

Kleinwohnformen

**Wohn- und Lebensraum mit Potenzial?
Ökologische Nachhaltigkeit –
eine Fallstudie**

Felix Bucher, Fabienne Keller,
Dr. Sc. Yannick Hollenweger



Auftraggeber:in

Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung
ITC «Raum & Gesellschaft» (HSLU)

Zitiervorschlag

Bucher, F., Keller, F., Hollenweger, Y. (2025). Kleinwohnformen:
Wohn- und Lebensraum mit Potenzial? Ökologische
Nachhaltigkeit – eine Fallstudie. Hochschule Luzern.

Projektteam

Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Selina Lutz, Julian Franke, Leonie Frommenwiler
Felix Bucher, Fabienne Keller, Dr. Sc. Yannick Hollenweger

Hochschule Luzern – Soziale Arbeit
Dr. Stephanie Weiss, Dr. Kathrin Leitner

Hochschule Luzern – Wirtschaft
Prof. Dr. Yvonne Seiler Zimmermann, Ersilia Adele Perpignano

Kontakt für Rückfragen**Hochschule Luzern****Technik & Architektur****Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur**

Selina Lutz
Technikumstrasse 21
6048 Horw

+41 41 349 37 72
selina.lutz@hslu.ch
hslu.ch/cctp

Impressum**Abbildung Titelseite**

GettyImages

DOI

10.5281/zenodo.13734673

Dieses Werk ist lizenziert mit einer CC BY NC ND 4.0 Lizenz

**Weitere Informationen**

hslu.ch
© 04.2025, Hochschule Luzern

Inhaltsverzeichnis

Management Summary

1	Ausgangslage und Zielsetzung	1
2	Methodisches Vorgehen	3
2.1	Definition Kleinwohnformen	3
2.2	Lebenszyklusanalyse	3
2.2.1	Systemgrenzen	3
2.2.2	Funktionelle Einheit	4
2.2.3	Software und Datenbank	5
2.2.4	Impact Assessment Methoden und Wirkungskategorien	5
2.3	Fallstudie	5
2.3.1	Parzellen Bauland in Buttisholz LU	5
2.3.2	Untersuchte Typologien	5
2.3.3	Repräsentation der Typologien	6
2.3.4	Datenerhebung	6
3	Beispielrealisierungen	10
3.1	Apartment nach Kalkbreite	10
3.2	Festes Haus nach Tiny Homes Zollikerberg	14
3.3	Vorgefertigtes Modul nach FOGO	16
3.4	Anhänger nach Tiny House Immergrün	19
3.5	Referenz Einfamilienhaus	22
4	Ergebnisse	25
4.1	Treibhauspotenziale	25
4.2	Primärenergiebedarf	26
4.3	Umweltbelastungspunkte	27

5	Diskussion	29
5.1	Kernaussagen	29
5.2	Limitationen	31
5.2.1	Materialien	31
5.2.2	Wiederverwendung	31
5.2.3	Lebensdauer	31
5.2.4	Heizwärmebedarf	32
5.2.5	Grundrisse und Belegung	32
5.2.6	Referenztypologie	32
5.2.7	Übertragbarkeit auf urbanen Raum	32
5.2.8	Bodenverbrauch	33
6	Schlussfolgerungen	34

Literaturverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Autor:innen

Danksagung

Management Summary

Die Popularität von Kleinwohnformen (KWF) – insbesondere Tiny Houses – hat in den letzten Jahren auch in der Schweiz stark zugenommen. In einem übergeordneten Forschungsprojekt untersucht die Hochschule Luzern gemeinsam mit diversen Praxispartner:innen das Potenzial solcher KWF in der Schweiz. Ein Aspekt dabei ist die Untersuchung des ökologischen Nachhaltigkeitspotenzials, das in dieser Fallstudie näher betrachtet wird.

Für vier Parzellen Bauland in Buttisholz LU werden verschiedene Typologien von KWF bezüglich ihrer Ökobilanz untersucht und untereinander sowie mit einer Referenztypologie verglichen. Die untersuchten KWF-Typologien wurden anhand von Ergebnissen einer schweizweiten Befragung abgeleitet. Dies sind die Typologien «Anhänger», «Festes Haus», «Apartment» und «Vorgefertigtes Modul». Die vier Typologien unterscheiden sich hinsichtlich diverser Kriterien, z. B. Mobilität, Gebäudestruktur, Grundriss, Materialisierung. Als Referenztypologie wurde das klassische «Einfamilienhaus» (EFH) gewählt. Dies auf Basis des lokalen Bauzonenreglements, einer Quartieranalyse sowie einer Besichtigung der Nachbarschaftsgebäude.

Für alle KWF-Typologien wird eine Repräsentantin aus einem Katalog verschiedener KWF-Projekte ausgewählt, der im Rahmen des Forschungsprojekts erstellt wurde. Die Auswahl findet anhand von Regionalität, Datenverfügbarkeit und weiteren Kriterien statt. Für das Einfamilienhaus nutzen wir ein typisches, am Markt erhältliches Angebot. Für alle fünf Typologien wird für das untersuchte Gebiet je eine Beispielrealisierung durchgeführt. Auf Basis der resultierenden Grundrisspläne und Daten der Originalprojekte wird anschliessend eine Sachbilanz über alle verbauten Materialien aufgestellt. Die Anzahl Bewohner:innen je Wohneinheit der unterschiedlichen Typologien bestimmen wir anhand unserer Definition einer Kleinwohnform und auf Basis der Ergebnisse unserer Befragung.

Mit diesen Sachbilanzen und Annahmen zum jährlichen Energieverbrauch werden für jede Typologie das Treibhauspotenzial, der Primärenergiebedarf und die Umweltbelastungspunkte berechnet.

Aus den Ergebnissen unserer vergleichenden Ökobilanzierung geht hervor, dass die Typologie «Festes Haus» für den untersuchten Fall im ruralen Raum und verglichen mit dem Einfamilienhaus die ökologisch nachhaltigste Alternative darstellt, gemeinsam mit dem «Apartment». Im Gegensatz dazu ist das «Einfamilienhaus» die Typologie mit den grössten Umwelteinwirkungen. «Anhänger» und «Vorgefertigtes Modul» können als nachhaltiger als das «Einfamilienhaus» eingestuft werden, aber als weniger nachhaltig als die Typologien «Apartment» und «Festes Haus».

Unsicherheiten aufgrund von Defiziten in der Datenbasis geben jedoch Anlass für weitere Forschungstätigkeiten in diesem Bereich. Auch sollten in weiterer Forschung die Erkenntnisse auf den urbanen Raum ausgeweitet werden. Zudem stellte sich im Verlauf des Projektes heraus, dass ein Vergleich mit einem klassischen Mehrfamilienhaus auch für den ländlichen Raum zunehmend relevanter wird. Vor diesem Hintergrund sind die Erkenntnisse dieser Fallstudie mit Vorsicht zu geniessen. Sie lassen keine allgemeingültigen Schlüsse für Kleinwohnformen in anderen Siedlungskontexten oder als Vergleich mit anderen Wohnformen zu.

Management Summary (EN)

In recent years, the popularity of small-scale housing (SSH) – in particular tiny houses – has also increased significantly in Switzerland. In an overarching research project, the Lucerne University of Applied Sciences and Arts, together with various partners, examines the potential of such SSH in Switzerland. One aspect is the analysis of the ecological sustainability potential, which is considered in more detail in this case study.

For four parcels suitable for residential buildings in Buttisholz (LU), various typologies of SSH are examined with regard to their ecological impact and compared with one another and with a reference typology. The investigated SSH typologies were derived from the results of a Swiss-wide survey. These are the typologies "trailer", "fixed house", "apartment" and "prefabricated module". The four typologies differ with regard to various criteria, e.g. mobility, building structure, floor plans, materialization. The classical single-family home (SFH) was chosen as a reference typology. This choice is based on the local construction zone regulations, a quarter analysis and an inspection of neighboring buildings.

For all SSH typologies, a representative is selected from a catalogue of different SSH projects, which was created as part of the research project. The selection is based on regionality, data availability and other criteria. For the SFH we use a typical offer available on the market. For all five typologies, a sample realization is carried out for the area under investigation. Based on the resulting layout plans and data of the original projects, a life cycle inventory analysis is then drawn up on all the materials used. We determine the number of inhabitants in each housing unit of the different typologies based on our definition of an SSH and based on the results of our survey.

This life cycle inventory analysis and assumptions on annual energy consumption are used to calculate the global warming potential, primary energy consumption and the environmental impact according to the method of ecological scarcity for each typology.

The results of our comparative life cycle assessment show that the typology "fixed house" represents the most ecologically sustainable alternative for the examined case in a rural area and compared with the SFH, together with the apartment. In contrast, the SFH is the typology with the greatest environmental impacts. The typologies "trailer" and "prefabricated module" can be classified as more sustainable than the SFH, but less sustainable than "apartment" and "fixed house".

However, uncertainties due to deficits in the database give rise to further research activities in this area. Further research should also be extended to urban areas. In addition, the project revealed that a comparison with a classic multi-family house is becoming increasingly relevant for rural areas. Against this background, the findings of this case study should be treated with caution. They do not allow general conclusions for small-scale living forms in other settlement contexts or as a comparison with other forms of housing.

1 Ausgangslage und Zielsetzung

In der Schweiz gewinnen Kleinwohnformen, wie Tiny Houses, Cluster-Wohnungen, Mikro-Apartments und andere Typologien, zunehmend an Popularität. Ein Grund dafür sind die vermeintlich geringeren Umweltbelastungen im Vergleich zu konventionellen Wohnformen. Trotz des zunehmenden Interesses an solchen Wohnformen mit stark reduzierter Wohnfläche sind die Umwelteinwirkungen von Kleinwohnformen bisher jedoch noch nicht umfassend untersucht worden und diese generelle Annahme, dass Kleinwohnformen ressourcenschonend seien, bleibt umstritten. Es fehlt insbesondere an empirischen Studien, die einen Vergleich der ökologischen Nachhaltigkeit zwischen Kleinwohnformen und konventionellen Wohnformen ermöglichen. Denn je nach Kontext (Stadt, Land, Agglomeration, Grösse Bauparzelle usw.) und Typologie kann dieser Vergleich unterschiedlich ausfallen.

Bisher gibt es nur wenige Untersuchungen zur ökologischen Nachhaltigkeit von Kleinwohnformen, die sich hauptsächlich auf Tiny Houses konzentrieren. In ihrer Dissertation verwendete Saxton (2019) einen Mixed-Methods-Ansatz, um die Veränderung des ökologischen Fussabdrucks von Personen, die in den USA in ein Tiny House umgezogen sind, zu quantifizieren. Ihre Analyse berücksichtigt neben den gebäudebezogenen Unterschieden auch die Veränderung des Lebensstils. Dabei kam sie zum Ergebnis, dass sich der ökologische Fussabdruck von durchschnittlich 7,01 gha (globale Hektar) vor dem Umzug auf 3,87 gha nach dem Umzug in ein Tiny House verringerte. Hooper et al. (2019) führten eine Ökobilanzstudie durch, um (i) ein Tiny House (ca. 36 m²) mit einem bauordnungskonformen Design (einschliesslich Teilen aus Stahlbeton), (ii) ein alternativ konzipiertes Tiny House (gleicher Grundriss), das aus wiederverwerteten und/oder natürlichen Materialien (z. B. Holz, Stroh) gebaut wurde und (iii) ein freistehendes Standard-Einfamilienhaus (ca. 149 m²) miteinander zu vergleichen. Sie verglichen die Auswirkungen dieser Gebäude auf Treibhauspotenzial, Versauerungspotenzial, Eutrophierungspotenzial, Smogbildungspotenzial und den Verbrauch nicht erneuerbarer Energie. In Bezug auf alle vorgenannten Wirkungskategorien führten das normgerechte Tiny House und das alternativ konzipierte Tiny House zu einer Reduzierung von ca. 60% bzw. 75 bis 85% im Vergleich zum Einfamilienhaus. Diese bisherigen Untersuchungen deuten darauf hin, dass Tiny Houses sowie andere Wohnformen mit stark reduzierter Wohnfläche das Potenzial haben, den ökologischen Fussabdruck gegenüber konventionellen Wohnformen signifikant zu reduzieren. Bisher fehlt es allerdings an vergleichenden Untersuchungen, die auch andere Kleinwohnform-Typologien einbeziehen.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist es, einen Beitrag zur Schliessung dieser Lücke zu leisten. Anhand einer Fallstudie in Buttisholz, Kanton Luzern, vergleichen wir im Folgenden die Umwelteinwirkungen von vier Kleinwohnform-Typologien, die für die Schweiz besonders relevant sind, und stellen diese den Umweltbelastungen einer konventionellen Wohnform, die für diesen Standort repräsentativ ist, gegenüber. Unseres Wissens gibt es bisher keine empirische Studie, die einen solchen Vergleich zwischen verschiedenen Typologien von Kleinwohnformen und mit einem «Standard»-Gebäude durchgeführt hat.

Im Vorfeld zur nachfolgenden Analyse wurde im Rahmen des übergeordneten Forschungsprojektes der Hochschule Luzern eine repräsentative Bedürfnisbefragung (N = 1254) durchgeführt, die darauf abzielte, Präferenzen potenzieller und bisheriger Bewohner:innen von Kleinwohnformen in der Schweiz zu erfassen (Seiler Zimmermann et al., 2023). Diese Bedürfnisbefragung haben wir zusätzlich in einem tendenziell interessierten Netzwerk (N = 2013) durchgeführt, um die Stichprobengrösse von Interessierten¹ und Expert:innen² zu erhöhen. Abgesehen von Unterschieden in der Stichprobenziehung waren die

¹ «Interessierte» könnten sich vorstellen, in einer KWF zu leben oder planen dies aktiv.

² «Expert:innen» leben aktuell oder haben zu einem früheren Zeitpunkt in einer KWF gelebt.

Befragungen methodisch identisch. Aus diesem Grund wurden die Daten zusammengeführt und gemeinsam dargestellt. Knapp die Hälfte der befragten Expert:innen und Interessierten gab an, dass sie erwartet, nach dem Umzug in eine Kleinwohnform ökologisch nachhaltiger zu leben (siehe Abbildung 1).

Mit der nachfolgenden Untersuchung wollen wir diese Erwartung einem Realitätscheck unterziehen.

Total:

Anzahl Beobachtungen: 1'260

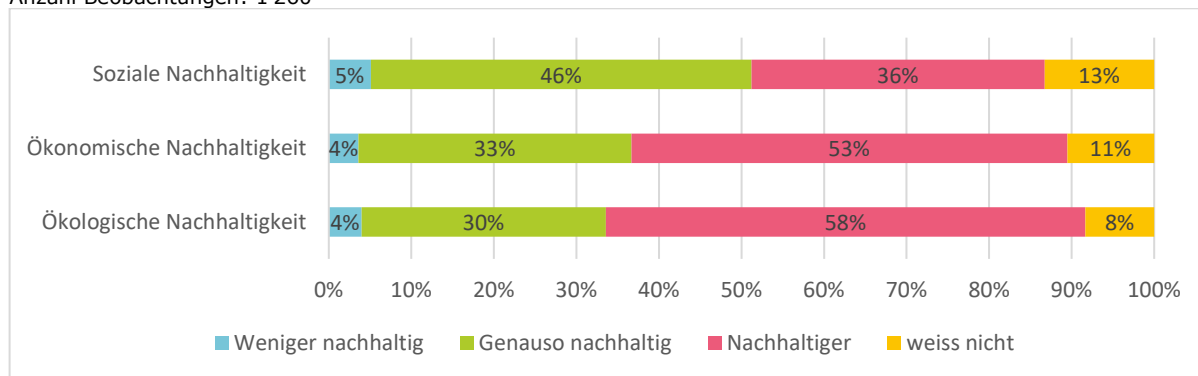


Abbildung 1: Welche Aussage trifft am ehesten auf Sie zu? Nach dem Umzug in eine Kleinwohnform lebe bzw. lebte ich ... als zuvor.

Basierend auf den Umfrageergebnissen möchten wir im Folgenden, unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten am Studienort, die vier relevantesten Kleinwohnform-Typologien bestimmen. In einem nächsten Schritt soll für jede der vier Typologien ein reales oder geplantes Beispiel aus unserer Sammlung von Kleinwohnformen in der Schweiz und in Europa ausgewählt werden. Dabei werden unter anderem Kriterien wie Standort, Verfügbarkeit von Daten und Vielfalt von Bauweisen und Bewohnenden berücksichtigt, um einen möglichst breiten Überblick zu erhalten.

Um einen sinnvollen Vergleich mit konventionellen Wohnformen zu ermöglichen, muss zudem ein Referenzgebäude bestimmt werden. Zu diesem Zweck werden die Bauvorschriften für die Parzellen in Buttisholz und die Umgebung des Grundstücks analysiert, um die Typologie des Gebäudes zu ermitteln, das in dieser Gegend als «Standard»-Wohnform betrachtet wird. Mit Hilfe eines vereinfachten Bauplanungsverfahrens werden anschliessend exemplarische Realisierungen für alle vier Kleinwohnform-Typologien sowie für das Referenzgebäude für die Parzellen in Buttisholz erstellt, auf dessen Grundlage anschliessend die vergleichende Ökobilanzierung durchgeführt werden kann.

Die Gegenüberstellung der Umwelteinwirkungen verschiedener Kleinwohnformen und einer konventionellen Wohnform zielt darauf ab, Daten für einen spezifischen Standort in der Zentralschweiz zu liefern. Dies soll nicht nur praktische Empfehlungen für die Eigentümerschaft der Parzellen in Buttisholz ermöglichen, sondern auch Erkenntnisse für Entscheidungsträger:innen der öffentlichen Hand sowie Grundstückseigentümer:innen in vergleichbaren Regionen liefern, die ökologisch nachhaltige Wohnformen auf ihrem Bauland realisieren möchten.

Ziel ist es nicht, eine abschliessende, allgemeingültige Aussage über die Umwelteinwirkungen der betrachteten Wohnformen zu treffen. Vielmehr möchten wir die Diskussion um die ökologische Nachhaltigkeit von Kleinwohnformen um wesentliche Daten ergänzen und eine Grundlage für weiterführende Forschungsarbeiten in diesem Bereich schaffen.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Definition Kleinwohnformen

Angelehnt an Seiler Zimmermann et al. (2023) definieren wir Kleinwohnformen in dieser Studie wie folgt:

Eine Wohneinheit gilt für unsere Zwecke als Kleinwohnform, wenn die private Wohnfläche für

- eine Person bis zu ca. 30 m²,
- zwei Personen bis zu ca. 45 m²,
- drei Personen bis zu ca. 60 m²,
- vier Personen bis zu ca. 75 m²,
- fünf Personen bis zu ca. 90 m²

usw. beträgt.

Des Weiteren nutzen wir auch hier die in Seiler Zimmermann et al. (2023) beschriebenen Typologien:

- «Apartment» (Mikro-Apartment, Cluster-Wohnung, kleinteiliges Hallen-Wohnen, Klein-WG)
- «Festes Haus» (Kleinsthaus, Minihaus, Erdhaus, Baumhaus)
- «Vorgefertigtes Modul» (Wohncontainer, Modulhaus)
- «Fahrzeug» (Wohnmobil, Van, Hausboot)
- «Anhängen» (Wohnanhänger, Zirkuswagen, Bauwagen, Wechselbrücke)
- «Leichtbau/Textil» (Jurte, Tipi, Zelt)

Entscheidend ist darüber hinaus, dass die untersuchten Wohneinheiten über hygienische Einrichtungen verfügen und als Hauptwohnsitz genutzt werden. Dabei ist es zweitrangig, wie die Kleinwohnformen mit dem Boden verbunden sind (flächiges Fundament, Punktfundamente usw.).

2.2 Lebenszyklusanalyse

Die Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Analysis, LCA) ist ein wertvolles Werkzeug zur Bestimmung der Schadstoffausscheidungen und Umweltbelastungen aufgrund der Aktivität von Firmen, menschlichen Tuns oder der Herstellung von Produkten und Gebäuden. Sie beinhaltet üblicherweise mehrere Schritte, sogenannte Lebensphasen, die das Produkt – oder in unserem Fall das Gebäude – durchläuft. Unterteilt wird das Produktleben im Allgemeinen in die Herstellungsphase, die Nutzungsphase (inkl. Instandhaltung und -setzung) sowie das Ende des Produktlebens.

2.2.1 Systemgrenzen

2.2.1.1 Lebensphasen

In unserer Untersuchung beschränken wir uns auf die Herstellungs- und die Nutzungsphase. Das Lebenszyklusende klammern wir aus, da aus unserer Sicht die Unsicherheit über die Umwelteinwirkungen eines Rückbaus, Abrisses oder einer Weiternutzung sehr hoch ist. Diese Ausklammerung führt dazu, dass die Umwelteinwirkungen insgesamt unterschätzt werden. Bei Gebäuden kann üblicherweise eine Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren angenommen werden.

Im Bausektor beobachtet man aktuell Initiativen im Bereich des zirkulären Bauens. Es werden neue Verfahren und Prozesse entwickelt für die Wiederverwendung und das Recycling von Materialien. Auch im Energiesektor werden bedeutende Anstrengungen unternommen, um den Anteil an erneuerbaren Energien zu erhöhen, was einen Einfluss auf die Umweltwirkungen in der Nutzungsphase haben wird. Eine langfristige Prognose über die zukünftigen Möglichkeiten wäre spekulativ und würde zu ungenauen oder irreführenden Ergebnissen führen. Deshalb wird für die vorliegende Fallstudie auf die üblichen linearen Prozesse und den gegenwärtigen Energiemix zurückgegriffen.

2.2.1.2 Materialisierung

In der Herstellungsphase nehmen wir die Nutzung neuer Materialien an und verzichten darauf, eine eventuelle Wiederverwendung von Bauteilen oder Baustoffen zu berücksichtigen. Zum einen ist der Anteil von wiederverwendeten Bauteilen noch sehr gering und die Verwendung von recycelten Materialien, wie z. B. Recyclingbeton, ist nicht weit verbreitet. Zum anderen ist unser Ziel der Vergleich von Wohnformen und nicht der Vergleich von Bauweisen. Somit schätzen wir den Einfluss der Materialwahl als gering ein.

2.2.1.3 Transport

Betrachtet werden nur die Transporte, die bei der Herstellung der verwendeten Baustoffe anfallen, sowie der Abtransport des Aushubs. Transporte der Baustoffe auf die Baustelle wurden ausgeklammert.

2.2.2 Funktionelle Einheit

Die Auswahl einer passenden funktionellen Einheit (Referenzgrösse, auf die die Umwelteinwirkungen bezogen werden) ist essenziell für die Aussagekraft der Ergebnisse. Im Baubereich werden Ökobilanzen häufig auf einen Quadratmeter des untersuchten Bauteils bezogen; die funktionelle Einheit ist dann z. B. ein Quadratmeter Aussenwand. So lassen sich mehrere Bauweisen von Aussenwänden (z. B. aus Beton, Mauerwerk oder Holz) miteinander vergleichen.

Ebenfalls üblich ist der Bezug auf einen Quadratmeter Energiebezugsfläche (EBF). Damit lassen sich ganze Gebäude, bestehend aus Aussen- und Innenwänden, Fundament, Geschossdecken und Dach, aussagekräftig vergleichen. Auch hier können Bauweisen miteinander verglichen werden, wobei Grundfläche und Grundrisse in der Regel identisch sind.

In unserem Fall wollen wir jedoch nicht unterschiedliche Bauweisen vergleichen, sondern unterschiedliche Wohnformen. Und diese unterscheiden sich massgeblich in der Grundrissgestaltung und möglicherweise in der Materialisierung. So lässt sich zum Beispiel eine WG nicht ohne Weiteres mit den Grundrissen eines Standard-EFH realisieren. Oder ein Tiny House bedingt die Wahl besonders leichter Materialien gegenüber günstigeren Standardmaterialien, die in einem «Vorgefertigten Modul» zum Einsatz kommen.

Nicht zuletzt ist ein entscheidender Unterschied zwischen den diversen untersuchten Wohnformen die mögliche Anzahl an Bewohner:innen, die darin Wohnraum finden können. Wenn bei gleicher EBF je nach Typologie unterschiedlich viele Menschen Platz finden, ist der Bezug der Umwelteinwirkungen auf die EBF nicht die aussagekräftigste Wahl.

Die funktionelle Einheit für unsere Untersuchung definieren wir daher wie folgt: Bereitstellung von Wohnraum für eine Person und ein Jahr

Der Wohnraum umfasst dabei die privat nutzbare Wohnfläche sowie auch anteilig allfällig nutzbare Gemeinschaftsflächen. Der Bezug auf eine Person berücksichtigt die erwartbaren Unterschiede in der Belegung der Wohngebäude. Mit dem Bezug auf ein Jahr berücksichtigen wir wiederum Unterschiede in der erwarteten Lebensdauer der untersuchten Typologien. Durch

die Wahl dieser funktionellen Einheit können alle Wohnformen auf derselben Basis miteinander verglichen werden.

2.2.3 Software und Datenbank

Zur Berechnung der LCA nutzen wir die Software OpenLCA in der Version 2.0.3 in Kombination mit der Datenbank Ecoinvent 3.9.1.

2.2.4 Impact Assessment Methoden und Wirkungskategorien

Bei der Wirkungsabschätzung orientieren wir uns an den Verfahren, die auch für die Erstellung der Ökobilanzdaten im Baubereich (KBOB-Ökobilanzdaten) herangezogen werden. Namentlich sind das die Methode der ökologischen Knappheit (Ecological Scarcity Method 2023; Kennzahl: Umweltbelastungspunkte, UBP), der kumulierte Energieaufwand (Cumulative Energy Demand; Kennzahl: Energieaufwand, kWh), sowie das Treibhauspotenzial (IPCC 2021 LT; Kennzahl: CO₂ Äquivalente, kg CO₂-eq).

2.3 Fallstudie

Bei unserer Untersuchung der Nachhaltigkeit von Kleinwohnformen handelt es sich nach unserem Wissen um die erste ihrer Art. Da wir dadurch nicht auf eine breite Datenbasis zurückgreifen können, ist es nicht unser Ziel, eine allgemeingültige, umfassende Aussage zu treffen. Vielmehr wollen wir anhand einer Fallstudie einen ersten Beitrag zur Diskussion um die Nachhaltigkeit von Kleinwohnformen leisten.

2.3.1 Parzellen Bauland in Buttisholz LU

Untersuchungsgegenstand sind für unsere Studie vier Parzellen in der Wohnzone C (W-C), ES II in Buttisholz im Kanton Luzern. Diese Parzellen befinden sich am Rand eines Einfamilienhausquartiers und grenzen an eine Landwirtschaftszone. Untersucht werden die Parzellen 1453 (533 m²), 1455 (557 m²) und die zusammenhängenden Parzellen 1463 und 1464 (zusammen 1437 m²). Gewählt wurden diese Parzellen, da die Eigentümerschaft Teil des Projektkonsortiums ist.

2.3.2 Untersuchte Typologien

In unserer Untersuchung beschränken wir uns auf Fallbeispiele der vier relevantesten KWF-Typologien. Die Relevanz haben wir aus dem Interesse, das in unserer repräsentativen Umfrage genannt wurde, abgeleitet (vgl. Seiler Zimmermann et al., 2023). Dabei haben wir die Typologie «Fahrzeug» vernachlässigt und stattdessen die Typologie «Anhänger» in unsere Untersuchung aufgenommen, da (1) Fahrzeuge äusserst selten als Hauptwohnsitz angemeldet werden (können) und (2) das Tiny House als Repräsentantin der Typologie «Anhänger» derzeit immer noch auf sehr hohes Interesse in der Bevölkerung stösst.

Unsere untersuchten Typologien sind daher «Apartment», «Festes Haus», «Vorgefertigtes Modul» und «Anhänger».

Die Typologie des Referenzgebäudes haben wir aus dem örtlichen Bau- und Zonenreglement (Gemeinde Buttisholz, 2021), der Quartieranalyse (Imhof Odinga AG, 2018) und eigenen Beobachtungen der Nachbarschaft abgeleitet (siehe Abbildung 2). Die Referenztypologie ist das klassische «Einfamilienhaus».



Abbildung 2: Umgebung der untersuchten Parzellen in Buttisholz LU, Quelle: Felix Bucher

2.3.3 Repräsentation der Typologien

Wie in Abschnitt 2.1 dargestellt, umfassen unsere Typologien von Kleinwohnformen diverse Arten von Gebäuden und Wohnformen. So enthält die Typologie «Apartment» z. B. Cluster-Wohnungen, WGs, kleinteiliges Hallen-Wohnen und mehr und die Typologie «Festes Haus» beinhaltet u. a. Kleinsthäuser, Erdhäuser und Baumhäuser. Um dem Projektrahmen gerecht zu werden, wurde zu jeder untersuchten Typologie eine Repräsentantin beispielhaft ausgewählt. Diese Repräsentantin wurde anhand der Datenverfügbarkeit und des Interesses innerhalb des Projektkonsortiums ausgewählt. Darauf aufbauend wurde für jede Typologie eine Beispielrealisierung auf dem Bauland in Buttisholz entwickelt, die als Grundlage für die Ökobilanzierung dient. Die gewählten Repräsentantinnen sind Kalkbreite («Apartment»), Tiny Homes Zollikerberg («Festes Haus»), FOGO-Areal («Vorgefertigtes Modul») sowie Tiny House Immergrün («Anhänger»). Sie werden in Kapitel 3 detailliert beschrieben.

2.3.4 Datenerhebung

Folgende Daten sind für unsere Untersuchung relevant:

- Flächenverbrauch,
- Menge und Art des Baumaterials,
- Wohnfläche pro Person und
- Energieverbrauch pro Person.

Um diese Daten zu erhalten, sind wir auf folgende weitere Daten angewiesen:

- Grundrisspläne,
- Materialisierung der einzelnen Bauteile (Aussenwände, Innenwände, Dach, Geschossdecken usw.),
- Anzahl installierte Photovoltaik-Module,
- Art der Wärmeerzeugung,
- Lebensdauer von Bauteilen und Geräten,
- Anzahl Bewohner:innen,
- Anzahl Elektrogeräte und
- Heizwärmebedarf sowie Stromverbrauch.

Die nachstehenden Ausführungen zeigen auf, wie wir bei der Erhebung dieser Daten vorgegangen sind.

2.3.4.1 Grundrisspläne

Für jede Beispielrealisierung hat unsere Projektpartnerin, die Acht Grad Ost AG, Grundrisspläne für das Bauland in Buttisholz LU entwickelt. Um eine bestmögliche Vergleichbarkeit der Wohnformen zu gewährleisten, wären repräsentative Daten zu Grundrissen jeder Typologie nötig. Da diese aber (noch) nicht existieren, wurden Originalgrundrisse der als Beispiel ausgewählten Gebäude herangezogen. Diese waren entweder frei im Internet verfügbar oder wurden uns von den entsprechenden Verantwortlichen zur Verfügung gestellt. Dabei wurden die Originalgrundrisse, wenn möglich, direkt übernommen, wobei die Realisierungen der Gebäude die lokalen Bedingungen erfüllen mussten (z. B. Grenzabstände, Ausnützungsziffer).

2.3.4.2 Materialisierung

Auch bei der Materialisierung der Gebäude wurden die Daten öffentlich zugänglichen Quellen oder den Originalbauplänen entnommen. Sofern ergänzende Daten nötig waren, wurden diese bei den Verantwortlichen direkt angefragt. In letzter Instanz wurden Annahmen auf Basis von Erfahrungswerten getroffen. Lediglich für die Materialisierung des Einfamilienhauses haben wir auf wissenschaftliche Literatur zurückgegriffen.

Fenster wurden bei allen Gebäuden als dreifach verglast mit Argonfüllung angenommen und mit dem entsprechenden Prozess in der Ecoinvent-Datenbank modelliert. Der Rahmenanteil betrug stets 20%, das Rahmenmaterial unterscheidet sich abhängig von der Beispielrealisierung.

Für die Abmessungen der Türen richten wir uns nach der DIN 18101 (DIN, 2014) und nehmen eine einheitliche Höhe von 2,11 m sowie eine Breite von 0,985 m für Aussentüren und 0,860 m für Innentüren an. Aussentüren werden stets als Holz-Glas-Türen modelliert, Innentüren als Holztüren. Einzig für die Beispielrealisierung der Typologie «Anhänger» verwenden wir Originalmasse.

2.3.4.3 Photovoltaik

Da für Neubauten eine Pflicht zur lokalen Erzeugung erneuerbarer Energien besteht, nehmen wir für alle Gebäude an, dass PV-Module installiert werden. Dabei gehen wir davon aus, dass maximal 75% der Dachfläche mit PV-Modulen eingedeckt werden kann. Des Weiteren nehmen wir an, dass aus wirtschaftlichen Gründen die installierte Leistung so gewählt wird, dass der erwartbare Ertrag maximal 65% des Eigenbedarfs deckt. Ausserdem nehmen wir an, dass je kW_p installierter PV-Leistung ein Ertrag von 1100 kWh/a erreicht wird und dieser Ertrag vollständig für den Eigenverbrauch genutzt wird.

2.3.4.4 Heizung

Für alle Typologien – mit Ausnahme des «Anhängers» – nehmen wir eine Wärmeerzeugung mit Erdsonden-Wärmepumpe an. Sofern möglich, nehmen wir zudem an, dass alle vier Parzellen gemeinsam entwickelt werden und sich somit ein Nahwärmenetz anbietet. Die Jahresarbeitszahl der eingesetzten Wärmepumpen schätzen wir mit drei als eher konservativ ein.

Die Typologie «Anhänger» zeichnet sich unter anderem durch ihre Mobilität aus. Dies widerspricht der ortsgebundenen Erdsonde. Daher übernehmen wir für die Typologie «Anhänger» die Wärmeerzeugung der gewählten Repräsentantin (Gas).

2.3.4.5 Lebensdauer

Für Gebäude wird normalerweise eine Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren angenommen. In Gebäude-Ökobilanzierungen wird typischerweise mit einer Lebenserwartung von 50 Jahren gerechnet. Für die immobilen Typologien «Apartment», «Festes Haus» und «Einfamilienhaus» (EFH) nehmen wir daher eine Lebensdauer von 50 Jahren an. Für mobile Typologien liegen noch keine verlässlichen Daten über die zu erwartende Lebensdauer vor. Da sowohl das «Vorgefertigte Modul» als auch der «Anhänger» aufgrund ihrer Mobilität voraussichtlich höheren Belastungen ausgesetzt sind als immobile Kleinwohnformen, schätzen wir die Lebensdauer der beiden mobilen Typologien auf 25 Jahre. Für einzelne Elemente nehmen wir teilweise abweichende Lebensdauern ab, z. B. 25 Jahre für PV-Module und Verputz sowie 35 Jahre für Fenster.

2.3.4.6 Anzahl Bewohner:innen

Zur Ermittlung der Anzahl Bewohner:innen je Wohneinheit konnten wir für das EFH auf die Gebäude- und Wohnungsstatistik des Bundesamtes für Statistik (Bundesamt für Statistik, 2023) zurückgreifen. Alle anderen Typologien werden in dieser Statistik nicht erfasst, weshalb wir für diese Annahmen zu ihrer Belegung treffen mussten.

Zum einen haben wir uns dabei auf unsere Definition von Kleinwohnformen berufen. Daraus folgt, dass für eine Wohneinheit mit privater Wohnfläche von bis zu 30 m² eine Belegung mit einer Person, zwischen 30 m² und 45 m² eine Belegung mit zwei Personen, bis 60 m² mit drei Personen usw. angenommen wurde.

Zum anderen geht aus unserer Umfrage (Seiler Zimmermann et al., 2023) hervor, dass Interessierte und Expert:innen ihre Kleinwohnform annähernd gleich häufig alleine oder zusammen mit dem/der Partner:in bewohnen (wollen), unabhängig von der Typologie. Daraus ergibt sich im Durchschnitt eine Belegung mit 1,5 Personen pro Wohneinheit. Aufgrund ihrer Mobilitätsanforderungen sind Wohneinheiten der Typologien «Vorgefertigtes Modul» und «Anhänger» typischerweise nicht grösser als 30m². Der Bezug auf die maximale Wohnfläche gemäss unserer Definition würde daher für diese beiden Typologien nicht die Realität widerspiegeln. Aus diesem Grund nehmen für die Typologien «Vorgefertigtes Modul» und «Anhänger» eine Belegung mit 1,5 Personen an.

2.3.4.7 Anzahl Elektrogeräte

Die untersuchten Wohnformen unterscheiden sich teils erheblich in ihrer Ausstattung mit Elektrogeräten. So zeichnen sich z. B. Cluster-Wohnungen dadurch aus, dass im Gegensatz zu einer WG jeder private Wohnbereich über eine Küche verfügt und zusätzlich eine gemeinsam nutzbare Küche vorhanden ist. Andere Gebäudetypen (z. B. das Tiny House) werden aufgrund ihres geringen Platzangebots äusserst selten mit einer Spülmaschine ausgestattet.

In unserer Untersuchung unterscheiden wir daher zwischen voll- und teilausgestatteten Küchen. Eine teilausgestattete Küche beinhaltet einen Kühlschrank, einen Herd und eine Waschmaschine. Zu einer vollausgestatteten Küche gehören zusätzlich ein Backofen und eine Geschirrspülmaschine.

Alle zusätzlichen Elektrogeräte (z. B. Wasserkocher, TV, Computer) berücksichtigen wir in unserer Untersuchung nicht, da sie nicht unmittelbar an die Wohnform gebunden sind. Den Einfluss, den massiv reduzierter Wohnraum (z. B. im Tiny House) auf die Anzahl der im Haushalt genutzten Elektrogeräte hat, klammern wir in unserer Untersuchung aufgrund mangelnder Datenlage aus.

2.3.4.8 Heizwärmebedarf

Die genaue Vorhersage des Heizwärmebedarfs bedingt die Berücksichtigung diverser Faktoren. Neben den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) der verschiedenen Bauteile haben etwa auch die Anzahl Bewohner:innen und die Häufigkeit ihrer Anwesenheit sowie die ortsspezifischen solaren Gewinne einen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Für unsere Fallstudie greifen wir auf vorgegebene Grenzwerte zurück.

Für alle immobilien (also über ein Fundament dauerhaft mit dem Boden verbundenen) Gebäude basieren unsere Annahmen auf dem Minergie-Standard (Minergie Schweiz, 2017) bzw. auf den hierfür zugrundeliegenden Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE 2014) (Konferenz Kantonalen Energiedirektoren, 2015). Für den Heizwärmebedarf der Gebäudekategorien *Wohnen MFH* und *Wohnen EFH* wird hier ein **Grenzwert von 16 kWh/m²a** vorgegeben. Diesen Wert nehmen wir als tatsächlichen Heizwärmebedarf in unseren Berechnungen an.

Für (teil-)mobile Gebäude nehmen wir den **doppelten Heizwärmebedarf an, also 32 kWh/m²a**. Diese Gebäudetypen sind auch für den Transport auf der Strasse ausgelegt, z. B. auf einem Anhänger für Personenwagen oder auf einem Tieflader. Daraus ergeben sich Beschränkungen bei den Abmessungen (z. B. Maximalbreite von 2,55 m bzw. 3 m) und zum Teil auch beim Gewicht (z. B. 3,5 t Gesamtgewicht bei Transport auf einem Personenwagen-Anhänger). Belastbare Daten über den daraus resultierenden Heizwärmebedarf liegen nicht vor. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient bei solchen Gebäuden im Vergleich zu den immobilien Gebäuden höher ist, woraus die Annahme des höheren Heizwärmebedarfs resultiert.

2.3.4.9 Stromverbrauch

Zur Ermittlung des Stromverbrauchs stützen wir uns auf die Daten des entsprechenden Faktenblatts von EnergieSchweiz (2021). Dieses basiert auf einem Rechenmodell zur Ermittlung des Stromverbrauchs eines typischen (nicht eines durchschnittlichen) Haushaltes aus dem Jahre 2013 (Nipkow, 2013), das für das Jahr 2019 aktualisiert wurde. Für Wohnungen in Ein- und Mehrfamilienhäusern ergeben sich daraus folgende jährlichen Stromverbräuche³:

	1 Person	2 Personen	3 Personen	4 Personen	5 Personen	6 Personen
EFH	2'268 kWh	2'861 kWh	3'455 kWh	4'048 kWh	4'591 kWh	5'135 kWh
MFH	1'732 kWh	2'190 kWh	2'648 kWh	3'107 kWh	3'515 kWh	3'924 kWh

Tabelle 1: Stromverbrauch typischer Haushalte. Eigene Darstellung nach EnergieSchweiz (2021)

Hierbei handelt es sich um den Strom, der für Haustechnik, Haushaltsgeräte und sonstigen Verbrauch benötigt wird. Hinzu kommt der Strom, der zur Deckung des Heizwärmebedarfs (vgl. Abschnitt 2.3.4.8) mittels Wärmepumpe (vgl. 2.3.4.4) anfällt. Daraus ergibt sich für jede Beispielrealisierung ein Gesamtstrombedarf. Wie in Abschnitt 2.3.4.3 beschrieben, wird dieser Strombedarf je nach installierbarer PV-Leistung bis zu 65% mit selbsterzeugtem Solarstrom gedeckt. Wir nehmen an, dass der übrige Bedarf durch den durchschnittlichen Schweizer Strommix (CH-Mix) entsprechend Ecoinvent-Datenbank gedeckt wird.

³ Da die Daten in der Quelle nur als Diagramm vorliegen, nicht als Datentabelle, und auch die Quelle dieser Daten (eine empirische Studie) nicht angegeben ist, mussten die Stromverbräuche grafisch ermittelt werden. Daraus können sich Ungenauigkeiten ergeben.

3 Beispielrealisierungen

Als die vier relevantesten Typologien haben wir (1) das «Apartment», (2) das «Feste Haus», (3) das «Vorgefertigte Modul» und (4) den «Anhängen» ermittelt. Die jeweiligen Repräsentantinnen dieser Typologien sind (1) Kalkbreite, (2) Tiny Homes Zollikerberg, (3) FOGO-Areal, sowie (4) Tiny House Immergrün. Das «Einfamilienhaus» (EFH) wird durch die Stadtvilla Nurda repräsentiert, die nach Aussage der Acht Grad Ost AG eine typische EFH-Realisierung darstellt.

In den folgenden Abschnitten werden die exemplarischen Realisierungen dieser Repräsentantinnen auf dem untersuchten Bauland in Buttisholz LU detailliert beschrieben.

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Beispielrealisierungen.

Typologie	Repräsentantin	EBF	Bauweise	Anzahl Bewohner:innen	EBF/P.
Apartment	<u>Kalkbreite</u>	1600 m ²	Holz-Hybrid	38	42,11 m ²
Festes Haus	<u>Tiny Homes Zollikerberg</u>	1843 m ²	Beton	64	28,80 m ²
Vorgefertigtes Modul	<u>FOGO</u>	1360 m ²	Holzständer	57	23,86 m ²
Anhängen	<u>Tiny House Immergrün</u>	249 m ²	Holzständer	23	10,83 m ²
Einfamilienhaus	<u>Stadtvilla Nurda</u>	957 m ²	Mauerwerk	12	79,75 m ²

Tabelle 2: Daten Beispielrealisierungen

3.1 Apartment nach Kalkbreite

Die Typologie «Apartment» wird in unserer Untersuchung durch die Kalkbreite in Zürich repräsentiert. In der Kalkbreite sind verschiedene Wohnformen, die der Typologie «Apartment» zugeordnet sind, vertreten. In unserer Beispielrealisierung berücksichtigen wir auf den Parzellen 1453 und 1455 die Wohngemeinschaft und auf der Doppelparzelle 1463/1464 die Cluster, siehe Abbildung 3. Die WG-Gebäude sind dabei zweigeschossig, das Cluster-Gebäude weist ein zusätzliches Attika-Geschoss auf. Die Flachdächer sind nicht begehbar gestaltet, bis auf den Teil des Daches auf der Doppelparzelle, der im zweiten Obergeschoss nicht durch das Attika-Geschoss belegt ist. Daraus ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Daten.

Die Grundrisse entstammen der Projektdokumentation Kalkbreite (Genossenschaft Kalkbreite, 2014) und wurden an die gegebenen Voraussetzungen in Buttisholz LU angepasst. Die Materialisierung der Gebäude haben wir Lamster & Dürler (2015) entnommen. Darin wurden graue Energie und Treibhausgasemissionen des gesamten Wohn- und Gewerbebaus Kalkbreite bereits ermittelt. Die daraus abgeleiteten Materialisierungen sind in Abbildung 4 bis Abbildung 9 dargestellt. Hinzu kommen tragende Innenwände aus 15 cm Sichtbeton.



Abbildung 3: Beispielrealisierung «Apartment» nach Kalkbreite, Quelle: Acht Grad Ost AG

Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Aussenwände	1070 m ²	Fenster	238 m ²
Innenwände Beton	778 m ²	Aussentüren	12 m ²
Innenwände Leichtbau	190 m ²	Innentüren	114 m ²
Fundament	650 m ²	Aushub	650 m ³
Geschossdecken	951 m ²	Energiebezugsfläche	1601 m ²
Dach, begehbar	78 m ²		
Dach, nicht begehbar	572 m ²		
Bewohner:innen	38	Küche, teilausgestattet	14
Küche, vollausgestattet	7		
Heizwärmebedarf	25'609 kWh/a	Strombedarf, allg.	24'440 kWh/a
Strombedarf WP	8536 kWh/a	Strombedarf, ges.	32'996 kWh/a
PV-Leistung installiert	19 kW _p	Eigenverbrauch	21'448 kWh/a
		Strombedarf CH-Mix	11'549 kWh/a

Tabelle 3: Daten Beispielrealisierung «Apartment»

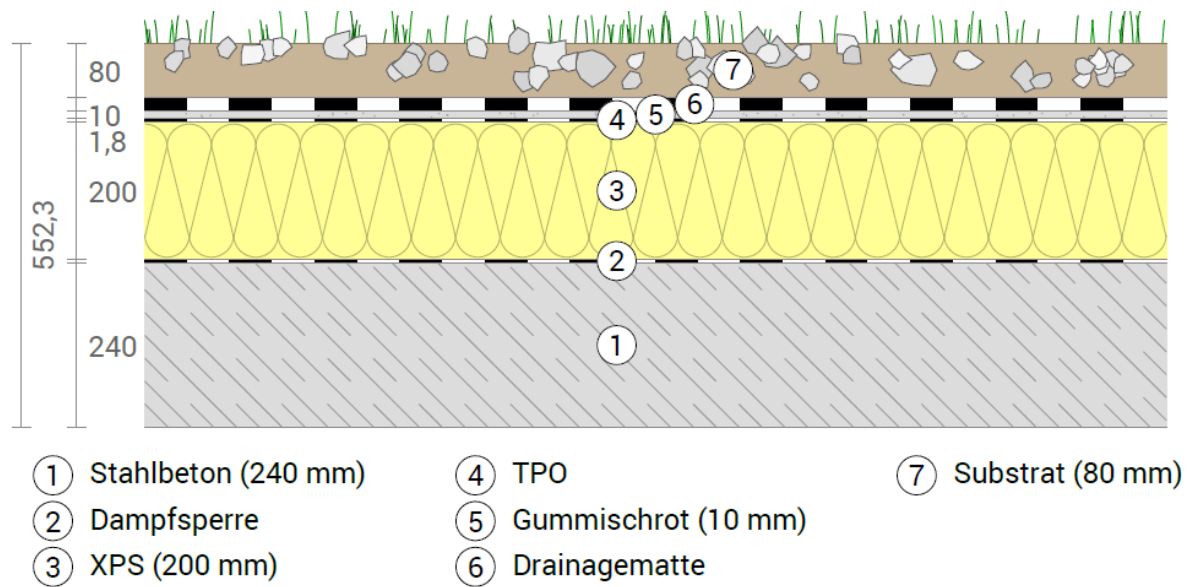


Abbildung 4: Materialisierung Dach, nicht begehbar, «Apartment» nach Kalkbreite, eigene Darstellung

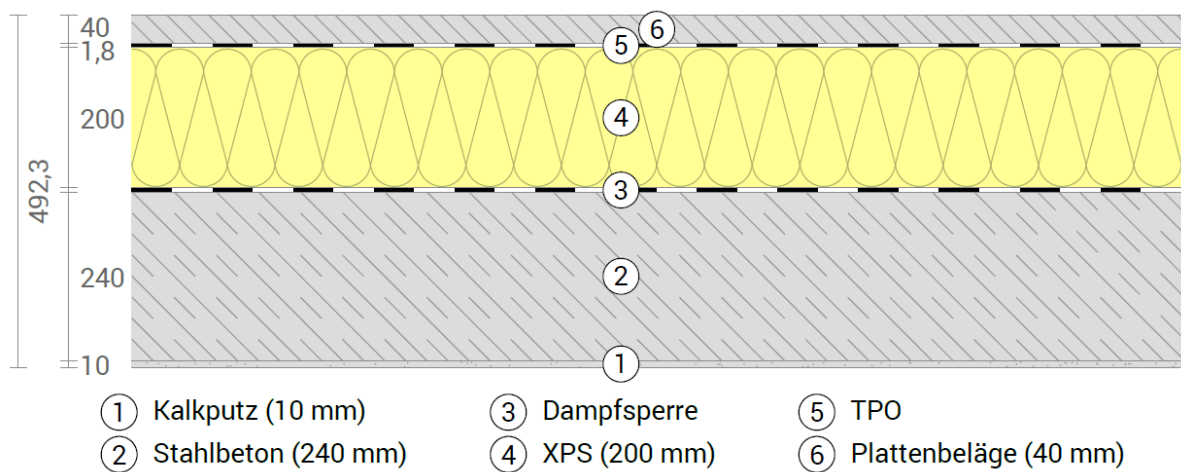


Abbildung 5: Materialisierung Dach, begehbar, «Apartment» nach Kalkbreite, eigene Darstellung

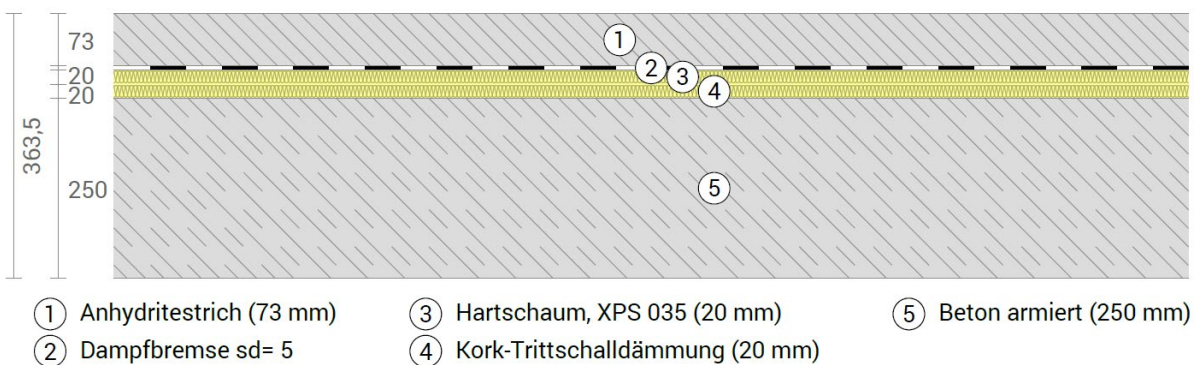


Abbildung 6: Materialisierung Geschossdecke, «Apartment» nach Kalkbreite, eigene Darstellung

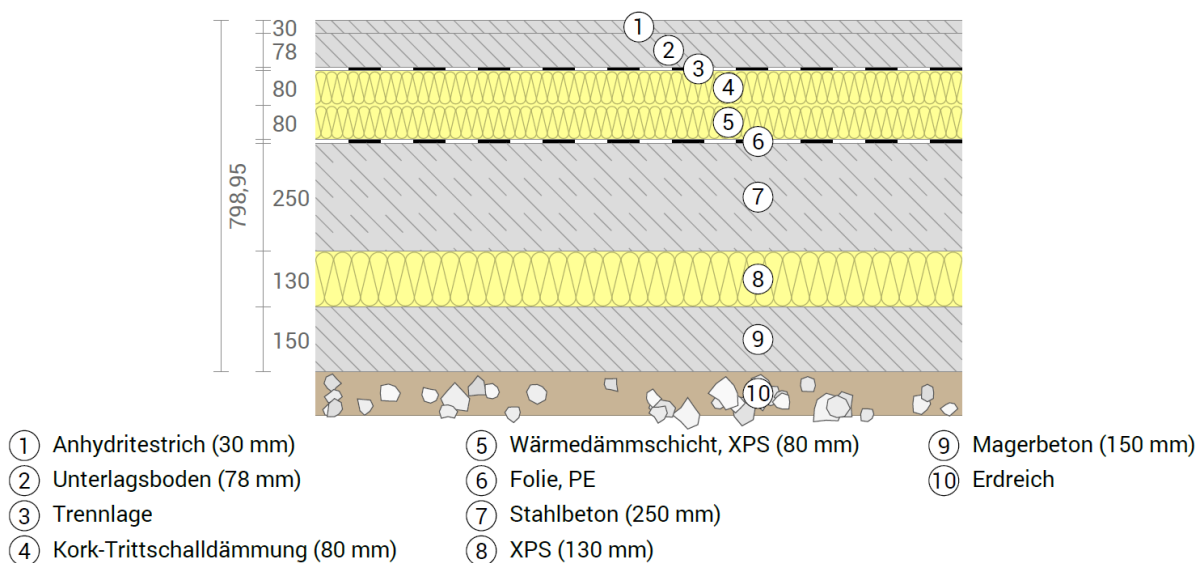


Abbildung 7: Materialisierung Fundament und Bodenaufbau, «Apartment» nach Kalkbreite, eigene Darstellung

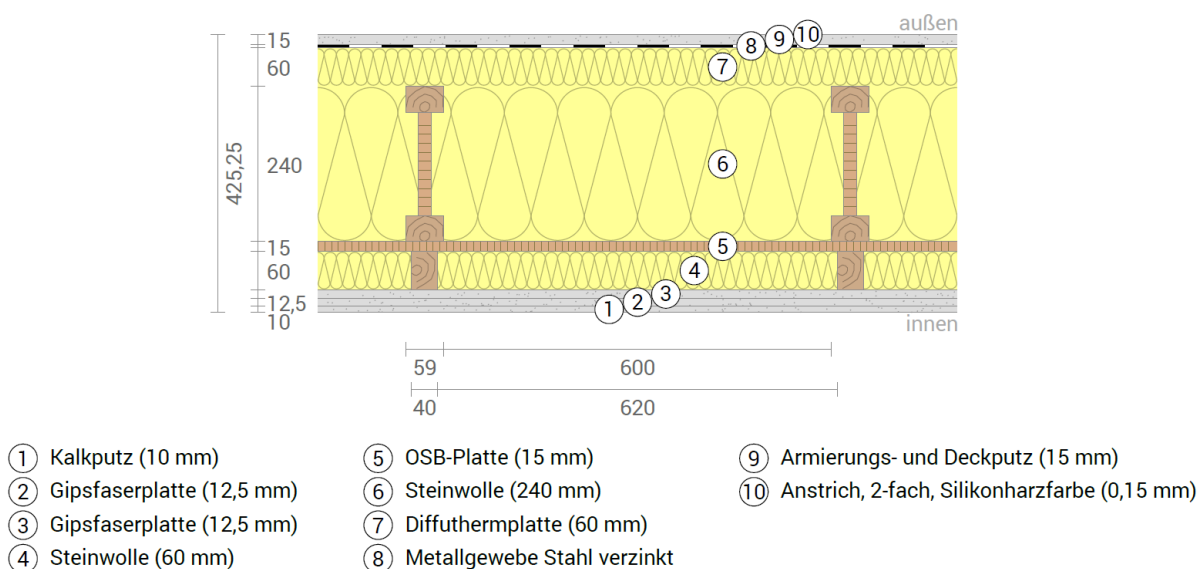


Abbildung 8: Materialisierung Aussenwand, «Apartment» nach Kalkbreite, eigene Darstellung

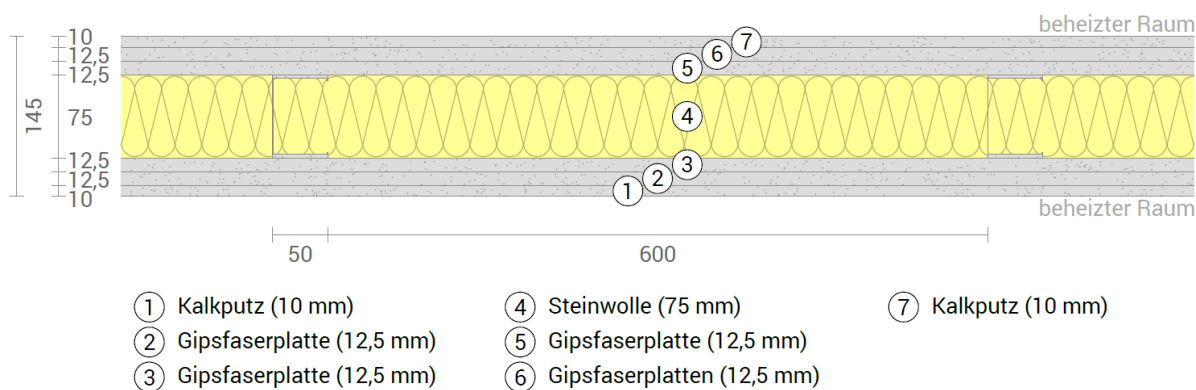


Abbildung 9: Materialisierung Innenwand Leichtbau, «Apartment» nach Kalkbreite, eigene Darstellung

3.2 Festes Haus nach Tiny Homes Zollikerberg

Die Typologie «Festes Haus» wird in unserer Untersuchung durch das Projekt Tiny Homes Zollikerberg repräsentiert. Da es sich noch in der Entwicklung befindet, gibt es dazu noch keine definitiven Daten. Jedoch wurden uns für diese Studie freundlicherweise Grundrisspläne von der UTO Real Estate Management AG zur Verfügung gestellt. Unsere Beispielrealisierung umfasst zwei Vollgeschosse und eine Teilunterkellerung auf allen Parzellen sowie ein Attika-Geschoss auf den beiden kleineren Parzellen.

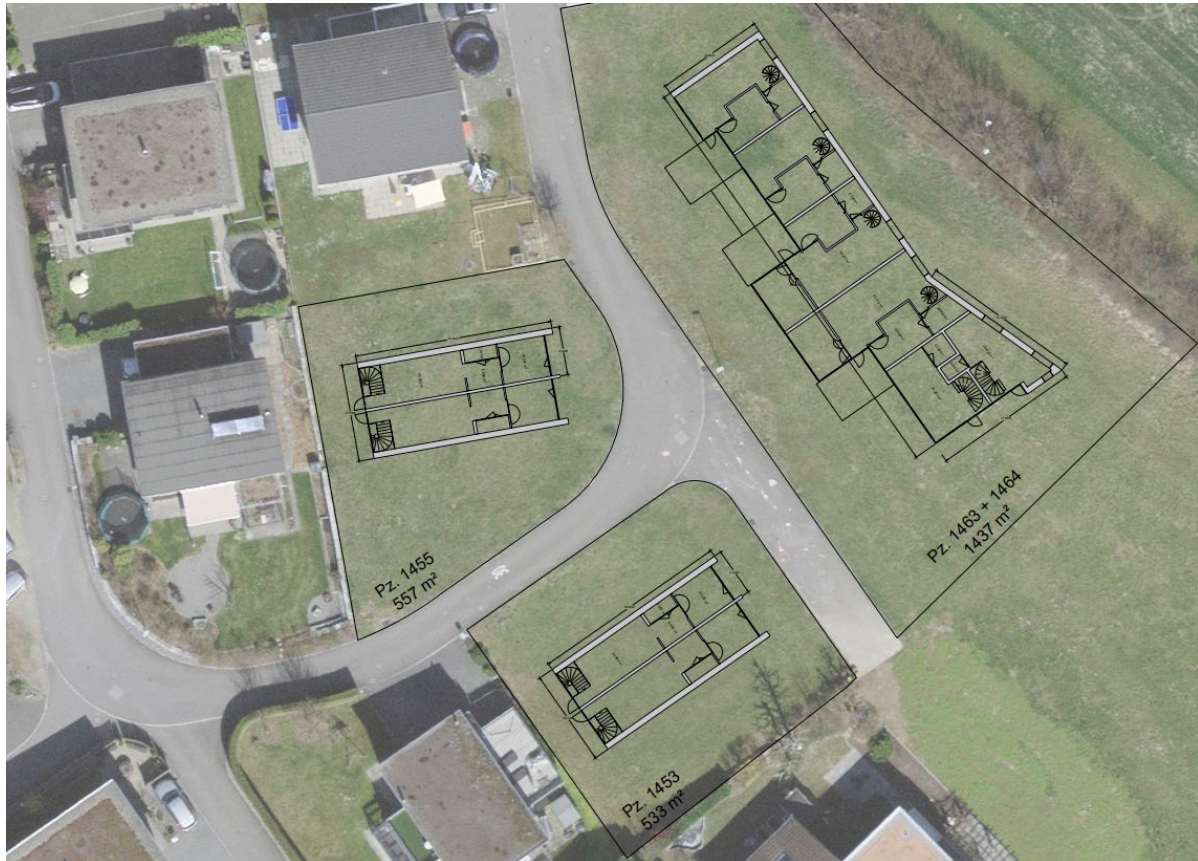


Abbildung 10: Beispielrealisierung «Festes Haus» nach Tiny Homes Zollikerberg, Quelle: Acht Grad Ost AG

Die einzelnen Räume sind vor allem im langen Gebäude auf der Doppelparzelle relativ gross. Darüber hinaus ziehen sich viele der Wohnungen über mehrere Stockwerke. Dadurch ergeben sich Wohnflächen von bis zu über 85 m². Um dennoch nach der hier angewendeten Definition als Kleinwohnform zu gelten, sind insgesamt hohe Belegungszahlen anzunehmen, woraus sich die – im Vergleich zur Beispielrealisierung der «Apartments» – deutlich höhere Gesamtzahl an Bewohner:innen von 64 Personen ergibt.

Bezeichnung	Menge		Bezeichnung	Menge
Aussenwände, unter Terrain	446 m ²		Fenster	286 m ²
Aussenwände, über Terrain	1049 m ²		Aussentüren	17 m ²
Innenwände	843 m ²		Innentüren	93 m ²
Fundament	981 m ²		Aushub	2514 m ³
Geschossdecken	1219 m ²		Energiebezugsfläche	1843 m ²
Dach, begehbar	73 m ²			
Dach, nicht begehbar	551 m ²			
Bewohner:innen	64			
Küche, vollausgestattet	10		Küche, teilausgestattet	10
Heizwärmebedarf	29'482 kWh/a		Strombedarf, allg.	56'945 kWh/a
Strombedarf WP	9827 kWh/a		Strombedarf, ges.	66'772 kWh/a
PV-Leistung installiert	38 kW _p		Eigenverbrauch	43'402 kWh/a
			Strombedarf CH-Mix	23'370 kWh/a

Tabelle 4: Daten Beispielrealisierung «Festes Haus»

Über die Materialisierung stehen uns keine dedizierten Informationen zur Verfügung. Wir treffen daher Annahmen auf Basis der uns vorliegenden Grundrisspläne, der öffentlich im Internet zugänglichen Bilder und der Erfahrungswerte. Für Dachaufbauten, Fundament, Boden und Geschossdecken nehmen wir dieselbe Materialisierung wie für die «Apartments» an (vgl. Abbildung 4 bis Abbildung 7). Die Aussenwände sind wie in Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellt aufgebaut. Innenwände bestehen aus verputztem Stahlbeton mit einer Stärke von 25 cm oder verputztem Mauerwerk mit einer Stärke von 10 cm.

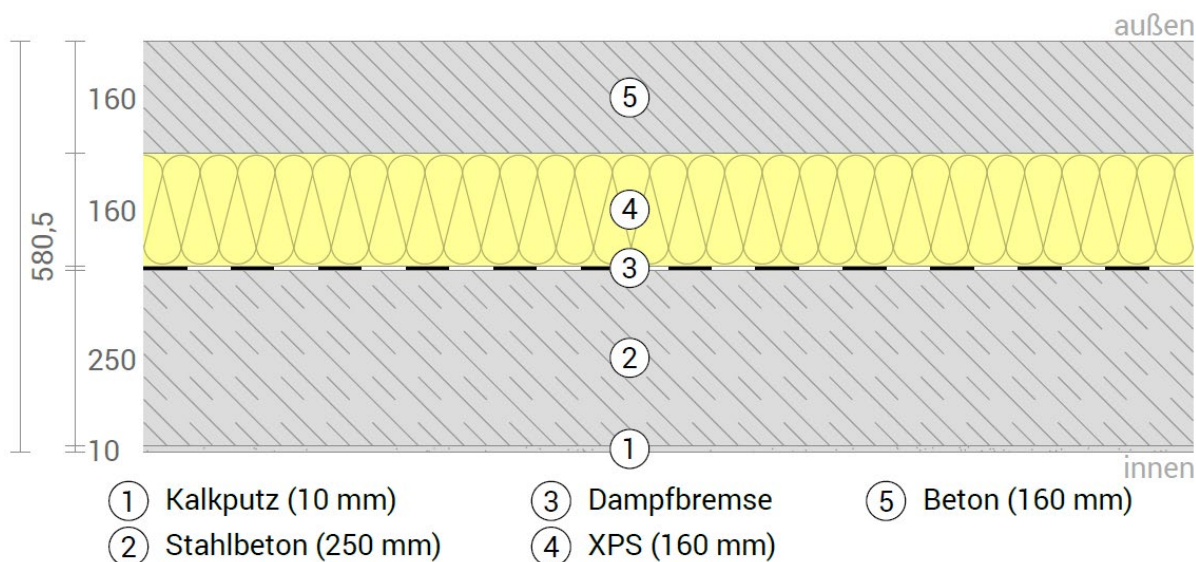
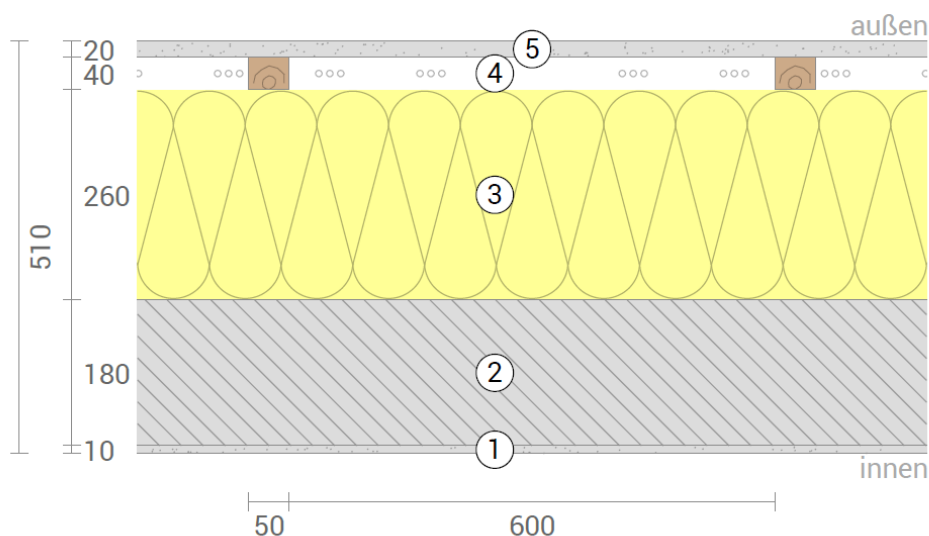


Abbildung 11: Materialisierung Aussenwand, Beton, «Festes Haus» nach Zollikerberg, eigene Darstellung



- ① Kalkputz (10 mm) ③ XPS (260 mm) ⑤ Fassadenplatte (20 mm)
② Mauerwerk (180 mm) ④ Hinterlüftung (40 mm)

Abbildung 12: Materialisierung Aussenwand, Mauerwerk, «Festes Haus» nach Zollikerberg, eigene Darstellung

3.3 Vorgefertigtes Modul nach FOGO

Die Typologie «Vorgefertigtes Modul» wird repräsentiert durch die Modulbauten auf dem FOGO-Areal in Zürich. Hierbei handelt es sich um modulare Elemente mit einer Breite von jeweils 3 m und einer Länge von 10 m, die auf einem Sattelschlepper transportabel sind. Die Grundrisspläne sowie weitergehende Informationen zur Materialisierung wurden uns für den Zweck dieser Studie freundlicherweise von der hoffmannfontana architekturen GmbH zur Verfügung gestellt.

Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Grundfläche	680 m ²	Fenster	126 m ²
Aussenwände	1119 m ²	Aussentüren	25 m ²
Innenwände	1776 m ²	Innentüren	145 m ²
Punktfundament	46 m ²	Aushub	35 m ³
Decken	1360 m ²	Energiebezugsfläche	1360 m ²
Dach, nicht begehbar	680 m ²		
Bewohner:innen	57	Küche, teilausgestattet	6
Küche, vollausgestattet	10		
Heizwärmebedarf	43'520 kWh/a	Strombedarf, allg.	37'245 kWh/a
Strombedarf WP	14'507 kWh/a	Strombedarf, ges.	51'752 kWh/a
PV-Leistung installiert	31 kW _p	Eigenverbrauch	33'639 kWh/a
		Strombedarf CH-Mix	18'113 kWh/a

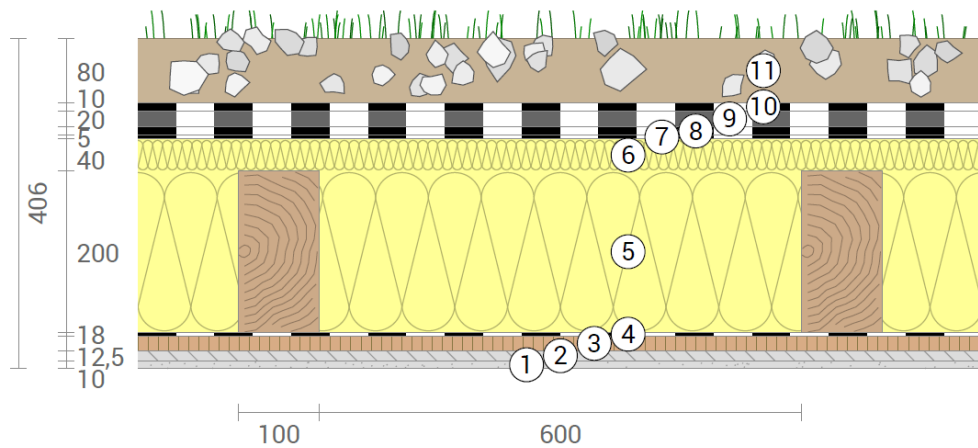
Tabelle 5: Daten Beispielrealisierung «Vorgefertigtes Modul»



Abbildung 13: Beispielrealisierung «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO, Quelle: Acht Grad Ost AG

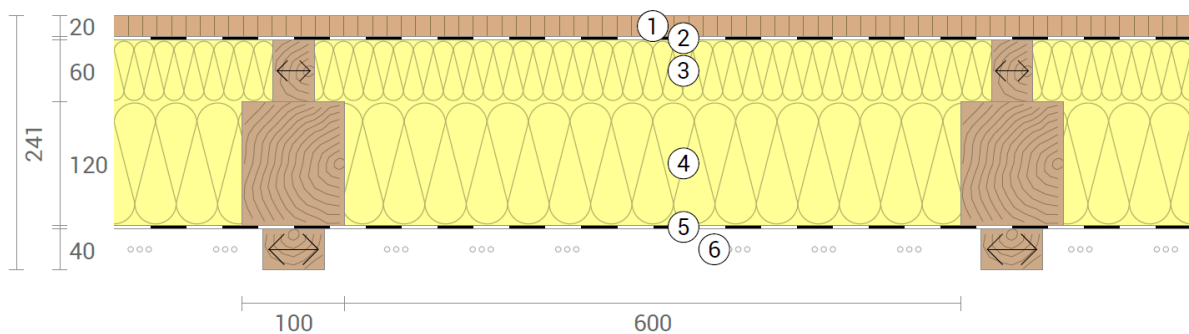
Unsere Beispielrealisierung, wie in Abbildung 13 dargestellt, umfasst zwei identische Stockwerke. Auf den kleinen Parzellen befinden sich je Parzelle und Geschoss vier Wohneinheiten sowie ein geteiltes Bad und eine geteilte, vollausgestattete Küche plus eine teilausgestattete Küche. Auf der Doppelparzelle teilen sich pro Geschoss zweimal drei Wohneinheiten eine vollausgestattete Küche und Bad und einmal fünf Wohneinheiten Bad und Küchen (eine voll- und eine teilausgestattete).

In Abbildung 14 ist der Dachaufbau der «Vorgefertigten Module» dargestellt, wie er im Obergeschoss realisiert ist. Für das Erdgeschoss gilt derselbe Aufbau von Ziffer 1 bis 6. Der Aufbau ab Ziffer 7 dient der Begrünung und entfällt somit in der «Geschossdecke». Abbildung 15 zeigt den für Erdgeschoss und Obergeschoss geltenden Bodenaufbau. Im Erdgeschoss kommen lediglich Punktfundamente hinzu, auf die das Modul «abgestellt» wird.



- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| ① Kalkputz (10 mm) | ⑤ Steinwolle (200 mm) | ⑨ Drainageplatte |
| ② Faserzementplatte (12,5 mm) | ⑥ Holzfaserdämmplatte (40 mm) | ⑩ Filtervlies |
| ③ OSB-Platte (18 mm) | ⑦ Dichtbahn, Bitumen | ⑪ Substrat (80 mm) |
| ④ Dampfsperre | ⑧ Gummischrot | |

Abbildung 14: Materialisierung Dach (Decke), «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO, eigene Darstellung



- | | | |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| ① Parkett (20 mm) | ③ Steinwolle (60 mm) | ⑤ Unterdeckbahn sd=0,05m |
| ② Dampfbremse sd= 5 | ④ Steinwolle (120 mm) | ⑥ Fichte (40x60) |

Abbildung 15: Materialisierung Bodenaufbau, «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO, eigene Darstellung

In Abbildung 16 ist der Aufbau der Aussenwände dargestellt. Hierbei ist zu beachten, dass die hinterlüftete Fassade (Ziffern 7 und 8) nur dort zum Tragen kommt, wo die Module nicht aneinanderstossen. Die Innenwände sind ähnlich aufgebaut: Holzständerbauweise mit Steinwollämmung (Ziffer 4) und beidseitige Verkleidung mit OSB-Platte, Faserzementplatte und Kalkputz (Ziffern 1–3).

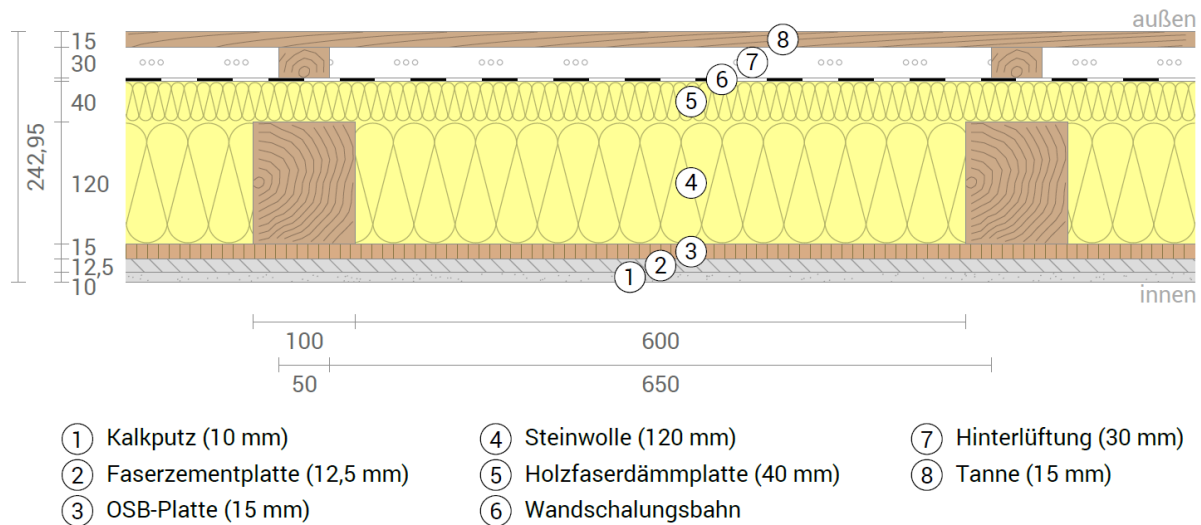


Abbildung 16: Materialisierung Aussenwand, «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO, eigene Darstellung

3.4 Anhänger nach Tiny House Immergrün

Das Tiny House Immergrün repräsentiert in unserer Untersuchung die Typologie «Anhänger». Das Tiny House wird in Holzständerbauweise gebaut und befindet sich dauerhaft auf einem Anhänger für Personenwagen. Da es nicht stapelbar ist, ist unsere Beispielrealisierung nur eingeschossig ausgeführt. Üblicherweise muss aus Brandschutzgründen ein Gebäudeabstand von 8 m eingehalten werden. Das Planungs- und Baugesetz des Kantons Luzern sieht jedoch explizit Ausnahmen für Kleinbauten (Höhe maximal 4,50 m und Gebäudefläche maximal 50 m²) vor, bei denen der minimale Gebäudeabstand 4 m und der minimale Grenzabstand 3 m beträgt (SRL Nr. 735 – Planungs- und Baugesetz, 2021).

Das Tiny House Immergrün bietet mit 13 m² einen extrem minimierten Wohnraum. Bei solch einer extremen Form kann ein Teil der «fehlenden» Wohnfläche durch eine hohe Qualität des unmittelbar umgebenden Aussenraums kompensiert werden. Daher haben wir in unserer Beispielrealisierung nicht die Anzahl realisierbarer Tiny Houses maximiert, sondern sind einen Mittelweg zwischen effizienter Landnutzung und nutzbarem Aussenraum gegangen (vgl. Abbildung 17). Daraus ergibt sich eine Belegung der Parzellen mit insgesamt 15 Tiny Houses.

Wie Tabelle 6 zu entnehmen ist, enthält jedes Tiny House eine teilausgestattete Küche. Aufgrund des minimalen Platzangebots wird angenommen, dass typischerweise kein Backofen und keine Geschirrspülmaschine installiert wird. Wie bei der Beispielrealisierung der «Vorgefertigten Module» nehmen wir auf Basis unserer Umfrageergebnisse eine Belegung von 1,5 Personen je Tiny House an, was (aufgerundet) zu einer Gesamtzahl von 23 Bewohner:innen führt. Tatsächlich wird das Tiny House Immergrün derzeit von zwei Personen bewohnt.

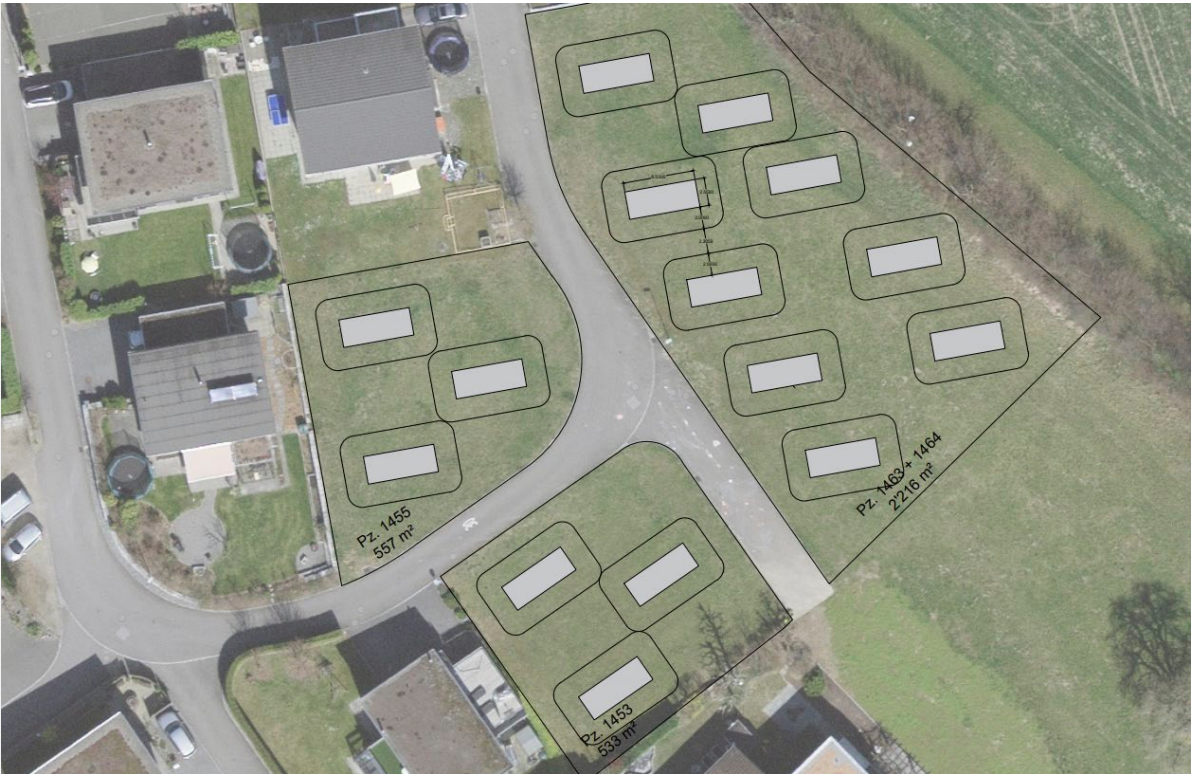


Abbildung 17: Beispielrealisierung «Anhänger» nach Tiny House Immergrün, Quelle: Acht Grad Ost AG

Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Grundfläche	249 m²	Fenster	98 m²
Aussenwände	609 m²	Aussentüren	22 m²
Innenwände	87 m²	Innentüren	24 m²
Dach, nicht begehbar	275 m²	Energiebezugsfläche	249 m²
Bewohner:innen	23	Küche, teilausgestattet	15
Küche, vollausgestattet	0	Stromverbrauch	38'363 kWh/a
Heizwärmebedarf	7'956 kWh/a	Eigenverbrauch	24'936 kWh/a
Bedarf Propangas	1'211 l	Strombedarf CH-Mix	13'427 kWh/a
PV-Leistung installiert	23 kW _p		

Tabelle 6: Daten Beispielrealisierung «Anhänger»

Die Daten zur Materialisierung (vgl. Abbildung 18 bis Abbildung 20) werden zum Teil dem vom Verein Kleinwohnformen bereitgestellten Fact Sheet zur Energieeffizienz (Schulze & Wenger, 2022) entnommen. Weitere Details werden in einem Interview mit einer Planerin des Tiny House Immergrün, Florentina Gojani von der Kollektiv Winzig GmbH, erfragt. Entgegen der im Fact Sheet angegebenen Werte für Heizwärme und Stromverbrauch wird auch hier mit Standardwerten gerechnet.

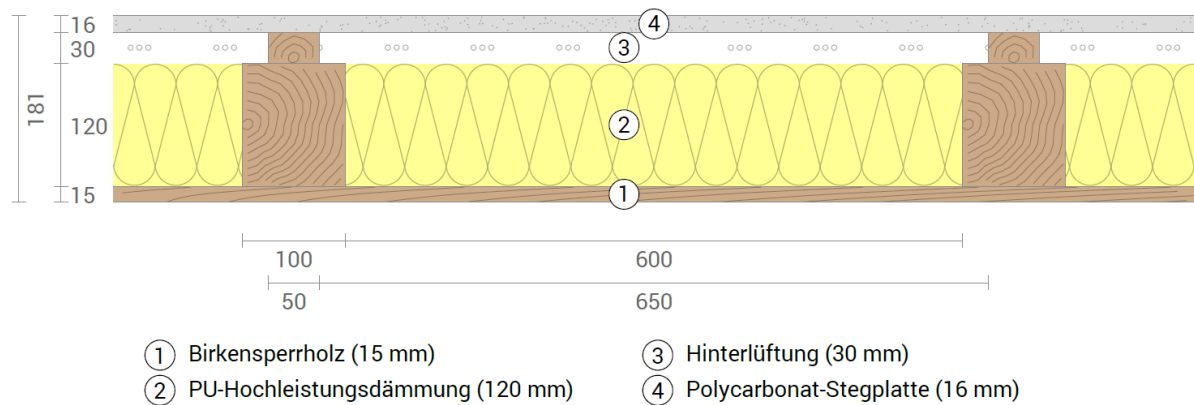


Abbildung 18: Materialisierung Dach, «Anhänger» nach Tiny House Immergrün, eigene Darstellung

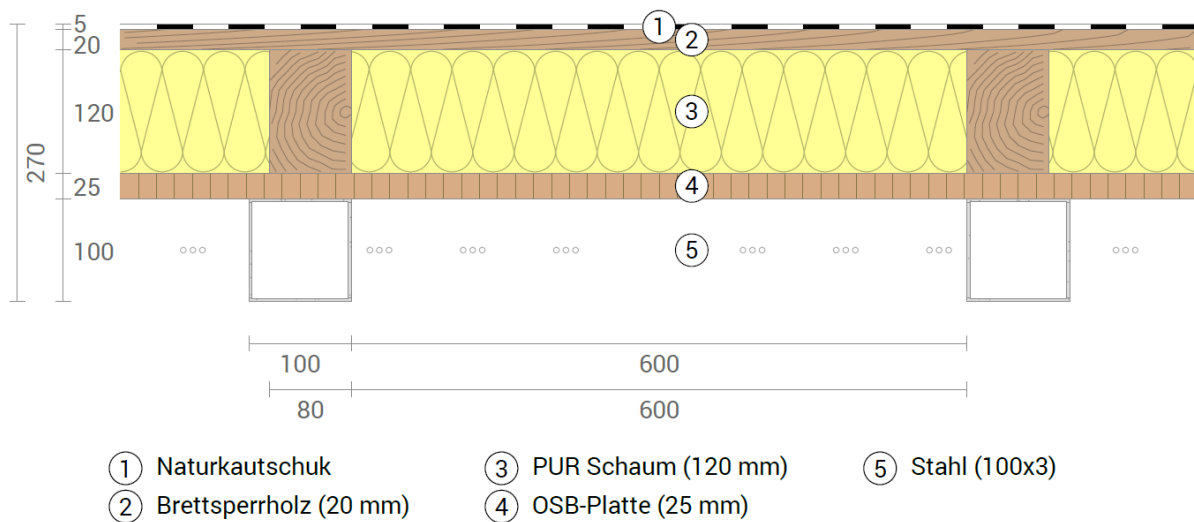


Abbildung 19: Materialisierung Bodenaufbau, «Anhänger» nach Tiny House Immergrün, eigene Darstellung

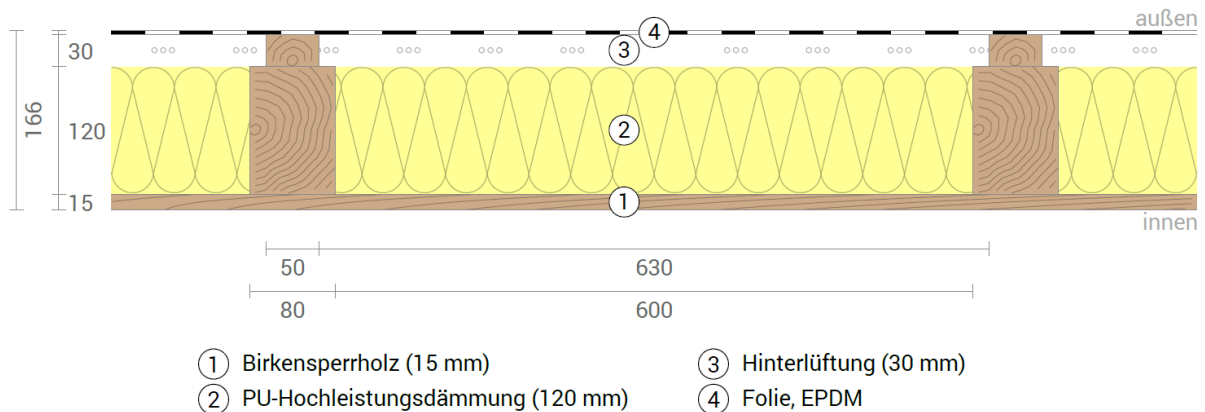


Abbildung 20: Materialisierung Aussenwand, «Anhänger» nach Tiny House Immergrün, eigene Darstellung

3.5 Referenz Einfamilienhaus

Als Repräsentant für unser Referenzgebäude wird das «Einfamilienhaus» Stadtvilla von Nurda gewählt. Nach Aussagen der Acht Grad Ost AG weist dieses eine für Einfamilienhäuser typische Grundrissgestaltung auf. In unserer Beispielrealisierung befindet sich auf den beiden kleinen Parzellen jeweils ein Gebäude, während die Doppelparzelle als Reiheneinfamilienhaus mit drei Gebäuden entwickelt wird. Alle Gebäude sind zweigeschossig und mit einem für Einfamilienhäuser typischen Satteldach ausgestattet, wie es auch beim nördlich an die Parzelle 1455 anschliessenden Einfamilienhaus zu finden ist.



Abbildung 21: Beispielrealisierung Referenz «Einfamilienhaus» nach Stadtvilla Nurda, Quelle: Acht Grad Ost AG

Mit Daten aus der Gebäude- und Wohnungsstatistik 2022 des Bundesamtes für Statistik (2023) wurde für Einfamilienhäuser eine durchschnittliche Belegung von 2,33 Personen errechnet. Daraus ergibt sich für unsere Beispielrealisierung mit fünf Gebäuden eine Gesamtzahl von (aufgerundet) zwölf Bewohner:innen. Es wird des Weiteren angenommen, dass jedes Gebäude eine vollausgestattete Küche enthält.

Bezeichnung	Menge	Bezeichnung	Menge
Aussenwände	929 m ²	Fenster	178 m ²
«Wand-an-Wand»	68 m ²	Aussentüren	10 m ²
Innenwände	497 m ²	Innentüren	91 m ²
Fundament	478 m ²	Aushub	481 m ³
Geschossdecken, Beton	478 m ²	Energiebezugsfläche	957 m ²
Geschossdecken, Holz	478 m ²		
Satteldach	693 m ²		
Bewohner:innen	12		
Küche, vollausgestattet	5	Küche, teilausgestattet	0
Heizwärmebedarf	15'311 kWh/a	Strombedarf, allg.	15'257 kWh/a
Strombedarf WP	5104 kWh/a	Strombedarf, ges.	20'361 kWh/a
PV-Leistung installiert	12 kW _p	Eigenverbrauch	13'235 kWh/a
		Strombedarf CH-Mix	7'126 kWh/a

Tabelle 7: Daten Beispielrealisierung «Einfamilienhaus»

Abbildung 22 und Abbildung 23 zeigen die Materialisierung der Satteldächer bzw. der Aussenwände. Innenwände bestehen aus Mauerwerk und beidseitigem Kalkputz. Geschossdecke (zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss) sowie Fundament und Boden sind wie in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt aufgebaut.

Die Geschossdecke zwischen Obergeschoss und Dachgeschoss entspricht Abbildung 24. Hierbei haben wir uns auf Daten einer Ökobilanzstudie zu Archetypen von Wohngebäuden in Europa (Lavagna et al., 2018) gestützt.

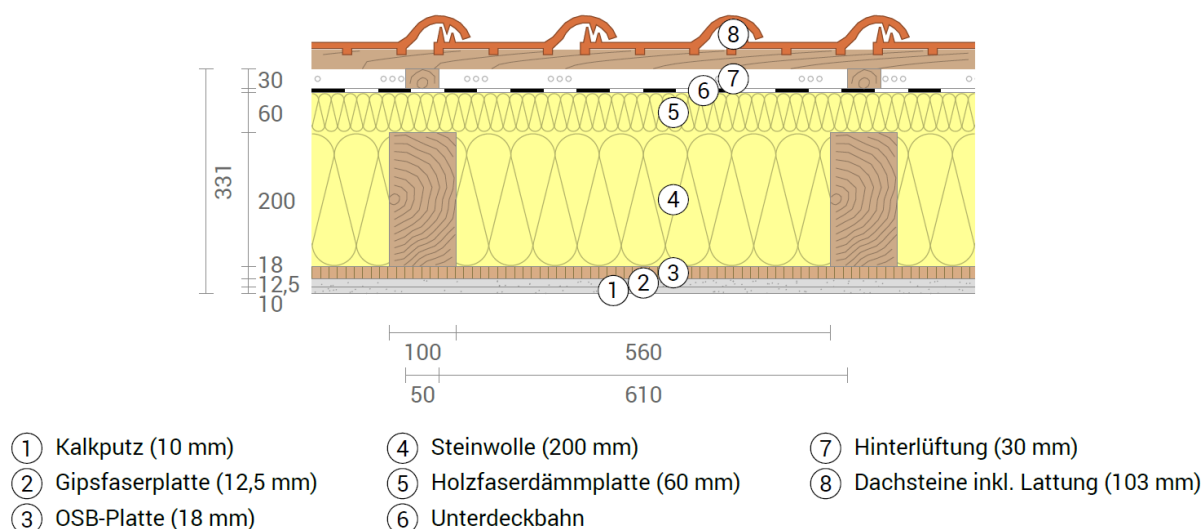


Abbildung 22: Materialisierung Dach, «Einfamilienhaus», eigene Darstellung

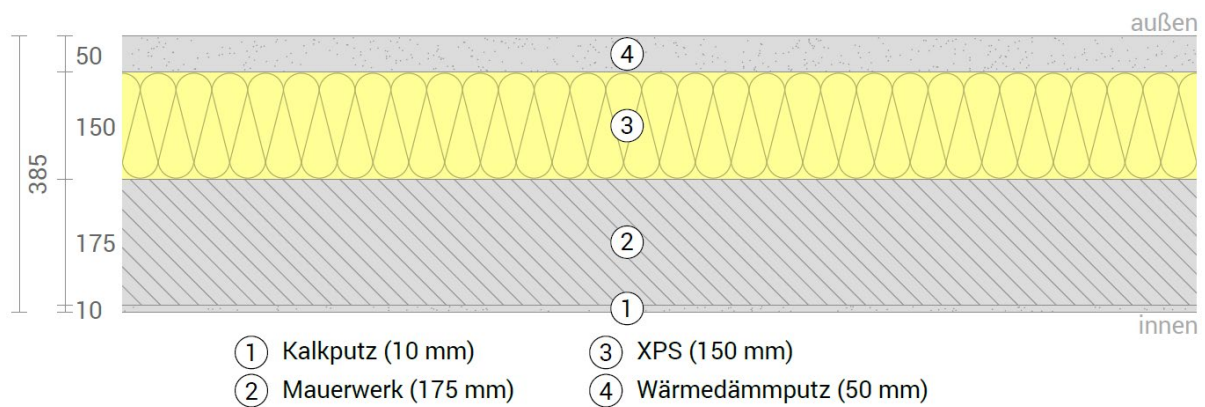


Abbildung 23: Materialisierung Aussenwand, «Einfamilienhaus», eigene Darstellung

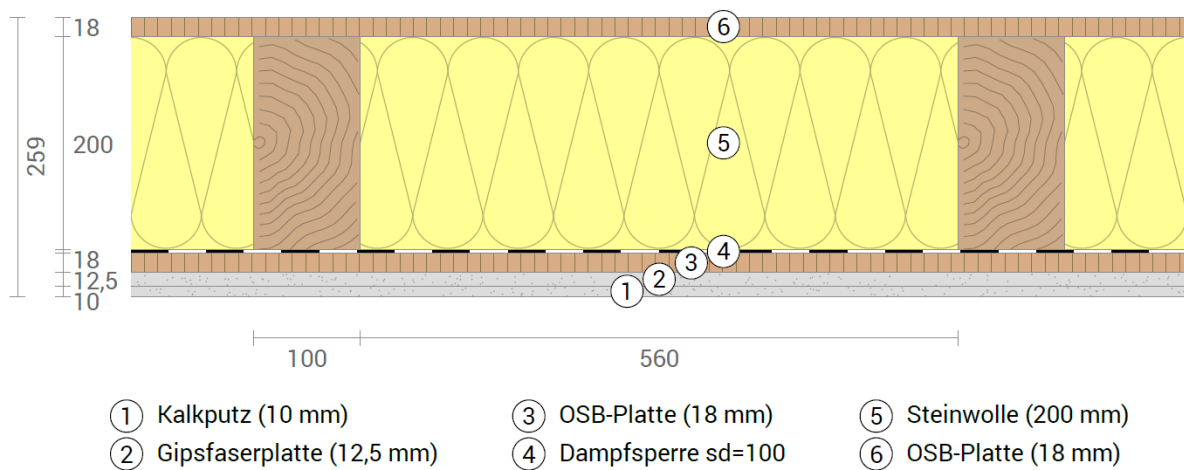


Abbildung 24: Materialisierung Geschossdecke, «Einfamilienhaus», Obergeschoss nach Dachgeschoss, eigene Darstellung

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse unserer vergleichenden Ökobilanzstudie dargestellt. Zunächst untersuchen wir das Treibhauspotenzial, dann den Primärenergiebedarf und schliesslich vergleichen wir die Typologien nach der Methode der ökologischen Knappheit.

4.1 Treibhauspotenziale

In Abbildung 25 ist das Treibhauspotenzial der fünf untersuchten Beispielrealisierungen dargestellt. Wir sehen, dass das «Feste Haus» im Total das mit Abstand grösste Treibhauspotenzial aufweist. Das ergibt sich zum einen aus der hohen Wohnfläche und zum anderen aus der Materialisierung (Betonbau). Da wir aufgrund unserer Kleinwohnform-Definition eine hohe Belegung angenommen haben, ergibt sich pro Person ein niedriges Treibhauspotenzial im Vergleich zu den anderen Typologien. Nur das «Vorgefertigte Modul» weist hier ein noch niedrigeres Treibhauspotenzial auf, trotz geringer angenommener Lebensdauer (25 Jahre statt 50 Jahre, siehe Abschnitt 2.3.4.5).

Das Einfamilienhaus (EFH) zeigt im Total das geringste Treibhauspotenzial, pro Kopf jedoch das höchste. Dies, weil das EFH im Vergleich zu den übrigen Typologien (ausser dem «Anhängen») eine geringere Wohnfläche bietet; es muss also insgesamt weniger Material aufgewendet werden. Da die Belegungsrate jedoch deutlich geringer ist als bei den anderen Typologien, ergibt sich pro Kopf ein umgekehrtes Bild.

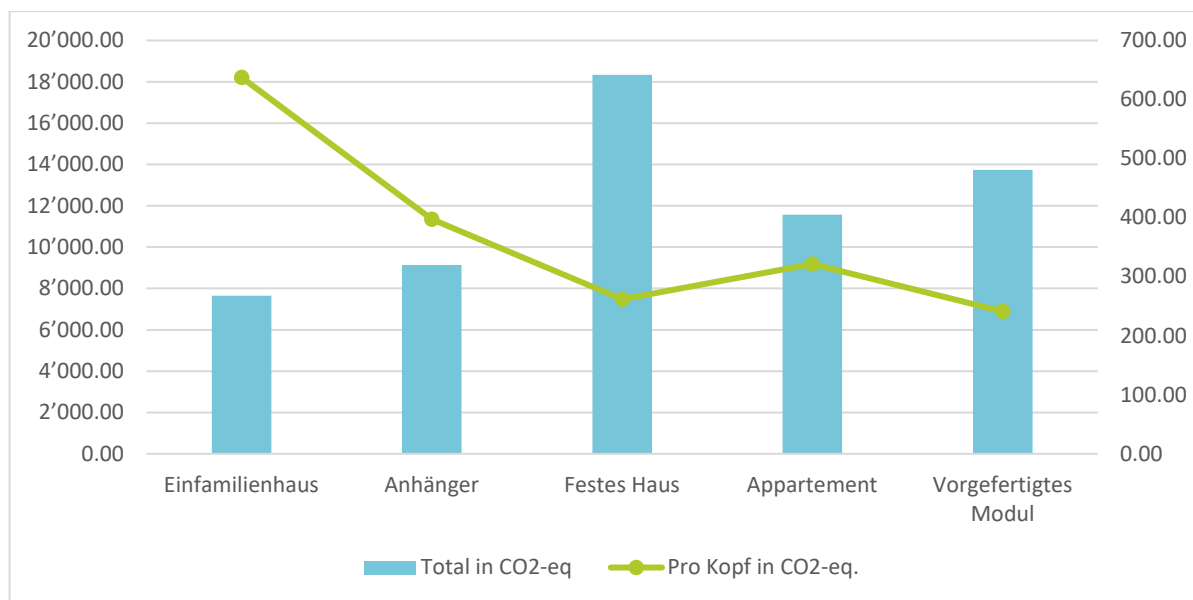


Abbildung 25: Vergleich Treibhauspotenzial

Bemerkenswert ist, dass der «Anhängen» trotz der enorm reduzierten Wohnfläche pro Person ein höheres Treibhauspotenzial aufweist als die anderen Kleinwohnform-Typologien. Neben der Annahme geringerer Lebensdauer (siehe Abschnitt 2.3.4.5) gibt der in Abbildung 26 dargestellte Vergleich der Beiträge der einzelnen Baugruppen zum Treibhauspotenzial Hinweise auf einen Grund hierfür: Ein sehr hoher Anteil von über 40% entfällt beim «Anhängen» auf die Kategorie «Andere». Diese enthält unter anderem die Heizwärme. Da der «Anhängen» mit Gas geheizt wird, ergibt sich so ein insgesamt hohes Treibhauspotenzial.

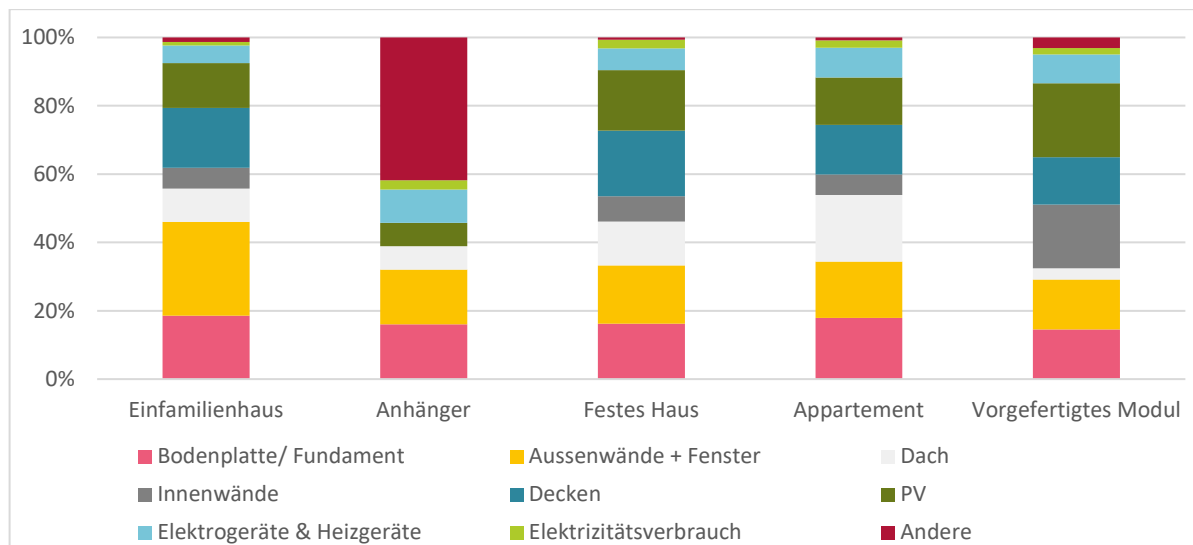


Abbildung 26: Vergleich der Beiträge der einzelnen Baugruppen zum Treibhauspotenzial

Auffallend ist in Abbildung 26 zudem der hohe Beitrag von «Bodenplatte/Fundament» bei der Typologie «Anhänger». Im Vergleich zu «Einfamilienhaus», «Festes Haus» und «Apartment» kommt hier keine Bodenplatte aus Beton zum Einsatz. Stattdessen werden jedoch ca. 600 kg verzinkter Stahl für den Anhänger benötigt, der in der Herstellung ein grosses Treibhauspotenzial aufweist.

4.2 Primärenergiebedarf

Der Vergleich des Primärenergiebedarfs (Abbildung 27) umfasst, wie oben beschrieben, die Erstellungs- und die Betriebsphase. Auch hier zeigt sich, dass das «Einfamilienhaus» im Total den geringsten Bedarf aufweist, pro Kopf jedoch den höchsten.

Bei den Typologien «Anhänger» und «Vorgefertigtes Modul» haben wir einen doppelt so hohen Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Energiebezugsfläche angenommen, was ein Grund für deren höheren Primärenergiebedarf ist.

Wir gehen davon aus, dass die Module darauf ausgelegt sind, auch tatsächlich modular genutzt zu werden und nicht nur in der Anordnung, wie sie in unserer Beispielrealisierung angedacht ist. Daher haben wir beim «Vorgefertigten Modul» angenommen, dass alle Wände, die ein Modul umgeben, als Aussenwände realisiert sind (Ausnahme Fassadenbekleidung). Dadurch ergeben sich jedoch Redundanzen, die aus statischer oder wärmedämmtechnischer Sicht für unsere Beispielrealisierung nicht notwendig wären, was zu einem erhöhten Materialaufwand führt. Dies ist ein weiterer Grund für den hohen Primärenergiebedarf des «Vorgefertigten Moduls», sowohl im Total als auch pro Kopf.

Der hohe Primärenergiebedarf beim «Anhänger» ergibt sich zu einem Teil wiederum aus der Produktion des Stahls für den Unterbau. Bei beiden mobilen Typologien hat auch hier die als geringer angenommene Lebensdauer einen Einfluss auf die Ergebnisse.

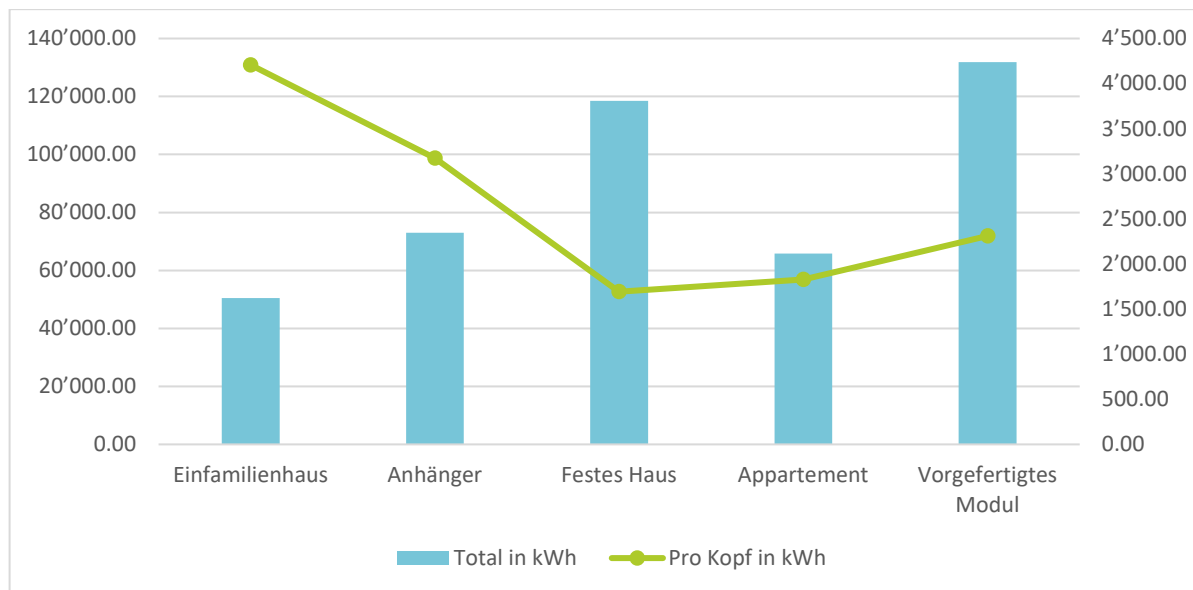


Abbildung 27: Vergleich kumulierter Primärenergiebedarf

4.3 Umweltbelastungspunkte

Die Betrachtung mithilfe der Methode der ökologischen Knappheit (Abbildung 28) zeigt im Total die höchste Umweltbelastung beim «Vorgefertigten Modul» auf. Pro Kopf ergibt sich für diese Typologie der zweithöchste Wert, hinter dem «Einfamilienhaus» – knapp vor dem «Anhänger». Der Grund hierfür erschliesst sich aus der Betrachtung von Abbildung 29, in der deutlich wird, dass der Faktor Landnutzung (engl. Land Use) mit über 50% beim «Vorgefertigten Modul» den grössten Einfluss hat.

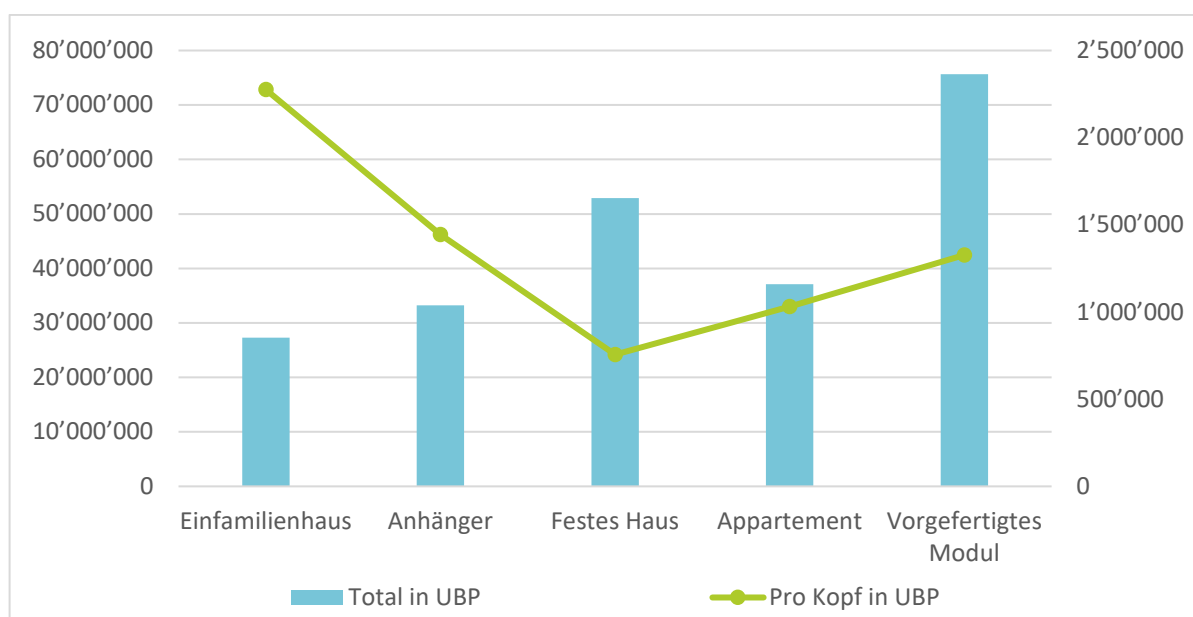


Abbildung 28: Vergleich der Umweltbelastungen nach der Methode der ökologischen Knappheit

«Vorgefertigtes Modul» und auch «Anhänger» sind in unserem Beispiel Holzbauten. Für die dafür benötigte Forstwirtschaft entsteht eine Landnutzung, die wiederum in den Umweltbelastungspunkten hoch gewertet wird. Die Methode der ökologischen Knappheit und die Gewichtung der einzelnen Einflussfaktoren werden in der Schweiz bestimmt, wo Boden knapp ist. Daneben trägt auch in diesem Fall die als geringer angenommene Lebensdauer der beiden mobilen Typologien zu den im Vergleich höheren Umweltbelastungspunkten bei.

Obwohl es sich beim «Anhänger» auch um eine Holzbaute handelt, liegt der Beitrag des Faktors Landnutzung zu den Umweltbelastungspunkten bei unter 45%. Im Vergleich zum «Vorgefertigten Modul» kommen hier ein erdölbasierter Dämmschaum und – wie oben erwähnt – eine Gasheizung zum Einsatz. Dies führt zu einem höheren Anteil des Faktors Treibhauspotenzial (engl. Global Warming Potential, GWP).



Abbildung 29: Vergleich Anteile Einflussfaktoren an Umweltbelastungspunkten

5 Diskussion

5.1 Kernaussagen

Aus unserer Betrachtung der Ergebnisse der Ökobilanzierung in Kapitel 4 können wir folgende Aussagen ableiten:

1. Alle untersuchten Typologien von Kleinwohnformen sind im ruralen Kontext ökologisch nachhaltiger als das Einfamilienhaus (EFH).

Obwohl das EFH in allen drei untersuchten Wirkungskategorien im Total den niedrigsten Wert aufweist, ist es in der Pro-Kopf-Betrachtung ökologisch eindeutig am wenigsten nachhaltig. Grund hierfür ist die tiefe durchschnittliche Belegung von 2,4 Personen. Liesse sich die Belegung auf 3, 4 oder mehr erhöhen – z. B. indem die EFH an die nächste Generation weitergegeben werden – würde sich das EFH bezüglich ökologischer Nachhaltigkeit den Typologien «Anhänger» und «Vorgefertigtes Modul» stark annähern.

2. Von den fünf untersuchten Typologien schneiden die Typologien «Festes Haus» und «Apartment» am besten ab.

Durch die hohe Belegungszahl beim «Apartment» und – insbesondere – beim «Festen Haus» schneiden diese Typologien ökologisch am besten ab. Es gilt jedoch zu beachten, dass wir bei unserer Annahme sehr eng an unserer Definition von Kleinwohnformen bezüglich Wohnfläche pro Person geblieben sind.

Dadurch ergab sich besonders für unsere Beispielrealisierung des «Festen Hauses» eine Belegung, die uns mit den gegebenen Grundrissen als unrealistisch erscheint. Es ist hier also zu erwarten, dass entweder die tatsächliche Belegung deutlich unter unserer angenommenen liegen würde oder die Grundrisse anders gestaltet wären. Letzteres würde zusätzliche Innenwände bedingen, was den Materialaufwand steigern würde. Anhand unserer Sensitivitätsanalyse mit unterschiedlicher Belegungszahl schätzen wir, dass die Pro-Kopf-Umwelteinwirkungen in diesen Fällen um den Faktor 1,5 (oder mehr) höher ausfallen könnten.

Da die von der Kalkbreite inspirierten Grundrisse nicht optimiert sind auf unsere Definition von Kleinwohnformen, gehen wir davon aus, dass auch bei unserer Realisierung der Typologie «Apartment» die tatsächliche Belegung geringer wäre als angenommen. Hier gehen wir aber davon aus, dass die Abweichung deutlich geringer ist als beim «Festen Haus». Damit würde sich das «Apartment» vermutlich als ökologisch nachhaltiger herausstellen als das «Feste Haus».

3. Mobilitätsanforderungen führen zu erhöhten Umweltbelastungen

Die Typologie «Anhänger» zeichnet sich insbesondere dadurch aus, erhöhte Anforderungen an die Mobilität zu erfüllen. Im Gegensatz zum ebenfalls transportablen «Vorgefertigten Modul», das nur für den Transport auf einen Anhänger geladen wird, verfügt die Typologie «Anhänger» über einen eigenen fahrbaren Untersatz. Dieser ist in der Regel aus verzinktem Stahl gefertigt, was zu erhöhten Umwelteinwirkungen in allen untersuchten Kategorien führt.

Aufgrund von Vorgaben im Strassenverkehr, ist zudem eine Maximalhöhe von 4m einzuhalten. Daraus ergibt sich eine Beschränkung hinsichtlich der Anforderung an verdichtetes Bauen. Die Höhenbeschränkung kann dazu führen, dass als Ausgleich der Flächenverbrauch steigt. Zur Schaffung zusätzlichen Wohnraums auf bereits bebauten Parzellen, auf sehr kleinen Parzellen

oder bedingt als Ersatz eines Einfamilienhauses im ruralen Raum (wie hier gezeigt) können Kleinwohnformen der Typologie «Anhänger» jedoch auch zur (Nach-)Verdichtung beitragen.

Darüber hinaus schränkt die Mobilitätsanforderung die Auswahl an Technologien zur Wärmeerzeugung ein. Standortgebundene Technologien, wie Erdsonden-Wärmepumpen und Anschlüsse an Fernwärmenetze, die als vergleichsweise ökologisch nachhaltig gelten, entsprechen diesen Mobilitätsanforderungen in den meisten Fällen nicht. Selbst wenn es denkbar wäre, Anhänger an eine derartige Wärmeerzeugung temporär anzuschliessen, so wäre bei einem Standortwechsel der erneute Anschluss an ein ähnliches System Voraussetzung. Technologien, die den Mobilitätsanforderungen genügen, weisen dagegen häufig erhöhte Umweltbelastungen auf – z. B. durch Emissionen von CO₂ (Gasheizung mit Glasflaschen), Feinstaub (Stückholzofen) oder Lärm (Luftwärmepumpen) – oder deren Verwendung ist gesetzlich untersagt (Elektrodirektheizungen).

4. Grundannahmen zur Modularität führen zu erhöhtem Materialaufwand.

Gemäss unserer Annahme zum «Vorgefertigten Modul» lassen sich die Module auch einzeln anordnen, nicht nur in der additiven Weise, wie wir sie in unserer Beispielrealisierung geplant haben. Hintergrund dieser Annahme ist, dass eine Wiederverwendung der Module an einem anderen Ort ermöglicht werden soll. Da dort andere Gegebenheiten erwartet werden müssen, sollte auch die Anordnung der Module flexibel gestaltet werden können. Dies führt zur Annahme eines erhöhten Materialaufwands, was sich in allen drei Wirkungskategorien negativ niederschlägt.

Sollte diese Art Modularität nicht erforderlich sein, könnte diese Materialredundanz deutlich minimiert werden. Auch könnte unsere Annahme falsch sein und die Modularität nur zum Zwecke der Vorfertigung in der Produktionshalle und der Anlieferung geschuldet sein – letztlich zur Reduktion der Erstellungskosten – dann wäre der höhere Materialaufwand ohnehin nicht gegeben. Beides würde dazu führen, dass sich das «Vorgefertigte Modul» bezüglich ökologischer Nachhaltigkeit dem «Apartment» annähert bzw. seinen Vorsprung in Bezug auf das Treibhauspotenzial ausbaut.

5. Nachhaltigeres Leben in Kleinwohnformen ist möglich.

Wie eingangs in Abbildung 1 gezeigt, erwarten die Befragten überwiegend, nach dem Umzug in eine Kleinwohnform ökologisch nachhaltiger zu leben. Für den Fall des Umzugs von einem Einfamilienhaus in eine der untersuchten Kleinwohnform-Typologien würde das zutreffen. Hinzu kommt, dass an Kleinwohnformen Interessierte grossen Wert auf nachhaltige Materialien und deren Langlebigkeit legen. Abbildung 30 zeigt auf, dass 73% bzw. 80% der Befragten diese Aspekte als tendenziell wichtiger ansehen als Kosteneinsparung. Gleichzeitig gibt die überwiegende Mehrheit von 82% an, dass Wohnkosten primär kostengünstig sein sollten.

Daraus können zwei Erkenntnisse gewonnen werden: Erstens besteht bei knapp der Hälfte der Schweizer Bevölkerung eine gewisse Nutzungsbereitschaft für Wohnformen mit massiv reduzierter Wohnfläche (Seiler Zimmermann et al., 2023) (Suffizienz), was mit den untersuchten Typologien im Vergleich zum EFH im ruralen Raum bereits zu einem nachhaltigeren Wohnen führt. Zweitens ist ein Grossteil dieser Personen zusätzlich bereit, einen Teil der durch Wohnraumreduktion eingesparten Kosten in nachhaltigere und langlebigere Materialien zu investieren, was je nach Art des Produkts und der Verarbeitung zu einer weiteren Verbesserung der ökologischen Nachhaltigkeit führen kann.

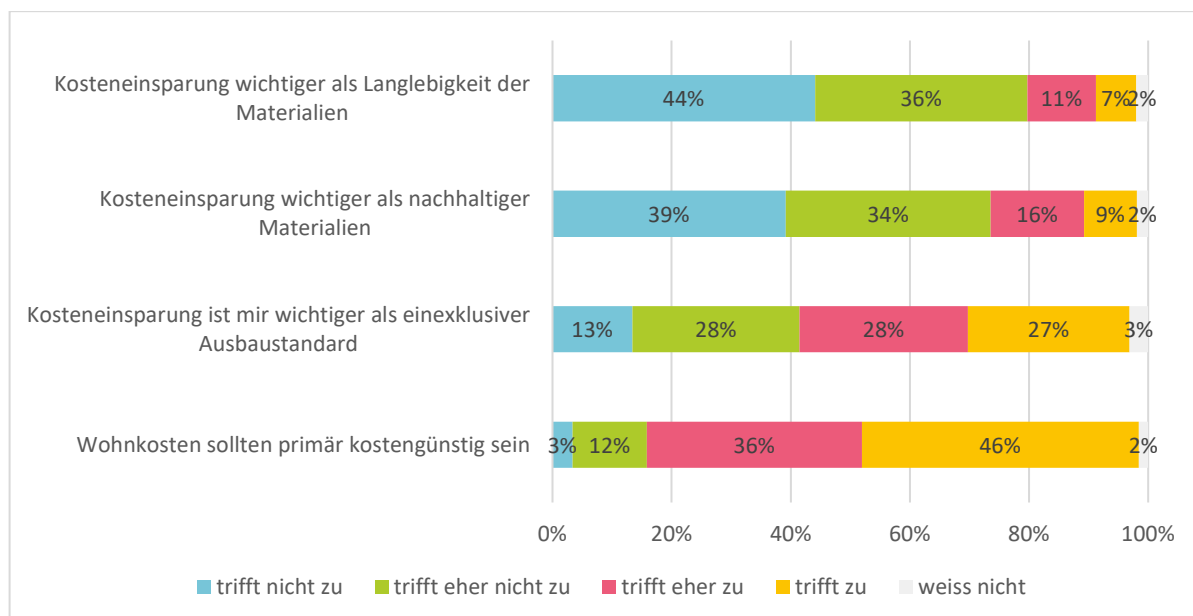


Abbildung 30: Präferenzen im Spannungsfeld Kostenreduktion und Nachhaltigkeit

5.2 Limitationen

5.2.1 Materialien

In unserer Untersuchung haben wir auf die Materialisierung realer Projekte zurückgegriffen. Aus unserer Sicht repräsentieren die verwendeten Beispiele die Typologien hinsichtlich Grundrisse und Materialisierung gut. Nichtsdestotrotz verändert sich der Bausektor derzeit stark, wodurch immer nachhaltigere Materialien Verbreitung finden. So lässt sich mit Recyclingbeton oder mit anderen Zusatzstoffen (z. B. Pflanzkohle) das Treibhauspotenzial von Beton deutlich senken.

5.2.2 Wiederverwendung

Auch die Wiederverwendung und/oder Aufbereitung von Bauteilen (z. B. Holzbalken, Fenster) bietet Potenzial für die Senkung der Umweltbelastung. Das Thema ist sehr aktuell in der Baubranche, jedoch existieren derzeit noch kaum am Markt etablierte Produkte, sodass deren Einsatz auf wenige Pilotprojekte begrenzt ist. Hier ist aber für die Zukunft eine Verbreitung zu erwarten. Dies sollte sich schliesslich auch in der Ecoinvent-Datenbank niederschlagen, sodass dieser Aspekt in zukünftige Berechnungen einfließen kann.

5.2.3 Lebensdauer

Bei der Annahme der Lebensdauer haben wir, wo möglich, auf Standardwerte zurückgegriffen. Zu den Typologien «Anhängler» und «Vorgefertigtes Modul» liegen jedoch keine belastbaren Erfahrungswerte vor. Es ist durchaus denkbar, dass auch diese Typologien über 50 Jahre statt den angenommenen 25 Jahren genutzt werden können. Hierzu braucht es weitere Forschung, vor allem Langzeituntersuchungen und End-of-Life-Untersuchungen. Eine Verlängerung der angenommenen Lebensdauer dieser beiden Typologien würde sie bezüglich ökologischer Nachhaltigkeit den Typologien «Festes Haus» und «Apartment» stark annähern.

5.2.4 Heizwärmebedarf

Auch den Heizwärmebedarf haben wir beim «Anhänger» und beim «Vorgefertigten Modul» ungünstiger angenommen als bei den übrigen Typologien. Beide Typologien sind (teil-)mobil und unterliegen somit Grössenbeschränkungen, um im Strassenverkehr bewegt werden zu dürfen. Wir haben angenommen, dass diese Limitation auf Kosten der Wärmedämmung geht und somit die Wärmeverluste höher sind als bei den immobil Typologien. Die Verwendung von Hochleistungsdämmstoffen und die Maximierung der solaren Gewinne können jedoch zu einem wesentlich niedrigeren Heizwärmebedarf führen.

Hochleistungsdämmstoffe widersprechen jedoch häufig dem in Abbildung 30 gezeigten Wunsch nach nachhaltigen Materialien. Solare Gewinne hingegen sind sehr standortabhängig. Für den Standort Buttisholz LU ist z. B. im Winter mit geringerer Sonneneinstrahlung zu rechnen als im Gebirge. Letztlich ist der tatsächliche Heizwärmebedarf stark abhängig von der Nutzung der Gebäude. Ob es prinzipielle Nutzungsunterschiede (Belegung, Art und Dauer der Lüftung, Raumtemperatureinstellung usw.) zwischen den Typologien gibt, ist derzeit unerforscht.

5.2.5 Grundrisse und Belegung

Für unsere Untersuchung haben wir auf Originalgrundrisse der ausgewählten Typologie-repräsentantinnen zurückgegriffen. Um die Anzahl der Bewohner:innen zu ermitteln, haben wir uns auf die Befragungsergebnisse («Anhänger» und «Vorgefertigtes Modul») sowie auf unsere Definition von Kleinwohnformen bezüglich Wohnfläche pro Person («Festes Haus» und «Apartment») gestützt. Die Grundrisse unserer Typologierepräsentantinnen sind jedoch nicht auf unsere Definition von Kleinwohnformen hin optimiert.

Eine Belegung durch zwei Personen für eine 1-Zimmer-Cluster-Wohnung mit ca. 34 m² bzw. drei Personen für eine 1-Zimmer-Wohnung im «Festen Haus» mit ca. 51 m² ist in Bezug auf die Quadratmeter Wohnfläche durchaus realistisch. In Bezug auf die Anzahl Zimmer gehen wir allerdings davon aus, dass eine tiefere durchschnittliche Belegung realistischer ist. Zukünftige Forschung könnte für diese Typologien Grundrisse entsprechend der maximalen Wohnfläche pro Person nach unserer Kleinwohnform-Definition (siehe Abschnitt 2.1) entwickeln und die entsprechenden Umwelteinwirkungen in einer weiterführenden Ökobilanz-Fallstudie vergleichen.

5.2.6 Referenztypologie

In unserer Fallstudie haben wir anhand des uns vorliegenden Bauzonenreglements, einer Quartieranalyse und einer Besichtigung der Nachbarschaft vor Ort das Einfamilienhaus als erwartbare Bebauung der betreffenden Parzellen in Buttisholz LU angenommen. Nach Abschluss unserer Auswertungen wurden wir darauf hingewiesen, dass aufgrund geänderter Regelungen in Zukunft eher Mehrfamilienhäuser erwartet werden. Das Mehrfamilienhaus ist für weitere Untersuchungen sicherlich eine sehr interessante Referenztypologie.

5.2.7 Übertragbarkeit auf urbanen Raum

Auch für die Übertragbarkeit unserer Erkenntnisse vom ländlichen in den urbanen Raum bedarf es eines Vergleichs von Kleinwohnform-Typologien mit einem Mehrfamilienhaus. Letzteres ist hier die vorherrschende Typologie, während Einfamilienhäuser selten und meist nur in der Agglomeration zu finden sind. Eine Fallstudie im urbanen Raum mit der Referenztypologie Mehrfamilienhaus würde sich daher anbieten und verspricht neue, interessante Erkenntnisse zur ökologischen Nachhaltigkeit von Kleinwohnformen.

5.2.8 Bodenverbrauch

Die Methode der ökologischen Knappheit, die hier angewendet wird, und unsere Modellierung berücksichtigt die benötigte Landfläche zur Produktion der Baumaterialien sowie Fläche an besetztem Bauland. Dieses Land steht durch die Nutzung für die Produktion sowie durch die Bebauung nicht mehr für ökologisch wertvollere Nutzungen zur Verfügung. Dies führt in unserer Berechnung zu zusätzlichen Umweltbelastungspunkten.

Nicht berücksichtigt werden in unserer Studie weitere wichtige Faktoren des Baulandverbrauchs, beispielsweise aus raumplanerischer Sicht. Solche Betrachtungen gehen über eine Ökobilanzierung hinaus und werden daher hier ausgeklammert.

6 Schlussfolgerungen

Das mediale Interesse insbesondere an Tiny Houses und unsere Befragungsergebnisse zu Kleinwohnformen in der Schweiz deuten darauf hin, dass eine Nachfrage nach Kleinwohnformen besteht. Dabei wird solchen Kleinwohnformen (KWF) oft ökologische Nachhaltigkeit unterstellt.

Diese Fallstudie hatte zum Ziel, das Nachhaltigkeitspotenzial verschiedener KWF-Typologien im Vergleich zu einer Referenztypologie im ländlichen Raum in der Schweiz zu ermitteln. Die fünf untersuchten KWF-Typologien mit ihren jeweiligen Repräsentantinnen schneiden ökologisch besser ab, verglichen mit der Referenztypologie des Einfamilienhauses (EFH). Zwischen den KWF-Typologien gibt es jedoch grosse Unterschiede.

Das «Feste Haus» und das «Apartment» stellten sich verglichen mit dem EFH als ökologisch nachhaltiger heraus, während die Typologien «Anhänger» und «Vorgefertigtes Modul» sich zwischen diesen und dem «Einfamilienhaus» ansiedeln. Die bestehenden Unsicherheiten in einigen Annahmen, wie Lebensdauer, Heizwärmebedarf und Belegung, sollten in weiteren Forschungsarbeiten einer kritischen Prüfung unterzogen werden.

Eine genaue Betrachtung zeigt, dass die eher konservativen Annahmen bezüglich Lebensdauer und Heizwärmebedarf bei den Typologien «Anhänger» und «Vorgefertigtes Modul» als zu streng bewertet werden können, während die Annahme bezüglich der Belegung des «Festen Hauses» zu optimistisch scheint. Eine Überprüfung und Verfeinerung der Annahmen könnte zu einer klareren Einschätzung der ökologischen Nachhaltigkeit der verschiedenen Kleinwohnformen führen.

Die Unsicherheiten bezüglich der Annahmen für die Typologie «Apartment» und unsere Referenztypologie, das «Einfamilienhaus», sehen wir aufgrund der guten Datenlage als deutlich geringer. Somit gehen wir davon aus, dass für den gegebenen Fall das «Apartment» die ökologisch nachhaltigste Alternative ist, während die übrigen KWF-Typologien allesamt ebenfalls deutlich nachhaltiger sind als das «Einfamilienhaus» und – abhängig von der Realisierung – ähnlich nachhaltig sein können wie das «Apartment».

Weiterführende Forschung sollte sich nun mit den genannten Unsicherheiten befassen und versuchen, für die getroffenen Annahmen belastbare Daten auf wissenschaftlicher Basis zu gewinnen. Teilweise können solche Daten jedoch erst empirisch ermittelt werden, wenn KWF weiterverbreitet sind. Auch wird die Relevanz ihrer ökologischen Nachhaltigkeit erst grösser, wenn auch die Verbreitung zunimmt. Darüber hinaus sollte die Forschung auf den urbanen Raum ausgeweitet und ein Vergleich mit der Referenztypologie des Mehrfamilienhauses gezogen werden. Im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes (SWEET Lantern) finden an der HSLU weiterführende Studien statt, die auf den hier gewonnenen Erkenntnissen aufbauen und einige der beschriebenen Limitationen dieser Studie überwinden sollen.

Aufgrund ihrer Suffizienz durch teils drastische Reduzierung des Wohnflächenverbrauchs bieten die untersuchten KWF-Typologien (zumindest im ländlichen Raum als Alternative zum EFH) für die Schweiz ein Potenzial für ökologisch nachhaltiges Wohnen.

Literaturverzeichnis

Bundesamt für Statistik. (26. September 2023). *Gebäude- und Wohnungsstatistik 2022*, Bundesamt für Statistik.

DIN. (2014). *DIN 18101:2014-08 – Türen – Türen für den Wohnungsbau – Türblattgrößen, Bandsitz und Schlosssitz – Gegenseitige Abhängigkeit der Maße*.
<https://dx.doi.org/10.31030/2148847>.

EnergieSchweiz. (2021). *Faktenblatt – Stromverbrauch eines typischen Haushalts*.

Gemeinde Buttisholz. (2021). *Bau- und Zonenreglement*.

Genossenschaft Kalkbreite. (2014). *Projektdokumentation 2014 - Die Kalkbreite – Ein neues Stück Stadt*.

Hooper, N., Moreno-Beals, M., Altschul, D., & Buchholz, K. (2019). *Tiny Houses, Big Potential – Affordable and Sustainable Housing Solutions for Michigan Communities*.

Imhof Odinga AG. (2018). *Buttisholz – Quartieranalysen*.

Konferenz Kantonalen Energiedirektoren. (2015). *Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) – Ausgabe 2014*.

Lamster, J., & Dürler, G. (2015). *Graue Energie/Treibhausgasemissionen Wohn- und Gewerbebau Kalkbreite*.

Lavagna, M., Baldassarri, C., Campioli, A., Giorgi, S., Dalla Valle, A., Castellani, V., & Sala, S. (2018). Benchmarks for environmental impact of housing in Europe: Definition of archetypes and LCA of the residential building stock. *Building and Environment*, 145, 260–275. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.008>.

Minergie Schweiz. (9. Februar 2017). *Produktreglement zu den Gebäudestandards Minergie/Minergie-P/Minergie-A – Version 2017.2*.

Nipkow, J. (2013). *Typischer Haushalt-Stromverbrauch*. Bundesamt für Energie BFE.

Saxton, M. W. (2019). *The Ecological Footprints of Tiny Home Downsizers: An Exploratory Study*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10711.73123>.

Schulze, W., & Wenger, A. (2022). *Fact Sheets Kleinwohnformen – Energieeffizienz*. Verein Kleinwohnformen

Seiler Zimmermann, Y., Keller, F., Lutz, S., Bucher, F., Leitner, K., Weiss, S., & Franke, J. (2023). *Kleinwohnformen: Wohn- und Lebensraum mit Potenzial? Deskriptiver Überblick Schweiz*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10158544>.

SRL Nr. 735 – Planungs- und Baugesetz (2021).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Welche Aussage trifft am ehesten auf Sie zu?.....	2
Abbildung 2: Umgebung der untersuchten Parzellen in Buttisholz LU	6
Abbildung 3: Beispielrealisierung «Apartment» nach Kalkbreite	11
Abbildung 4: Materialisierung Dach, nicht begehbar, «Apartment» nach Kalkbreite	12
Abbildung 5: Materialisierung Dach, begehbar, «Apartment» nach Kalkbreite	12
Abbildung 6: Materialisierung Geschossdecke, «Apartment» nach Kalkbreite	12
Abbildung 7: Materialisierung Fundament und Bodenaufbau, «Apartment» nach Kalkbreite	13
Abbildung 8: Materialisierung Aussenwand, «Apartment» nach Kalkbreite.....	13
Abbildung 9: Materialisierung Innenwand Leichtbau, «Apartment» nach Kalkbreite	13
Abbildung 10: Beispielrealisierung «Festes Haus» nach Tiny Homes Zollikerberg.....	14
Abbildung 11: Materialisierung Aussenwand, Beton, «Festes Haus» nach Zollikerberg	15
Abbildung 12: Materialisierung Aussenwand, Mauerwerk, «Festes Haus» nach Zollikerberg	16
Abbildung 13: Beispielrealisierung «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO	17
Abbildung 14: Materialisierung Dach (Decke), «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO	18
Abbildung 15: Materialisierung Bodenaufbau, «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO	18
Abbildung 16: Materialisierung Aussenwand, «Vorgefertigtes Modul» nach FOGO	19
Abbildung 17: Beispielrealisierung «Anhänger» nach Tiny House Immergrün.....	20
Abbildung 18: Materialisierung Dach, «Anhänger» nach Tiny House Immergrün.....	21
Abbildung 19: Materialisierung Bodenaufbau, «Anhänger» nach Tiny House Immergrün	21
Abbildung 20: Materialisierung Aussenwand, «Anhänger» nach Tiny House Immergrün	21
Abbildung 21: Beispielrealisierung Referenz «Einfamilienhaus» nach Stadtvilla Nurda	22
Abbildung 22: Materialisierung Dach, «Einfamilienhaus»	23
Abbildung 23: Materialisierung Aussenwand, «Einfamilienhaus»	24
Abbildung 24: Materialisierung Geschossdecke, «Einfamilienhaus»	24
Abbildung 25: Vergleich Treibhauspotenzial.....	25
Abbildung 26: Vergleich der Beiträge der einzelnen Baugruppen zum Treibhauspotenzial ...	26
Abbildung 27: Vergleich kumulierter Primärenergiebedarf.....	27
Abbildung 28: Vergleich der Umweltbelastungen	27
Abbildung 29: Vergleich Anteile Einflussfaktoren an Umweltbelastungspunkten.....	28
Abbildung 30: Präferenzen im Spannungsfeld Kostenreduktion und Nachhaltigkeit	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Stromverbrauch typischer Haushalte.	9
Tabelle 2: Daten Beispielrealisierungen.....	10
Tabelle 3: Daten Beispielrealisierung «Apartment»	11
Tabelle 4: Daten Beispielrealisierung «Festes Haus»	15
Tabelle 5: Daten Beispielrealisierung «Vorgefertigtes Modul»	16
Tabelle 6: Daten Beispielrealisierung «Anhänger»	20
Tabelle 7: Daten Beispielrealisierung «Einfamilienhaus»	23

Autor:innen



Felix Bucher
Senior
Wissenschaftlicher
Mitarbeiter

felix.bucher@hslu.ch

Forschungsschwerpunkte

Nachhaltigkeit innovativer Wohnformen,
Kleinwohnformen, Sharing-Wohnen,
Zwischennutzung, Ökobilanzierung, Life
Cycle Assessment

[Link zum Personalprofil](#)



Fabienne Keller
Wissenschaftliche
Mitarbeiterin

fabienne.keller@hslu.ch

Forschungsschwerpunkte

Nachhaltigkeit innovativer Wohnformen,
Ökobilanzierung, Life Cycle Assessment,
Sharing Economy, Message Framing,
Motivationstheorien

[Link zum Personalprofil](#)



Dr. Sc. Yannick
Hollenweger

y.hollenweger@integag.ch

Forschungsschwerpunkte

Ökobilanzierung, Life Cycle Assessment

Danksagung

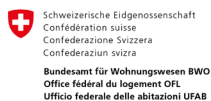
Für die finanzielle Unterstützung dieser Studie danken wir Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung und dem ITC «Raum & Gesellschaft» der Hochschule Luzern sowie unseren Umsetzungspartner:innen:

Hawa Sliding Solutions AG
Genossenschaft Kalkbreite
Bau- und Wohngenossenschaft Kraftwerk1
Stadtentwicklung Zürich
Maria und Heinrich Th. Uster-Stiftung
Acht Grad Ost AG
Uster AG Planer Architekten Immobilienreuhänder
Metron Architektur AG
Verein Kleinwohnformen Schweiz
Bundesamt für Wohnungswesen
Basellandschaftliche Kantonalbank (BLKB)
Marion Burkhardt Architektin + Baubiologin
René Hodel und Flavia Fluor

Besonderer Dank geht an die Acht Grad Ost AG für die Erstellung der Grundrisspläne unserer Beispielrealisierung sowie an Genossenschaft Kalkbreite, Kollektiv Winzig, hoffmannfontana architekturen GmbH und UTO Real Estate Management AG für die freundliche Bereitstellung von Bauplänen und Daten.

Disclaimer

Die vorliegende Studie enthält Annahmen und Schlussfolgerungen, die die Autor:innen nach bestem Wissen getroffen haben. Diese müssen nicht notwendigerweise mit den Auffassungen der Umsetzungspartner:innen übereinstimmen. Für den Inhalt dieser Studie ist die HSLU verantwortlich.



**Hochschule Luzern
Technik & Architektur**
Technikumstrasse 21
6048 Horw

T +41 41 349 33 11
technik-architektur@hslu.ch
hslu.ch/technik-architektur

**Hochschule Luzern
Soziale Arbeit**
Werftstrasse 1
6002 Luzern

T +41 41 367 48 48
sozialearbeit@hslu.ch
hslu.ch/soziale-arbeit

**Hochschule Luzern
Wirtschaft**
Zentralstrasse 9
6002 Luzern

T +41 41 228 41 11
wirtschaft@hslu.ch
hslu.ch/wirtschaft

