



M13

Masterarbeit

Minimalist House

Die Entwicklung eines nachhaltigen Wohnkonzeptes

Sabrina Sommer

Stefan Schröder

Studiengang: Energie Effizienz Design E2D

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Christian Bauriedel
Prof. Dipl.-Ing. Michael Schmidt
Hochschule Augsburg

Ausgabetermin: 20.09.2019

Abgabetermin: 20.02.2020

Kurzfassung

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit war es, ein Konzept für ein Ein-/Mehrfamilienhaus zu entwickeln, welches sowohl auf ökologischer, ökonomischer als auch sozialer Ebene auf Einflussfaktoren und Problemstellungen eingeht, und damit einen ganzheitlichen Lösungsansatz formuliert. Dazu wurden zunächst auf der Basis von einer umfassenden Literatur- und Internetrecherche die Probleme definiert und eigene Ziele gesetzt, auf deren Lösung mit Hilfe von vergleichenden Analysen hingearbeitet wurde. Dabei wurden die einzelnen Bauteile und Ideen unter den genannten drei Aspekten der Nachhaltigkeit untersucht.

Zunächst wurde durch eine Studie typischer Bauten im Alpenvorland eine Architektursprache entwickelt, welche sich durch Form und Material sehr gut in die Umgebung einfügt. Auf die Probleme der zunehmenden Altersarmut, der steigenden Mieten und Immobilienpreise, sowie der Flächenversiegelung wurde mit optimierten Grundrissen reagiert, welche durch ihre geringe Fläche auch weniger Kosten verursachen. Damit werden ebenso dem hohen Materialverbrauch und der Ressourcenverschwendung gegengesteuert, was durch die Verwendung von nachhaltigen und natürlichen Materialien weiter eingedämmt werden kann. Diese speichern zudem CO₂ und können nach ihrer Lebensdauer wiederverwertet werden. Hohem Kosten- und Wartungsaufwand durch Anlagentechnik wird durch passive Systeme und den geringen Einsatz von Haustechnik entgegengewirkt.

Die starren Gebäude und deren fixe Nutzung ermöglichen Umnutzungen nur durch schwerwiegende Eingriffe in die Bausubstanz. Daher wurde ein Konzept entwickelt, welches durch seine Modularität und interne Flexibilität auf verschiedenste Nutzungsszenarien reagieren kann und sich den Anforderungen entsprechend anpassen und erweitern kann. Dadurch werden langlebige Gebäude geschaffen, welche sich durch die Flexibilität und daraus entstehenden Vermietungsszenarien auch leichter finanzieren lassen. Das so entstandene nachhaltige und qualitativ hochwertige Gebäudekonzept lässt sich somit von Jedermann realisieren und passt sich dem Leben des Nutzers an.

Abstract

Minimalist House - The development of a sustainable housing concept

The aim of the present master thesis was to develop a concept for a single-family house or apartment building that addresses influencing factors and problems on an ecological, economic and social level and thus formulates a holistic approach to solving them. For this purpose, the problems were first defined on the basis of a comprehensive literature and internet research and individual goals were set, which were then worked towards with the help of comparative analyses. The individual components and ideas were examined under the three aspects of sustainability mentioned above.

First of all, a study of typical buildings in the Alpine foothills was carried out to develop an architectural language that blends in very well with its surroundings through form and material. The problems of increasing poverty among the elderly, rising rents and real estate prices, as well as the sealing of surfaces were reacted to with optimized floor plans, which also cause less costs due to their small surface area. This also counteracts the high material consumption and waste of resources, which can be further reduced by using sustainable and natural materials. These also store CO₂ and can be recycled after their service life. High costs and maintenance expenditure due to plant technology is counteracted by passive systems and the low use of building services.

Rigid buildings and their fixed use allow conversions only through serious interference with the building fabric. Therefore, a concept was developed which, due to its modularity and internal flexibility, can react to the most diverse usage scenarios and can be adapted and expanded according to requirements. This creates long-lasting buildings which are easier to finance due to the flexibility and the resulting rental scenarios. The resulting sustainable and high-quality building concept can thus be realized by anyone and adapts to the life of the user.

Inhaltsverzeichnis

1.	Hintergrund, Motivation und Ziel	5
2.	Rückblick.....	6
2.1.	Grundlagen	6
2.2.	Das Konzept.....	7
3.	Material und Methoden	8
4.	Konzepterarbeitung Minimalist House	9
4.1.	Bauen mit Holz im Wandel der Zeit	9
4.2.	Die Baukultur im Alpenvorland	10
4.2.1.	Die Scheune	12
4.2.2.	Analyse von Scheunen im Alpenvorland.....	13
4.2.3.	Anwendung der Merkmale auf unser Konzept.....	19
4.3.	Materialien und deren Vor- und Nachteile	20
4.3.1.	Die Gründung	20
4.3.2.	Die Außenwand.....	23
4.3.3.	Die Zwischendecke.....	29
4.3.4.	Das Dach.....	33
4.4.	Anwendung auf System und Funktionen.....	38
4.4.1.	Vorfertigung und Modularität	38
4.4.2.	Flexible Grundrisse und deren Kombinationsmöglichkeiten	41
4.4.3.	Schnitte	50
4.4.4.	Details	51
4.4.5.	Flächeneffizienz.....	55
4.4.6.	Energieeffizienz	56
4.5.	Kosten und Finanzierung.....	61
4.5.1.	Finanzierungsszenario.....	61
4.5.2.	Zuschüsse und günstige Kredite.....	62
4.5.3.	Kosten	62
5.	Darstellung der Ergebnisse.....	64
6.	Schlussfolgerung und Ausblick.....	65
7.	Literatur	66

1. Hintergrund, Motivation und Ziel

Die im Rahmen des Studiums EED an der HS Augsburg durchgeführte Masterarbeit besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil diente der Klärung der Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren auf den Einfamilienhausbau. Die dadurch geschaffene Grundlage ermöglichte erste Entscheidungen im Hinblick auf die Optimierung des Minimalist House.

In dem hier beschriebenen zweiten Teil werden folglich die getroffenen Entscheidungen weiter spezifiziert und ausgearbeitet, um das Minimalist House auf Ausführungsplanungsstand zu heben und genaue Aussagen über den Erfolg des Konzeptes ausformulieren zu können.

Der Hintergrund dieser Arbeit wurde bereits im ersten Teil ausführlich dargelegt und wird hier kurz skizziert.

Der Bau von Ein- und Mehrfamilienhäusern hat in den letzten Jahren stark zugenommen, und das nicht grundlos. Die Angst vor Altersarmut wächst und viele Bauherren erachten es als sinnvolle ein Eigenheim als Grundsicherung zu errichten. Hohe Kredite und Immobilienpreise und die damit verbundenen Langzeitverschuldungen sind für viele eine hohe Belastung und nicht für Jedermann bewältigbar. Steigende Mieten verstärken zudem den Wunsch nach einem Eigenheim. Die mangelnde Flexibilität der Grundrisse sowie eine eingeschränkte Barrierefreiheit der Bestandsimmobilien stellen dabei ein weiteres Problem dar. Das Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, ein Produkt zu entwickeln, welches auf die Bedürfnisse und Möglichkeiten eines jeden Bauherrn eingeht.

Neuer überbauter Raum bedeutet jedoch auch die Zunahme der versiegelten Flächen. Diese haben starke Auswirkungen auf Böden und Umwelt. Die Vermeidung dieser ist nur durch eine flächeneffiziente Planung des Hauses und einer versickerungsoffenen Außenanlagenplanung möglich.

Problematisch dabei ist auch, der zunehmende Verlust der Baukultur. Die Gemeinden wünschen sich einen Einwohnerzuwachs und schnüren ihre Bebauungspläne deshalb recht locker, um möglichst viele Neubürger anwerben zu können. Ihnen wird damit die Möglichkeit gegeben, ihren Traum vom Toskana- oder Schwedenhaus mit günstigen Fertighausbauern zu realisieren. Aus dieser Politik heraus entstehen bunte Neubausiedlungen, die weder in das Stadt- noch in das Landschaftsbild passen. Es gilt somit den Bauherren zu zeigen, dass eine Rückbesinnung auf die traditionellen Bauweisen nicht gleichbedeutend mit altbackenen, unmodernen und unpraktischen Gebäuden ist.

Ein letzter Aspekt unserer Arbeit zielt darauf ab, auch im Hausbau die Belastung der Umwelt durch dessen Herstellung miteinzubeziehen. Eine Abwägung des Materialaufwandes und den im Betrieb erzeugten Kosten soll nach dem Motto „so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig“ realisiert werden. Komplexe Anlagentechnik oder

Anwendungen die den Nutzer überfordern sind dabei nicht nur kosten- und wartungsintensiv, sondern bergen auch ein potenzielles „Fehlverhalten“ der Nutzer. In diesem Zusammenhang spielen besonders regenerative Materialien und Energieträger eine bezeichnende Rolle, um das Haus der Zukunft beschreiben zu können. Eine Berücksichtigung der Lebensdauerdaten und des anfallenden Primärenergiebedarfs bei der Herstellung, sowie eine einwandfreie Anwendung durch konstruktiv durchdachte Ausführungen, stehen deshalb im Fokus der Planung.

Ziel ist es somit durch die umfassende Beleuchtung der Probleme zu einem ganzheitlichen Konzept zu gelangen, das auf die Wünsche der Bauherren eingeht, flächeneffizient, flexibel, kostengünstig und nachhaltig herstellbar und wieder rückbaubar ist, ohne dabei die regionale Baukultur aus den Augen zu verlieren.

2. Rückblick

Im ersten Teil der Arbeit wurde mit Hilfe einer ausgiebigen Internet- und Literaturrecherche eine Marktanalyse durchgeführt, welche umfassende Antworten auf die Frage „Wer baut wo wie und was?“ gibt. Das nachfolgend erarbeitete Konzept, baut auf dem ersten Teil der Arbeit auf. Dieses Kapitel gibt dazu einen kurzen Überblick.

2.1. Grundlagen

Das Ergebnis der Frage nach dem „Wo“ beschreibt, dass zunehmend attraktive Leben auf dem Land. Neue Arbeitskonzepte, die „Work-Life-Balance“ aktiv unterstützen und „Home-Office“ anbieten, veranlassen die Bevölkerung ihren Wohnort wieder mehr im Grünen zu suchen und zu gestalten. Es wird jedoch noch mehr gekauft als selbst gebaut wobei dieser Trend, durch die steigende Popularität der Fertighäuser, bereits rückläufig ist. Die schnelle Montage sowie ein hoher Vorfertigungsgrad und die damit verbundene Preissicherheit, veranlassen immer mehr Menschen sich den Traum vom Eigenheim zu erfüllen. Auch die damit verbundenen Vorteile einer flexiblen Gestaltung der Wohnräume erfreuen sich einem zunehmend hohen Bekanntheitsgrad. Konzepte zur Steigerung der Flexibilität wie beispielsweise Seniorenwohngemeinschaften und Singlewohnungen für Studenten oder eine Kombination aus beidem findet derzeit Anklang bei Mietern. Dies führt auch dazu, dass Investoren in neue Wohnkonzepte investieren.

Der „kleine Mann“ mit geringem Kapital weiß sich bereits zu helfen und verwirklicht sich in „Tiny-Häusern“. Sie sind übersichtlich gestaltet und bedeuten zudem einen geringen Haushaltsaufwand und weniger Platz für Überflüssiges. Den Vorteil vom einfachen Standortwechseln können die Tiny-Häuser in Deutschland leider noch nicht ausspielen, denn das Baurecht greift auch bei kleinen Wohnräumen in vollem Umfang, womit ein Bauantrag bei jedem Umzug fällig wird. Co-Housing mit Selbstversorgungskonzepten erfreuen sich derweil ebenfalls größerer Beliebtheit. Nachhaltig wohnen und in einer

selbst gewählten Nachbarschaft leben ist für viele von großer Bedeutung. Sie organisieren sich selbst und bewirtschaften das Gelände fair und nachhaltig.

Das Gebäude der Zukunft soll somit für Alt und Jung, auf kleinerer Fläche gründen, flexibel und nachhaltig sein und für jeden Geldbeutel umsetzbar sein.

Die Umsetzung der Kosteneffizienz steht in besonderem Fokus. Zum einen können staatliche Förderungen, wie Baukindergeld und günstige KfW-Kredite, die einen gewissen energetischen Standard fordern, dabei helfen. Zum anderen kann auch das Haus selbst einen Beitrag dazu leisten, indem es durch flexible Grundrisse Teilvermietungen zulässt und sich damit zu einem Teil selbst refinanziert. Nach Tilgung des Kredites kann daher ein Profit erwirtschaftet werden, welcher zusätzlich zur Altersvorsorge beitragen kann. Bei Eigennutzung des Minimalist House können Flächen durch eine einfache Umgestaltung des Eingangsbereiches aktiviert und selbst genutzt werden. Bei erneuter Veränderung der Anforderungen an den Grundriss, kann diese Maßnahme einfach zurück gebaut werden.

Grundsätzlich jedoch stellt der Grundpreis bei dem Bau eines Hauses einen entscheidenden Faktor dar, denn 20 bis 30% Eigenkapital sind erforderlich, um die oben genannten Kredite überhaupt beantragen zu können.

Eine Immobilie erwerben oder bauen kann man auf viele Weisen. In eigener Regie oder Schlüsselfertig, bis hin zum Produktkauf ist für jeden Bauherren ein passendes Angebot auf dem Markt vorhanden. Da unser Konzept sich nur ganzheitlich sinnvoll umsetzen lässt, ist die Realisierung in Form eines schlüsselfertigen Produktes angedacht.

2.2. Das Konzept

Ziel ist es, innovatives Wohnen zu gestalten, das auf die genannten Problemstellungen hinsichtlich der sozialen, ökologischen und ökonomischen Faktoren eingeht.

Auf dieser Grundlage wurden im ersten Teil vier Typen entwickelt, die sowohl flexible Grundrisse aufweisen, als auch regenerative Materialien und Energiesysteme ins Konzept mit einschließen. Durch das bereits erläuterte Refinanzierungskonzept durch Teilvermietung und der Fertigteilbauweise, lässt sich das Haus ökonomisch nachhaltig finanzieren. Die vier Typen gehen dabei in Größe und Ausstattung auf unterschiedliche Wünsche der Bauherren ein und bieten Platz für Singles, Paare, Familien oder ganze Generationen. Dabei kann eine Wahl zwischen integrierter Garage oder kostengünstigem Carport getroffen werden. Auch bei der Auswahl der Materialien wurde sowohl auf deren im ganzen Lebenszyklus betrachteten Nachhaltigkeit, als auch auf deren Zutrag zum Raumklima geachtet.

Alle Module bieten pro Geschoss mindestens einen offenen Wohn-Koch-Essbereich, ein Bad und ein Schlafzimmer. Das dritte Zimmer ergibt je nach Typ ein Kinderzimmer/Büro, oder einen Lagerraum/eine Speisekammer., Um die Philosophie des Minimalist House zu unterstreichen, keine Materialien für etwas aufzuwenden was nicht genutzt wird und somit nicht benötigt wird, und um die Kosten gering zu halten, wurde auf einen Keller bewusst verzichtet. Historisch hatte der Keller den Zweck zur Aufbewahrung von Lebensmitteln, welche im temperaturkonstanten Keller kühl gelagert werden konnten. Kein Keller bedeutet heute lediglich keine Lagerflächen für ausrangierte Dinge, die nur zum Verstauben und anschließender Entsorgung in den Räumen zwischengelagert werden. Das Haus soll sich ausstattungsstechnisch auf das Wesentliche konzentrieren, wobei durch die Konzeption mit Einbauschränken und –Küchen die zusätzlich benötigten Möbel auf ein Minimum reduziert werden. Durch die Festinstallation von Stauraum, ist ein Mieterwechsel mit geringerem Aufwand verbunden, da ein Großteil der Möbel nicht mit umzuziehen ist.

Um das Konzept zu komplettieren sollen die Gebäude in einem nachhaltigen Kontext stehen. So ist die Außenanlagenplanung mit versickerungsoffenen Zufahrten und Flächenversickerung des Dachwassers, sowie eine baukulturelle Einpassung ins Dorfbild mit Hilfe einer vorgehängten hinterlüfteten Fassade, angedacht. Die individuelle Verkleidung kann somit regional an die Umgebung angepasst werden. Die Grundkubatur der Häuser greift das traditionelle Satteldach auf, wobei die quadratischen Fensterelemente, modern und wohlproportioniert zum Kubus, das Gesamtkonzept abrunden.

Für eine erste Kostenkalkulation wurde ein Szenario an einem Ort im Alpenvorland ausgewählt. Hier ließen sich alle Häuser durch die geringe Fläche und mit geeigneten Zuschüssen und Zinsvergünstigungen bereits in 12,5 bis 15,5 Jahren refinanzieren. Die Amortisation ist hierbei natürlich stark abhängig von der Größe der vermieteten Flächen und der vom Bauherrn gewünschten Ausstattung. Die langsamste Refinanzierung erfährt das Modul mit den integrierten Garagen, da diese sehr flächenintensiv sind und in der Vermietung vergleichsweise nur wenig Rendite erzeugen.

3. Material und Methoden

In diesem zweiten Teil wird nun mit Hilfe einer Literatur- und Internetrecherche die Grundlage der Baukultur des Alpenvorlandes dargestellt, um ein Fassadenkonzept zu entwickeln, welches sich durch die Neuinterpretation modern in die Umgebung eingliedert. Die zuvor ermittelten Ergebnisse hinsichtlich der Konstruktion werden unter Beleuchtung der Kriterien Ökologie, Ökonomie und Soziales weiter spezifiziert, um den Konstruktionsaufbau der Gebäude festzulegen. Auch die Potenziale der Anlagentechnik werden untersucht. Zuletzt wird das Konzept, um eine maximale Flexibilität in der Anwendung im Innen- und Außenraum zu schaffen, durch intensive Grundrissarbeit so

weiterentwickelt, dass es beliebig kombinierbar und auf mögliche Anforderungen und Umgebungsgegebenheiten reagieren kann. Die dadurch entstehende Modularität kann sich dabei die Vorteile der Vorfertigung zu Nutze machen, welche sich langfristig auch positiv auf die Kosten der Gebäude übertragen. Abschließend ordnet eine Kostenberechnung das Gebäude, im Vergleich mit den Baukostenindizes, in einen Standard ein, welcher einen Anhaltspunkt zur tatsächlichen Refinanzierung liefert.

4. Konzepterarbeitung Minimalist House

Zur Konzepterarbeitung wird zunächst auf die Umgebung näher eingegangen. Da die vorangegangene Arbeit bereits zeigte, dass das Alpenvorland besonders beliebt bei der Grundstückwahl ist, konzentriert sich unsere Studie der Baukultur auf eben dieses Gebiet, um ein konkretes Gebäude entwickeln zu können.

4.1. Bauen mit Holz im Wandel der Zeit

Seit Jahrtausenden wird Holz als Rohstoff für Konstruktionen, Gerätschaften und Gebäude verwendet. Das Bauen mit Holz ist somit nicht nur Tradition, sondern neben Stein und Lehm auch der Ursprung des Bauens. Die Gründe dafür sind leicht nachzuvollziehen: es ist leicht zu beschaffen, leicht zu bearbeiten und bei der richtigen Verwendung sehr langlebig (Büren 1985). Den Anfang des Holzbaus beschrieben einfache Holzkonstruktionen im Naturkleid. Der Stamm und die Äste der Bäume wurden dafür nur wenig bearbeitet und mit einfachsten Mitteln verbunden. Der Zugang zu neuen Werkzeugen ermöglichte eine stärkere Bearbeitung des Rohstoffs. Über die Jahrhunderte hinweg führte uns dies schließlich zu Bauelementen wie Balken, Bohlen und Brettern. Die für die Gebäude benötigten Wände wurden mit Hilfe von Ständerkonstruktionen errichtet und ausgesteift. Füllmaterialien wie Stroh oder Lehm diente zur Ausfachung der Zwischenräume. Die Entwicklung hin zu den benötigten Flächen wurden immer präsenter, wobei uns die heutige Fertigungstechnik, mit passgenauen Zuschnitten und die Verbindung mit Leim oder Holzdübeln, die Herstellung von Holzflächen ermöglichen. Diese Flächen werden in Kreuzlagen verbunden und sind damit biegesteife Scheiben, welche Kräfte sowohl in horizontaler als auch vertikaler Richtung aufnehmen können. Zudem sind sie Konstruktion Luft- und Winddichtheitsschicht, Wärmedämmung und Witterungsschutz in einem. Sie vereinen thermische Speichermasse und Feuchteregulierung und schaffen ein angenehmes Raumklima. Schon heute könnten wir in Deutschland alle Gebäude aus Holz errichten, ohne die Wälder zu überlasten. Durch die Einspeicherung von CO₂ in der Konstruktion kann so ein erheblicher Beitrag im Kampf gegen den Klimawandel geleistet werden.

4.2. Die Baukultur im Alpenvorland

Im Alpenvorland prägten Höfe und Bauernhäuser das Landschaftsbild. Die Bauern selbst übernahmen die Rolle des Architekten und errichteten ihre Gebäude nach deren Ansprüche an die Funktion. Diese wurden zur Nutzung als Wohn- und Arbeitsstätten geschaffen, welche über Generationen hinweg Menschen und Tieren Schutz gewährten und wirtschaftliches, soziales und kulturelles Leben ermöglichten. Formen, Konstruktionen und Bautypologien entwickelten sich über die Funktion und waren der Topografie unterstellt und damit sehr unterschiedlich. Die Umsetzung erfolgte mit den damaligen technischen Möglichkeiten und den regional vorhandenen Rohstoffen. Dadurch haben die Bauten stets einen Bezug zum Ort und ihrer Umgebung. Die Gebäude wurden von ihren Besitzern immer in Stand gehalten und nach den sich ändernden Anforderungen weiterentwickelt. (Hörmann 2016). Die daraus entstehende Dauerhaftigkeit und Nachhaltigkeit, ebenso wie die Eingliederung in die Umgebung ist ein Vorbild für die hier entwickelte Arbeit.

Da das Gebiet des Alpenvorlandes sehr groß ist und sich, wie bereits beschrieben, über die Jahre sehr unterschiedliche Bauformen in verschiedenen Teilen der Region entwickelt haben, war es Ziel ein Element zu extrahieren, welches sich überall in der Region wiederfinden lässt. Das dort vor allem vorherrschende Baumaterial ist Holz und prägt damit das Landschaftsbild (vgl. Bild 1).



Bild 1: Holz am Wegesrand im Alpenvorland

Ein baukulturelles Element, welches sich durch alle Bereiche des Alpenvorlandes zieht, ist die Scheune (vgl. Bild 2). Diese unterscheiden sich nach Region, haben jedoch auch viele Gemeinsamkeiten. Um diese Unterschiede herauszuarbeiten und zu identifizieren wurden mehrere Exkursionen unternommen, in denen verschiedenste Scheunen zunächst mit Hilfe von Fotos dokumentiert wurden.

Die daraus erarbeiteten Merkmale und Systeme sollen folglich auf unser Konzept übertragen werden. Es folgt eine Analyse im geschichtlichen Kontext.



Bild 2: Blick in ein Tal im Alpenvorland.

4.2.1. Die Scheune

Eine Scheune ist per Definition ein landwirtschaftliches Gebäude, in dem Heu und Stroh gespeichert wird (Carstensen). Synonyme sind Schuppen, Scheuer, Schober, Stadel, Schüür, Schuir, Schopf oder Gade. Sie sind fast immer Teil eines Gehöfts, da sie der Aufbewahrung, Verarbeitung und Reinigung des Getreides dienten. Meist gibt es zwei Bereiche: die zur Aufbewahrung dienende Bansen und die zum Dreschen bestimmte Tenne, welche mit Bohlen belegt oder mit einem Lehm Boden ausgestattet war. Die Bansen befanden sich meist rechts und links von der Tenne. Durch Böden wird die Scheune horizontal in Bereiche unterteilt, die je nach Nutzung Lagerraum für Heu, Stroh oder Getreide bereitstellten. Fenster wurden selten angelegt, dafür ist der Innenraum offen bis ins Dach gestaltet, um für ausreichenden Luftwechsel zu sorgen. Große Scheunentore ermöglichen die Einfahrt mit großen Fahrzeugen. Diese sind in der Regel zweiflügelig oder als Schiebetor mit einfachen Scharnieren und Laufschiene ausgeführt. Die Scheunen sind meist Solitäre, jedoch war die Kombination von Wohnhaus, Stallung und Scheune ab dem 18. Jahrhundert keine Seltenheit.

Durch ihre einfache Konstruktion aus Lehm Boden, Steinsockel und Brettholzschalung war die Scheune mit minimalem Materialeinsatz auf ihre Nutzung ausgelegt. So wurden beispielsweise bei Schafscheunen höhere Steinsockel errichtet, um die Scheune von den gerne am Holz nagenden Schafen, sowie deren Exkrementen zu schützen. Trotz der Einfachheit sind Scheunen sehr langlebig. Heute stehen diese, Teils aus dem Spätmittelalter erhaltenen Bauten, unter Denkmalschutz, um diese auch für zukünftige Generationen zu erhalten (Wichmann und Ringhof 2014).

4.2.2. Analyse von Scheunen im Alpenvorland

Im Rahmen mehrerer Exkursionen im Alpenvorland wurden Scheunen fotografiert und dokumentiert, welche nun auf ihre bautypischen Merkmale hin untersucht werden. Anschließend werden diese auf das Konzept zu übertragen.

Wie in Bild 2 zu sehen, stehen die Scheunen meist als Solitäre frei. Es finden sich jedoch auch Scheunenviertel, welche aus Brandschutzgründen in einer physiognomischen zusammenhängenden Flur abseits der Dörfer errichtet wurden. Durch ihre einfache Konstruktion und schnelle Errichtung bedienen sie unterschiedlichste Nutzungen und sind auch schnell umzunutzen. Diese Flexibilität spricht den Scheunen eine lange Nutzungsdauer zu.



Bild 3: Scheune im Alpenvorland

Wie in Bild 3 deutlich zu sehen, wird die klassische Scheune aus unbehandeltem Nadelholz beplankt, welche mit der Zeit durch die Witterung versilbert. Die vertikale Lattung ist der Wasserfließrichtung entsprechend montiert. Die Schalung erfolgt einfach wie in Bild 3 oder winddicht wie in Bild 4 zu sehen. Dabei werden Bretter an der Fassade gestoßen an einer Unterkonstruktion montiert. Danach werden die Stöße aufgedoppelt, um ein höheres Maß an Witterungsschutz zu erreichen. Diese Form der Schalung nennt sich Deckelschalung.



Bild 4: Fassade mit Deckelschalung

In Bild 4 lässt sich ebenfalls erkennen, dass die Witterungsschicht abhängig von deren Höhe geteilt wird. Die begrenzte Brettlänge führt hier zu Absätzen, welche zum Schutz vor Regen am oberen Ende überlappen. Die charakteristischen Tore und Türen gliedern

sich optisch perfekt in die Fassade ein, da Sie die Gleiche vertikale Lattung aufweisen. Diese sind sowohl als Drehflügel als auch als Schiebeflügel zu finden (vgl. Bild 3 und Bild 5).

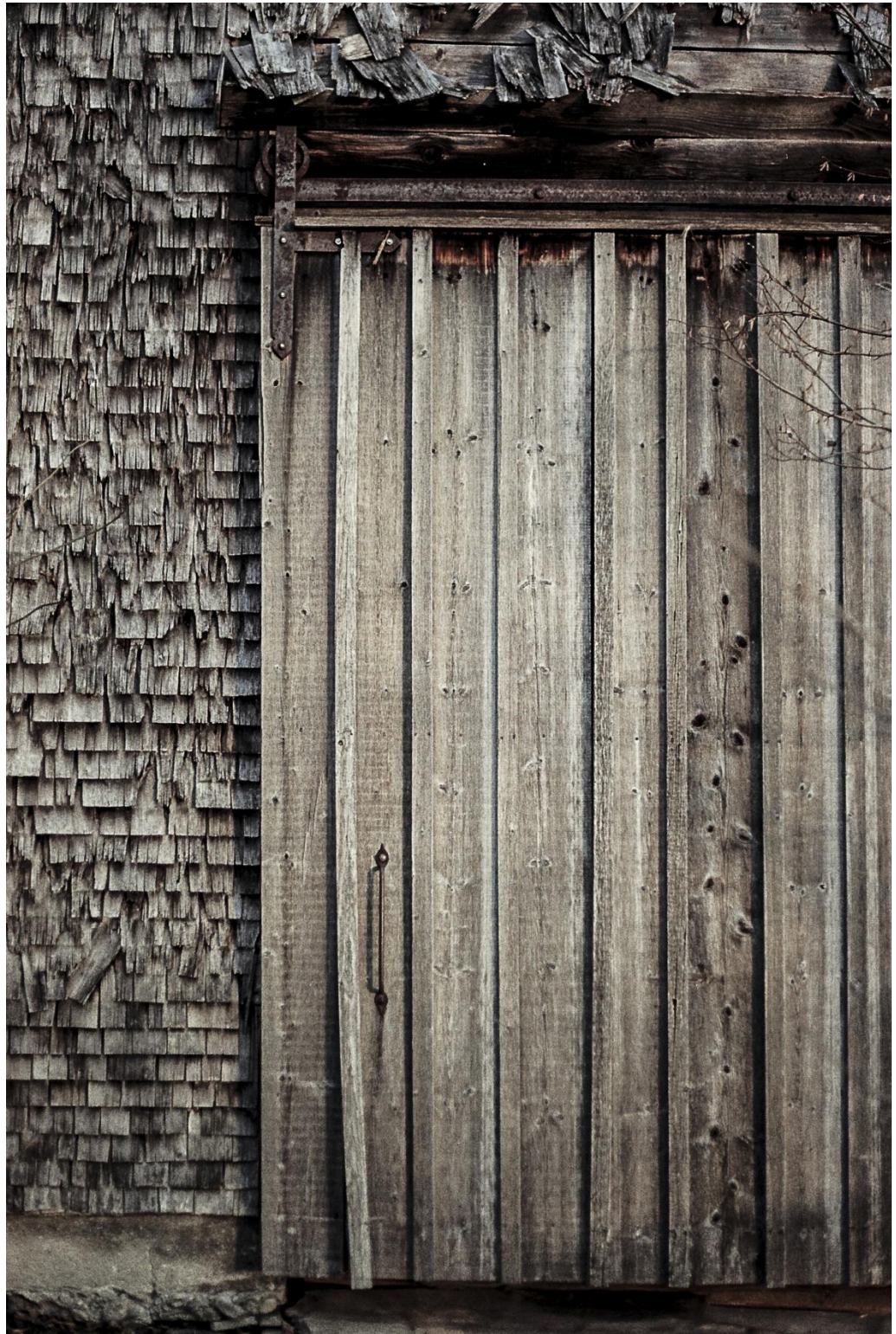


Bild 5: Schiebetor in Schindelfassade

Massive konstruktive Elemente aus Stahl, wie die Führungsschiene, Aufhängungen und Beschläge der Öffnungselemente gliedern sich dezent in das Fassadenbild mit ein. Diese sind einfach, robust und zweckerfüllend gestaltet (vgl. auch Bild 3) und setzen, wie die Fassade, im Laufe der Zeit eine Patina an.

Die alten Bauernhäuser, welche einen direkten Scheunenanbau am Wohnhaus haben, zeigen durch ihre Fassade auch sehr deutlich wo gewohnt und wo gearbeitet wurde. Das Wohnhaus war mit hochwertigeren Schindeln geschmückt, während bei der Scheune die kostengünstigere und funktionsträchtigere Deckelschalung Anwendung fand. So werden auch heute noch die zur Straße ausgerichteten Sichtfassaden von Wohnhäusern mit den filigranen Schindeln versehen, die straßenabgewandte Seite jedoch günstig vertikal beplankt (vgl. auch Bild 6).

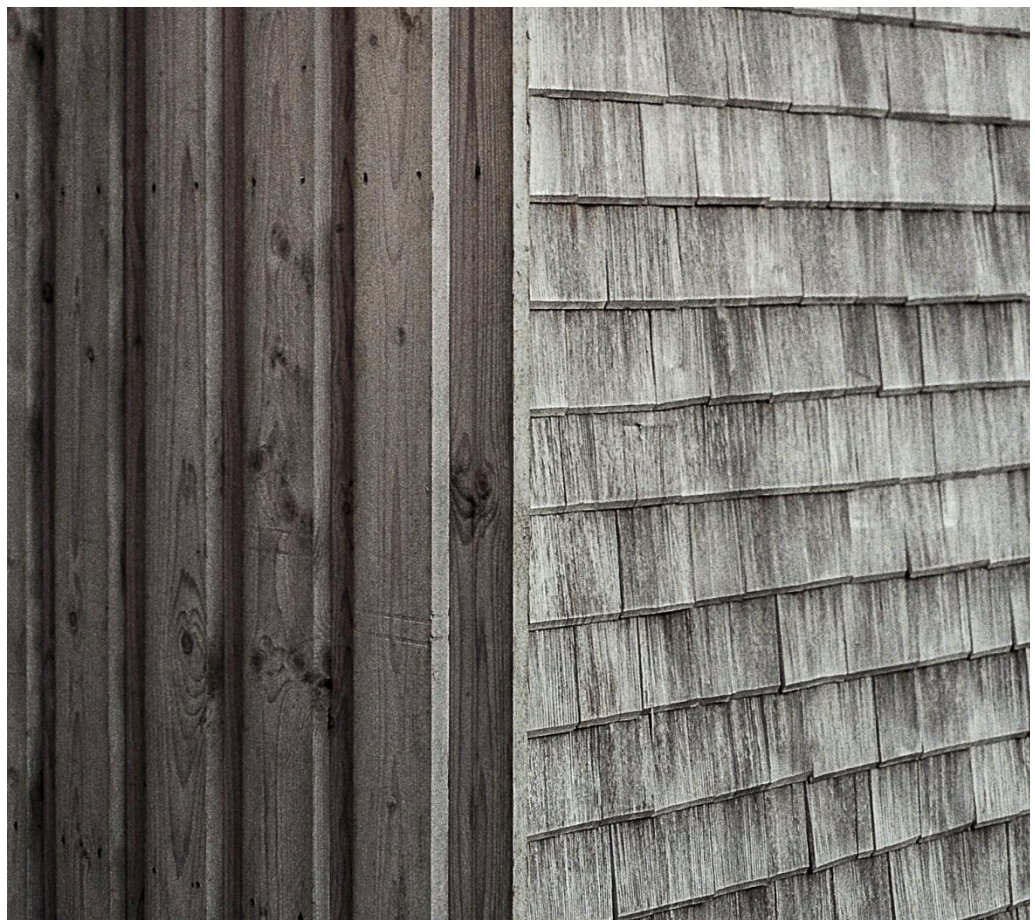


Bild 6: Fassadenwechsel Sichtseite und abgewandte Seite

Der Sockel der meisten Scheunen ist massiv ausgeführt, um das Holz vor Spritzwasser und den damit verbundenen Schäden zu schützen (vgl. Bild 4, Bild 5 und Bild 7). Um diesen konstruktiven Holzschutz möglichst günstig herzustellen, wurden oftmals nur Steine an den Ecken angebracht.

Öffnungselemente wie Fenster gibt es in Scheunen, wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, kaum. Die Bauernhäuser greifen jedoch sehr oft, wie in Bild 7 zu sehen, auf quadratische Fensterelemente zurück.



Bild 7: Fassade Bauernhaus mit Schindeln und quadratischem Fenster

Die Proportionen der Scheunen sind stets ähnlich. Die Dachneigung beträgt meist um die 30°, da diese flachere Dachneigung vor herabrutschenden Schneemassen schützt. Die Grundelemente nähern sich durchweg dem Quadrat an.



Bild 8: Scheune am Hang.

Auch am Hang findet die Scheune ihren Platz (vgl. Bild 7). Durch das Nutzen der Topografie kann die Scheune auf zwei Ebenen angefahren werden. Das Bauen in die Höhe hat gleich mehrere Vorteile: Durch die vertikale Anordnung der Nutzungen versiegelt die

Scheune weniger Fläche, Gründungsarbeiten müssen nur einmal erfolgen und unwegsames Gelände für den Ackerbau wird flächeneffizient genutzt.

Zusammenfassend lässt sich also festhalten, dass sich die Scheunen meist als Solitäre in der Landschaft wiederfinden und durch ihre Nutzungsflexibilität lange Zeit genutzt und immer wieder umgenutzt werden. Die Fassaden sind aus unbehandelten Nadelhölzern, die Sockel aus Stein, und die Dächer in einer Dachneigung von meist 30°. Öffnungselemente verschmelzen mit der Fassade und nähern sich traditionell der Form des Quadrates an.

4.2.3. Anwendung der Merkmale auf unser Konzept

Städtebaulich kann unser Konzept in einem ländlichen Wohngebiet als Solitär auftreten. Ein Transfer der Elemente in eine dichtere Bebauung ist in Analogie zu den Scheunenvierteln jedoch durchaus auch möglich.

Die Nutzungsflexibilität der Scheunen soll sich im Wohnkonzept wiederfinden. Variable Grundrisse und die Möglichkeit, die Module nach Bedarf und Nutzung auszuwählen und zu kombinieren, bringen eine maximale Flexibilität hervor.

Die Grundproportionen der Ansicht kann mit der für das Alpenvorland typischen und sinnvollen Dachneigung von 30° ebenfalls übernommen werden.

Die vertikale Deckelschalung aus Nadelholz ist nicht nur eine in Würde alternde Fassade, sondern auch kostengünstig. Um die Langlebigkeit des Holzes zu sichern kann mit konstruktivem Holzschutz und einfachen, günstigen Mitteln gearbeitet werden. Umweltverträgliche Methoden stellen hierbei die Behandlung der Holzfronten mit Leinöl und der Schutz der Schnittkanten vor eindringendem Wasser mit Baumwachs dar. Eine andere Möglichkeit ist die Behandlung der Hölzer mit einem Gemisch aus Essig und Eisen. Die Beize bewirkt einen anderen Farbton, sowie einen oberflächlichen Schutz vor Schimmel (Hochwarth 2019). Der Sockel aus Stein kann, mit einem künstlich erzeugten Stein wie Beton, neu interpretiert werden und sorgt weiterhin für den konstruktiven Holzschutz. Die Schalung oder Nachbehandlung des Betons kann die unterschiedlichsten Ergebnisse erzielen. So kann Beton mit Brettern geschalt, mit Matrizen gearbeitet, oder dieser im Nachgang sandgestrahlt werden, um nur einige Beispiele zu nennen (Peck und Besold 2009).

Die quadratischen Fenster werden von unserem Konzept ebenfalls übernommen. Die Eingliederung in die Fassade erfolgt durch Schiebeelemente, welche durch ihre vertikale Lattung mit der Fassade verschmelzen.

4.3. Materialien und deren Vor- und Nachteile

Wie bereits im vorangehenden Kapitel erklärt, beschränkt sich der Materialeinsatz auf Holz, Stein, Metall und Glas. Um den heutigen wärmetechnischen Anforderungen gerecht zu werden, sind jedoch andere Konstruktionen von Nöten, als diese traditionell bei einer Scheune vorzufinden sind. Eine kostengünstige Finanzierung ist, wie bereits erwähnt, durch die KfW-Bank möglich. Es wird der Energiestandard „KfW-55“ angestrebt. Dazu werden im ersten Schritt die von der KfW empfohlenen U-Werte herangezogen, um verschiedene Konstruktionsaufbauten zu vergleichen und hinsichtlich der ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien zu bewerten.

Da jedes Bauteil andere Anforderungen erfüllen muss, sind für jedes Bauteil, dieser Kategorien, unterschiedliche Kriterien zu berücksichtigen.

4.3.1. Die Gründung

Die Gründung ist selbstverständlich abhängig von der Bodenbeschaffenheit des Grundstücks. Mit einer Flachgründung kann in der Regel eine sichere Gründung erfolgen. Bei moorigen Böden jedoch, muss das Gebäude zunächst gegen das Absinken gesichert werden, was aufwendigere Maßnahmen, wie eine Pfahlgründung erforderlich machen.

Die Konzentration der Analyse liegt deshalb bei der Auswahl des Dämmstoffes und des Fußbodenaufbaus, welcher unabhängig von der Gründungsart gewählt werden kann.

Soziales

Massive Baustoffe, wie Stein oder Beton, können ein Gebäude qualitativ stark aufwerten. Wegen ihrer hohen Dichte eignen sich die Materialien hervorragend als Wärmespeicher und Temperaturpuffer. Im Winter wird die Wärme der Fußbodenheizung besonders effektiv geleitet und gleichmäßig an die Raumluft abgegeben. Im Sommer bewirkt die Wärmeaufnahme eine Pufferung des Temperaturanstiegs.

Wird ein Fußbodenbelag mit geringerer Wärmeleitfähigkeit auf den massiven Estrich aufgebracht, wird dieser Effekt abgeschwächt oder komplett verhindert. Ein geschliffener Estrich erzielt dabei also einen energetischen Mehrwert, eine hochwertige Optik, sowie eine Einsparung von Materialeinsatz. Der Estrichboden sorgt also für warme Füße im Winter und eine angenehme Kühle im Sommer.

Ökologie

Unabhängig vom Fußbodenbelag oder der Gründungsart muss das Gebäude den wärmetechnischen Anforderungen entsprechen und gegen das Erdreich gedämmt werden. Um die KfW-Förderungen zu erreichen wird ein U-Wert von $\leq 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ empfohlen (Hartung). Die Möglichkeiten zur Dämmung im erdberührten Bereich

beschränken sich auf feuchteresistente Materialien wie extrudiertes Polystyrol (XPS) oder Glasschaum-schotter/-platten (Schöning).

Der Vergleich dieser Dämmstoffe hinsichtlich ihrer Ökologie wird dabei durch den Vergleich ihres benötigten Primärenergiebedarfs und des Treibhausgaspotenzials angestellt.

In Bild 9 wird dabei deutlich, dass XPS im Bereich des Treibhausgaspotenzials besser abschneidet als die Schaumglasplatte, jedoch im Primärenergiebedarf von nicht erneuerbaren Energien das Nachsehen hat.

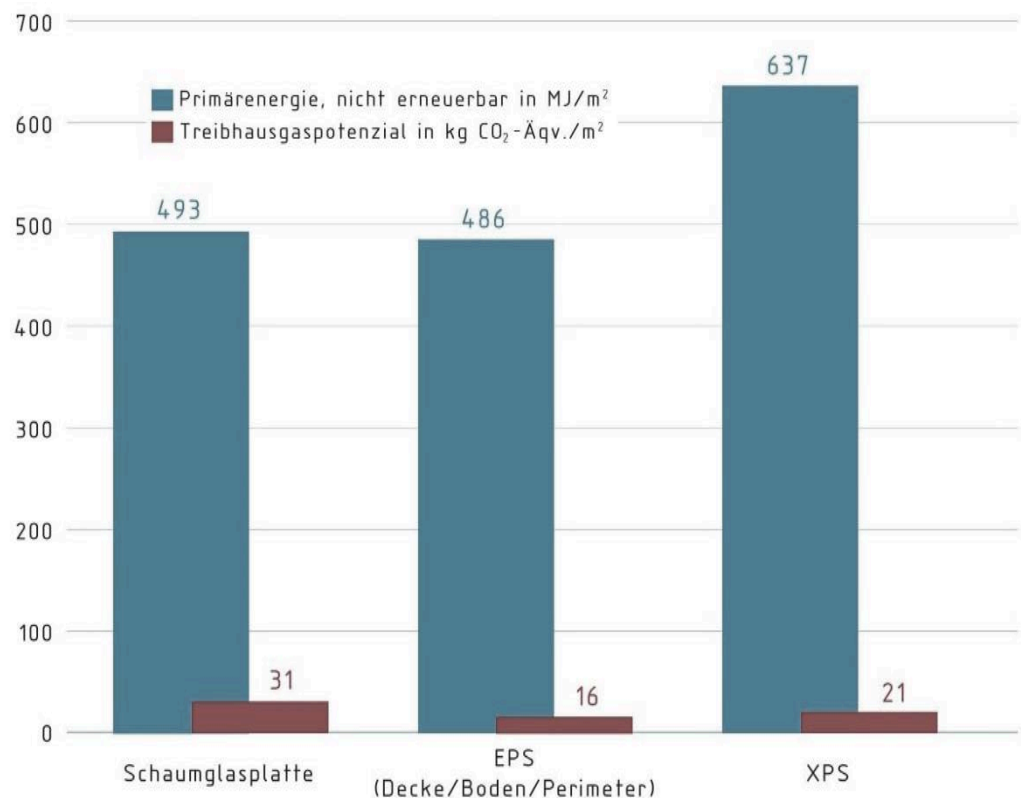


Bild 9: Außen liegende Dämmung von Kellerwänden gegen Erdreich (Becker und Pichlmeier 2014)

Neben der Herstellung, spielt auch das Recycling und die stoffliche Verwertung nach dem Lebenszyklus eine wichtige Rolle in der Materialwahl. Dabei ist für die hier betrachteten Dämmstoffe festzustellen, dass XPS aktuell thermisch verwertet wird, während die Glasschaumplatten auf einer Bauschuttdeponie enden (Becker und Pichlmeier 2014).

Es wird davon ausgegangen, dass der Anteil der regenerativen Energien, welche zur Herstellung der Baustoffe verwendet werden mit der Zeit zunehmen. Weiter ist eine thermische Verwertung des Materials nach Ende des Lebenszyklus einer Deponie vorzuziehen, weshalb unter diesen Aspekten die Wahl auf das XPS für den Perimeterbereich fällt.

Ökonomie

Auch Kostentechnisch ist das XPS dem Glasschaumschotter überlegen, wodurch die Wahl des XPS weiter bestärkt wird. Durch das Weglassen des Fußbodenbelags können weitere Kosten eingespart werden.

Fazit

Aus dieser Untersuchung resultiert die folgende Konstruktion für die Gründung unter Berücksichtigung der wärmeschutztechnischen Anforderungen.

Tabelle 1: U-Wert Ermittlung Bodenplatte gegen Erdreich mit XPS

Material	Dicke d in m	λ in W/mK"	$R = d/\lambda$ in m²K/W
Innen			0,17
Zementestrich	0,06	1,4	0,04
Abdichtung	0,005	0,17	0,03
Trittschalldämmung	0,02	0,035	0,57
Betonbodenplatte	0,2	2,3	0,09
Trennfolie PE	0,0002	0,4	0,00
XPS	0,16	0,04	4,00
Sauberkeitsschicht	0,05	1,4	0,04
Erdreich			0,04
		Summe	4,98
		U-Wert:	0,20 W/m²K

(Plag).

4.3.2. Die Außenwand

Da die Entscheidung für den Holzbau bereits in der vorangegangenen Arbeit gefallen ist, wird nun der Vergleich zwischen den zwei gängigen Varianten Holzständerkonstruktion und Massivholzaußenwand angestellt.

Soziales

Die Holzständerkonstruktion ist ein klassischer Leichtbau und stellt daher kaum Speichermasse zur Pufferung des Raumtemperaturanstiegs zur Verfügung.

Die Massivholzwand wird aufgrund ihrer sehr guten Dämmeigenschaften dahingehend oft unterschätzt. Die Speicherfähigkeit des Materials Holz ist hervorragend und trägt zu einem angenehmeren Raumklima bei (Elsässer).

Folgende Grafik (vgl. Bild 10) zeigt deutlich, dass eine Massivholzwand dreimal länger Wärme aufnimmt und wieder abgibt als eine Ziegelkonstruktion und fast 19-mal länger als eine Leichtbaukonstruktion.

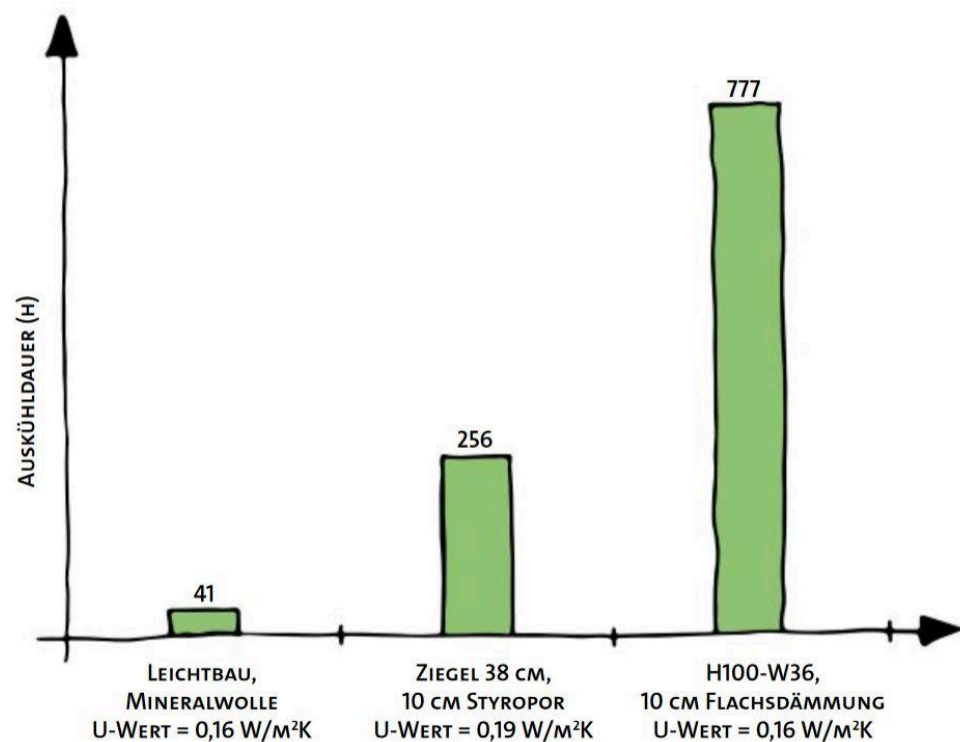


Bild 10: Auskühlungsdauer im Vergleich der Konstruktionen Leichtbau, Ziegel und Massivholz (Rollins)

Geht es um das Thema Schallschutz, ist das Massivholzhaus der Holzständerkonstruktion überlegen. Die leichten Dämmstoffe und die geringe Masse der Holzständerwand lassen oft Lärm aus der Umgebung in das Gebäude. Die massiven Außenwände der Vollholzwand lassen sich dagegen nicht so leicht in Schwingungen versetzen und schirmen die Bewohner perfekt vom Umgebungslärm ab. Der Schallschutz

ist in hohem Maße von den Einbauelementen abhängig. Der hohe Vorfertigungsgrad und die millimetergenaue Fräsbarkeit der Massivholzelemente ermöglicht eine passgenaue Fertigung mit geringen Toleranzen. Auch die Montage ist wegen des einfachen Aufbaus kaum fehleranfällig. Die Holzständerkonstruktion ist durch die Vielzahl an benötigten Schichten und die dadurch komplexeren Anschlussdetails anfällig für Leckagen und Undichtigkeiten. Sie haben zur Folge, dass Tauwasser in der Dämmebene ausfallen kann, was zu Schimmelbildung führen kann. Darunter leidet nicht nur die dämmende Eigenschaft der Einblasdämmung, sondern auch der Bewohner, welcher durch Schimmelsporen gesundheitlichen Risiken ausgesetzt ist und Lungenkrankheiten erleiden kann (Kaufmann).

Dahingegen tragen die Haptik und der Geruch von Holz positiv zum Raumgefühl bei und so ist Holz auch im Hinblick auf die Wohngesundheit unschlagbar. Durch die heute verwendeten gesundheitlich unbedenklichen Leime entstehen keinerlei giftige Ausgasungen, die zu einer Beeinträchtigung der Raumluft führen können, im Gegenteil: Die feuchteregulierenden Eigenschaften des Holzes ermöglichen es, der Umgebungsluft überschüssige Feuchte zu entziehen und ohne Verformung des Bauteils wieder an die Raumluft abzugeben. Das Holz funktioniert damit wie eine Art kostenlose Klimaanlage (Walter). Eine Holzständerkonstruktion ist in den meisten Fällen mit einer Gipskartonplatte verkleidet, welche diese Eigenschaften dahingehend nicht aufweist. Die Anbringung von Schränken und anderen Elementen an der Wand müssen an der hohlen Ständerkonstruktion gut geplant werden, denn dafür müssen in die Konstruktion zusätzlich verstärkende OSB-Platten eingebaut werden, um auch Waschtische und andere schwere Elemente befestigen zu können. Darunter leidet die Flexibilität und Planungsfehler mit großem Ausbesserungsaufwand verbunden. Eine Massivholzwand ist dagegen an jeder Stelle bestens für die Montage von Elementen jeglicher Art geeignet.

Die Fassade soll sich baukulturell in die Umgebung eingliedern. Wie in der Scheunenstudie zu sehen ist, bezeichnen Schindeln oder eine Deckelschalung aus Nadelhölzern eher urtypische Fassadenbekleidungen im Alpenvorland. Diese werden gemeinsam mit der Konstruktion auch hinsichtlich der Ökologie und der Ökonomie untersucht.

Ökologie

Holz fungiert als CO₂-Speicher. In der nachhaltigen Forstwirtschaft werden mehr Bäume gepflanzt als geschlagen, was sich zusätzlich positiv auf das Klima auswirkt. Die vielen Schichten einer Holzständerkonstruktion sind dabei nicht nur aus Holz, sondern bestehen auch aus mineralischen und erdölbasierten Baustoffen, welche bei der Herstellung viel Energie benötigen. Beispiele hierfür sind Gipskartonplatten und diverse Folien, sowie eine enorme Menge an Verbindungsmitteln. Diese Elemente müssen nach dem Ende des Lebenszyklus eines Hauses aufwendig voneinander getrennt und unterschiedlich entsorgt oder verwertet werden. Bei einer Massivholzwand beschränkt

sich die Anzahl der Verbindungsmittel auf ein Minimum und die Wand kann im Ganzen verwertet werden. Dabei besteht die Möglichkeit der thermischen und stofflichen Verwertung, sowie die Möglichkeit der Kompostierung. Auf einen detaillierten Vergleich einer Holzständerkonstruktion und einer Vollholzkonstruktion hinsichtlich des Global Warming Potentials (GWP) wird aus den eben genannten Punkten verzichtet.

Um den KfW-55 Standard zu erreichen wird weiterhin eine Dämmung nötig sein

Bei der Wahl des Dämmstoffes für die Außenwand wird ebenfalls auf die Ökologie des verwendeten Materials geachtet. Bild 10 zeigt die Umweltwirkungen nachwachsender Rohstoffe. Dabei schneidet die Holzweichfaserdämmplatte im zweischaligen Mauerwerk am besten ab. Die anderen Holzfaserdämmplatten sind nur unwesentlich schlechter. Eine Zelluloseeinblasdämmung, wie sie in Holzständerkonstruktionen vorkommt, schneidet dahingegen nicht sehr positiv ab. Am schlechtesten ist die Zellulosefaserplatte.

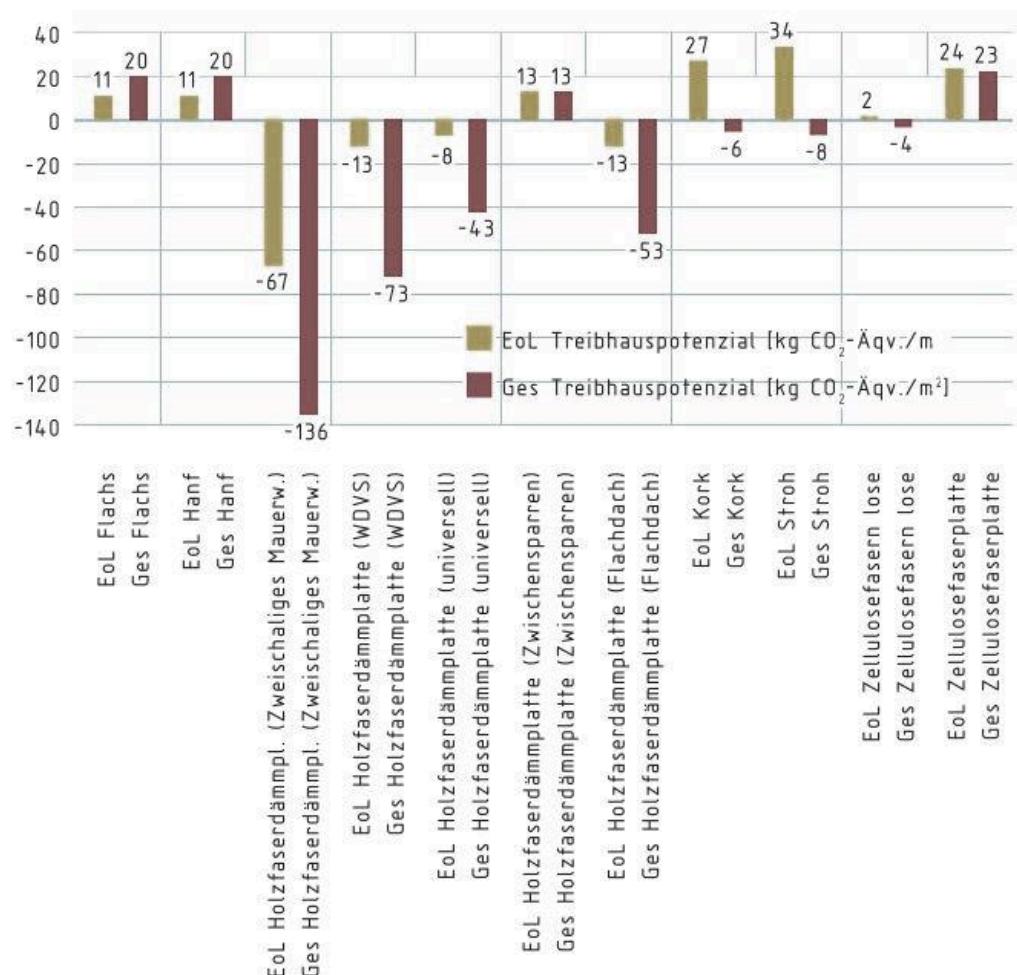


Bild 11: Bilanz des Treibhausgaspotenzials am Lebenswegende (EoL) und über den gesamten Lebensweg (Ges) für nachwachsende Dämmstoffe mit der Möglichkeit der thermischen Verwertung (Becker und Pichlmeier 2014)

Auch bei der Wahl der Fassade wird auf die Ökologie Rücksicht genommen. Das bewährte Konstruktionsmaterial Holz fungiert hier, wie eingangs beschrieben, als ein CO₂-Speicher, der unbehandelt kompostierbar ist oder thermisch verwertet werden kann. Unter dem Punkt Ökonomie werden deshalb die zwei gängigsten unbehandelten Holzfassaden, die Deckelschalung und die Schindelfassade verglichen.

Ökonomie

Die Realisierung eines Massivholzhauses ist mit Hilfe von speziellen Systemen, wie sie beispielsweise die Firma Thoma herstellt, auch ohne Dämmung möglich. Dabei erreicht die Außenwand mit Hilfe von Nuten und den dadurch entstehenden Luftkammern, einen Lambda-Wert von 0,079W/mK. Die dort erhältliche 36,5cm starke Außenwand erreicht somit einen U-Wert von 0,21 W/m²K und das ganz ohne Wärmedämmung. Ein zusätzlicher Vorteil dieses Systems ist die Verbindung der Schichten gänzlich ohne die Verwendung von Leim. Dafür werden die Fichten-/Tannenholzlagen mit einem Buchendübel durchstoßen, welcher zur Fixierung seiner Position aufquillt. Die Massivholzwand sowie deren Verbindung ist daher 100% Leim frei (Rollins). Da das oben beschriebene System noch sehr teuer ist, wird dieses beim Minimalist House keine Verwendung finden.

Die primären ökonomischen Gründe für eine Konstruktion sind selbstverständlich die Herstellungskosten. Diese können zunächst mit Hilfe von Baukostenindizes nach Bauteilen ermittelt werden.

Demnach ist eine Holzständerkonstruktion mit 200€/m² Wand zu kalkulieren, während eine Massivholzaußenwand mit 1820€/m³ zu veranschlagen ist. Unsere Außenwand hat eine statische Dicke von 14cm. Daraus ergeben sich Kosten für 1m² Wand in Höhe von 254,80€ (1820*0,14).

Eine Massivholzkonstruktion ist damit in der Anschaffung um ca. ein Viertel teurer als eine Holzständerkonstruktion.

Ein weiterer ausschlaggebenden Anhaltspunkt für die Entscheidung können Lebensdauerdaten geben.

Der Vergleich der Lebensdauerdaten ergibt folgende Werte:

Tabelle 2: Lebensdauerdaten der Bauteile

Bauteil	Verwendung	Lebensdauer
Holzständerkonstruktion		
Holz weich	Primärkonstruktion Außenwand	76 Jahre
Zellulose	Einblasdämmung	27 Jahre

Dampfsperre	Luftdichtheitsschicht	35 Jahre
Dampfsperrenfixierung	Luftdichtheitsschicht	22 Jahre
Gipskartonplatten	Innenwandbekleidung	42 Jahre
Massivholzkonstruktion		
Holz weich	Primärkonstruktion Außenwand	76 Jahre
Holzfaserdämmung	Dämmung	29 Jahre
Weichholz innen	Innenwände	66 Jahre
Fassade		
Weichholz unbehandelt	Vorgehängte hinterlüftete Fassade	31 Jahre
Holzschindeln	Vorgehängte hinterlüftete Fassade	42 Jahre

(Ritter 2019).

Eine Holzständerkonstruktion hat vor allem in der Luftdichtheitsschicht schwächen. Diese ist im Durchschnitt bereits nach 22 Jahren undicht, was zu Feuchte in der Dämmebene führt. Diese Feuchte leitet die Wärme besser, der U-Wert wird schlechter und auf Dauer bildet sich Schimmel in der Konstruktion.

Auch die GK-Beplankung im Innenraum hat entgegen der massiven Holzwand in der Lebensdauer das Nachsehen. Diese muss bereits nach ca. 42 Jahren ausgetauscht werden, während die Innenwände aus Weichholz 66 Jahre in einem guten Zustand sind. Zusätzlich sind auf der Gipskartonplatte Anstriche vorzunehmen, welche in der Regel alle 10 bis 15 Jahre erneuert werden müssen (Ritter 2019).

Bei der Fassade wird der Vergleich einer Schindelfassade mit einer unbehandelten Weichholzfassade angestellt. Die wesentlich teurere Schindelfassade überdauert hier die unbehandelte Weichholzfassade um 11 Jahre (ca. ein Drittel länger). Die sich darunter befindliche Holzweichfaserdämmung erreicht lediglich eine Lebensdauer von 29 Jahren. Zur Wartung dieser muss die Fassade demontiert werden, in der Regel wird diese dann ebenfalls erneuert, wodurch sich kein Vorteil einer längeren Lebensdauer der Schindelfassade einstellt. Die Deckelschalung hingegen entspricht in etwa den Lebensdauerdaten der Außenwanddämmung und stellt dabei eine günstigere Außenwandbekleidung dar.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Holzständerkonstruktion in der Anschaffung zwar um ein Drittel günstiger, die Lebensdauer jedoch auch um fast ein

Drittel kürzer ist. Berücksichtigt man die derzeitige Preisentwicklung am Bau und den häufigeren Wartungsaufwand, ist eine anfängliche Mehrinvestition in eine Massivholzaußenwand lohnend. Betrachtet man nur die Jahrhunderte alten Bauernhäuser der Alpenregion so stellt man fest, dass eine Holzkonstruktion, bei entsprechend gutem konstruktiven Holzschutz, sehr viel länger überdauern kann, als zunächst vermutet. Durch regelmäßige Pflege ist bei massiven Holzbauteilen ebenfalls eine höhere Lebensdauer zu erwarten. Die Massivität hat weiterhin den Vorteil, der einfachen Montage von wandgehangenen Objekten, sowie die Möglichkeit der einfachen Aufbereitung der Oberflächen.

Durch den Einsatz einer kostengünstigen Deckelschalung als Fassade, wird die baukulturelle Eingliederung unterstrichen. Diese weist durch ihre vertikale Anbringung entlang der Regenflussrichtung per se einen guten Holzschutz auf und verwittert gleichmäßig. Der kritische Punkt im Sockelbereich kann durch eine massive Unterkonstruktion, welche die Fassade vor Spritzwasser schützt, gelöst werden.

Unter Berücksichtigung der wärmeschutztechnischen Anforderungen (U-Wert von $\leq 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ (Hartung)) ergibt sich folgender Aufbau:

Tabelle 3: U-Wert Ermittlung Außenwand gegen Außenluft

Material	Dicke d in m	λ in W/mK	$R = d/\lambda$ in $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
Innen			0,13
BSH	0,14	0,13	1,08
Holzfaserdämmstoff	0,16	0,042	3,81
Unterdeckbahn	0,005	0,5	0,01
Hinterlüftung/Fichte vertikal	0,03	-	-
Konterlattung Fichte horizontal	0,02	-	-
Fichtenfassade	0,019	-	-
Erdreich			0,04
		Summe	5,07
		U-Wert:	0,20 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

(Plag).

4.3.3. Die Zwischendecke

Die Zwischendecke kann, wie auch die Außenwand, im Leichtbau als Holzbalkendecke oder als massive Brettstapeldecke ausgeführt werden. Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der Konstruktionen analysiert.

Soziales

Die Zwischendecke sollte im mehrgeschossigen Wohnungsbau vor allem Schallschutz gewährleisten. Die DIN4109 regelt dabei die Grenzwerte, welche im mehrgeschossigen Wohnungsbau nicht zu überschreiten sind. Ein klassisches Einfamilienhaus unterliegt dabei keinen Regelungen, jedoch unterliegt der Planer der Aufklärungspflicht. Demnach wird vertraglich vereinbart, welches Schalldämmmaß erreicht werden soll, nachdem der Bauherr über die Wirkung dieser informiert wurde. Wenn keine Vereinbarungen getroffen wurden, gilt der Stand der Technik, welcher dann von einem Prüfsachverständigen beurteilt wird. Die Gutachten unterscheiden sich deshalb, je nach Expertise des Sachverständigen (Köhnke 2013). Die Werte sind in diesem Fall also nicht eindeutig festzustellen. Da das Konzept, die Möglichkeit schaffen soll, mehrere Wohneinheiten zu realisieren, werden die Vorgaben der DIN 4109 in die Planung integriert.

Es wird dabei zwischen der Luftschalldämmung R'_{w} und Trittschalldämmung $L'_{n,w}$ unterschieden (Deutsche Norm 2018).

Spalte	1	2	3	4	5
Zeile		Bauteile	Anforderungen R'_w dB	$L'_{n,w}$ dB	Bemerkungen
1	Decken	Decken unter allgemein nutzbaren Dachräumen, z. B. Trockenböden, Abstellräumen und ihren Zugängen	≥ 53	≤ 52	
2		Wohnungstrenndecken (auch Treppen)	≥ 54	$\leq 50^{a,b}$	Wohnungstrenndecken sind Bauteile, die Wohnungen voneinander oder von fremden Arbeitsräumen trennen.
3		Trenndecken (auch Treppen) zwischen fremden Arbeitsräumen bzw. vergleichbaren Nutzungseinheiten	≥ 54	≤ 53	
4		Decken über Kellern, Hausfluren, Treppenräumen unter Aufenthaltsräumen	≥ 52	≤ 50	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
5		Decken über Durchfahrten, Einfahrten von Sammelgaragen und ähnliches unter Aufenthaltsräumen	≥ 55	≤ 50	
6		Decken unter/über Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen	≥ 55	≤ 46	Wegen der verstärkten Übertragung tiefer Frequenzen können zusätzliche Maßnahmen zur Schalldämmung erforderlich sein.
7		Decken unter Terrassen und Loggien über Aufenthaltsräumen	—	≤ 50	Bezüglich der Luftschalldämmung gegen Außenlärm siehe Abschnitt 7.
8		Decken unter Laubengängen	—	≤ 53	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
8.1		Balkone	—	≤ 58	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume in alle Schallausbreitungsrichtungen.
9		Decken und Treppen innerhalb von Wohnungen, die sich über zwei Geschosse erstrecken	—	≤ 50	Die Anforderung an die Trittschalldämmung gilt für die Trittschallübertragung in fremde Aufenthaltsräume, in alle Schallausbreitungsrichtungen.
10		Decken unter Bad und WC ohne/mit Bodenentwässerung	≥ 54	≤ 53	

Bild 12: Anforderungen an die Schalldämmung in Mehrfamilienhäusern, Bürogebäuden und in gemischt genutzten Gebäuden (Deutsche Norm 2018).

Nach Bild 12 sind die Werte ≥ 54 dB für den Luftschall und ≤ 53 dB für den Trittschall zu erfüllen.

Massive Bauteile schwingen in sehr tiefen Frequenzen, leichte Konstruktionen in hohen. Beide Frequenzbereiche befinden sich außerhalb des hörbaren Bereiches des menschlichen Gehörs und sind deshalb nicht wirklich relevant. Die Einhaltung der schallschutztechnischen Ansprüche ist deshalb leicht zu erfüllen. Während die Luftschalldämmung einschaliger, massiver Bauteile abhängig von der flächenbezogenen Masse relativ einfach bestimmt werden kann, treten bei leichteren, mehrschaligen

Konstruktionen aus Holz verschiedene Effekte auf, die die Bestimmung erschweren. Die Konstruktion stellt ein Schwingungssystem von mehreren Massen dar, die mit einer Feder (charakterisiert durch die Steifigkeit) verbunden sind. Dabei wirken Hohlräume oder elastische Schichten als Feder. Eine Entkoppelung der Schalen bewirkt, dass weniger Energie von einer Schale auf die andere übertragen wird.

Eine Brettstapeldecke ist weder eine leichte noch eine massive Konstruktion. Der Resonanzfrequenzbereich liegt im mittleren Bereich, welcher für das menschliche Ohr von Belang ist. Um eine Reduktion der Übertragung von Körperschall zu erreichen, wird versucht die Einleitung des Trittschalls in die Konstruktion, also die Weiterleitung und Abstrahlung als Luftschall zu reduzieren. Um dies zu erreichen, wird auf einen schwimmenden Estrich oder auf die Lagerung des Bodenbelags auf elastischen Zwischenschichten, also dem Einbau von Dämpfungsschichten gesetzt.

Vorsatzschalen verringern überdies die Weiterleitung in den Empfangsraum und sollten entkoppelt und ausgedämmt angebracht werden. Diese führen jedoch auch dazu, dass die Speichermasse der Decke zur Aufnahme von Wärme im Sommer einen geringeren Wirkungsgrad hat, weshalb von dieser Maßnahme nach Möglichkeit abzusehen ist. Schüttungen bringen zusätzlich Masse in die Konstruktion, welche die Schwingungswirkung weiter reduziert. Dabei wirkt eine lose Schüttung zusätzlich als Dämpfung. Die Trittschalldämmung sollte eine möglichst geringe dynamische Steifigkeit aufweisen. Hierfür eignet sich die Verwendung von Mineralwolle besonders gut. Zur Verbesserung des Schallschutzes im tiefen Frequenzbereich sind Estriche auf Zementbasis zu erwähnen. Bei diesem System ist zum einen zu beachten, dass der Estrich zwingend schwimmend zu verlegen ist, da mangelhafte Detailausführungen und daraus resultierende Verbindungen den Trittschallschutz um bis zu 20 dB verschlechtern können. Zum anderen muss die notwendige Austrocknungszeit im Bauzeitenplan berücksichtigt werden. Die eingebrachte Baufeuchte stellt ferner in der Baupraxis keine Probleme mehr dar.

Eine Brettstapeldecke mit den beschriebenen Eigenschaften kann mit einer ungebundenen Schüttung von 10cm einen Trittschallschutzwert von 42dB erreichen, und erfüllt damit die Anforderungen für den mehrgeschossigen Wohnungsbau (Teibinger und Matzinger 2013).

Der sommerliche Wärmeschutz spielt bei der Wahl der Konstruktion eine ebenso bezeichnende Rolle. Leichte Konstruktionen wirken hier nur zu einem geringen Maß. Eine massive Betondecke wäre hier zu bevorzugen, diese ist jedoch aus statischen Gründen auszuschließen. Eine Brettstapeldecke stellt, wie bereits im Punkt Außenwand erläutert, die beste Wahl dar. Durch das Aufbringen eines Estrichs als Bodenbelag wird zusätzlich Speichermasse gewonnen.

Die positiven Eigenschaften in Bezug auf Feuchteregulierung und Wohngesundheit sind natürlich auch Punkte, die für die massive Deckenkonstruktion aus Holz sprechen. Zusätzlich ist eine durchgängig homogene Konstruktionsweise optisch und statisch von Vorteil.

Ökologie

Da sowohl die Brettstapeldecke als auch Holzbalkendecken mehrere Schichten benötigen sind diese hier als gleichwertig zu betrachten. Bei der Auswahl der Trittschalldämmung ist für den Schallschutz eine weiche Dämmung wie Mineralwolle vorgeschlagen. Ökologische Analogien sind Holzfaserplatten oder Kokosfaser.

Bei der Wahl der Schüttung ist darauf zu achten, dass sie eine Rohdichte von $\geq 1.300 \text{ kg/m}^3$ aufweist und ungebunden eingebaut wird. Produktbeispiele hierfür sind Perlite oder Lehmschüttungen. Ein Vergleich der Materialien hinsichtlich der Ökologie ist aufgrund fehlender Daten in der Ökobaudat vorerst nicht möglich (Breidenbach 2010, S. 24).

Ökonomie

Vergleicht man den Quadratmeterpreis der Deckentypen ergibt sich nach BKI ein Preis von 87€/m² für eine Holzbalkendecke und 170€/m² für eine Brettstapeldecke.

Fazit

Durch den generierten Schallschutz und die dadurch entstehende Möglichkeit, das Haus als Mehrfamilienhaus zu gestalten, ergibt sich ein enormer Mehrwert für die Finanzierung des Gebäudes. Die Vermietung der Flächen tilgt den Kredit und stellt nach dessen Abschluss einen Gewinn für den Bauherrn dar. Wie bereits in der vorangegangenen Arbeit erläutert, ergibt sich dadurch ein relativ konstanter Refinanzierungszeitraum bei jeder realisierbaren Typgröße. Der Zeitraum ist natürlich abhängig von den zusätzlichen installierten, nicht oder nur anteilig vermietbaren Modulen, die sich der Bauherr leisten möchte. Das Ergebnis nach einer ersten Kostenschätzung ergab eine Refinanzierung innerhalb von ca. 13 Jahren ohne eine Integration von Garagen. Unter den ökologischen und sozialen Gesichtspunkten, sowie dem aus dem System hervorgehenden Konstruktion, wird folglich die Brettstapeldecke mit nachfolgendem Aufbau ausgewählt:

Tabelle 4: Aufbau Zwischendecke mit Trittschallwert von 42dB

Dicke	Baustoff
60mm	Estrichboden
0,2mm	PE-Folie
25mm	Trittschalldämmplatte (TDSP 30/25)
95mm	Splittschüttung
0,2mm	PE-Folie
146mm	Brettsperrholz

4.3.4. Das Dach

Da wir uns im Alpenvorland befinden, wird für unser Haus ein regionaltypisches Satteldach gewählt. Dies wird traditionell mit einer Dachneigung von bis zu 30° gebaut, um das unkontrollierte Abrutschen von Schnee zu verhindern. Satteldächer haben zudem noch weitere Vorteile:

- Geringerer Wartungsaufwand und Instandhaltungskosten durch einfache Konstruktion und unproblematische Wasserabführung
- Eine Leichte Ausführbarkeit spart Kosten beim Bau
- Die Dachneigung ermöglicht eine effektive Montage von Photovoltaik- und Solaranlagen
- Umweltfreundliche Dacheindeckung mit Naturmaterialien möglich
- Hohes Raumgefühl bei offener Raumgestaltung bis ins Dach

Ein Nachteil dieser Dachform jedoch ist, der Wohnraumverlust durch die Dachneigung. Ein weiterer Minuspunkt ist die Belichtung, welche in Dachgeschossen nur mit Dachfenstern möglich ist. Ein bis in das Dach offen gestaltetes Obergeschoss nutzt die Höhe des Daches als Erhöhung der Räume, wodurch eine Steigerung der Wohnqualität zu erzielen ist. Die Unterbringung von Technik bietet sich in diesen als dunkel und vergleichsweise schlechter nutzbaren Räumen ebenfalls an. Ein teurer Keller wird dahingehend zunehmend als unattraktiv erachtet.

Eine weitere Frage, die man sich beim Dachaufbau stellen muss, ist die Ausführung als Warm- oder Kaltdach. Analog zur Außenwand, mit ihrer hinterlüfteten vorgehängten Fassade, bringt ein Kaltdach mehrere Vorteile mit sich. Die Hinterlüftungsebene unter der Dachhaut ermöglicht beispielsweise das Abtrocknen von Niederschlagswasser, welches in geringen Mengen durch die Dachhaut eindringen kann. Weiterhin ist die Dachhaut bei der Ausführung als Kaltdach von der Dämmung entkoppelt. Bei sich stark aufheizenden Eindeckungen wird im Sommer durch die Hinterlüftung verhindert, dass Wärme durch das Dach in den Innenraum gelangt. Ein direkter Kontakt mit der Konstruktion begünstigt auch die Weiterleitung von Schall in den Innenraum, wie beispielsweise das Aufschlagen von Regentropfen auf der Dachhaut. Eine Entkoppelung der Schichten ist somit sinnvoll.

Um auch hier einen Vergleich für die Dachausführung hinsichtlich der Materialien anzustellen, wird in diesem Kapitel wieder auf die sozialen, ökologischen und ökonomischen Faktoren eingegangen. Es wird ein Pfettendach mit einem Massivholzdach verglichen.

Soziales

Betrachtet man die sozialen Vorteile verschiedener Dachausführungen, sind die gleichen Punkte zu analysieren wie unter Punkt 4.2.2 Die Außenwand. Die Speichermasse ist bei einer Ausführung als massive Deckenplatte, analog zur Außenwand, viel höher als bei einem Sparrendach. Auch lässt sich in den Punkten Schallschutz und Raumgefühl äquivalent zur Außenwand argumentieren. Architektonisch birgt die Scheibe als Dach zusätzlich Vorteile. Die Wand und das Dach wirken wie aus einem Guss und ermöglichen einen offenen Dachstuhl, der ein großzügiges Raumgefühl vermittelt.

Die Dachform ohne Dachüberstand ermöglicht nicht nur eine wärmebrückenfreie Konstruktion der Gebäudehülle, sie betont auch gleichzeitig den Monolithen, welcher sich in natürlichen Materialien gehalten, aus der Umgebung erhebt. Eine auf dem Dach befindliche Regenrinne fungiert gleichzeitig als Schneefang und schützt vor herabfallenden Schneemassen. Die Materialität der Eindeckung wird ebenfalls hinsichtlich der Ökologie und Ökonomie untersucht.

Ökologie

Im Aufbau ist die Ökologie der Baustoffe wie die der Außenwand zu bewerten. Lediglich die Eindeckung muss gesondert betrachtet werden. Für die Eindeckung eines Kaltdachs können sehr viele verschiedenen Eindeckungen gewählt werden.

Zum Vergleich des Global Warming Potential (GWP) werden die gängigen Eindeckungen Dachziegel, Dachsteine, Schiefer, Faserzement, Zink und Aluminium vereinfacht pro m² Dacheindeckung verglichen:

Tabelle 5: GWP Dacheindeckungen

Material	kg CO ₂ -Äquiv. Pro Einheit	kg CO ₂ -Äquivalent pro m ²
Dachziegel		15,88
Dachsteine	209 kg CO ₂ Äquiv.pro t	8,293
Schiefer		15,04
Faserzement		6,993
Aluminium	10,46 kg CO ₂ Äquiv.pro kg	5,46
Zink	1,17 kg CO ₂ Äquiv.pro kg	5,839

(Siepe), (Brockmann 2018).

Die Analyse ergibt, dass die Dacheindeckungen aus Metall die günstigsten Materialien in der Herstellung sind.

Weitere ausschlaggebende Faktoren sind wiederum die Lebensdauerdaten.

Tabelle 6: Aufbau Zwischendecke mit Trittschallwert von 42dB

Material	Lebensdauer
Dachziegel	60
Dachsteine	65
Schiefer	70
Faserzement	38
Aluminium	42
Zink	38

(Ritter 2019).

Die Metalldeckungen schneiden hier schlechter ab. Dachsteine und Schiefer sind am langlebigsten.

Betrachtet man nun den gesamten Lebenszyklus der Dacheindeckungen sind Metalldeckungen sehr sinnvoll, da diese recycelt werden können. Dabei ist Zink zusätzlich korrosionssicher, wartungsfrei und schlagfest. Aluminium ist wegen seiner leichten Verformbarkeit anfälliger für Wettereinflüsse wie Hagel oder Graupel, sowie temperaturbedingte Verformungen. Es ist jedoch leicht zu verarbeiten und mit einer Pulverbeschichtung in allen möglichen Farben erhältlich (Heidmann).

Bei einer gewünschten massiveren Eindeckung bieten Dachsteine eine ökologische und langlebige Alternative. Am Ende ihres Lebenszyklus landen diese jedoch als Bauschutt auf der Deponie.

Ökonomie

Die Kosten für die Konstruktion eines klassischen Pfettendachs liegen im Schnitt bei 80€/m². Da das BKI für ein Massivholzdach keine Preise führt, werden diese mit dem Faktor der Außenwand veranschlagt. Dieser beträgt nach Umrechnung 267,50€/m².

Das Massivholzdach ist damit mehr als dreimal so teuer.

Bezogen auf die Lebensdauer, halten sich die Primärkonstruktionen die Waage. Bei den Dichtbahnen ist analog zur Außenwand die Lebensdauer beschränkt, was der Brettstapeldecke zu Gute kommt (Ritter 2019).

Auch in diesem Kontext spielt die Vorfertigung eine große Rolle. Ein Massivholzdach wird, aufgeteilt in nur wenige Dachelemente, auf die Baustelle geliefert und kann mit nur wenig Verbindungsmitteln zügig montiert werden. Das Haus ist ferner sofort vor Witterungseinflüssen geschützt, es erfolgen keine Arbeiten mehr an einem offenen Dachstuhl. Das spart vor allem Zeit und damit Geld auf der Baustelle. Auch die

Durchgängigkeit des Systems erleichtert die Anschlüsse. Das Massivholzdach ist automatisch luftdicht. Es muss lediglich ein besonderes Augenmerk auf die Stöße gelegt werden, wobei der konstruktive Übergang leicht ersichtlich ist. Ein Pfettendach hat durch seine Inhomogenität in der Konstruktion Nachteile in der Ausführung. Diese ist, wie eine Holzständerwand, anfällig für Leckagen, welche durch die vielen notwendigen Verbindungsmittel entstehen können. Diesen Leckagen sorgen für Feuchtigkeit in der Konstruktion, also zu Bauschäden, die die Lebensdauer verringern.

Auch bei der Eindeckung sind die Kosten relevante Faktoren zur Entscheidungsfindung. Die Kosten der Dachsteine liegen bei ca. 54€/m². Metalleindeckungen liegen zwischen 67€/m² für das Aluminiumdach und 110€/m² für das Zinkdach (Glock), (Ritter 2019). Metaldächer sind leichter und haben damit kaum statische Voraussetzungen, während massive Eindeckungen eine gewisse Unterkonstruktion benötigen.

Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Dachkonstruktion aus Brettsperreholzelementen mehrere Vorteile mit sich bringt. Die statische Wirkung als Scheibe steift das Gebäude, ohne weitere Maßnahmen ergreifen zu müssen, aus. Die schnelle Montage optimiert den Bauablauf und die Speichermasse der Elemente sorgt für ein angenehmes Raumklima im Sommer. Ein großer Minuspunkt sind die Kosten. Da das gesamte Gebäude jedoch aus der gleichen Art von Elementen gefertigt wird, wird davon ausgegangen, dass über die Abnahme großer Menge ein Rabatt bei den Herstellern verhandelt werden kann.

Das Aluminiumdach überzeugt sowohl unter ökologischen- als auch ökonomischen Gesichtspunkten. Lediglich die Anfälligkeit für Verformungen kann Bauherren abschrecken, weshalb die teurere Zink Variante wohl die sicherste Wahl darstellt. Weiterhin setzt diese mit den Jahren, wie die Weichholzfassade, eine Patina an und altert natürlich. Bei der Ausführung ist auf die Schallentkoppelung zu achten, um einen Regenschauer nicht im Innenraum zu hören.

Das Dach muss, um den Anforderungen für den Wärmeschutz im KfW-55 Standard gerecht zu werden, einen U-Wert von ca. 0,14 W/(m²K) erreichen (Hanow).

Tabelle 7: U-Wert Ermittlung Dach gegen Außenluft

Material	Dicke d in m	λ in W/mK"	$R = d / \lambda$ in m²K/W
Innen			0,10
BSH	0,14	0,13	1,08
Luftdichtheitsbahn	0,0005	0,5	0,00
Holzfaserdämmstoff	0,20	0,035	4,76

Unterdeckplatte	0,035	0,044	0,80
Unterdeckbahn	0,0005	0,5	0,00
Lattung Hinterlüftung		-	-
Konterlattung			-
Dacheindeckung			-
Außenluft			0,04
		Summe	6,78
		U-Wert:	0,13 W/m²K

(Plag).

Wie in Tabelle 7 zu sehen, wird der angestrebte U-Wert, mit einer Aufdachdämmung von 20cm in der Wärmeleitgruppe 035 erreicht. Bei schlechteren Wärmeleitgruppen muss mit einem dickeren Dachaufbau gerechnet werden. Ein Kostenvergleich zum Erreichen des U-Wertes ist vor der Entscheidung für ein konkretes Produkt sinnvoll.

4.4. Anwendung auf System und Funktionen

Die im vorangegangenen Kapitel gewonnenen Erkenntnisse werden nun auf das Konzept des Minimalist House übertragen.

4.4.1. Vorfertigung und Modularität

Der Vorteil einer Vorfertigung ist für ein Produkt, wie es das Minimalist House darstellt, ein extremer Vorteil. Wie beim Autobau werden Teile in Masse produziert und zusammengebaut, woraus sich bei der Herstellung, langfristig, auch ein günstigerer Preis erzielen lässt. Massivholzkonstruktionen eignen sich hervorragend zur Vorfertigung. Mit Hilfe einer CNC-Fräse werden Öffnungen aus den Bauteilen millimetergenau herausgefräst. Die Elemente können anschließend mit nur wenigen Handgriffen auf der Baustelle zusammengefügt werden. Die Modularität der Elemente ermöglicht dem Bauherrn das individuelle Zusammenstellen seines Traumhauses. Dafür liegen dem Konzept zwei Module zu Grunde. In nachfolgender Grafik werden die Module vorgestellt.

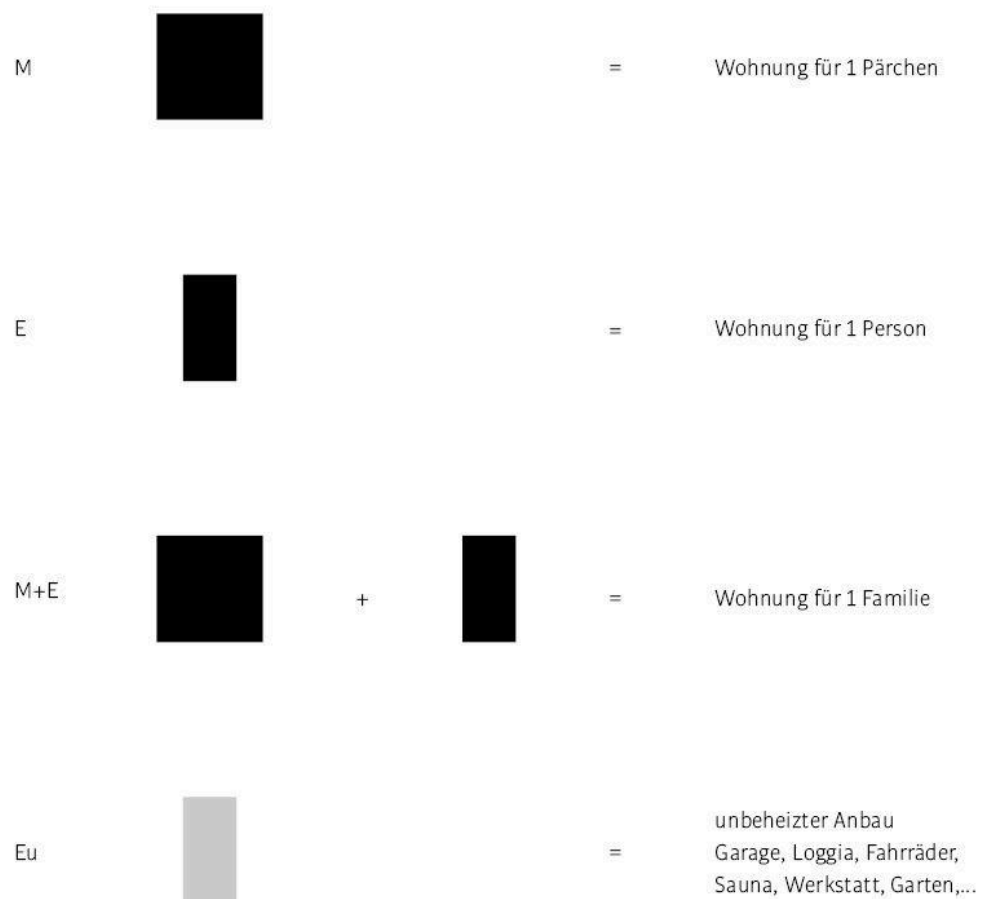


Bild 13: Module und deren Kombinationsmöglichkeiten

Auf ca. 80m² Wohnfläche findet ein Pärchen ausreichend Platz. In Kombination mit dem 40m² Anbau kann eine ganze Familie auf einem Geschoss unterkommen. Der unbeheizte Anbau bietet ausreichend Platz für Autos, Fahrräder, eine Werkstatt oder sogar eine Sauna.

Die Anbauten können durch ihre Geometrie sowohl im Norden als auch im Westen angeordnet werden, oder als Solitäre frei auf dem Grundstück stehen. Die einfache Konstruktion lässt Erweiterbarkeiten einfach zu. So kann der unbeheizte Anbau immer passend zur Gebäudeform gewählt werden (Vgl. Bild 14).



Bild 14: Anbaumöglichkeiten

Nun kann das Gebäude natürlich nicht nur nach Westen und Norden erweitert werden, sondern auch in die Höhe wachsen (vgl. Bild 13). Die nachfolgende Isometrie zeigt deutlich wie die Erweiterung nach oben erfolgen kann.

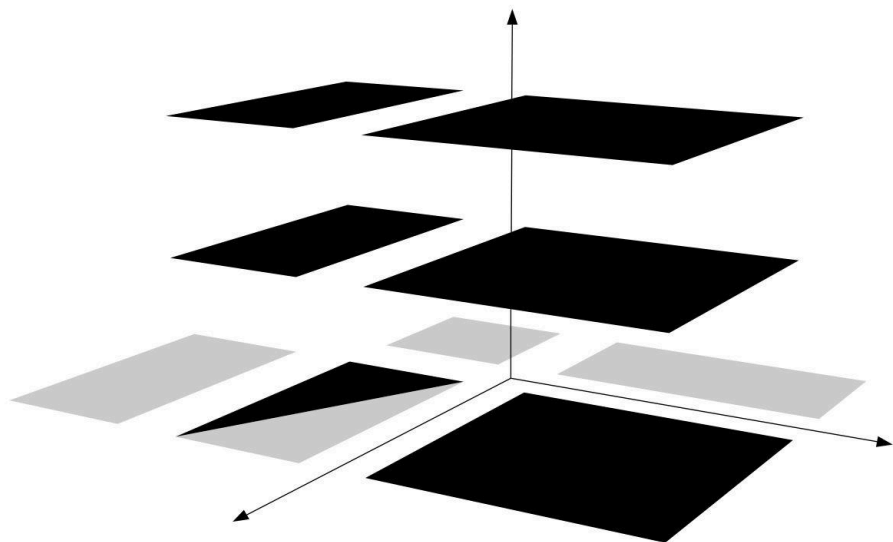
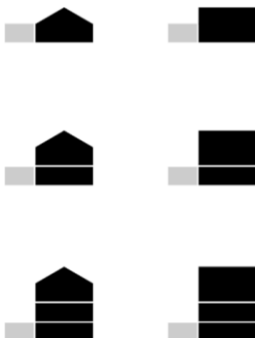
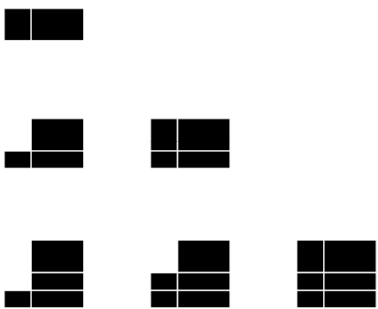


Bild 15: Isometrie zu Darstellung der Erweiterungsmöglichkeiten in drei Achsen

Aus diesen Modulen ergeben sich bereits 18 Kombinationsmöglichkeiten in einem Wohngebiet, welches nach Bebauungsplan für diese Art von Flächennutzung auf 3 Geschosse limitiert ist (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Kombinationsmöglichkeiten mit den Modulen M, E und Eu

Modulkombinationen M	Beschreibung
	Das Modul M allein kann also bis zu drei mal kombiniert werden. Dadurch ergeben sich Möglichkeiten für Pärchen oder Familien, welche je nach Platzbedarf Module auch intern zusammenschließen können.
Modulkombinationen M+Eu	
	In Kombination mit dem unbeheizten Anbau ergeben sich 6 Möglichkeiten durch die Möglichkeit des Anbaus sowohl im Norden als auch im Westen. Dabei ist ab der zweigeschossigen Bauweise auch die Nutzung einer großzügigen Dachterrasse möglich!
Modulkombinationen M + E	
	In Kombination mit dem beheizten Modul ergeben sich zusätzlich sechs Möglichkeiten, welche mehr Wohnraumgenerieren und intern weitere Kombinationsmöglichkeiten zulassen.
Modulkombinationen M + E + Eu	
	Zusammen mit dem unbeheizten Modul ergeben sich drei weitere Kombinationen

4.4.2. Flexible Grundrisse und deren Kombinationsmöglichkeiten

Um die Modularität und die damit verbundene Flexibilität auch im Grundriss aufzunehmen zu können, werden im Grundriss Zonen geschaffen (vgl. Bild 16).

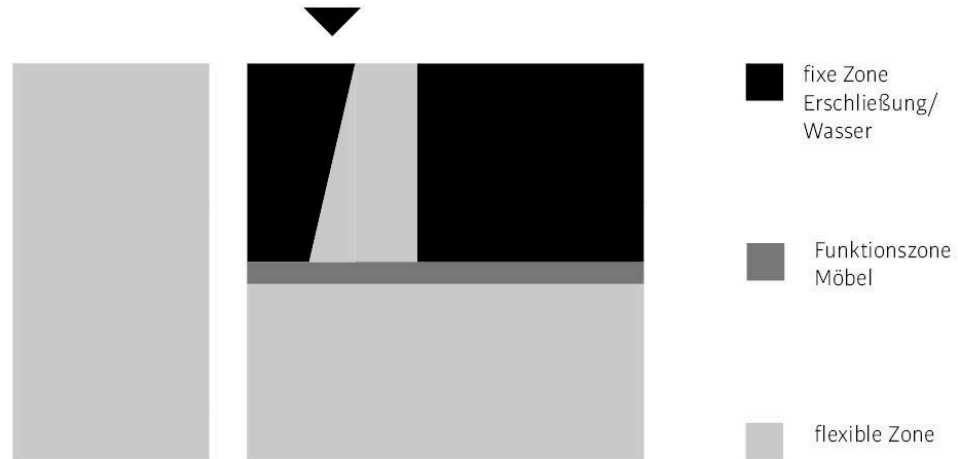


Bild 16: Grundrisszonierung

Dabei werden im Norden feste Zonen integriert, die die Erschließung und die Wasserversorgung im Gebäude garantieren. Die Zusammenfassung von gleich temperierten Zonen spart Heizkosten und die kompakte Leitungsführung Geld beim Hausbau. Ein weiteres Element ist das Möbel, welches die Zonen trennt und in dem zentralen Bereich des Gebäudes für optimal genutzten Stauraum sorgt. Der südliche Raum, sowie der westliche Anbau bleiben dadurch frei von störenden Elementen und bieten daher helle flexible Bereiche, die nach den Wünschen der Bauherren gestaltet werden können.

Modul M

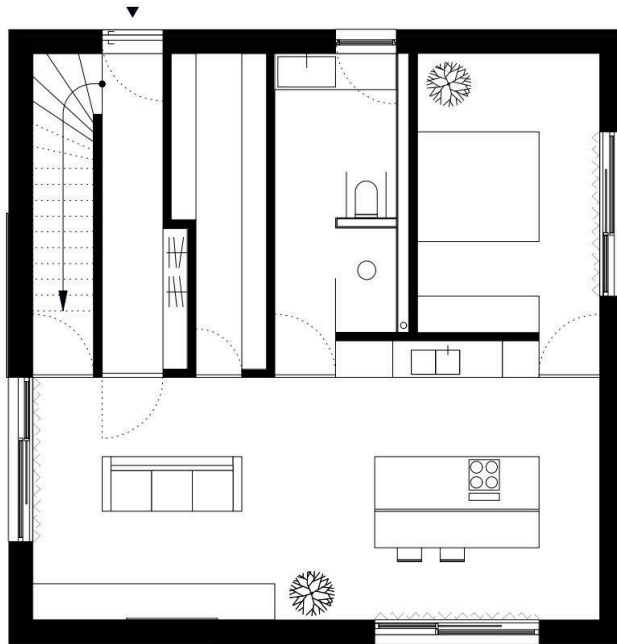


Bild 17: Modul M - Grundriss Erdgeschoss

Das Erdgeschoss (vgl. Bild 17) bietet einen Eingangsbereich mit Garderobe für eine barrierefreie Wohnung. Der großzügige Wohn- Ess- und Kochbereich im Süden wird von raumhohen Fenstern mit Schiebeelementen erhellt. Eine Speisekammer, sowie ein kleiner Raum unter der Treppe bieten zusätzlichen Stauraum. Das großzügige Bad kann behindertengerecht gestaltet werden und ist mit ebenerdiger Dusche und unterfahrbarem Waschtisch, ebenso wie die Kochinsel, auch für Rollstuhlfahrer nutzbar. Letztere lässt sich weiträumig umfahren und kann mit Gasherd ausgestattet werden. Spülbecken, Kühlschrank, Wasch- und Spülmaschine sind, um eine möglichst kompakte Leitungsführungen zu erreichen, in die Möbelwand integriert. Ein an die Kochinsel angepasster Tisch bietet genug Platz für zwei Bewohner und bis zu vier Gäste.

Das Wohnzimmer benötigt daher nur wenig Mobiliar und auch das Schlafzimmer ist bereits mit einem Einbauschränk ausgestattet.

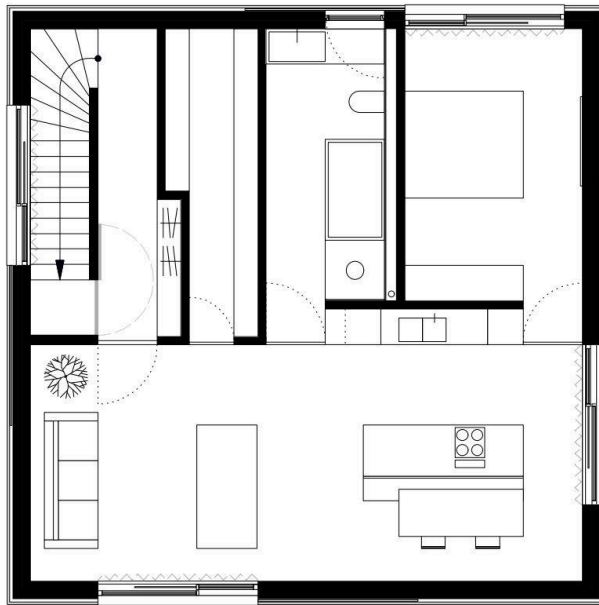


Bild 18: Module M - Grundriss 1. Obergeschoss

Das 1. Obergeschoss wird über eine viertelgewendelte Treppe erschlossen. Um die Fassade lebendig zu gestalten, sind die Fenster versetzt zum Erdgeschoss angeordnet. Der Grundriss in Bild 18 zeigt die Wandelbarkeit des Wohnbereichs und des Badezimmers, welche in der nicht barrierefreien Ausführung, sowohl Platz für eine Dusche als auch für eine Badewanne bietet. Das einfache Versetzen der Eingangstüre ermöglicht die Nutzung des 1. Obergeschosses gemeinsam mit dem 2. Obergeschoss. So kann aus zwei Pärchenwohnungen eine Familienwohnung geschaffen werden.

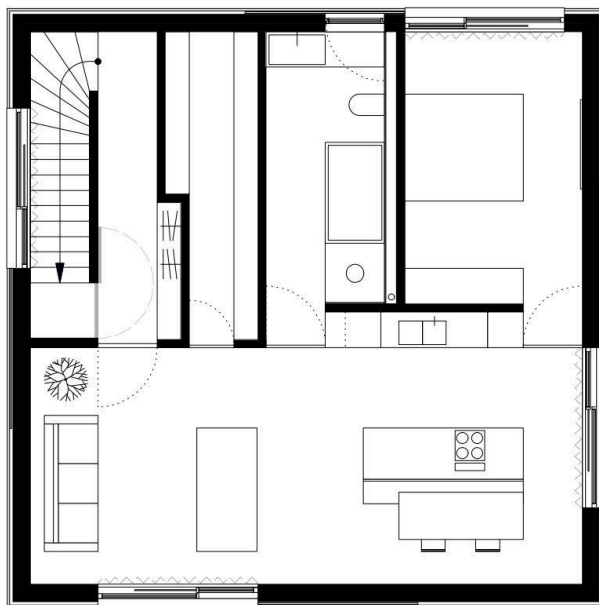


Bild 19: Module M - Grundriss 2. Obergeschoss

Das oberste Geschoss (vgl. Bild 19) hat den großen Vorteil des Raumzuwachses, durch den Wegfall der umlaufenden Erschließung im Treppenhaus. Daraus ergibt sich ein großer Raum, welcher beispielsweise als Kinderzimmer genutzt werden kann. Ein weiterer Vorteil des obersten Geschosses ist die Nutzung des Dachraumes. So kann das Bett im Galeriegeschoss untergebracht werden, was zu einem weiteren Raumgewinn im Kinderzimmer führt. Eine weitere Variante den Wohnbereich zu gestalten, ist die Nutzung der Küche ohne Kochinsel, dafür aber mit großzügigem Esstisch und einer Wohnzimmerlounge.

Modul E unbeheizt

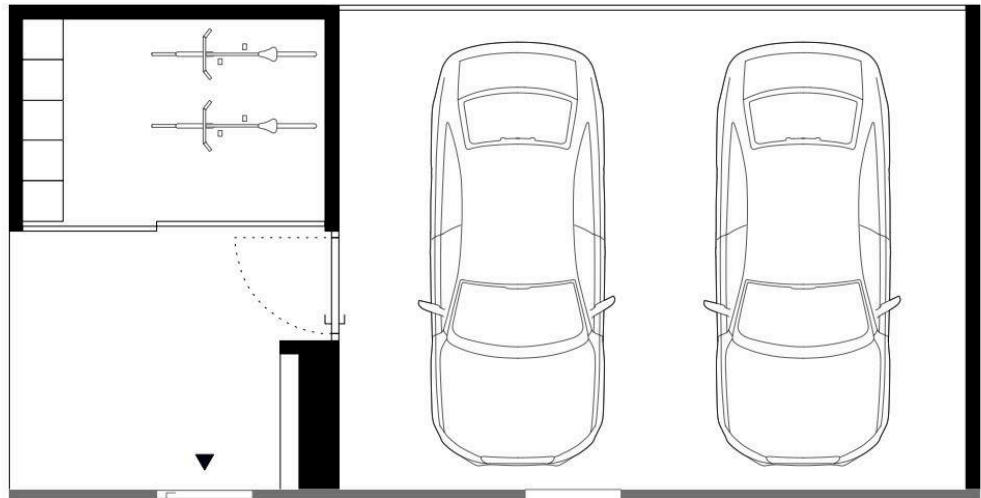


Bild 20: Modul E – Anbau Nord

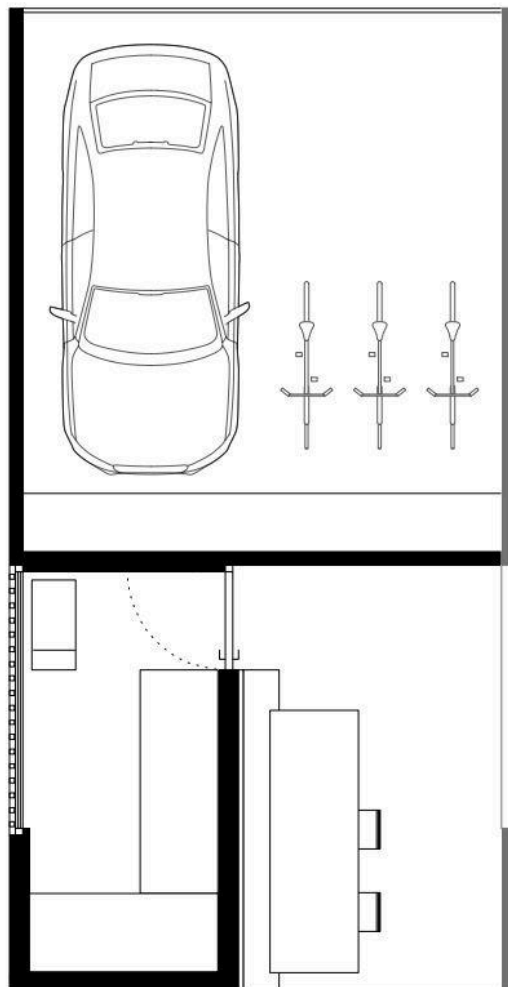


Bild 21: Module E – Anbau West

Die unbeheizten Erweiterungmodule Nord und Ost (vgl. Bild 20, 21) sind aus einfachen Stahlbeton oder Holzelementen gefertigt und können angebaut werden oder als Solitäre freistehen. Sie bieten Platz für Fahrräder, Abfälle, Autos oder sogar eine Sauna. Alternativ sind auch Freisitze, Loggien oder Wintergärten denkbar. Je nach Bauherrenwunsch findet auch eine Werkstatt Platz, wobei in Kombination mit PV-Modulen auf dem Dach eine Elektroheizung betrieben, oder das E-Auto geladen werden kann.

Module E beheizt

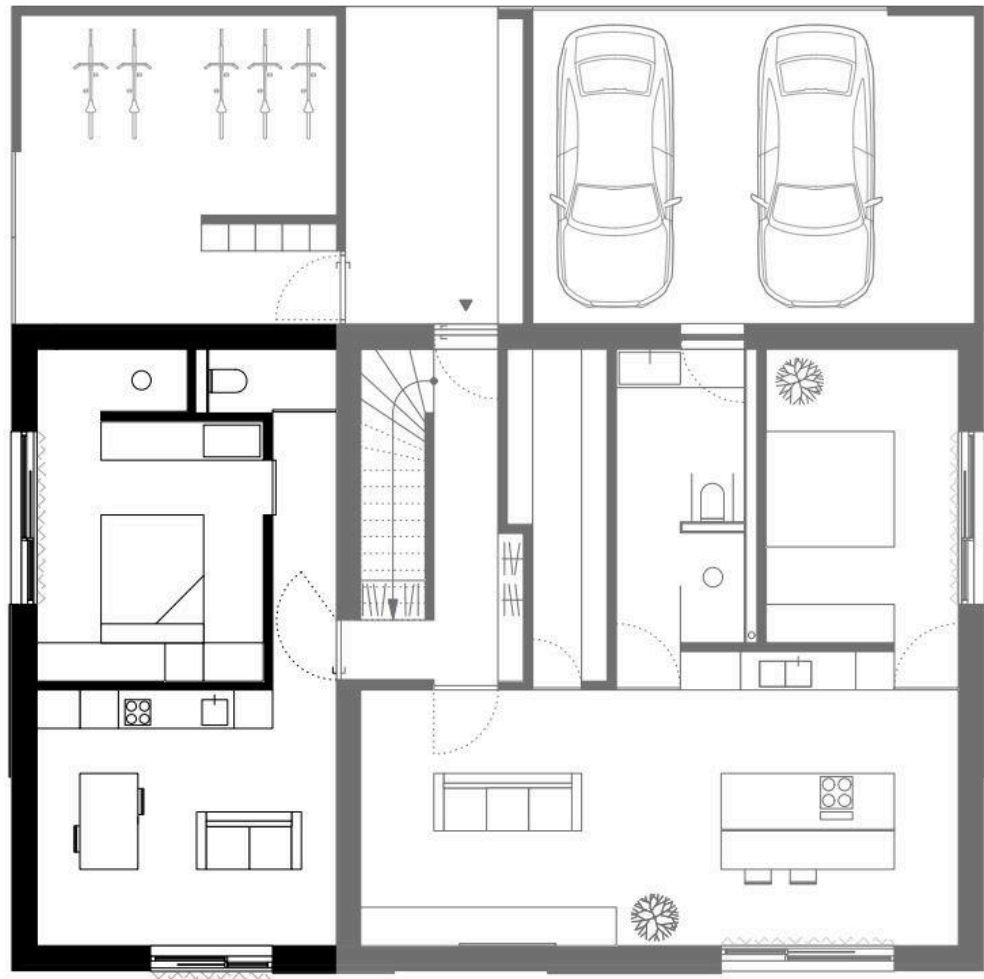


Bild 22: Modul E beheizt mit Anbau unbeheizt Nord – Grundriss Erdgeschoss

Das Erweiterungsmodul E im Wohnanbau kann eine Einliegerwohnung beherbergen. Auf über 40m² findet eine Person ausreichend Platz. Die Wohnung kann mit intelligenten und wandelbaren Möbelkonzepten eine hohe Wohnqualität auch auf kleinstem Raum erreichen. Das Bild 22 zeigt weiter die an die Gebäudelänge angepasste Erweiterung im Norden mit PKW und Fahrradstellplätzen, sowie einem Müllagerraum.

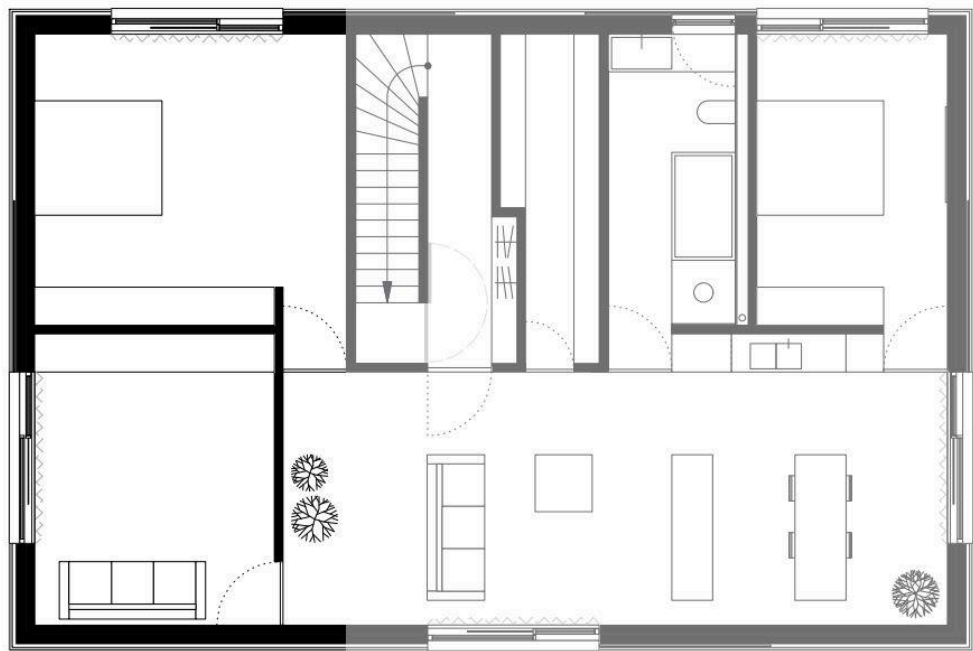


Bild 23: Modul E an Modul M, Beispiel 1. Obergeschoss

Die Erweiterung einer Etage um zwei weitere Räume bietet genug Platz für eine vierköpfige Familie (vgl. Bild 23). Die großzügigen Kinderzimmer ermöglichen es auch in der Wohnung Rückzugsräume zu schaffen und eröffnet den Kindern die Möglichkeit sich selbst zu entfalten, Freunde einzuladen und dort ihre eigene Welt zu schaffen. Alternativ haben die Räume die perfekte Größe für ein Büro oder ein Musik- und Lesezimmer. Sie stellen einen Rückzugsraum vor dem offenen Wohn-/Ess-/Kochbereich dar.

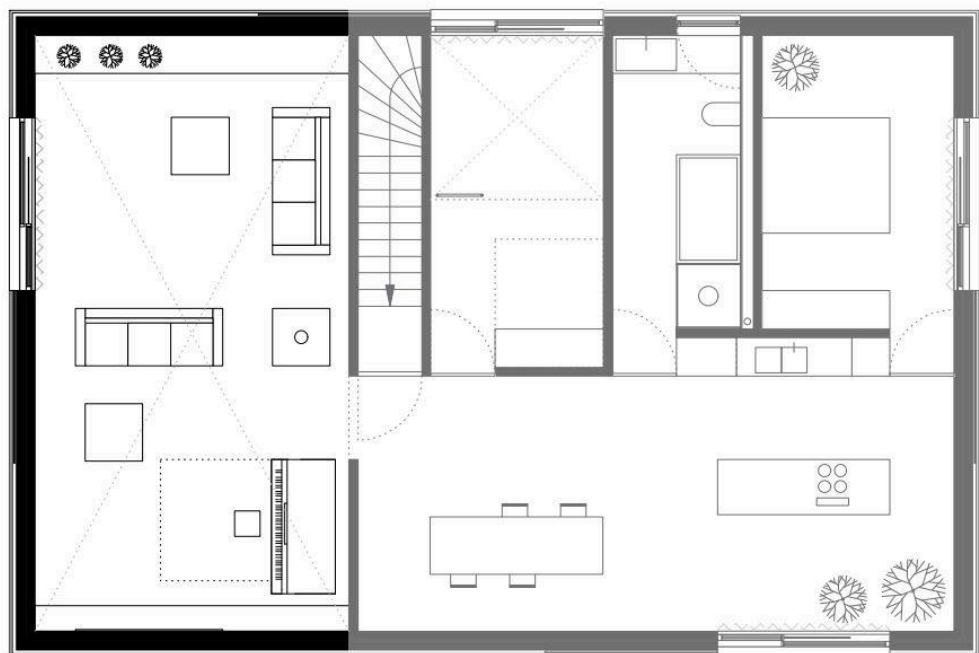


Bild 24: Modul E an Modul M, Beispiel 2. Obergeschoss

Auch betuchtere Kunden sollen nicht zu kurz kommen. Die offene Gestaltung des obersten Geschosses bietet die Möglichkeit einen Schwedenofen mit Lounge, Heimkino und Klavier unterzubringen (vgl. Bild 24). Ein Dachfenster sorgt für blendfreies Licht und betont die Höhe des Raumes. Der Koch- und Essbereich wird dahingehend ebenfalls größer und bietet Platz für viele Gäste.

Wohnungskombinationsmöglichkeiten

Durch die Grundrissvariabilität und die Möglichkeit Geschosse zusammenzuschließen ergeben sich neue Möglichkeiten, wie die bereits gezeigten 18 unterschiedenen Typen weiter variiert werden können. Um den Überblick zu bewahren, werden im Folgenden nur die Kombinationen mit den beheizten Erweiterungsmodulen gezeigt. In Bild 25 kann eine Übersicht der Wohnungskombinationsmöglichkeiten betrachtet werden.

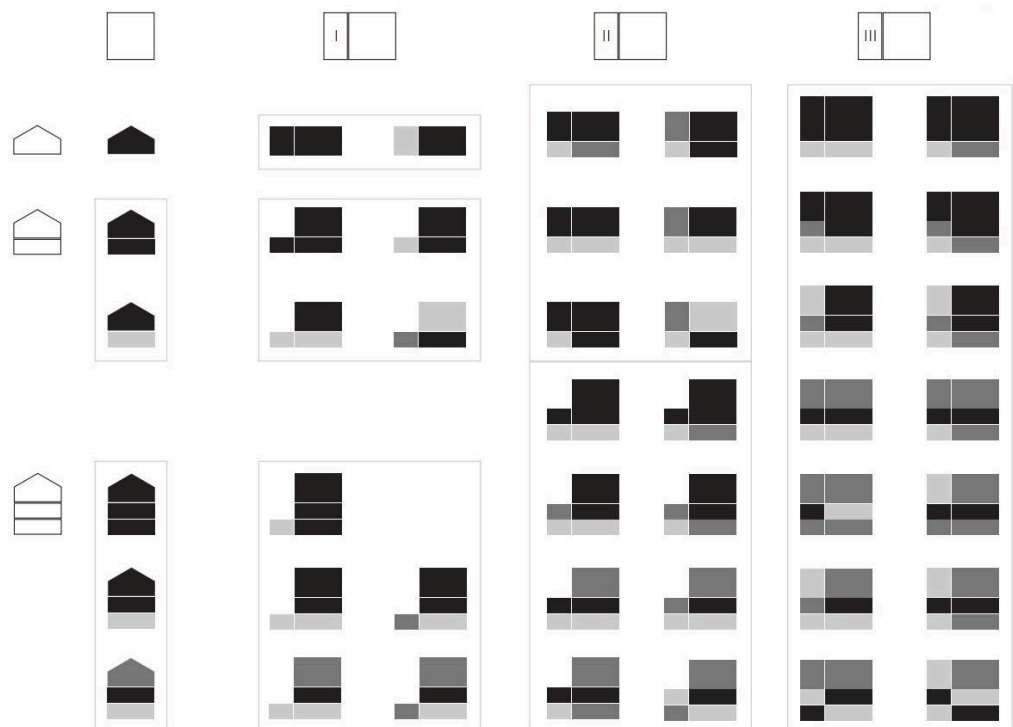


Bild 25: Modul E beheizt mit Anbau unbeheizt Nord – Grundriss Erdgeschoss

Die Varianten wurden so ausgewählt, dass maximal zwei lange Geschosse miteinander kombiniert werden können. Es ergibt sich so eine maximale Wohnfläche pro Wohnung von 240m². Die kleinste Wohneinheit ist die Single-Wohnung mit ca. 40m². Die Varianz, welche sich zwischen den einzelnen Kombinationsmöglichkeiten auftut, kann so gut wie jeder Anforderung gerecht werden.

					Σ
	1	2	-	-	3
	2	4	6	-	10
	3	5	8	14	28
Σ	6	11	14	14	45

Bild 26: tabellarische Aufstellung der Kombinationsmöglichkeiten

Hier werden die die Kombinationsmöglichkeiten tabellarisch aufgeführt (vgl. Bild 26). Es sind 45 Möglichkeiten realisierbar. In Kombination mit dem unbeheizten Modul sind es jedoch weitaus mehr, denn an jede Variante kann immer im Norden noch zusätzlich ein unbeheiztes Modul angebaut oder im Westen integriert werden. Es lässt sich folglich mit diesen wenigen Modulen jede vorstellbare Wohnsituation abbilden. Die sich aus den gezeigten Kombinationen ergebenden Wohnungen sind in folgendem Bild 27 dargestellt.

					max
	1	1-2	-	-	2
	1-2	1-3	2-4	-	4
	1-3	2-4	2-5	2-6	6
max	3	4	5	6	

Bild 27: tabellarische Aufstellung der Wohnungen in „von – bis“

4.4.3. Schnitte



Bild 28: Schnitt

Im Schnitt (vgl. Bild 28) wird deutlich, wie die Trennung der Zonen auch das Gebäude beeinflussen. Die Räume sind in der Mitte durch das Möbel geteilt, in welcher auch die tragenden Wände und Installationen verschwinden. Die hohen Räume bieten Luft zum Atmen und schaffen Stauraum in der Vertikalen. Die raumhohen Fenster bringen viel Licht ins Gebäude und bieten einen ungestörten Blick nach draußen.

4.4.4. Details

Die Systemdetails wurden auf Basis der vorangehenden Analyse aus Kapitel 4.2 ermittelt. Somit wird von einer massiven, erdberührenden Konstruktion, mit XPS-Dämmung ausgegangen. Die Wandelemente sind als Massivholzaußenwände mit Holzweichfaserdämmung und einer Hinterlüftungsebene in sehr hohem Maße vorfertigbar, ebenso wie die Dachelemente, bei denen die Analyse ein Zinkeindeckung ergab. Auch die Zwischendecken aus Massivholz sind als Fertigteile realisierbar, lediglich der Fußbodenaufbau muss vor Ort eingebracht werden. Die nachfolgenden Details zeigen wie die gewählten Konstruktionen die erarbeiteten Vorteile umsetzen.

Detail Sockel

Die massive Bodenplatte zieht die Analogie zur Gründung der Scheune und schützt das Holz vor Spritzwasser. Die Wärmedämmung erfolgt mittels XPS unter der flach gegründeten Bodenplatte. Der Fußbodenaufbau ist einfach gehalten, wobei eine Fußbodenheizung im Winter für flächigen Wärmeübertrag an die Raumluft sorgt. Eine Zirkulation des Wassers im Sommer kann zur passiven Kühlung beitragen. Der flächige Wärmeübertrag ermöglicht geringe Vorlauftemperaturen, wodurch auch eine Kombination mit einer Wärmepumpe möglich ist.

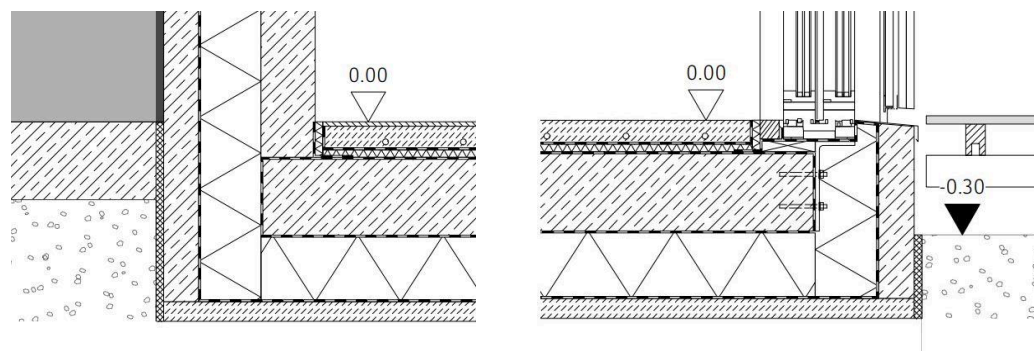


Bild 29: Detail Sockel.

Detail Außenwand

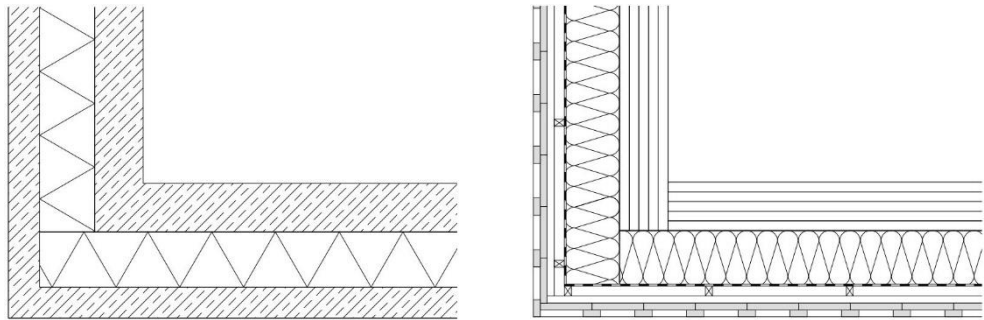


Bild 30: Detail Außenwand Beton (links) Holz (rechts).

Die massive Außenwand aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz ist ein CO₂-Speicher und kann nach Gebrauch, wie auch die Holzweichfaserdämmung, leicht recycelt oder stofflich verwertet werden. Die, bei richtigem Schutz, sehr langlebige Konstruktion ist ohne Dichtbahnen bereits als luftdicht zu erachten. Sie verhindert damit den Ausfall von Kondensat und den daraus entstehenden Schimmel in der Dämmebene. Die feuchteregulierenden Eigenschaften und die Speicherfähigkeit des Massivholzes sorgen neben der Haptik und dem Geruch für ein angenehmes Raumklima. Die lösungsmittelfreien Leime und der Einsatz von ausschließlich natürlichen Materialien, gasen nicht aus und tragen damit zur Wohngesundheit bei. Zusätzlich fällt durch die Wartung der Wände kein Müll oder zusätzlicher Stoffeinsatz an, da weder Gipskartonplatten ausgetauscht noch gestrichen werden müssen. An der Konstruktion selbst können auch schwere Möbel ohne Probleme befestigt werden. Die Massivität der Konstruktion stellt dabei ein hervorragender Schallabsorber gegen den Außenraum dar. Dieser wird durch die vorgehängte hinterlüftete Deckelschalung in Scheunenoptik passend zur Umgebung des Alpenvorlandes gestaltet. Eine Hinterlüftung garantiert das Abtrocknen der Dämmung, wodurch die Lebensdauer und Wirksamkeit der Dämmung dauerhaft aufrechterhalten wird. Diese kostengünstige Fassade altert mit zunehmender Versilberung in Würde mit dem Haus, wodurch diese nach und nach mit der Umgebung verschmilzt. Das Gebäude wird Teil der Natur.

Die mögliche Betonaußenwand im Erdgeschoss ist die Erweiterung des Sockelbereichs und die des konstruktiven Holzschutzes. Daraus ergibt sich eine weitere Varianz in der Wohnrumgestaltung. Die hohe Speichermasse der Wände verhindern weiterhin das Überhitzen des Gebäudes im Sommer. Die Fertigteile sind analog zu den Massivholzelementen auf der Baustelle schnell montiert und ermöglichen einen hohen Vorfertigungsgrad, wodurch Konstruktionsfehler vermieden werden.

Detail Fensterelemente

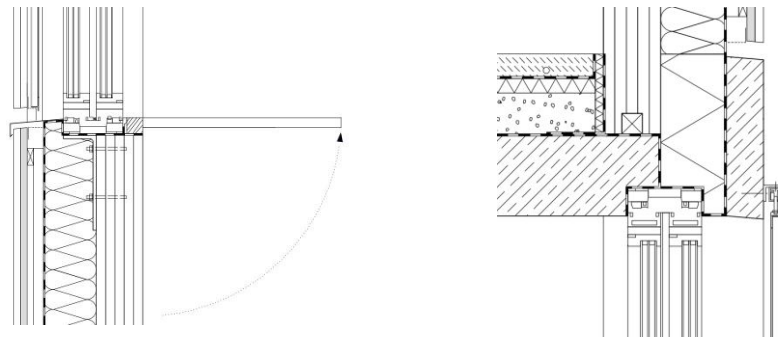


Bild 31: Fenster mit Brüstung (links) Fenster mit Schiebeladen (rechts)

Die großzügigen Fensterelemente ermöglichen ein raumtiefes Eindringen von Tageslicht. Der starke Außenraumbezug lässt die Wohnungen, trotz deren Größe, sehr großzügig wirken. Die Schiebelemente ziehen eine Analogie zu den Schiebetüren der Scheunen und gliedern sich durch die Umsetzung, in Form von Lamellen perfekt in das Fassadenbild ein. Sie verhindern außerdem das Überhitzen des Gebäudes im Sommer. Großzügige Öffnungsschiebeflügel ermöglichen das Querlüften durch das ganze Gebäude. Die vorgesetzten Glasbrüstungen dienen der Absturzsicherung im Obergeschoss und sind durch ihre Einspannung zwischen den Fensterrahmen kaum wahrzunehmen.

Detail Zwischendecke

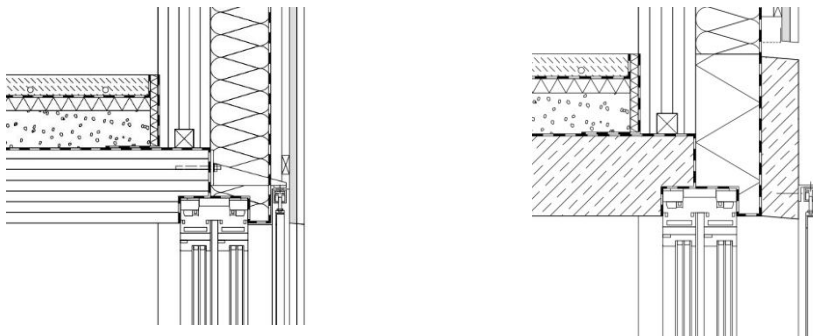


Bild 32: Fenster mit Brüstung (links) Fenster mit Schiebeladen (rechts)

Die massive Holzdecke kann ebenso als Fertigteil gefertigt werden und ist die optische Weiterführung der Außenwand.

Die akustische Entkoppelung der Decke und des Fußbodenaufbaus mit einer 10cm starken Schüttung, sowie die Erfüllung der schallschutztechnischen Anforderungen für Mehrfamilienhäuser, ermöglicht das Vermieten einzelner Wohneinheiten bei Bedarf.

Das daraus resultierende Finanzierungskonzept kann einen Kredit in kürzerer Zeit tilgen und im Alter Einkommen generieren. Der schwimmende Estrich unterstützt den Schallschutz und trägt zum sommerlichen Wärmeschutz bei. Architektonisch greift er den Sockelbereich wieder im Innenraum auf und es werden Kosten für einen zusätzlichen Bodenbelag eingespart.

Alternativ kann bei einem Betonerdgeschoss auch die darüberliegende Decke in Stahlbetonfertigteilen realisiert werden. Die damit in das Gebäude eingebrachte Speichermasse sorgt für angenehmste Temperaturen und bedarf keinerlei Wartung bei gleichzeitig langer Lebensdauer.

Detail Dach



Bild 33: Fenster mit Brüstung (links) Fenster mit Schiebeladen (rechts)

Das Massivholzdach ist wie auch die Außenwände und Zwischendecke vorfertigbar. Die statische Wirkung als Scheibe verhindert zusätzliche Maßnahmen zur Aussteifung und ermöglicht traufseitig sturzfrem Fenster. Auch das Dach wirkt daher als Speichermasse für Wärme im Sommer.

Die Konstruktion kann mit einfachen Mitteln wärmebrückenfrei und luftdicht ausgeführt werden. Die Verwendung von natürlicher Holzweichfaser ermöglicht das Recycling dieser, analog zur Außenwand. Eine Dachdeckung aus Zink altert wie die Fassade mit dem Haus und bildet eine Patina. Zink ist zudem zu fast 100% rezyklierbar, einfach zu verarbeiten, sehr leicht und zudem schlag und witterungsbeständig. Die Dachrinne fungiert sowohl als Wasserablauf als auch als Schneefang gegen herabfallende Schneemassen.

4.4.5. Flächeneffizienz

Die flächeneffizienten Grundrisse haben zunächst den Vorteil, dass keinerlei Fläche bezahlt werden muss, die nicht genutzt wird. Die Räume sind auf ihre Mindestmaße zur Funktionserfüllung ausgelegt und wirken durch die großzügigen Fensterelemente und den dadurch entstehenden Außenraumbezug keinesfalls klein.

Die zusätzliche Flexibilität der Grundrisse und die daraus gewonnene Flächeneffizienz bildet sich ebenfalls im Geldbeutel ab. Die nach Belieben kombinierbaren Grundrisse vermeiden Räume, die bei Nichtgebrauch einfach leer stehen, jedoch mit beheizt werden müssen. Wer Angst vor fehlendem Stauraum hat, kann beruhigt sein. Die Einbaumöbel sind so konzipiert, dass Sie für alles was zum täglichen Gebrauch benötigt wird, Stauraum vorgesehen ist. Das Dachgeschoss mit integrierter Technik dient als Kellerersatz und kann ebenfalls für Stauraum herangezogen werden. Die dunklen, kalten Räume stellen für die Wohnqualität keinen weiteren Mehrwert dar. Durch den Wegfall dieser jedoch, werden enorm hohe Kosten eingespart.

Eine äußerst kompakte Gebäudeform und die vielen verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten tragen dazu bei, dass das Gebäude für jeden Nutzer passend gestaltet werden kann. Es lässt sich auch an fast jedes Grundstück perfekt anpassen, um dessen Fläche optimal ausnutzen zu können (vgl. Bild 34). Dabei können die gezeigten Anbaumodule auch als Solitäre auf dem Grundstück Nutzungen ergänzen. Eine geringe Bodenversiegelung, durch die kompakte Bauweise, wirkt sich auch positiv auf die Umwelt aus. Um diesen positiven Effekt durch die Gestaltung der Außenanlagen nicht abzuschwächen, werden versickerungsoffene Bodenbeläge empfohlen. Dies wirkt sich durchaus auch positiv auf den Grundstückskauf aus, da in Bebauungsplänen in Wohngebieten eine maximal zu überbauende Fläche pro Grundstück beschrieben wird. Die Grundflächenzahl (GRZ) wird aus der überbauten Grundfläche im Verhältnis zur Grundstücksfläche errechnet. Ein gängiger Wert für Wohngebiete ist 0,4. Dies bedeutet, dass 40% des Grundstücks versiegelt werden dürfen. Das Grundstück kann dadurch bei gleichbleibender Gebäudegröße wesentlich kleiner ausfallen. Ein Grundstück mit 400m² würde in unserem Beispiel schon ausreichen, um unser M1 Modul errichten zu können. Dies spart nicht nur Geld, sondern auch Zeit bei der Pflege des kleineren Gartens.

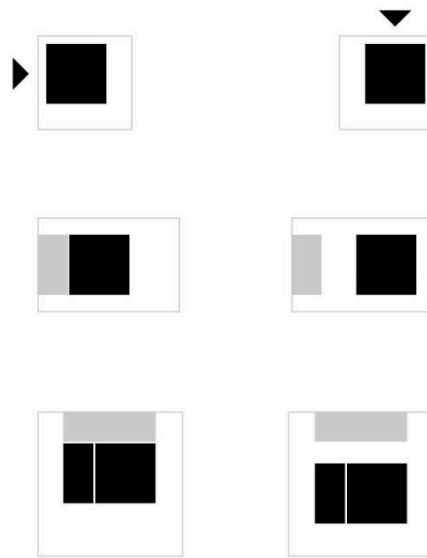


Bild 34: Flexibilität der Module auf dem Grundstück und in der Kombination auf einer Ebene

4.4.6. Energieeffizienz

Die Erfüllung des **sommerlichen Wärmeschutzes** ist für ein Energieeffizientes Gebäude unumgänglich, denn nur dadurch kann eine aufwendige und energieintensive Kühlung vermieden werden.

Zur Betrachtung eines kritischen Raumes wurde der nach Süden orientierte offene Wohn- Koch- und Essbereich gewählt. Bei der vorliegenden mittleren Bauart, mit erhöhter Nachtlüftung und passiver Kühler ergibt sich ein Fc-Wert für die Schiebeelemente von 0,32. Es müssen folglich 68% der Fensterfläche mit Hilfe der Schiebeläden verschattet werden können. Die Deckelschalung ist in einem Verhältnis von zwei zu drei auf die Fassade aufgebracht. Werden nun die 66% des Verhältnisses als Schiebeläden ausgeführt gliedert sich dieser wunderbar in die Fassade ein und sorgt für schönes Streiflicht und Kühle im Sommer.

Der energetische Standard der Module, wurde wie bereits in Kapitel 4.2 erklärt, auf den **KfW-55 Standard** festgelegt, um die durch das Förderprogramm der KfW vergünstigten Finanzierungsmöglichkeiten und Zuschüsse (vgl. Kapitel 4.5.2) zu nutzen.

Die Wandaufbauten wurden zur Ermittlung der benötigten Materialien ebenfalls bereits in Kapitel 4.2 beschrieben. Die resultierenden Werte wurden im Anschluss in das Energiebilanzierungsprogramm ZUB Helena der Version übertragen und auf ihre Tauglichkeit zur Erreichung des KfW-55 Standards geprüft. Die Ergebnisse werden am Ende dieses Kapitels beschrieben.

Beim Thema Energieeffizienz und Kosten spielt selbstverständlich die **Anlagentechnik** eine große Rolle. Diese Haustechnik macht in unserer heutigen Zeit mindestens ein

Fünftel, oft sogar ein Drittel der gesamten Baukosten aus. Folgekosten wie Instandhaltung und Wartungskosten führen zu Abhängigkeiten und sollten deshalb minimal gehalten werden. Zudem ist das Ziel ressourcenschonend Energie zu gewinnen und gleichzeitig eine gewisse Autarkie zu erreichen. Die Möglichkeiten dahingehend sind selbstverständlich auch von der Grundstückswahl abhängig, denn nicht auf jedem Grundstück ist die gleiche Anlagentechnik sinnvoll (Hartmann 2015).

Um in diesem Bereich möglichst wenig Material und Systemaufwand zu betreiben, ist es uns ein Anliegen, durch einfache passive Mittel Anlagentechnik zu vermeiden.

Berücksichtigte Punkte dahingehend sind:

1) Ein kompakter Baukörper mit einem guten A/Ve- Verhältnis.

Eine Kugel hat das beste Flächen- zu Volumen-Verhältnis. Es wird möglichst wenig Fläche benötigt, um ein Volumen zu umschließen. Dadurch kann minimal Wärme durch die Außenfläche an die Umgebungsluft verloren gehen. Da es sich in einer Kugel nicht sehr gut lebt, wurde die zweitbeste geometrische Figur gewählt, der Würfel. Quadratische Grundrisse sind demnach die Basis und führen je nach Geschossigkeit zu einem mehr oder weniger kompakten Baukörper. Es wird dadurch die benötigte Heizleistung minimiert.

2) Speichermasse der Bauteile

Durch die Einbringung von Materialien, welche Wärme aufnehmen und wieder abgeben können, werden Temperaturschwankungen gepuffert. Es entsteht ein sich nur langsam veränderndes Innenraumklima, welches sowohl Temperaturspitzen als auch -senken kappt. Dadurch ist der Regelungsanspruch durch einen Heizkreislauf gesenkt und die Reaktionszeit für das Heizsystem aufgedehnt. Auch im Sommer wird durch die Aufnahme der Hitze ein Kühlelement vermieden.

3) Große Fensterelemente und Verschattungssysteme

Die großen Fensterelemente tragen im Winter besonders zum solaren Wärmeeintrag bei. Dadurch können Heizkosten gespart werden. Im Sommer können Verschattungselemente vorgeschoben werden, die eine Überhitzung des Gebäudes durch reduzierten solaren Eintrag, vermeiden.

Der KfW-55 Standard schreibt zudem anlagentechnische Lösungen vor, um die Finanzierungsunterstützung zu bekommen. Demnach darf in einem KfW-Effizienzhaus kein Wärmeerzeuger auf Basis des Energieträgers Öl eingesetzt werden. Dies gilt auch für Hybridsysteme mit regenerativen Energien. Diese sind ein Muss um den spezifischen Primärenergiebedarf ($\text{kWh/m}^2\text{a}$) Q_p auf 55% eines vergleichbaren EnEV-Gebäudes zu bringen. Das KfW-Merkblatt gibt dazu wie auch zu den Außenbauteilen Empfehlungen, um durch ein vereinfachtes Verfahren, ein Erreichen des Standards feststellen zu können.

Diese sind:

- Gas-Brennwertkessel, solare Trinkwarmwasser-Bereitung (Standardwerte nach DIN V 4701-10), zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad ≥ 80 %)
- Fernwärme mit zertifiziertem Primärenergiefaktor $fp \leq 0,7$, zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad ≥ 80 %)
- Zentrale Biomasse-Heizungsanlage auf Basis von Holzpellets, Hackschnitzel oder Scheitholz, zentrale Abluftanlage
- Sole-Wasser Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Abluftanlage
- Wasser-Wasser Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Abluftanlage
- Luft-Wasser Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad ≥ 80 % (Hanow)).

Nicht jedes Grundstück besitzt einen Fernwärmeanschluss, deshalb wird, um die Standortunabhängigkeit des Konzeptes beizubehalten, die Fernwärme nicht weiter betrachtet. Eine Biomasseheizanlage mit Pellets, Scheitholz oder Hackschnitzel nimmt in unserem Minimalist House zu viel Platz für die Lagerung der Brennstoffe ein und wird deshalb ebenfalls ausgeschlossen. Da wir in unserem Konzept auf eine nachhaltige regenerative Energiegewinnung Wert legen, wird die Verwendung von Wärmepumpen in Betracht gezogen.

Alle dieser Lösungen beinhalten eine zentrale Lüftungsanlage, welche wir aus Kostengründen in der Anschaffung und Wartung gerne vermeiden möchten. Zusätzlich erfordert der Einbau einer Lüftungsanlage eine Luftdichtheitsmessung, welche wiederum Kosten verursacht. Unser Gebäude ist wie schon beschrieben so konzipiert, dass es perfekt quer gelüftet werden kann. Die formstabilen Holzwände wirken zusätzlich als Wärmespeicher und Feuchteregulator und generieren so auch ohne Anlagentechnik ein sehr angenehmes Raumklima.

Die flexible Anordnung auf dem Grundstück stellt dabei einen weiteren Vorteil unseres Gebäudekonzeptes dar. Das Gebäude kann in jede Himmelsrichtung gedreht werden und die Dächer weisen mit 30° eine sehr effiziente Neigung zur Nutzung solarer Energien auf. Es bietet sich dadurch an, eine Solarthermie- oder Photovoltaikanlage anzubringen. Diese Systeme nutzen die regenerative Energiequelle der Sonne und produzieren emissionsfrei Wärme und Strom. Auch die CO₂-Bilanz der Anlagen selbst ist nach wenigen Jahren positiv und im Falle der solarthermischen Anlage können die

verwendeten Materialien leicht recycelt werden. Die Anlagen sind einfach zu installieren, wartungsarm und verursachen damit wenig laufende Kosten. Lediglich der Wechselrichter der Photovoltaikanlage muss alle paar Jahre ersetzt werden. Ein Speichersystem ermöglicht auch die zeitliche Pufferung des eigen produzierten Stroms, wobei ein erzeugter Überschuss durch eine Einspeisevergütung zusätzlich entlohnt wird. Die anfänglich hohen Investitionskosten amortisieren sich, auch durch die staatliche Förderung, in 8 bis 12 Jahren. Die Lebensdauer von 20 Jahren der Anlagen hingegen, können auf Dauer gewinnbringend Energiekosten sparen und lange Transportwege von Energie und Heizkraft können umgangen werden (Hermann 2018), (Frey).

Es ergibt sich folgende Anlagenkombination zur Erreichung des KfW-55 Standards:

- Wärmepumpe Sole-Wasser in Kombination mit einer Photovoltaikanlage

Mit Hilfe der Software ZUB-Helena wurde ein Beispielgebäude mit den Abmessungen 10x10m zweigeschossig (2x M1) mit den in Kapitel 4.2 errechneten U-Werten eingegeben.

Der Transmissionswärmeverlustkoeffizient H_t' wird dabei mit dem eines EnEV-Referenzgebäudes verglichen. Das Ergebnis der Berechnung wird in folgender Grafik dargestellt:

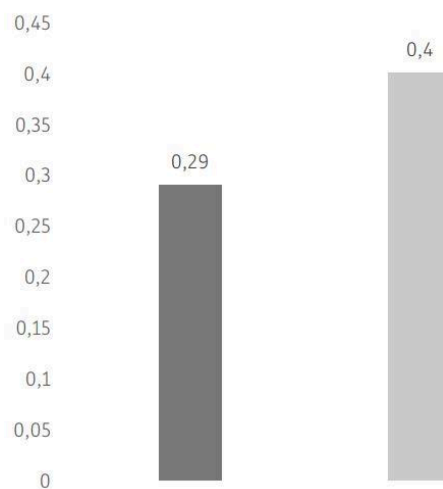


Bild 35: Grafische Darstellung des H_t' -Wertes Vergleich Minimalist House mit EnEV Referenzgebäude

Der Transmissionswärmeverlustkoeffizient (H_t') in W/m²K liegt bei nur 72% des EnEV-Soll-Wertes und gilt damit als erfüllt.

Die Ergebnisse des Vergleichs des Primärenergiebedarfs unseres Hauses mit dem EnEV-Referenzgebäude zeigt folgende Grafik:

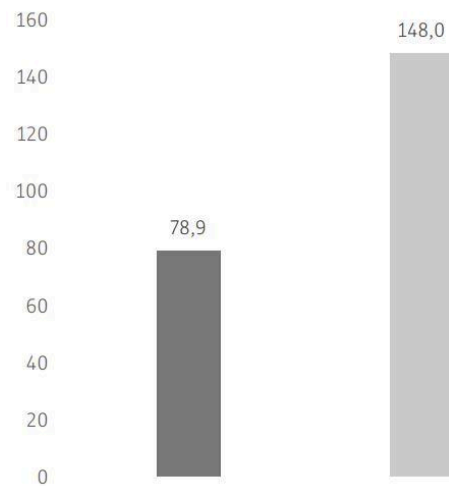


Bild 36: Grafische Darstellung des Qp -Wertes Vergleich minimalist house mit EnEV Referenzgebäude

Der spezifische Primärenergiebedarf (Qp) in kWh/(m²a) unterschreitet den Wert des Referenzgebäudes um 53% und gilt damit als erfüllt.

Eine Finanzierung der Gebäude durch die KfW-Bank sollte somit möglich sein.

4.5. Kosten und Finanzierung

Die Variabilität im Grundriss bringt noch einen weiteren Vorteil mit sich. Die Finanzierung ist durch Vermietung von aktuell nicht benötigter Fläche möglich.

Ein kurzes Szenario soll hier erläutern wie eine klassische Finanzierung ablaufen kann:

4.5.1. Finanzierungsszenario

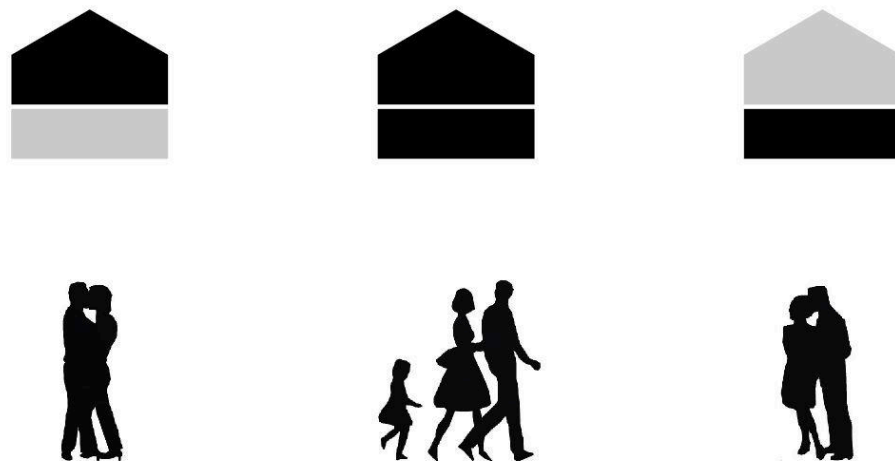


Bild 37: Finanzierungsszenario, Pärchen – Familie – Senioren

Ein junges Pärchen möchte sich ein Eigenheim bauen, welches sie durch ihr Leben begleitet. Sie stehen jedoch noch am Anfang ihrer Karriere, das Startkapital für den Kredit haben Sie, jedoch können oder wollen sie monatlich nur wenig tilgen. Sie wünschen sich auf lange Sicht Kinder und wollen dementsprechend Platz für Kinder vorsehen. Das Minimalist House bietet dafür die perfekte Lösung. Das Pärchen zieht ins Obergeschoss ein, hier haben sie ein zusätzliches Zimmer, welches Sie zunächst als Büro nutzen. Die untere Wohnung wird vermietet, wobei die Mieteinnahmen direkt in die Tilgung des Kredites fließt. Sobald sich die familiäre Situation ändert kann das Untergeschoss mit dem Obergeschoss verbunden werden und beide Etagen bewohnt werden. Wenn die Kinder ausziehen, kann das Obergeschoss wieder vermietet werden. Die Eltern haben ein barrierefreies Seniorendomizil sowie parallele Mieteinnahmen, welche nach Tilgung des Kredites dauerhafte Renditen bedeutet. Im Falle von größeren Immobilien reist während der Familienphase auch der Einnahmenstrom aus den Vermietungen nicht ab. Die Immobilie ist jedoch in der Anschaffung entsprechend teurer, was die Kreditsumme und das benötigte Startkapital steigen lässt.

Das Minimalist House ist auch als Investorenprojekt geeignet. Bei dem Bau des größten Objektes können bis zu sechs Wohneinheiten realisiert werden, was nicht nur dem Investor ein Wasserdichtes Finanzierungskonzept liefert, sondern auch dem aktuellen Wohnraummangel entgegensteuert.

4.5.2. Zuschüsse und günstige Kredite

Günstige Kredite gibt es mit entsprechendem energetischem Standard bei der KfW-Bank. Diese fördert die Finanzierung des Eigenheims und jede Wohneinheit mit bis zu 120.000€ Kreditsumme zu günstigen Zinskonditionen und Tilgungszuschuss. Zusätzlich gibt es Zuschüsse für eine Barrierereduzierung, Einbruchschutz und erneuerbare Energien wie beispielsweise die Photovoltaikanlage, was eine Anschaffung rentabel gestaltet. Baukindergeld erleichtert den Hausbau, wenn bereits Kinder vorhanden sind mit 12.000€ pro Kind über 10 Jahre. Auch auf Landesebene gewähren zahlreiche Kommunen Zuschüsse, Vergünstigungen oder Darlehen, welche den Zuzug in ihre Region stärken sollen. Der Staat Zulezt fördert der Staat nach Inkrafttreten des Wohnraumförderungsgesetzes den Bau neuer Wohnungen und Häuser für einkommensschwache Familien mit Zuschüssen, zinsgünstigen Darlehen und verbilligtem Bauland (Hanow), (Schmid).

4.5.3. Kosten

Die Bauwerkskosten wurden anhand eines Beispiels mit Hilfe des BKI nach 3. Ebene ermittelt.

Zur Vergleichbarkeit mit einem typischen Einfamilienhaus im BKI wurde das Beispiel 2xM gewählt. Dieses hat ca. 160m² Wohnfläche und bietet großzügig Platz für eine Familie mit 2 Kindern.

Die Kostenberechnung ergab folgende Werte:

Tabelle 9: Kosten nach BKI 3. Ebene

	Kostengruppe	Kosten
100	Grundstück	-
200	Herrichten und Erschließen	4500
300	Baukonstruktion	281504
400	Technische Anlagen	60463
	Bauwerk (300+400)	341967
500	Außenanlagen	6750
600	Ausstattung und Kunstwerke	7752

700	Baunebenkosten	80172
	SUMME	441141
	Inflationsrate	1,014
	Standortfaktor Ostallgäu	1,077
	GESAMT	481760
	Gesamt€/m² BGF (300+400) vor Faktoren	1676

(Kalusche und Herke 2018) (Ritter 2018).

Vergleicht man den sich aus der Kostenberechnung ergebenden Kennwert für die 300er und 400er Kosten mit den Kostenkennwerten aus dem BKI lässt sich feststellen, dass das Gebäude sich im Bereich der „Ein- und Zweifamilienhäuser, nicht unterkellert, hoher Standard“ wiederfindet. Diese liegen im Schnitt bei 1620€/m² BGF.

Vergleicht man Referenzprojekte mit Massivholzkonstruktionen liegen diese zwischen 1301€/m² und 2191€/m² auf die Bruttogrundfläche bezogen. Das Günstige erfüllt dabei keinen energetischen Standard, das Teuerste einen Effizienzhaus 40 Standard.

Unser Gebäude liegt also im guten Mittel und erreicht durch seine Ausführung als Massivholzkonstruktion im KfW 55 Standard einen hochwertigen Standard mit langfristigem Komfort für seine Bewohner.

Betrachtet man die Baupreisentwicklung der letzten Jahrzehnte, wird deutlich, was ein hochwertiges Produkt an Kosten einsparen kann. Ein im Jahre 1991 erbautes Haus wäre heute um ca. 60% teurer. Im Ausbau sogar um fast das Doppelte (vgl. Bild 38). Schafft man also ein hochwertiges, und dadurch wartungsarmes, langlebiges und zeitloses Objekt, kann dies über die Jahre die anfänglichen Mehrinvestitionen mit Leichtigkeit einsparen.

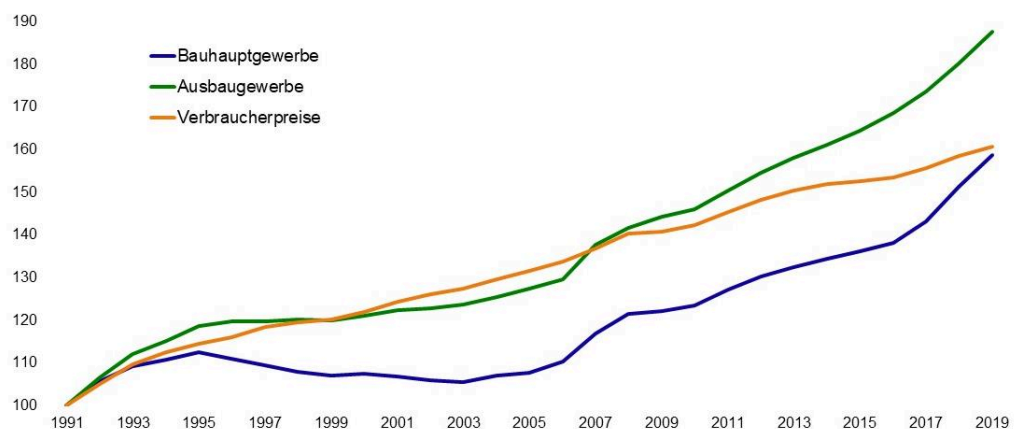


Bild 38: Preise für Leistungen des Bauhauptgewerbes weiter unter Verbraucherpreisen (Stein-Barthelmes)

5. Darstellung der Ergebnisse

Das entstandene Konzept geht folglich auf ökologische, ökonomische als auch soziale Einflussfaktoren und Problemstellungen ein und bietet einen ganzheitlichen Lösungsansatz.

Durch die Verwendung von natürlichen regionalen Materialien und die von der Scheune inspirierte Form ist das Gebäudekonzept zeitlos und gliedert sich hervorragend in die Umgebung ein. Die quadratische Kubatur und die flexiblen Anbauten lassen sich flächeneffizient auf nahezu jedem Grundstück realisieren und verbraucht durch optimierte Grundrisse nur wenig Fläche. Dies kommt nicht nur dem Geldbeutel, sondern auch der Umwelt zu Gute. Der daraus resultierende geringere Materialverbrauch wird durch die Verwendung von natürlichen regenerativen Rohstoffen verstärkt. Die sich aus der Recherche ergebende Brettsper Holzkonstruktion ist dabei nicht nur ökologisch, sondern bietet auch viele Vorteile beim Bau. Der hohe Vorfertigungsgrad spart Zeit auf der Baustelle und die simplen Konstruktionen sind kaum Fehleranfällig bei der Montage. Durch die Massivität der Konstruktion und die natürliche Luftdichtheit kommt es auch während der Nutzung zu keinerlei Bauschäden. Die Konstruktion ist durch die Trennung der Funktionsschichten im Detail sehr dauerhaft. Die Witterungsschicht kann wie die komplette Konstruktion leicht demontiert, recycelt und erneuert werden, ohne dass Müll anfällt.

Auch auf der sozialen Ebene birgt Holz viele Vorteile. Die Wärmespeicherfähigkeit und daraus resultierender Temperaturpufferung, angenehme Akustik, Haptik sowie Geruch und Praktikabilität im Alltag sind weitere positive Eigenschaften.

Die Nutzung von passiven Systemen, wie die Nutzung der Wärmespeicherkapazitäten der Materialien, große Fenster zur Generierung hoher solarer Einträge und die Möglichkeit zur Querlüftung vermeiden teure und in der wartungsintensive Anlagentechnik.

Die Modularität des Konzeptes lässt verschiedenste Nutzungsszenarien und Kombinationen zu, die eine langfristige Nutzung des Gebäudes ermöglichen. Die sich aus den Modulen ergebende Flexibilität ergibt 45 Möglichkeiten, in 15 Kubaturen. Der zunächst höhere Anschaffungspreis zahlt sich also nicht nur in der Lebensdauer, sondern auch durch seine Flexibilität aus. Die sich ergebenden Vermietungsszenarien erleichtern die Refinanzierung. Durch Förderungen und Zuschüsse, welche sowohl für nachhaltiges, energieeffizientes als auch für barrierefreies Bauen vergeben werden, helfen zusätzlich bei der Finanzierung. Das nachhaltige und qualitativ hochwertige Gebäudekonzept lässt sich somit von Jedermann realisieren und passt sich dem Leben des Nutzers an.

So entstehen Gebäude die, der heutigen Wegwerf-Gesellschaft entgegen, nicht nur Generationen beherbergen, sondern diese auch überdauern können.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Durch die vielen Kombinationsmöglichkeiten, Wandelbarkeiten und geschaffenen Anwendbarkeiten, ist für jeden Bauherren, trotz der modularen Bauweise, ein maßgeschneidertes Objekt realisierbar.

Durch die modulare Vorfertigung ist eine schnelle und auf lange Sicht gesehen kostengünstige Herstellung möglich, welche zudem eine hohe Flexibilität besitzt. Direkter Kontakt zu Herstellern und eine größere Stückzahl können auf lange Sicht kostengünstige Module realisieren und das Produkt damit auch für Kleinverdiener attraktiv gestalten.

Aufgrund der Vielfältigkeit der Kombinationenmöglichkeiten können auch ganze Siedlungen mit den Modulen realisiert werden, wobei kein Haus dem anderen gleichen wird, jedoch alle die gleiche Architektursprache sprechen und sich hervorragend in die Umgebung eingliedern. Selbstversorgerkonzepte und Autarkie sind in diesem Modular erweiterbaren System genauso denkbar wie die Weiterentwicklung der Module zur Nutzung in Städten. Knappe Flächen und die stetig wachsende Nachfrage nach Wohnraum lassen flexible Raumkonzepte attraktiv wirken. So können in diesem Kontext Studentenappartements, Boarding-Houses oder Seniorenwohnheime entstehen, welche durch flexible Grundrisskonzepte und Erweiterungsmöglichkeiten vielfältigste Umnutzungen erfahren können.

Die Vielfältigkeit der Module bleibt also weiterhin offen und kann in noch größerem Rahmen untersucht und weitergedacht werden.

7. Literatur

- Becker N, Pichlmeier F (2014) Ressourceneffizienz der Dämmstoffe im Hochbau.
- Breidenbach P (2010) Einschubdecke. Abruf am 2020-02-02.
- Brockmann T (2018) Prozess-Datensatz: Dachziegel. Abruf am 2020-02-02.
- Büren C (Hrsg) (1985) Funktion et Form. Gestaltungsvielfalt im Ingenieur-Holzbau. Birkhäuser Basel, Basel.
- Carstensen Oea Scheune, die. Abruf am 2019-01-15.
- Deutsche Norm (2018) Schallschutz im Hochbau. Teil 1: Mindestanforderungen(4109-1).
- Elsässer M Brettstapel Elemente Wärmespeicherverhalten. Abruf am 2020-01-26.
- Frey D Vor- und Nachteile der Photovoltaik. Abruf am 2020-02-05.
- Glock U Dacheindeckungen: Verschiedene Materialien, verschiedene Kosten. Abruf am 2020-02-02.
- Hanow G Anlage zum Merkblatt Energieeffizient Bauen. Technische Mindestanforderungen. Abruf am 2020-02-05.
- Hanow G Förderprodukte im KfW-Zuschussportal. Abruf am 2020-02-12.
- Hartmann F (2015) Baubiologische Haustechnik. Lüftung, Wasser, Heizung, Strom. VDE Verlag GmbH, Berlin, Offenbach.
- Hartung F Das KfW-Effizienzhaus 55. Abruf am 2020-01-24.
- Heidmann C Welche Vor- und Nachteile hat ein Dach aus Aluminium. Abruf am 2020-02-03.
- Hermann D (2018) Vor- und Nachteile von Solarthermie auf einen Blick. Abruf am 2020-02-05.
- Hochwarth D (2019) Kesseldruckimprägniertes Holz und seine Alternativen. Abruf am 2019-12-04.
- Hörmann P (2016) Wir bauen so! Abruf am 2020-01-23.
- Kalusche W, Herke S (2018) BKI-Baukosten 2018 Neubau. Statistische Kostenkennwerten1. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart.

Kaufmann P Vor- und Nachteile von Hausbauweisen im Vergleich. Abruf am 2020-01-26.

Köhnke EU (2013) Schallschutztechnische Ausführungsfehler an Holzdecken. Abruf am 2020-02-02.

Peck M, Besold D (2009) Sichtbeton. Techniken der Flächengestaltung. Abruf am 2020-01-23.

Plag R ubakus U-Wert Berechnung. Abruf am 2020-01-24.

Ritter Fea (2018) BKI-Baukosten 2018 Neubau. Statistische Kostenkennwerten2. Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern, Stuttgart.

Ritter Fea (2019) Baukosten. Bauelemente Neubau. Statistische Kostenkennwerte.

Rollins M Thoma Planungshandbuch. Abruf am 2020-01-26.

Schmid B Förderungen fürs Eigenheim: bauen, kaufen, renovieren. Abruf am 2020-02-12.

Schöning D Dämmstoffe: Eigenschaften, Anwendungen, Kennwerte. Abruf am 2020-01-24.

Siepe U Tegalit. Abruf am 2020-02-02.

Stein-Barthelmes I Preisentwicklung Bauhauptgewerbe. Abruf am 2020-02-14.

Teibinger M, Matzinger I (2013) Bauen mit Brettsper Holz im Geschoßbau. Fokus Bauphysik. Abruf am 2020-01-30.

Walter W Vollholzwand. Abruf am 2020-01-26.

Wichmann P, Ringhof H (2014) Scheunen als Kulturdenkmale. Zur Bauaufgabe, der Geschichte ihrer Bedeutung und heutigem Denkmalschutz.