

**Positive Kostenbeeinflussung mit konstruktiven Maßnahmen im
Nachhaltigen Einfamilienhausbau;
Motivation des Suffizienzgedanken durch Modulhausbau**

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades
„Magister artium.“

In der Studienrichtung

Lehramt:

Unterrichtsfach: „Design, Architecture and Enviroment“, Technisches Werken
und

Unterrichtsfach „Kunst und Kommunikative Praxis“, Bildnerische Erziehung

Eingereicht an der Universität für angewandte Kunst Wien
am Institut für Kunstwissenschaften, Kunstpädagogik und Kunstvermittlung

eingereicht bei

Univ.-Prof. Mag.art. BSc. Kaltenbrunner, Christoph

vorgelegt von

David Meisinger

Wien, im März, 2020

Eidesstattliche Erklärung:

Hiermit erkläre ich,

dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, keine andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe,

dass diese Diplomarbeit weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin / einem Beurteiler zur Beurteilung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt wurde,

dass dieses Exemplar mit der beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum: _____

Unterschrift: _____

1.1 Danksagung

Besonderer Dank gebührt meinem Diplomarbeitsbetreuer Christoph Kaltenbrunner, der mir mit seinem „know how“ und Engagement das nötige Fundament für diese Arbeit gelegt hat. Ohne ihn wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Weiters möchte ich mich herzlich bei meinen Interviewpartnern aus den Modulhaus- und Baufirmen bedanken, die mir ihre Zeit und Geduld geschenkt und wertvolle Informationen für diese Arbeit geliefert haben.

Besonderer Dank geht an:

Thomas Scheimer, *Freiraum Gmbh*, Zinipi loft,

Michael Luef, Holzwohnbau Luef,

Erich Viktor Böhm und Martin Candaten, *BCP modulunddesign GmbH*, MeinKubus,

Oliver Pesendorfer, *M.C.V. GmbH*, McCube,

Ernst Schachner, *Ernst Schachner Ges.m.b.H.*,

Darüber hinaus möchte ich meinem Vater, Thomas Praher danken, der für diese Arbeit, mit viel Einsatz ein tatkräftiger Unterstützer gewesen ist. Meiner Mutter, Christine Meisinger, möchte ich besonders für die Unterstützung der letzten sieben Studienjahre danken. Mit ihrer materiellen Unterstützung und geistigen Arbeit als Lektorin hat sie mir das Leben als Student deutlich erleichtert.

Abschließend möchte ich noch meine besondere Dankbarkeit dafür ausdrücken, dass ich während meiner Studienjahre seit 2013 an der Universität für Angewandte Kunst, viele besondere Studienkolleginnen, Studienkollegen, Lehrende und Menschen „hinter den Kulissen“ der Universität kennen lernen durfte, und manche davon meine Freunde wurden.

1.2 Kurzfassung

Da Nachhaltigkeit und Ökologie in unserer Zeit immer wichtigere Themen werden und besonders im Bauwesen viel Potential dafür besteht, beschäftigt sich diese Arbeit einleitend mit den Begriffen Nachhaltigkeit und Ökologie. Darüber hinaus werden die drei nachhaltigen Handlungsstrategien, Effizienz, Konsistenz und Suffizienz beschrieben.

Im Hauptteil sucht diese Arbeit nach Maßnahmen im ökologischen Einfamilienhausbau, welche die Investitions- Nutzungs- und Rückbaukosten maßgeblich reduzieren. Sie beschreibt den Suffizienzgedanken als Handlungsstrategie mit dem größten Potential für Kostenreduktion. Dieser scheitert häufig aus Mangel an Motivation in der Umsetzung. Daher sollte in dieser Arbeit die Motivation zur Umsetzung des Suffizienzgedankens mit der Flexibilität, Wohnraum unkompliziert zu vergrößern bzw. zu reduzieren, verknüpft werden. Einzelne Modulhausbauunternehmen, die mit solchen Wohnmöglichkeiten werben, werden mittels Fragebogen verglichen, um anschließend festzustellen, ob das momentane Marktangebot den Suffizienzgedanken ausreichend motiviert.

Resultierend aus der Literaturrecherche werden zusätzlich konstruktive Maßnahmen gesucht und aufgelistet, welche die anfallenden Kosten im Einfamilienhausbau positiv beeinflussen, d.h. reduzieren, könnten. Die Befragung der Modulhausfirmen zeigt allerdings, dass diese (trotz teilweiser Umsetzung solcher Maßnahmen) mit ihren angebotenen Preisen keine maßgebliche Reduktion der Kosten bewirken. Der momentane Markt des Modulhausbaus liefert somit nur einen mäßigen Motivationsanstoß, den Suffizienzgedanken umzusetzen. Dies auch vor allem deshalb, weil die Erweiterung bzw. Reduzierung von Modulhäusern bisher selten in die Praxis umgesetzt wurde. Die Kosten für spätere Erweiterung sind mäßig höher als ein vergleichbares Haus vorweg in dieser Größe zu errichten. Ein vereinfachtes Kreditrechenbeispiel zeigt jedoch, dass es durchaus positiv sein kann, Kreditbelastungen auf unterschiedliche Zeitabschnitte zu verlegen. Dabei wird ein Modulhaus, welches von 75m² auf 100m² erweitert wird mit einem Modulhaus, das vorweg mit 100m² gebaut wird, verglichen.

Weiters wird aufgrund der gemachten Erkenntnisse eine persönliche Vorgehensweise zur Entscheidungsfindung im Einfamilienhausbau beschrieben.

In dieser Arbeit wurde auf Fachliteratur, Fachpublikationen und Interviews zurückgegriffen. Die Informationen dieser Arbeit wurden mithilfe einer qualitativen Forschung behandelt.

1.3 Schlagwörter

Nachhaltigkeit, Einfamilienhausbau, Suffizienzgedanke, Konstruktion, Modulhausbau

1.4 Abstract

In modern society, sustainability and ecology are important concepts providing huge potential in many areas including construction of buildings, including family homes. This paper explains what sustainability and ecology means with regard to building homes and make make the purchasing of such buildings more attractive to individuals and families. It describes three sustainable strategies for action: Efficiency, Consistency and Sufficiency.

This paper is trying to identify measures which can help to significantly reduce costs of investment, use and dismanteling of ecologically built family houses. It further describes the concept of sufficiency as an action strategy with the greatest potential for cost reduction. This however appears to often fail because of lack of motivation at the stage of implementation. Therefore, this work describes the advantages of module houses a living space which can be adapted to the needs experienced in different stages of live, i.e. as they can be enlarged when needed (when establishing a family) and reduced when needed (children moving out of the house). Because it seems important to react to changing living needs in an uncomplicated manner, construction companies that advertise modular housing options were compared in this paper. In addition, it was tested whether the current market offers sufficient incentives to promote the idea of sufficiency and actually motivate individuals and families to purchase modular houses.

Based on literature research and a survey, additional measures which could help reducing construction costs when building an environmental/ecological family home were identified and listed. However, the survey demonstrated that current prices of modular houses are too high and hence provide only moderate incentive to implement the concept of sufficiency. Moreover, the expansion or reduction of modular houses has rarely been implemented in practice and are likely to cause additional costs. In addition, the costs of expansion of a modular house are moderately higher than a comparable house in this size. A simplified example of credit calculation shows, nevertheless, that it can be quite positive to transfer credit burden to different time periods.

The paper also describes a personal approach to building a family home, based on the knowledge acquired.

In this work, specialist literature and publications as well as interviews were used to collect relevant data and information. The information was collected using qualitative research methods.

1.5 Keywords

Sustainability, single-family house, sufficiency, construction, modular house

2 Inhaltsverzeichnis

1.1	DANKSAGUNG	3
1.2	KURZFASSUNG	4
1.3	SCHLAGWÖRTER	4
1.4	ABSTRACT	5
1.5	KEYWORDS	5
2.1	EINLEITUNG	8
2.2	FORSCHUNGSFRAGE NEUE DEFINITION	10
2.3	METHODE	11
3	<u>NACHHALTIGKEIT</u>	<u>12</u>
3.1	ZUM BEGRIFF DER NACHHALTIGKEIT	12
3.2	KLIMAWANDEL UND ENERGIEWENDE	13
3.3	BEREICHE DER NACHHALTIGKEIT	15
3.4	NACHHALTIGE HANDLUNGSPRINZIPIEN UND DEREN KONFLIKTE	17
3.5	NACHHALTIGES BAUEN	21
3.5.1	NACHHALTIG ÖKOLOGISCH BAUEN	22
3.5.2	ÖKOLOGISCHE BILANZIERUNG	26
3.5.3	ZERTIFIZIERUNGEN	29
3.5.4	NACHHALTIG ÖKONOMISCHES BAUEN	29
3.5.5	ÖKONOMIE UND ÖKOLOGIE KONFLIKT	30
3.5.6	NACHHALTIGES, SOZIOKULTURELLES BAUEN	31
4	<u>HAUSBAU UND SUFFIZIENZ</u>	<u>34</u>
4.1	DER SUFFIZIENZGEDANKE	34
4.2	BAUGLIEDERUNG UND BEGRIFFE	35
4.3	MODULHÄUSER IM VERGLEICH	37
4.3.1	FREIRAUM GMBH, ZINIPI LOFT	39
4.3.2	HOLZWOHNBAU LUEF	48
4.3.3	MEIN KUBUS	51
4.3.4	McCUBE	60
4.3.5	SCHACHNER, WINTERGÄRTEN UND MODULHÄUSER	68
4.3.6	FAZIT	75

5	<u>BAULICHE ENTSCHEIDUNGEN</u>	78
5.1	BERÜHRUNGSPUNKTE DER MODULHÄUSER RELEVANT FÜR INVESTITIONSKOSTEN	78
5.1.1	KEIN KELLER	78
5.1.2	VORFERTIGUNGSGRAD	79
5.1.3	PACHT EINES BAUGRUNDS	81
5.2	BERÜHRUNGSPUNKTE DER MODULHÄUSER RELEVANT FÜR LEBENSZYKLUS	83
5.2.1	DACHÜBERSTAND	83
5.2.2	NUTZUNGSFLEXIBILITÄT	83
5.2.3	VORGEHÄNGTE HINTERLÜFTETE FASSADE (VHF)	84
5.3	BERÜHRUNGSPUNKTE DER MODULHÄUSER RELEVANT FÜR BETRIEBSKOSTEN	85
5.3.1	A/V VERHÄLTNIS	85
5.3.2	GEBÄUDEHÜLLE	86
5.3.3	PASSIVE SOLARE GEWINNEN	87
6	<u>KONKLUSIO</u>	89
6.1	MODULHAUS UND SUFFIZIENZ	89
6.1.1	SUFFIZIENZ DURCH FLEXIBILITÄT	89
6.2	ERKENNTNISSE	91
6.2.1	VORGEHENSWEISE IM WOHNBAU	91
6.2.2	MOMENTANER FORSCHUNGSTAND UND WEITERE AUSSICHTEN	96
7	<u>GLOSSAR</u>	97
7.2	BAU- UND DÄMMSTOFFE	105
7.2.1	AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN	105
7.2.2	AUS MINERALISCHEN ROHSTOFFEN	111
7.2.3	AUS SYNTHETISCHEN ROHSTOFFEN	111
8	<u>VERZEICHNISSE</u>	113
9	<u>ANHANG</u>	121
9.1.1	FRAGEBOGEN	121

2.1 Einleitung

Ende 2013 wurde die Erfindung des „Earthships“ in Europa bekannter. Der amerikanische Architekt Michael Reynolds entwickelte seine ersten „Earthships“ in New Mexico. Ein Haus mit ökologischen Ansprüchen, welches aus recycelten, natürlichen und weggeworfenen Materialien gebaut wird. Dieses Bauwerk soll laut dem Architekten ohne Heizsystem auskommen. Eine breite nach Süden gerichtete Glasfront fängt Sonnenstrahlen, diese wärmen dicke Erdwände, welche als Wärmespeicher in Kälteperioden dienen. Auch Kühltechnik in den warmen Jahreszeiten ist nicht notwendig, da über Lüftungsröhren der nordseitigen Erdhügelmauer kühle Luft in das Bauwerk kommt. Kombiniert wird das Haus mit autarken Kreisläufen für elektrische Energie über Photovoltaik- und Kleinwindkraftanlagen. Brauchwasser wird über Regenwasseraufbereitung gewährleistet und Abwasser wird über eine solarbeheizte Mehrkammer-Klärgrube und eine Pflanzenkläranlage in einen ökologischen Kreislauf zurück geführt. Dieses Angebot soll im kleinsten „Earthship“ Modell zu einem Preis von ca. 7000 \$ möglich sein.¹

Aus dieser „fantastischen“ Beschreibung ist die Motivation dieser Arbeit entstanden. Die Überlegung war, dass Wohnen, neben der Beschaffung von Nahrung, für die Hauptlebenskosten verantwortlich ist. Wenn eine Wohnmöglichkeit für 7000 \$ gebaut werden kann, welche keine Betriebskosten erzeugt, dann könnte ein Großteil der Lebenshaltungskosten mit diesem Konzept eingespart werden. Das Resultat wäre mehr Freiheit, beispielsweise in der Berufswahl, weil weniger Geld (Gehalt) für die Lebenshaltungskosten verdient werden müsste. Die Höhe des Gehalts, eine der wichtigsten Entscheidungskriterien für die Berufswahl oder Erwerbsarbeit überhaupt, wären dann eine weniger existenzielle Frage. Die Frage, die ich dieser Arbeit vorangestellt habe, ist daher folgende:

„Ist die oben beschriebene Überlegung für die Wohnbedürfnisse einer Kleinfamilie in einem Einfamilienhaus mit mitteleuropäischem Standard in die Realität umsetzbar?“

Ich begann Mitte 2018 mit den Recherchearbeiten für diese Arbeit. Im Zuge der Recherche zeigte sich, dass die verfügbare Information über das „Earthship“ nicht

¹ Vgl. Autarkes Haus, www.bewusst-vegan-froh.de, o.D., <https://bewusst-vegan-froh.de/10-gruende-warum-aussergewoehnliche-haeuser-wie-earthships-so-fantastisch-sind/>, (Aufgerufen am 26. 01. 2020).

verwertbar war (weil zu unvollständig), und mit heutigen Verhältnissen und Zeitgeist (z. B.: Umweltverträglichkeit eines Bauwerkes) schwer vergleichbar oder vereinbar ist, wie hier anschließende dargelegt:

- Der Preis eines „Earthship“-Einfamilienhauses ist in der Regel teurer;

Die Kosten für ein „Earthship“ mit einer Größe von ca. 75 - 100 m² Wohnnutzfläche (WNF) für eine Kleinfamilie, belaufen sich auf 250 \$ (netto) pro Quadratfuß. Ein Quadratmeter sind ca. 10 Quadratfuß. Ein Dollar entspricht momentan ca. 0,90 €. Ein „Earthship“ kommt geschätzt auf ca. 2.300 € (netto) / m² WNF.²

- Dämmstoffe aus Erdölbasis sind notwendig und daher unvereinbar mit umweltbewusstem Wohnbau;

Ein „Earthship“ besteht aus einer Fensterwand, die nach Süden gerichtet ist, Nord-, Ost- und Westseiten sind mit Erdmassen aufgeschüttet. Die Dämme, die gegen das Erdreich aufgeschichtet werden, werden Perimeterdämmung (aus dem Griech. peri: um, herum) genannt und müssen feuchtigkeits- und fäulnisresistent sowie druckbeständig sein. Dafür werden meist geschlossenzellige Schaumstoffe wie Expandiertes Polystyrol (EPS), Extrudiertes Polystyrol (XPS) oder seltener auch Schaumglas eingesetzt.³

- Baumaterialien (Altreifen);

Die tragenden Wände der „Earthship“ Architektur bestehen aus Altreifen von Personenkraftwagen, welche mit Erde gefüllt und mit einem Vorschlaghammer eingepresst werden. In Amerika werden Altreifen auf Mülldeponien gelagert und werden kostengünstig oder gratis abgegeben. In Österreich und Deutschland hingegen ist dieser „Baustoff“ nicht verfügbar, da Altreifen wieder zu brauchbare Reifen gefertigt, oder thermisch (zur Zementgewinnung verbrannt) und stofflich verwertet werden (für Kunststoffbeschichtungen, Kunststoffmatten, Flachdach-Schuttmatten Dämmplatten, Bodenbeläge, Gummimatten für die Tierhaltung, Schuhsolen, Gummi-asphalt). Altreifen sind in Österreich in

² Vgl. Off Grid Housing Earthships, <https://www.stunningearth.com>, o.D., <https://www.stunningearth.com/live-off-the-grid-in-an-earthship/> (Aufgerufen am 26. 01. 2020).

³ Vgl. Perimeterdämmung, <https://www.baunetzwissen.de>, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/perimeterdaemmung-45085>, (Aufgerufen am 26. 01. 2020).

einen technologischen Wiederverwertungsprozess eingebunden und daher in ihrer Verfügbarkeit nicht mit Amerika vergleichbar.⁴

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die realen Kosten für ein „Earthship“ in Europa höher sind als in Amerika. Die Verfügbarkeit der verwendeten Baustoffe in Österreich unzureichend oder deren Verwendung als Baustoffe schlichtweg nicht erlaubt. Innerhalb der ersten Recherchewochen wurde somit deutlich, dass es nicht möglich ist, die einführend gestellte Frage positiv zu beantworten. Das „Earthship“ konnte daher nicht weiter als Forschungsgegenstand für diese Arbeit dienen und ich habe daher die Rahmenbedingungen neu definiert, die im folgenden Abschnitt erklärt werden.

2.2 Forschungsfrage neue Definition

Diese Arbeit beschäftigt sich nun mit der Frage der Kostenreduzierung im Einfamilienhausbau. Unter den aktuell wichtigen Rahmenbedingungen wie Umwelt und Klimaschutz bzw. Nachhaltigkeit werden die Kosten in Investitions-, Nutzungs- (Heizen, Kühlen, Strom, Wasser), Um-, und Rückbaukosten unterteilt. Die Arbeit sucht nach baulichen Entscheidungen, in den jeweiligen Bereichen, welche Kosten reduzieren können.

Der geographische Forschungsbereich der untersuchten Immobilie befindet sich in Wien Umgebung. Als ungefährender Richtwert gilt eine Entfernung von einer Stunde Fahrzeit mit öffentlichen Verkehrsmitteln. Die Immobilie positioniert sich daher in der kalt gemäßigten Klimazone Österreichs und ist dementsprechenden Witterungsverhältnissen ausgesetzt. Für Behaglichkeitsanforderungen bzw. Wohnkomfort wird von einem mitteleuropäischen Standard ausgegangen.

Reduzierung von Investitions- Nutzungs- und Um- bzw. Rückbaukosten eines Gebäudes beinhalten ökonomische sowie ökologische Faktoren, daher wird in dieser Arbeit die Kostenfrage mit Themen der Nachhaltigkeit und Klimaschutz verknüpft. Neben den Bereichen Energiegewinnung, Verkehr, Landwirtschaft, Industrie und Lebensmittelindustrie (Fleischproduktion) hat die Errichtung, Nutzung und der Um- bzw. Rückbau von Gebäuden einen großen Anteil an den verursachten

⁴ Vgl. Altrefien Entsorgung und Verwertung, www.ecodesign-beispiele.at, 2002, <https://www.ecodesign-beispiele.at/w158-altrefien-verwertung.html> (Aufgerufen am 26. 01. 2020).

Treibhausgasen.⁵ Einführend wird in dieser Arbeit der generelle Nachhaltigkeitsbegriff erläutert. Weiterführend werden die Handlungsstrategien der Nachhaltigkeit geklärt, denn diese liefern ein Verständnis wie Nachhaltigkeit erreicht werden kann. Der Suffizienzgedanke, einer von drei Handlungsstrategien der Nachhaltigkeit, dient als Ausgangsidee der Kostenreduktion. Der Suffizienzgedanke beschäftigt sich mit dem Maß, wie viel der Mensch, zu einem bestimmten Zeitpunkt wirklich benötigt. Die Größe an benötigtem Wohnraum bildet einen wichtigen Kostenfaktor. Wohnraum unkompliziert, flexibel und kostenschonend zu variieren spielt daher eine zentrale Rolle, den Suffizienzgedanken in die Praxis umzusetzen. Aufgrund dieser Ausgangslage dienen Modulhaushersteller aus dem deutschsprachigen Raum als Forschungsfeld. Diese Firmen werben damit, Wohnraum über die Nutzungszeit flexibel erweiterbar bzw. reduzierbar gestalten zu können. Ihre Angebote werden hinsichtlich ihrer ökologischen Bauweise, Kosten und Flexibilität verglichen, um schließlich zu eruieren, ob sie den Suffizienzgedanken ausreichend motivieren.

Investitionskosten, Nutzungskosten und Um- bzw. Rückbaukosten sind finanzielle Belastungen, die sich über unterschiedliche Lebensphasen und Generationen ziehen. Da das Grundbedürfnis einer Unterkunft mit ausreichender Behaglichkeit sich zunehmend als kostenintensiv erweist und die klimagerecht bebaute Umwelt einen Beitrag leisten muss, kann die Forschungsfrage folgendermaßen definiert werden:

Welche baulichen Entscheidungen können die Kosten für den ökologischen Einfamilienhausbau positiv d.h. kostenreduzierend beeinflussen? Bietet das Modulhaus einen praktischen Ansatz den Suffizienzgedanken zu motivieren?

2.3 Methode

Die folgende Forschungsarbeit basiert auf einer Literaturanalyse und Experteninterviews. Es wurden Fachbücher, Studien, Hochschulschriften sowie Informationen von Firmen und Internetquellen herangezogen. Interviews und Kundenanfragen wurden mit Modulhausanbietern durchgeführt, um ein Bild des momentanen Marktangebots und deren Möglichkeiten zu skizzieren. Der Inhalt der

⁵ Vgl. Kromb-Kolb, Helga / Herbert Formayer: Plus zwei Grad: warum wir uns für die Rettung der Welt erwärmen sollten, Wien, Österreich: Molden, 2018, S. 110.

Literaturanalyse und die Ergebnisse der Experteninterviews werden kombiniert und qualitativ ausgewertet.

3 Nachhaltigkeit

3.1 Zum Begriff der Nachhaltigkeit

Der Begriff der Nachhaltigkeit wurde 1713 von Carl von Carlowitz infolge einer überregionalen Holzkrise geprägt. Er besagt sinngemäß, dass nicht mehr Holz aus den Wäldern entnommen werden soll, als nachwächst.⁶

Mit dem zunehmenden Bewusstsein für die „Grenzen des Wachstums“ und dem Erscheinen des gleichnamigen Buches des Club of Rome von 1972 bekam der Begriff wieder Beachtung. Weiterführend wurde der Begriff immer häufiger in der Ökologiedebatte verwendet, die in den 80er Jahren verstärkt aufkam. Umweltverschmutzung und Ressourcenverbrauch wurden zum Thema, und mit Konzepten für Umwelt- und sozial verträglicher Entwicklung sollte diesem Thema begegnen werden.⁷

Der Begriff Nachhaltigkeit beschreibt, etwas zu erhalten, über die eigene Generation hinaus für die Zukunft nutzbar zu machen und lebbar zu gestalten. In den letzten Jahren wurde dieser Begriff zunehmend populär, da in vielen Teilen der Erde die Menschen mit einer unerwünschten Veränderung ihrer Umwelt konfrontiert sind. Viele Wissenschaftler/innen haben diese Veränderung vor geraumer Zeit prognostiziert und sie als Folgen des Klimawandels bezeichnet. Nachhaltigkeit wird oft als Überbegriff oder „Heilmittel“ genannt, um dieser Veränderung der Umwelt entgegen zu wirken. Die Häufigkeit, mit der dieser Begriff in unserer Zeit verwendet wird, hängt unweigerlich mit den bereits sehr präsenten Gefahren des Klimawandels zusammen.

⁶ Vgl. Grober, Ulrich: Die Erfindung der Nachhaltigkeit, München, Deutschland: Sächsische Carlowitz-Gesellschaft, 2013, S. 13.

⁷ Vgl. Kolb, Bernhard: Nachhaltiges Bauen in der Praxis, München, Deutschland: Block Verlag, 2004, S. 8.

3.2 Klimawandel und Energiewende

Aufzeichnungen zeigen, dass sich die Erde in den letzten 150 Jahren in einer Geschwindigkeit erwärmt, welche nicht für eine natürliche Wärmeperiode spricht, sondern dem menschlich verursachten Treibhauseffekt zuzuschreiben ist. Die globale Durchschnittstemperatur hat sich bereits um 1°C in den vergangenen 150 Jahren erhöht und eine weitere Steigerung um 0,5°C ist nicht mehr zu verhindern. Je nach menschlichen Verhalten kann der weitere Temperaturanstieg in diesem Jahrhundert bis zu 4°C betragen. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts konnte der Temperaturanstieg noch durch natürliche Faktoren wie einem Anstieg der Sonnenaktivität und geringeren vulkanischen Aktivitäten begründet werden. Nach 1945 wurde der Anstieg von Treibhausgasen (Kohlendioxid und Methan) und ein höherer Energieeintrag in das Klimasystem bestimmend.⁸ Diese Erwärmung stellt die Menschheit vor Herausforderungen, die nicht in ihrem vollen Ausmaß vorhersagbar sind. Vermehrt intensivere Wetterereignisse und daraus resultierende Naturkatastrophen sind in den letzten Jahren beobachtet und mit dem globalen Temperaturanstieg verbunden worden. Ein verstärktes Schmelzen der polaren Eiskappen sowie des Grönlandeises wurde in den letzten Jahren dokumentiert und Bedenken geäußert, dass der damit verbundene Meeresspiegelanstieg stark bewohnte Küstengebiete und Inselregionen beeinflusst und Menschen zwingt aus diesen Regionen zu flüchten. Bei einem weiteren Temperaturanstieg über 2°C, erhöht sich die Gefahr von wiederkehrenden Ernteaussfällen, die in Engpässen der Lebensmittelversorgung resultieren können. Es wird das Eintreten eines „*Multiple Breadbasket failures*“ befürchtet. Als „*Breadbasket*“ wird ein großes und daher wichtiges agrarwirtschaftliche Areal bezeichnet, in der eine oder mehrere der drei meist genutzten Getreidesorten, Reis, Weizen und Mais, angebaut wird. „*Breadbasket failure*“ bezeichnet einen markanten Ernteaussfall eines Areals. Verzeichnen mehrere große Anbauflächen Ernteaussfälle, können Schwierigkeiten in der Lebensmittelversorgung der Erdbevölkerung auftreten.⁹

Um die Menschheit vor einer Situation zu bewahren, die das Überleben auf der Erde vielleicht nur für wenige ermöglicht, besteht das generelle Ziel darin, Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid und Methan) drastisch zu reduzieren.

⁸ Vgl. Kromb-Kolb / Formayer, 2018, S. 48 – 50.

⁹ Vgl. Janetos, Anthony / Christopher, Justice / Molly, Jahn / Michael, Obersteiner / Joseph, Glauber / William, Mulhern: The Risks of Multiple Breadbasket Failures in the 21st Century: A Science Research Agenda, Bosten, Amerika: Bosten University, The Fredrick S. Pardee Center for the Study of Longer-Range Future, 2017, S. 1, www.bu.edu, <http://www.bu.edu/pardee/files/2017/03/Multiple-Breadbasket-Failures-Pardee-Report.pdf>, (Aufgerufen am 05. 07. 2019).

Treibhausgase sind gasförmige Bestandteile in der Atmosphäre, die langwellige Wärmestrahlen (Infrarotstrahlen), welche von der Sonne auf die Erde treffen und von dieser wieder in das Weltall abstrahlen, aufnehmen und diese wieder zurück auf die Erde reflektieren und damit das Abstrahlen der Wärme in das Weltall zu einem relativen Teil verhindern.¹⁰ Treibhausgasemissionen werden durch natürliche Prozesse oder bei der Verbrennung von fossilen Treibstoffen frei, welche zur Energiegewinnung verbrannt werden. Diverse Staaten haben unterschiedliche Bekenntnisse formuliert diese Emissionen zu reduzieren: Deutschland z.B. will bis 2050 einen um 80% bis 95% niedrigeren Treibhausgasemissionswert haben als im Jahr 1990.¹¹

1979 wurde die erste Weltklimakonferenz in Genf abgehalten. Schon damals haben Experten vor einer zunehmenden Verwendung fossiler Brennstoffe und einer vermehrten Vernichtung von Waldbeständen gewarnt, da dieses Vorgehen einen Anstieg der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre zur Folge hat. Nach der Weltklimakonferenz 1995 in Berlin wurden jährlich Klimakonferenzen abgehalten. Die zweite Weltklimakonferenz 1988 in Toronto trug wesentlich dazu bei, den Weltklimawandel auf die politische Agenda zu setzen und fand kurz nach der Veröffentlichung des Brundtland-Berichtes statt.¹² Dieser Bericht gilt als Beginn der weltweiten Diskussion über Nachhaltigkeit. Er wurde von etlichen Wissenschaftlern/innen aus vielen Ländern verfasst und beschäftigte sich mit den globalen Umweltproblemen, die im 21. Jahrhundert aktuell werden. Es wurde darin das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung formuliert, welches dem Menschen dauerhaft die natürlichen Lebensgrundlagen sichert.

*Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu beeinträchtigen, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können.*¹³

¹⁰ Vgl. Dieter Kasang, [wiki.bildungsserver.de](https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase), 22. 11. 2018, <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase>, (Aufgerufen am 16. 11. 2019).

¹¹ Vgl. Hans-Martin, Henning / Andreas Palzer: WAS KOSTET DIE ENERGIEWENDE? WEGE ZUR TRANSFORMATION DES DEUTSCHEN ENERGIESYSTEMS BIS 2050, Freiburg, Deutschland: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Prof. Dr. Eicke R. Weber, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, 2015, S. 6, [www.fraunhofer.de](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20(1).pdf), [https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20\(1\).pdf](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20(1).pdf), (Aufgerufen am 15. 01. 2020).

¹² Vgl. Simonis, Georg: Handbuch Globale Klimapolitik, Stuttgart, Deutschland: utb, 2017, S. 266.

¹³ Greiff, Reiner: Nachhaltiges Bauen - Umwelttechnologieeinsatz und Ressourceneffizienz bei Sanierung und Neubau, Wiesbaden, Deutschland: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2011, S. 15, [www.docplayer.org](https://docplayer.org/64257847-Hessen-umwelttech-nachhaltiges-bauen-umwelttechnologieeinsatz-und-ressourceneffizienz-bei-sanierung-und-neubau.html), <https://docplayer.org/64257847-Hessen-umwelttech-nachhaltiges-bauen-umwelttechnologieeinsatz-und-ressourceneffizienz-bei-sanierung-und-neubau.html>, (Aufgerufen am 10. 01. 2020).

Auf die Veröffentlichung des Brundtland-Berichtes 1987 folgte die Einberufung der Klimakonferenz in Rio de Janeiro 1992. Auf dieser wurde von der internationalen Staatengemeinschaft mit der „Agenda 21“ ein globales Aktionsprogramm für das 21. Jahrhundert vereinbart, in dem sich die Staaten verpflichteten, eine Strategie für eine wirtschaftlich leistungsfähige, sozial gerechte und ökologisch verträgliche Entwicklung auszuarbeiten und umzusetzen.¹⁴ Die Vereinbarungen der bislang letzte Klimakonferenz in Madrid in Dezember 2019 blieben hinter den Erwartungen zurück, und es bleibt daher zu hoffen, dass die Europäische Kommission ihr Ziel, Europa als ersten Kontinent bis 2050 klimaneutral zu machen, umsetzen kann. Wie dieses Ziel zu erreichen ist, hat die Europäische Kommission in ihrem europäischen Grünen Deal vorgestellt, „ein äußerst ehrgeiziges Maßnahmenpaket für einen nachhaltigen ökologischen Wandel, der den Menschen und der Wirtschaft in Europa zugutekommen soll“¹⁵. Eine der Maßnahmen zielt auf die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz und Umweltverträglichkeit von Gebäuden ab, auf die rund 40% der Gesamtenergiekosten in der Europäischen Union entfallen¹⁶.

3.3 Bereiche der Nachhaltigkeit

Ausgehend vom Brundtland-Bericht und den Ereignissen der Konferenz in Rio de Janeiro beschrieb die Enquete-Kommission (überfraktionelle Arbeitsgruppen zu komplexen Sachverhalten) des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“ drei Bereiche des nachhaltigen Wirkens. Die Bereiche Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles stehen in enger Wechselwirkung zueinander und sind ausgewogen zu koordinieren.¹⁷ Sie beschreiben einen Rahmen für Staaten und Unternehmen, um nachhaltiges Handeln zu formulieren

- **Ökologische** Nachhaltigkeit bezieht sich auf die Umwelt und darauf, die Beanspruchung der natürlichen Ressourcen zu schonen. Unternehmen und Staaten sollen sich im Idealfall verpflichten einen bewussten Umgang mit Wasser, Energie und „endlichen“ Rohstoffen zu führen. Es sollen Schäden

¹⁴ Vgl. Greiff, 2011, S. 15.

¹⁵ Ein europäischer Grüner Deal, [www.ec.europa.eu](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de), o.D., https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de, (Aufgerufen am 15. 02. 2020).

¹⁶ Europäische Kommission, Gebäude und Renovierung, 2019, S. 1 – 2, [www.ec.europa.eu](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/fs_19_6725), https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/fs_19_6725, (Aufgerufen am 15. 02. 2020).

¹⁷ Vgl. Enquete-Kommission: Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“, Berlin, Deutschland, Deutscher Bundestag, 1998, S. 218, [www.dip21.bundestag.de](https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/112/1311200.pdf), <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/112/1311200.pdf>, (Aufgerufen am 15. 01. 2020).

am Ökosystem vermieden und die Biodiversität gefördert werden. Dieser Bereich steht aber auch für einen bewussten Umgang mit der menschlichen Gesundheit.

- **Ökonomische** Nachhaltigkeit bezieht sich auf Wirtschaftsmodelle, die dauerhaft betrieben werden können. Es bedeutet für Staaten wie für Unternehmen Schulden gering zu halten. Die Staaten sollen nicht über ihren Verhältnissen leben, da es sonst für nachkommende Generationen zu Einbußen kommen muss. Für Unternehmen, aber auch für Staaten gilt, dass Profitmaximierung nicht das einzige Ziel sein darf, sondern langfristige Strategien zum Erhalt von Arbeitsplätzen, der Steigerung der Lebensqualität und der Förderung von Umweltschutzprojekten Teil dieses Bereiches sein muss.
- **Soziokulturelle** Nachhaltigkeit stellt den Menschen in den Mittelpunkt. Ein Staat oder eine Gesellschaft sollte bemüht sein, soziale Spannungen zu minimieren und Konflikte auf zivilisiertem Weg auszutragen. Nicht nur grundlegende Menschenrechte, sondern auch die Förderung des menschlichen Zusammenlebens sind Teil dieses Ansatzes. Staaten und Unternehmen sind angehalten gemeinwohlorientiert zu agieren.¹⁸

Kritik hat dieses Modell in der Vergangenheit dadurch geerntet, dass es keine konkreten Handlungsstrategien vorgibt. Außerdem vermittelte das Modell den Eindruck des gegeneinander Aufwiegens der Bereiche, z.B. mit dem Versuch Nachhaltigkeit nur mit rein ökonomischen Maßnahmen erreichen zu wollen. Ökologische Nachhaltigkeit ist als Basis des nachhaltigen Handelns zu sehen, da der Schutz der Lebensbedingungen die Voraussetzung für ökonomische und soziokulturelle Stabilität bedeutet. Historische Erschöpfung von natürlichen Ressourcen, wie beispielsweise der Walddraubbau rund um das Mittelmehr und die Erosion der landwirtschaftlichen Böden in Nordafrika während des Römischen Reich von ca. 800 v. Chr. bis ca. 500 n. Chr., ist ein Beispiel aus der Vergangenheit. Dieser Ressourcenraubbau war dem Schiffsbau (Krieg und Handel), Bevölkerungswachstum (Häuserbau und Heizmaterial) und den Expansionskriege (Heeresversorgung) anzulasten.¹⁹

¹⁸ Vgl. Enquete-Kommission: Schutz des Menschen und der Umwelt – „Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“, Berlin, Deutschland, Deutscher Bundestag, Deutscher Bundestag, 1994, S. 33 – 38, www.dip21.bundestag.de, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/12/082/1208260.pdf>, (Aufgerufen am 15. 01. 2020).

¹⁹ Vgl. Enquete-Kommission, 1998, S. 220.

3.4 Nachhaltige Handlungsprinzipien und deren Konflikte

Nachdem der „Club of Rome“ sein erstes Buch, „Die Grenzen des Wachstums“ 1972 veröffentlicht hat, wurde eine wissenschaftliche Grundlage geschaffen, um gegen den grenzenlosen Ressourcen- bzw. Energieverbrauch zu argumentieren und um zu zeigen, dass die Umweltbelastungen die Lebensgrundlage der Menschen bedroht, und dass in einer Welt mit begrenzten Ressourcen ein unbegrenztes Wirtschaftswachstum nicht möglich ist. Aus unterschiedlichen Fachbereichen haben sich Wissenschaftler/innen Gedanken gemacht wie dieses Problem gelöst werden kann. Ihre Überlegungen lassen sich in den folgenden drei Begriffen zusammenfassen: Suffizienz, Effizienz und Konsistenz. Diese haben unterschiedliche Relevanz hinsichtlich des Konzepts der Nachhaltigkeit.²⁰

- **Die Effizienz** ist der am weitesten verbreitete Strategieansatz. Sie hat das Ziel, den Ressourceneinsatz zur Herstellung eines Produktes oder einer Dienstleistung bei Gleichhaltung der Gebrauchseigenschaften zu reduzieren.²¹

Schwachpunkt des Effizienzgedankens ist der „*Reboundeffekt*“. Produkte und Dienstleistungen sind in den vergangenen Jahrzehnten deutlich effizienter geworden, dennoch ist der Energieverbrauch stetig gestiegen. Durch die Effizienzsteigerung eines Produktes oder von Dienstleistungen werden z.B. Stromkosten gesenkt, dadurch wird finanzieller Spielraum für weitere Dienstleistungen oder Produkte frei, Qualität oder Komfort können erhöht werden. Dieser zunehmende Konsum von Produkten oder Dienstleistungen (Komfortsteigerungen), erhöhen den Gesamtenergieverbrauch.²²

*Die Wohnfläche pro Person hat sich in 60 Jahren verdoppelt, die Anzahl der elektrischen Geräte im Haushalt hat sich vervielfacht und der Stromverbrauch für die Übermittlung der Datenmengen im Internet hat sich vertausendfacht.*²³

²⁰ Vgl. Sachs, Wolfgang / Dirk, Aßmann / Bernd, Brouns / Manfred, Linz / Stephan, Moll / Hermann, E. Ott / Andreas, Pastowski / Petersen, Rudolf / Gerhard, Scherhorn/ Wolfgang, Sterk / Nikolaus, Supersberger: Fair Future. Begrenzte Ressourcen und globale Gerechtigkeit, Ein Report des Wuppertal Instituts, München, Deutschland: Wuppertal Institut, C.H. Beck, 2006, S. 165, www.researchgate.net, https://www.researchgate.net/publication/321938382_Fair_Future_Begrenzte_Ressourcen_und_globale_Gerechtigkeit/link/5a3a37ba458515889d2bddbd/download, (Aufgerufen am 12. 11. 2019).

²¹ Vgl. Linz, Manfred: Weder Mangel noch Übermaß, Über Suffizienz und Suffizienzforschung, Wuppertal, Deutschland: Wuppertal Institut, 2004, S. 8, <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/1915/file/WP145.pdf>, (Aufgerufen am 23. 11. 2019).

²² Vgl. Hegger, Manfred / Caroline, Fafflok / Johannes, Hegger, / Isabell, Passig: Aktivhaus Das Grundlagenwerk, Vom Passivhaus zum Energieplushaus, München, Deutschland: Verlag Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, 2013, S. 40.

²³ Hegger et al., 2013, S. 40.

- **Die Konsistenz** beschreibt einen umweltverträglichen Stoffkreislauf. Einerseits sollen Stoffe komplett in die Ökosphäre zurückgeführt werden können oder Stoffe, die ständig in der Technosphäre verbleiben, da sie immer weiterverarbeitet werden und deren Verarbeitung klar von der Ökosphäre trennbar ist. Das „Cradle to Cradle“ Prinzip beschreibt einen konsistenten Stoffkreislauf.²⁴

Michael Braungart und William McDonough haben in ihrem Buch „Die nächste industrielle Revolution“ dieses ökologische Konzept beschrieben. Im Grunde beschreibt es drei Prinzipien:²⁵

1. Abfall ist Nahrung; In der Natur dient jedes verstorbene Lebewesen als Lebensgrundlage für andere Lebewesen. Es zeigt einen perfekt konsistenten Kreislauf und dient als Vorbildmodell.
2. Erneuerbare Energien; Wenn alle Materialien in einem geschlossenen Kreislauf bleiben, verbleiben auch wertvolle endliche Materialien wie Kunststoffe und Metalle in einem technosphärischen Kreislauf. Es benötigt Energie diese Materialien in ein neues Produkt zu formen. Dabei ist es wichtig, die notwendige Energie, aus erneuerbaren Energiequellen zu beziehen, da andernfalls der biologische Kreislauf durch Emissionen und Abfallstoffe der Energiegewinnung belastet wird.
3. Förderung von Vielfalt; gemeint ist damit, dass man der menschlichen Gestaltung der Umwelt durch Einheitsgrößen und Simplifizierungen komplexer Zusammenhänge entgegenwirkt. Es sollten individuelle Lösungen möglich sein.²⁶ Am Beispiel eines Einfamilienhauses, bzw. die Reduktion der Kosten seiner Erstellung, ist es sinnvoll, wenn nicht alle Wohnbereiche die gleiche Wärmedämmung aufweisen. Verschiedene Wohnzonen, wie beispielsweise das Schlafzimmer, könnten mit geringerem Wärmeschutz errichtet werden als das Bade- oder Wohnzimmer.

²⁴ Vgl. Linz, 2004, S. 8 - 9.

²⁵ Vgl. Frey, Wolfgang: Das Fünf Finger Prinzip, Strategien für eine nachhaltige Architektur, Freiburg im Breisgau, Deutschland: Verlag Herder GmbH, 2010, S. 52.

²⁶ Vgl. Frey, 2010, S. 52 – 53.

Schwachpunkte des Konsistenzgedankens liegen in unterschiedlichen Bereichen. Zunächst ist die Menschheit noch weit davon entfernt ihren Energiebedarf aus erneuerbaren Energien zu decken. Zudem lassen sich nicht alle Abfälle zu neuen Produkten (oder nur unter komplexen Prozessen) verarbeiten. Der technische Entwicklungsstand ist nicht so weit, um ein Konsistenzsystem gleich dem der Natur zu schaffen.²⁷

- **Die Suffizienz** beschäftigt sich im ökologischen Sinne mit der Reduktion der benötigten Mittel. Sie zielt auf die Minderung des pro Kopf Verbrauchs von Material und Energie ab und behandelt unterschiedlichste Strategien, wie das Konsumverhalten der Menschheit nachhaltig verändert werden kann. Dabei steht eine reduzierte Nutzung und Anschaffung von Gütern mit dem Ziel, eine Lebens- und Wirtschaftsweise zu etablieren, welche die Ressourcen schont, im Fokus.²⁸

Der Schwachpunkt des Suffizienzgedankens ist, dass es verlangt, den Konsum freiwillig zu beschränken, bevor die Menschheit durch Ressourcenknappheit und Umweltschäden dazu gezwungen wird. Häufig wird auch von Ökonomen/innen argumentiert, dass die Reduktion von Konsum als vermeidlichen Krisenindikator fungiert. Wird weniger konsumiert beziehungsweise werden weniger Produkte produziert, widerstrebt es dem Gedanken eines stetigen Wirtschaftswachstums.

Außerdem vermittelt Suffizienz ein Bild von Selbstdisziplinierung und Enthaltbarkeit. Es wird daher Strategien brauchen, die einen Lebensstil der Suffizienz als „weniger ist mehr“ oder „Zeitwohlstand statt Güterwohlstand“, malerisch darstellen, damit dieser attraktiver wird für die Bevölkerung.²⁹

Im Durchschnitt verbraucht jeder Bürger in Mitteleuropa heute ca. 55.000 kWh (Kilowatt Stunden) Gesamtenergie pro Jahr. Darunter fällt Beheizung und Kühlung von Gebäuden, Erzeugung von Nahrungsmitteln und Gütern, Mobilität, etc.³⁰

²⁷ Vgl. Linz, 2004, S. 21.

²⁸ Vgl. Linz, 2004, S. 10.

²⁹ Vgl. ebd.

³⁰ Vgl. Kolb, 2004, S. 19.

Vergleichsweise gewährleistet 1 kWh Energie:

- 25 Minuten Staubsaugen (bei 2.400 Watt Leistungsbedarf)
- 7 Stunden Fernsehen (bei 140 Watt Leistungsbedarf)
- 5 Stunden Computerarbeit (bei 200 Watt Leistungsbedarf)³¹

Menschen in Entwicklungsländern wie Indien verbrauchen um ein Vielfaches weniger an Energie. So waren es in Indien im Jahr 2015 ca. 7.500 kWh/Person(P)/Jahr (J), in Österreich ca. 44.000 kWh/P/J und Ländern wie Amerika oder Kanada ca. 84.000 kWh/P/J.³² Der Weltdurchschnitt liegt ca. bei 20.000 kWh/P/J. Für eine global gerechte Energieverteilung müssten die Industrieländer den Energiebedarf signifikant senken. Dies entspräche ungefähr unserem Energieverbrauch von 1960.³³

Vergleichsweise liefert bei seiner Verbrennung:

- 1 Kilogramm Steinkohle ca. 8 kWh
- 1 Liter Heizöl ca. 11 kWh

Vor ca. 15 Jahren entstand in der Schweiz das Modell der „2.000 Watt-Gesellschaft“. 2.000 Watt Leistungsbedarf stehen für den durchschnittlichen globalen Energieverbrauch von ca. 17.500 kWh/P/J. Das Modell setzt sich eine nachhaltige Ressourcen-Energienutzung und eine faire Verteilung ebendieser über die ganze Erde zum Ziel. Der Energieverbrauch sollte demnach weltweit nicht steigen und die damit verbundene Erzeugung von Schadstoffen bzw. Treibhausgasemissionen reduziert werden. Um dieses Ziel zu erreichen bedient sich das Modell erneuerbarer Energiegewinnung. Sonnen, Wind, Wasser, Biomasse und Geothermie sind die wichtigsten Energielieferanten. CO₂ neutraler Strom ist auch im Bereich der gebauten Umwelt eine wichtige Komponente. Zunehmend werden Häuser mit Strom erzeugter Wärme beheizt oder Warmwasser versorgt. Generell setzt sich das Modell zum Ziel den Emissionsausstoß von ca. 8 Tonnen CO₂ /P/J, auf 1 Tonne CO₂ /P/J zu reduzieren.³⁴

Dabei geht es nicht darum, rückwirkend den Energiebedarf des Nutzers auszuweisen, sondern vorausgreifend ein Modell zu entwickeln, durch das globale energiepolitische

³¹ Vgl. Wieviel ist eine Kilowattstunde?, www.swe-emmendingen.de, o.D., <https://swe-emmendingen.de/2011/08/10/wieviel-ist-eine-kilowattstunde/>, (Aufgerufen am 17. 11. 2019).

³² Vgl. Pro-Kopf-Energieverbrauch in ausgewählten Ländern weltweit im Jahr 2015, www.statista.com, o.D., <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157762/umfrage/pro-kopf-energieverbrauch-weltweit-im-jahr-2007/>, (Aufgerufen am 17. 11. 2019).

³³ Vgl. Kolb, 2004, S. 19.

³⁴ Vgl. Hegger et al., 2013, S. 40 – 41.

*Ziele erreicht werden können. Damit sind vor allem die durch das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) genannten Reduzierungen des Primärenergieverbrauchs und der Treibhausgas-Emission pro Kopf gemeint.*³⁵

Alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit: Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles sind in Wechselwirkung zueinander zu sehen, wobei ökologische Nachhaltigkeit die wichtigste ist, da die natürlichen Ressourcen die Grundlage für ökonomisches Handeln darstellen. Auch die nachhaltigen Handlungsstrategien Effizienz, Konsistenz und Suffizienz bedienen einander um nachhaltiges Handeln Realität werden zu lassen.

3.5 Nachhaltiges Bauen

Der im letzten Kapitel beschriebene grobe Überblick der Nachhaltigkeit lässt sich in verschiedenen Bereichen des Lebens umsetzen. Eine wichtige Rolle in der Nachhaltigkeitsdebatte im Sinne des Klimaschutzes und der dazu notwendigen Energiewende spielt die bebauten Umwelt und wird in Zukunft bedeutender werden.

In Mittel- und Westeuropa benötigt der Gebäudebetrieb (Beheizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Elektrizität) rund 40 Prozent der gesamten Energie, die konsumiert wird. Dabei ist sämtlicher Verbrauch, der allein durch Neubau und Sanierung entsteht, noch gar nicht mit eingerechnet. Rohstoffgewinnung, Baustoffherstellung, Instandhaltung und Abbruch sind Faktoren, die zusätzlich Energie benötigen.³⁶

*Zement erfordert etwa 5 Prozent des weltweiten Energieeinsatzes und hat einen ebenso hohen Anteil an den globalen CO₂ Emissionen. Bauen ist damit der Sektor mit dem höchsten Energiebedarf...*³⁷

Wolfgang Fray postuliert in seinem Buch „Das Fünf Finger Prinzip – Strategien für eine nachhaltige Architektur“ den vermeidbaren Konflikt zwischen ökonomischen und ökologischen Bauen. Als ein Beispiel beschreibt er ökologische Heizsysteme im Mietwohnbau, welche höhere Investitionskosten bedeuten jedoch dem Hauseigentümer nicht mehr Miete einbringt. Andererseits kommen die geringeren

³⁵ Ebd., S. 98.

³⁶ Vgl. ebd., S. 64.

³⁷ Ebd.

Betriebskosten dem Hauseigentümer nicht zugute. Aus diesem Grund ist die Umsetzung des ökologischen Heizsystems weniger attraktiv. Frey bietet den folgenden Lösungsansatz: Einerseits wird das Miethaus ohne Heiztechnik gebaut, d.h. der Hauseigentümer hat geringere Investitionskosten. Mit den Bewohnern wird über eine separate Energie-Contracting Gesellschaft ein Vertrag über die Lieferung der Heizwärme geschlossen.³⁸

So können wir uns refinanzieren, weil wir anstatt jährlichem Öl- oder Gas-Einkauf die Zins- und Tilgungskosten für eine zugegebenermaßen teure Sondertechnik finanzieren können. Für die Bewohner entstehen keine höheren Kosten als für vergleichbare Wohnungen – langfristig sogar niedrigere, da alternative Energien in der Zukunft billiger werden, herkömmliche aber teurer.³⁹

Die Entstehung eines Wohnhauses oder die Fertigstellung eines Sanierungsobjektes durchlaufen diverse Phasen. Grob kann man diese in Planung, Herstellung, Gebrauch und Um- und Rückbau einteilen. Ist das Wohngebäude nur auf einen minimalen Ressourcenverbrauch in seiner Nutzungsphase getrimmt und benötigt hohe Aufwendungen im Um- bzw. Rückbau (z.B. Entsorgung), dann wurde das Finanzierungs-Problem in die Zukunft verschoben. Bei Häusern, die mit Baustoffen gebaut werden, welche große Energiemengen für Rohstoffgewinnung und Herstellung benötigen, zeichnet sich ein ähnliches Problem ab.⁴⁰

3.5.1 Nachhaltig ökologisch Bauen

Hervorgehend aus der bereits genannten Agenda 21 wurden folgende Handlungsziele definiert:

Der Schutz der Umwelt soll durch effizientere Nutzung von Energie und sonstigen Rohstoffen umgesetzt werden. Da durch Bautätigkeit lange Wege eines Rohstoffes von seiner Gewinnung, über diverse Stufen seiner Veredelung bis zu seinem Endprodukt bzw. Gebrauch und ggf. seine Wiederverwertung bzw. Entsorgung (Stoffstrom), entstehen und dadurch Gebäude schon in ihrer Entstehung einen hohen Anteil des Gesamtenergieverbrauches darstellen, wird die effiziente Nutzung von Ressourcen zur wesentlichen Aufgabe für nachhaltiges Bauen. Materielle

³⁸ Vgl. Frey, 2010, S. 15.

³⁹ Vgl. Frey, 2010, S. 15.

⁴⁰ Vgl. ebd., S. 53.

Ressourcen für die Herstellung von Bauprodukten sollen in ausreichendem Umfang dauerhaft vorhanden sein und ebenso nach ihrer Nutzung möglichst umstand los wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können. Nur ein schonender Umgang mit diesen Ressourcen kann die natürlichen Lebensgrundlagen für kommende Generationen bewahren und die Funktionsfähigkeit des Ökosystems erhalten. Dabei beschränken sich die Anforderungen an nachhaltiges Bauen nicht nur auf die Errichtung von Gebäuden, sondern beziehen sich auch auf die Herstellung der Baustoffe, die Phase der Nutzung und auf die Entsorgung der Restmassen nach dem Abbruch. Erzeugung, Anwendung und Beseitigung von Baumaterialien sind zwangsläufig mit Beeinträchtigungen der Umwelt verbunden. Ziel ist daher, diese auf ein, für die Umwelt verträgliches Maß zu reduzieren. Erweiterte Umweltschutzziele sind daher auch die Sicherung der Trinkwasservorräte, die Reinhaltung der Gewässer, der Schutz der Böden und die Schonung der Landschaft insbesondere durch Vermeidung neuer Flächeninanspruchnahme (Flächenversiegelung).⁴¹

Im Bauwesen ist der Schutz der natürlich vorkommenden Ressourcen durch folgende Maßnahmen sicher zu stellen:

- *Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten, Baukonstruktionen und Gebäuden*
- *Einsatz wieder verwendbarer Bauprodukte und Baustoffe*
- *Gefahrlose Rückführung der Stoffe in den technischen oder natürlichen Stoffkreislauf*
- *Senkung des Ressourcenbedarfs bei Erstellung und Betrieb von Gebäuden*
- *Einsatz nachhaltig erzeugter nachwachsender Rohstoffe (z.B. Holz)*
- *Nutzung von Regenwasser und / oder Wiederverwertung von Grauwasser (Abwasser ohne Fäkalien und / oder Urin) sowie Reduzierung des Trinkwasserverbrauchs*
- *Reduzierung von Transportaufwendungen von Baustoffen*
- *Minimierung des Energiebedarfs in der Nutzungsphase*

⁴¹ Vgl. Greiff, 2011, S. 16 -18.

- Einsatz regenerativer Energie
- Minimierung der Flächeninanspruchnahme durch Gebäude.⁴²

In den letzten vier Jahrzehnten ist die Flächeninanspruchnahme um ca. 100% angestiegen bei einem vergleichbaren geringeren Bevölkerungswachstum von ca. 30%. Diese Tendenz der Flächenversiegelung wirkt sich auf die natürliche Bodenfunktion (z.B. geringer Wasserretention = höhere Überschwemmungsgefahr) und minimiert den Lebensraum für Pflanzen und Tiere.⁴³

Eine quantitative und qualitative Steuerung der Flächeninanspruchnahme ist daher für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung wichtig. Der quantitative Ansatz besteht in der Reduktion der Flächenversiegelung durch flächensparendes Bauen, Bündelung der Infrastruktur und Bereitstellung von Ausgleichsflächen. Parallel dazu muss aber auch eine qualitative Verbesserung des Flächenbedarfs erfolgen. Mehrfamilienhaussiedlungen am Stadtrand mit kleinen Gärten und großzügigen Freiflächen wären ein sinnvoller Bestandteil nachhaltiger Siedlungspolitik.⁴⁴

Leitbild für die Siedlungsentwicklung sind verdichtete Wohnquartiere, in denen viele Dinge des täglichen Bedarfs vor Ort erledigt werden können und die eine gute Anbindung an den öffentlichen Verkehr besitzen. Eine an den Wünschen und Bedürfnissen der Bevölkerung orientierte Infrastruktur ermöglicht den „Stadtteil der kurzen Wege“⁴⁵

Im Sinne des Suffizienzgedankens „weniger ist mehr“ ist bei jeder Bauaufgabe zuerst die Frage zu beantworten, ob ein Neubau notwendig ist, da dieser unweigerlich mit mehr Flächeninanspruchnahme einhergeht. Die Sanierung eines Bestandsobjektes entspricht in seinen Grundzügen eher einem Nachhaltigkeitsgedanken, als ein ökologischer Neubau.⁴⁶

Die Industriedesigner Peter Knobloch, Bernhard Ranner, Billie Rehwald und Daniel Kloboucnik liefern mit ihrem Verein „Permanere⁴⁷“ einen weiteren Blickwinkel zum Thema Nachhaltigkeit. Das übergeordnete Ziel ist, nachhaltige Produkte und Lösungsansätze zu erforschen. Seit 2017 arbeitet das Team an einer Waschmaschine,

⁴² Hegner, Hans-Dieter: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Zukunft fähiges Planen, Bauen und Betreiben, Leitfaden BMUB, Berlin, Deutschland: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016, S. 31, www.nachhaltigesbauen.de, https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2015/LFNB_D_final-barrierefrei.pdf, (Aufgerufen am 13. 09. 2019).

⁴³ Kolb, 2004, S. 13.

⁴⁴ Vgl. ebd.

⁴⁵ Vgl. ebd., S. 14.

⁴⁶ Vgl. Hegger et al., 2013, S. 26.

⁴⁷ Vgl. 100Jährige, Waschmaschine, www.permanere.org, o.D., <https://permanere.org/#about> (Aufgerufen am 19. 11. 2019).

welche eine vergleichbare Leistung wie Konkurrenzprodukte aufweist, jedoch mit dem Anspruch, dass diese 100 Jahre benutzt bzw. repariert werden kann. Mit diesen Vorgaben fokussiert sich das Design auf die Verlängerung der Lebensdauer, die einfache Wartung bzw. Reparatur und auf die leichte Verfügbarkeit von Ersatzteilen.

Der Verein visualisiert Daten des Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel Deutschland, welche die Effizienz von Waschmaschinen in Bereichen Energie- und Wasserverbrauch seit ca. 1995 technisch ausgeschöpft zeigt.

Der Lebenszyklus eines Produktes (wie auch eines Bauwerks) teilt sich in drei Phasen (Produktion, Nutzung, Wiederverwertung bzw. Entsorgung). Um die Nachhaltigkeit eines Produktes zu bewerten ist es wichtig, die aufgewendeten Ressourcen für Herstellung, Recycling bzw. Entsorgung der Nutzungsdauer gegenüber zu stellen. Auf diese Weise zeigt sich, dass die Verlängerung der Lebensdauer ein effizienter Weg ist, Nachhaltigkeit zu erhöhen.

Um die leichte Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu gewährleisten, wird ein digitales Ersatzteillager erstellt. Eine Datenbank bestehend aus Ersatzteilen, welche mit Computerprogrammen (CAD, Computer Aided Design) erstellt wurde. Diese Daten können an computergestützte (CNC, Computerized Numerical Control) Produktionsmaschinen gesendet werden, um Ersatzteile zu erstellen, welche auch in kleinen Stückzahlen wirtschaftlich umsetzbar sind. Durch diese Datenbank können auch lokale Dienstleister als Reparaturwerkstätten fungieren.⁴⁸

Dieses Projekt zeigt Aspekte, die auch bei der Umsetzung von Gebäuden wichtig sind. Unter Langlebigkeit, leichte Instandhaltung bzw. Reparatur und Verfügbarkeit von Ersatzmaterial, ist die einfache Umwidmung der Nutzungsfläche, beispielsweise von einer Privatwohnung in einen gewerblichen Betrieb möglich.

Der Schutz der menschlichen Gesundheit soll vor allem durch Verringerung von Schadstoffbelastung gewährleistet werden. Gesundheitliche Beeinträchtigungen in Innenräumen durch baubedingte Schadstoffe sind mit nachhaltigem Bauen nicht vereinbar. Daher kommt der Verwendung von schadstofffreien Baustoffen große Bedeutung zu. Vor allem

⁴⁸ Vgl. 100Jährige, Waschmaschine, www.permanere.org, o.D., <https://permanere.org/#about> (Aufgerufen am 19. 11. 2019).

gesundheitsgefährdende Baustoffe, die Formaldehyd oder polychlorierte Biphenyle (PCB) enthalten, gilt es zu vermeiden.⁴⁹

*Bauprodukte, die dem Anspruch der Nachhaltigkeit genügen wollen, müssen über den gesamten Lebenszyklus für die menschliche Gesundheit unbedenklich sein und dürfen die Umwelt nicht dauerhaft und irreversibel belasten.*⁵⁰

Ausgehend von einem intelligenten Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen und Energie ergeben sich verschiedene Betrachtungsschwerpunkte:

- Die Verwendung der Baumaterialien ihren Eigenschaften entsprechend nicht nur in ihrer technischen, sondern auch in ihrer ökologischen Relevanz.
- Die Auswirkung des Materialeinsatzes in ihrer Wechselwirkung auf die physische und psychische Verfassung der Menschen.
- Die Folgen, die sich aus dem Eingriff in den Ökohaushalt für diesen selbst ergeben.⁵¹

3.5.2 Ökologische Bilanzierung

Erst die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus gibt Aufschluss über die tatsächliche Qualität eines Gebäudes, wobei sich dieser über die Zeitphasen der Planung und Errichtung, der Nutzung und Instandhaltung sowie dem Rückbau und der Entsorgung erstreckt. Alle diese Lebensphasen spielen bei der Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes eine Rolle.⁵²

*Ziel ist, zu einer objektivierenden und quantifizierenden Bewertungsmethode für den Variantenvergleich unterschiedlicher Gebäudeentwürfe zu gelangen, um eine möglichst hohe Gebäude- und Nutzungsqualität mit möglichst geringen Aufwendungen und Umwelteinwirkungen zu erreichen und langfristig aufrechtzuerhalten.*⁵³

Die Ökobilanz, auch Life Cycle Assessment (LCA) genannt, ist derzeit die effektivste Möglichkeit die Umweltwirkung von Gebäuden darzustellen. Umwelteinwirkungen des gesamten Bauprozesses werden errechnet. Die gesammelten Daten werden zur

⁴⁹ Vgl. Greiff, 2011, S. 19.

⁵⁰ Ebd., S. 137.

⁵¹ Frey, 2010, S. 32.

⁵² Vgl. Hegner, 2016, S. 18.

⁵³ Hegner, 2016, S. 18.

Optimierung der Lebenszyklen von Baustoffen bzw. Bauteilen und Bauprozessen verwendet.

Der grundlegende Ablauf einer Ökobilanz erfolgt nach den ISO-Normen 14040 und 14044, jedoch sind diese für Gebäude exakter in der europäischen Norm DIN EN 15978 definiert. In dieser Definition wird phasenweise festgelegt wie eine Ökobilanzierung abgewickelt werden soll.

Unter anderem werden sogenannte Wirkungskategorien definiert. Unterschiedliche Bauteilhersteller bieten technische Datenblätter; aus diesen lassen sich unterschiedlichste Wirkungskategorien zu einer Berechnung der Umweltwirkung heranziehen. Ökobilanzen müssen hierbei eine Auswahl von aussagekräftigen Parametern treffen. Wichtige Parameter sind:⁵⁴

- a. Primärenergiegehalt, PE_{le} PE_e [MJ]
Beschreibt den Aufwand, den ein Produkt an Primärenergie zur Herstellung benötigt, und unterteilt sich in erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie.
- b. Kumulierter Energieaufwand KE_{le} KE_e [MJ]
Beschreibt die Menge an Primärenergie, die bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines ökonomischen Produktes anfallen.
- c. Graue Energie [MJ]
Bezeichnet die Energiemenge die für Herstellung, Transport, Lagerung, Verkauf, Entsorgung eines Produktes anfällt. Es werden auch alle Vorprodukte bis zur Rohstoffgewinnung einbezogen. Zudem werden auch die angewandten Produktionsprozesse addiert. Sie beschreibt somit den indirekten Energiebedarf bis zum Zeitpunkt, wo das Produkt oder die Dienstleistung konsumiert wird. Der direkte Energiebedarf eines Produktes beschreibt den Bedarf während der Benutzung. Der kumulierte Energieaufwand fasst direkten und indirekten Energiebedarf zusammen.
- d. Treibhauspotential GWP [kg CO₂ - Äq]
Beschreibt eine Maßzahl für ihren Relativen Beitrag zum Treibhauseffekt und ihre mittlere Erderwärmungswirkung über 100 Jahre. Äquivalent bedeutet, dass andere Gase in CO₂ Treibhauseffektstärke gemessen werden, wie beispielsweise eine Reduktion einer Tonne Methan Emission entspricht einer Reduktion von 21 Tonnen CO₂.
- e. Ozonabbaupotenzial ODP [kg CFC – 11- Äq]
Beschreibt wie stark ein Stoff-Typ die Ozonschicht in der Stratosphäre zerstören kann.
- f. Photochemisches Ozonbildungspotenzial POCP [kg C₂H₄ - Äq]
Auch bekannt als „Sommersmog“. Entsteht durch photochemische Prozesse (Lichteinstrahlung) und lässt giftige flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC) entstehen.
- g. Versauerungspotenzial AP [kg SO₂ - Äq]
Beschreibt das Potential eines Stoffes, den pH Wert von Gewässer und Böden herabzusetzen und dadurch Ökosysteme schädigt.
- h. Eutrophierungspotenzial EP [kg PO₄₃ - Äq]

⁵⁴ Vgl. El khoul, Sebastian / Martin, Zeumer / John, Viola : Nachhaltig konstruieren: Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl - Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren, München, Deutschland: DETAIL - Green Books, 2014, S. 23 - 36.

Dieser Wert beschäftigt sich mit der Überdüngung von Böden und Gewässern durch Schadstoffe in der Luft, im Abwasser, in Düngemitteln sowie in Phosphaten.⁵⁵

Für die Bilanz ist von Bedeutung, welche Phasen des Lebenszyklus erfasst wurden. Die europäische Norm DIN EN 15978 kategorisiert diese Phasen. Häufig gibt sie die Daten der oben genannten Wirkungskategorien nur in Phasen A1 - A3.

- a. A1 – A3: Herstellung
- b. A4 – A5: Bau und Errichtung
- c. B1 – B7: Nutzung
- d. C1 – C4: Entsorgung
- e. D: Recycling⁵⁶

In Abhängigkeit der betrachteten Lebenszyklusphasen spielt die Dauerhaftigkeit einzelner Bauteile eine wesentliche Rolle, da erhöhte Austauschzyklen während der Nutzungsdauer in der Regel auch höhere Umweltwirkungen verursachen.⁵⁷ Wichtig ist, dass bautechnisch qualitative Ansprüche in die Ökobilanz miteinbezogen werden können (z.B. Art der Bauweise, Spannweiten, Brandschutz, Schallschutz, Nutzungsflexibilität, Abhängigkeiten zwischen Bauteilen).

Die Ökobilanzierung (LCA) ist auch auf Verfahren und Prozesse anwendbar. Das Verfahren der Ökobilanzierung folgt dabei keinem starren Schema, sondern verfolgt einen auf die Aufgabenstellung bezogenen Ansatz. Entsprechend werden nicht nur der Untersuchungsrahmen und die Gegenstände der Analyse, sondern auch deren Systemgrenzen zweckbezogen festgelegt. Ziel ist immer, problematische Bauprodukte und Verfahren frühzeitig zu erkennen und durch weniger umweltbelastende Alternativen zu ersetzen. In der „Sachbilanz“ werden die Reststoff-, Schadstoff- und Emissionsabgabe bzw. Rohstoffe, die ein Produkt während seines Lebenszyklus aus der Umwelt entnimmt, mengenmäßig erfasst. Die Ergebnisse der Sachbilanz werden nach den definierten Wirkungskriterien (Treibhauseffekt, Ozonabbau, Versauerung, Überdüngung, etc.) ausgewertet und die Umweltauswirkungen gewichtet. Ergebnis ist die sogenannte „Wirkbilanz“, welche die für das Ergebnis wesentlichen Aspekte herausstellt.⁵⁸

Ergebnis einer solchen Bewertung über Ökobilanzierung kann beispielsweise sein, dass die Weiter- bzw. Umnutzung eines Bestandsgebäudes gegenüber einem Neubau nachhaltiger ist, da dabei in der Regel deutlich geringere Energie- und

⁵⁵ Vgl. El khoulil et al., 2014, S. 23 – 36.

⁵⁶ Vgl. El khoulil et al., 2014, S. 23 – 36.

⁵⁷ Vgl. Hegner, 2016, S. 30 – 33.

⁵⁸ Vgl. Greiff, 2011, S. 27 - 29.

Stoffströme anfallen. Wird der Bestand durch gezielte Instandsetzung und Modernisierung den neuen Nutzeranforderungen angepasst, kann das den Ressourcenverbrauch reduzieren und damit die Umwelt schonen. Tatsächlich sind bei Vergleichen von Umbau gegen Neubau immer die Gesamtbilanzen über die definierte Nutzungsdauer zu vergleichen, um Klarheit über die Vorteilhaftigkeit der jeweiligen Variante zu schaffen.⁵⁹

3.5.3 Zertifizierungen

Auf internationaler Ebene gibt es verschiedene Zertifizierungssysteme, mithilfe derer man die ökologische Qualität von Gebäuden beschreiben und bewerten kann. Die bekanntesten sind BREEAM aus Großbritannien oder LEED aus den USA. In Deutschland wurde das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) eingeführt. Das BNB ist ein Bewertungssystem der zweiten Generation mit ganzheitlichem Bewertungsansatz unter Einbeziehung aller Dimensionen der Nachhaltigkeit. Das System betrachtet den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden unter gleichberechtigter Berücksichtigung der ökologischen, ökonomischen und soziokulturellen Qualität. Des Weiteren werden auch technische und prozessuale Aspekte des Bauens berücksichtigt. Vergleichbare Zertifizierungssysteme in Österreich bieten die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (ÖGNB) oder das Austrian Sustainable Building Council (ÖGNI).⁶⁰

Das Verfahren der Ökobilanzierung und die Zertifizierung von Gebäuden ist ein komplexer Prozess zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und soll in dieser Arbeit nur erwähnt bleiben.

3.5.4 Nachhaltig Ökonomisches Bauen

Bei der ökonomischen Dimension werden über die Anschaffungs- und Errichtungskosten hinaus die Kosten betrachtet, welche nach Fertigstellung des Gebäudes auftreten (Betriebskosten, Reinigung und Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung) müssen in Abwägung mit dem Werterhalt des Gebäudes stehen. Es werden einerseits Kosten im Gebäudebetrieb verursacht und andererseits Substanzwerte durch Instandhaltung geschaffen.⁶¹

⁵⁹ Vgl. Hegner, 2016, S. 19.

⁶⁰ Vgl. ebd., S. 20.

⁶¹ Vgl. Hegner, 2016, S. 15.

Die ökonomische Qualität eines Gebäudes spiegelt sich im Grad der Umsetzung folgender Schutzziele wider:

- *Minimierung der Lebenszykluskosten*
- *Verbesserung der Wirtschaftlichkeit*
- *Erhalt von Kapital und Gebäudewert.*⁶²

Wichtiger Ansatz einer ökonomischen Bauweise ist, Baumaterialien nach ihren Eigenschaften optimal einzusetzen, damit diese zur Verlängerung der Lebenszeit beitragen.

Beispielsweise wurden Fassaden Holzplanken alter Bauernhäuser, ihrer Maserung nach vertikal angebracht. Regenwasser konnte so nach unten vorteilhaft abfließen. Um dieses Beispiel der intelligenten Verarbeitung von Materialien in der heutigen Zeit umzusetzen ist es wichtig, dass alle beteiligten Akteure eines Hausbaus (Handwerker, Architekten, Statiker, etc.) sich an einen Tisch setzen. Diese Zusammenkunft an Fachkompetenz gibt es bereits und nennt sich Baugruppen. Sie helfen, dass die komplexen Zusammenhänge von Materialeigenschaften, Errichtung und Alterung im Detail verstanden werden und in jedem Schritt des Bauvorhabens allen Akteuren bewusst ist. Ein Mehrwert an interdisziplinärer Fachkompetenz mit dem Ziel die Gebäudeherstellungskosten und die damit verbundenen Refinanzierungskosten zu verringern kann entstehen.⁶³

3.5.5 Ökonomie und Ökologie Konflikt

*Ökologisch Bauen ist so betrachtet sinnvolles Bauen, weil es wirtschaftlich ist. Wirtschaftlich aber nicht im Sinn von profitorientiert, sondern langfristig wertbildend, monetär wie nutzungsbezogen.*⁶⁴

Üblicherweise beginnt ein größerer Wohnungsbau mit einem Bauträger oder Projektentwickler. Dieser errechnet sich die Wirtschaftlichkeit indem er Herstellungskosten und Grundstück einem erzielbaren Gewinn gegenüberstellt.

Daraufhin wird ein Generalunternehmer beauftragt. Er stellt alle Leistungen auf, die für den Bau notwendig sind und prüft diese auf bestmögliche Preisreduzierungen.

⁶² Ebd., S. 33.

⁶³ Vgl. Frey, 2010, S. 56.

⁶⁴ Ebd., S. 40.

Unterschiedlichste Angebote werden von Baufirmen eingeholt und Preise so lange verhandelt, bis sie den Gewinnerwartungen der Auftraggeber entsprechen.

Architekten und Handwerksbetrieb werden mit einem engen Zeit -und Finanzplan konfrontiert. Selten werden die Nutzer, für die das Wohnhaus gebaut wurde, mit diesen Mechanismen vertraut gemacht oder in der Planung miteinbezogen.

Werden Entscheidungen eines Bauprojekts ausschließlich anhand profitorientierter Richtlinien getroffen, kann das in Qualitätsmängel resultieren da der Zeitdruck, unter den die Gewerke stehen, leichter Fehler ermöglichen. Unter anderem nehmen Handwerksbetriebe schlecht bezahlte Aufträge an, um den Betrieb zu erhalten, darauffolgend, sparen diese bei Bauleistungen und/oder versuchen durch entstandene und/oder verursachte Baufehler, Nachforderungen zu stellen.

Nach fünf Jahren sind die Handwerker für ihre Arbeit nicht mehr haftbar und auch die Generalunternehmer und Bauträger sind aus ihrer Pflicht enthoben. Tritt ein Mangel auf, wird in der Regel die Firma beauftragt, welche das jeweilige System errichtet hat.⁶⁵

3.5.6 Nachhaltiges, soziokulturelles Bauen

Die soziale und kulturelle Dimension der Nachhaltigkeit behandelt Schutzziele, welche die soziale und kulturelle Identität des Menschen betreffen. In dieser Dimension sind also vor allem immaterielle Werte wie Gesundheit, Mobilität und Lebensqualität enthalten und neben Nutzerbedürfnissen und Funktionalität ist auch die Ästhetik der Gebäude von Bedeutung. Betrachtet wird die Qualität der gebauten Umwelt, wobei neben den gestalterischen Aspekten auch Behaglichkeitsansprüche eine Rolle spielen.⁶⁶

Es sollten zumindest immer die folgenden soziokulturellen Schutzziele in einer ganzheitlichen Betrachtung berücksichtigt werden:

- *Bewahrung von Gesundheit, Sicherheit und Behaglichkeit*
- *Gewährleistung von Funktionalität*
- *Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität*⁶⁷

⁶⁵ Vgl. Frey, 2010, S. 82 – 83.

⁶⁶ Vgl. Hegner, 2016, S. 15.

⁶⁷ Ebd., S. 38.

Der gesellschaftliche Aspekt der Nachhaltigkeit in Zusammenhang mit Architektur beschäftigt sich auch damit, wie man das soziale Zusammenleben unterschiedlichster Altersgruppen und Personen mit individuellen Bedürfnissen mithilfe der bebauten Umwelt positiv fördern kann.

Der Mensch ist Gruppenwesen und Einzelgänger zugleich, in unterschiedlichen Situationen tritt das Bedürfnis nach Gesellschaft oder Rückzug auf. Die Architektur kann diese Bedürfnisse bedienen. Begegnungszonen, die Sozialkontakt erleichtern, jedoch nicht erzwingen, kann durch intelligente Architektur gefördert werden. Architektur kann mit einfachen Überlegungen dafür sorgen, dass diese Zonen möglichst unabhängig von der Witterungslage, genutzt werden können. Damit soll eine generelle Barrierefreiheit geschaffen werden, die nicht nur darauf abzielt Hürden für ältere, oder Menschen mit speziellen Bedürfnissen abzubauen, sondern es den Bewohner/innen eines Ortes leicht macht sich ungezwungen zu begegnen.

Das Wohlbefinden der Bewohner/innen spielt eine zentrale Rolle, im nachhaltigen soziokulturellen Bauen. Die „Well-being-Forschung“ ist ein Ansatz, Faktoren für das Wohlbefinden zu bestimmen. Diese junge Forschung beschäftigt sich damit, wie sich nachhaltiges Wohnen auf das Wohlbefinden der Bewohner/innen auswirkt. Ausgangspunkt dieser Forschung ist die sozialwissenschaftliche Begleitforschung zum LichtAktiv Haus Model Home 2020. Dieses Konzepthaus von VELUX ist nach dem Aktivhaus Prinzipien erstellt worden und erfüllt hohe Ansprüche an Energieeffizienz, Komfort und Ressourcenschutz. Die Begleitforschung belebt dieses Haus für zwei Jahre mit einer Familie, zwei Elternteile und zwei Kindern im Alter von fünf und acht Jahren. Konzeptionell knüpft diese Forschung an die Wohlfahrtsforschung in der Ökonomie an und an die Diskussion nach der Frage der Messung von subjektiven Wohlfahrtsfunktionen und ob „Well-being“ über unterschiedliche Individuen übertragbar ist. In Anlehnung an diese Diskussion gibt es fünf Problemfelder, die empirisch in dieser Forschung bearbeitet werden.

- **Selektionsproblem:** *Die Festlegung der Dimensionen (was trägt zum Wohlbefinden bei) sind nicht fix und werden immer wieder neu diskutiert. In dieser Studie werden die relevanten Dimensionen mit den betroffenen Personen festgesetzt (partizipativ).*
- **Wahrnehmungsproblem:** *Die Wohnumwelt, die von uns wahrgenommen wird, existiert nur als subjektives Bewusstseinsabbild. Jedoch werden die*

äußeren Stimulationen nicht exakt der physikalischen Realität wiedergegeben.

- **Bewertungsproblem:** Wie trägt die wahrgenommene Wohnumwelt zum Wohlbefinden bei? Die Dimensionen werden subjektiv bewertet und unterschiedlich gewichtet.
- **Aggregationsproblem:** Dieses Problem ergibt sich überall dort, wo nur begrenzt erklärbare Phänomene in übergeordneten Zusammenhängen dargestellt werden. Es ist nicht klar, wie das Wohlbefinden des Individuums auf andere übertragbar ist.⁶⁸

Über ständige Kommunikation (Fragebogen, Interviews, Videotelefonate) mit der Familie werden die Ergebnisse eingeholt und laufend angeglichen. Das Zwischenfazit der Studie kann eine Liste aus zehn Behaglichkeitsdimensionen vorweisen, die als Messinstrument für subjektives Wohlbefinden herangezogen werden können.

- | | |
|--|--|
| 1. Psychophysische Behaglichkeit

a. thermisch
b. hygienisch
c. akustisch
d. visuell (licht) | 2. Räumliche Behaglichkeit

a. Aufteilung
b. Sozial
c. Raumempfinden
d. Ästhetik
e. Konsens |
| 3. Funktionale Behaglichkeit

a. Techniksteuerung
b. Handhabbarkeit | 4. Raumnutzung |
| 5. Energiewahrnehmung (Verbrauch) | 6. Klima

a. Außenraum
b. Innenraum
c. Interaktion |
| 7. Verbindung von Innen und Außen | 8. Nachbarschaft und soziales Klima |
| 9. Aspekte des gemeinschaftlichen Wohnens (Kinder, Familie, Wohngemeinschaft) | 10. Wohnstil- Präferenzen ⁶⁹ |

⁶⁸ Hegger et al., 2013, S. 43 – 45.

⁶⁹ Ebd.

Diese Auflistung zeigt eine Reihe von Bedürfnissen, welche eine wichtige Rolle bei der Umsetzung des Suffizienzgedanken spielen. Da die Erfüllung dieser Bedürfnisse mit der Größe des Wohnraums bzw. Kosten und Energieverbrauch zusammenhängen. Auf den folgenden Seiten dient der Modulhausbau als Untersuchungsfeld. Dieser kann deren Bewohner/innen mit den beschriebenen Behaglichkeitsdimensionen, eines mitteleuropäischen Standards versorgen, und wirbt mit flexiblem Wohnraum, welcher den Suffizienzgedanken motivieren könnte. Darüber hinaus stellen diverse Modulhausfirmen aus Österreich und dem Deutschsprachigen Raum einen ökologischen Anspruch an deren Hauskonstruktionen und erfüllen damit die selbst gestellten Rahmenbedingungen dieser Arbeit.

4 Hausbau und Suffizienz

4.1 Der Suffizienzgedanke

Die Realisierung von Wohnraum erfordert in der Regel hohe finanzielle Mittel. Häufig wird ein Einfamilienhaus für ein bis zwei Kinder und zwei Erwachsene geplant und mithilfe eines Kredites finanziert.

Beispielsweise werden 300.000 € Kredit bezogen, zu einer Laufzeit von 20 Jahren, mit einem sicheren Zinssatz von 2% (dieser unterliegt in den 20 Jahren keiner Zinsanpassung und läuft nicht Gefahr durch Änderungen im Kapitalmarkt zu steigen). Es ist ungefähr mit einer monatlichen Rückzahlungsrate von ca. 1.550 € zu rechnen und einer Gesamtrückzahlung von ca. 370.100 €. ⁷⁰

Eine Laufzeit von 20 - 30 Jahren entspricht der Norm eines Bau-Wohnkredites. Nach dieser Laufzeit ist in vielen Fällen das Haus größer als notwendig. Der Platz, der für Nachwuchs in der Familie gebraucht wurde, ist nach 20 - 30 Jahren oft obsolet.

Über diese beispielhafte Rechnung und dem normierten Lebensmodell hinaus erweist sich das Leben in vielen Fällen als planungsresistent; unerfüllter Kinderwunsch, Scheidung, Ortswechsel des Arbeitsplatzes, etc. verändern ständig die tatsächlich notwendige Wohnfläche.

⁷⁰ Kreditrechner, www.bawagpsk.com, o.D.,
<https://www.bawagpsk.com/BAWAGPSK/PK/services/Rechner/277218/ueb-kreditrechnergross.html> (Aufgerufen am 18.12.2019).

Eine Möglichkeit Kostenreduktion im Baubereich zu erzielen ist die Handlungsstrategie des Suffizienzgedankens. Dieser zielt auf den jeweiligen Bedarf der Person bzw. Personengruppe zum jeweiligen Zeitpunkt ab bzw. diesen immer so klein wie möglich zu halten. Mit der Regulierung bzw. Anpassung des persönlichen Bedarfs an die jeweiligen Wohnbedürfnisse können die folgenden Bereiche bearbeitet werden:

Investitionskosten: ein kleinerer Baukörper benötigt einen kleineren Baugrund, weniger Baumaterialien und geringere Fertigungszeit.

Nutzungskosten: der Energie- und Instandhaltungsbedarf verringert sich bei einem kleineren Baukörper.

Rückbaukosten: Je kleiner der Baukörper desto geringer sind die zu entsorgenden Baustoffe.

Modulhäuser werben mit Flexibilität der Wohnfläche und damit, diesen je nach Bedarf mit geringem Bauaufwand anpassen zu können. Die Anpassungsfähigkeit von Modulhäusern, welche die Umsetzung des Suffizienzgedankens im Einfamilienhausbau erleichtert, bieten daher auch das Untersuchungsfeld für diese Arbeit.

4.2 Baugliederung und Begriffe

Um die Kosten für ein geplantes Bauprojekt einzuteilen bietet die ÖNORM 1801-1 eine Baugliederung. In dieser werden die aufeinanderfolgenden Kostenschritte aufgelistet. Zudem werden Kostenbegriffe erläutert und welche Kostenschritte diese Begriffe beinhalten. Diese Auflistung und Begriffsklärung dient als Basis für den Kostenvergleich der Modulhäuser.

Baugliederung:

- 0: Grund
 - a. Erwerb Grund
 - b. Erwerb Baurecht
 - c. Grundbeurteilung, (z.B. Wertermittlung, Untersuchungen, Bebaubarkeit)
 - d. Gebühren, Steuern (z.B. Grunderwerbssteuer, Notargebühren)

- e.
- 1: Aufschließung
 - a. Baufreimachung (z.B. Altlastenbeseitigung, Abbruchmaßnahmen, Geländeoberfläche)
 - b. Erschließung (z.B. Entsorgungsleitung, Versorgungsleitungen, Verkehrserschließung)
- 2: Bauwerk – Rohbau
 - a. Erdarbeiten, Baugrube, Grund- und Schichtwasserentfernung
 - b. Bodenkonstruktionen (z.B. Fundament, Unterböden, Dränage, Abdichtungen)
 - c. Horizontale Baukonstruktion (z.B. Decken-, Treppen-, Dachkonstruktionen)
 - d. Vertikale Baukonstruktion (z.B. Außenwand-, Innenwand-, Stützkonstruktionen)
 - e. Rohbau zu Bauwerk - Technik (z.B. Ent- und Versorgungsleitungen zu und von Hausanschluss, Rauch- und Abgasfänge)
- 3: Bauwerk – Technik
 - a. Förderanlagen (z.B. Aufzug)
 - b. Wärmeversorgung (z.B. Wärmeerzeuger, Verteiler und Heizflächen)
 - c. Kühlung/ Lüftung (z.B. Lüftungsanlagen, Kälteanlagen, Verteiler, Absaugung)
 - d. Sanitär-/ Gasanlagen (z.B. Abläufe, Zuläufe, Sammelanlagen)
 - e. Stromanlagen (z.B. Schaltanlagen, Eigenstrom, Beleuchtung, Blitzschutz, Telekom.,)
- 4: Bauwerk – Ausbau
 - a. Dachverkleidung (z.B. Beläge, Fenster, Balkon)
 - b. Fassadenhülle (z.B. Dichtungs-, Dämmschicht, Verkleidung, Fenster, Türen)
 - c. Innenausbau (z.B. Boden-, Wand-, Deckenverkleidung, Innentüren, Einbauteile)
- 5: Einrichtung
 - a. Betriebseinrichtung (z.B. Küchentechnik)
 - b. Ausstattung (z.B. Möbel, Regale, Textilien)
- 6: Außenanlagen
 - a. Geländeflächen (z.B. Begrünung, Geländegestaltung)
 - b. Befestigung (z.B. Geh-, Fahrwege, Stellplätze)
 - c. Bauteile Außenanlagen (z.B. Einfriedung)
- 7: Planungsleistung
 - a. Bauherrnleistung (z.B. Projektleitung – Steuerung, Kontrolle, Koordination)
 - b. Planungsleistung (z.B. Architekturplanung, Statik, technische Gebäudeausrüstung)
- 8: Nebenkosten
 - a. Bewilligung und Abnahmen (z.B. Prüfungen, Genehmigungen, Abnahmen, Vermessungsgebühren für Kataster)
 - b. Anschlussgebühr (z.B. Wasser, Strom, Gas, Fernwärme, Telekommunikation)

- c. Versicherung, Bewirtschaftung (z.B. Nutzungsschäden, Betriebsaufwand während der Bauzeit)
 - d. Schlechtwettermaßnahmen (z.B. Schneeräumung, Schutzvorkehrungen)
 - e. Bodenproben (z.B. Materialprüfung, Bodenuntersuchungen)
 - f. Planungsnebenleistungen (z.B. Vervielfältigung von Dokumenten, Modelle, Eignungsmessung)
- 9: Reserven
- a. Reservemittel für nicht voraussehbare Ereignisse (z.B. Marktschwankungen)⁷¹

Grundsätzlich werden vier unterschiedliche Kostenbegriffe unterschieden welche unterschiedlich viele Baugliederungen beinhalten.

- Bauwerkskosten (beinhaltet die Bauglieder 2, 3 und 4)
- Baukosten (beinhaltet die Bauglieder 1, 2, 3, 4, 5 und 6)
- Errichtungskosten (beinhaltet die Bauglieder 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9)
- Gesamtkosten (beschreibt alle entstandenen Kosten)⁷²

Die Preisangaben der Modulhausfirmen beziehen sich auf die Gliederungspunkte 2, 3, 4 und beinhalten somit ausschließlich die Bauwerkskosten. Wobei innerhalb dieser Glieder darauf zu achten ist ob Transport (Lieferung der Module), Fundament (Schraubfundamente), Errichtung (Montage des Modulhauses) und andere Leistungen in den Preisangaben der Modulhausfirmen inkludiert sind.

4.3 Modulhäuser im Vergleich

Zu dieser Befragung haben sich fünf Firmen bereit erklärt. Es wurde ein Fragekatalog vorgelegt, welcher nach Beantwortung und Vergleich der Ergebnisse einen Überblick in den Kategorien Flexibilität der Architektur (Erweiterung, Reduzierung, Übersiedelung und offener Grundriss), ökologische Bauweise, Haustechnik und zu erwartende Kosten geben soll. Der Fokus lag auf Firmen aus Österreich und Deutschland, die Hausvarianten mit ökologischen Baustoffen anbieten.

Der Fragebogen wurde schriftlich per Email gesendet. Die Beantwortung erfolgte entweder schriftlich, über ein Telefongespräch oder ein persönliches Gespräch. Der Fragebogen ist als Anhang dieser Arbeit beigelegt. Der Verlauf der Befragung verlief

⁷¹ ÖNORM B 1801-1, zeus.h1arch.tuwien.ac.at, 2009,

https://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/TISS_img/Priebernig/Baugliederung%20nach%20%C3%96N%201801-1_2009-06-01_091123.pdf, (Aufgerufen am 27. 11. 2019).

⁷² Vgl. ebd.

in mehreren Phasen. Die erste Phase beschäftigte sich mit einer Auswertung der ersten Antworten der Firmen. Diese wurden auf Verständlichkeit geprüft und mit Folgefragen konkretisiert. In der zweiten Phase wurden diese Folgefragen erneut mit den Firmen über ein Telefongespräch abgeklärt.

Die folgende Analyse beinhaltet Begriffe aus der Bauwirtschaft, die in einem Glossar am Ende dieser Arbeit beschrieben werden. Dazu folgt eine Beschreibung der genannten Baustoffe.

Die folgenden Beschreibungen der Modulhausfirmen werden gegliedert in:

- Unternehmensbeschreibung
- Beschaffenheit des Baukörpers
 - a. Bauweise
 - b. Aufbau Boden
 - c. Aufbau Wand
 - d. Aufbau Decke/ Dach
 - e. Grundriss / Geschoße / Raumhöhen
 - f. Entsorgung
- Haustechnik (Heizen / Warmwasser / Strom)
- Entstehungszeit
- Erweiterung / Reduzierung / Übersiedelung
- Angebote Hausvarianten,
- Kosten
- Energieverbrauchsdaten/ Ökobilanzen/ etc.
- Besonderheiten

Die Angaben über Entstehungszeiten der Modulhausfirmen sind nach Baubewilligung zu verstehen. Die Baubewilligung ist in Österreich in der Bauordnung als Gesetzestext festgehalten. Da die Bauordnung noch immer als Landesgesetz gehandhabt wird, gibt es in Österreich neun Bauordnungen. Ausgehend von den einleitend erwähnten geographischen Rahmenbedingungen wird in dieser Arbeit die Niederösterreichische Bauordnung als Bezugstext gewählt. Dort werden die bewilligungspflichtigen Bauvorhaben in §14 festgeschrieben, worunter auch Einfamilien-Modulhäuser fallen. Das Bewilligungsverfahren mit den dafür notwendigen Dokumenten wird in §18 beschrieben. Die Beschreibung der notwendigen Dokumente und Verfahrensschritte befinden sich in §19 und §20. Die

Bereitstellung der Dokumente und Verfahrensschritte für die Baubewilligung sind in verschiedenen Sparten der bereits beschriebenen Baugliederung, wie 0: Grund, 1: Aufschließung, 6: Außenanlagen, 7: Planungsleistung und 8: Nebenkosten, verortet.

4.3.1 Freiraum GmbH, Zinipi Loft

Unternehmensbeschreibung

Seit Ende 2016 stellt die deutsche Firma Freiraum GmbH Moduluhäuser mit dem Produktnamen Zinipi her. Die Firmenphilosophie ist betont umweltfreundlich, es kommen nur ökologisch Baustoffe zum Einsatz.⁷³

Beschaffenheit der Baukörper

Bauweise

Die Zinipi-Häuser werden individuell geplant und die Module aus nicht verleimten Massivholz- Baustoff zu Raumzellen im Werk gefertigt. Je nach Baugröße wird die Außenwanddämmung erst bei der Errichtung und nicht bei der Herstellung angebracht. Die vorgefertigten Raumzellen werden mittels LKW geliefert. Standard-LKW Transporte dürfen Ladegut mit einer maximalen Breite von drei Metern transportieren. Bei kleinen Wohnhäusern, die nur aus einer oder zwei Raumzellen errichtet werden, besteht das Ziel, möglichst viel Wohnfläche aus dieser Transportbeschränkung zu holen. Daher wird in solchen Fällen die Außenwanddämmung nachträglich vor Ort angebracht.⁷⁴

Folgende Aufbauten sind Auszüge aus dem letzten umgesetzten Projekt, können sich aber je nach Planung verschieden gestalten.

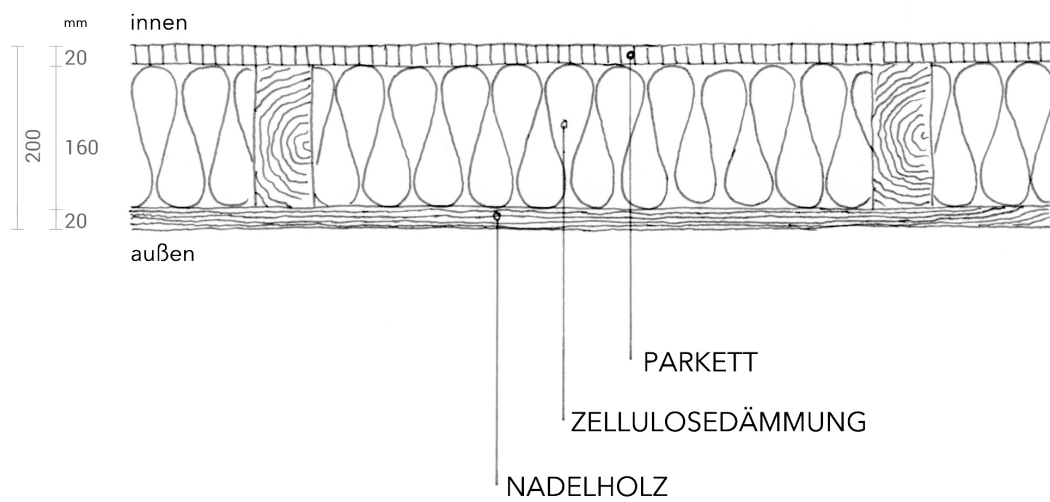
⁷³ Vgl. Zinipi, www.zinipi.de, o.D., <http://www.zinipi.de/de/#idee-philosophie>, (Zugriff am 15. 01. 2020).

⁷⁴ Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

Aufbau, **Boden** (Innen nach Außen)

- 2 cm Parkett Holz (Eiche, Esche)
- 16 cm Zellulosedämmungen, Einblasdämmung
- 2 cm Nadelholz

20 cm Gesamtstärke, U- Wert: $0,239 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ⁷⁵

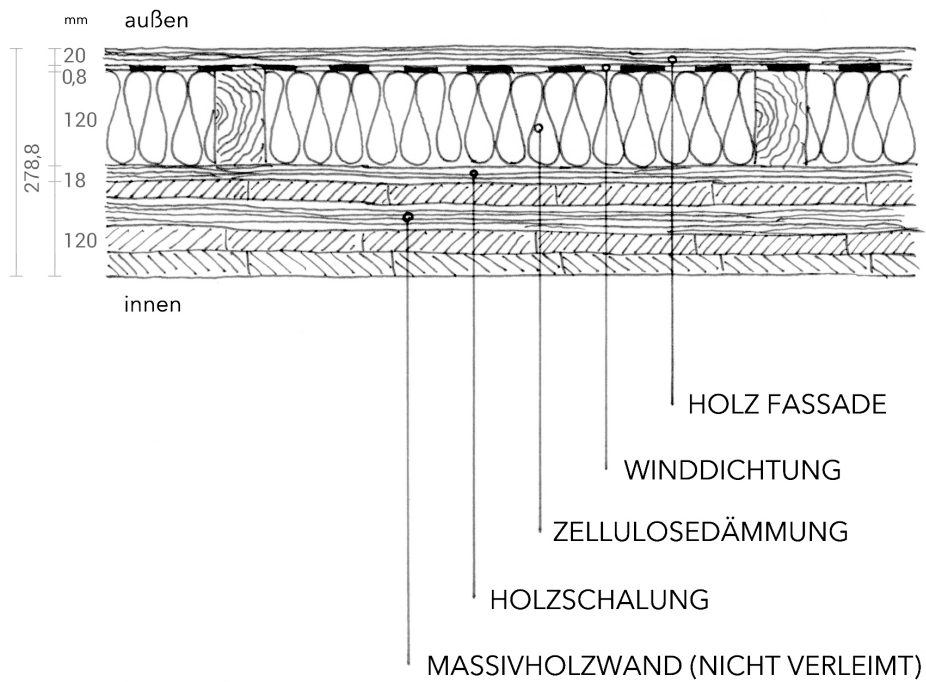


⁷⁵ Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

Aufbau, **Wand** (Innen nach Außen)

- 12 cm Holz Wand mit Buchenholzdübel verbunden (nicht verleimt)
- 1,8 cm Holzschalung
- 12 cm Zellulosedämmungen, Einblasdämmung
- 0,08 cm Winddichtung, Ampatop F black
- 2 cm Nut und Feder Holzbretter

27,88 cm Gesamtstärke, U- Wert: $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ⁷⁶

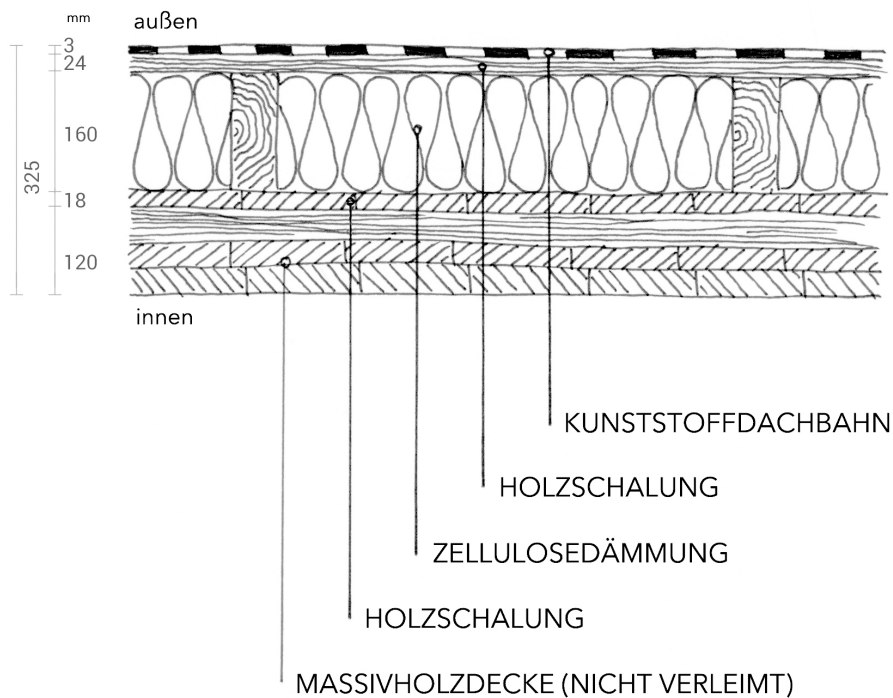


⁷⁶ Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

Aufbau, **Flachdach**, Warmdach (Innen nach Außen)

- 12 cm Holz Decke mit Buchenholzdübel verbunden (nicht verleimt)
- 1,8 cm Holzschalung
- 16 cm Zellulosedämmungen, Einblasdämmung
- 2,4 cm Holzschalung
- 0,3 Kunststoffdachbahn DIN 16729 (ECB) 2,0K

32,5 cm Gesamtstärke, U- Wert: $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^{77}$



Grundriss / Geschoße / Raumhöhen

Ein Modul besitzt eine Wohnnutzfläche von ca. 18 m^2 mit den Maßen von $7,2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$. Werden Kleinhäuser von 18 m^2 oder ein Doppelmodul mit ca. 36 m^2 Wohnnutzfläche produziert sind die Grundrisse offen. Ein offener Grundriss bedeutet, dass Innenwände ab- umgebaut werden können, ohne die Tragfunktion für Dach oder Decke zu gefährden. Das ermöglicht mehr Flexibilität in der

⁷⁷ Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

Umnutzung der Räumlichkeiten. Bei einem Haus mit ca. 90 m² ist der Grundriss nur beschränkt offen, da Teile der Innenwände eine tragende Funktion ausüben. Ohne weitere statische Prüfung sind Häuser mit zwei Geschossen realisierbar. Die Raumhöhe liegt bei ca. 2,6 m und ist abhängig von der gewünschten Dämmstärken.⁷⁸

Entsorgung

Sämtliche Bau- und Dämmstoffe sind im Falle eines Rückbaus sortenrein rückführbar, die Materialien sind verschraubt und daher ohne Zerstörung abnehmbar.⁷⁹ Holzwände und eingeblassene Zellulosedämmung lassen sich mit geringem Aufwand zurückgewinnen und erneut als Baustoffe wiederverwerten oder thermisch verwerten.⁸⁰

Haustechnik (Heizen / Warmwasser / Strom)

Heizen

Die Ausführungen der Heiztechnik sind variabel. Häufig werden elektrisch betriebene Infrarotheizungen verwendet. Es sind jedoch auch Varianten mit Holzofen, Luftwärmepumpe oder Kombinationen aus verschiedenen Systemen umgesetzt worden.

Als Empfehlung für die Warmwasseraufbereitung nannte die Firma das System eines Durchlauferhitzers. Dieser ist angewiesen auf Starkstrom und kann somit nicht über eine Photovoltaikanlage betrieben werden. Ist der nötige Anschluss vorhanden, zeichnet sich dieses Warmwassersystem dadurch aus, dass es nur in Betrieb genommen wird, wenn das Warmwasser gebraucht wird (im Gegensatz zu einem Elektroboiler, der die Temperatur des Wassers dauerhaft hält und somit längere Betriebszeiten hat). Andere Systeme, wie z.B. Solarthermie sind je nach Kundenwunsch bei entsprechenden Standortbedingungen bzw. Finanzspielraum realisierbar.

⁷⁸ Vgl. Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

⁷⁹ Vgl. ebd.

⁸⁰ Vgl. Bernhard Kolb, [www.nachhaltiges-bauen.de](https://nachhaltiges-bauen.de), 2020, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Zellulosed%C3%A4mmung>, (Aufgerufen am 05. 02. 2020).

Die Stromversorgung wird in der Regel über das Stromnetz geliefert, jedoch sind autarke Systeme wie Photovoltaik anlagen möglich.⁸¹

Entstehungszeit

Durch die Raumzellenproduktion ist der Vorfertigungsgrad der Häuser hoch und die Errichtungszeiten kurz. Für ein ca. 90 m² großes Modulhaus beträgt die ungefähre Herstellungszeit, nach Baubewilligung, 2 - 3 Monate, plus 2 - 3 Tage für die Errichtung.⁸²

Erweiterung / Reduzierung / Übersiedelung

Die Firma hat noch keine praktische Erfahrung mit einer Erweiterung oder Reduzierung eines ihrer Modulhäuser. Sie verweist auf eine ausführliche Planungsphase bevor das eigentliche Wohnobjekt gebaut wird. Bereiche, welche eine eventuelle Erweiterung oder Reduktion erfahren, sollten vorab definiert werden. In der Umsetzung würden Dämmstoffe der Außenwand abgenommen und diese zu einer Innenwand umgenutzt. Der abgenommene Dämmstoff kann bei einer neu hinzukommenden Außenwand ohne Mehraufwand wiederverwendet werden. Gleiches gilt für den Fall einer Reduktion eines Modulhauses. Ein ungebrauchtes Modul kann übersiedelt werden privat verkauft werden. Die Firma kauft keine gebrauchten Module zurück. Es konnten keine genauen Kosten für eine Erweiterung genannt werden. Ein ungefährer Richtwert ist ein etwas höherer Quadratmeterpreis in Bezug auf die Bauwerkskosten des Ausgangshauses.⁸³

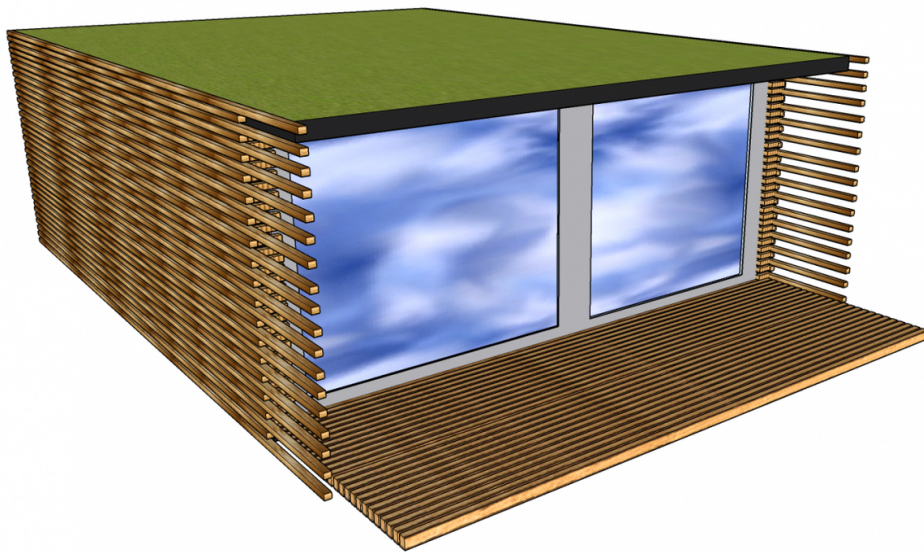
Angebote Hausvarianten

Hausvarianten, die auf der Firmenwebseite angeboten werden, haben Nutzflächen zwischen 18 m² - 36 m². Auf Anfrage setzt die Firma auch größere Häuser um. Momentan arbeitet die Firma an einem Haus mit 90 m² WNF. (Wohnnutzfläche, bezeichnet die Wohnfläche des Hauses)

⁸¹ Vgl. Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

⁸² Vgl. Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

⁸³ Vgl. ebd.



Zinipi Loft Abbildung außen 84



Zinipi Loft Abbildung Innen 85

Kosten

Die Preisangaben der Firma sind für die Bauwerkskosten in netto, ohne Transportkosten, ohne Fundamente, ohne Montage und Krankkosten und ohne Beschattungsverschalung der Lofts, wie sie in der Abbildung zu sehen ist.

⁸⁴ Zinipi, www.zinipi.de, o.D., <http://www.zinipi.de/de/#idee-philosophie>, (Aufgerufen am 15. 01 2020).

⁸⁵ Ebd.

Der Preis eines „Zinipi-Loft D“ mit den Maßen 6 m x 7,2 m x 2,6 m, ca. 36 m² WNF und einem Gewicht von ca. 12 Tonnen setzt sich zusammen aus:

Bauwerk (Wände, Türen, Dachaufbau, Fenster und Elektroinstallationen)	73.000 €
Fassadenoption (Thermofichte / Thermokiefer)	4.390 € / 6.490 €
Bodenbelagsoption (Esche / Thermoesche)	3.380 € / 3.980 €
Innendecke / Innenwand (Zirbe / Arve)	2.200 €
Sanitärausstattung (Installationen, Dusche, Lavabo, Boiler etc.)	7.950 €
Bauwerkskosten (netto)	90.920 € / 93.620 €
Bauwerkskosten (brutto, +20%)	109.104 € / 112.344 €
Quadratmeterpreis (brutto)	3.030 €/m ² / 3.120 €/m ² WNF ⁸⁶

Auf eine unverbindliche Preisanfrage, für ein 74 m² großes Modulhaus, welches in Niederösterreich stehen soll, wurde eine unverbindliche Preisaufstellung geliefert. Diese beinhaltet Fundament, Transport und Krankkosten.

4 Module a 18,5 m ²	146.000 €
Dämmung	20.000 €
Außenfassade	9.000 €
Sonderfenster/Türen	5.000 €
Heizung	5.000 €
Sanitär	8.000 €

⁸⁶ Vgl. Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

Schraubfundamente	5.000 €
Transport	6.000 €
Kran	1.000 €
Bauwerkskosten inkl. Transport und Errichtung (netto)	205.000 €
Bauwerkskosten inkl. Transport und Errichtung (brutto)	246.000 €
Quadratmeterpreis (brutto)	3.325 €/m ² WNF ⁸⁷

Besonderheiten

Leimfreies Massivholz (Thoma, Holz100 Baustoff)

Es werden keine Leime, Klebstoffe oder Holzschutzmittel verarbeitet, die Holzverbindungen werden durch Dübel bewerkstelligt. Nach Angaben der Firma wird das Holz nach Mondphasen geschlagen und in Kombination mit der speziellen Verarbeitung erfüllt der Baustoff alle Anforderungen des Brand- Schall- und Erdbebenschutzes.⁸⁸

Bei diesem Baustoff werden mehrere Lagen Nadel- Massivholzplatten übereinandergelegt und mit Buchenholzdübel (Hartholz) verbunden. Diese Dübel besitzen eine geringere Feuchtigkeit als das Nadelholz (Weichholz) der Wand, sodass die eingeschlagenen Dübel Feuchtigkeit aus der Holzwand aufnehmen und sich ausdehnen (Quellkraft). Über die entstehende Reibungskraft gewährleisten sie den Halt der Verbindung, sodass die konventionellen Verbindungsmittel (wie Klebstoffe oder Nägel) überflüssig werden.⁸⁹

Jede aufeinander liegende Platte wird um 45 Grad gedreht. Es werden Massivholzwände mit Wandstärken zwischen 12 cm und 36 cm angeboten. Spezielle Fräsungen in den Holzschichten verbessern die Dämmeigenschaften der Wände. Diese Holzwandkonstruktionen werden als tragende, aussteifende oder

⁸⁷ Vgl. Thomas Scheimer, Interview von David Meisinger, Zinipi Loft, Modulhaus, (07. 13. 2019).

⁸⁸ Vgl. Erwin Thoma, "www.thoma.at," o.D., <https://www.thoma.at/downloads/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

⁸⁹ Vgl. ebd.

nichttragende Wand-, Decken-, Dach- oder Sonderbauteile für Holzbauwerke verwendet.⁹⁰

Vergleichbare Produkte aus Mitteleuropa werden unter anderem von den Firmen Holzius, Dübelholz Kaufman und GFM Massivholzsystem angeboten.

4.3.2 Holzwohnbau Luef

Unternehmensbeschreibung

Der steirische Tischlerbetrieb realisiert Holzwohnbauwerke aus leimfreien Massivholz (Holz100). Die Firma dient in dieser Arbeit als konventionelle Beispielfirma für Betriebe, die ökologischen Wohnhausbau anbieten (mit der Möglichkeit bei Bedarf Wohnraum zu erweitern oder zu reduzieren), jedoch keine Modulhausvarianten anbieten.⁹¹

Beschaffenheit des Baukörpers

Bauweise

Die Bauten werden mit den Kunden individuell geplant. Vorgefertigte Paneele werden an die Baustelle geliefert und vor Ort montiert. Da der Tischlereibetrieb konventionellen Wohnbau anbietet, sind auch andere Bauweisen, z.B. Riegelbau mit Lehmverputz möglich.⁹²

Aufbau, **Boden** (Innen nach Außen)

- k. A. (Trittbelag, Trittschalldämmung, Estrich Bodenheizung, etc. Planungsabhängig)
- 16 – 24 cm Dämmung aus Zellulose oder druckfeste Holzweichfaserplatten
- k. A. Siebdruckplatte

k. A. cm Gesamtstärke, U- Wert: k. A. $W/(m^2K)$ ⁹³

⁹⁰ Vgl. Erwin Thoma, "www.thoma.at," o.D., <https://www.thoma.at/downloads/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

⁹¹ Vgl. Michael Luef, Interview von David Meisinger, Interview Tischlerei Holzwohnbau, (19. 07. 2019).

⁹² Vgl. ebd.

⁹³ Michael Luef, Interview von David Meisinger, Interview Tischlerei Holzwohnbau, (19. 07. 2019).

Aufbau, **Wand** (Innen nach Außen)

- 20 cm Holz Wand mit Buchenholzdübel verbunden (nicht verleimt)
- 10 cm Dämmung aus Holzweichfaserplatten
- 3 cm Hinterlüftung
- 2 cm Fassade (planungsabhängig)

k. A. cm Gesamtstärke, U- Wert: k. A. $W/(m^2K)^{94}$

Aufbau, **Decke/ Dach**, Kaltdach (Innen nach Außen)

- 20 cm Holz Wand mit Buchenholzdübel verbunden (nicht verleimt)
- 10 cm Dämmung aus Holzweichfaserplatten
- k. A. cm Hinterlüftung (planungsabhängig)
- k. A. cm Dach (planungsabhängig)

k. A. cm Gesamtstärke, U- Wert: k. A. $W/(m^2K)^{95}$

Grundriss / Geschoße / Raumhöhen

Wird das Bauwerk rein mit Holz100 Baustoff geplant, dann sind Grundrisse in der Regel nicht offen oder nur begrenzt offen realisierbar. Der Holz100 Baustoff hat aufgrund seines Aufbaus eine statische Limitierung als Deckenbaustoff (maximale Länge = 6 Meter). Geschoße und Raumhöhen sind aufgrund der Individualplanung variabel.⁹⁶

Entsorgung

Wird das Bauwerk rein mit Holz100 Baustoff geplant und mit Holzweichfaser oder Zellulose gedämmt, ist die Entsorgung unproblematisch. Die Wiederverwertung der Baustoffe ist durch rückführbare Verbindungen möglich. Laut Firma Thoma werden reine Holz100 Baustoffe von der Firma wieder zurückgenommen und können wieder verarbeitet werden. Der Tischlerbetrieb Luef hat keine Erfahrungen mit diesem

⁹⁴ Ebd.

⁹⁵ Ebd.

⁹⁶ Vgl. Michael Luef, Interview von David Meisinger, Interview Tischlerei Holzwohnbau, (19. 07. 2019).

Verfahren und konnte weder über mögliche finanzielle Rückgewinne noch über das Verfahren selbst eine Aussage treffen.⁹⁷

Haustechnik (Heizen / Warmwasser / Strom)

Die Haustechnik ist durch die individuelle Planung ähnlich planungsabhängig wie der Bauwerkskörper des Hauses. Infrarotpaneele, wassergeführte Flächenheizung, Holzofen, Luftwärmepumpe, Solarthermie und Photovoltaik sind einige Varianten, die von der Firma genannt wurden.⁹⁸

Entstehungszeit

Ein Wohnhaus mit 100 m² Wohnnutzfläche benötigt eine Entstehungszeit von ca. 6 – 9 Monaten. Diese Zeit hängt auch von der Verwendung des Holz100 Baustoffes ab, da mit 6 Monaten Vorlaufzeit zu rechnen ist, um in das Holz100 Firmensystem eingegliedert zu werden.⁹⁹

Erweiterung / Reduzierung / Übersiedelung

Erweiterungs- und Reduktionsabsichten sind vor der Errichtung zu planen. Große Türbereiche oder andere vordefinierte Zonen werden in der Planung als mögliche Erweiterungsstellen deklariert. Somit wird der Aufwand für die Erweiterung der Haustechnik, (Wasserrohre, Elektroleitungen Bodenheizung usw.) vor Baubeginn sichtbar und möglichst minimiert. Für die Erweiterung gilt ein Preis von 2.500 € (brutto) / m² WNF als ungefährender Richtwert. Die Kosten einer Reduktion können von der Firma nur anhand eines konkreten Bauobjektes genannt werden. Da aber bei einer Reduktion keine zusätzlichen Baustoffe angeschafft werden müssen, sollten diese in der Regel günstiger sein. Da es sich bei den Angeboten dieser Firma um rein konventionellen Wohnbau handelt, ist eine Übersiedelung der Immobilie nicht möglich.¹⁰⁰

⁹⁷ Vgl. ebd.

⁹⁸ Vgl. ebd.

⁹⁹ Vgl. ebd.

¹⁰⁰ Vgl. Michael Luef, Interview von David Meisinger, Interview Tischlerei Holzwohnbau, (19. 07. 2019).

Kosten

Da es keine vorkonstruierten Hausvarianten gibt, können im Vergleich zu klassischen Modulhausfirmen keine Fixpreise genannt werden. Je nach Planung variiert der Quadratmeter-Preis zwischen 2.500 - 3.000 € (brutto)/m² WNF. In diesen Kostenangaben sind die Fundamente nicht inkludiert.¹⁰¹

4.3.3 Mein Kubus

Unternehmensbeschreibung

Die Firma bietet Modulhausbau seit 2005 an und hat Zweigstellen in der Schweiz, Kroatien und Österreich. Seit 2018 werden Modulhäuser mit ökologischen Baustoffen angeboten.¹⁰²

Beschaffenheit des Baukörpers

Bauweise

Hausvarianten können aus einem Katalog gewählt werden oder mit einer individuellen Planungsleistung der Firma gestaltet werden. Grundsätzlich werden Raumzellen in Werkhallen gebaut, wodurch der Vorfertigungsgrad hoch und die Errichtungszeit gering wird. Die tragende Konstruktion, welche für die Stabilität des Hauses sorgt und das Dach trägt, besteht aus mehreren Schichten verleimter Holzplatten (Brettsper Holz). Die Raumzellen werden mit einem LKW-Transport geliefert und mithilfe eines Krans auf Schraubfundamenten errichtet.¹⁰³

¹⁰¹ Vgl. ebd.

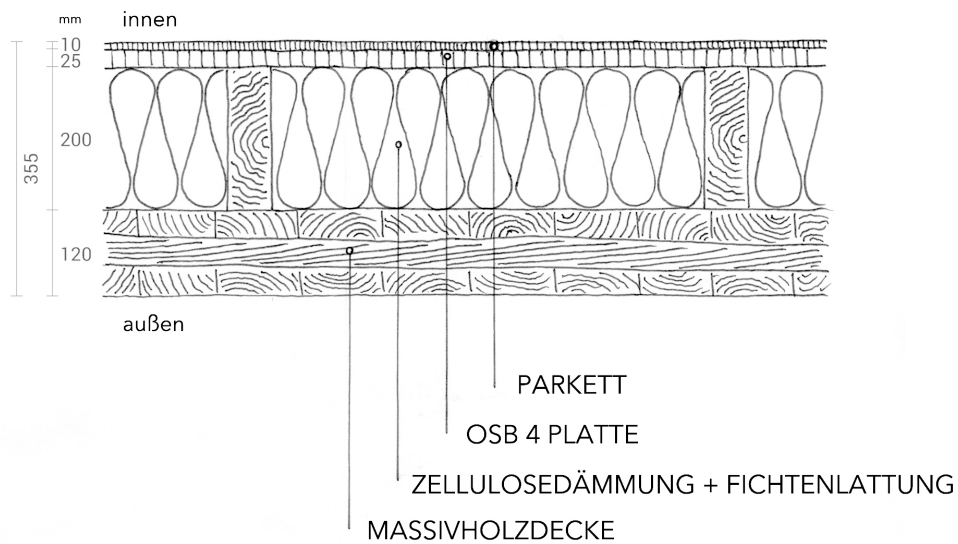
¹⁰² Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

¹⁰³ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09.07.2019).

Aufbau, **Boden** (innen nach außen)

- 1 cm Belag (Parkett oder Laminat)
- 2,5 cm OSB 4 Nut + Feder
- 20 cm Lattung Fichte 20/6 mit Isozell Zellulosedämmung
- 12 cm Massivholzdecke

35,5 cm Gesamtstärke, U- Wert: $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^{104}$



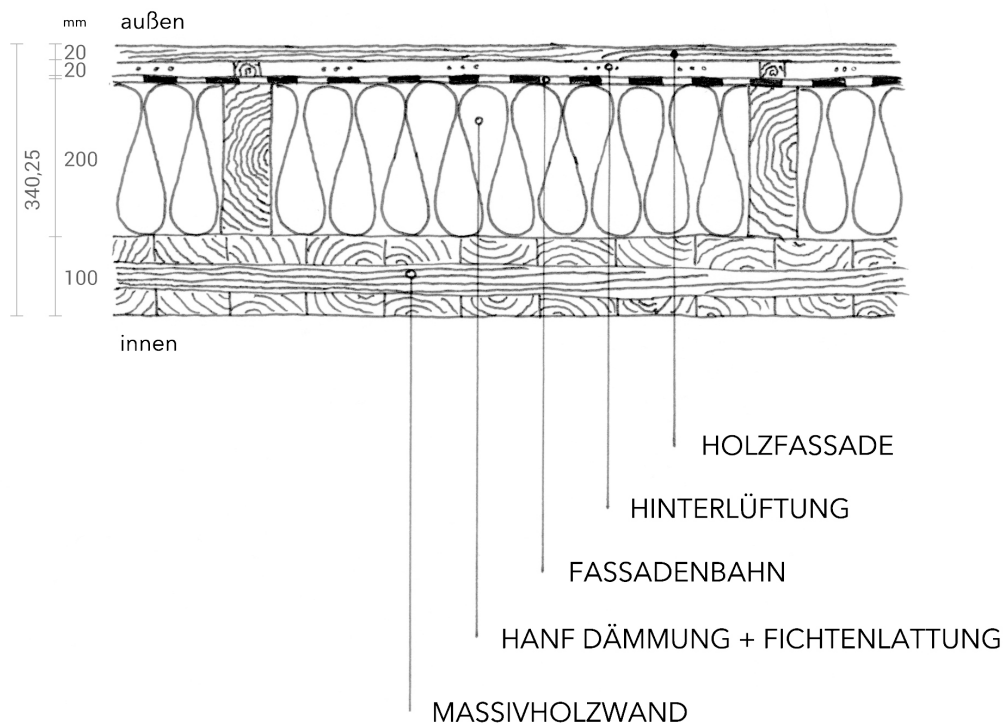
¹⁰⁴ Candaten, Martin / Erich, Viktor Böhm, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019, S. 4.

Aufbau, **Wand** (innen nach außen)

Variante 1: Außenwand - Standard 20 (hinterlüftet)

- 10 cm Massivholzwand
- 20 cm Hanf Dämmung/ Lattung 20/6 Fichte
- 0,2 cm Fassadenbahn
- 2 cm Hinterlüftung (Lattung)
- 2 cm Holzschalung

34,0 cm Gesamtstärke, U-Wert: $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^{105}$



¹⁰⁵ Candaten, Martin / Erich, Viktor Böhm, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019, S. 4.

Variante 2: Außenwand - Standard 16 (hinterlüftet)

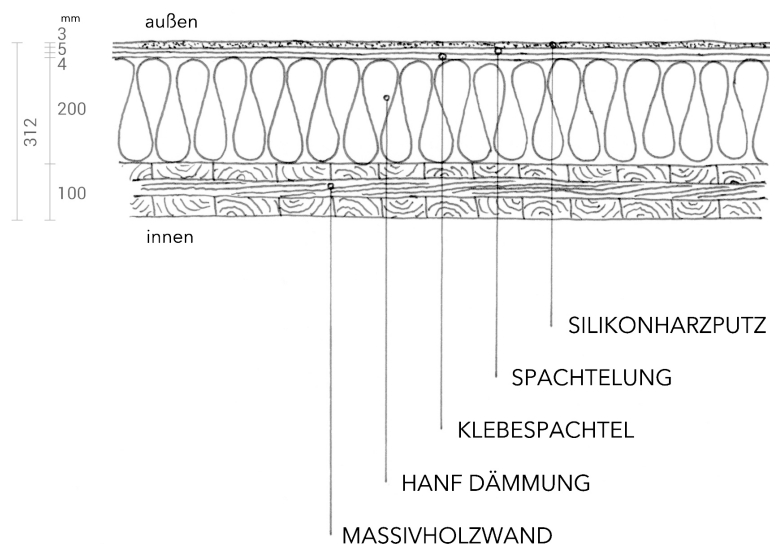
- 10 cm Massivholzwand
- 16 cm Hanf Dämmung/ Lattung 16/6 Fichte
- 0,2 cm Fassadenbahn
- 2 cm Hinterlüftung, (Lattung)
- 2 cm Holzschalung

30,2 cm Gesamtstärke, U-Wert: $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^{106}$

Variante 3: Außenwand verputzt 20

- 10 cm Massivholzwand
- 20 cm Hanf Dämmung
- 0,4 cm Klebepachtel
- 0,5 cm Spachtelung
- 0,3 cm Silikonharzputz

31,2 cm Gesamtstärke, U-Wert: $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^{107}$



¹⁰⁶ Candaten, Martin / Erich, Viktor Böhm, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019, S. 4.

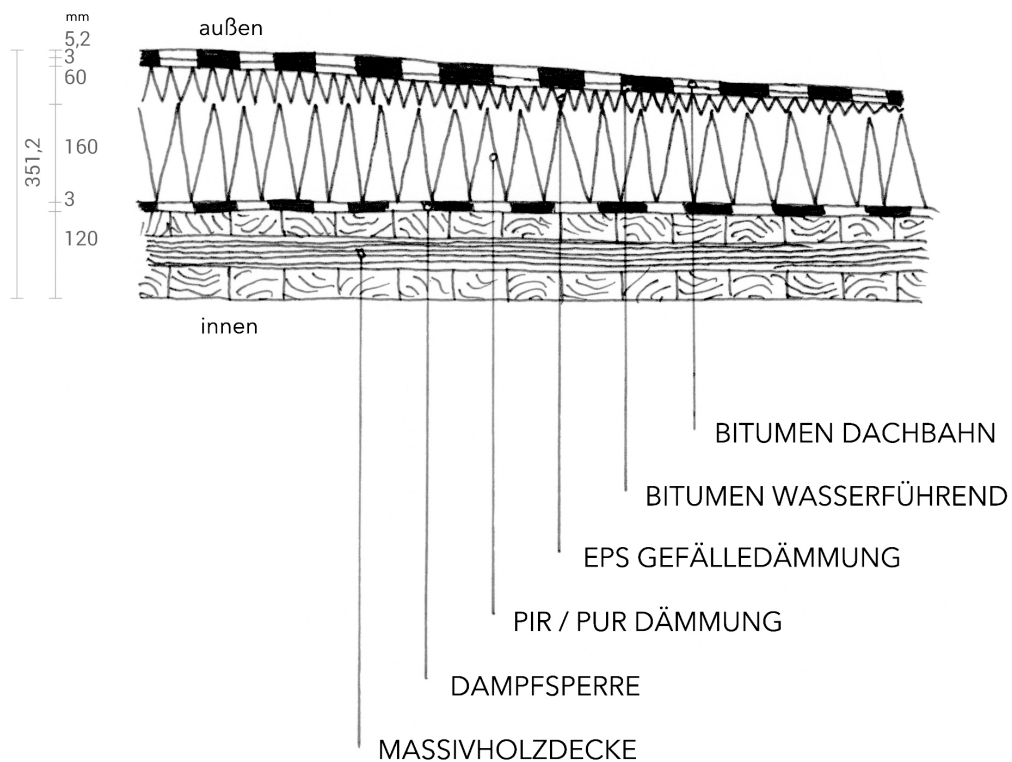
¹⁰⁷ Candaten, Martin / Erich, Viktor Böhm, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019, S. 4.

Aufbau, **Decke/ Dach**, Warmdach, (Innen nach Außen)

Variante 1: Flachdach - Standard 16

- 12 cm Massivholzdecke
- 0,3 cm Kompakt DSK (Dampfsperre)
- 16 cm Dämmung PIR (Polyurethan)
- 6 cm Gefälledämmung EPS
- 0,3 cm Tec KSA (erste Abdichtungslage)
- 0,52 cm Karat, Polymerbitumen (Oberlage)

35,1 cm Gesamtstärke, U-Wert: $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})^{108}$



¹⁰⁸ Candanten, Martin / Erich, Viktor Böhm, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019, S 6.

Variante 2: Flachdach - Standard 12

- 12 cm Massivholzdecke
- 0,3 cm Kompakt DSK
- 12 cm Dämmung PIR
- 6 cm Gefälledämmung EPS
- 0,3 cm Tec KSA
- 0,52 cm Karat

31,1 cm Gesamtstärke, U-Wert: 0,12 W/(m²K)¹⁰⁹

Je nach eingesetzter Dämmung kann der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) eines Bauteilaufbaus beeinflusst werden. Wände und Bodenaufbau sind diffusionsoffen, der Dachaufbau ist aufgrund der vorhandenen Dampfsperre nicht diffusionsoffen.¹¹⁰

Grundriss / Geschoße / Raumhöhen

Die Grundrisse der vorgeschlagenen Hausvarianten sind nicht offen. Bei individueller Planungsleistung kann dieser aber realisiert werden. Die Maße der Raumzellen variieren in Breite x Länge von 2,5 m x 3,4 m als kleinstes Modul bis zu 4,4 m x 15 m als größtes Modul und einer einheitlichen Raumhöhe von 2,51 m. Raumzellen über 3 m Breite werden als Sondertransport geführt. Aus statischer Sicht sind zwei Geschosse möglich, für zusätzliche Geschosse muss eine statische Berechnung erstellt werden.¹¹¹

Entsorgung

Dämmstoffe von Boden-, Wand- und Deckenaufbau werden geklemmt oder „überlappend verlegt“ und eingebaut und sind dadurch sortenrein rückführbar bzw. wieder verwendbar.¹¹² Die Abdichtungsbahnen des Dachaufbaus sind miteinander

¹⁰⁹ Candaten, Martin / Erich, Viktor Böhm, Bau- und Ausstattungsbeschreibung, Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019, S 6.

¹¹⁰ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

¹¹¹ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

¹¹² Vgl. Bernhard Kolb, [www.nachhaltiges-bauen.de](https://nachhaltiges-bauen.de), 2020, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polystyrol+EPS>,

und mit der Gefälledämmung verklebt.¹¹³ Daher sind diese in der Wiederverwertung und Entsorgung problematisch.

Haustechnik (Heizen / Warmwasser / Strom)

In der Regel wird ein Modulhaus mit Infrarotpaneelen oder einer elektrischen Bodenheizung ausgestattet, die aber auch durch eine wassergeführte Bodenheizung ersetzt werden kann. Wassergeführte Boden- oder Flächenheizungen werden nicht vorgefertigt in der Raumzelle geliefert, sondern vor Ort eingebaut. Dadurch verlängern sich die Montagezeiten; zudem muss für eine mögliche Erweiterung oder Reduzierung das Heizsystem bei der Planung des Hauses mit bedacht werden.

Die Warm- Brauchwasseraufbereitung wird ebenfalls über die Stromversorgung bedient und das Haus mit einem elektrischen Wasserboiler versorgt.

Die Stromversorgung wird in der Regel über das Stromnetz geliefert, jedoch sind autarke Systeme wie Photovoltaikanlagen möglich.¹¹⁴

Entstehungszeit

Die Herstellungszeit des Hauses beträgt nach Baubewilligung ungefähr acht Wochen.¹¹⁵

Erweiterung / Reduzierung / Übersiedelung

Die Firma empfiehlt eine Erweiterung und oder eine Reduzierung in der Planung zu beachten, um die anfallenden Kosten zu begrenzen. Module lassen sich übersiedeln. Es gibt jedoch keine Option, dass Module von der Firma zurückgekauft werden. Kosten für Abbau, Transport und Wiederaufbau bewegen sich bei ca. 16.800 € brutto. Auch hier empfiehlt die Firma, das alte Haus zu verkaufen und ein neues angepasstes (z.B. kleineres) Haus an neuer Stelle zu errichten. Bisher haben alle Kunden/innen im Falle eines Ortswechsels oder Anpassung des Wohnhauses diese Variante vorgezogen. In der Praxis wurden bis jetzt noch wenig Wohnraumerweiterungen bzw. Reduzierungen durchgeführt.¹¹⁶

(Aufgerufen am 05. 02. 2020).

¹¹³ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

¹¹⁴ Vgl. ebd.

¹¹⁵ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

¹¹⁶ Vgl. ebd.

Angebote Hausvarianten

Die Firma bietet einen Ideenkatalog mit 9 Häuserserien an. Diese werden wiederum in verschiedene Größenvariationen beschrieben, sodass in Summe 23 Hausideen entstehen. Diese reichen von ca. 21 m² bis ca. 150 m² Wohnnutzfläche.¹¹⁷

Kosten

Folgende Leistungen sind inkludiert:

- Bauwerk:

Flachdach aus Massivholzplatte (CLT) mit EPS (expandiertes Polystyrol)
Wärmedämmplatten und bituminöser Abdichtung,

Außenwand und Bodenplatte aus 10 cm Massivholz (CLT) mit 16 cm
Wärmedämmschicht aus Hanf,

Fassade aus Fichten- bzw. Lärchenholzverschalung
- Parkettböden
- Sanitäranlagen (WC, Dusche, Waschbecken, Waschbeckenunterschrank)
- Elektrischer Warmwasserboiler 50L
- Transport (Ostregion Österreichs, auch Sondertransport)
- Errichtung, Fundament, Planung der Einreichunterlagen (für Baubewilligung) und Energieausweis.

Im Folgenden werden Preise von sieben Hausvarianten des Ideenkatalogs aufgelistet.

Serie	BGF (m²)	WNF (m²)	Preis (netto)	Preis (brutto)
Home	88,4 m ²	73,9 m ²	159.380 €	191.000 €
Home Plus Typ 1150	117,3 m ²	99,3 m ²	221.050 €	265.000 €
Living	92,5 m ²	77,9 m ²	180.080 €	216.000 €

¹¹⁷ Vgl. ebd.

Family	173,4 m ²	140,7 m ²	284.430 €	341.000 €
Residenz	102,0 m ²	85,5 m ²	230.780 €	277.000 €
Day&Night	28,6 m ²	21,8 m ²	73.870 €	88.650 €

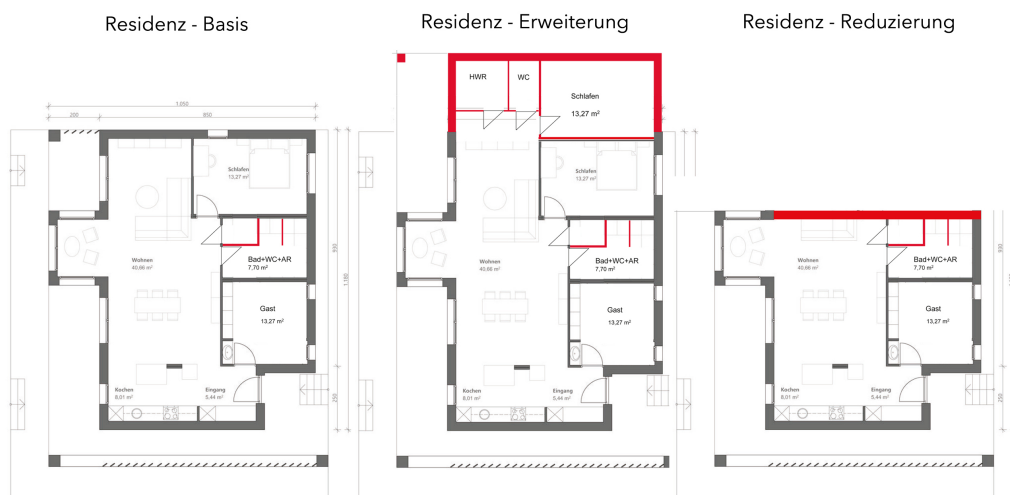
BGF (Bruttogeschossfläche) bezeichnet die Gesamtfläche des Hauses ohne Abzug der Wände.

Die Quadratmeterpreise der Varianten reichen von ca. 2.500 € (brutto)/m² WNF bis ca. 3.300 € (brutto)/m² WNF¹¹⁸

Wird ein Modulhaus mithilfe des firmeneigenen Architekten individuell geplant, bietet die Firma ein standardisiertes Verfahren an. Es wird ein verbindlicher Kostenvoranschlag erstellt, in welchem ein Vorprojekt mit den notwendigen Planskizzen ausgearbeitet wird. Die Kosten für diese Planungsleistung hängen vom jeweiligen Kundenwunsch ab und werden den Gesamtkosten gutgeschrieben, wenn die Firma das Haus in der Folge umsetzen darf.

Auf Anfrage nach einem erweiterbaren und reduzierbaren Hause war es der Firma möglich, folgende Informationen zu liefern:

Es wurde von der Grundrissversion „Residenz“ aus dem Ideenkatalog ausgegangen (ca. 85,5 m² WNF). Dieser Grundriss soll bei Bedarf auf ca. 100 m² WNF erweiterbar sein, bzw. in späterer Folge wieder auf ca. 74 m² WNF reduziert werden können.¹¹⁹



¹¹⁸ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

¹¹⁹ Vgl. ebd.

Für dieses Anforderungsprofil würde der verbindliche Kostenvoranschlag für die Planungsleistung des Architekten 5.500 € (brutto) betragen. Da der Grundriss des Modulhauses „Residenz“, im Vergleich einer kompakten rechteckigen Gebäudehülle komplexer ist, liegen die Bauwerkskosten inkl. Transport (Ostregion Österreichs), Errichtung, Fundament, Terrassenfläche, Planung, Einreichunterlagen und Energieausweis bei ca. 3.100 € (brutto) / m² WNF. Die spätere Erweiterung mit den Anschlussarbeiten liegt bei ca. 3.350 € (brutto) / m² WNF.¹²⁰

4.3.4 McCube

Unternehmensbeschreibung

Ist ein niederösterreichisches Unternehmen, welches in Österreich, Deutschland und der Schweiz tätig ist. Die Firma baut seit 2014 Modulhäuser und ihr Firmengründer hat durch einen Auftritt in der Fernsehserie „2 Minuten 2 Millionen“ an Bekanntheitsgrad gewonnen.¹²¹

Beschaffenheit des Baukörpers

Bauweise

Die Bauweisen der Modulhäuser von „McCube“ sind denen von „MeinKubus“ sehr ähnlich. Raumzellenmodule werden in Werkhallen mit hohem Vorfertigungsgrad hergestellt, mittels LKW-Transport an die Baustelle geliefert und innerhalb weniger Tage zu einem Modulhaus montiert. Die tragende Konstruktion besteht aus Brettsperrholz. Wie bei „MeinKubus“ besteht die Möglichkeit aus standardisierten Hausvarianten zu wählen oder das Modulhaus individuell planen zu lassen.¹²²

¹²⁰ Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

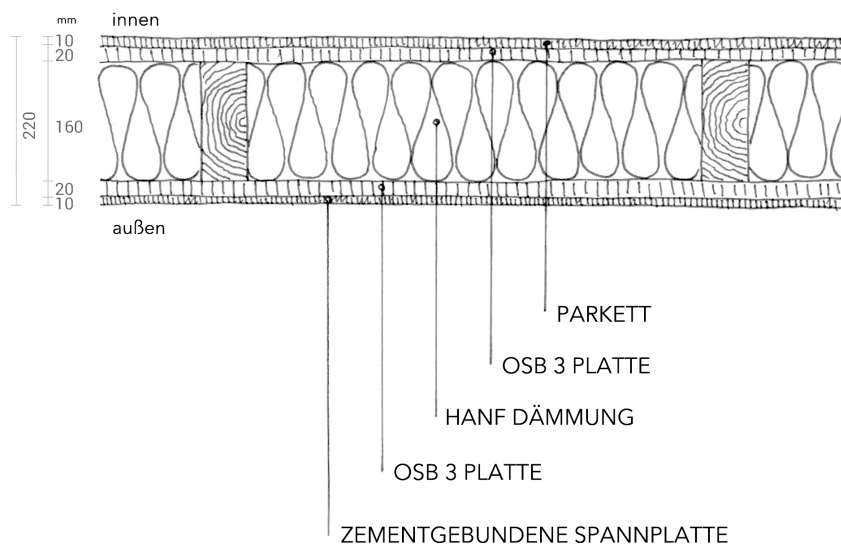
¹²¹ Vgl. Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

¹²² Vgl. Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

Aufbau, **Boden** (innen nach außen)

- 1 cm Parkett, Esche
- 2 cm OSB 3
- 16 cm Staffellage mit Hanfdämmung
- 2 cm OSB 3
- 1 cm zementgebundene Spannplatte

22 cm Gesamtstärke, U- Wert: k. A. $W/(m^2K)$ ¹²³

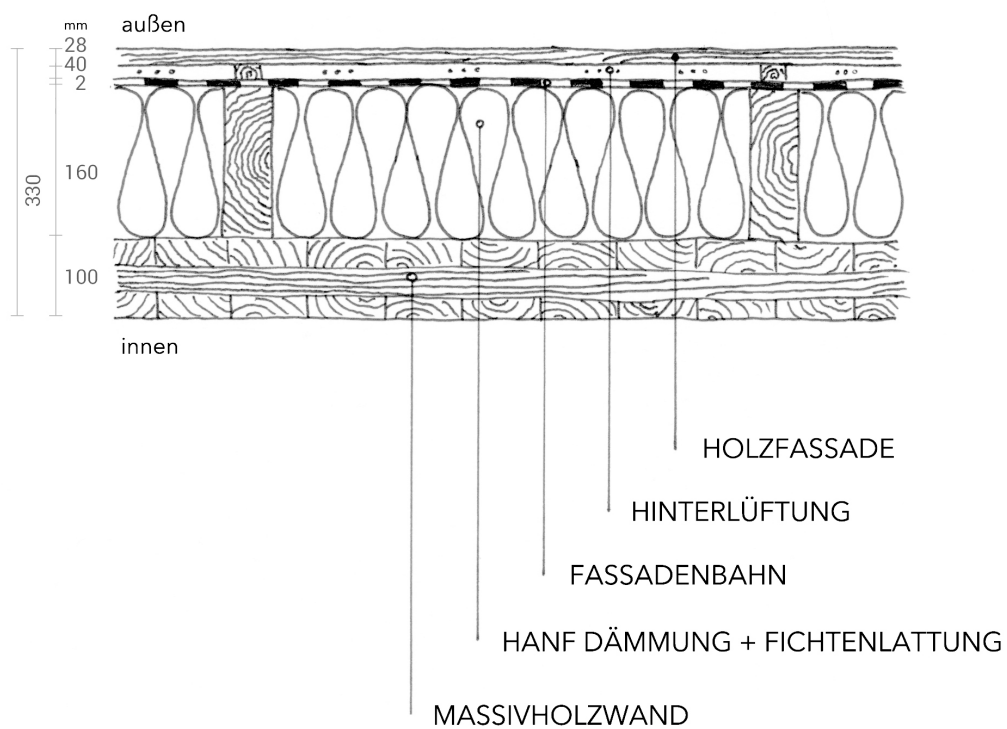


¹²³ Ebd.

Aufbau, **Wand** (Innen nach Außen)

- 10 cm KLH (Brettspertholz) Fichte
- 16 cm Dämmung Hanfweichfaserplatte
- 0,2 cm Winddichtung
- 4 cm Hinterlüftung
- 2,8 cm Holzfassade Lärche

33 cm Gesamtstärke, U- Wert: $0,18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ¹²⁴

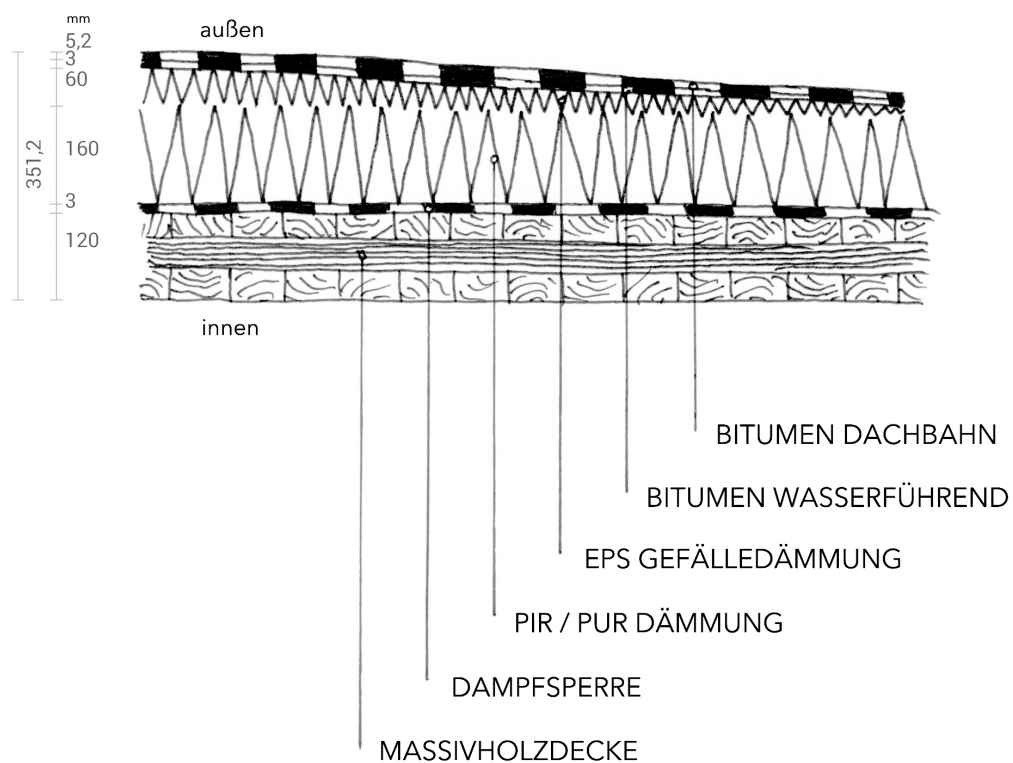


¹²⁴ Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

Aufbau, **Decke/ Dach**, Warmdach, (innen nach außen)

- 12 cm KLH Decke, (Brettsperrhoiz) Fichte
- 0,3 cm Dampfsperre aus Elastomerbitumen
- 16 cm Dämmung PUR
- 6 cm EPS Gefälledämmung
- 0,3 cm Tec KSA Bitumen Dachbahn, erste Abdichtung
- 0,52 cm Karat Bitumenoberlage Schutzschicht

35,1 cm Gesamtstärke, U- Wert: $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ¹²⁵



¹²⁵ Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCabe Interview, (17. 06. 2019).

Grundriss / Geschoße / Raumhöhen

Die Grundrisse der standardisierten Hausvarianten können nicht oder nur geringfügig offen gestaltet werden. Um die Produktion effizienter zu gestalten und das Qualitätsmanagement zu verbessern wurden Raumzellen standardisiert und daher auf einen offenen Grundriss der Hausvorschläge verzichtet. Aus statischer Sicht sind drei Geschosse möglich und die Raumhöhen liegen zwischen 2,55 m und 2,70 m¹²⁶

Entsorgung

Die Baustoffschichten der Wände sind aus nachwachsenden Rohstoffen, werden geklemmt oder geschraubt, was wiederum zu einer problemlosen Entsorgung bzw. die Wiederverwendung führt.¹²⁷ OSB Platten können thermisch verwertet werden¹²⁸

Die Deckenbaustoffschichten sind miteinander verklebt¹²⁹ und daher in der Entsorgung problematisch, da einzelne Schichten nur schwer ohne Rückstände anderer Baustoffschichten (sortenrein) zu trennen sind.¹³⁰ Die zementgebundene Spannplatte ist ein Verbundstoff welcher in der Regel auf der Bauschuttdeponie landet.¹³¹

Haustechnik (Heizen / Warmwasser / Strom)

Der Heizwärmebedarf wird über strombetriebene Infrarotpaneele gewährleistet und die Warmwasserversorgung wird elektrisch (über einen Boiler) zur Verfügung gestellt. Der Strom wird über einen Netzanschluss gewährleistet. Je nach Kundenwunsch sind kostenabhängig auch andere Haustechniksysteme (Solarthermie, Photovoltaik etc.) möglich.¹³²

¹²⁶ Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

¹²⁷ Vgl. Bernhard Kolb, www.nachhaltiges-bauen.de, 2020, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Hanf%20D%C3%A4mmstoffe>, (Aufgerufen am 05. 02. 2020).

¹²⁸ Vgl. Bernhard Kolb, www.nachhaltiges-bauen.de, 2020, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/OSB-Platten>, (Aufgerufen am 05. 02. 2020).

¹²⁹ Vgl. Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

¹³⁰ Vgl. Bernhard Kolb, www.nachhaltiges-bauen.de, 2020, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polystyrol+EPS>, (Aufgerufen am 05. 02. 2020).

¹³¹ Vgl. Bernhard Kolb, www.nachhaltiges-bauen.de, 2020, <https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Spanplatten+++zementgebunden>, (Aufgerufen am 05. 02. 2020).

¹³² Vgl. Oliver Pesendorfer, www.mc-cube.at, o.D., <https://www.mc-cube.at/>, (Aufgerufen am 01. 07. 2019).

Entstehungszeit

Die Bauzeit im Werk für ein ca. 90 m² großes Modulhaus beträgt drei Wochen. Zusätzlich werden zwei bis drei Tage für die Errichtung benötigt.¹³³

Erweiterung / Reduzierung / Übersiedelung

Die Erweiterung und Reduktion des Hauses muss nicht im Voraus geplant werden, wird aber empfohlen. In der Regel wird die bestehende Außenwanddämmung abgenommen und auf die neue Raumzelle aufgebracht. Die Kosten für die Erweiterung belaufen sich auf ca. 2.600 € (brutto)/m² WNF zuzüglich Montage. Ein reduziertes Modul kann über den Gebrauchtmärkte „Second Cube“ vertrieben werden. Ein Umzug an einen anderen Ort ist möglich. Die Kosten für eine Übersiedelung werden mit ca. 15.000 € (brutto) veranschlagt. Die Firma selbst kauft keine Module oder Modulhäuser zurück. In der Praxis wurden noch wenig Wohnraumerweiterungen bzw. Reduzierungen durchgeführt.¹³⁴

Angebote Hausvarianten

Drei Varianten werden von der Firma angeboten:

- ECO A Serie: Die Häuser ECO A1 – ECO A4 sind standardisierte Häuser mit einer WNF von 29 m² (ein Modul) – 122,5 m² (vier Module)
- ECO C Serie: Bei dieser Variante kann sich der/die Kunde/in aus einer Auswahl von Modulgrundrissen selbst ein Modulhaus planen. Die Internetseite der Firma bietet einen PDF-Download, auf dem Module abgebildet und nach Wohnbedürfnissen bezeichnet sind (z.B. Schlafen, Küche, Bad, Wohnen, Kinderzimmer usw.). Der/die Kunde/in kann die Module ausschneiden, aneinanderlegen und so seinen eigenen Modulhausgrundriss selbst gestalten. Außer dem Baukastensystem werden drei vorgefertigte Hausvarianten im ECO C System angeboten.
- McCube Premium ist die individuelle Hausvariante und wird mit den hauseigenen Architekten und Innenarchitekten umgesetzt. Kosten der Planungsleistung sind projektabhängig.¹³⁵

¹³³ Vgl. Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

¹³⁴ Vgl. Oliver Pesendorfer, Interview von David Meisinger, McCube Interview, (17. 06. 2019).

¹³⁵ Vgl. Oliver Pesendorfer, www.mc-cube.at, o.D., <https://www.mc-cube.at/>, (Aufgerufen am 01. 07. 2019).

Kosten

Folgend werden Leistungen sind inkludiert:

- Bauwerk:
Holz-Aluminiumfenster, Außen- sowie Innentüren in standardmäßiger Ausführung, Flachdach mit Wärmedämmung, Terrasse.
- Sanitär- und Elektroinstallationen, Kamin, Infrarotheizung, Sanitärgeräte, Elektroboiler
- Transport (30km Umkreis des Firmenstandorts)

Folgende Leistungen sind nicht inkludiert:

- Schraubfundamente, vor Ort Montage und Planungsleistungen

Serie	BGF (m²)	WNF (m²)	Preis (brutto)
ECO A1	40 m ²	29 m ²	94.900 €
ECO A2	74 m ²	59,7 m ²	159.900 €
ECO A3	108 m ²	90 m ²	217.900 €
ECO A4	142,5 m ²	122,5 m ²	269.000 €
ECO C3	67,5 m ²	56,5 m ²	149.000 €
ECO C4	90 m ²	74 m ²	198.000 €
ECO C5	110,5 m ²	93,3 m ²	234.900 € ¹³⁸

¹³⁸ Oliver Pesendorfer, www.mc-cube.at, o.D., <https://www.mc-cube.at/portfolio/eco-c/>, (Aufgerufen am 01. 07. 2019).

4.3.5 Schachner, Wintergärten und Modulhäuser

Unternehmensbeschreibung

Der oberösterreichische Tischlerbetrieb, baut seit ca. 30 Jahren Wintergärten und. seit 2016 bietet die Firma ein Modulhauskonzept an.¹³⁹

Beschaffenheit des Baukörpers

Bauweise

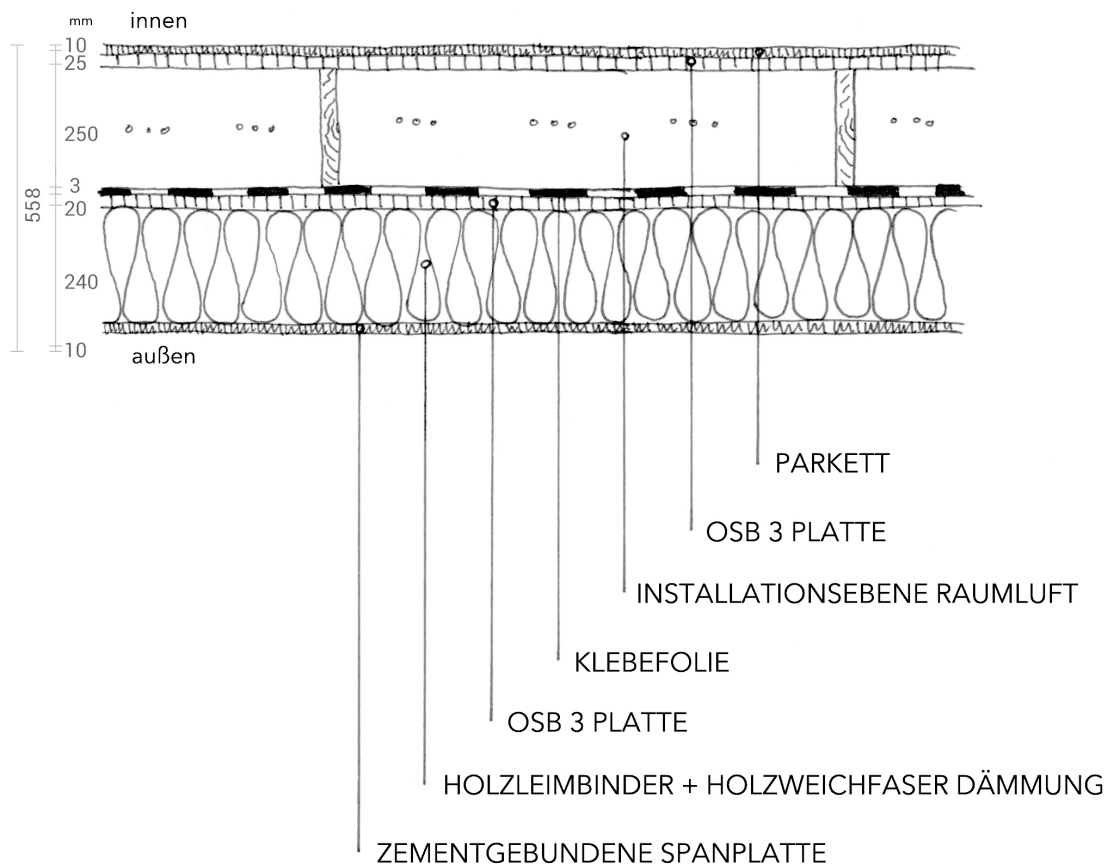
Die Module werden als Paneele an die Baustelle geliefert und die tragende Konstruktion besteht aus verleimten Massivholzwänden. Das Modulkonzept basiert auf einem 62,5 cm großen quadratischen Raster. Die Breite eines Moduls besteht aus vier Rastereinheiten und beträgt somit 2,50 m. Der grundlegendste Unterschied zu anderen Modulhausanbietern ist der doppelte Boden- und Deckenaufbau. In diesen Zwischenräumen verlaufen alle Elektro- und Wasser-installationen. Die sichtbare Deckenkonstruktion besteht aus einer quadratischen abgehängten Rasterdecke (62,5 cm). Der Bodenbelag besteht aus steckbaren Elementen, um einen leichten Zugang zur Installationsebene zu ermöglichen. In der Regel gibt es keine Verkabelung in den Innenwänden, außer sie sind individuell gewünscht. Sämtliche Schalter für Licht sind über Funk mit einem zentralen Elektroverteiler verbunden. Steckdosen sind im Boden verbaut können jedoch auf Wunsch in Wänden angebracht werden. Dieses System ermöglicht, dass alle Innenwände im Rastersystem mit geringem Aufwand versetzt werden können. Dadurch kann der Grundriss weitgehend offen gestaltet werden; sogar Küche und Sanitärbereiche sind mit geringem Aufwand an andere Orte im Modulhaus versetzbar.

¹³⁹ Vgl. Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

Aufbau, **Boden** (innen nach außen)

- 0,6 cm – 1,6 cm Nut-Federbelag (Parkett oder Vinyl, Feinsteinzeug)
- 2,5 cm OSB 4
- 25 cm Installationsebene, Holz oder Metallständer (Wasser, Elektroleitungen)
- 0,3 cm Klebefolie
- 27 – 31, cm Verbund- Bodenplatte 125 cm x 125 cm
 - o 2 cm OSB 3 Platte
 - o 24 - 28 cm Holzleimbinder (mit Holzweichfaser gedämmt)
 - o 1 cm zementgebundene Spanplatte

55,4 – 60,4 cm Gesamtstärke, U- Wert: ca. k. A. $W/(m^2K)^{140}$

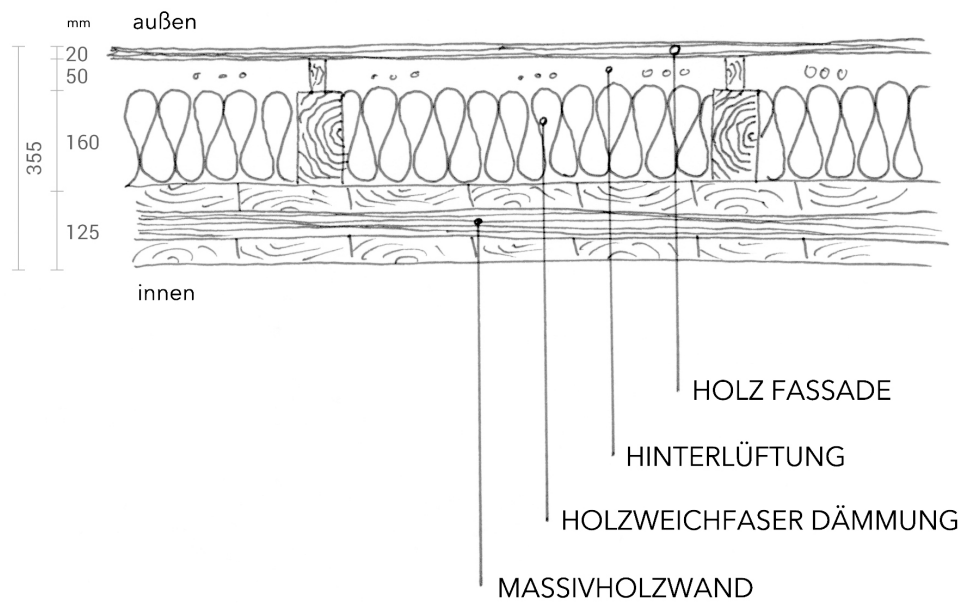


¹⁴⁰ Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

Aufbau, **Wand** (innen nach außen)

- 12,5 cm Massivholzwand (sechsfach verleimten)
- 14 - 16 cm Holzweichfaserplatte,
- 5 cm Hinterlüftung
- 2,8 cm Fassade aus Holz (Lärche) / Kunststoffverbundplatten

34,3 - 36,3 cm Gesamtstärke, U- Wert: ca. k. A. $W/(m^2K)^{141}$

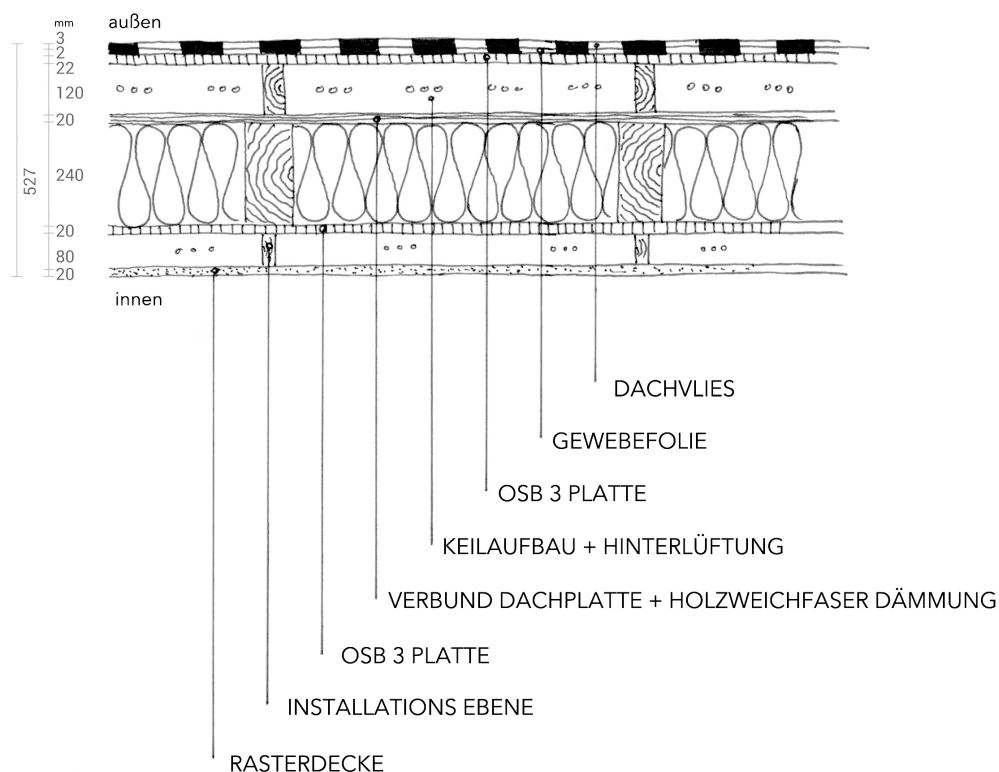


¹⁴¹ Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

Aufbau, **Decke/ Dach**, Kaltdach (innen nach außen)

- 2 cm Rasterdecke, (62,5 cm x 62,5 cm) Mineralfaser (gepresste Steinwolle).
- 8 cm Installationsebene (Elektroleitungen für Deckenleuchten)
- 26 cm tragende Dachplatte (Verbund- Dachplatte)
 - o 2 cm OSB 3 Platte
 - o 24 cm Holzleimbinder (mit Holzweichfaser ausgedämmt)
- 12 cm Keilaufbau Brettsper Holz mit 2 % Gefälle (4 Seiten-Hinterlüftung)
- 2,2 cm OSB 3 Platte
- 0,2 cm Kunststoff- Gewebefolie (Foliendach)
- 0,3 cm Vlies

50,7 cm Gesamtstärke U- Wert: ca. k. A. $W/(m^2K)$ ¹⁴²



¹⁴² Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

Grundriss / Geschoße / Raumhöhen

Das Modulhaussystem ermöglicht offene Grundrisse, sofern das geplante Haus nicht länger als 7,50 m ausfällt. Ein Basismodul hat die Maße von 7,50 m Länge und 2,50 m Breite. Die Länge von 7,50 m ist aus statischer Sicht das Maximum. Bei Erweiterung des Hauses in Breitenrichtung um jeweils einer Modulbreite von 2,50 m (7,50 m x 5 m, 7,50 m x 10 m usw.) bleibt der Grundriss weiterhin offen.

Drei Geschosse sind mit den angeführten Baustoffschichten und ohne weitere statische Prüfung möglich. Die Raumhöhe beträgt 2,60 m. Die Dachkonstruktion ist mit Dachrinne ca. 1 m überstehend.¹⁴³

Entsorgung

Die Entsorgung und Wiederverwertung der Wandbauteile erweist sich durch die Verwendung von natürlichen Baustoffen und rückführbare Verbindungen (klemmen und schrauben) unproblematisch, da ein sortenreiner Rückbau gewährleistet werden kann.

Die Dachkonstruktion erscheint bis auf die Kunststoffolie, welche das Dach abdichtet als unproblematisch. Analog zum Wandaufbau sind die meisten Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen und deren Verbindungen geklemmt oder geschraubt.

Die verwendeten Materialien des Bodenaufbaus sind zu einem Großteil ebenfalls aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Bodenplatte ist ein Verbundstoff aus Zement und Dämmplatten, wodurch diese Baustoffschicht nicht sortenrein entsorgt werden kann. Die Klebeschicht der Bodenplatte kann gelöst werden, sodass die Bodenplattenteile wieder verwendbar sind.¹⁴⁴

Haustechnik (Heizen / Warmwasser / Strom)

Die Wärmeversorgung wird über Infrarotpaneelen, welche in das Quadratische Rastersystem von 62,5 cm passen, gewährleistet. Diese sind kleiner als herkömmliche Infrarotpaneele, daher wird eine höhere Anzahl verbaut. Man erzielt damit eine breitere Streuung der Wärme. Dadurch können die Infrarotpaneele mit einer geringeren Oberflächentemperatur (=geringerer Strombedarf pro Paneel) betrieben werden.

¹⁴³ Vgl. Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

¹⁴⁴ Vgl. ebd.

Die Warmwasserversorgung wird über einen elektrischen Warmwasserspeicher (Boiler) gewährleistet.

Der Strombedarf wird standardmäßig über Netzstrom gewährleistet. Auch Photovoltaikanlagen werden von der Firma angeboten.¹⁴⁵

Entstehungszeit

Die Herstellungszeit und Errichtungszeit für ein Modulhaus dieser Art beträgt ca. 4 - 6 Monate (nach Baubewilligung).¹⁴⁶

Erweiterung / Reduzierung / Übersiedelung

Erweiterung dieser Wohngelegenheit funktioniert in dem bereits beschriebenen Rastersystem und ist ohne Vorausplanung möglich. Hierfür werden die Außenwände, an denen das Modulhaus erweitert wird, abmontiert und vorversetzt. Die Erweiterung erfolgt mit neuen Paneelen, die im Rastersystem das ursprüngliche Modulhaus ergänzen. Eine Reduktion ist ebenfalls möglich. Nicht mehr verwendete Module oder Häuser können übersiedelt oder verkauft werden. Die Firma kauft keine Module zurück. In der Praxis wurden noch keine Wohnraumerweiterungen bzw. Reduzierungen durchgeführt.

Bei einer Erweiterung sind Kosten von ungefähr 2.500 € (brutto) /m² WNF zu erwarten. Kosten für eine Übersiedelung belaufen sich bei 900 € pro Modul (7,50m x 2,50m), jedoch ohne Transportkosten.¹⁴⁷

Angebote Hausvarianten

Die Firma bietet keine konkreten Hausvarianten an. Stattdessen bietet sie auf ihrer Internetseite einen vorgegebenen Planungsraster. Dieser besteht aus einem karierten Papier welches als PDF heruntergeladen werden kann. Der/die Kunde/in kann auf diesem Grundrissvorstellungen nach seiner Wahl zu Papier bringen.¹⁴⁸

¹⁴⁵ Vgl. Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

¹⁴⁶ Vgl. ebd.

¹⁴⁷ Vgl. ebd.

¹⁴⁸ Vgl. Ernst Schachner, [www.schachner.at](https://www.schachner.at/modulhaus/planung-und-planungsblatt/), o.D.,
<https://www.schachner.at/modulhaus/planung-und-planungsblatt/>, (Aufgerufen am 28. 05. 2019).

Kosten

Folgende Leistungen sind inkludiert;

- Bauwerk (Vollholz Decken, Wände, Boden, Flachdach inkl. Wärmedämmung, hinterlüftete Fassade, Fenster mit 3-fach Verglasung, Fußböden)
- Schraubfundamente
- Transport
- Montage
- Haustechnik (Heizung Infrarotpaneele, Smart-System,
- Standard - Sanitär (Bad und WC Anlagen inkl. Verfliesung)
- Standard Küche

Genaue Preise können nur anhand eines konkret geplanten Objektes festgelegt werden, da beispielsweise flexible Außenwände (für Erweiterung) und breite Glasfronten den Preis beeinflussen.

Referenzprojekt:

75 m ² WNF	ohne flexible	200.000 € (brutto)
	Außenwände,	ca. 2.700 € (brutto) / m ² WNF
	ohne breite	
	Glasfronten	

Es können ungefähre Richtpreise angenommen werden, welche von der Firma bestätigt wurden.

75 m ² WNF	ca. 2.900 – 3.100 € (brutto) / m ² WNF
100 m ² WNF	ca. 2.600 – 2.800 € (brutto) / m ² WNF
125 m ² WNF	ca. 2.400 – 2.600 € (brutto) / m ² WNF ¹⁴⁹

¹⁴⁹ Vgl. Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

Energieverbrauchsdaten/ Ökobilanzen/ etc.

Bei den bereits bestehenden Modulhäusern mit einer Größe von ca. 75m² wurden jährliche Heizkosten von ca. 400 € (brutto) gemessen.¹⁵⁰

Besonderheiten

Dieses Modulhausssystem besitzt besondere Flexibilität durch sein ausgeklügeltes Rastersystem. Im Vergleich zu anderen Modulhausherstellern bietet es einen völlig neuen, vielversprechenden Denkansatz im Modulhausbau.

Mehrstöckige Modulhäuser werden mit einem Lift (manuell und elektrisch bedienbar) anstelle einer Innenstiege ausgeführt. Als Fluchtweg und separaten Zugang für den 2. Stock wird eine außen liegende Stiege errichtet.¹⁵¹

4.3.6 Fazit

Kosten

Im Folgenden werden die Angebote der Modulhausfirmen miteinander verglichen. Ausgehend von Angeboten mit ca. 74 m² WNF werden deren Kosten und inkludierte Leistungen aufgezeigt.

Zinipi:

Bauwerk (inkl. Boden, Standard Sanitär und Elektroinst.) + Fundament, Transport und Errichtung	246.000 € (brutto)
--	---------------------------

Quadratmeterpreis	ca. 3.325 € (brutto) /m² WNF
-------------------	--

Holzwohnbau Luef

Bauwerk (k.A)	k.A.
---------------	-------------

Quadratmeterpreis	ca. 2.500 - 3.000 € (brutto) /m² WNF
-------------------	--

¹⁵⁰ Vgl. ebd.

¹⁵¹ Vgl. Ernst Schachner, Interview von David Meisinger, Schachner Modulhaus Interview, (08. 06. 2019).

MeinKubus (Home)

Bauwerk (inkl. Boden, Standard Sanitär- und Elektroinst.) + Fundament, Transport (öst. Österreich), Errichtung, Einreichunterlagen und Energieausweis **191.000 € (brutto)**

Quadratmeterpreis (brutto) **2.581 € (brutto) /m² WNF**

McCube (ECO C4)

Bauwerk (inkl. Boden und Standard Sanitär und Elektroinstallation) + 30 km Transport **198.000 € (brutto)**

Quadratmeterpreis **2.675 € (brutto) /m² WNF**

Schachner

Bauwerk (inkl. Boden, Standard Sanitär, Küche und Elektroinst.) keine Sonderfenster **ca. 200.000 € (brutto) /m² WNF**

Quadratmeterpreis **ca. 2.700 € (brutto) /m² WNF**

Die Auflistung macht Preis- und Leistungsunterschiede sichtbar. Die Firma Zinipi schreibt das Angebot mit dem höchsten Preis pro Quadratmeter WNF. Die Firma MeinKubus bietet den günstigsten Preis und die meisten inkludierten Leistungen. Die weiteren Firmen verorten sich dazwischen. Die Preisunterschiede gehen einher mit den verwendeten Baustoffen. Deutlich wird sichtbar: je höher der ökologische Anspruch an die Baumaterialien, desto teurer das Bauwerk.

Laut Aussagen von MeinKubus und McCube bewegen sich die Preise von Modulhäusern, welche keine nachwachsenden Rohstoffe in Boden-, Wand- und Deckenaufbauten verwenden bei ca. 1.500 - 2.000 € (brutto)/m² WNF.

Kunststoffdämmstoffe wie EPS oder XPS sind Nebenprodukte der Treibstoffgewinnung aus Erdöl und können dadurch deutlich günstiger angeboten werden. Mineralische Baustoffe wie Beton und Ziegel, die ja prinzipiell nicht unökologisch sind, aber mehr Energie für Herstellung, Verarbeitung und Entsorgung benötigen, werden in größeren Mengen hergestellt und können dadurch ebenfalls günstiger angeboten werden. Ökologische Konkurrenzprodukte wie Hanf, Holzfaser oder Zellulose gewinnen zwar zunehmend ebenfalls an verarbeitetem Volumen, sind jedoch noch nicht in vergleichbaren Mengenverhältnissen verfügbar.¹⁵²

Die Kosten für Erweiterung belaufen sich bei allen Firmen bei ca. 2.500 – 3.000 € (brutto)/m² WNF. Eine Übersiedelung eines Modulhauses ist noch nicht vorgekommen. Keine der befragten Firmen kaufen Modulhäuser oder Module zurück.

Flexibilität:

Wie am Beispiel der Firma Loeffler deutlich wird, ist eine Erweiterung oder Reduzierung eines Wohnhauses auch im konventionellen Hausbau möglich. Bei jeder befragten Firma wird eine Vorausplanung der Erweiterung empfohlen. Praktische Erfahrungswerte der Wohnraum-vergrößerung bzw. Reduzierung liegen nicht vor. Die Möglichkeit der Übersiedelung eines Modulhauses spielt in der Praxis eine untergeordnete Rolle. Aus Erfahrungsberichten der Modulhausfirmen wurden alte Häuser immer verkauft und neue Häuser am neuen Standort errichtet, anstatt diese zu übersiedeln. Modulhäuser oder einzelne Module über einen „secondhand“ Markt zu verkaufen wird bei den Firmen Meinkubus und Zinipi angedacht. Eine tatsächliche Plattform dafür bietet derzeit nur McCube an. Da es diese Firma und ihr „secondhand“-Angebot aber erst seit kurzem gibt, sind die Erfahrungswerte zu gering um wertende Aussagen treffen zu können.

Das Modulhauskonzept der Firma Schachner erwies sich durch sein Rastersystem am flexibelsten im Vergleich zu den Systemen der anderen Modulhausanbieter. Der Grundriss kann offene weitestgehend offen gestaltet werden und die Raumaufteilung mit nur geringem Arbeitsaufwand verändert werden. Auch hier sind aber die Erfahrungswerte bezüglich Wohnraumvergrößerung bzw. Verkleinerung gering.

¹⁵² Vgl. Erich, Viktor Böhm, Interview von David Meisinger, Mein Kubus, Interview, (09. 07. 2019).

Ökologie:

Alle befragten Firmen warben mit ökologischen und nachhaltigen Argumenten. Beim Vergleich der Baustoffe im Dachaufbau wurden aber schon einige Unterschiede deutlich. Die Firmen MeinKubus und McCube verbauen in deren Standardhäusern Dämmstoffe auf Erdölbasis (z.B. EPS, PIR/ PUR). Diese erzielen in einem ökologischen Vergleich (z.B. Ökobilanz) deutlich schlechtere Ergebnisse als Dämmstoffe aus nachwachsenden Materialien (z.B. Hanf, Holz)¹⁵³. Entscheidend für die Entsorgung bzw. Wiederverwertung solcher Baustoffe ist deren Verarbeitung am Bauwerk. In der Regel werden EPS Platten mit ihrem Untergrund verklebt. Das erschwert die sortenreine Rückgewinnung im Falle eines Rückbaus bzw. Abriss beträchtlich. Kann aber der Baustoff nicht sortenrein rückgewonnen werden, so entstehen Mehrkosten bei der Entsorgung und eine ökonomisch sinnvolle Wiederverwendung ist nicht gesichert.

5 Bauliche Entscheidungen

Bezugnehmend auf die eingangs gestellte Forschungsfrage, welche baulichen Entscheidungen die Kosten für den ökologischen Einfamilienhausbau positiv beeinflussen bzw. minimieren können, werden in den folgenden drei Kapitel verschiedenste bauliche Maßnahmen der befragten Firmen aufgezeigt (aufgeteilt in die Bereiche Investitionskosten, Langlebigkeit (Lebenszyklus) und Betriebskosten).

5.1 Berührungspunkte der Modulhäuser relevant für Investitionskosten

5.1.1 Kein Keller

Alle Modulhausanbieter bieten kellerlose Hausvarianten an. Ein Keller steht nicht nur dem flexiblen Wohnkonzept entgegen, da dieser ein permanentes Wohnkonzept vorsieht, sondern verursacht durch zusätzliche Baumaßnahmen auch höhere Investitionskosten.

¹⁵³ Siehe S. 111.

Es gibt keine einheitlichen Preise für einen Kellerbau. Größe, Ausstattung, Bodenbeschaffenheit, Grundwasserspiegel und gewünschter Energiestandard sind einige der Faktoren, welche die Kosten beeinflussen.¹⁵⁴

*Zum Beispiel kann bei einem freistehenden Einfamilienhaus mit ungefähr 80 Quadratmetern Grundfläche der Preis von 35.000 bis 80.000 Euro variieren, je nach Aufwand kann der Keller aber noch teurer werden.*¹⁵⁵

5.1.2 Vorfertigungsgrad

Die meisten Modulhausanbieter bieten Raumzellen oder Paneele an, welche an die Baustelle geliefert werden. Dieses Fertigbauverfahren verlegt Arbeitsprozesse von der Baustelle in die Werkhallen und ist witterungsunabhängig. Dadurch können Bauzeiten und Kosten verringert werden. Auch die Produktqualität kann durch eine werkseitige Qualitätskontrolle erhöht werden. Darüber hinaus führt die zuverlässigere Abwicklung der Arbeitsprozesse zu verbindlichen Bauzeitplänen, die wiederum die Kalkulationssicherheit (Preisgarantie) erhöhen und zu größerer Planungssicherheit für alle Beteiligten führen.¹⁵⁶

In der folgenden Tabelle werden Vor- und Nachteile eines Wohnbaus mit hohem Vorfertigungsgrad dargestellt.

Lfd Nr.	Vorteile	Nachteile
1	Wetterunabhängige Fertigung	Kompletter Planungsvorlauf inkl. Haustechnik vor Fertigung im Werk
2	Durchgängiges werkseitiges Qualitätsmanagement	Aufwändige Umsetzung von Planänderungen in der Ausführung
3	Kurze Montagezeiten/Bauzeitverkürzung	Erhöhter Lagerflächenbedarf im Werk
4	Geringer Arbeitskräftebedarf bei Montage vor Ort	Montageablaufplanung und Baustellenlogistik
5	Geringerer Bedarf an Fachkräften auf der	Straßentransport großformatiger Elemente

¹⁵⁴ Vgl. Keller oder Bodenplatte – nicht nur die Kosten sind entscheidend, [www.fertighausanbieter.at](https://www.fertighausanbieter.at/bodenplatte-oder-keller-kosten-vorteile-nachteile/), o.D., <https://www.fertighausanbieter.at/bodenplatte-oder-keller-kosten-vorteile-nachteile/>, (Aufgerufen am 18. 08. 2019)

¹⁵⁵ Ebd.

¹⁵⁶ Vgl. Palze, Ulrich / Barbara, Janorschke, / Matthias, Kott, / Ingrid, Lützkendorf/ Cornelia, Pritzel/ Birgit, Rebel / Kerstin, Schalling/ Volker, Stange: Einfluss von typisierten und vorgefertigten Bauteilen oder Bauteilgruppen auf die Kosten von Neubauten und Bestandsmodernisierungen, Forschungsauftrag, Weimar, Deutschland: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBR, 2015, .S. 2., www.irbnet.de, <https://www.irbnet.de/daten/baufo/20150156/Endbericht.pdf>, (Aufgerufen am 24. 08. 2019).

	Baustelle	
6	Saubere Baustellen (Ort der Endmontage)	Bei großem Wiederholungsfaktor Gefahr monotoner Erscheinungsbilder
7	Reduzierung Unfallrisiko auf Baustellen	Weitestgehendes Fehlen durchgängiger Datenmodelle von der Gebäudeplanung bis zur Produktion der vorgefertigten Konstruktion
8	Reduzierung Lärmemissionen auf Baustellen	
9	Verlagerung von Arbeiten auf der Baustelle in die Vorfertigung	
10	Hoher Auslegungsgrad Schalungen im Werk	
11	Einsatz effizienter Maschinenteknik	
12	Automatisierung der Fertigungsprozesse	
13	Reduzierung der Abfallproduktion im Werk durch Standardisierung	
14	Reduzierte Umweltbeeinträchtigungen bei Fertigung im Werk	
15	Reduzierte Umweltbeeinträchtigungen bei Montage vor Ort	
16	Senkung des Gesundheitsrisikos durch betrieblichen Arbeitsschutz	
17	Kurze Schalfristen, höhere Formenauslastung	
18	Mülltrennung im Werk durchführ- und kontrollierbar	
19	Reststoffvermeidung durch Vorkonfektionierung im Werk	
20	Erhöhte Mengenrabatte in Abhängigkeit des Umsatzes	
21	Kostenreduzierung durch Werkfertigung ab definierten Losgrößen	

5.1.3 Pacht eines Baugrunds

In der Regel gibt es drei Wege, um zu einem Grundstück zu gelangen:

- kaufen
- pachten
- mieten

Das Modell der Pacht eines Baugrunds ist vor allem für Bauherren attraktiv, welche zu Baubeginn nicht über die nötigen Mittel verfügen, um gleichzeitig ein Grundstück zu kaufen und die erforderlichen Baukosten für das Eigenheim aufzubringen.¹⁵⁸

Wenn ein Grundstück gepachtet wird bedeutet dies, dass man das Nießbrauchrecht erlangt. In diesem Nießbrauchrecht werden drei grundlegende Rechte eingeräumt:

- das Recht auf Nutzung
- das Recht auf Fruchtziehung
- das Recht auf Verfügung

Dem/der Pächter/Pächterin werden die ersten beiden Rechte übertragen und die Verfügung bleibt in den Händen der Eigentümer/innen. Die Bestellung von einem Nießbrauchrecht ist auch an diverse Formalitäten gebunden, die in Abschnitten des Bundesgesetzbuch verankert sind.¹⁵⁹

Es besteht das Recht auf einem Pachtgrund ein Gebäude zu errichten, jedoch verliert man nach Ablauf des Pachtvertrags alle Ansprüche auf das Gebäude. In Kombination eines flexiblen Modulhauses, welches auf einen neuen Baugrund gestellt werden kann, entsteht dadurch ein Synergieeffekt aus dem Konzept des Pacht-Baugrunds und dem Konzept eines mobilen Modulhauses. In der Regel wird nur auf Pachtgrundstücken gebaut, die eine lange Laufzeit haben. Da gesetzlich vorgesehen ist, dass der Pachtvertrag auf mindestens zehn und höchstens auf hundert Jahre

¹⁵⁷ Vgl. Palze et al., 2015, S. 38.

¹⁵⁸ Vgl. Was bedeutet es ein Grundstück zu pachten, [www.immodirekt.at, o.D., https://www.immodirekt.at/wissen/grundstueck-pachten.html](https://www.immodirekt.at/o.D./https://www.immodirekt.at/wissen/grundstueck-pachten.html), (Aufgerufen am 20. 08. 2019).

¹⁵⁹ Vgl. Was bedeutet Nießbrauchrecht?, [www.anwalt.org, o.D., https://www.anwalt.org/niesbrauch/](https://www.anwalt.org/o.D./https://www.anwalt.org/niesbrauch/), (Aufgerufen am 08. 08. 2019).

geschlossen werden darf beträgt die Pachtzeit meist 99 Jahre. Die Pacht kann auch von den Erben erneuert werden.¹⁶⁰

Grundstückseigentümer und Baurechtnehmer werden am Bezirksgericht im Grundbuch eingetragen. Das Baurecht kann sich nicht auf das gesamte Grundstück erstrecken und ist auf Teile dessen beschränkt.¹⁶¹

Der/die Pächter/Pächterin verpflichtet sich zu einer Zahlung eines monatlichen Bauzinses. Wird dieser zwei Jahre nicht bezahlt, darf der Verpächter das Pachtverhältnis auflösen. Nach Ablauf des Vertrags fällt das Gebäude zurück in den Besitz der Grundstückseigentümer/innen und diese haben (sofern nicht anders geregelt) eine Entschädigung in Höhe von 25% des Gebäudewerts zu entrichten.¹⁶²

Zusammenfassend werden in Tabellenform Vor- und Nachteile der Pacht eines Baugrunds geschildert.

Lfd. Nr.	Vorteile	Nachteile
1	Geringer Kostenaufwand im Vergleich zum Kauf	Monatliche Zinszahlungen
2	Keine Verpflichtung zur Instandhaltung des Grundstücks	Geringe Gestaltungsmöglichkeiten des Grundstücks
3	Recht auf Nießbrauch des Grundstücks	Nach Ende des Vertrags fällt das Haus dem Grundstückseigentümer zu
4	Zinslast durch Kredit entfällt	

¹⁶³

¹⁶⁰ Vgl. Was bedeutet es ein Grundstück zu pachten, www.immodirekt.at, o.D., https://www.immodirekt.at/wissen/grundstueck-pachten.html, (Aufgerufen am 20. 08. 2019).

¹⁶¹ Vgl. Was bedeutet es ein Grundstück zu pachten, www.immodirekt.at, o.D., https://www.immodirekt.at/wissen/grundstueck-pachten.html, (Aufgerufen am 20. 08. 2019).

¹⁶² Vgl. ebd.

¹⁶³ Vgl. ebd.

5.2 Berührungspunkte der Modulhäuser relevant für Lebenszyklus

5.2.1 Dachüberstand

Bei den meisten Standardhausvarianten der Modulhausfirmen ist kein Dachüberstand vorgesehen. Die Firma Schachner bietet ihre Häuser mit einem Meter Dachüberstand an.

Ausreichender Dachüberstand kann nicht nur das Haus vor Überhitzung durch Sommersonne schützen, sondern auch zum Schutz der Fassade beitragen. Witterungseinflüsse wie Regen, Hagel oder Taunässe werden durch ein überstehendes Dach effizient abgehalten. Veralgungsspuren oder andere degenerativen Einflüsse auf Fassaden können gemildert werden und eine erforderliche Sanierung der Fassade hinausgezögert werden. Oftmals erfordern Holzfassaden und Holzfensterrahmen bei Häusern mit ausreichendem Dachüberstand keine chemischen Holzschutzmittel.¹⁶⁴

Zudem kann ein Dachüberstand einen regenunabhängigen Außenraum für die Hausbewohner bereitstellen und somit mehr Lebensqualität schaffen.

Ein gelungenes Beispiel für ein Haus mit auskragendem Dach ist das Haus Gamerith vom österreichischen Architekten Ernst Anton Plischke. Es wurde 1933 bis 34 erbaut und die Fassade erst einmal saniert.¹⁶⁵

5.2.2 Nutzungsflexibilität

Nutzungsflexibilität ist der große Pluspunkt von Modulhäusern (auch wenn sie in der Praxis noch selten tatsächlich umgesetzt wurde). Nutzungsflexibilität und Lebenszykluskosten verbinden sich dadurch, dass sich Lebensumstände der Nutzer/innen über den Lebenszyklus hinweg verändern, und zwar durch familiäre, berufliche oder gesundheitliche Veränderungen (Kinder werden erwachsen, ziehen aus oder weitere Familienmitglieder kommen hinzu). Wenn ein Grundriss vielseitig

¹⁶⁴ Vgl. Dachkonstruktion Dachüberstand Bauen mit Vorsprung, www.dach.de, o.D., <http://www.dach.de/dach/dachkonstruktion/dachkonstruktion-ueberragender-witterungsschutz-01708/>, (Aufgerufen am 02. 09. 2019).

¹⁶⁵ Vgl. Haus Gamerith, www.atterwiki.at, 30.05.2019, https://www.atterwiki.at/index.php?title=Haus_Gamerith, (Aufgerufen am 02. 09. 2019).

genutzt werden oder Wohnraum unkompliziert erweitert oder reduziert werden kann, können verschiedenste Nutzungsmodelle realisiert werden.¹⁶⁶

Der notwendige Mehraufwand für die Planung generationengerechter oder leicht adaptierbarer Gebäude ist deutlich niedriger, als die Kosten für eine nachträgliche Anpassung (Adaptierung von Räumen, nachträglicher Einbau von zusätzlichen Sanitärräumen, Neuordnung der Eingangssituation etc.) und geringer als die Wertminderung bei Unmöglichkeit eines erforderlichen Umbaus.¹⁶⁷

5.2.3 Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF)

In der Regel wird von den Modulhausfirmen eine VHF mit Holzverschalung oder anderem Material angeboten. Diese Fassadenvariante hat einen positiven Einfluss auf die Lebensdauer und Instandhaltung der Gebäudehülle. In einer Studie der Wirtschaftskammer Österreich wurden im Jahr 2016 vier ausgewählte Fassadensysteme hinsichtlich ihres Lebenszyklus untersucht. Darunter waren:

- Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit EPS - Dämmung ohne Vordach
- Wärmedämmverbundsystem mit Mineralwolle - Dämmung
- Vorgehängte hinterlüftete Fassade mit Holzbekleidung
- Vorgehängte hinterlüftete Fassade mit Faserzement-Plattenbekleidung

Der Rohbau aller Varianten war ein innen verputztes, 25 cm dickes Hochlochziegel-Mauerwerk und die Dämmstoffdicken wurden für einen U-Wert von $0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgelegt. Der Betrachtungszeitraum aller Fassaden liegt bei 30 Jahren. Da Rohbau und Innenputz bei allen Wandaufbauten gleich sind, wurden diese nicht in die Berechnung miteingebunden. Die Kosten für die Fassade werden über einen 30 Jahre dauernden Kredit mit 3,5% Kreditzinsen gedeckt. Darüber hinaus wurden Kosten für Reinigung, Instandhaltung, Abbruch und Entsorgung recherchiert. Die Entwicklung der Kosten ist schwer vorhersehbar; vor allem im Bereich der Entsorgung können sich durch gesetzliche Rahmenbedingungen höhere Preise ergeben.

Unter den vier betrachteten Fassaden ist die VHF mit Holzverkleidung (splintholzfrees Lärchenholz) die einzige, welche in einem realistischen Nutzungszeitraum von 40 Jahren wartungsfrei ist, sofern unbehandeltes Holz

¹⁶⁶ Vgl. Ipser, Christina / Wolfgang, Stumpf / Gregor, Radinger / Helmut, Floegl: Lebenszykluskostenbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern, Krems, Österreich: Donau-Universität Krems, Department für Bauen und Umwelt, 2017, S. 51, <https://www.ecoplus.at/media/6260/handbuch-lebenszykluskostenbewusstes-planen-und-bauen.pdf>, (Aufgerufen am 13. 01. 2020).

¹⁶⁷ Ebd.

eingesetzt wird. Zudem unterscheidet sich das System einer VHF mit Holzverschalung von einem WDVS in herstellungstechnischer Hinsicht. Bei einer VHF werden hauptsächlich mechanische Verbindungsmittel eingesetzt (anstatt von Klebemittel wie beim WDVS). Aus diesem Grund ist eine sortenreine Trennung der einzelnen Materialien einfach möglich und wirkt sich positiv auf die Entsorgungskosten aus.

Die Ergebnisse der untersuchten Fassadensysteme zeigen deutlich, dass die Herstellungskosten einer VHF mit Faserzement die teuerste Variante ist. Gefolgt von der VHF mit Holzverschalung welche um ca. 30% günstiger ist. Das WDVS mit Mineralwolle befindet sich an dritter Stelle um fast 110% geringeren Preis und das WDVS mit EPS lässt sich mit den geringsten Herstellungskosten realisieren um fast 170% weniger als die VHF mit Faserzement.

Werden nun alle Fassadensystem über einen Zeitraum von 30 Jahren inklusive Nutzungskosten und Abbruch- bzw. Entsorgungskosten miteinander verglichen, dann fallen die Unterschiede zwischen den einzelnen Systemen deutlich geringer aus und die VHF mit Holzschalung erreicht den kostengünstigsten Platz. Es wurde angenommen, dass die Zugänglichkeit für die Reinigung einfach ist und keine zusätzlichen Kosten verursacht. Ausgehend von der umfassenderen Betrachtung des gesamten Lebenszyklus bleibt die VHF mit Faserzement die teuerste Variante, gefolgt vom WDVS mit Mineralwolle (ca. 7% weniger) und dem WDVS mit EPS Dämmung (um 9% weniger). Die VHF mit Holzschalung ist nach 30 Jahren die günstigste Variante (sie kostet um ca. 18% weniger als die VHF mit Faserzement).¹⁶⁸

5.3 Berührungspunkte der Modulhäuser relevant für Betriebskosten

5.3.1 A/V Verhältnis

Wenn es um den Energieverlust eines Hauses geht, ist die Gebäudeform ausschlaggebend. Die Transmissionsenergie, welche durch die Gebäudehülle (Boden, Wände, Fenster und Dach) verloren geht, soll minimal sein. Um das zu erreichen, sollte die Hüllfläche (energieübertragende Fläche) möglichst gering sein.

¹⁶⁸ Vgl. Hasler, Ewald / Alexander, Pongratz: Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung, Steiermark Österreich: WKO, 2016, S. 77 – 79. https://www.wko.at/branchen/stmk/gewerbe-handwerk/bau/Final_Studie-Fassadensysteme-im-Fokus-der-Lebenszyklusbet_2.pdf, (Aufgerufen am 23. 01. 2020).

Einen Richtwert dafür bietet das A/V Verhältnis, welches das Verhältnis von Oberfläche (A) zu Volumen (V) beschreibt.¹⁶⁹

In der Praxis sind daher lange und schmale Baukörper, Winkelbauten, Dachverschneidungen oder Vorsprünge, Geschossversätze und Fassadeneinschnitte ungünstig für das A/V Verhältnis, weil dadurch die Gebäudefläche erhöht wird. So besitzt ein Iglu beispielsweise die ideale Baukörperform hinsichtlich der Wärme übertragenden Außenflächen. Größere Gebäude (z.B. Mehrfamilienhäuser) haben gegenüber Einfamilienhäusern ein günstigeres A/V Verhältnis, da mehrere Wohneinheiten zu einem kompakten Baukörper zusammengefasst werden können. Eine kompakte Gebäudeform minimiert nicht nur Betriebskosten, sondern auch Baukosten und somit Investitionskosten. Jegliche Abweichung von einer kompakten Gebäudeform erhöht den Planungsaufwand und erzeugt Fehlerquellen (z.B. Wärmebrücken). Je stärker aber die Dämmung der Gebäudehülle ausgeführt wird, umso geringer wird der Einfluss des A/V Verhältnis für den Energiebedarf des Gebäudes.¹⁷⁰

Die meisten Modulhausanbieter bieten mit ihren Standardhausvarianten kompakte Gebäudeformen an.

5.3.2 Gebäudehülle

Die Modulhausanbieter bieten stark gedämmte Gebäudehüllen an. In Standardvorschlägen einiger Firmen sind U-Werte im Niedrigenergiehausniveau auszulesen.

Da der U-Wert der Gebäudehülle von den verwendeten Materialien und deren Dicke beeinflusst wird, stellt sich die Frage, in wieweit die höheren Investitionskosten den gesenkten Betriebskosten entgegenstehen. Zweifellos ist eine ausreichende gedämmte Gebäudehülle notwendig, sodass Heiztechnik verwendet werden kann, welche mit wenig Energie die Raumbehaglichkeit gewährleisten kann. Bewegt man sich in Bereichen zwischen Niedrigenergiehausstandard – Passivhausstandard oder sogar Richtung Nullenergiehausstandard, stehen die benötigten Dämmstärken meist in Konkurrenz zu den verursachten Investitionskosten.

Eine Kurzbeschreibung der Energiestandards:

¹⁶⁹ Vgl. Hegger, 2013. S. 119.

¹⁷⁰ Vgl. Glücklich, Detlef / Nicola, Fries / Stephanie, Luge/ Michael, Neuen / Martina, Neuhauser / Sina, Schreiber: Ökologisch Bauen Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten, München, Deutschland: Deutsche Verlags-Anstalt, 2005, S. 46.

- **Niedrigenergiehaus:** sind Gebäude mit einem Jahres Primärenergiebedarf zwischen 40 - 80 kWh/m². Mit der 2002 eingeführten Energiesparverordnung (EnEV) wurden Neubauten mit diesem Energiebedarf in Deutschland zum Standard.
- **Passivhaus:** hat einen Jahres-Primärenergiebedarf von maximal 40 kWh/m² und kommt in der Regel ohne Heizung aus. Dies wird durch zusätzliche Haustechnik erreicht, z. B. durch Wärmerückgewinnung aus der Abwärme von Personen oder den Einsatz von Solarthermie zur Wassererwärmung
- **Nullenergiehaus:** Hier wird der Energieverbrauch über die Jahresbilanz ausgeglichen. Die verbrauchte Energie zum Heizen, für Warmwasser und zum Leben wird über komplexe technische Systeme zurückgewonnen (z.B. Photovoltaik) und vergütet.
- **Plusenergiehaus:** ähnlich wie Nullenergiehäuser, nur mit dem Unterschied, dass sie im Jahresdurchschnitt mehr Energie liefern, als die Bewohner in der Jahresbilanz verbrauchen.¹⁷¹

Die Frage nach dem erforderlichen Energiestandard muss vom jeweiligen Objekt und vom Nutzungsverhalten der zukünftigen Bewohner abhängig gemacht werden. Faktoren wie Standort, mögliche Heiztechnik, zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Investitionskapital spielen dabei eine Rolle.

5.3.3 Passive solare Gewinnen

Viele der befragten Modulhausanbieter zeigten Grundrisse mit einer großzügigen, nach Süden ausgerichteten Fensterwand. Ähnlich wie bei einem Wintergarten kann dieses architektonische Mittel genutzt werden, um Heizkosten zu reduzieren. Bei der passiven Solarenergienutzung wird durch rein architektonische Maßnahmen die Sonne als Licht- und Wärmequelle ohne technische Hilfsmittel genutzt. Da es in Mitteleuropa im Winter 300 - 500 und im Sommer 1000 bis 1400 Sonnenstunden gibt, ist dieses Prinzip besonders in den Übergangsjahreszeiten am wirkungsvollsten. Man kann dadurch Heizperioden deutlich verkürzen und die notwendige Heizenergie in den Wintermonaten verringern. Dazu muss man aber den Sonnenverlauf am

¹⁷¹ Vgl. Wärmedämmung, www.sto.de, o.D., https://www.sto.de/de/bauherren_de/fassade_3/waermedaemmung/niedrigenergiehaus_passivhaus_nullenergiehaus_plusenergiehaus.html, (Aufgerufen am 08. 09. 2019).

jeweiligen Standort kennen und geeignete transparenten Bauteile (Fensterfronten) wählen.

Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei den eingebauten Fenstern. Wie alle opaken Bauteile eines Hauses haben auch Fenster einen U-Wert, der jedoch wesentlich höher ist, sodass Fenster im Allgemeinen schlechtere Dämmeigenschaften aufweisen als übliche Wandaufbauten. Begründet liegt das an der Wärmeleitfähigkeit von Glas und am Aufbau eines Fensters. Da ein Fenster aber auch Energie durchlässt, gewinnt eine zweite Kennzahl, der sogenannten Energiedurchlassungs-grad (g) an Bedeutung. Je besser die Wärmedämmeigenschaften (niedriger U-Wert) eines Fensters sind, umso schlechter ist der Energiedurchlassungsgrad (niedriger g Wert). Es ist also wichtig, hier ein ausgewogenes Verhältnis zu finden. Alle befragten Modulhaushersteller bieten (wie es heute für mitteleuropäische Gebäude Standard ist) dreifach Isolierverglasung an ($U < 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $g = 0,75$)¹⁷²

Es ist stets darauf zu achten, dass großzügig ausgeführte Fensterflächen nicht zu einer sommerlichen Überhitzung führen. Im Vorfeld sollte der Sommer- und Wintersonnenstand eruiert werden, damit die steil eintreffende Sommersonne abgehalten werden und die flach eintreffenden Sonnenstrahlen der tief stehenden Wintersonne ungehindert in das Rauminnere gelangen können.

Zwei Beispiele aus der österreichischen Einfamilienhaus- Architektur sind das Haus Gamerith vom österreichischen Architekten Ernst Anton Plischke und das Haus Magerl von Diendl & Steixner, Standard Solar 1, Langenrohr NÖ.

Das Haus Gamerith hat ein durchgezogenes Fensterband an der Südseite des Gebäudes und nahm damit das beschriebene System der passiven solaren Gewinne schon 1933 auf.¹⁷³

Ungefähr 56 Jahre später haben unter anderem die Architekten Diendl & Steixner dieses Prinzip aufgegriffen und verfeinert. Ähnlich wie beim Haus Gamerith besteht die Südwand des Gebäudes fast ausschließlich aus Glas. Der Unterschied zum Haus Gamerith besteht hier in der zusätzlichen Sonnenfalle im Norden des Hauses. Die Sonnenfalle besteht aus nach Süden gerichteten schräg angeordneten Fenster am Dach, einer massiven mit Basalt belegten Wand und einem massiven Steinboden (Speichermasse). Die Sonnenstrahlen, die durch diese Dachfenster scheinen, treffen

¹⁷² Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 58 – 60.

¹⁷³ Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 58 – 60.

auf die massiven Bauteile, welche die Wärme speichern und dadurch Wärmeenergie in Kälteperioden verschieben. Zusätzlich liegt unterhalb der Speicherwand ein 70 m³ großer Wassertank der ebenfalls als aktive Speichermasse fungiert.¹⁷⁴

*Der solare Energieeintrag wird dadurch – im Vergleich zu anderen Konzepten, bei denen ein sogenannter Wintergarten an der Südseite des Gebäudes vorgeschaltet wird – nahezu verdoppelt!... Große Glaswände, vorrangig süd- und ostseitig, bewirken im Zusammenspiel mit der Trägheit des Massivspeichers eine Verkürzung der Heizperiode um bis zur Hälfte. Hochwertiges Wärmeschutzglas und eine gute Außendämmung der Speichermasse und Dächer sorgen für einen niedrigen Energieverbrauch. Die Masse wirkt auch im Sommer klimaregulierend. Konkret eingesetzte Lüftungsklappen und ein innenliegender Sonnenschutz, sowie das freistehende Dach über der Hülle, sorgen hier für ein behagliches Raumklima.*¹⁷⁵

6 Konklusio

6.1 Modulhaus und Suffizienz

Der zweite Teil der Fragestellung beschäftigt sich mit der praktischen Anwendung des Suffizienzgedanken, da er in dieser Arbeit als Einflussfaktor zur Reduzierung von Wohnkosten gesehen wird.

Unterstützen Modulhaussysteme die praktische Umsetzung dieser nachhaltigen Handlungsstrategie?

6.1.1 Suffizienz durch Flexibilität

Die praktische Anwendung des Suffizienzgedanken steht in Bezug zur flexiblen Erweiterung und Reduktion des Wohnhauses und den damit verbunden Kosten. Nach der Befragung der Modulhaushersteller wurde deutlich, dass es nicht zwingend notwendig ist ein Modulhaus zu bauen, nur weil es erweiterbar und reduzierbar sein soll. Wie man am Beispiel der Firma „Holzwohnbau Luef“ sieht, ist es mit Vorausplanung auch im konventionellen Wohnhausbau möglich eine Erweiterung und oder Reduzierung unkompliziert zu realisieren. Durch die Befragung wurde deutlich, dass auch die Modulhausfirmen empfehlen, eine Erweiterung im Voraus zu planen, um Kosten zu begrenzen. Hinzu kommt, dass die Firmen praktisch noch keine

¹⁷⁴ Vgl. Zschokke, Walter: Architektur in Niederösterreich 1986 – 1997, Basel - Bosten - Berlin: Birkhäuser, 1997. S. 112 – 113.

¹⁷⁵ Gerhard Steixner, www.steixner.com, o.D., <http://www.steixner.com/frameset.htm>, (Aufgerufen am 06. 03. 2019).

Erfahrungen mit einer Erweiterung und/oder Reduzierung ihrer Bauobjekte sammeln konnten und daher nur wenig konkrete Aussagen darüber vorliegen. Alle der befragten Firmen arbeiten erst seit wenigen Jahren (ca. 2016) im Bereich des ökologischen Modulhausbaus. Laut der Firma MeinKubus, die seit 2005 mit Modulhäuser (ohne ökologischen Anspruch) in dieser Branche vertreten ist, haben 99% ihrer Kunden ihre Modulhäuser nicht erweitern oder übersiedelt, sondern verkauft und anderorts neu gebaut. Da die Erfahrungswerte in Bezug auf Erweiterung und Reduzierung so gering sind, sind auch Aussagen über deren Kosten sehr ungenau. Die Kosten wurden von den Firmen nur geschätzt und lagen bei einem Quadratmeterpreis von ca. 2.500 - 3.500 € (brutto)/m² WNF.

Um sich ein Bild von der Finanzbelastung zu machen, wird im Folgenden eine vereinfachte Kreditrechnung gezeigt. Verglichen werden die Kreditbelastungen zweier Modulhäuser. Haus 1 ist ca. 75 m² groß und wird nach 10 Jahren auf ca. 100 m² erweitert. Haus 2 wird sofort mit ca. 100 m² errichtet. Beide sollen in diesem Beispiel komplett mit einem Kredit finanziert werden.

Um herauszufinden, ob sich die Kreditkosten unterscheiden, wenn ein Kredit aufgeteilt wird, wird angenommen, dass beide Modulhäuser am Ende gleich viel kosten. Als Referenz für Haus 1 wird das Modulhaus „Home“ von MeinKubus mit 73,9 m² WNF um **191.000 €** bzw. **2.600 €/m² WNF** gewählt.¹⁷⁶ Die Kosten für die spätere Erweiterung um 25 m² werden auf **2.900 €/m² WNF** geschätzt und ergeben daher in Summe **72.500 €**. Der Gesamtpreis für Haus 1 beträgt also am Ende **263.500 €**. Für das Modulhaus, das sofort mit 100 m² WNF errichtet werden soll, wird der gleiche Gesamtpreis angenommen, wodurch sich ein realistischer Quadratmeterpreis von **2.650 €/m² WNF** ergibt.

Beispielrechnung: MeinKubus, „Home“ 73,9 m² WNF, um **191.000 €** (brutto), ca. **2.600 €** (brutto)/m² WNF.

Kredit: 191.000 €, Laufzeit 240 Monate (20 Jahre), mit einem angenommenen Jahreszinssatz von 2% fix, ergibt eine monatliche Rate von **968,88 €** und eine Gesamttrückzahlung von **232.531,20 €**, ergeben **41.531 €** Kreditkosten.¹⁷⁷

Nach 10 Jahren wird eine Erweiterung des Modulhauses um 25 m² angenommen. Mit angenommen Kosten von **2.900 €** (brutto)/m² WNF, bzw. **72 500 €**.

¹⁷⁶ Siehe S. 57.

¹⁷⁷ Kreditrechner, www.bankaustria.at, o.D.,

<https://www.bankaustria.at/privatkunden-finanzierungen-und-kredite-wohnkredit.jsp>, (Aufgerufen am 18. 01. 2020).

Kredit: 72.500 €, Laufzeit 120 Monate (10 Jahre), mit einem angenommenen Jahreszinssatz von 2% fix, ergibt eine monatliche Rate von **668,04 €** und eine Gesamtrückzahlung von **80.164,80 €**, ergeben **7.664,8 €** Kreditkosten.¹⁷⁸

Diese Kreditfinanzierungen zusammengezählt ergibt eine Gesamtrückzahlung von **312.696 €**. mit einer monatlichen Rückzahlungsrate in den ersten 10 Jahren von **968,88 €** und in den weiteren 10 Jahren **1.636,92 €**. Die addierten Kreditkosten der beiden Kredite ergeben **49.195 €**.

Vergleicht man diese geteilte Kreditrechnung mit einem aufgenommenen Kredit von **263.000 €**, um mit diesem Geld gleich ein Modulhaus um ca. 100 m² WNF zu errichten, ergibt sich folgendes:

Kredit: 263.000 €, Laufzeit 240 Monate (20 Jahre), mit einem Jahreszinssatz von 2% fix, ergibt eine monatliche Rate von **1.334,11 €**, und eine Gesamtrückzahlung von **320.186,40 €** ergeben **57.186,4 €** Kreditkosten¹⁷⁹

Das Ergebnis dieser Rechnung „Fall 1“) ist: Die Kreditkosten bei der Variante einer Erweiterung um 25 m² nach 10 Jahren sind (über eine Laufzeit von 20 Jahren gesehen) um **7.991,4 €** geringer.

Die Motivation in der Größe zu Bauen wie sie gerade benötigt wird, kann also durch verschobene Kreditzeiten geringfügig gefördert werden.

6.2 Erkenntnisse

6.2.1 Vorgehensweise im Wohnbau

Im Laufe dieser Arbeit wurden Informationen gesammelt und erarbeitet, die einen nachhaltigen Wohn- bzw. Einfamilienhausbau ermöglichen sollen. Aufgrund dieser Informationen lässt sich eine Entscheidungsstruktur festlegen, die eine Umsetzung eines nachhaltigen Wohnbaus erleichtern soll. Sie kann auch als Muster für eine vertiefende Informationsbeschaffung dienen. Diese Struktur basiert auf dem momentanen Erkenntnisstand dieser Arbeit und besitzt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

¹⁷⁸ Kreditrechner, www.bankaustria.at, o.D.,

<https://www.bankaustria.at/privatkunden-finanzierungen-und-kredite-wohnkredit.jsp>, (Aufgerufen am 18. 01. 2020)

¹⁷⁹ Kreditrechner, www.bankaustria.at, o.D.,

<https://www.bankaustria.at/privatkunden-finanzierungen-und-kredite-wohnkredit.jsp>, (Aufgerufen am 18. 01. 2020).

Sanierungsobjekt vor Neubau

Um der zunehmenden Grünflächenversiegelung entgegen zu wirken, ist im Sinne der Nachhaltigkeit zuerst zu prüfen, ob bestehende Gebäude wirtschaftlich saniert werden können. Nur wenn diese Frage eindeutig mit nein zu beantworten ist sollte ein Neubauobjekt angedacht wird.¹⁸⁰

Verdichteter Wohnbau, Mehrfamilienhaus, statt Einfamilienhaus

Im Falle eines Neubaus ist im Sinne der Nachhaltigkeit zu überlegen, ob Mehrfamilienhäuser einem Einfamilienhaus vorgezogen werden können. Der verdichtete Wohnbau ist in Bezug auf Platzangebot und Grünflächenversiegelung eine ökologischere Variante des Wohnungsbaus.¹⁸¹

Standort und Orientierung

Die Bedingungen des jeweiligen Standortes sind zu prüfen. Dabei sind Jahrestemperaturen, Sonneneinstrahlung bzw. Winter und Sommersonnenstunden, Windrichtung und Windgeschwindigkeiten und relative Luftfeuchtigkeit von Bedeutung.¹⁸²

Baukörper, Gebäudehülle, Raumzonierung

Ein vorteilhafter Baukörper bezieht sich auf das bereits beschriebene A/V Verhältnis (Oberfläche/Volumen). Der Heizwärmebedarf sinkt, wenn die Außenwandfläche im Verhältnis zum brutto Gebäudevolumen gering ist.¹⁸³

Die Ausführung der Gebäudehülle ist ausschlaggebend für den Energieaufwand während der Nutzung des Gebäudes. Dabei spielen unter anderem Fenster, Gebäudedämmung und Dachüberstand eine wichtige Rolle.¹⁸⁴

¹⁸⁰ Vgl. Hegger et al., 2013, S. 138.

¹⁸¹ Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 166.

¹⁸² Vgl. Hegger, Manfred / Jost Hartwig / Michael Keller: Wärmen und Kühlen: Energiekonzepte, Prinzipien, Anlagen, Basel, Deutschland: Birkhäuser, 2012, S. 68.

¹⁸³ Vgl. Hasler / Pongratz, 2016, S. 77 – 79.

¹⁸⁴ Vgl. Hausladen, Gerhard / Michael, Saldanha / Petra, Liedl / Hermann, Kaufmann: KlimaSkin: Konzepte für Gebäudehüllen, die mit weniger Energie mehr leisten, München, Deutschland: Callwey, 2006, S 40.

Raumzonierung beschreibt die Positionierung von Räumen mit unterschiedlichen Anforderungen im Grundriss. Wenig genutzte Räume können beispielsweise auf der kälteren Nordseite angesiedelt werden.¹⁸⁵

Passive Maßnahmen zur Wärmegewinnung, Kühlung und Raumbelichtung

Gegen Süden gerichtete Fenster können passiven Wärmeertrag liefern. Eine massive Bauweise (z.B. aus Ziegel oder Beton) macht das Gebäude träge gegen Temperaturschwankungen. Massive Bauteile besitzen hohe Speichermassen und diese wirken ausgleichend auf Temperaturspitzen. Natürliche Lüftung, Beschattung, Erdkühlung und Luftentfeuchtung sind weitere passive Kühlmaßnahmen.¹⁸⁶

Haustechnik

Der letzte Schritt bezieht sich auf den Einsatz energiebetriebener Gebäudetechnik. Eine große Auswahl an unterschiedlichen Umsetzungen ist in diesem Bereich möglich. Je geringer der Aufwand an Haustechnik ausfällt, umso erfolgreicher wurden die Schritte davor gestaltet.¹⁸⁷

Konkrete konstruktive Entscheidungen

Die Informationen des vorigen Kapitels bzw. jene aus dem Kapitel „Bauliche Entscheidungen“ führen zu den konstruktiven Maßnahmen für einen Wohnhausbau. Das erarbeitete Wissen soll nun anhand konkreter, konstruktiver Entscheidungen beschrieben werden. Ungeachtet der örtlichen Bauvorschriften, der möglichen Kosten und der Umsetzbarkeit im Detail soll dieses Kapitel zur Reflexion und Weitergabe der gemachten Erkenntnisse dienen und stellt persönliche Präferenzen dar. Die folgenden beschriebenen konstruktiven Entscheidungen gehen von einem Neubauprojekt aus.

Orientierung und Passive Erwärmung bzw. Kühlung:

Ein wichtiger Faktor bei der Orientierung des Wohngebäudes ist die Gewinnung von Wärme durch nach Süden gerichtete Fensterflächen. Eine Abweichung der

¹⁸⁵ Vgl. Hegger et al., 2012, S. 70.

¹⁸⁶ Vgl. ebd., S. 74

¹⁸⁷ Vgl. Norbert Lechner: Heating, cooling, lightning: sustainable design methods for architects, 3. Auflage, Hoboken, Amerika: John Wiley & Sons, 2009, S. 7.

Ausrichtung um ca. 30° ist vernachlässigbar für solare Gewinne. In der Regel ist eine Südwestausrichtung dem menschlichen Lebensrhythmus günstig angepasst.¹⁸⁸ Durch eine große, nach Süden ausgerichtete Fensterwand soll passive solare Wärme gewonnen werden.

Sinnvoll ist Flora und Fauna der Umgebung in der Gebäudeorientierung einzubinden. Grünflächen und Baumstrukturen können die Luftqualität positiv beeinflussen und durch Wasserverdunstung in den heißen Jahresmonaten kühlend wirken. Beschattungsmöglichkeiten können im Sommer positive Auswirkungen haben, es sollte aber darauf geachtet werden, dass passive Wärmegewinne in den kalten Jahresmonaten nicht verloren gehen.¹⁸⁹ Neben einem ausreichend konstruierten Dachüberstand sollen Bäume für sommerliche Beschattung sorgen.

Baukörper, Gebäudehülle, Raumzonierung

Ein kompakter Baukörper hat weniger Kontaktflächen zum unbeheizten Außenraum. Je geringer diese Kontaktflächen sind, desto positiver wirkt sich dies auf die Energieverluste des Gebäudes aus (A/V Verhältnis) aus.¹⁹⁰ Sinnvoll ist ein einfacher, quadratischer Baukörper ohne zusätzliche Verwinkelungen. Zusätzliche Gebäudeteile sollten als geschützte Außenbereiche, die von der gedämmten Gebäudehülle abgetrennt sind, ausgeführt werden (z.B. Wintergarten). Darüber hinaus würde ein Zwei- oder Mehrfamilienhaus Kontaktflächen zur unbeheizten Außenluft vermindern. Mehrere Wohneinheiten, die wiederum zu einem kompakten Baukörper zusammengefasst werden, wirken sich also positiv auf deren Energieverluste aus.¹⁹¹ Der Baukörper sollte ein überstehendes Dach aufweisen, welches ausreichenden Witterungs- und Sonnenschutz der Außenbereiche gewährleistet.

Die Gebäudehülle sollte gute Dämmeigenschaften aufweisen. Dabei ist auf den Wärmedurchgangwert (U - Wert) zu achten. Mithilfen von Bau und Dämmmaterialien aus nachwachsenden oder recycelten Rohstoffen (z.B. Holz, Stroh, Hanf, Zellulose) sollte ein U - Wert von ca. 0,14 W/(m²k) für die Außenwand erreicht werden. Die Untergrenze für Dach und Bodenbauteile sollte bei einem U-Wert von 0,17 W/(m²k)

¹⁸⁸ Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 61.

¹⁸⁹ Vgl. ebd., S. 115.

¹⁹⁰ Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 46.

¹⁹¹ Vgl. Hegger et al., 2013, S. 120.

liegen. Zur besseren Entsorgung und Wiederverwendbarkeit ist bei deren Aufbau auf einfache, leicht trennbare Verbindungen zu achten.¹⁹²

Der Wand- und Dachaufbau des Baukörpers sollte diffusionsoffen ausgeführt werden, um das Risiko für Wasserdampfkondensation im Innenraum (Gefahr der Schimmelbildung) zu vermeiden. Hierzu ist eine Fassadenausführung mit ausreichender Hinterlüftungsebene von Vorteil (bei Außenwänden ca. 4 – 5 cm und bei Dachkonstruktion ca. 7 – 12 cm).¹⁹³

Anzudenken ist eine Thermische Raumzonierung. Dabei ist ein Raumkern zu definieren, der die wärmste Zone darstellt. Dieser beinhaltet den Sanitärbereich und schneidet Küchen- und Wohnraum an. Er beinhaltet die Gebäudetechnik (heizen und kühlen) und ist so weit wie möglich von der Außenfassade entfernt. Die zweite Zone ist die eigentliche thermische Hülle des Hauses und umschließt den gesamten Wohnbereich. Die dritte und letzte Zone stellt einen geschützten Außenbereich dar, der je nach Bedarf geöffnet oder geschlossen werden kann. In den Wintermonaten soll er als Wintergarten und in den Sommermonaten als überdachter Außenbereich dienen.¹⁹⁴

Die dritte Zone sollte einen weiten Dachvorsprung aufweisen. Der darunter entstehende Raum kann durch verschiebbare Fenstertüren geöffnet oder geschlossen werden.¹⁹⁵

Der Baukörper sollte Speichermassen im Inneren aufweisen (eventuell kombiniert mit dem Gebäudekern). Diese erhöhen die Trägheit des Gebäudes und können Sonnenwärme in kalte Nachtstunden oder umgekehrt Kühle aus den Abendstunden in die Tageshitze verschieben. Dazu werden hauptsächlich massive Baumaterialien wie Beton¹⁹⁶, Basalt oder auch Wasserspeicher verwendet.¹⁹⁷ Entscheidendes Kriterium für die verwendeten Materialien ist deren Dichte und Wärmeleitfähigkeit.¹⁹⁸ Eine weitere Möglichkeit sind sogenannte Phase Change Materials (PCM). Das sind Materialien, die ihren Aggregatzustand bei Temperaturveränderungen wechseln. Bei diesem Wechsel des Aggregatzustands nehmen sie Energie (in Form von Wärme) auf

¹⁹² Vgl. Hegger et al., 2013, S. 145 - 149.

¹⁹³ Vgl. siehe S. 81, 83.

¹⁹⁴ Vgl. ebd., S. 126.

¹⁹⁵ Vgl. Frey, 2010, S. 34 – 35.

¹⁹⁶ Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 60.

¹⁹⁷ siehe S. 88.

¹⁹⁸ Vgl. Glücklich et al., 2005, S. 60.

oder geben sie ab. Die Speichermasse ist in diesem Fall nicht von der Dichte abhängig, sondern von der chemischen Reaktion des Materials¹⁹⁹

Nacht- Querlüftung

Um der Überhitzungsgefahr in den heißen Jahreszeiten entgegenzuwirken sind Fenster im Grundriss gegenüberliegend anzuordnen. So können bei Nachtlüftung heiße Bauteile oder Speichermassen auskühlen und ausgleichend über den warmen Tagesverlauf wirken.

Kellerlos

Das Wohnhaus soll aus Kosteneinsparungsgründen und Ökologieansprüchen auf einen Keller verzichten. Kostspielige Erdarbeiten und zusätzliche Baumaterialien können dadurch vermieden werden. Die meist unökologische Perimeterdämmung und Betonarbeiten gegen das Erdreich fallen dadurch ebenfalls weg.

Haustechnik

Präferenzen bei der Haustechnik konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht erarbeitet werden. Grundsätzlich gilt, je unkomplizierter sie ausfällt, desto geringer ist der Wartungsbedarf. Neben der aktiven Nutzung von solarer Energie, können Kraft-Wärme-Kopplungssysteme (KWK) ein Lösungsansatz sein. Dabei handelt es sich um eine Synergietechnologie die sowohl Wärme als auch Strom erzeugen.²⁰⁰

6.2.2 Momentaner Forschungsstand und weitere Aussichten

Nachhaltige bauliche Maßnahmen, welche einen positiven Effekt auf Kosten (in den Bereichen Investition-, Nutzungskosten und Lebenszyklus) haben, sind bereits am Markt etabliert. Der Suffizienzgedanke ist eine persönliche Entscheidung und ist vom Einzelnen Menschen umzusetzen. Er wird durch den Modulhausbau nicht wirklich attraktiver. Die in Erfahrung gebrachten Kosten für die baulichen Maßnahmen bzw. untersuchte Modulhäuser sind üblich im Einfamilienhausbau. Es wurden keine Maßnahmen gefunden, die Kosten in einem höheren Maß positiv beeinflussen. Das Forschungsfeld der baulichen Maßnahmen im Bereich des Modulhausbau kann als

¹⁹⁹ Vgl. Hegger et al., 2013, S. 158.

²⁰⁰ Vgl. Lenz, Bernhard / Jürgen, Schreiber / Thomas, Stark: Nachhaltige Gebäudetechnik, Grundlagen, Systeme, Konzepte, München, Deutschland: Detail Green Books, 2010, S. .

Suffizienzmotivation also nicht wirklich dienen bzw. muss als unzureichend bewertet werden.

Mit dieser Erkenntnis würde diese Arbeit ihr bisheriges Forschungsfeld abschließen und zugleich ein neues Forschungsfeld eröffnen. Neue Ansätze könnten sich mit alternativen Finanzierungsmodellen für Wohnhausbauten beschäftigen und der Frage nachgehen, welches Potential nicht profitorientierte Finanzierungsmodelle haben, um Kosten im Wohnhausbau zu reduzieren?

7 Glossar

Bauseits (Kosten)

Werden in einem Angebot einer Firma bauseitig zu erbringende Leistungen beschrieben, so sind damit Leistungen gemeint, nicht von der Firma erbracht werden. Sie müssen von einer anderen Firma oder vom Bauherrn selbst erbracht werden. Diese Leistungen können z.B. Erdarbeiten, Entsorgung und Lagerung von Baumaterialien, Erschließung des Baugrundstücks, Hausanschlüsse, Latrinen u.v.m. sein²⁰¹

Bauweisen

Unter diesem Begriff versteht man unterschiedliche Konstruktionsarten von Bauwerken. Es wird unterschieden zwischen massiven und stabförmigen Konstruktionen. Mauerwerks- und der Betonbau zählen sich zu den massiven, wohingegen Stahlskelett- und der Holzfachwerkbau zu den stabförmigen Konstruktionen gehören. Bauwerke werden aus linearen, flächigen oder räumlichen Elementen zusammengesetzt. Daraus ergeben sich die drei typischen Bauweisen: Skelett-, Paneel- und Raumzellenbau. Bei der praktischen Anwendung werden diese oft kombiniert²⁰²

²⁰¹ Vgl. Was bedeutet „bauseits“?, www.toptarif.de, o.D., <https://www.toptarif.de/wissen/wohnen/was-bedeutet-bauseits/>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²⁰² Vgl. Staib et al., 2008 S. 41 - 42.

Dachformen

Grundsätzlich werden zwei Formen von Dächern unterschieden. Das Flachdach und das geneigte Dach. Diese werden aufgrund ihrer jeweiligen Neigung unterschieden.²⁰³

Flachdach:

Ein Flachdach ist eine Dachform, die sich mit einer einzigen Dachfläche zeigt, die nicht oder nur gering geneigt ist. Die Obergrenze für die Neigung ist allerdings unterschiedlich festgelegt, landläufig gelten hierzulande 20 Grad maximaler Neigungswinkel als üblich für ein Flachdach, erst darüber spricht man von einem Steildach. In der Giebelansicht sieht man eine Kante oder eben ein Pult.²⁰⁴

Pulldach:

Ein Pulldach ist quasi ein meist gering geneigtes Flachdach. Es hat wie dieses nur eine einzige Dachfläche, die sich zwischen zwei unterschiedlich hoch endenden Wänden (Front- und Rückseite) neigt. Die hohe Seite dieser Dachform bildet den Dachfirst, die untere die Dachtraufe. Konstruktiv steckt darunter meist ein einseitig geneigtes Sparrendach. Die Giebelansicht ist ein Pult. Bei modernen Bauten sind auch Dachformen wie versetzte oder doppelte Pulte im Einsatz.²⁰⁵

Giebeldach oder Satteldach:

Das Giebel- oder Satteldach ist die in unseren Breitengraden gängigste Dachform. Es besitzt zwei entgegen gesetzt geneigte Dachflächen. Die treffen am Dachfirst, der höchsten waagrechten Kante, zusammen. Konstruktiv steckt darunter ein Sparren- oder Pfettendach. Die Dachform erlaubt unterschiedliche Neigungswinkel für die Dachflächen (häufig Neigungswinkel zwischen 38 bis 45 Grad) und unterschiedliche Traufhöhen. Im Giebelblick ergibt sich ein umgekehrtes V.²⁰⁶

Dachkonstruktionen

Anders als bei den Dachformen bezieht sich diese Rubrik auf das Traggerüst bzw. Funktion eines Daches. Zusammen mit der Dachdeckung ergibt sich das eigentliche Dach. Im Zusammenhang mit den genannten Begriffen in dieser Arbeit sind zwei Unterbegriffe wichtig.

²⁰³ Vgl. Dachformen im Überblick, www.energie-experten.org, 23. 03. 2016,

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/dach/dachformen.html>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²⁰⁴ Ebd.

²⁰⁵ Vgl. Dachformen, im Überblick, www.energie-experten.org, 23.03.2016,

<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/dach/dachformen.html>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²⁰⁶ Ebd.

Kaltdach:

Besteht aus einer zweischaligen Dachkonstruktion, die von einer Luftschicht getrennt ist. Es ist von Bedeutung, dass diese Luftschicht mit der Außenluft in Verbindung steht und somit die Be- und Entlüftungsfunktion zwischen Dachhaut und Wärmedämmung gewährleistet ist.²⁰⁷

Einerseits soll diese Konstruktion ermöglichen, dass sich die oberste Dachsicht weniger erhitzt, andererseits kann Luftfeuchtigkeit, welche aus dem Haus nach oben entweicht, über die Belüftungsebene abtransportiert werden. Daraus ergibt sich, dass die Wärmedämmung raumseitig nicht zwingend mit einer Dampfsperre geschützt werden muss. Wichtig ist, dass auf eine ausreichend große Belüftungsebene geachtet wird.²⁰⁸

Warmdach:

Im Gegensatz zu einem Kaltdach spricht man von einem Warmdach, wenn die Dachhaut direkt an die Wärmedämmung anschließt und keine Entlüftung besitzt.²⁰⁹

Diffusionsoffen

Ist eine Beschreibung für Gebäude und Bauteile, die Wasserdampf aufnehmen und wieder abgeben können. Je dichter und kälter ein Baustoff ist desto eher schlägt sich Wasserdampf als Kondenswasser ab. Das kann zu Schimmelbildung oder anderen Schäden führen. In der Regel spricht man von einem Widerstand, den Bauteile dem Wasserdampf entgegenstellen; dieser wird mit der Dampfdiffusions-Widerstandszahl μ beschrieben. Durch unterschiedliche Aktivitäten wie kochen, duschen oder schwitzen erhöht sich der Wasserdampf in der Raumluft und damit der Dampfdruck. Auch im Freien gibt es einen gewissen Dampfdruck, allerdings unterscheidet sich dieser von dem des Innenraums, wobei sich ein Dampfdruckgefälle von innen nach außen ergibt (Dampfdruck entweicht auf die druckärmere Seite des Bauteils, die sich immer außen befindet). Diese Ausgleichsströmung nennt man Diffusion.²¹⁰

²⁰⁷ Vgl. Kaltdach, Aufbau und Funktion, www.dachdecker-spengler.com, o.D., <https://www.dachdecker-spengler.com/angebote-produkte/dachdeckerei/kaltdach/>, (Aufgerufen am 15.08. 2019).

²⁰⁸ Vgl. Ebd.

²⁰⁹ Vgl. Kaltdach, Aufbau und Funktion, www.dachdecker-spengler.com, o.D., <https://www.dachdecker-spengler.com/angebote-produkte/dachdeckerei/kaltdach/>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²¹⁰ Vgl. Laura Pomer: Diffusionsoffen bauen?, www.houzz.de, 10. 10. 2018, <https://www.houzz.de/magazin/das-bedeutet-diffusionsoffen-setativ-vs-114809364>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

Einreichplanung

Diese Phase folgt nach der Entwurfsphase und ist notwendig für die Baubewilligung. Auf Basis des Entwurfs werden Zeichnungen, Dokumente und Koordination der Einreichung selbst, für die Behörde aufbereitet. In der Regel ist dies Aufgabe des planenden Architekten. Der Einreichplan ist im Maßstab 1:100 zu halten.²¹¹

Unter anderem müssen folgende Unterlagen vorliegen:

- Bauansuchen
- Baupläne für das Bauverfahren (in dreifacher Ausführung)
- Grundbuchzustimmung
- Aktuelle Grundbuchabschrift
- Energieausweis (Nachweis über Wärme- und Schallschutz)
- Nachweis über Stellplatzverpflichtung
- Berechnung der Anliegerleistung
- Gestaltungskonzept für Gärten und Außenanlagen
- Kanalanschlussbescheid
- Statische Vorbemessung²¹²

Entwurfsphase

In dieser Phase werden Vorstellungen und gegebenenfalls Vorentwürfe des Bauherrn/frau ausgearbeitet. Sie findet vor der Einreichplanung statt und beinhaltet Darstellungen (Grundrisse, Ansichten, Schnitte) im Maßstab von 1:100 und eine Objektbeschreibung.

Ein weiterer Teil der Entwurfsphase ist die Kostenberechnung. Sie dient als Entscheidungsgrundlage und Kostenkontrolle für folgende Projektphasen.²¹³

²¹¹ Vgl. Einreichpläne - Alles zu den vorgeschriebenen Inhalten, www.wohnet.at, o.D., <https://www.wohnet.at/bauen/bauvorbereitung/einreichplaene-19715>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²¹² Vgl. Einreichpläne - Alles zu den vorgeschriebenen Inhalten, www.wohnet.at, o.D., <https://www.wohnet.at/bauen/bauvorbereitung/einreichplaene-19715>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²¹³ Vgl. ebd.

Fertighaus

Dieser Begriff wird mithilfe der ÖNORM B 2310 genau definiert und ist auf der Internetseite des Fertighausverbandes beschrieben.

Auf vorbereitetem Unterbau errichtetes Bauwerk aus vorgefertigten geschosshohen Wandelementen, Raumzellen sowie aus vorgefertigten Decken- und Dachelementen, die in Produktionsstätten witterungsunabhängig hergestellt, auf die Baustelle transportiert und dort zusammengebaut werden. Abweichend davon können Dachkonstruktionen einschließlich ihrer Deckenkonstruktion aufgrund besonderer Bauwerksgestaltung ohne Vorfertigung sein.²¹⁴

Dieser Werkstandard ist unabhängig von den verwendeten Baustoffen und gilt für alle Wohngebäude (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Reihenhäuser oder mehrgeschossige Wohnbauten). Das Verfahren ist immer gleich, die verschiedensten Bauelemente werden in der Werkshalle vorgefertigt und anschließend auf der Baustelle montiert.²¹⁵

Vorgehängt Hinterlüftete Fassade (VHF)

Ist im europäischen Industrie- Büro und auch im Wohnbau eine weitverbreitete Art der Gebäudehülle. Voraussetzung ist eine Luftschicht, die sich zwischen dem gedämmten Gebäude und der eigentlichen Wetterhaut befindet. Die Luftschicht sorgt für eine ständige Belüftung der Außenhaut und entkoppelt die gedämmte Tragestruktur. Diffusionsfeuchte und Wärme können dadurch an die Außenluft abgegeben werden. Im Vergleich zu monolithischen Aufbauten (ohne trennende Luftschicht) bietet diese Variante einen verbesserten sommerlichen Wärmeschutz und im Winter Schutz vor Feuchteausfall in kritischen Bereichen der Konstruktion.²¹⁶

²¹⁴ Österreichischer, Fertighausverband, www.fertighausverband.at, 2018, <http://www.fertighausverband.at/fertighaus/>, (Aufgerufen am 12. 01. 2020).

²¹⁵ Vgl. Österreichischer Fertighausverband, www.fertighausverband.at, 2018, <http://www.fertighausverband.at/fertighaus/>, (Aufgerufen am 12. 01. 2020).

²¹⁶ Vgl. Vorgehängte Hinterlüftete Fassade, www.baunetzwissen.de, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/fassadenarten/vorgehaengte-hinterlueftete-fassaden-vhf-2341005>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

Modulbauweise (Modulhaus)

*Modul ist ein austauschbares, komplexes Element innerhalb eines Gesamtsystems, eines Gerätes oder einer Maschine das eine geschlossene Funktionseinheit bildet*²¹⁷

Ein Modulhaus ist in der Regel ein Fertighaus, welches aus ein oder mehreren Einheiten (Module) besteht. In einer Werkhalle werden Module, ganze Raumzellen oder einzelne Paneele vorgefertigt und an die Baustelle geliefert. Je nachdem wie viele Arbeitsschritte bis zum fertigen Haus im Werk geschehen, spricht man von unterschiedlich hohen Vorfertigungsgraden. Modulhäuser, die als ganze Raumzellen an den Bauort geliefert werden, benötigen oftmals nur wenige Tage Montagezeit.

Paneelbauweise

Paneele bilden mithilfe von flächigen Wand- und Deckenelementen das Tragwerk und den Raumabschluss eines Gebäudes. Sie sind selbsttragend und unterscheiden sich nach Größen in Kleintafeln, Großtafeln und dem Schottenbau. In der Baustoffwahl ist dieses Verfahren flexibel. Ausführungen aus Holz, Beton, Stahl oder Mauerwerk sind möglich. Der Vorfertigungsgrad ist geringer und somit der Montageaufwand auf der Baustelle höher.²¹⁸

Phasenverschiebung

Ist unter anderem ein Begriff der Bauphysik. Er bezeichnet den verzögerten Temperaturdurchgang von der Außenseite eines Bauteils bis zu der Innenfläche. Die Phasenverschiebung hat somit Auswirkungen auf das Raumklima. Idealerweise verhält sich die Phasenverschiebung eines Baukörpers so, dass die Tagehöchsttemperatur erst in den Nachtstunden die Innenseite erreicht und entlüftet werden kann. Gute Phasenverschiebung leistet einen erheblichen Beitrag, um der sommerlichen Überhitzung entgegen zu wirken.²¹⁹ Holzfaserdämmstoffe können beispielsweise die Phasenverschiebung im Vergleich mit einem gleichwertigen

²¹⁷ Bibliographisches Institut GmbH, www.duden.de, 2019, https://www.duden.de/rechtschreibung/Modul_Element_Lehreinheit#bedeutungen, (Aufgerufen am 12. 01. 2020).

²¹⁸ Vgl. Staib et al., 2008, S.110

²¹⁹ Vgl. Phasenverschiebung, www.baunetzwissen.de, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/phasenverschiebung-1676165>, (Aufgerufen am 17. 08. 2019).

Aufbau aus Mineralfaserdämmstoff von 7 auf 12 Stunden verlängern.²²⁰ Für die Phasenverschiebung ausschlaggebende Eigenschaften sind:

- Rohdichte [kg/m^3], je höher umso besser
- Wärmeleitfähigkeit [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$], je niedriger umso besser
- Spez. Wärmekapazität [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$], je höher umso besser
- Temperaturleitzahl acm^2/h . je niedriger um so besser²²¹

Raumzellen

Raumzellen: sind Module, die raumbildend sind. Aus Wänden, Decken, Böden, Innenausbauten, Installationen, Fenster, Türen, etc. werden werkseitig dreidimensionalen Körper gefertigt, die an den Bauort geliefert und dort zu einem Gebäude verbunden werden. Es können auch Haustechnik und Innenausbau bereits im Werk gefertigt werden; der Vorfertigungsgrad kann dadurch sehr hoch ausfallen, wodurch sich die Arbeitszeit auf der Baustelle minimiert. Diese Bauweise zeichnet sich durch hohe Wirtschaftlichkeit aus, besonders wenn Bauwerke mit vielen gleichen Modulen errichtet werden. Die Tragestruktur kann variieren, so sind z.B. bei einer gewünschten freien Grundrissgestaltung nur die Außenwände tragend ausgebildet. Meist wird Holz oder Stahl verwendet. Die Maße der Raumzellen richten sich meist nach den Transportmöglichkeiten. Die Erweiterung von Raumzellen ist je nach Konzeption sowohl in die Höhe als auch in der Ebene möglich.²²²

*Die Standardisierung der Einzelteile ermöglicht nicht nur schnelles Bauen vor Ort, die einzelnen, kleineren Teilstücke können auch besser transportiert werden. Darüber hinaus entstehen standardisierte baugleiche Gebäude, die auf Grund der geringeren Produktionskosten der Module deutlich günstiger sind. [...] Vorteile des modularen Bauprinzipis sind niedrige Herstellungskosten und schnellere Produktzyklen in der Produktion, sowie einfache Montageprozesse vor Ort.*²²³

²²⁰ Vgl. Sommerlicher Hitzeschutz - Umweltfreundliche Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen, "www.steico.com," Steico, o.D., https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/German/Summer_heat_protection/STEICO_Hitzeschutz_de_i.pdf, S 3 – 5, (Aufgerufen am 17. 08. 2019).

²²¹ Vgl. ebd. S. 5 – 6.

²²² Vgl. Raumzellenbauweise, www.baunetzwissen.de, o.D.,

<https://www.baunetzwissen.de/glossar/r/raumzellenbauweise-6984331?thema=holz>, (Aufgerufen am 12. 01. 2020).

²²³ Modulares Bauen – Stück für Stück in Richtung Zukunft, www.afa-architekturmagazin.de, o.D.,

<https://www.afa-architekturmagazin.de/modulares-bauen-stueck-fur-stueck-in-richtung-zukunft/>, (Aufgerufen am 13. 01. 2020).

Sortenreine Baustellenabfälle

Dieser Begriff beschäftigt sich mit der Entsorgung von Baumaterialien. Im Falle eines Rück- oder Umbaus, Sanierung oder Totalabrisses entstehen erhebliche Müllmengen. Um Kosten zu reduzieren und möglichst negative Auswirkungen auf die Umwelt zu vermeiden, macht es Sinn die jeweiligen Baustoffe sortenrein zu sammeln. Je nachdem wie ein Gebäude errichtet wurde kann es diese Vorhaben erleichtern oder erschweren. Besteht ein Außenwandaufbau, aus unterschiedlichen Baustoffen, so ist es von Vorteil, wenn diese mit geringem Aufwand voneinander trennbar sind (geklemt, geschraubt). Das vermeidet nicht nur Kosten bei der Entsorgung, sondern kann Baumüll generell vermeiden. Wenn Baustoffe bei einem Rückbau gut sortenrein gewonnen werden können, ist es möglich diese bei einem anderen Bauprojekt wieder zu verwerten.²²⁴

Skelettbauweise

Diese Bauweise bildet eine Tragkonstruktion aus Stützen und Trägern. Diese Konstruktion wird mit nichttragenden Elementen ausgefüllt. Ein Beispiel ist das deutsche Fachwerkhaus, bei welchem ein hölzernes Skelett mit Ziegel ausgefüllt wird. Es gibt Skelettbauweisen aus Holz, Stahl und Stahlbeton.²²⁵

Vorfertigungsgrad

Im Bauwesen beschreibt der Vorfertigungsgrad, in welchem Ausmaß Bauprodukte in einem Werk hergestellt werden können und dadurch witterungsunabhängig bleiben. Der Vorfertigungsgrad erhöht demnach die Qualität der Bauprodukte. Je mehr in einem Werk vorgefertigt werden kann, desto geringer ist der Montageaufwand auf der Baustelle. Das verkürzt die Bauzeit und Kosten können eingespart werden. Eine Vollständige ausgebaute Raumzelle kann bis zu 95% vorgefertigt sein.²²⁶

²²⁴ Vgl. Baustellenabfälle recyceln zahlt sich aus, www.wenigermist.at, o.D., <https://www.wenigermist.at/baustellenabfaelle-recyceln-zahlt-sich-aus>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

²²⁵ Vgl. Skelettbauweise, www.baunetzwissen.de, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/glossar/s/skelettbauweise-6988748>, (Aufgerufen am 20. 01. 2020).

²²⁶ Vgl. Staib et al., 2008 S. 41 – 42.

Wärmedurchgangskoeffizient

Ist ein wichtiger Bestandteil der Nachweise für die Energieeinsparverordnung (EnEV). Er wird als U-Wert bezeichnet und hat den früher gebräuchlichen k-Wert abgelöst. Grund sind neue Berechnungsgrundlagen für Bauteile, somit kann der alte k-Wert nicht dem neuen U-Wert gleichgesetzt werden.²²⁷

Der U-Wert gibt die Energiemenge an, die in einer Stunde durch eine Fläche von 1 m² fließt, wenn sich die beidseitig anliegenden Lufttemperaturen um 1 K unterscheiden. Der Wärmedurchgangskoeffizient ist eine spezifische Kennzahl der Materialzusammensetzung eines Bauteils. Sein Kehrwert ist der Wärmedurchgangswiderstand RT in [K m²)/W].²²⁸

7.2 Bau- und Dämmstoffe

In diesem Kapitel werden Baustoffe, die in den Marktanalysen genannt wurden, näher betrachtet. Die genannten Bau- und Dämmstoffe werden in drei Kategorien geteilt. In den Kategorien, nachwachsende, mineralische und synthetische Rohstoffe werden deren Herkunft, die damit verbundenen Unterschiede im Energieverbrauch bei der Erzeugung und ihre ökologischen Auswirkungen aufgezeigt.

7.2.1 Aus nachwachsenden Rohstoffen

Holz

Holzwirtschaft hat in Österreich Tradition und erfreut sich in der bebauten Umwelt zunehmender Beliebtheit. Der Baustoff wächst stetig nach und das weltweite PEFC Zertifikat sichert eine nachhaltige Bewirtschaftung. Aufgrund Technischer Innovationen der letzten Jahrzehnte ist nahezu eine vollständige Verwertung des entnommenen Baumbestandes möglich.²²⁹ Dadurch entstehen diverse Holzbau- und Dämmstoffe, die gesondert voneinander betrachtet werden müssen.

Wichtigste Erkenntnis ist, dass der Baustoff Holz über die Jahre in denen der Baum wächst, CO₂ in sich speichert und somit bei jedem Holbauwerk langfristig CO₂ gebunden wird, was einen äußerst positiven Beitrag zum Klimaschutz leistet.

²²⁷ Vgl. Wärmeschutz: U-Wert Wärmedurchgangskoeffizient, www.baunetzwissen.de, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/bauphysik/waermeschutz-u-wert-waermedurchgangskoeffizient-159234>, (Aufgerufen am 15.08. 2019).

²²⁸ Ebd.

²²⁹ Vgl. Dangel Ulrich: "Wendepunkt im Holzbau" neue Wirtschaftsformen, Berlin, Deutschland: Birkhäuser, 2016, S. 16-17.

Ein Quadratmeter Außenwandaufbau in Massivholz erspart unter dem Strich (CO₂-Bindung im Holz minus der Emissionen in der Herstellungsphase) ungefähr jene Menge, die ein vergleichbarer Wandaufbau in Beton verursachen würde.

CO₂-Bilanz von 1 Quadratmeter Außenwandaufbau:

a.	Massivholz	- 88 kg CO ₂
b.	Holzrahmen	- 45 kg CO ₂
c.	Ziegel	+ 57 kg CO ₂
d.	Beton	+ 82 kg CO ₂ ²³⁰

Leimfreies Massivholz, am Beispiel Thoma Holz100

Es werden keine Leime, Klebstoffe oder Holzschutzmittel verarbeitet, die Holzverbindungen werden durch Dübel bewerkstelligt. Nach Angaben der Firma wird das Holz nach Mondphasen geschlagen und in Kombination mit der speziellen Verarbeitung erfüllt der Baustoff alle Anforderungen des Brand- Schall und Erdbebenschutzes.²³¹

Von der Erschließung des Holzes bis hin zur Verarbeitung zu einem Baustoff liegen alle Produktionsprozesse bei der Firma Thoma. Die Werke sind energieautark und werden mit Solarstrom versorgt. Die Firma gewährleistet damit eine umweltschonende Produktion.²³²

Beim Holz100 Design werden mehrere Lagen Nadel-Massivholzplatten übereinandergelegt und mit Buchenholzdübel (Hartholz) verbunden. Diese Dübel besitzen eine geringere Feuchtigkeit als das Nadelholz (Weichholz) der Wand, sodass die eingeschlagenen Dübel Feuchtigkeit aus der Holzwand aufnehmen und sich ausdehnen (Quellkraft). Über die entstehende Reibungskraft gewährleisten sie den Halt der Verbindung, sodass die konventionellen Verbindungsmittel (wie Klebstoffe oder Nägel) überflüssig werden. Jede aufeinander liegende Platte wird um 45 Grad gedreht. Es werden Massivholzwände mit Wandstärken zwischen 120mm und 360mm hergestellt und angeboten. Spezielle Fräsungen in den Holzschichten verbessern die Dämmeigenschaften der Wände (ähnliches physikalisches Prinzip wie beim Hochlochziegel). Diese Holzwandkonstruktionen

²³⁰ Ein Kubikmeter Holz, bindet eine Tonne CO₂, www.holzigstgenial.at, Pro Holz Austria, 31. 01. 2017, <https://www.holzigstgenial.at/blog/1-kubikmeter-holz-bindet-1-tonne-co2/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

²³¹ Vgl. Erwin Thoma: www.thoma.at, Holz 100, o.D, <https://www.thoma.at/downloads/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

²³² Vgl. Erwin Thoma: www.thoma.at, Holz 100, o.D, <https://www.thoma.at/thoma-planungshandbuch/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

werden als tragende, aussteifende oder nichttragende Wand-, Decken-, Dach- oder Sonderbauteile für Holzbauwerke verwendet.²³³

Unter diversen bautechnischen Zertifizierungen wurde der Holz100 Baustoff mit dem PEFC Zertifikat für nachhaltiger Forstwirtschaft ausgewiesen und besitzt als einziger Baustoff die „Cradle to Cradle Gold“ Auszeichnung.²³⁴, welches einen Baustoff oder ein anderes Produkt nach fünf Nachhaltigkeitskriterien beurteilt: Materialgesundheit, Materialwiederverwertbarkeit, erneuerbaren Energien, Wassermanagement und soziale Verantwortung.²³⁵

Vergleichbare Produkte aus Mitteleuropa werden unter anderem von den Firmen Holzius, Dübelholz Kaufman und GFM Massivholzsystem angeboten.

Brettsperrholzplatte (BSP, CLT, X-LAM, Cross-Lam, KLH®)

Brettsperrhölzer werden unter anderem als Baustoffe für Massivholzwände im Gebäudebau verwendet. Es werden sägeraue Bretter mit einer Breite von 80mm bis 240mm und einer Stärke von 10mm bis 35mm zu Platten verbunden. Die typische Brettsperrholzplatte besteht aus, in einem Winkel von 90° orientierten, übereinander liegenden Brettlagen. Eine flächenhafte Verklebung bildet den starren Verbund der Brettlagen. In der Regel werden diese mit VOC-freien und formaldehydfreien Polyurethan-Klebstoffen (PUR) verbunden, die für die menschliche Gesundheit als unbedenklich eingestuft werden.²³⁶

Siebdruckplatte (Multiplex-Platte)

Diese Platten sind eine spezielle BSP Ausführung. Sie werden aus Furnierschichten zusammengeleimt, die nur zwischen 0,8 bis 2,5mm dick sind. Die Platten werden in unterschiedlichen Dicken bis zu 80mm angeboten. Um diese Dicke zu erreichen, müssen ca. 35 Lagen Furnierholz miteinander verbunden werden. Die Furniere werden aus Buche, Birke, Ahorn oder Fichte gefertigt und mit wasserfestem Leim (Melaninharz, Resocinharz, Phenolharz oder einer Kombination) querverleimt. Wie

²³³ Vgl. ebd.

²³⁴ Vgl. Erwin Thoma: www.thoma.at, Holz 100, o.D., <https://www.thoma.at/zertifikate/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

²³⁵ Vgl. Zertifizierung des Systems Cradle to Cradle, www.umweltgutachter.de, 25. 05. 2016, <https://www.umweltgutachter.de/product-standard>, (Aufgerufen am 13. 05. 2019).

²³⁶ Vgl. KLH Massivholz GmbH, www.klh.at, o.D., <https://www.klh.at/product/manufacture/>, (Aufgerufen am 15. 05. 2019).

bei der gewöhnlichen Brettsperrholzplatte, wird jede Lage um 90° gegen die nächste Furnierlage verdreht. Diese Platten zeichnen sich durch hohe Formstabilität aus.²³⁷

Spanholzplatte (OSB Oriented Strand Board)

Spanholzplatten sind Holzwerkstoffe, die aus mehreren Schichten Holzspäne gefertigt werden. In der Regel sind es drei Schichten, wobei die Späne der mittleren Schicht 90° zu den Spänen der ersten und dritten Schicht liegen, um höhere Formstabilität zu erreichen. Die länglichen, schmalen Holzspäne (Strands) werden mithilfe eines Bindemittels, unter hoher Temperatur und hohem Druck miteinander verbunden.²³⁸ Die Bindemittel unterscheiden sich je nach Anforderungen der Platte und variieren auch je nach Aufbauschicht. In Europa werden in der Regel für die Deckschicht Leime auf Basis MUPF (Melamin-Urea-Phenol-Formaldehyd) bzw. MUF (Melamin-Urea-Formaldehyd) bzw. für die Mittelschicht Leime aus PMDI (Phenyl-Methan-Di-Isocyanat) verwendet. Unter technologisch höherem Aufwand ist es möglich eine Spanholzplatte ausschließlich mit PMDI Bindemittel und somit formaldehydfrei zu erstellen.²³⁹

Es werden bereits OSB-Platten hergestellt, die mit Bindemittel ohne oder nur geringem Formaldehydgehalt auskommen. Diese Platten bedienen sich eines Gemisches aus synthetischen Harzen und einem Überzug aus einer Paraffinemulsion.²⁴⁰

Holzfaser-Dämmstoffplatte

Diese werden bis zu 96% aus Resthölzern der Sägeindustrie, aus Fichten Tannen oder Kiefern hergestellt. Die Hölzer werden zu Hackschnitzel zerkleinert und mithilfe von thermischen und mechanischen Arbeitsschritten zu feinen Fasern aufgeschlossen. Durch die natureigenen Harze und durch Beimengung von geringen Teilen Aluminiumsulfat erhalten die Holzfaserplatten ihre Festigkeit. Abhängig von ihrer

²³⁷ Vgl. Siebdruckplatte, www.siebdruckplatte.com, o.D., <http://www.siebdruckplatte.com/>, (Aufgerufen am 18. 08. 2019).

²³⁸ Vgl. OSB Platte, www.dataholz.eu, Holzforschung Austria, 17. 01 2017, https://www.dataholz.eu/fileadmin/dataholz/media/baustoffe/Datenblaetter_de/osb_de_01.pdf, (Aufgerufen am 20. 01 2020).

²³⁹ Vgl. Drewes Glunz: Produktionsprozess OSB Platte, www.vhi.de, o.D., <https://vhi.de/produktionsprozess-osb/>, (Aufgerufen am 23. 01. 2020).

²⁴⁰ Vgl. Kronospan, "www.hornbach.de," KRONOSPAN OSB, spol. s. r. o., o.D., https://www.hornbach.de/data/shop/D04/001/780/491/121/376/5862456_Doc_02_DE_20190425161750.pdf, S. 4 – 5, (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

Fertigung (Nass- oder Trockenverfahren) unterscheidet man zwei Arten von Platten.²⁴¹

Bei dem Nassverfahren werden die Holzfasern mit Wasser vermischt und zu einem Brei verrührt, anschließend in eine Form gegossen und unter Zufuhr von Wärme zu Platten getrocknet. Bei diesem Prozess wird das holzeigene Bindemittel (Lignin) genutzt und es sind keine zusätzlichen Bindemittel erforderlich, um die Formfestigkeit der Platten zu gewährleisten. Dadurch stellt die Entsorgung von Holzfaserplatten, die in diesem Fertigungsprozess hergestellt wurden, in der Regel kein Problem dar. In diesem Verfahren ist aber die Dicke der Platten durch den Fertigungsprozess vorgegeben. Benötigt man dickere Dämmstärken werden Platten miteinander verleimt (oftmals auch mit Vinylacetat, das in der MAK-Liste als krebserregend eingestuft ist). Außerdem sind für die Herstellung von Holzfaserplatten im Nassverfahren wegen der benötigten Wärme vergleichsweise hohe Energiemengen erforderlich.²⁴²

Bei im Trockenverfahren hergestellte Holzfaserplatten werden die Holzfasern nach dem Aufschlussprozess getrocknet, anschließend beleimt (meist 4% PUR-Harzleim), zur gewünschten Plattendicke ausgestreut und mit einem Dampf-Luftgemisch ausgehärtet. Im Vergleich zum Nassverfahren gibt es hier keine Dickenbegrenzung einschichtiger Platten, jedoch sind sie wegen des Einsatzes von PUR Bindemittel bzw. von Ammoniumpolyphosphaten oder Borate als Flammschutzmittel im Falle der Entsorgung als Problemstoff einzustufen. Es gibt umweltfreundlichere Produkte in denen Biokunststofffasern die Bindemittel ersetzen.²⁴³ Der Primärenergieverbrauch im Trockenverfahren ist wesentlich geringer; in Bezug auf eine Tonne hergestellter Holzfaserplatten benötigt dieses Verfahren 40% weniger Energie als das Nassverfahren.²⁴⁴

Dämmstoff: Hanf

Hanf ist eine alte, schnell wachsende Nutzpflanze, die sich relativ anspruchslos kultivieren lässt. Ihre industrielle Verwendung ist vielseitig, unter anderem lassen sich

²⁴¹ Vgl. Amtmann, Maria / Martin, Höher / Oskar Mair, am Tinkhof / Lorenz, Strimitzer: DÄMMSTOFFE RICHTIG EINGESETZT EIGNUNG, ANWENDUNG UND UMWELTVERTRÄGLICHKEIT VON DÄMMSTOFFEN, Wien, Österreich: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014, S. 34 – 35, www.klimaaktiv.at, <https://www.klimaaktiv.at/haushalte/wohnen/bauen/daemmung.html>, (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

²⁴² Vgl. Danner, Herbert: Ökologische Wärmedämmstoffe im Vergleich 2.0. Fachwissen, München, Deutschland: Landeshauptstadt München, 2010, S. 51, www.wissenwiki.de, <https://wissenwiki.de/Holzfaserd%C3%A4mmstoffhttps://docplayer.org/6013743-Oekologische-waermedaemmstoffe-im-vergleich-2-0-fachwissen.html>, (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

²⁴³ Vgl. Danner, 2010, S. 51.

²⁴⁴ Vgl. Amtmann et al., 2014, S. 34 – 35.

ihre Fasern zu Dämmplatten, Dämmfilze oder lose Fasern per Einblasung verarbeiten. Bei Dämmplatten werden bis zu 15% des Eigengewichts an Stützfasern aus Polyester eingearbeitet. Kartoffelstärke oder Bikomponenten-Kunststofffasern dienen ähnlich wie bei Flachsdämmstoffen als Bindemittel. Als Flammschutz kommen unbedenkliche Verbindungen mit Ammoniumphosphaten oder Soda zum Einsatz und der hohe Bitterstoffgehalt der Pflanze wirkt Fäulnis, Schimmel und Ungeziefer entgegen. Zudem sind die Fasern äußerst feuchtigkeitsbeständig und können bis zu einem Drittel ihres Eigengewichts an Feuchtigkeit speichern bzw. ohne wärmetechnische Verluste wieder abtrocknen.

Im Grunde ist Hanf ein sehr ökologischer Dämmstoff, wenn man keine Borsalze als Flammschutz einarbeitet, da er dann bei der Entsorgung nicht als Problemstoff eingestuft werden muss.²⁴⁵

Im Vergleich zu Holzfaserdämmstoffen besitzt Hanf den Nachteil geringer Dichte, sodass er in Bezug auf die Phasenverschiebung (Temperaturschwankungen im Haus) schlechter abschneidet. Denn es gilt: je mehr Dichte ein Baukörper hat, desto mehr kann dieser Temperaturschwankungen und Temperaturspitzen ausgleichen.

Dämmstoff: Zellulose

Grundsätzlich wird der Zellulosedämmstoff aus sortenreinem Zeitungspapier hergestellt. Dieses wird in mehrstufigen Zerreiß und Mahlverfahren zerfasert und zu 8 - 15% mit Mineralsalzen versetzt. Dadurch wird der Schutz gegen Brand, Ungeziefer und Mäuse gewährleistet. Oft werden dafür Borsalze verwendet, welche für Säugetiere leicht toxisch und für Insekten tödlich sind. Es gibt aber auch boratfreie Alternativen, wie Ammoniumpolyphosphate als Flammschutzmittel und Rindenharze zur Schimmelprävention. Zellulosefasern lassen sich als Dämmschicht in die Gebäudehülle mithilfe von Maschinen einblasen oder als Platten verlegen. Diese Platten gewinnen durch Kunststofffasern (Stärke oder Jutegarn aus Alttextilien) und Bindemittel (Ligninsulfonat, Aluminiumsulfat oder Tallharz) ihre Formsicherheit.

Wenn der Dämmstoff zerstörungsfrei rückgebaut wird, kann dieser wiederverwendet werden, jedoch kann die Wiederverwendung aufgrund von Alterungsprozessen, Feuchteempfindlichkeit, etc. beeinträchtigt sein. Grundsätzlich kann dieser Baustoff ohne Bedenken thermisch verwertet werden.²⁴⁶

²⁴⁵ Vgl. Amtmann et al., 2014, S. 32 - 33.

²⁴⁶ Vgl. Amtmann et al., 2014, S. 46 - 47.

7.2.2 Aus mineralischen Rohstoffen

Mineralwolle (Glas- oder Steinwolle) Dämmstoffe

Beide Dämmstoffe sind einander sehr ähnlich. Glaswolle besteht zu zwei Drittel aus Altglas und zu einem Drittel aus neu gewonnenen Glasmaterialien (Quarzsand, Soda, Dolomit, Kalkstein, Bortrioxid, Feldspat, Natriumsulfat). Steinwolle besteht zu einer Hälfte aus Gesteinsfäden von abgebauten Mineralien (Dibas, Basalt, Dolomit, Kalkstein oder Koks) und zur anderen aus Gesteins-, Zement- oder Aschenabfällen. Das Gestein wird bei ca. 1.400°C geschmolzen, um daraus künstliche Fasern zu spinnen. Um aus den Fasern formstabile Matten zu fertigen, wird ein Bindemittel beigemischt (Phenol-Harnstoff auf Formaldehydbasis), welches unter einem Heißluftstrom aushärtet. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist der Rohstoff praktisch unbegrenzt vorhanden, jedoch sind erhebliche Energiemengen aufzuwenden, um das Ausgangsmaterial aufzuschmelzen²⁴⁷

7.2.3 Aus synthetischen Rohstoffen

Expandiertes Polystyrol (EPS)

Es wird aus den Stoffen Benzol und Ethen hergestellt, welche aus Erdöl und Erdgas gewonnen werden. Pentan wird zudem als Flammenschutzmittel und Treibmittel beigemischt. Durch Zufuhr von Wasserdampf wird das EPS aufgeschäumt und das Treibmittel Pentan verdampft.

Das Material hat gute Wärmedämmeigenschaften, ist resistent gegen Tierfraß und verrottet nicht. Es hat einen hohen Dampfdiffusionswiderstand und kann daher nur geringe Mengen Wasserdampf aufnehmen. Das Material wird in Platten oder als Granulat geliefert.

EPS ist ein Erdölprodukt und die Herstellung von Styrol und Pentan setzt umweltbelastende Emissionen frei. Oft werden die Dämmplatten auch geklebt und können daher nur mit hohem Aufwand sortenrein von der Abrissstelle gewonnen werden. Sortenreine EPS-Dämmstoffe werden als Dämmschüttungen oder Zuschlagstoff für Mörtel verwendet. EPS besitzt einen ähnlich hohen Heizwert wie Heizöl und ist dadurch für Müllverbrennungsanlagen wertvoll. Es ist aber darauf zu

²⁴⁷ Vgl. Amtmann et al., 2014, S. 60 - 61.

achten, dass der seit 2015 in der EU verbotene Zusatzstoff (Flammschutz) Hexabromcyclododecan (HBCD) nicht enthalten ist.²⁴⁸

Polyurethan (Hartschaumplatte) PUR/ PIR

Ein Produkt das aus einer komplexen Prozesskette gewonnen wird. Ausgangsstoff ist in den meisten Fällen Erdöl; in manchen Fällen wird Rizinusöl oder Zucker verwendet. Der Dämmstoff wird aus Polyisocyanate und mehrwertige Alkohole (Polyole) hergestellt. Um das Gemisch zum Schäumen zu bringen, werden in Österreich Pentan bzw. CO₂ verwendet. Die Komplexität des Dämmstoffes zeigt sich in etlichen Zusatzstoffen, die dem Produkt beigemischt werden, um bestimmte Produkteigenschaften zu erreichen. PIR Dämmstoffe sind PUR Dämmstoffe mit höherem Polyisocyanat-Anteil (Erhöhung des Flammschutzes).

Der Herstellungsprozess ist sehr energieaufwendig und in der Herstellung entstehen gesundheitsgefährdende Neben- und Zwischenprodukte.

Wenn diese Platten zerstörungsfrei ausgebaut werden, können sie wiederverwendet werden. In manchen Fällen werden sie granuliert und mit PU-Kleber zu neuen Platten zusammengefügt. Häufig sind die Platten mit einer Aluminiumfolie kaschiert, welche die sortenreine Entsorgung zusätzlich erschweren. In der Regel erfolgt eine thermische Verwertung in Abfallanlagen.²⁴⁹

Bitumen

Bitumen ist ein Erdöldestillat und wird zur Herstellung von Bitumenbahnen und Klebmassen verwendet. Bitumenbahnen und Bitumenwerkstoffe werden oft zur Abdichtung von Dächern verwendet. Bitumen ist ein viskoelastisches Material und ändert seine Konsistenz bei steigender Temperatur. Es wird durch Erwärmen weich und bei Temperaturen zwischen 150 und 200°C beginnt der Baustoff dünnflüssig zu werden.²⁵⁰ Dadurch kann Bitumen auch anderen Bau- und Dämmstoffen beigemischt werden. Auch bei ökologischen Dämmstoffen, welche aus nachwachsenden Rohstoffen gefertigt werden, kann Bitumen zum Schutz vor Feuchtigkeit eingesetzt werden.

²⁴⁸ Vgl. Amtmann et al., 2014, S. 66 - 67.

²⁴⁹ Vgl. Amtmann et al., 2014, S. 72 - 73.

²⁵⁰ Vgl. Bitumen, www.baunetzwissen.de, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/glossar/b/bitumen-49165> (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

8 Verzeichnisse

Selbstständig erschienene Publikationen

- CODY, BRAIN: *Form Follows Energy, using natural forces to maximize performance*, Basel, Schweiz: Birkhäuser, 2017, - ISBN 978-3-0356-1405-3.
- DANGEL ULRICH: *"Wendepunkt im Holzbau" neue Wirtschaftsformen*, Berlin, Deutschland: Birkhäuser, 2016, - ISBN-13: 978-3035610277.
- EL KHOULI, SEBASTIAN / MARTIN, ZEUMER / JOHN, VIOLA: *Nachhaltig konstruieren: Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl - Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren*. München: DETAIL - Green Books, 2014, - ISBN 978-3955532178.
- FREY, WOLFGANG: *Das Fünf Finger Prinzip, Strategien für eine nachhaltige Architektur*, Freiburg im Breisgau, Deutschland: Verlag Herder GmbH, 2010, - ISBN 978-3-451-30387-6.
- GLÜCKLICH, DETLEF / NICOLA, FRIES / STEPHANIE, LUGE / MICHAEL NEUEN / MARTINA NEUHAUSER / SINA, SCHREIBER: *Ökologisch Bauen Von Grundlagen zu Gesamtkonzepte*, München, Deutschland: Deutsche Verlags-Anstalt, 2005, - ISBN 978-3421035417.
- GROBER, ULRICH: *Die Erfindung der Nachhaltigkeit*, München, Deutschland: Sächsische Carlowitz-Gesellschaft, 2013, - ISBN 978-3-86581-415-9.
- HAUSLADEN, GERHARD / MICHAEL, SALDANHA / PETRA, LIEDL / HERMANN, KAUFMANN: *ClimaSkin: Konzepte für Gebäudehülle, die mit weniger Energie mehr leisten*, München, Deutschland: Callwey, 2006, - ISBN 978-3-7667-1677-4.
- HEGGER, MANFRED / CAROLINE, FAFFLOK / JOHANNES, HEGGER / ISABELL, PASSIG: *Aktivhaus Das Grundlagenwerk Vom Passivhaus zum Energieplushaus*, München, Deutschland: Verlag Georg D.W. Callwey GmbH & Co. KG, 2013, - ISBN 978-3-7667-1902-7.
- HEGGER, MANFRED / JOST, HARTWIG / MICHAEL, KELLER: *Wärmen und Kühlen: Energiekonzepte, Prinzipien, Anlagen*, Basel, Schweiz: Birkhäuser, 2012, - ISBN 978-3-0346-0511-3.
- KOLB, BERNHARD: *Nachhaltiges Bauen in der Praxis*, München, Deutschland: Blok Verlag, 2004, - ISBN 978-3924466138.
- KROMB-KOLB, HELGA / HERBERT FORMAYER: *Plus zwei Grad: warum wir uns für die Rettung der Welt erwärmen sollten*, Wien, Österreich: Molden, 2018, - ISBN 978-3-99040-494-2.
- LECHNER, NORBERT: *Heating, cooling, lightning: sustainable design methods for architects*. 3. Auflage. Hoboken: John Wiley & Sons, 2009, - ISBN 978-0-470-04809-2.
- LENZ, BERNHARD / JÜRGEN SCHREIBER / THOMAS STARK: *Nachhaltige Gebäudetechnik, Grundlagen, Systeme, Konzepte*, München, Deutschland: Detail Green Books, 2010, - ISBN 978-3-920034-34-8.
- RITTER, ARNO / MARIA WELZIG / ROLAND REINER / PETER NOEVER: *drindl * steixner Architektur Film Städtebau*, Innsbruck, Österreich: Architekturforum Tirol, 1996.

RONGEN, LUDWIG / BURKHARD SCHULZE, DARUP / MICHAEL, TRIBUS / GERNOT VALLENTIN: *Passiv-Nullenergie oder Plusenergiehaus Energiekonzepte im Vergleich*. Kissing: Weka, 2015, - ISBN 978-3-8111-4009-7.

SIMONIS, GEORG: *Handbuch Globale Klimapolitik*, Stuttgart, Deutschland: utb, 2017, - ISBN: 978-3825286729

STAIB, GERALD / ANDREAS, DÖRRHÖFER / MARKUS, ROSENTHAL: *Edition Detail Elemente + Systeme, Modulares Bauen: Entwurf, Konstruktion, neue Technologien*, Basel, Schweiz: Birkhäuser, 2008, - ISBN 978-3764386559.

ZSCHOKKE, WALTER: *Architektur in Niederösterreich 1986 - 1997*, Basel - Bosten - Berlin: Birkhäuser, 1997, - ISBN-13: 978-3764357467

Publizierte Berichte

AMTMANN, MARIA / MARTIN, HÖHER / OSKAR MAIR, AM TINKHOF / LORENZ, STRIMITZER: *DÄMMSTOFFE RICHTIG EINGESETZT EIGNUNG, ANWENDUNG UND UMWELTVERTRÄGLICHKEIT VON DÄMMSTOFFEN*, Wien, Österreich: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014, www.klimaaktiv.at, <https://www.klimaaktiv.at/haushalte/wohnen/bauen/daemmung.html>, (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

DANNER, HERBERT: *Ökologische Wärmedämmstoffe im Vergleich 2.0. Fachwissen*, München, Deutschland: Landeshauptstadt München, 2010, www.wissenwiki.de, <https://wissenwiki.de/Holzfaserd%C3%A4mmstoffhttps://docplayer.org/6013743-Oekologische-waermedammstoffe-im-vergleich-2-0-fachwissen.html>, (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

Enquete-Kommission: *Abschlussbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung“*, Berlin, Deutschland, Deutscher Bundestag, 1998, www.dip21.bundestag.de, <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/13/112/1311200.pdf>, (Aufgerufen am 15. 01. 2020).

Enquete-Kommission: *Schutz des Menschen und der Umwelt – „Die Industriegesellschaft gestalten - Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen“*, Berlin, Deutschland, Deutscher Bundestag, Deutscher Bundestag, 1994, www.dip21.bundestag.de, <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/12/082/1208260.pdf>, (Aufgerufen am 15. 01. 2020).

GÜNSBERG, GEORG / JAN FUCIK: *Faktencheck Energiewende 2017/2018*. Günsberg Politik- und Strategieberatung, Wien, Österreich: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2017, www.klimafonds.gv.at, <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/Faktencheck-Energiewende-201718.pdf>, (Aufgerufen am 16. 07. 2019).

GREIFF, REINER: *Nachhaltiges Bauen - Umwelttechnologieeinsatz und Ressourceneffizienz bei Sanierung und Neubau*, Wiesbaden, Deutschland: Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2011, www.docplayer.org, <https://docplayer.org/64257847-Hessen-umwelttech-nachhaltiges-bauen-umwelttechnologieeinsatz-und-ressourceneffizienz-bei-sanierung-und-neubau.html>, (Aufgerufen am 10. 01. 2020).

- HENNING, HANS-MARTIN / ANDREAS PALZER: *WAS KOSTET DIE ENERGIEWENDE? WEGE ZUR TRANSFORMATION DES DEUTSCHEN ENERGIESYSTEMS BIS 2050*, Freiburg, Deutschland: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Prof. Dr. Eicke R. Weber, Prof. Dr. Hans-Martin Henning, 2015, www.fraunhofer.de, [https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20\(1\).pdf](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/Forschungsfelder/Energie-Rohstoffe/Fraunhofer-ISE_Transformation-Energiesystem-Deutschland_final_19_11%20(1).pdf), (Aufgerufen am 15. 01. 2020).
- HASLER, EWALD / ALEXANDER PONGRATZ: *„Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung.“* WKO Steiermark. 2016. https://www.wko.at/branchen/stmk/gewerbe-handwerk/bau/Final_Studie-Fassadensysteme-im-Fokus-der-Lebenszyklusbet_2.pdf, (Aufgerufen am 23. 01. 2020).
- HEGNER, HANS-DIETER: *Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Zukunft fähiges Planen, Bauen und Betreiben*, Leitfaden BMUB, Berlin, Deutschland: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2016, www.nachhaltigesbauen.de, https://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2015/LFNB_D_final-barrierefrei.pdf, (Aufgerufen am 13. 09. 2019).
- IPSER, CHRISTINA / WOLFGANG, STUMPF / GREGOR, RADINGER / HELMUT, FLOEGL: *Lebenszykluskostenbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern*, Krems, Österreich: Donau-Universität Krems, Department für Bauen und Umwelt, 2017, <https://www.ecoplus.at/media/6260/handbuch-lebenszykluskostenbewusstes-planen-und-bauen.pdf>, (Aufgerufen am 13. 01. 2020).
- JANETOS, ANTHONY / CHRISTOPHER, JUSTICE / MOLLY, JAHN / MICHAEL, OBERSTEINER / JOSEPH, GLAUBER / WILLIAM, MULHERN: *The Risks of Multiple Breadbasket Failures in the 21st Century: A Science Research Agenda*, Bosten, Amerika: Bosten University, The Fredrick S. Pardee Center for the Study of Longer-Range Future, 2017, www.bu.edu, <http://www.bu.edu/pardee/files/2017/03/Multiple-Breadbasket-Failures-Pardee-Report.pdf>, (Aufgerufen am 05. 07. 2019).
- KANATSCHNIG, DIETMAR / EVA, LACHER: *Linking Low Carbon Technologies with Low Carbon Society Energie 2050: Anforderungen an die Technologiepolitik zur Eindämmung des Rebound-Effektes*, Wien, Österreich: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 01. 10. 2012, www.nachhaltigwirtschaften.at, https://www.nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/endbericht_201258_rebound_low_carbon_technologies.pdf, (Aufgerufen am 12. 03. 2019).
- LINZ, MANFRED: *Weder Mangel noch Übermaß, Über Suffizienz und Suffizienzforschung*, Wuppertal, Deutschland: Wuppertal Institut, 2004, www.epub.wupperinst.org, <https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/1915/file/WP145.pdf>, (Aufgerufen am 23. 11. 2019).
- PALZE, ULRICH / BARBARA, JANORSCHKE, / MATTHIAS, KOTT, / INGRID, LÜTZKENDORF/ CORNELIA, PRITZEL/ BIRGIT, REBEL / KERSTIN, SCHALLING/ VOLKER, STANGE: *Einfluss von typisierten und vorgefertigten Bauteilen oder Bauteilgruppen auf die Kosten von Neubauten und Bestandsmodernisierungen, Forschungsauftrag*, Weimar, Deutschland: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, BBR, 2015, www.irbnet.de, <https://www.irbnet.de/daten/baufo/20150156/Endbericht.pdf>, (Aufgerufen am 24. 08. 2019).

PFOSE, NICOLE / NATHALIE, JENNER / JOHANNA, HENRICH / JANNIK, HEUSINGER / STEPHAN WEBER:
Gebäude, Begrünung und Energie: Potenziale und Wechselwirkungen, Darmstadt,
Deutschland: Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, 2013,
<https://www.irbnet.de/daten/rswb/13109006683.pdf>, (Aufgerufen am 23. 01. 2020).

SACHS, WOLFGANG / DIRK, ABMANN / BERND, BROUNS / MANFRED, LINZ / STEPHAN, MOLL / HERMANN, E.
OTT / ANDREAS, PASTOWSKI / PETERSEN, RUDOLF / GERHARD, SCHERHORN/ WOLFGANG, STERK /
NIKOLAUS, SUPERSBERGER: *Fair Future. Begrenzte Ressourcen und globale Gerechtigkeit*,
Ein Report des Wuppertal Instituts, München, Deutschland: Wuppertal Institut, C.H.
Beck, 2006, www.researchgate.net,
https://www.researchgate.net/publication/321938382_Fair_Future_Begrenzte_Ressourcen_und_globale_Gerechtigkeit/link/5a3a37ba458515889d2bddbd/download,
(Aufgerufen am 12. 11. 2019).

TRÖLTZSCH, JENNY / BENJAMIN, GÖRLACH / HELEN, LÜCKGE / MARTIN PETER: *Kosten und Nutzen von
Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel Analyse von 28 Anpassungsmaßnahmen
in Deutschland*, Berlin, Deutschland: Umweltbundesamtes, 2012,
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/dokumente/4298.pdf>,
(Aufgerufen am 20.01.2020).

Interviewquellen

BÖHM, ERICH VIKTOR, Interview von David Meisinger, *Mein Kubus, Interview*, (09. 07. 2019).

LUEF, MICHAEL, Interview von David Meisinger, *Tischlerei Holzwohnbau, Interview*, (19. 07. 2019).

PESENDORFER, OLIVER, Interview von David Meisinger, *McCube Interview*, (17. 06. 2019).

SCHACHNER, ERNST, Interview von David Meisinger, *Schachner Modulhaus Interview*, (08. 06. 2019).

SCHEIMER, THOMAS, Interview von David Meisinger, *Zinipi Loft, ModulhausInterview*, (13. 07. 2019).

Normen

ÖNORM B,1801-1, zeus.h1arch.tuwien.ac.at, 2009,
https://zeus.h1arch.tuwien.ac.at/TISS_img/Priebernig/Baugliederung%20nach%20C3%96N%201801-1_2009-06-01_091123.pdf,
(Aufgerufen am 27. 11. 2019).

Publizierte Firmenunterlagen

CANDATEN, MARTIN / ERICH, VIKTOR BÖHM: *Bau- und Ausstattungsbeschreibung*,
Informationsbroschüre, Österreich: Mein Kubus, 2019.

Kronospan, www.hornbach.de, KRONOSPAN OSB, spol. s. r. o., o.D.,
https://www.hornbach.de/data/shop/D04/001/780/491/121/376/5862456_Doc_02_DE_20190425161750.pdf, (Aufgerufen am 16. 08. 2019).

Sommerlicher Hitzeschutz - Umweltfreundliche Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen,
www.steico.com, Steico. o.D.,
https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/German/Summer_heat_protection/STEICO_Hitzeschutz_de_i.pdf, (Aufgerufen am 17. 08. 2019).

OSB, Platten, www.dataholz.eu, Holzforschung Austria, 17. 01. 2017,
https://www.dataholz.eu/fileadmin/dataholz/media/baustoffe/Datenblaetter_de/osb_de_01.pdf, (Aufgerufen am 20. 01. 2020).

Internetquellen

100Jährige Waschmaschine, www.permanere.org, o.D.,
<https://permanere.org/#about>, (Aufgerufen am 19. 11. 2019).

Altreifen Entsorgung und Verwertung, www.ecodesign-beispiele.at, 2002,
<https://www.ecodesign-beispiele.at/w158-altreifen-verwertung.html>,
(Aufgerufen am 26. 01. 2020).

Austrotherm, www.austrotherm.at, o.D., <https://www.austrotherm.at/produkte/austrotherm-eps/>
(Aufgerufen am 16. 05. 2019).

Autarkes Haus, www.bewusst-vegan-froh.de, o.D., <https://bewusst-vegan-froh.de/10-gruende-warum-aussergewoehnliche-haeuser-wie-earthships-so-fantastisch-sind/>,
(Aufgerufen am 26. 01. 2020).

Baustellenabfälle recyceln zahlt sich aus, www.wenigermist.at, o.D.,
<https://www.wenigermist.at/baustellenabfaelle-recyceln-zahlt-sich-aus>,
(Aufgerufen am 15. 08. 2019).

Bibliographisches Institut GmbH, www.duden.de, 2019,
https://www.duden.de/rechtschreibung/Modul_Element_Lehreinheit#bedeutungen,
(Aufgerufen am 12. 01. 2020).

Bitbau Dörr GmbH, www.bitbau-doerr.at, <https://www.bitbau-doerr.at/produkte/bitumen-abdichtungsbahnen/>, (Aufgerufen am 15. 05. 2019).

Bitumen, www.baunetzwissen.de, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/b/bitumen-49165>,
(Aufgerufen am 16. 08. 2019).

Dachformen im Überblick, www.energie-experten.org, 23. 03. 2016,
<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/dach/dachformen.html>,
(Aufgerufen am 15. 08. 2019).

Dachkonstruktion Dachüberstand, Bauen mit Vorsprung. www.dach.de. o.D.
<http://www.dach.de/dach/dachkonstruktion/dachkonstruktion-ueberragender-witterungsschutz-01708/>, (Aufgerufen am 02. 09. 2019).

DREWES, GLUNZ: Produktionsprozess OSB Platte, "www.vhi.de." o.D.
<https://vhi.de/produktionsprozess-osb/>, (Aufgerufen am 23. 01. 2020).

Ein Kubikmeter Holz bindet eine Tonne CO₂, www.holzigstgenial.at, Pro Holz Austria,
31. 01. 2017, <https://www.holzigstgenial.at/blog/1-kubikmeter-holz-bindet-1-tonne-co2/>, (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

Einreichpläne - Alles zu den vorgeschriebenen Inhalten, www.wohnnnet.at, o.D.,
<https://www.wohnnnet.at/bauen/bauvorbereitung/einreichplaene-19715>,
(Aufgerufen am 15. 08. 2019).

- Ein europäischer Grüner Deal, www.ec.europa.eu, o.D.,
https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de,
 (Aufgerufen am 15. 02. 2020).
- Europäische Kommission, Gebäude und Renovierung, 2019, „www.ec.europa.eu“,
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/fs_19_6725,
 (Aufgerufen am 15. 02. 2020)
- Haus Gamerith, www.atterwiki.at, 30.05.2019,
https://www.atterwiki.at/index.php?title=Haus_Gamerith,
 (Aufgerufen am 02. 09. 2019).
- Immobilienpreisindex, www.oenb.at, o.D., <https://www.oenb.at/Statistik/Standardisierte-Tabellen/Preise-Wettbewerbsfaehigkeit/Sektorale-Preisentwicklung/immobilienpreisindex.html>, (Aufgerufen am 13. 11. 2019).
- Kaltdach Aufbau und Funktion, www.dachdecker-spengler.com, o.D., <https://www.dachdecker-spengler.com/angebote-produkte/dachdeckerei/kaltdach/>
 (Aufgerufen am 15. 08. 2019).
- KASANG, DIETER: wiki.bildungsserver.de, 22. 11. 2018,
<https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Treibhausgase>
 (Aufgerufen am 16. 11. 2019).
- Keller oder Bodenplatte – nicht nur die Kosten sind entscheidend, www.fertighausanbieter.at.
 o.D., <https://www.fertighausanbieter.at/bodenplatte-oder-keller-kosten-vorteile-nachteile/>, (Aufgerufen am 18. 08. 2019).
- KLH Massivholz, GmbH, www.klh.at, o.D., <https://www.klh.at/product/manufacture/>,
 (Aufgerufen am 15. 05. 2019).
- Kreditrechner, www.bankaustria.at, o.D., <https://www.bankaustria.at/privatkunden-finanzierungen-und-kredite-wohnkredit.jsp>, (Aufgerufen am 18. 01. 2020).
- KOLB BERNHARD, www.nachhaltiges-bauen.de, 2020,
<https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Zellulosed%C3%A4mmung>
<https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Polystyrol+EPS>
<https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Hanf%20D%C3%A4mmstoffe>,
<https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/OSB-Platten>
<https://nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Spanplatten++zementgebunden>
 (Aufgerufen am 05. 02. 2020).
- LAURA POMER: Diffusionsoffen bauen?, www.houzz.de, 10.10. 2018,
<https://www.houzz.de/magazin/das-bedeutet-diffusionsoffen-stsetivw-vs~114809364>
 (Aufgerufen am 15. 08. 2019).
- Modulares Bauen, – Stück für Stück in Richtung, Zukunft. www.afa-architekturmagazin.de, o.D.,
<https://www.afa-architekturmagazin.de/modulares-bauen-stuck-fur-stuck-in-richtung-zukunft/> (Aufgerufen am 13. 01. 2020).
- Off Grid Housing, Earthships, <https://www.stunningearth.com>, o.D.,
<https://www.stunningearth.com/live-off-the-grid-in-an-earthship/>,
 (Aufgerufen am 26. 01. 2020).
- Oesterreichischer Fertighausverband, www.fertighausverband.at, 2018,
<http://www.fertighausverband.at/fertighaus/>, (Aufgerufen am 12. 01. 2020).

Perimeterdämmung, <https://www.baunetzwissen.de>, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/perimeterdaemmung-45085>,
 (Aufgerufen am 26. 01. 2020).

PESENDORFER, OLIVER, www.mc-cube.at, o.D., <https://www.mc-cube.at/>,
 (Aufgerufen am 01. 07. 2019).

Phasenverschiebung, www.baunetzwissen.de, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/phasenverschiebung-1676165>,
 (Aufgerufen am 17. 08. 2019).

Plackner, Hannes: www.holzbauaustria.at,
http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&tx_ttnews%5Btt_news%5D=6175&cHash=3308acfc2a82305f05e77608b7c8a4a7, (Aufgerufen am 15. 05. 2019).

Planungsblatt, www.schachner.at, o.D., <https://www.schachner.at/modulhaus/planung-und-planungsblatt/>, (Aufgerufen am 28. 05. 2019).

Pro-Kopf-Energieverbrauch in ausgewählten Ländern weltweit im Jahr 2015, www.statista.com,
 o.D., <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/157762/umfrage/pro-kopf-energieverbrauch-weltweit-im-jahr-2007/> (Aufgerufen am 17. 11. 2019).

Raumzellenbauweise, www.baunetzwissen.de, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/r/raumzellenbauweise-6984331?thema=holz>,
 (Aufgerufen am 12. 01. 2020).

Siebdruckplatte, www.siebdruckplatte.com, o.D., <http://www.siebdruckplatte.com/>,
 (Aufgerufen am 18. 08. 2019).

Skelettbauweise, www.baunetzwissen.de, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/glossar/s/skelettbauweise-6988748>,
 (Aufgerufen am 20. 01. 2020).

THOMA, ERWIN, www.thoma.at, Holz 100, o.D., <https://www.thoma.at/thoma-planungshandbuch/>
 (Aufgerufen am 14. 05. 2019).

Vorgehängte Hinterlüftete Fassade, www.baunetzwissen.de, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/fassade/fachwissen/fassadenarten/vorgehaengte-hinterlueftete-fassaden-vhf-2341005>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

Wärmeschutz: U-Wert Wärmedurchgangskoeffizient, www.baunetzwissen.de, o.D.,
<https://www.baunetzwissen.de/glas/fachwissen/bauphysik/waermeschutz-u-wert-waermedurchgangskoeffizient-159234>, (Aufgerufen am 15.08. 2019).

Was bedeutet es, ein Grundstück zu pachten, www.immodirekt.at, o.D.,
<https://www.immodirekt.at/wissen/grundstueck-pachten.html>,
 (Aufgerufen am 20. 08. 2019).

Was bedeutet „bauseits“?, www.toptarif.de, o.D., <https://www.toptarif.de/wissen/wohnen/was-bedeutet-bauseits/>, (Aufgerufen am 15. 08. 2019).

Was bedeutet, Nießbrauchrecht?, www.anwalt.org, o.D., <https://www.anwalt.org/niessbrauch/>
 (Aufgerufen am 08. 08. 2019).

Wieviel ist eine, Kilowattstunde?, www.swe-emmendingen.de, o.D., <https://swe-emmendingen.de/2011/08/10/wieviel-ist-eine-kilowattstunde/>,
 (Aufgerufen am 17. 11. 2019).

Zertifizierung, des Systems Cradle to Cradle, www.umweltgutachter.de, 25. 05. 2016,
<https://www.umweltgutachter.de/product-standard>, (Aufgerufen am 13. 05. 2019).

Zinipi, www.zinipi.de, o.D., <http://www.zinipi.de/de/#idee-philosophie>,
(Aufgerufen am 15. 01. 2020).

9 Anhang

9.1.1 Fragebogen

Kosten

Wie errechnen sich die Kosten für eine Erweiterung ihres Modulhauses?

Wie errechnen sich die Kosten für eine Reduktion ihres Modulhauses?

Lässt sich bei einer Modulreduzierung das reduzierte Modul wiederverwenden?

neues Modulhaus an einem anderen Ort?

von ihrer Firma Rückkaufen?

Wenn ein Rückkauf möglich ist, wie errechnet sich das Kaufangebot ihrer Firma? Wie hoch ist der Betrag für ein rückvergütetes Standardmodul nach einer Nutzungszeit von ca. 20 Jahren?

Wie errechnen sich die Kosten für eine Übersiedelung ihres Moduls oder Modulhauses? (pro 100km, Modulhausgröße ca. 70 - 100m²)

Wie hoch sind die ungefähren Kosten eines 70 - 100m² großen Modulhaus, Rohbau, Ausbau & Gebäudetechnik inklusive (Standard)Sanitär ohne Küchenblock, mit Transport (Strecke pro 100km) und mit Montage? (+/- EUR 25000,-)

Technik / Nutzung

Welche Wärmedurchgangswerte weisen Wände/ Decken/ Boden/ Fenster auf.

Wie hoch ist der ungefähre Heizwärmebedarf (HWB) eines 3 - 4 Personenhaushaltes in einem ca. 70 - 100m² großen Modulhaus?

Wie gestaltet sich die Heiztechnik? Lässt sich bei einem flexiblen Modulhaus auch eine Flächenheizung (Bodenheizung) realisieren? Sind auch autarke Heizsysteme möglich? Solar- Geothermie / Wärmepumpe / Photovoltaik?

Wie gestaltet sich die Warmwasser Aufbereitung (sind autarke Systeme möglich)? Solar- Geothermie / Wärmepumpe / Photovoltaik

Gibt es auch die Möglichkeit eine autarke Abwasserlösung zu installieren?

Wie lange dauert die Bauzeit (Verfertigung) und wie lange dauert die Montage eines 100m² Wohnobjektes?

Kann der Grundriss offen gestaltet werden? Sind Trennwände nicht tragend ausgeführt und lässt sich der Nutzraum leicht umgestellten?

Entstehen Wärmebrücken an den Fugen, an denen die Module aneinander montiert werden? Wenn nicht wie, werden diese verhindert?

Baustoffe/ Aufbau

Welche Bau- und Dämmstoffe werden verwendet?

Wie konstruiert sich das Fundament? (Baustoffschichten)

Wie konstruiert sich der Bodenplattenaufbau?

Wie konstruiert sich der Wandaufbau? (Baustoffschichten)

Wie konstruiert sich der Dach-/Deckenaufbau (Baustoffschichten)?

Wie hoch ist die Raumhöhe ihrer Modulhäuser?

Sind Bau- Dämmstoffe im Falle eines Rückbaus sortenrein rückführbar (Könnten diese bei anderen Bauvorhaben wiederverwendet werden)?

Bei Verwendung von Ökologischen (Natürlichen) Bau und Dämmstoffen, wurden diese chemisch behandelt oder besitzen sie andere Zusatzstoffe? (Flammschutz, Ungeziefer, Bindemittel, Schimmelschutz, Klebstoffe)?

Gibt es eine Ökobilanz ihres Modulhauses?

Wie viele Geschoße sind mit ihrem Modulhaus Design möglich?

Wie gestaltet sich die Erweiterung/Reduzierung, wenn mehrere Geschosse vorhanden sind?

Könnte man ihr Modulhaus auch als Mehrfamilienhausplanen? (ca. 3 - 4 Parteien, separate Eingänge, Balkone etc.)

Ist Fassaden- und/oder Dachbegrünung möglich?

Lassen sich auch Auskragende Dächer in Verbindung eines erweiterbaren bzw. reduzierbaren Modulhauses realisieren? Wie verhält sich die Flexibilität des Daches generell, wenn ein Haus erweitert oder reduziert wird?