Wand drumherum berechnet und das Fenster selbst später. Speziell bei der West- und Südwand war, dass es dort Fenster hat, welche über die ganze Höhe vom Wohnraum gehen. Unter- und oberhalb ist die Wand eigentlich anders aufgebaut, aber da es im Endergebnis nur wenig ausmacht, entschied ich mich dazu, den gleichen Wandaufbau der anderen Wände zu nehmen. Bei diesem habe ich die Breite aller hohen Fenster summiert, mal die Höhe ohne ein Fenster. Diese Fläche multiplizierte ich dann mit der Dicke des jeweiligen Materials.

Als nächstes kam der Boden dran. Da dort eine Bodenbetonplatte, welche später als Fussbodenheizung funktionieren wird, installiert ist, habe ich den Boden in Sektoren unterteilt und diese dann einzeln berechnet, da dies für mich einfacher war.

³² (Renggli, 2019) S.23, 10. Okt. 2024

³³ (Kommission SIA 380/1, 2016), SIA 308/1, Tabelle 2, Seite 20, 10. Okt. 2024

Speziell war, dass es um die Bodenplatte noch einen Holzrahmen hat, der aber nicht über alle Schichten geht. Das hat die Rechnung aufwändiger gemacht. Es ging aber trotzdem und ich konnte alle Sektoren zusammenrechnen, um ein Volumen für den Boden zu erhalten. Bei der äussersten Schicht des Bodens, habe ich anstatt der *Fermacell Powerpanel*, die Fassadenplatte *Glasfaserbeton Ecomur 15mm* angenommen, da die Fermacell Powerpanel in der Datenbank der KBOB nicht zur Verfügung steht.

Der nächste Schritt war das Dach. Das Dach war relativ einfach zu berechnen, da es weder Maueröffnungen hat noch eine spezielle Form, sondern es ist einfach ein Flachdach.

Bei der Dämmung brauchte ich wie schon bei der Steinwolle von dem Einfamilienhaus eine stabilisierende Holzlattung. Jedoch sind hier die Holzlattung und die Dämmung in einem anderen Verhältnis. Die Latten in dem Tiny House sind laut dem Autor 60 mm breit und in einem Abstand von 565mm verbaut. Das heisst, ich komme auf ein Verhältnis 1: 9 bzw. das Volumen des Holzes macht 10 Prozent aus und das der Dämmung 90%.

Minihaus Flachdach

Flachdach
erstellt am 18.11.2019

Wärmeschutz

$U = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

EnEV Bestand*: $U < 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

sehr gut mangelhaft

Feuchteschutz

Trocknungsreserve: $5606 \text{ g}/\text{m}^2\text{a}$
Kein Tauwasser

sehr gut mangelhaft

Hitzeschutz

Temperaturamplitudendämpfung: 14
Phasenverschiebung: 10,8 h
Wärmekapazität innen: $36 \text{ kJ}/\text{m}^2\text{K}$

sehr gut mangelhaft

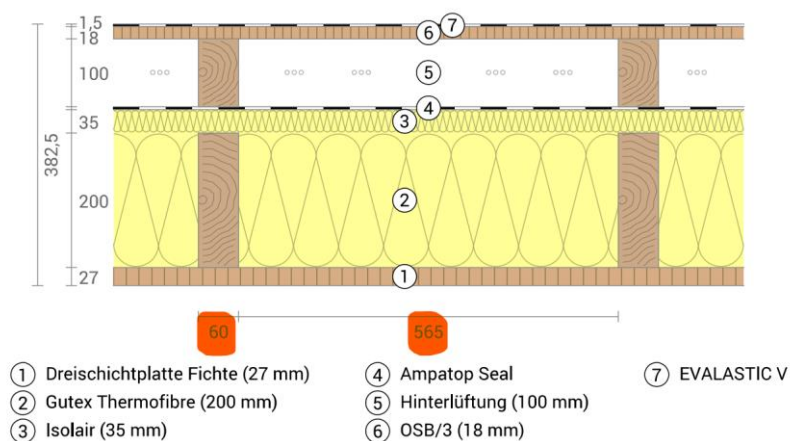


Abbildung 26: Ubakus Dach TH

Zuletzt habe ich noch die Fläche und Energie der Fenster und der Aussentür berechnet. Fenster und Tür haben den gleichen Aufbau wie schon bei dem Einfamilienhaus beschrieben.

Vorgehen Betrieb Einfamilienhaus

Den Heizwärmebedarf für den Betrieb der beiden Gebäude habe ich mithilfe eines Excel-Berechnungsprogramms berechnet. Das Programm basiert auf der SIA-Norm 380/1 und stand gratis auf der Website der Energiefachstellen der Kantone zur Verfügung. Damit kann man den Energiebedarf für die Heizung des Gebäudes während eines Jahres an einem bestimmten Standort berechnen.

Zuerst habe ich bei der ersten Tabelle "Nutzung" bei der Berechnungsart Vordimensionierung genommen. Eigentlich wollte ich Nachweis nehmen, aber dort hätte man die Wärmebrücken noch detailliert angeben müssen. Danach habe ich bei der Gebäudekategorie "Wohnen EFH 2" gewählt. Hier wird das Haus auf 20° geheizt. Als Standort bzw. als Klimastation habe ich Bern-Liebelfeld genommen, da dies am nächsten an Biel ist. Ausserdem habe ich noch angegeben, dass es ein Neubau ist.

Für die Bauweise des EFH habe ich «leicht» gewählt, weil das EG und das OG in Holzbauweise gebaut sind.

Als Raumtemperaturregelung habe ich Referenzraum-Temperaturregelung angegeben, da so die gleiche Temperatur im ganzen Gebäude ist und ich nicht für jeden Raum eine einzelne Temperatur bestimmen muss.

Als Zuschlag für die Wärmebrücken habe ich 5% genommen, weil es sich um einen Neubau handelt, welcher einen kleinen Anteil an Wärmebrücken hat.

Danach habe ich bei der Tabelle "EBF" die Energiebezugsfläche von jedem Geschoss angegeben. So bin ich insgesamt auf $212m^2$ Energiebezugsfläche gekommen.

Als nächstes habe ich auf der Tabelle "Bauteile" alle Bauteile der Gebäudehülle, also Wände, Böden, Fenster und Türen, eingetragen. Diese wurden entweder in "1 Bauteile gegen Aussenklima" oder "2 Bauteile gegen unbeheizte Räume und gegen Erdreich" eingeteilt. Bei dieser Tabelle werden die Transmissionswärmeverluste berechnet.

Bei den Bauteilen gegen das Aussenklima sind alle fast alle Bauteile gemeint, bis auf die Süd-, Ost- und Westwand und der Boden vom Untergeschoss, da diese fast bis völlig in bzw. unter der Erde sind.

Bei den Bauteilen gegen das Aussenklima habe ich zuerst das Dach eingetragen. Die Dicke der Wärmedämmung sowie das Ausmass habe ich bereits beim Teil Energieaufwand Bau berechnet., So konnte ich nur die Daten übertragen. Nachdem ich die Fläche der einzelnen Dachseiten hatte, habe ich noch die Orientierung, also Nord, Süd, Ost und West eingetragen.

Den U-Wert von allen Bauteilen habe ich erst ganz am Schluss eingetragen, da dieser separat berechnet werden musste.

Da die Wände vom Erd- und Obergeschoss den gleichen Aufbau haben, konnte ich immer die Fläche der gesamten Fassade eintragen. Beispielsweise habe ich die Nordfassade vom Obergeschoss mit der Nordfassade des Erdgeschosses zusammengerechnet und diese Fläche dann erst im Excel eingetragen. Danach habe ich noch die Fläche der Fenster abgerechnet. Bei der Wärmedämmung habe ich die Dicke der Steinwolle, der Weichfaserplatte und der Rostung, welche ja auch mit Dämmung gefüllt ist, zusammengerechnet. Zum Schluss habe ich noch jeweils die Orientierung von jeder Wand eingetragen.

Vereinfacht habe ich bei den Wänden der gedeckten Terrasse, denn hier habe ich die Fläche der Wand jeweils auch zu der Süd- bzw. Westwand dazugerechnet. Das bedeutet ich habe die Wand, welche nach Süden ausgerichtet ist, zur Südwand gerechnet. Obwohl diese eigentlich gar nicht zu der Südwand gehört. Es wäre aber zu kompliziert gewesen diese noch einmal einzeln überall zu berechnen. Bei der der Terrassenwand gegen Westen habe ich es gleich gemacht.

Die nächsten Bauteile gegen das Aussenklima waren die Fenster. Bei diesen musste man am meisten Werte eintragen und deswegen habe ich auch hier vereinfacht.

Für das Ausmass habe ich, wie auch schon bei den Wänden, alle Fenster, welche nach der gleichen Himmelsrichtung orientiert und auf dem gleichen Geschoss sind, zusammengerechnet. Die Orientierung spielt eine bedeutende Rolle bei vielen der nachfolgenden Werte.

Als erstes musste ich überall den Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) eintragen. Da es zu aufwändig wäre bei allen Fenstern den U-Wert einzeln zu berechnen, habe ich einen durchschnittlichen U-Wert genommen. Diesen habe ich erhalten, indem ich mir als

Vorlage die Fenster von dem Tiny House genommen habe. Denn bei diesen sind alle Werte schon berechnet. Bei meinen Recherchen habe ich herausgefunden, dass, wenn man den U-Wert für das gleiche Fenster auf verschiedenen Rechnern ausrechnet, auf verschiedenen U-Werte kommt. Ich habe mich deswegen entschieden, die Angaben aus der Projektarbeit von L. Renggli zu verwenden. Hier habe ich den Mittelwert des U-Wertes des kleinsten Fensters, welches etwa gleich klein ist wie das kleinste Fenster des Einfamilienhauses, und des grössten Fensters genommen. Als Resultat habe ich den mittleren U-Wert von $0.86 \text{ W/m}^2\text{K}$ erhalten. Um dann aber doch noch zu überprüfen ob dieser U-Wert plausibel ist, habe ich den durchschnittlichen U-Wert eines kleinen, mittleren und grossen Fensters des Einfamilienhauses berechnet. Hier habe ich den U-Wert 0.88 herausbekommen, was nur 0.02 vom anderen U-Wert entfernt ist, und bestätigt das der U-Wert in etwa stimmt. Das gleiche Verfahren habe ich auch beim Glasanteil angewendet.

Der g-Wert³⁴ der Fenster ist fix und vom Glas aber nicht von der Fläche oder Orientierung abhängig. Deswegen konnte ich diesen einfach von den Angaben von den Fenstern im Tiny House nehmen.

Bei dem Verschattungsfaktor Horizont habe ich für die Süd und Nord-Seite 20° Grad genommen da dies der Richtwert, welcher auch im Excel selber steht, ist, wenn nichts anders angegeben ist. Da laut Bauplan, das Einfamilienhaus neben anderen, gleichen Einfamilienhäusern steht, habe ich auf der Ost- und Westfassade einen Horizont von 60° Grad genommen da die Gebäude nahe aneinander stehen. Für das Süd und Westfenster bei der Terrasse habe ich die gleichen Werte wie bei der jeweiligen Fassade genommen.

³⁴ Der Gesamtenergiedurchlassgrad, kurz g-Wert genannt, erfasst die Energiedurchlässigkeit eines transparenten Bauteils, wie etwa einer Verglasung. (BauNetz Wissen, 2024)

Bei dem Verschattungsfaktor Überhang habe ich bei allen Fenstern im Erdgeschoss mit einem Überhang von 15 Grad gerechnet, da dieses Gebäude, mit Ausnahme des Dachs, keine Überhänge wie Balkone besitzt. Trotzdem haben sie alle einen minimalen Überhang, denn wie man auf der perspektivischen Ansicht im Bauplan sieht, sind die Fenster innen angeschlagen.

Deswegen habe ich 15 Grad genommen, da dies das Kleinste nach 0 Grad ist. Bei der Terrasse habe ich für beide Fenster einen Überhang von 70 oder mehr Grad gerechnet, da der Überhang vom oberen Stockwerk sehr gross ist. Auch bei dem Fenster im Untergeschoss habe ich mit einem Überhang von 70 oder mehr Grad gerechnet, da hier das Erdgeschoss überhängt.

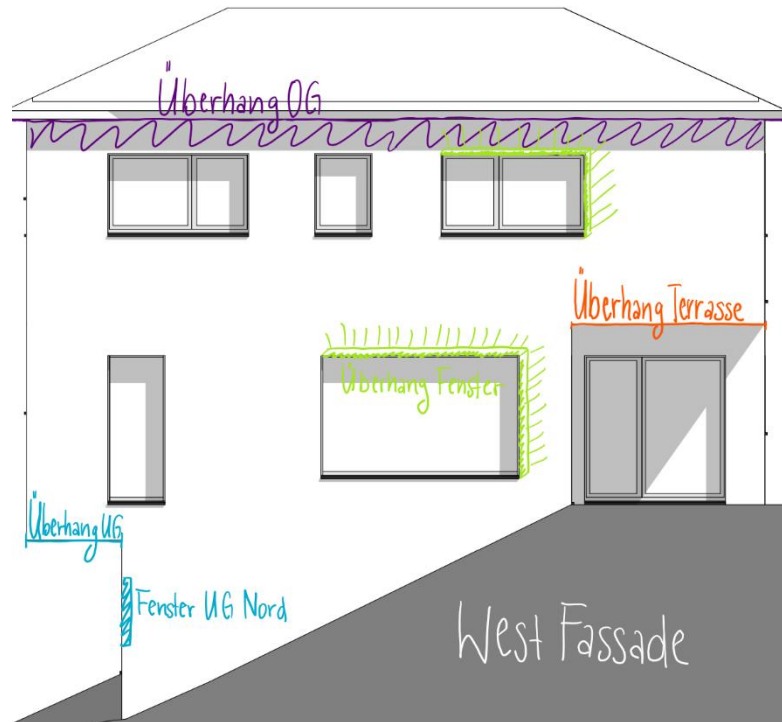


Abbildung 27: Berechnung Überhang

Im Obergeschoss habe ich mit einem Überhang von 30 Grad gerechnet, da die Fenster nicht nur innen anschlagen, sondern es dazu noch einen Dachvorsprung hat.

Bei dem Verschattungsfaktor Seitenblende habe ich bei allen Fenstern, bis auf die bei der Terrasse, auf beiden Seiten eine Seitenblende von 15 Grad einberechnet. Da die Terrassenfenster auf einer Seite eine grosse Seitenblende haben, nämlich das jeweils andere Terrassenfenster plus die Wand, habe ich für dort mit einer Seitenblende von 75 oder mehr Grad gerechnet. Für die andere Seitenblende habe ich wieder den Winkel von 15 Grad angenommen. Ich habe hier mit den gleichen Schlussfolgerungen wie oben gearbeitet und deshalb auch die gleichen Winkel angenommen.

Das letzte bei den Bauteilen gegen das Aussenklima ist die Tür und das Garagentor im Untergeschoss auf der Nordseite. Das Ausmass für beide Teile konnte ich aus dem Excel der Berechnung vom Bau übertragen. Da die Tür die Gleiche ist wie im Tiny House, konnte

ich den U-Wert von dort nehmen. Der U-Wert des Garagentors habe ich auf der Website des Herstellers des gewählten Sektionaltors gefunden.³⁵

Jetzt fehlten nur noch die Bauteile gegen unbeheizte Räume und gegen das Erdreich, darunter die übrigen drei Wände im Untergeschoss und der Boden. Nachdem ich wieder Dicke der Wärmedämmung, Ausmass und Orientierung eingetragen habe, musste ich den Reduktionsfaktor b herausfinden. Da das Untergeschoss fast vollständig im Boden, bzw. Erdreich ist, ist laut SIA der Reduktionsfaktor b 0.7.

Nachdem ich nun alle Bauteile des Einfamilienhauses im Excel vermerkt habe, fehlt mir nur noch ein Wert, nämlich den Wärmedurchgangskoeffizient, kurz U-Wert.

Diesen habe ich bei allen Bauteilen auf einem online U-Wert-Rechner namens *Ubakus* statt auf dem Rechner in dem Excel-Programm ausgerechnet. Dort konnte ich den Wandaufbau mit allen Materialien eingeben.

Beispielsweis habe ich hier den U-Wert der Aussenwand von dem Erd- und Obergeschoss berechnet:

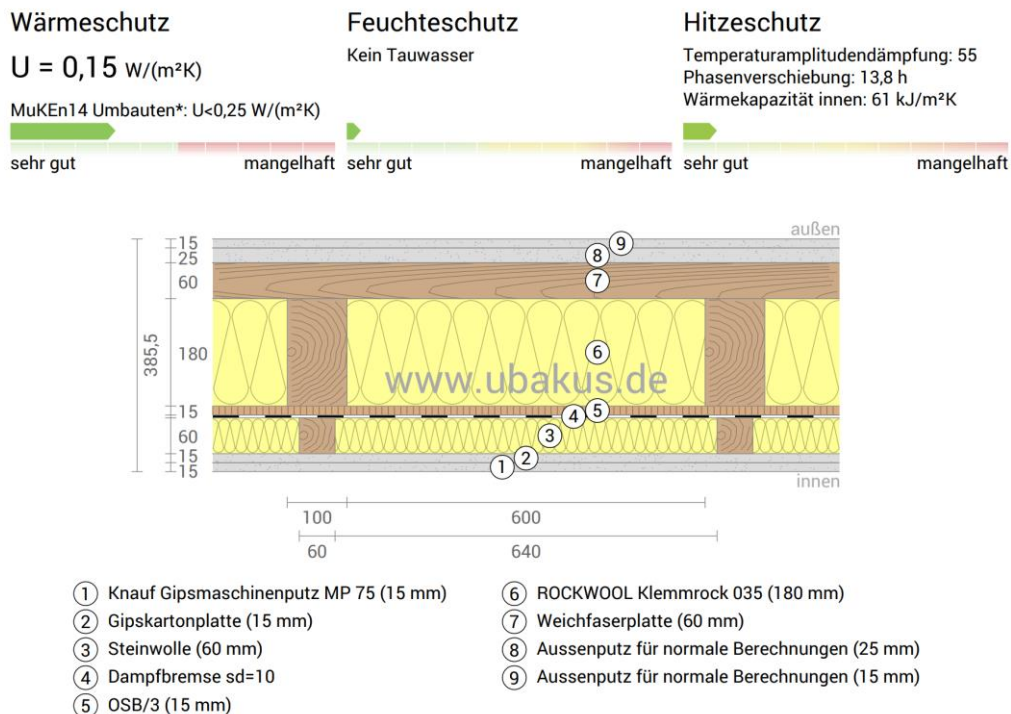


Abbildung 28: Ubakus EFH Aussenwand EG&OG

³⁵ (Hörmann Schweiz AG, 2024) 09. Okt. 2024

Vorgehen Betrieb Tiny House

Der Betrieb zu berechnen war hier sehr einfach da die meisten Angaben schon in der Projektarbeit standen.

Bei der Tabelle *Nutzung* habe ich die gleichen Sachen wie schon beim Einfamilienhaus gewählt, bis auf die Temperaturregelung, denn hier habe ich Referenzraumtemperaturregelung ausgewählt. Bei der Tabelle *EBF* musste ich nur ein Geschoss eintragen. Ich habe die Länge mit der Breite multipliziert und so eine Energiebezugsfläche von 45.6 Quadratmetern bekommen.

Bei der Tabelle *Bauteile* gab es nur Bauteile gegen das Aussenklima. Zuerst habe ich mit dem **Flachdach** begonnen. Dieses hatte die gleiche Fläche wie die Energiebezugsfläche.

Den U-Wert habe ich in der Projektarbeit gefunden, dort hat der Verfasser die U-Wert von allen Bauteilen bereits auf *Ubakus* berechnet. Bei den **Wänden** konnte ich die Fläche aus meinen Berechnungen übertragen. Den U-Wert konnte ich auch einfach eintragen. Bei den **Fenstern** sind in der Projektarbeit auch bereits alle U-Werte, g-Werte und der Glasanteil

Bauteil:	U-Wert:
Dach	0.15
Boden	0.13
Nord	0.15
Ost	0.15
Süd	0.28
West	0.28
Fenster	0.50
Glas	0.55

Abbildung 29: U-Werte TH

angegeben. Das Ausmass der Fenster hatte ich auch schon berechnet.

Beispiel Schiebefenster:

Bei den Verschattungsfaktoren habe ich bei dem Horizont bei allen Fenstern den Winkel von 20°, bei dem Überhang einen Winkel von 15° und bei den Seitenblenden auch einen Winkel von 15° genommen. Ich habe überall einen Winkel zwischen 15° und 20° genommen, weil die Fenster innen angeschlagen sind.

Thermische Daten:

- U_f -Wert: 1.2 W/m²K
- U_w -Wert: 0.71 W/m²K (4.5m x 2.3m)
- f_{Rsi} : 0.710 (unten Festteil)
- f_{Rsi} : 0.766 (unten Flügel)
- f_{Rsi} : 0.651 (Mittelpartie)

Isolierglas:

- 3-fach Isolierglas mit Argongasfüllung
- Glasstärke: 44mm (4/16/4/16/4)
- U_g Wert: 0.6 W/m²K
- g-Wert: 52%
- Lichttransmission: 74%
- Glasanteil: 89%
- Thermisch optimierter Glasrand
 $\Psi_{Randverbund} = 0.027$ W/mK

Abbildung 30: Beispiel Schiebefenster Daten

Bei dem Boden und der Aussentür hatte ich auch schon alle Angaben und konnte diese einfach aus der Projektarbeit übertragen.

Beispiel Boden mit Bodenplatte bei *Ubakus* eingegeben:

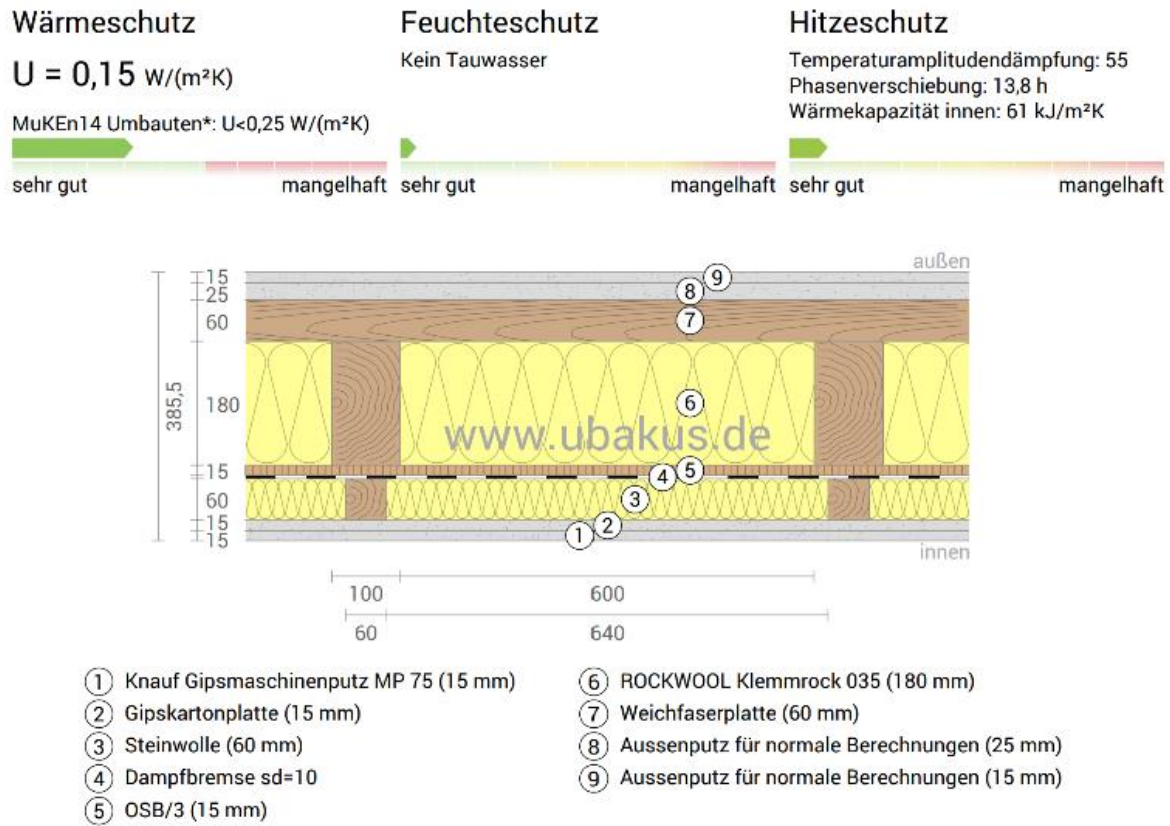


Abbildung 31: Ubakus Boden TH

Schwierigkeiten

Bei dem Bau hatte ich viel mehr Schwierigkeiten, da dort nicht alles genau angeleitet war und kein Excel-Programm vorhanden war wie für die Berechnungen des Heizwärmebedarf beim Betrieb.

Schwierigkeiten Bau

Da ich noch nie eine Arbeit auch nur ein wenig in diese Richtung gemacht habe war alles sehr neu für mich, und dementsprechend hatte ich auch viele Schwierigkeiten.

Mein Hauptprogramm für alle Berechnungen ist Excel, Excel hatten wir bisher nur einmal in der Schule kurz etwas angeschaut, aber darauf gearbeitet und es genutzt hatte ich noch nie. Es fiel mir schwer, die Berechnungen für die Arbeit in Excel umzusetzen. Beispielsweise wusste ich, dass man das Volumen der einzelnen Materialien ausrechnen muss, aber wie ich auf Excel am besten darstellt, wusste ich nicht. Ich hatte auch nur wenig Ahnung, was für Funktionen Excel hat, die mir nützlich sein könnten und mir die Arbeit erleichtern.

Ich hatte aber nicht nur zu Excel fast kein Vorwissen, sondern auch zu dem Thema meiner Maturaarbeit, also wie man einen ökologischen Vergleich macht.

Eine grundlegende Schwierigkeit war das ich zu wenig parametrisiert habe. Also, dass ich Werte immer einzeln eingetragen und nicht zuerst Tabelle mit allen Werten gemacht habe. So hätte ich nur einen Wert ändern können und es hätte sich dann überall geändert und hätte nicht alles einzeln eintragen müssen. Teilweise habe ich das zwar gemacht, aber ich hätte es noch mehr zu meinem Vorteil nutzen und so viel Zeit sparen können. Leider habe ich das erst viel zu spät realisiert, als ich das Programm *Excel* schon besser kannte.

Als ich dann den Energieaufwand berechnet habe, war es schwer die richtige Formel herauszufinden, bzw. die richtigen Einheiten bei den Werten zu nehmen und diese dann korrekt umzurechnen.

Eine andere Schwierigkeit war die Herangehensweise. Denn oftmals habe ich etwas so ausgerechnet, wie es mir am schlüssigsten erschien. Später habe ich dann gemerkt, dass es eine viel einfachere Art und Weise gibt, wie ich das berechnen kann oder dass ich etwas zu viel oder zu wenig berechnet habe. Dann konnte ich noch einmal von vorne beginnen. Das hat viel Zeit in Anspruch genommen. Weiter habe ich manchmal die

gleiche Aufgabestellung bei gleichen Problemen anders gelöst. Das musste ich anschliessend noch angleichen. Aus diesen Gründen habe ich auch oft unterschätzt, wie lange die gestellte Aufgabe geht. So hatte ich zum Beispiel eine Stunde dafür eingeplant habe und es hat dann drei Stunden gedauert. Das verursachte oft Stress.

Weil ich auch kein Vorwissen im Thema Architektur und im Lesen von Bauplänen hatte, fiel es mir auch schwer, Masse in den Bauplänen zu lesen. Ein gutes Beispiel sind die Fenster beim Einfamilienhaus, dort standen nämlich manchmal vier Zahlen. Deshalb wusste ich zuerst nicht welche Zahl ich nun für die Breite nehmen soll. Ausserdem habe ich erst, als ich die Höhe aller Fenster gemessen und umgerechnet habe, gemerkt, dass diese auch im Plan unterhalb der Breite steht (Abbildung 32).

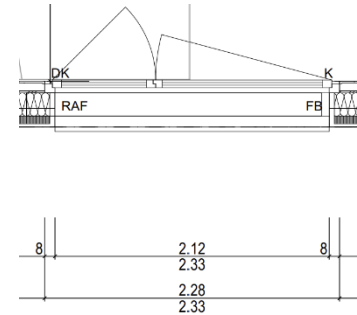


Abbildung 32: Ausschnitt Fenster Grundriss EFH

Zusätzlich hatte ich, da in dem Grundriss vom Obergeschoss nur das hohe Fenster eingezeichnet war, alle anderen zuerst vergessen, da ich meinte es sei das einzige Fenster.

Es war auch schwierig bei dem Einfamilienhaus ein Material für eine bestimmte Schicht, wie die Dämmung, festzulegen. Da ich keine Erfahrung habe welche Dämmung beispielsweise geeignet ist und welche nicht. Zudem stand auch nicht immer bei jeder Schicht wie dick diese sein sollte. Zum Beispiel bei den Ziegeln und Verputzen. Manchmal, wie beim Boden im Untergeschoss, wurde auch gar kein Aufbau beschrieben, sondern nur gezeichnet. Dort musste ich den ganzen Bodenaufbau festlegen. Teilweise hatte es auch Angaben von Schichten, für welche ich gar kein geeignetes Material gefunden haben. Bei diesen Schwierigkeiten hat mir meine Betreuung CS geholfen.

Bei dem Einfamilienhaus war auch nicht definiert, wie das Material installiert wird, also beispielsweise welche Abstand die Lattung zwischen der Dämmung hat oder welchen Anteil sie in dieser Schicht ausmacht. Und hätte meine Betreuung mich nicht darüber informiert, dass es diese Lattung braucht, hätte ich nicht gewusst, dass es diese gibt und deshalb nicht in meine Berechnungen eingebracht.

Auch Beim Tiny House hatte ich Schwierigkeiten mit den Massen. Dort stand nämlich oftmals im Grundriss eine gerundete Zahl, während in der Detail-Ansicht die Zahl ungerundet stand. Hier wusste ich dann nicht, welche der beiden Zahlen ich nehmen soll,

ob es einen grossen Unterschied macht und meine Messwerte verfälscht werde und damit zu Ungenauigkeiten führen.

Ausserdem, da das Tiny House aus einer Projektarbeit ist, sind verschiedene Versionen für den Aufbau mit verschiedenen Materialien angegeben worden, da der Autor ein wenig ausprobiert hat, welche Möglichkeiten es denn gäbe. Deshalb war es kompliziert, das richtige Material und die richtige Dicke zu wählen.

Schwierigkeiten Betrieb

Eine Schwierigkeit bei dem Betrieb war, dass bei den Fenstern je nach Rechner, unterschiedliche U-Werte herausgekommen sind.

Ausserdem hatte ich bei den Fenstern Mühe alle benötigten Werte herauszufinden. Manchmal war auch die Anleitung von SIA 380/1 unverständlich oder ungenau. Vor allem bei den Verschattungsfaktoren.

Bei dem Einfamilienhaus war die Schwierigkeit das keine genauen Angaben zu dem Betrieb standen. Hier musste ich selbst Annahmen machen. Zum Beispiel habe ich angenommen, dass der Keller geheizt wird und ihn deswegen in der Energiebetriebsfläche miteinberechnet.

Ergebnisse

Meine Ergebnisse beruhen fast nur auf theoretischen Annahmen. Jedoch beruhen viele Arbeiten wie meine nur auf Annahmen, da es sonst fast unmöglich wäre. Beispielsweise beruht auch die Datenbank von KBOB teilweise auf Annahmen und Modellen. Ausserdem habe ich den Energieaufwand, die U-Werte und anderes auf Programmen berechnet, welche die Genauigkeit der Berechnungen nicht gewähren.

Auswertung & Ergebnisse

Heizwärmebedarf Einfamilienhaus:

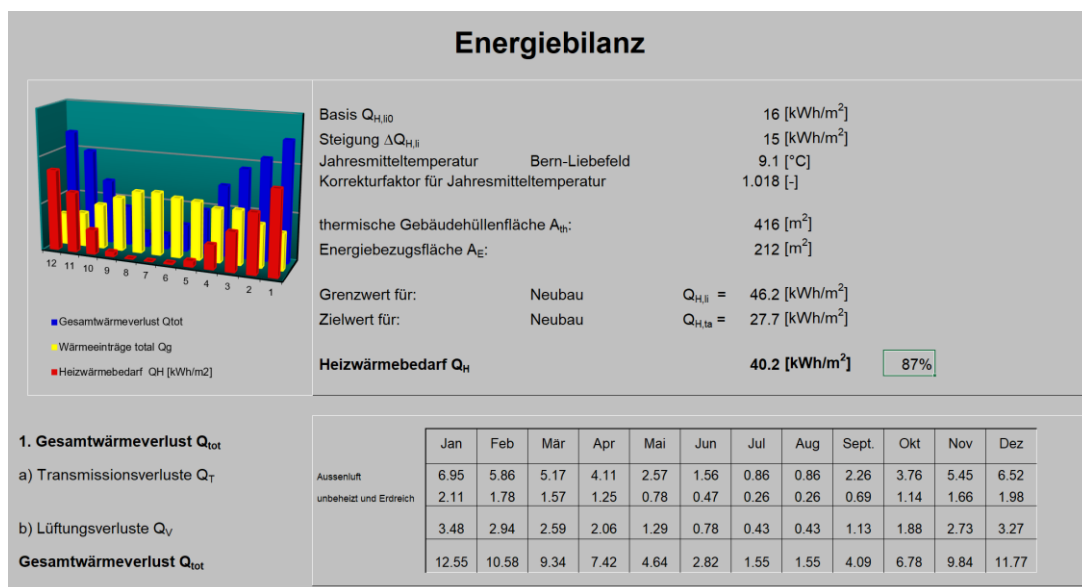


Abbildung 33: Heizwärmebedarf EFH

Heizwärmebedarf Tiny House:

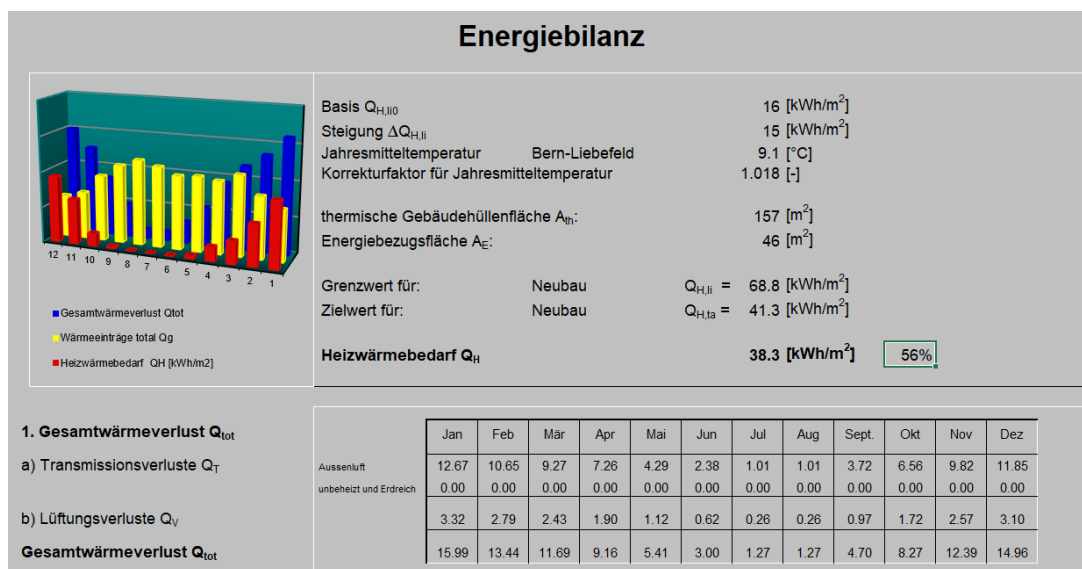


Abbildung 34: Heizwärmebedarf TH

Auswertung Transmissionswärmeverluste Heizwärmebedarf EFH:

Bauteile	Summe Bauteile	Summe Gebäude	
	Q_t	Q_t	Q_t
Gebäudehülle			
Aussenwände			
Wand UG Nord	0.51		
Wand UG Süd	1.66		
Wand UG Ost	1.7		
Wand UG West	1.7		
Wand EG/ OG Süd	1.96		
Wand EG/ OG Nord	2.65		
Wand EG/ OG West	1.88		
Wand EG/ OG Ost	2.43		
Summe Aussenwände		14.49	
Boden UG			
		8.24	
Dach			
Dach Nord	0.76		
Dach Süd	0.76		
Dach Ost	2.82		
Dach West	2.82		
Summe Innenwände		7.16	
Fenster + Türen			
Aussentür UG	0.84		
Garagentor UG	3.98		
Fenster UG Nord	1.29		
Fenster EG Süd	1.11		
Fenster EG Nord	1.12		
Fenster EG West	2.87		
Fenster EG Ost	2.02		
Fenster EG Terrasse Süd	2.02		
Fenster EG Terrasse Nord	1.85		
Fenster OG Süd	3.61		
Fenster OG Nord	1.7		
Fenster OG West	2.62		
Fenster OG Ost	2.15		
Summe Fenster + Türen		27.18	
Summe Gebäudehülle			
Transmissionswärmeverluste			57.07

Auswertung Transmissionswärmeverluste Heizwärmebedarf TH:

Bauteile	Summe Bauteile Qt	Summe Gebäude Qt	Qt
Gebäudehülle			
Aussenwände			
Wand Nord	6.14		
Wand Ost	3.27		
Wand Süd	9.98		
Wand West	4.00		
Summe Aussenwände	23.39		
Boden			
Boden	7.39		
Boden Bodenplatte	2.41		
Summe Boden		9.80	
Dach			
	14.25		
Fenster + Türen			
Schiebefenster Süd	14.07		
Eckfenster West	4.38		
Eckfenster Süd	3.81		
Fenster klein Süd	1.03		
Fenster lang Nord	3.04		
Aussentüre	2.88		
Summe Fenster + Türen	29.21		
Summe Gebäudehülle			
Transmissionswärmeverluste			66.85

Auswertung Energieaufwand Materialien EFH:

Bauteile	Summe Bauteile	Summe Gebäude
[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gebäudehülle		
Aussenwände		
Wände UG	16353.68907	
Wände EG	25636.12021	
Wände OG	26012.83334	
Summe Aussenwände	68003	
Boden UG	16319	
Dach	27828	
Fenster + Türen		
Fenster + Garagentor + Tür UG	9684.287784	
Fenster EG	17999.12467	
Fenster OG	16243.9629	
Summe Fenster + Türen	43927	
Summe Gebäudehülle		156077
Innenbauteile		
Innenwände		
Innenwände UG	4084.404513	
Innenwände EG	1095.160861	
Innenwände OG	5116.158732	
Summe Innenwände	10296	
Innentüren		
Innentüren UG	4334.688	
Innentüren EG	4334.688	
Innentüren OG	10836.72	
Summe Innentüren	19506	
Boden		
Boden EG	13884.77498	
Boden OG	31726.80049	
Summe Boden EG + OG	45612	
Treppe	1340	
Summe Innenbauteile		76753
Summe total		232830

Auswertung Energieaufwand Materialien TH:

Bauteile	Summe Bauteile	Summe Gebäude
[kWh]	[kWh]	[kWh]
Gebäudehülle		
Aussenwände		
Wand Nord	22002.78	
Wand Ost	7684.67	
Wand Süd	9607.82	
Wand West	3752.85	
Summe Aussenwände	43'048.13	
Boden		
	19'881.33	
Dach		
	20'189.52	
Fenster + Türen		
Fenster	11577.83	
Aussentüre	1146.60	
Summe Fenster + Türen	12'724.43	
Summe Gebäudehülle		95843
Innenbauteile		
Innentüren		
Innentüren	1311.48	
Summe Innentüren	1'311.48	
Summe Innenbauteile		1311
Summe total		97155

Vergleich Energieaufwand Materialien

Ganzes Haus

Zuerst kann man einen Vergleich der gesamten Summe des Energieaufwandes der Materialien machen:

Das Tiny House hat einen Energieaufwand von **97'264 kWh**. Das Einfamilienhaus hat fast 2.4mal so viel, nämlich **232'830 kWh**. Das ist 139.4% mehr Energieaufwand.

$$232'830 * 100\% / 97'264 = 239.4\% - 100\% = 139.4\%$$

Gebäudehülle

Bei der Gebäudehülle das Tiny House einen Energieaufwand von **95'952 kWh** und das Einfamilienhaus **156'077 kWh**. Hier ist der Energieaufwand bei dem Einfamilienhaus nur gut eineinhalbmal so gross. Das heisst es um **62.7%** grösser.

$$156'077 * 100\% / 95'952 = 162.7\% - 100\% = 62.7\%$$

Daraus kann man schliessen, dass das Einfamilienhaus prozentual mehr Innenbauteile hat.

Vergleich Energieaufwand Materialien pro Quadratmeter EBF

Ganzes Haus

Bisher habe ich herausgefunden, dass das Tiny House als Ganzes einen kleineren Energieaufwand bei den Baumaterialien hat als das Einfamilienhaus. Nun möchte ich herausfinden, ob das auch auf den Energieaufwand pro Quadratmeter zutrifft.

Formel: Energieaufwand kWh / EBF m² = Energieaufwand pro Quadratmeter kWh/m²

Einfamilienhaus: 232'830 kWh / 212 m² = 1098 kWh/m²

Tiny House: 97'264 kWh / 46 m² = 2114 kWh/m²

Wie man hier erkennt, ist der Energieaufwand pro Quadratmeter EBF des Tiny Houses fast doppelt so gross wie vom Einfamilienhaus. Er ist nämlich 92% grösser. Wenn man nur diesen Vergleich machen würde, wäre das Einfamilienhaus ökologischer.

$$2'114 / 1'098 * 100 = 192\% - 100\% = 92\%$$

Gebäudehülle

Ich habe nun noch den Energieaufwand der Gebäudehülle verglichen, da bei dem Heizwärmebedarf auch nur mit der Gebäudehülle gerechnet wird.

Formel: Energieaufwand kWh / EBF m² = Energieaufwand pro Quadratmeter kWh/m²

Einfamilienhaus: 156'077 kWh / 212 m² = 736.2 kWh/m²

Tiny House: 95'952 kWh / 46 m² = 2'085.9 kWh/m²

Der Energieaufwand pro Quadratmeter für die Gebäudehülle ist bei dem Tiny House fast dreimal so gross. Nämlich 183% grösser. Dies bedeutet das das Tiny House bei dem Materialaufwand nicht ökologischer ist. Aber um dies voll zu bestätigen, muss man auch noch den Energieaufwand pro Person berechnen.

$$2'085.9 / 736.2 * 100 = 283.2\% - 100\% = 183.2\%$$

Vergleich Energieaufwand Materialien pro Person

Ganzes Haus

Formel: Energieaufwand [kWh] / Anzahl Personen = Energieaufwand pro Person [kWh/Person]

Tiny House: 97'264 kWh / 2 = 48'932 kWh / Person

Einfamilienhaus: 232'830 kWh / 4 = 58'207.5 kWh / Person

Bei dem Energieaufwand pro Person schliesst das Einfamilienhaus schlechter ab. Dieses hat 19% mehr Materialaufwand pro Person als das Tiny House. Dies ist aber nur eine, im Vergleich zu dem Energieaufwand pro Quadratmeter, kleine Differenz.

$$58'207.5 / 48'932 * 100 = 119\% - 100\% = 19\%$$

Gebäudehülle

Formel: Energieaufwand [kWh] / Anzahl Personen = Energieaufwand pro Person [kWh/Person]

Tiny House: 95'952 kWh / 2 = 47'976 kWh / Person

Einfamilienhaus: 156'077 kWh / 4 = 39'019.25 kWh / Person

Hier hat das Tiny House den grösseren Energieaufwand. Es ist aber wieder eine eher kleinere Differenz. Der Energieaufwand pro Person des Tiny Houses ist nämlich 23 % grösser.

$$47'976 \text{ kWh} / 39'019.25 * 100 = 123\% - 100\% = 23\%$$

Vergleich Energieaufwand Materialien pro Quadratmeter EBF einzelner Bauteile

Einfamilienhaus

Bauteile	Energieaufwand Baumaterialien	Anteil
Aussenwände	68003	44%
Boden	16319	10%
Dach	27828	18%
Fenster + Türen	43927	28%

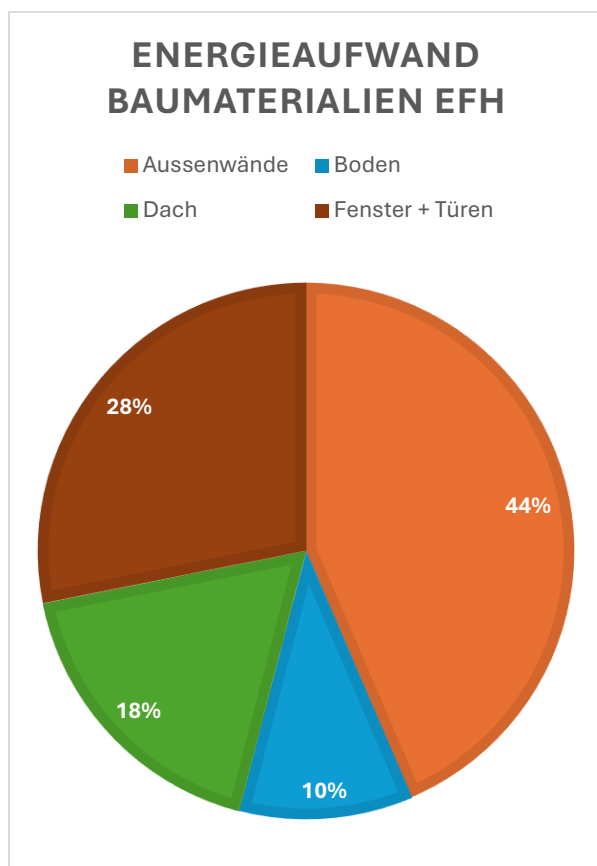


Abbildung 36: Energieaufwand Diagramm EFH

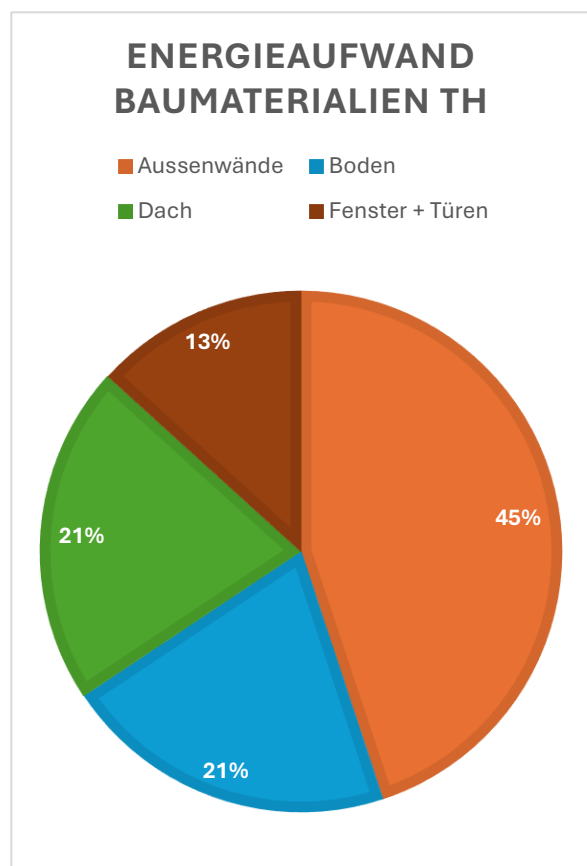


Abbildung 35: Energieaufwand Diagramm TH

Tiny House

Bauteile	Energieaufwand Baumaterialien	Anteil
Aussenwände	43048	45%
Boden	19990	21%
Dach	20190	21%
Fenster + Türen	12724	13%

Vergleich Heizwärmebedarf pro Quadratmeter EBF Q_H des ganzen Hauses

Heizwärmebedarf pro Quadratmeter EBF Q_H Einfamilienhaus: 40.2 kWh/m²

Heizwärmebedarf pro Quadratmeter EBF Q_H Tiny House: 38.3 kWh/m²

Der Heizwärmebedarf pro Quadratmeter ist bei beiden Häusern sehr ähnlich. Das liegt daran, dass auch die U-Werte der verschiedenen Bauteile bei beiden Häusern ähnlich sind. Zum Beispiel ist der U-Wert des Daches des Einfamilienhauses 0.17 und der des Tiny Houses 0.15 gross (siehe auch nachstehende Tabelle *Vergleich U-Werte einzelner Bauteile* unten).

Das heisst, bei dem spezifischen Heizwärmebedarf pro Fläche ist das Tiny House nicht viel ökologischer. Jedoch muss man diesen Wert noch auf den Bedarf pro Person herunterbrechen, um einen aussagekräftigen Vergleich zu erhalten.

Vergleich U-Werte einzelner Bauteile

Bauteil	Einfamilienhaus	Tiny House
Dach	0.17	0.15
Aussenwand Süd/West	0.15	0.28
Aussenwand Nord/Ost	0.15	0.15
Aussenwand Süd/Nord UG	0.19	-
Aussenwand Ost/West UG	0.18	-
Boden	0.4	0.12 – 0.13

Der grösste Unterschied bei den Bauteilen ist der Boden. Die Differenz der beiden U-Werte ist so hoch da der Boden des Einfamilienhauses im Erdreich ist und deswegen die Anforderungen nicht gleich hoch ist (Kommission SIA 380/1, 2016), Tabelle 2, SIA 380/1).

Vergleich Heizwärmebedarf des ganzen Hauses

Formel: Heizwärmebedarf pro Quadratmeter EBF [kWh/m²] * Energiebezugsfläche [m²] =
Heizwärmebedarf Gebäude [kWh]

Einfamilienhaus: 40.2 kWh/m² * 212 m² = 8522.4 kWh

Tiny House: 38.3 kWh/m² * 46 m² = 1761.8 kWh

Es braucht für das Einfamilienhaus viel mehr Energie, aber die Fläche ist auch 4.6-mal so gross wie die des Tiny Houses.

$$212 \text{ m}^2 / 46 \text{ m}^2 = 4.6$$

Und der Heizwärmebedarf des Einfamilienhauses ist sogar 4.8-mal so gross.

$$8522.4 \text{ kWh} / 1761.8 \text{ kWh} = 4.8$$

Vergleich Heizwärmebedarf pro Person

Formel: Q_H [kWh/m²] * EBF [m²] / Anzahl Personen = kWh/Person

Einfamilienhaus: 40.2 kWh/m² * 212 m² / 4 = 2'130.6 kWh/Person

Tiny House: 38.3 kWh/m² * 46 m² / 2 = 880.9 kWh/Person

Das Tiny House hat einen viel kleineren Energieaufwand pro Person als das Einfamilienhaus. Das Einfamilienhaus hat einen Energieaufwand welcher 141.9% grösser ist. Das ist was zweieinhalbmal so viel. Das wird einerseits durch den höheren spezifischen Heizwärmebedarf des Einfamilienhauses und andererseits der viel grösseren Fläche pro Person verursacht.

$$880.9 / 2130.6 * 100 = 241.9\% - 100\% = 141.9\%$$

Vergleich Transmissionswärmeverluste Q_t einzelner Bauteile

Mit diesem Vergleich könnte schnell erkannt werden, wo sich eventuelle Verbesserungen der Dämmfähigkeit eines Bauteils lohnen könnten.

Einfamilienhaus

Bauteil	Transmissionswärmeverluste	Anteil
Aussenwände	14.49	25%
Boden	8.24	14%
Dach	7.16	13%
Fenster + Türen	27.18	48%

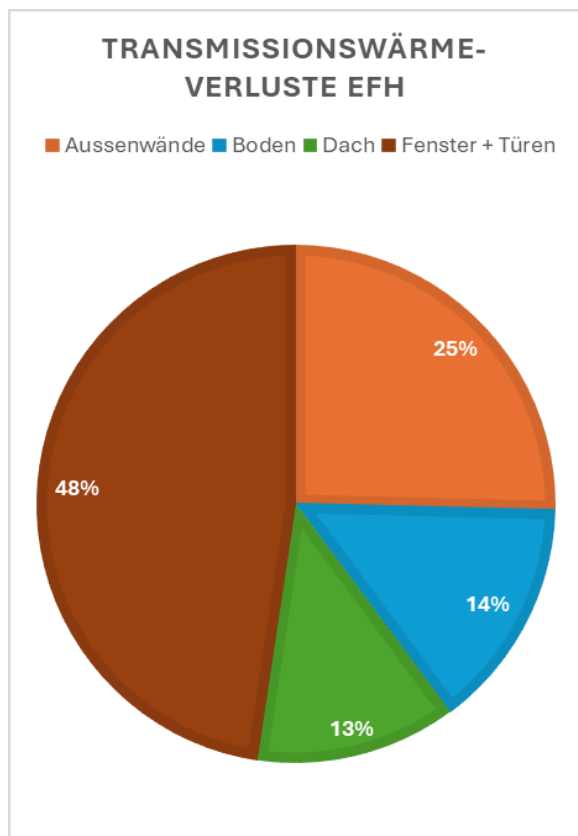


Abbildung 38: Transmissionswärmeverluste EFH

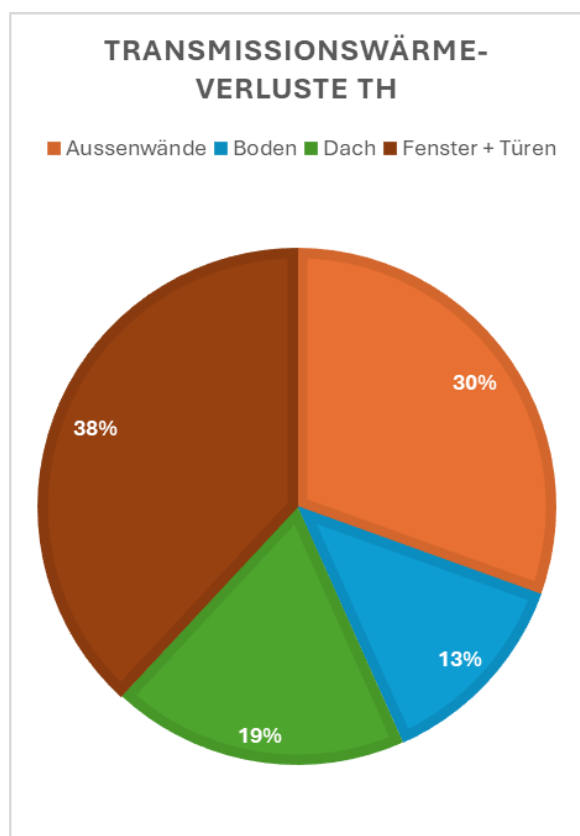


Abbildung 37: Transmissionswärmeverluste TH

Tiny House

Bauteil	Transmissionswärmeverluste	Anteil
Aussenwände	23.39	30%
Boden	9.8	13%
Dach	14.25	19%
Fenster + Türen	29.21	38%

Vergleich Tiny House und Einfamilienhaus

Nachfolgend sind alle Vergleichswerte angegeben, welche ich vorher ausgerechnet habe und mit denen man das Tiny House mit dem Einfamilienhaus vergleichen kann und so herausfinden kann welches dieser zwei Häuser ökologisch nachhaltiger ist.

Grün: ökologisch nachhaltiger

Materialaufwand pro Quadratmeter EBF ganzes Haus

Einfamilienhaus: 1'098.3 kWh/ m²

Tiny House: 2'115.4 kWh/m²

Materialaufwand pro Quadratmeter EBF Gebäudehülle

Einfamilienhaus: 736.2 kWh/ m²

Tiny House: 2'085.9 kWh/ m²

Heizwärmebedarf pro Quadratmeter EBF

Einfamilienhaus: 40.2 kWh/m²

Tiny House: 38.3 kWh/m²

Materialaufwand pro Person ganzes Haus

Einfamilienhaus: 58'207.5 kWh / Person

Tiny House: 48'932 kWh / Person

Materialaufwand pro Person Gebäudehülle

Einfamilienhaus: 39'019.25 kWh / Person

Tiny House: 47'976 kWh / Person

Heizwärmebedarf pro Person

Einfamilienhaus: 2'130.6 kWh/Person

Tiny House: 880.9 kWh/Person

Heizwärmebedarf über 50 Jahre

Formel: Heizwärmebedarf [kWh] * 50 [a] = Heizwärmebedarf in 50 Jahren

Einfamilienhaus: 8522.4 kWh * 50 = 426'120 kWh

Tiny House: 1761.8 kWh * 50 = 88'090 kWh

Haus	Energieaufwand Materialien	Heizwärmebedarf über 50 Jahre
Einfamilienhaus	232'830 kWh	426'120 kWh
Tiny House	97'264 kWh	88'090 kWh

Während das Einfamilienhaus in 50 Jahren fast zweimal so viel Energie für die Heizung verbraucht, wie es bei der Erstellung für das Material verbraucht, begnügt sich das Tiny House mit 90% des ursprünglichen Energieaufwandes.

Heizwärmebedarf gleich mit dem Energieaufwand

Hier habe ich berechnet, nach wie vielen Jahren der Heizwärmebedarf gleich gross ist wie der gesamte Energieaufwand für den Bau.

Formel: Energieaufwand Materialien [kWh] / Heizwärmebedarf [kWh/Jahr] = Anzahl Jahre

Einfamilienhaus: 232'830 kWh / 8522.4 kWh = 27.3 Jahre

Tiny House: 97'264 kWh / 1761.8 kWh = 55.2 Jahre

Die Anzahl Jahre zeigen, wie lange es dauert bis der Energieaufwand des Betriebs gleich gross ist, wie der Energieaufwand für den Bau.

Diskussion & Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden alle Schlussfolgerungen besprochen, auf die ich durch meine Ergebnisse gekommen bin.

Schlussfolgerungen

Wie man bei dem Kapitel *Vergleich Tiny House und Einfamilienhaus* sieht, kann man nicht klar bestimmen, welches der beiden Gebäude nun ökologisch nachhaltiger ist. Je nach Darstellung schliesst nämlich das Tiny House besser ab oder das Einfamilienhaus. Trotzdem konnte man einige Schlussfolgerungen zu den Ergebnissen meiner Berechnungen machen. Wichtig ist auch, nicht zu vergessen, dass das Ergebnis anders und vielleicht auch eindeutiger wäre, würde man ein anderes Tiny House oder ein anderes Einfamilienhaus wählen. Aber ich habe alle meine Berechnungen auf Grundlage dieser beiden Häuser gemacht.

Man könnte mit den erhobenen Daten und den eingesetzten Hilfsmitteln auch versuchen, das eine oder andere Gebäude ökologisch zu optimieren. So könnte man beispielsweise eine andere Dämmung verwenden, welche einen tieferen Primärenergieinhalt hat.

Schlussfolgerung 1

Je nachdem ob man nur die Gebäudehülle oder das ganze Haus berechnet, macht es grosse Unterschiede bei dem Einfamilienhaus. Zum Beispiel bei dem Kapitel *Vergleich Energieaufwand Materialien* kann sieht man das der Energieaufwand von dem Einfamilienhaus bei der Gebäudehülle nur noch 62% grösser ist und nicht so wie bei dem Energieaufwand des ganzen Hauses 139.4% grösser.

Daraus kann ich folgern, dass die Innenbauteile, wie Treppe und Innenwände und vor allem die Böden, sehr viel zum Energieaufwand des Einfamilienhauses beitragen. Wenn ich nun nur die Gebäudehülle beider Häuser berechnen würde, wäre das Ergebnis, welches der Häuser ökologisch nachhaltiger ist, viel klarer.

Schlussfolgerung 2

Die Bauweise ist ein wichtiger Einfluss in dem Unterschied der Resultate bzw. Grösse des Energieaufwands von Tiny House und Einfamilienhaus. Ein Tiny House und ein Einfamilienhaus unterscheiden sich nicht nur in der Grösse, sondern auch in der Bauweise. Während ein Tiny House meist nur eine Ebene hat, sind Einfamilienhäuser meist zweistöckig mit Keller und Garage. Durch meine Arbeit habe ich auch erfahren, was dies für einen Unterschied im Energieaufwand und Heizwärmebedarf macht. Mit der Bauweise lassen sich zum Beispiel die unterschiedlichen Werte für den Energieaufwand bei den Baumaterialien, wie in Schlussfolgerung 1 schon gesagt, erklären.

Schlussfolgerung 3

Interessant ist auch, wenn man mit oder ohne Innenbauteile rechnet, ist je nachdem der Energieaufwand pro Person bei dem Tiny House oder bei dem Einfamilienhaus grösser. Dies kann man bei dem Kapitel *Vergleich Energieaufwand Materialien pro Person* sehen. Es macht also auch hier einen Unterschied, ob man nur die Gebäudehülle rechnet oder das ganze Gebäude. Wenn man alles miteinrechnet, schneidet das Tiny House besser ab und wenn nur die Gebäudehülle verglichen wird, ist das Einfamilienhaus ökologischer.

Schlussfolgerung 4

Im Kapitel *Heizwärmebedarf pro Person* sieht man das der Heizwärmebedarf einer Person, welche im Einfamilienhaus lebt, grösser ist als der einer Person, welcher im Tiny House lebt. So habe ich die Schlussfolgerung gemacht das sich das Einfamilienhaus erst «lohn» würde, wenn 10 Personen statt 4 darin leben würden. So wäre der Energieaufwand pro Person kleiner als bei dem Tiny House und somit ökologisch nachhaltiger.

Energieaufwand pro Person im Einfamilienhaus, wenn 10 Personen darin leben würden:

$$40.2 \text{ kWh/m}^2 \cdot 212 \text{ m}^2 / 10 = 852.24 \text{ kWh/Person}$$

Dies zeigt, dass bei kleinerer Fläche pro Person einen kleineren Energieaufwand hat und somit nachhaltiger lebt.

Der Vergleich von dem Energieaufwand pro Person ist sehr wichtig, da dieser zeigt wie viel Energie eine Person, welche in einem Einfamilienhaus wohnt, verbraucht. Und damit kann man gut zeigen, wie hoch dieser Energieverbrauch eigentlich ist und es nicht gehen würde, wenn alle Personen in der Schweiz einen solch hohen Energieverbrauch haben.

Schlussfolgerung 5

Bei dem Einfamilienhaus würde es sich lohnen in besser gedämmte Fenster und Türen zu investieren und einen grösseren Materialaufwand in Kauf zu nehmen, da ihr Materialaufwand nur 25% des gesamten Energieaufwandes ausmacht, während der Transmissionswärmeverlust der 48% und somit fast die Hälfte des gesamten Transmissionswärmeverlust ausmacht.

Man könnte bei den Aussenwänden auch einen Aufbau entwickeln, welcher einen kleineren Energieaufwand hat, aber trotzdem gut dämmt, sodass der Transmissionswärmeverlust niedrig bleibt. Zum Beispiel durch die Wahl einer Dämmung mit tieferem Primärenergieaufwand.

Dies habe ich aus der Abbildung 36 mit der dazugehörigen Tabelle unter dem Kapitel *Vergleich Energieaufwand Materialien pro Quadratmeter EBF einzelner Bauteile* und mit der Abbildung 38 unter dem Kapitel *Vergleich Transmissionswärmeverluste Q_t einzelner Bauteile* herausgearbeitet.

Schlussfolgerung 6

Bei dem Tiny House würde es sich nicht lohnen die Gebäudehülle noch gross zu investieren und somit einen noch grösseren Materialaufwand zu generieren. Dieser Mehraufwand würde so, vielleicht nie bei dem Betrieb aufgeholt werden.

Denn das Tiny House müsste schon jetzt über 55 Jahre stehen, nur um den gleichen Heizwärmebedarf zu erhalten, geschweige denn einem grösseren Heizwärmebedarf.

Man sollte also eher herausfinden, wie man einen zum Beispiel einen Wandaufbau mit einem kleineren Energieaufwand, welcher aber trotzdem den Normen entspricht, aufbauen und welche Materialien man wählen sollte.

Das heisst, man sollte also versuchen die perfekte Balance herauszufinden. Also der kleinstmögliche Materialaufwand mit dem wenigsten Transmissionswärmeverlust. Oder die Wahl von Materialien mit kleinerem Primärenergieaufwand (wie bei Schlussfolgerung 5) festgestellt

Auf diese Annahmen bin ich mithilfe der Abbildung 35 mit der dazugehörigen Tabelle unter dem Kapitel *Vergleich Energieaufwand Materialien pro Quadratmeter EBF einzelner Bauteile* und mit der Abbildung 37 unter dem Kapitel *Vergleich Transmissionswärmeverluste Q_t einzelner Bauteile* gekommen.

Diskussion

Man könnte bei meiner Arbeit noch viele andere Aspekte ansprechen, denn meine Arbeit untersucht nur auf den Primärenergieaufwand der Materialien und den Heizwärmebedarf. Jedoch könnte man zum Beispiel noch die Umweltbelastungspunkte miteinbeziehen. Man könnte den Energieaufwand auch noch viel aufwändiger berechnen und mehr ins Detail gehen.

Weitere Denkansätze

Die Wärmedämmung bei dem Tiny House bei der Nord- und Ostwand ist dicker als die der Süd- und Westwand. Deswegen ist der Energieaufwand bei dem Material grösser. Dafür ist aber Transmissionswärmeverlust kleiner. Würde man die Dicke der Dämmung aber ändern, wäre es umgekehrt.

Nordwand	Dicke	U-Wert	Energie Material [kWh]	Q_t [kWh/m ²]	Energie HWB [kWh]	Energie Insgesamt
Wärmedämmung Weichfaserplatte dick	0.24	0.15	11989	6.14	120.65	12109.65
Wärmedämmung Weichfaserplatte dünn	0.1	0.28	9467	11.46	225.18	9692.18

In der ersten Zeile ist die dicke Wärmedämmung wie sie in dem Tiny House bei der Nord- und Ostwand installiert ist und in der unteren Zeile ist die Wärmedämmung so dick wie sie in der Süd- und Westwand installiert ist.

Nun könnte man versuchen herauszufinden welche Dicke der Wärmedämmung sich schlussendlich mehr lohnt.

Dies wäre dann ein mögliches Diagramm:

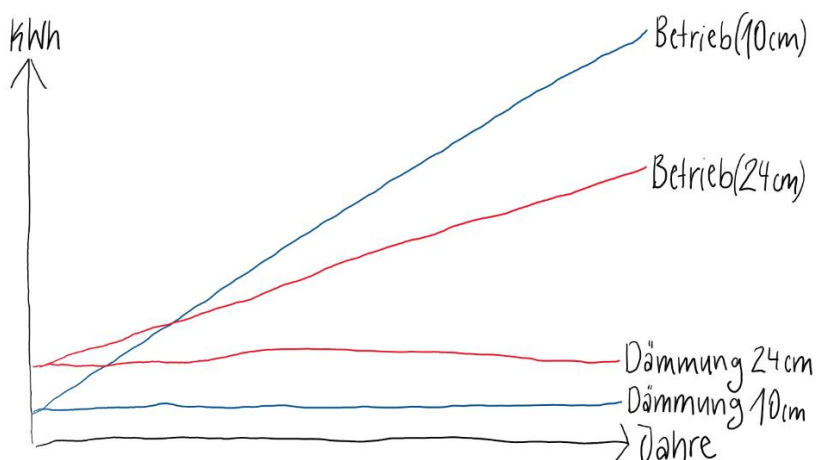


Abbildung 39: Dämmung Nordwand Denkansatz

Reflexion & Arbeitsprozess

Mir sind die einzelnen eigenständigen Recherchen zu den Begriffen und Materialien gelungen. Ich finde diese geben eine gute Grundlage für Personen, welche sich in diesem Bereich gar nicht auskennen. Ausserdem, da es alles Dinge sind, zu denen ich nicht wusste, was sie genau sind, zeigt dies gut den Wissenstand, den ich vor der Arbeit hatte, auf.

Was ich zusätzlich gut gemeistert habe, ist die Berechnung des Heizwärmebedarfs, den ich nur mithilfe der Anleitung berechnet habe.

Schwierigkeiten waren, dass ich oft Fehler in den Berechnungen erst viel zu spät gesehen habe und ich deswegen den ganzen Prozess noch einmal neu machen musste.

Grosse Schwierigkeiten haben mir auch den Einstieg ins Thema bereitet und die ersten Arbeitsschritte. Ich habe viel Zeit gebraucht, bis ich richtig in das Thema reingekommen bin, weil ich fast gar kein Vorwissen zu dem Vorgehen bei einer Analyse aufgrund von Berechnungen hatte und schon gar nicht zu dem Energieaufwand.

Für zukünftige grosse Projekte nehme ich mit, dass ich früh genug mit dem Schreiben starte. Denn dies habe ich völlig unterschätzt. Da ich das lange prokrastiniert habe, weil ich dachte, dafür brauche ich maximal 3 ganze Tage.

Was ich aus meiner Maturaarbeit mitnehme, sind die vielen neuen Sachen, die ich gelernt habe, da ich ein Thema genommen habe, zu dem ich ein normalbürgerliches Vorwissen hatte.

Quellen- und Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Tiny House L. Renggli Südwest-Ansicht.....	1
Abbildung 2: Tiny House L. Renggli Nordost-Ansicht	1
Abbildung 3: Tiny Houses (das-tiny-house.ch).....	2
Abbildung 4: Tiny Home LUNA (tinyhome.ch)	2
Abbildung 5: Singolo (minicasa.ch)	2
Abbildung 6: Grundriss des Tiny House	2
Abbildung 7: Einfamilienhaus Fassaden	3
Abbildung 8: Dachziegel Aufbau	7
Abbildung 9: Dachziegel	7
Abbildung 10: Traglattung Dach	8
Abbildung 11: Vertikalschnitt EFH.....	14
Abbildung 12: Installation WD	15
Abbildung 13: EFH Grundriss UG	16
Abbildung 14: EFH Grundriss EG.....	17
Abbildung 15: EFH Grundriss OG	18
Abbildung 16: Berechnung Fläche Dach.....	19
Abbildung 17: Skizze Treppe	20
Abbildung 18: Beispielrechnung Energieaufwand	21
Abbildung 19: Berechnung Fenster	22
Abbildung 20: Beispielrechnung Energieaufwand Fenster.....	23
Abbildung 21: Skizze Fensterrahmen	24
Abbildung 22: Aufbau Garagentor	24
Abbildung 23: TH L. Renggli	25
Abbildung 24: Grundriss TH.....	25
Abbildung 25: U-Werte TH	26
Abbildung 26: Ubakus Dach TH	27
Abbildung 27: Berechnung Überhang.....	31
Abbildung 28: Ubakus EFH Aussenwand EG&OG	32
Abbildung 29: U-Werte TH.....	33
Abbildung 30: Beispiel Schiebefenster Daten	33
Abbildung 31: Ubakus Boden TH.....	34
Abbildung 32: Ausschnitt Fenster Grundriss EFH	36
Abbildung 33: Heizwärmebedarf EFH.....	38
Abbildung 34: Heizwärmebedarf TH.....	38
Abbildung 36: Energieaufwand Diagramm EFH	45
Abbildung 35: Energieaufwand Diagramm TH	45
Abbildung 38: Transmissionswärmeverluste TH.....	48
Abbildung 37: Transmissionswärmeverluste EFH	48
Abbildung 39: Dämmung Nordwand Denkansatz	55

Literaturverzeichnis

- baukobox GmbH. (10. 10 2024). *baukobox.de*. Von <https://baukobox.de/wissen/945-innenputz> abgerufen
- baukobox GmbH. (10. 10 2024). *baukobox.de*. Von <https://baukobox.de/wissen/437-aussenputz-oberputz> abgerufen
- BauNetz Wissen. (13. 10 2024). *BauNetz Wissen*. Von <https://www.baunetzwissen.de/> abgerufen
- Bundesamt für Energie (BFE). (13. 10 2024). *energie-umwelt.ch*. Von <https://www.energie-umwelt.ch/definitionen/1128-u-wert> abgerufen
- Bundesamt für Statistik. (13. 10 2024). *Gebäude- und Wohnungsstatistik*. Von <https://viz.bfs.admin.ch/assets/09/ga-09.01/de/index.html> abgerufen
- BurdaVerlag Publishing GmbH. (04. 10 2024). *haus.de*. Von <https://www.haus.de/bauen/armierung-28504> abgerufen
- Crawford, R. H. (2020). Tiny house, tiny footprint? The potential for tiny houses to reduce residential greenhouse gas emissions. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science* · November 20 (S. 4). Melbourne: IOP.
- Das Tiny House GmbH. (05. 10 2024). *Das Tiny House*. Von <https://das-tiny-house.ch/tiny-houses/> abgerufen
- Doozer Real Estate Systems GmbH. (04. 10 2024). *planergy.de*. Von <https://www.myplanergy.de/ratgeber/wie-funktioniert-eine-waermedaemmung/#:~:text=W%C3%A4rmed%C3%A4mmung%20funktioniert%20wie%20eine%20Barriere,niedriger%20W%C3%A4rmeleitf%C3%A4higkeit%20sind%20gute%20W%C3%A4rmed%C3%A4mmer.> abgerufen
- Energiefachstellenkonferenz Zentralschweiz. (7. 10 2024). *energie-zentralschweiz.ch*. Von <https://www.energie-zentralschweiz.ch/vollzug/planungshilfen.html%207.Okt> abgerufen
- EnergieSchweiz Bundesamt für Energie (BFE). (07. 10 2024). *local-energy.swiss*. Von https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:0efe9b8c-1833-4863-b85c-80b2f9da52ac/Ermittlung_der_Energiebezugsflaeche_EBF.pdf abgerufen
- Fachverband der Stein- und keramischen Industrie. (04. 10 2024). *Ziegel-Technik*. Von [https://www.ziegel-technik.at/dachziegel/#:~:text=Typische%20Formen%20sind%20Taschenziegel%20\(Wiener,zwei%20Bohrungen%20f%C3%BCr%20die%20Befestigung.](https://www.ziegel-technik.at/dachziegel/#:~:text=Typische%20Formen%20sind%20Taschenziegel%20(Wiener,zwei%20Bohrungen%20f%C3%BCr%20die%20Befestigung.) abgerufen
- Glovital AG. (09. 10 2024). *glovital.ch*. Von <https://glovital.ch/wohnen/tiny-house-schweiz/> abgerufen

- Heinze GmbH . (09. 10 2024). *baunetzwissen.de*. Von <https://www.baunetzwissen.de/treppen/fachwissen/treppenformen/mehrlaeufige-treppen-167496> abgerufen
- Hörmann Schweiz AG. (08. 10 2024). *hoermann.ch*. Von <https://www.hoermann.ch/private-bauherren-und-modernisierer/garagentore/garagen-sektionaltore/> abgerufen
- KBOB. (14. 08 2024). *Ökobilanzdaten im Baubereich*. Von <https://www.kbob.admin.ch/de/oekobilanzdaten-im-baubereich> abgerufen
- Kesselheld. (04. 10 2024). *kesselheld.de*. Von <https://www.kesselheld.de/primaerenergie/> abgerufen
- Kommission SIA 380/1. (01. 12 2016). SIA 380/:2016 Heizwärmebedarf. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- Matthias Gengenbach & Joachim Schork GbR. (05. 10 2024). *heizgeiz.de*. Von <https://heizgeiz.de/fussbodenheizung-im-beton> abgerufen
- Mertl-Bedachungen GmbH. (04. 10 2024). *mertl-bedachungen.de*. Von <https://www.mertl-bedachungen.de/was-ist-eine-konterlatte-und-wieso-ist-diese-fuer-das-dach-wichtig/> abgerufen
- MINICASA GmbH. (5. 10 2024). *MINICASA*. Von <https://minicasa.ch/> abgerufen
- Renggli, L. (2019). *Minihaus LignAlea*. Biel: Höhere Fachschule Holz.
- RM Rudolf Müller Medien GmbH & Co. KG. (13. 10 2024). *baustoffwissen.de*. Von <https://www.baustoffwissen.de/was-ist-eine-perimeterdaemmung-31102023> abgerufen
- Spa at Home GmbH. (5. 10 2024). *Tiny Home Luna*. Von <https://www.tinyhome.ch/haeuser/tiny-home-luna.html> abgerufen
- swb.de*. (5. 10 2024). Von <https://www.swb.de/ueber-swb/swb-magazin/wohnen/was-ist-ein-tiny-house#:~:text=In%20den%20USA%20ist%20der,als%20Kleinhaus%20oder%20Singlehaus%20bezeichnet.> abgerufen
- Trimble International. (13. 10 2024). *mep.trimble.com*. Von <https://mep.trimble.com/de/resources/mep-blogs/transmissionsw%C3%A4rmeverlust-berechnen-mit-pr%C3%A4ziser-berechnung-zu-mehr-energieeffizienz> abgerufen
- Vattenfall Europe Sales GmbH. (04. 10 2024). *vattenfall.de*. Von <https://www.kesselheld.de/primaerenergie/> abgerufen
- Verein ecobau. (30. 09 2024). *ecobau.ch*. Von <https://www.ecobau.ch/de/themen/graue-energie> abgerufen

Westdeutscher Rundfunk Köln. (30. 09 2024). *planet-wissen.de*. Von <https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/wirtschaft/minimalismus/index.html> abgerufen

Wienerberger Österreich GmbH. (04. 10 2024). *wienerberger.at*. Von https://www.wienerberger.at/content/dam/wienerberger/austria/marketing/documents-magazines/technical/AT_MKT_TON_DOC_TEC_Anwendungsdetails_Biber_Tasche_Doppeldeckung_Kronendeckung.pdf abgerufen

Redlichkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Maturaarbeit eigenständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe erstellt habe und dass alle Quellen und Hilfsmittel wahrheitsgetreu verwendet wurden und belegt sind.

Magglingen, 14. Oktober 2024, Alea Stalder

Anhang

Unter dem nachstehenden Link sind die Dokumente des Anhangs abgelegt.

[Anhang MA Alea](#)