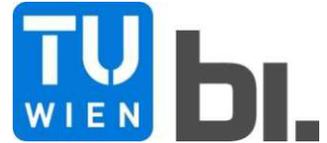


Diploma Thesis



Live cycle costs of different straw walls

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Lebenszykluskosten verschiedener Wandkonstruktionen aus Stroh

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines / einer
Diplom-Ingenieurs/ Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Tamara Younes

Matr.Nr.: 1027199

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Azra Korjenic

Baumeister Dipl.-Ing. Florian Teichmann

Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Ökologische Bautechnologien
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/E207, A-1040 Wien

Wien, im September 2022

Kurzfassung

Der Einsatz von Stroh als Konstruktionsmittel geht schon viele Jahre zurück. Die ersten mit Strohballen gebauten Häuser wurden Mitte des 19. Jahrhunderts in Nebraska gebaut. Aufgrund der Verbreitung von Portlandzement verschwand das Stroh von der Bildfläche, gewann aber in den letzten Jahrzehnten erneut an Bedeutung. Die Bauweise ist vor allem bei Selbstbauern beliebt, findet aufgrund der Nachfrage zu nachwachsenden Rohstoffen hinsichtlich der Klimawende auch bei der Bevölkerung breiten Anklang. In dieser Arbeit werden sieben verschiedene Strohbauweisen, die am österreichischen Markt zu finden sind, hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten verglichen. Dabei wurde der gesamte Lebenszyklus, von der Herstellung über den Betrieb bis hin zum Rückbau, in die Berechnung mit einbezogen. Es konnte nachgewiesen werden, dass sich die Wahl der Fassaden sowie die Art der Bauweise auf die Lebenszykluskosten auswirken. Zwar ist eine Korrelation zwischen den höheren Herstellkosten und dabei niedrigeren Betriebskosten erkennbar, allerdings weisen über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, ökonomisch gesehen, die effizientesten Systeme günstige Herstellkosten mit verhältnismäßig guten Dämmeigenschaften auf. Für die Rückbaukosten sind die Faktoren der Trennbarkeit der Materialien entscheidend.

Abstract

The use of straw as a construction material has been common since formal times. The first straw bale houses were built in Nebraska in the mid of 19th century. Due to the spread of Portland concrete, straw disappeared from the scene, but has regained importance in recent decades. The construction method is particularly popular with self-builders, but due to the demand for renewable raw materials with regard to climate change, it has also become popular with the general public. In this work, seven different straw constructions spread among Austrian market, are compared between their life cycle costs. In the calculation, the entire life cycle, from production to utilisation, to disposal, was included. It could be proven that either the choice of facades or the type of load bearing structure affect the life cycle costs. Although a correlation between the higher production costs and the lower operating costs can be seen, viewed over the entire life cycle, the most efficient systems from an economic point of view have low production costs with relatively high thermal insulation properties. Regarding the disposal costs, factors concerning the separability of the materials are the determining factors for the disposal costs.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Geschichte des Strohballenbaus.....	3
3	Stroh als Baustoff	5
	3.1 Zulassung von Stroh als Baustoff	6
	3.2 Eigenschaften von Halmen	6
	3.3 Herstellung von Strohballen	7
4	Allgemeine bauphysikalische Betrachtung	9
	4.1 Wärmespezifische Eigenschaften	9
	4.2 Feuchteschutz.....	10
	4.3 Brandschutz	11
5	Anwendungen, traditionelle Ausführungen und moderne Entwicklungen...	11
	5.1 Allgemein	11
	5.2 Traditionelle Strohballen-Wandsysteme	12
	5.2.1 Nicht lasttragende Systeme	13
	5.2.2 Lasttragende Systeme	14
	5.2.3 Hybride Systeme.....	15
	5.3 Dach, Bodenplatte und Fundamente	16
	5.4 Moderne Entwicklungen.....	17
	5.4.1 Strohbauplatten.....	17
	5.4.2 Stroh als Einblasdämmung	17
	5.4.3 Vorgefertigte Holz-Stroh-Module.....	19
6	Stroh in ökologischer Hinsicht	20
	6.1 Rohstoffverfügbarkeit.....	20
	6.2 Umweltdeklarationen	20
7	Methodik.....	22
	7.1 Ziel und Beschreibung des Vorgehens	22
	7.2 Ermittlung der Errichtungskosten	24
	7.3 Ermittlung der Kosten für Betrieb, Instandhaltung und Pflege....	25
	7.3.1 Berechnung der wärmedämmenden Eigenschaften der Wandsysteme.....	25
	7.3.2 Ermittlung des (Referenz-)Heizwärmebedarfs	27
	7.3.3 Ermittlung der Heizenergiekosten	30
	7.3.4 Ermittlung der Kosten für Instandhaltung und Pflege	31
	7.4 Ermittlung der Rückbau- und Entsorgungskosten	31
8	Musterhaus und untersuchte Systeme	32
	8.1 Musterhaus	32

8.2	Betrachtete Wandsysteme	33
9	Ergebnisse	37
9.1	Allgemeines	37
9.2	Errichtungskosten – DSW HL (Infill-Doppelständerwand außen beplankt und hinterlüftet).....	37
9.3	Kosten Betrieb, Instandhaltung, Pflege – DSW HL	39
9.3.1	Berechnung der Heizenergiekosten	39
9.3.2	Instandhaltungskosten	40
9.4	Abbruch- und Entsorgungskosten – DSW HL	41
9.5	Lebenszykluskosten – DSW HL.....	45
9.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der betrachteten Wandsysteme	45
10	Auswertung	48
10.1	Errichtung.....	48
10.1.1	Auswirkung der Fassade auf die Kosten	48
10.1.2	Kostenfaktoren der traditionellen Strohwandssysteme	49
10.1.3	Kostenfaktor eingblasenes Stroh	49
10.1.4	Kostenfaktoren der im Werk vorgefertigten Wandmodule	50
10.2	Betrieb.....	50
10.2.1	Auswirkung der Konstruktion auf die Betriebskosten.....	50
10.2.2	Dämmeigenschaften der verschiedenen Stroh- Wandkonstruktionen.....	51
10.3	Instandhaltung	51
10.4	Nutzungsphase	51
10.5	Abbruch- und Entsorgungskosten.....	52
10.5.1	Auswirkende Faktoren auf die Entsorgungskosten.....	52
10.6	Lebenszykluskosten.....	53
11	Schlussfolgerung.....	53
12	Ausblick.....	54
13	Literaturverzeichnis	56
14	Anhang.....	61

1 Einleitung

Zur Wahrung der Umwelt setzten die Wiener Klimaziele auf effiziente, innovative und ressourcenschonenden Technologien in den Bereichen des alltäglichen Lebens [1]. Sowohl in den Sektoren Landwirtschaft, Verkehr, Energie und Industrie, als auch im Bereich Gebäude und Abfallwirtschaft ist ein Umdenken gefragt. Auf dem Weg zur Klimaneutralität bietet es sich im Gebäudemanagement an, auf ressourcenschonende Baumaterialien zurückzugreifen, welche sowohl nachwachsen als auch über den gesamten Lebenszyklus einen geringen ökologischen Fußabdruck aufweisen.

Um eine allumfassende Nachhaltigkeit im Gebäudemanagement zu gewährleisten, ist neben einer nachhaltigen Tragstruktur, meist in Form der Holzbauweise, der Einsatz von ökologischem Dämmmaterial von Bedeutung. Der Strohballenbau, ein Konstruktionsmittel, das schon seit etlichen Jahren, sowohl für lasttragende als auch dämmende Funktion Verwendung findet [2], und das zunächst von alternativen Baustoffen zurückgedrängt, nun aber zunehmend wieder an Bedeutung gewinnt, könnte eine Alternative zu herkömmlichen Dämmungen bieten. Obwohl mehrere Studien bereits minimierte CO₂-Emissionen durch den Einbau von Strohdämmungen nachweisen konnten [3]–[5], nehmen herkömmliche synthetische oder mineralische Dämmstoffe einen vorherrschenden Anteil am Markt ein [3], [6]. Dies ist auf ihr großes Kosten-Nutzen-Potenzial zurückzuführen. In Österreich gibt es bereits einige Strohbauer und Zimmereien, die auf Strohbauten setzen – es gibt Ausführungen von der lasttragenden Bauweise mit Stroh über ausfachenden Varianten zu dämmenden Zwecken bis hin zu im Werk vorgefertigten Modulen [7]–[9]. Für die lasttragende Variante, in der das Stroh sowohl die dämmende als auch die lasttragende Funktion übernimmt, gibt es in Österreich noch keine baurechtliche Genehmigung, wohl aber reguliert die *Europäische Bautechnische Zulassung ETA* die Eigenschaften von Stroh zur dämmenden Funktion [10].

Während bei traditionellen Strohkonstruktionen Ballen verwendet werden, deren Formgebung und Dichte durch spezielle Pressen erzielt wird [11], kommen heute modernere Technologien zum Einsatz. Solche sind zum Beispiel das Einblasen oder Pressen von Strohhacksel in vorgefertigte Hohlkästen oder die Vorfertigung der Wandkonstruktionen im Werk [8], [12], [13]. Derart neuartige

Technologien können für den einfacheren Einbau von Stroh in die Konstruktion und damit für eine raschere Verbreiterung sorgen [14].

Diese Arbeit macht sich zum Ziel, vorerst einen allgemeinen Überblick über Wandkonstruktionen mit Stroh zu geben und in einem zweiten Schritt, in Österreich angewandte Strohbauverfahren anhand ihres Lebenszykluses zu vergleichen. Damit soll die Frage beantwortet werden, welche Art der Konstruktionen ökonomisch gesehen am besten abschneiden. Dementsprechend teilt sich die Arbeit in zwei Blöcke auf: eine Literaturrecherche und eine Datenerhebung und -auswertung. Der erste Teil, die Literaturrecherche, gibt Informationen über Stroh als Baustoff, geht auf bauphysikalische Eigenschaften ein und beschreibt verschiedene Technologien. Im zweiten Teil erfolgen eine Präsentation der erhobenen Daten sowie deren Auswertung. Die Lebenszykluskosten der Strohwände beinhalten die Phasen Herstellung, Betrieb und Pflege, sowie Rückbau und Entsorgung. Dabei werden jeweils zwei verschiedene Arten von Fassadensystemen betrachtet. Die Ermittlung der Herstell-, Pflege-, Rückbau- und Entsorgungskosten erfolgt in dieser Arbeit über Strohbauexpert*innen, Zimmereien und Architekt*innen. Fehlende Daten werden über Internetrecherchen komplettiert. Die Ermittlung der Kosten der Betriebsphase erfolgt über die Berechnung des Heizwärmebedarfes mittels eigener Software.

Aus dieser Arbeit ergibt sich ein Bild davon, wie sich gewählte Ausführungsarten der Strohwände auf die verschiedenen Phasen des Lebenszykluses auswirken. Es ist nicht Ziel dieser Arbeit, Vergleiche mit herkömmlichen Bauweisen anzustellen. Des Weiteren werden in dieser Arbeit auch Untersuchungen zu den feuchtespezifischen Eigenschaften von Strohwänden angestellt.

2 Geschichte des Strohballenbaus

Als Stroh bezeichnet man die getrocknete Pflanzenstruktur zwischen dem Wurzelstamm und der Ähre von Getreide wie Weizen, Hafer, Roggen, Gerste oder Faserpflanzen wie Flachs, Reis oder Hanf [2], [11]. Werden die Halme gepresst, lassen sich daraus Strohballen herstellen. Dafür eignen sich verschiedene Ballenpressen, in denen das Stroh zu ca. 10 cm dicken Lagen gepresst wird, bevor es aneinandergereiht und mit Schnüren zu einem Ballen gebündelt wird [2].

Die ersten Strohballenbauten sind in den USA Mitte des 19. Jahrhunderts mit der Entwicklung der Strohballenballen-Pressen zu verzeichnen [2], [11]. Vor allem in den holzarmen Gegenden im Süden der USA sind Stroh Häuser zu finden. Die ersten Spuren führen nach Nebraska, ein Gebiet mit riesigen Getreidefeldern. Da die Dächer dort direkt auf der Strohballenwand ohne Unterstützung einer Holzkonstruktion aufliegen, nennt sich jene Technik „lasttragende“ Bauweise“ (oder „loadbearing straw-bale-house“), später auch „Nebraska-Stil“ [2]. Wenn auch die früheren dieser Bauten nur für temporäre Zwecke dienten, führten die guten dämmenden Eigenschaften sowie die (für den ein- bis zweigeschossigen Bau) ausreichenden statischen Eigenschaften in den USA zu einer Anerkennung als Dauerbehausung [2], [15].

Nachdem der Strohballenbau in Amerika in der „alternativen“ Szene Ende der 70er Jahre des 20. Jahrhunderts zunehmend an Bedeutung gewann, erreichte die Bauweise den Boom schließlich mit der Betrachtung des Strohhauses als Holzständerbauweise, die ein kalifornischer Architekt namens Jon Hammond 1984 im Magazin „Fine Homebuilding“ veröffentlichte [2]. Von da an entstanden zahlreiche Bauten aus Stroh, ferner gründeten sich Magazine, Firmen und Workshops in derartigem Umfang, dass Teile Amerikas Vorschriften für den Strohballenbau in die nationale Bauordnung aufnahmen, in welcher sie Festlegungen zu Mindestwanddicken, Maximallast oder zulässigem Feuchtegehalt der Ballen definierten [15]. Aus dem ersten großen Kongress zum Strohballenbau, der 1993 in Nebraska stattfand, leitete sich das „National Straw Bale Research Advisory Network“ ab, welches den Austausch aktueller Forschungsergebnisse zum Ziel hatte [2]. Für Strohballenbauer relevante Baubehelfe sammelten sich in diversen Büchern (z.B. „The Straw Bale House“,

oder „Buildings of Earth and Straw“). Architekten, Universitäten sowie öffentliche Stellen begannen, Strohballenbauten in Fragen Bauphysik, Material, Statik und in diversen Baukonstruktionen mit Holz-, Stahl-, Betonständersystemen oder auch in der lasttragenden Bauweise zu untersuchen und trugen die Erfahrungen durch diverse Bewegungen in die Welt weiter [2].

Bis der Strohballenbau in Europa ankam, war einige Zeit vergangen. Dem anfallenden Stroh galt dort meist die thermische Verwertung [2], [16], [17]. Mit dem am Beginn des 21. Jahrhunderts aufkommenden Bedürfnis an energiesparendem Bauen fand Europa schließlich Interesse an Stroh in der Form eines Bau- bzw. eines Naturdämmstoffes [2]. Anlass für den Strohbauboom in Europa waren die ab 1995 stattfindenden Workshops, geleitet von Harald Wedig und Martin Oehlmann, bei denen erste kleinere Strohballenhäuser gebaut wurden [11]. Während es um 1995 ca. vierzig Strohballenhäuser in England, Norwegen und Frankreich gab, sind es in Europa im Jahr 2001 bereits vierhundert [2].

Das erste genehmigte Strohballenhaus in Deutschland mit nicht lasttragenden Wänden wurde 1999 vom Architekten Matthias Böhnisch gebaut, das erste genehmigte lasttragende 2002-2005 durch den Landwirt und Bauunternehmer Peter Weber bei Trier. 2006 wurde die erste „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“ für Baustrohballen erwirkt. In der Schweiz, wo größere Freiheiten für Architekten und Baumeister herrschen, wurde vom Architekten Werner Schmidt 2002 ein 2-geschoßiges lasttragendes Wohnhaus errichtet; jener baute 2007 sogar ein 3-geschoßiges aus Großballen in Südtirol [11].

Die bisher existierende Zulassung für Baustrohballen ging 2017 in die *Europäische Technische Bewertung ETA-17/0247* „Baustroh – Wärmedämmung aus Strohballen“ über. Damit ist es möglich, europaweit genehmigungsfähige strohgedämmte Gebäude zu bauen, solange jene mit den nationalen Baugesetzen nicht im Widerspruch stehen [18].

In Österreich sorgte Günther Höchtl 1997 mit seinem Experimentalhaus aus Stroh für eine Anregung zum Bau von Strohhäusern. Im selben Jahr startete das Österreichische Bundesministerium für Landwirtschaft mit der Studie „Bauen mit

Stroh“ [2]. Seit 1998 forscht das Austrian Strawbale Network (ASBN) gemeinsam mit dem „Global Strawbale Network“ (GSBN) und der „European Straw Building Association“ (Vorgänger ESN), sowie dem „Fachverband Strohballenbau Deutschland“ (FASBA) an Strohballenbauten, entwickelt diese und betreibt eines der größten Netzwerke zum Thema nachhaltiges Bauen [19]. Herbert Gruber, einer der wichtigsten Vertreter des Strohballenbaus sowie auch Gründer und Obmann des ASBN-Vereins entwickelte 1998 gemeinsam mit diversen Partner*innen, u.a. der „StrohTec Forschungs-Entwicklungs- und Vertriebs GmbH“, ein variables und preisgünstiges Fertighaus-System, ausgeführt als Holzrahmenbauweise mit Strohdämmung, das sowohl preislich mit einem gewöhnlichen Fertigteilhaus verglichen werden kann als auch bauphysikalischen und baubiologischen Richtlinien entspricht [2]. Im Zusammenhang mit dem Wettbewerb „Haus der Zukunft“ prüft das Netzwerk ASBN mit der Gruppe für Angepasste Technologie der TU Wien, der GrAT, Dämmvermögen, Brand- und Feuchteverhalten verschiedener Strohballenwände [2], [20], [21]. Charakteristisch für die Bauweise in Österreich sind die Gebäude „Einfamilienhaus in Hitzendorf“ (1999), das „Passivhaus in Tattendorf“ (2006) sowie das „S-House in Böheimkirchen“ (2008). Mittlerweile gibt es in Österreich jedoch mehrere Architekt*innen, Zimmereien, Handwerker*innen sowie Lehm- oder Strohfachexpert*innen, die Holzbauten mit Strohdämmung anbieten, darunter auch einige, die sich der lasttragenden Variante widmen [2], [7], [11]. Auf der internationalen Plattform Strohnatur, mit Sitz in Österreich und gegründet durch Herbert Gruber, finden sich eben solche Expert*innen in ganz Europa zusammen und beraten oder geben Hilfestellung beim Bau vor Ort [22], [23]. Neben den bestehenden Anbieter*innen von zertifizierten Strohballen als Dämmstoff [24] ist es auch möglich, ein Zulassungsverfahren von der GrAT für eigene bzw. für Strohballen von den nächstgelegenen Landwirt*innen einzuleiten [25].

3 Stroh als Baustoff

Dank seiner idealen bauphysikalischen Eigenschaften ist Stroh vor allem als Dämmstoff geeignet. Neben den wärmedämmenden Eigenschaften bietet der Baustoff in Vergleich zu synthetischen und mineralischen Dämmstoffen eine

hohe wirksame Wärmekapazität, welche zum sommerlichen Wärmeschutz beiträgt [26].

3.1 Zulassung von Stroh als Baustoff

Die *Europäisch Technische Bewertung ETA-17/0247* bestimmt die Eigenschaften für „Baustroh“ ausschließlich für die Nutzung als Wärmedämmstoff. In diesem Fall wird das gepresste Stroh in eine tragende oder nichttragende Außenwand-Konstruktion oder zwischen Dachsparren eingebaut [10]. Die ETA normiert Herstellungsbedingungen des wärmedämmenden Baustrohs sowie seine bauphysikalischen Eigenschaften.

Eine lasttragende Funktion des Baustrohballens ist, jedenfalls in Österreich, nicht offiziell anerkannt. Die baurechtliche Genehmigung ist gesondert einzuholen oder beruht auf eigener Haftung der Zimmerei oder der Bauherr*innen [27]. Die Problematik der lasttragenden Bauweise ist auf das Fehlen der aussteifenden Bauelemente gegen horizontale Belastungen (z.B. Windkräfte) zurückzuführen, welche bei der nicht lasttragenden Variante die Holzständer übernehmen. Dass der Putz zur Aussteifung des Gebäudes beiträgt, konnte zwar in internationalen Tests nachgewiesen werden [28], wurden aber bis dato nicht anerkannt.

3.2 Eigenschaften von Halmen

Die Bestandteile Zellulose, Lignin und Silikat bilden mitsamt einer mikroskopisch feinen wasserabweisenden Wachsschicht die Zusammensetzung des Strohalms. Der rohrförmigen Struktur verdankt der Strohalm seine (Reiß-)Festigkeit und seine Elastizität, während die darin befindlichen Lufträume für die Wärmedämmung Sorge tragen [2].

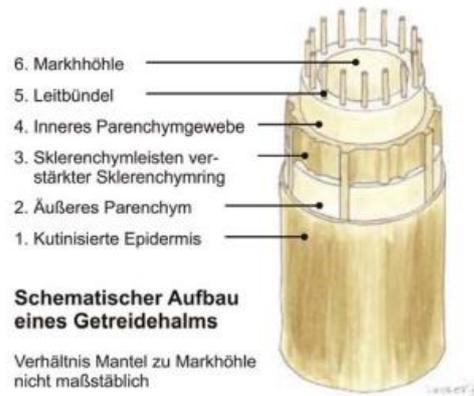


Abb. 1: Schematischer Aufbau eines Getreidehalms [28]

Betrachtet man einen Strohalm aus einer statischen Perspektive, wirkt der Halm wie eine eingespannte Stütze mit freiem Ende, vertikal belastet durch das Gewicht des Halms und der Ähre. Aufgrund seiner Schlankheit rührt die Knickgefahr her, die durch seine Rohrform sowie seinen Aufbau (siehe Abb. 1) beschränkt wird. So wirken die harten inneren Bestandteile der Leitbündel (Epidermis, Sklerenchymring und Sklerenchymleisten sowie Sklerenchymverstärkungen) wie eine Stahlarmierung, die Parenchymschichten wie eine Betonfüllung. So kann der Halm wie eine stahlverstärkte Betonstütze betrachtet werden.

Treten Kräfte auf, werden diese über die Verstärkungen aufgenommen. Die Füllung hält diese Verstärkungen zusammen und hat somit einen zusätzlichen aussteifenden Effekt [28]. Da sich bei einem reifen Halm Lignin inkrustiert, aber auch der Wassergehalt in den Zellen abnimmt, verhält sich ein trockener, gelber Halm bei Auftreten einer Kraft zunehmend plastisch, spröde und mit irreversibler Verformung. Die Reaktion des Halmes ist aufgrund der Rohrwirkung anisotrop. Während Kräfte in Richtung der Rohrachse besser abgetragen werden, verformt sich der Halm bei einer Belastung senkrecht zur Achse oval. Je nach Reifegrad des Halms, nimmt dieser nach Entfernen der Last die ursprüngliche Form ein oder endet mit zunehmender Last in einem Sprödbbruch [28].

3.3 Herstellung von Strohballen

Die folgenden Strohsorten eignen sich aufgrund der Festigkeit von Bauballen in gemeinsamer Betrachtung mit der „Holzigkeit des Strohs“ in absteigender

Reihenfolge als Baustoff: Winterweizen, Dinkel, Roggen, Wintergerste, Sommerweizen, Hafer, Sommergerste [11].

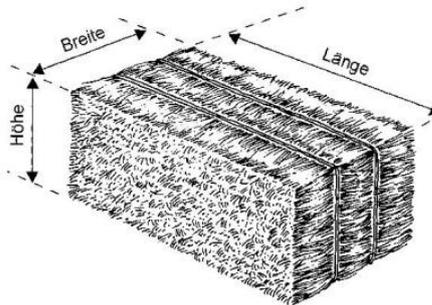


Abb. 2: Ballenhöhe, -Breite und -Länge [30]

Für die Herstellung rechteckiger Ballen wird das gedroschene Stroh mit Hochdruck-Kleinballenpressen (HD-Pressen) oder Quaderpressen (Großballenpressen) zu etwa zehn Zentimeter dicken Lagen geformt, die mehrfach aneinandergereiht zu einer Einheit geschnürt einen Strohballen ergeben. Um die Qualität des Strohs aufrecht zu erhalten, ist neben der Berücksichtigung der Halmcharakteristik, wie beispielsweise Farbe, Feuchtegehalt, welcher weniger als 15% zu betragen hat, Halmlänge oder einem geringen Beiwuchsanteil, auf einen sachgemäßen beschädigungsfreien Herstellprozess zu achten. Letzteres kann sowohl durch Auswahl des Mähdreschers als auch durch die Pressmaschine beeinflusst werden [11], [22], [28], [29].

Während die Länge der Ballen vorwiegend variabel ist, ergeben sich die Ballenhöhen und -breiten aus den Abmessungen des Presskanals. Die Definitionen für Höhe, Breite und Länge sind der Abb. 2 zu entnehmen. Da es vorkommt, dass die Ballenlängen, weniger ihre Höhen und Breiten, trotz identer Einstellungen Toleranzen von bis zu +/-10 cm aufweisen [29], [31], sind gerade bei einer Holzständerbauweise mit gleich bleibenden Ständerabständen die Hohlräume mit weiteren Lagen auszufüllen.

Üblicherweise kommen Kleinballen, mit den Abmessungen h 36 x b 46 – 50 x l 65 – 110 (Maße in cm) und Pressdichten von ca. 120 kg/cm³ zum Einsatz, welche aufgrund der leichten Handhabung und vor allem im Selbstbau angewendet werden [29]. Die HD-Pressen sind v.a. in kleinen landwirtschaftlichen Betrieben wiederzufinden, haben ihren Dienst jedoch weitgehend zugunsten der Quaderpresse, die bei größeren landwirtschaftlichen

Einrichtungen Verwendung findet, eingestellt. Folglich lassen sich Ballenabmessungen von 80-120x70-130x80-300 cm und Dichten bis zu 220 kg/cm³. realisieren [28]. Solche Strohballen kommen auch in der lasttragenden Strohballenbauweise zur Anwendung [29].

Abhängig vom Hersteller und Typ der Presse sowie deren Einstellung und Zustand, wird neben den Abmessungen die Dichte des Strohballens bestimmt [28], [29], welche eine nicht unwesentliche Rolle für die Balleneigenschaften spielt. Steigt die Dichte, verbessert sich die Formhaltigkeit des Strohs [28], [32]. Zudem beeinflusst die Dichte die wärmedämmenden Eigenschaften der eingebauten Strohballen, da sie sich auf Konvektion und Transmission innerhalb der Strohballen auswirkt. Untersuchungen zeigen, dass eine Dichte zwischen 110 und 130 kg/cm³ einen optimalen Wärmetransport gewährleistet [28], [33]. Die *ETA-Zulassung* schreibt eine Rohdichte von Ballen von 100 +/- 15 kg/cm³ vor [10].

4 Allgemeine bauphysikalische Betrachtung

4.1 Wärmespezifische Eigenschaften

Transmission, Konvektion und Strahlung sind kennzeichnend für den Wärmetransport eines Ballens. Ersteres tritt vor allem über den Mantel des Halms auf, die beiden letzteren durch die Luft in und zwischen den Halmen. Mit den Änderungen in der Dichte ändert sich somit auch der Wärmetransport. Wären die Halme sehr verstreut angeordnet, ergäbe sich eine sehr hohe Konvektion und die thermische Energie könnte durch die Luft ungehindert durch den Ballen strömen. Hingegen wäre bei einem dichten Ballen der Konvektionsanteil gering, die Wärmeleitung hoch. Neben der Dichte der Halme, wirkt sich auch die Anordnung der Ballen auf den Wärmestrom aus: Bei flach liegender Ballenanordnung ist die Wärmeleitfähigkeit niedriger als bei hochkant stehender Anordnung (für die Ballenanordnung siehe Kapitel 5.1).

Krick, 2008 [28] veranschaulicht durch die Publikation verschiedener Messergebnisse aus den USA, Kanada, Deutschland und Österreich, dass die Wärmeleitfähigkeiten von Ballen streuen, da sie von den Probebedingungen abhängen. Es ist jedoch zu erkennen, dass bei selber Dichte und selber Temperatur ähnliche Wärmeleitfähigkeiten nachweisbar sind.

Verglichen mit anderen Dämmstoffen, hat der Strohballen bei einer entsprechenden Dichte aufgrund seiner hohen Wärmekapazität eine relativ hohe Wärmespeicherfähigkeit (siehe Tab. 1).

Tab 1. Spezifische Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Baustoffe je Kubikmeter [28]

Baustoff	Spez. Wärmekapazität [J/kgK]	Rohdichte [kg/m ³]	Wärmespeicherfähigkeit [kJ/K]
Stahl	450	7500	3375
Glas	759	2500	1875
Beton	1000	2000	2000
Kalksandstein	1000	2000	2000
Vollziegel	1000	1800	1800
Mineralwolleplattens	1030	149	153
Polystyrolschäum (XPS)	1450	45	65
Zellulosefasern	1900	55	105
Strohballen	2000	115	230
Holzfaserdämmplattens	2100	170	357
Wasser	4182	1000	4182

4.2 Feuchteschutz

Ebenso wie andere organische Baustoffe, läuft auch Stroh Gefahr zu verrotten und Schimmelpilze zu entwickeln, wenn eine hohe Luftfeuchtigkeiten oder begünstigende Temperaturen vorherrschen. Es ist davon auszugehen, dass bei einer relativen Luftfeuchte unter 70% in den Konstruktionen kein Schimmelpilzwachstum erfolgt [28]. Die europäische Zulassung schreibt für den Einbau der Ballen einen massenbezogenen Feuchtegehalt von 11,8 % bei 23 °C und 80 % relative Luftfeuchte vor [10].

Strohwände sind im Sockelbereich vor Spritzwasser zu schützen, die Außenhaut ist feuchteabweisend zu gestalten. Hierfür dient eine geeignete Beplankung oder ein Außenputz [34].

Um einen ganzheitlichen Feuchteschutz zu gewährleisten, ist neben der Vermeidung von Nässe im Außenbereich auch das Entstehen von Tauwasser einzuschränken. Tauwasser kann sich bei absinkender Oberflächentemperatur aufgrund der steigenden Luftfeuchte bilden. Dies geschieht vor allem bei Wärmebrücken [34]. Ebenso ist ein diffusionsoffener Aufbau vorzusehen, damit Wasserdämpfe, die im Inneren des Gebäudes entstehen, leicht nach außen diffundieren können und somit die Feuchtigkeit austrocknet. Hierfür ist die äquivalente Luftschichtdicke der Aufbauten zu prüfen, welche die Austrocknungsfähigkeit des Materials kennzeichnet. Da Lehm die eindringende Feuchte leicht aufnehmen und später wieder abgeben kann, wird als Innenputz meist Lehm verwendet. Als Außenputz eignet sich beispielsweise eine dünne diffusionsoffene Kalkschicht, da diese wasserabweisende Eigenschaften besitzt [20], [34], [35].

4.3 Brandschutz

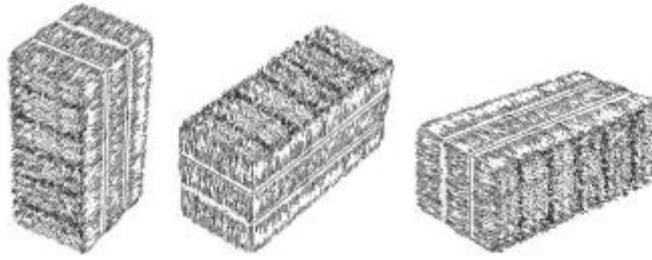
Der zertifizierte Baustoff Stroh genügt lt. der europäischer Zulassung *ETA* der Brandklasse E (normalentflammbar) [10]. Während loses Stroh leicht entflammbar ist, gelangt beim gepressten Stroh wenig Luft zum Brandherd. Wie beim Holz entwickelt auch das Stroh beim Brand eine Pyrolyseschicht, die vorerst vor weiterer Verbrennung schützt [34]. Erfolgt eine zweiseitige Verputzung mit Lehm bzw. Kalk, kann die Konstruktion zu einer feuerhemmenden (EI30) bzw. hochfeuerhemmenden (EI90) Brandschutzklasse, je nach Dicke des Putzes, aufsteigen [20], [34], [36].

5 Anwendungen, traditionelle Ausführungen und moderne Entwicklungen

5.1 Allgemein

Strohballen lassen sich stehend, hochkant liegend oder flach liegend (siehe Abb. 3) einbauen. Bei Holzständerkonstruktionen kommen meist stehende und

hochkant liegende Einbaulagen zum Tragen, bei lasttragenden Gebäuden flach liegende. Davon beeinflusst sind auch einige Eigenschaften der Wände, wie zum



Beispiel der Wärmestrom, der bei der stehenden Halmanordnung kleiner ist, wohingegen sich der Ballen dafür schwieriger verputzen lässt [11], [28], [35].

Abb. 3. Einbaulage der Strohballen von rechts nach links: aufrecht stehend (s), hochkant liegend (hl), flach liegend (fl) [35]

5.2 Traditionelle Strohballen-Wandsysteme

Prinzipiell erfolgt die Klassifizierung von Strohballen-Wandkonstruktionen in drei Arten [28]:

- Nicht lasttragende Systeme (siehe Abb. 4)
- Lasttragende Systeme (siehe Abb. 5)
- Hybride Systeme (siehe Abb. °6)

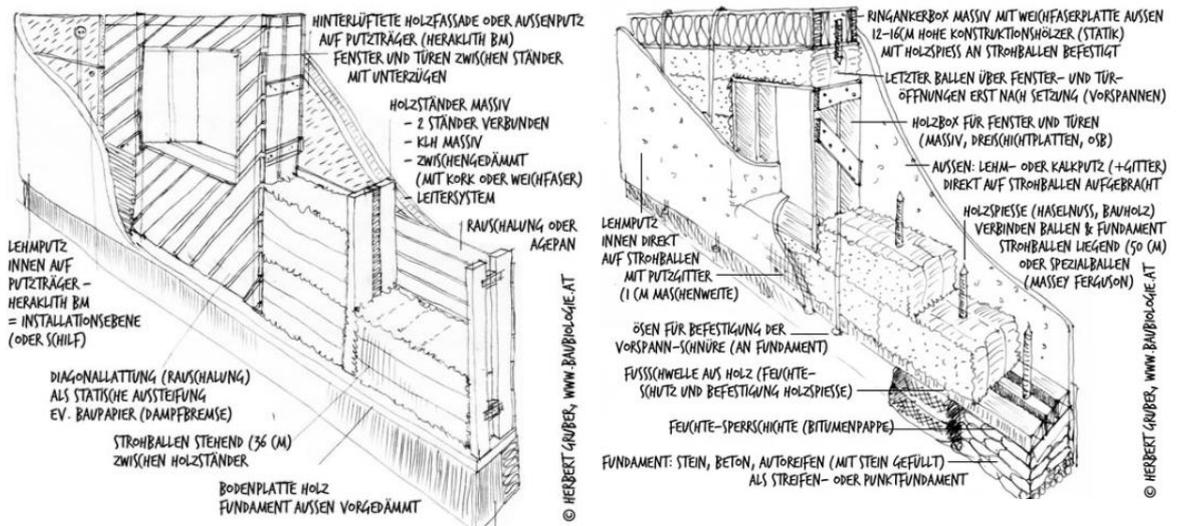


Abb. 4 und Abb. 5: Nicht lasttragende Systeme (links), Lasttragende Systeme (rechts) [23]

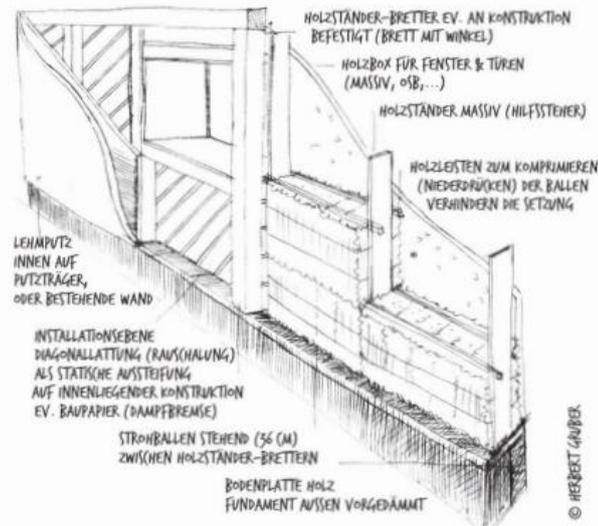


Abb. 6 Hybrides System [23]

In den nachfolgenden Abschnitten werden die einzelnen Systeme im Detail beschrieben.

5.2.1 Nicht lasttragende Systeme

Nicht lasttragende Systeme (im Englischen unter „non loadbearing“ oder „in-fill bale“ bekannt) tragen die Lasten über ein zusätzliches Tragsystem ab. Eine beispielhafte Ausführung mit tragenden Doppelständern ist in Abb. 4 dargestellt. Darin haben die Strohballen nur eine ausfachende Aufgabe und dienen weiters zur Wärmedämmung sowie zum Raumabschluss [11], [28]. Nach der Art des Tragsystems, das in der Regel aus Holz besteht, lassen sich Strohballen-Wandsysteme einteilen in Skelett-, Rahmen- und Scheibensysteme [28], [30].

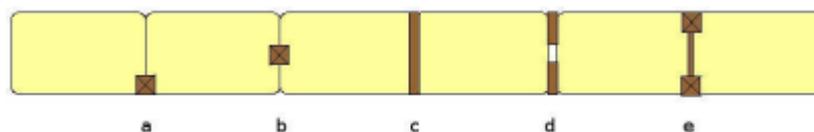


Abb. 7 Skelettstrukturen und Rahmensysteme: a innen stehender Holzständer, b, mittig stehender Holzständer, c, durchgehende Bohle, d) innen und außen stehende Bohle und e) TJI Träger [35]

Bei Skelettsystemen tragen vorwiegend hölzerne Stützen die Kräfte ab. Hierbei sind verschiedene Stützenanordnungen möglich. Diese sind in Abb. 7, a-b dargestellt. Holzrahmensysteme, Abbildung 7, c und e, bestehen meist aus

ballenbreiten Stützelementen aus Bohlen, I-Trägern oder gedämmten Holzprofilen. Für die horizontale Aussteifung der beiden Tragstrukturen eignen sich Windrispenbänder, Plattenmaterial wie beispielsweise OSB-Platten oder auch eine Diagonalschalung [11], [28]. Putzscheiben haben zwar erfahrungsgemäß eine aussteifende Wirkung, können aber rechnerisch, aufgrund fehlender Zulassungen, nicht berücksichtigt werden [30]. Zu Scheibentragwerken zählen Konstruktionen, bei denen eine Scheibe die statische Funktion, aber auch die Funktionen der Luftdichtheitsebene sowie der Horizontalaussteifung übernimmt. Diese Scheibe kann aus Mauerwerk, Brettstapel- oder Kreuzlagenholz bestehen und liegt meist an der Rauminnenseite. Die Strohballe werden also vor die massive Wand gestellt und dienen lediglich der Wärmedämmung. Solche Systeme kommen auch in der Sanierung von Altbauten zur Anwendung. In diesem Fall wird der Ballen zur Verbesserung der Dämmeigenschaften nachträglich aufgebracht [28], [30].

In allen Fällen sind die Ballen an den Tragkonstruktionen zu befestigen, um das Herausfallen der Ballen zu vermeiden. Bei Skelettstrukturen kann dies über eine Lattung erfolgen, welche die Ballen mit den Stützen verbindet [28].

5.2.2 Lasttragende Systeme

Unter lasttragendem Strohballebau (auch unter „loadbearing“ oder „Nebraska-Stil“ bekannt) versteht man Konstruktionen des Modells in Abb. 5, bei denen die Ballen sowohl die Tragstruktur bilden als auch die wärmedämmende und die raumabschließende Funktion übernehmen [30]. Dafür werden die Ballen wie Ziegel im Versatz vorwiegend flach liegend aufgemauert und mit Spießen aus Stahl, Holz oder Bambus mit dem Fundament verbunden [2]. Um Bauschäden im Betriebszustand durch nachträgliche Setzungsrisse zu vermeiden, ist eine Verdichtung bzw. Vorspannung der Wand notwendig. Dafür wird zum Wandabschluss ein stabiler, durchgehender Ringanker aus Holz (oder Beton) angebracht, der das Gewicht der darüber liegenden Dachlasten und die daraus hervorgerufenen Spannungen bzw. Kompressionen gleichmäßig auf die Ballen verteilt [2], [30]. Zusätzlich ist jener Ringanker mit dem Fundament durch Zugelemente verbunden, durch deren Verkürzung eine Vorspannung der Wand entsteht, die so groß sein soll, dass bei Entlastung und erneuter Belastung keine

Setzungen mehr auftreten [2], [30]. Zugelemente können in Form von Spanngurten ausgeführt werden [30]. Oberhalb der Tür- und Fensterstürze sind zunächst vom Stroh freie Zonen vorzusehen, da eine Komprimierung aufgrund der dort befindlichen (Holz-)Elemente nicht möglich ist. Nach Ausklingen der Setzungen können diese Aussparungen anschließend mit Stroh verfüllt und die Wände innen und außen verputzt werden. Üblicherweise dauert der Setzvorgang 6-8 Wochen [2].

Lasttragenden Systemen werden Vorteile wie Ersparnisse von Kosten und Zeit aufgrund der vereinfachten Bauweise nachgesagt, weshalb sie auch im Selbstbau angewendet werden [2], [20], [30]. Allerdings sind einige Erschwernisse zu beachten. Da in der Regel das Dach erst nach dem Aufbauen der Wände aufgebracht werden kann, ist eine erhöhte Witterungsbeständigkeit während der Bauphase einzuplanen [11], [28]. Außerdem ergeben sich Beschränkungen aus der empfohlenen maximalen Schlankheit der Wände, die vorsehen, dass die Bauhöhe die 5,6-fache Ballenbreite unterschreiten soll. Zudem wird eine maximale Einwirkung von 20 kN/m² empfohlen [2], [30]. Damit kommen mit Kleinballen nur eingeschößige Bauten in Frage. Mit sogenannten „Jumbo-Ballen“ (Großballen), die 1,2 m breit sind, konnten in Südtirol und in der Schweiz von Werner Schmidt allerdings bereits zwei- und dreigeschossige Gebäude aufgestellt werden [30], [37], [38]. Eine Anwendung von kombinierten Systemen, sogenannten „hybriden“ Systemen, kann die Einschränkungen an Schlankheit und Maximallast verringern [30]. Hierbei übernimmt ein alternatives System, z.B. eine Glasfront, einen Teil der Lasten. Allerdings ist dabei auf das Eintreten unterschiedlicher Setzungen der unterschiedlichen Materialien Acht zu geben [30], [39]. Hinzu kommen Erschwernisse aus Baugenehmigungen und zulassungstechnischen Aspekten (siehe Kapitel 3.1) [27], [30], [40].

5.2.3 Hybride Systeme

Hybride Systeme sind Systeme, bei denen sowohl Strohballen als auch weitere tragende Elemente zum Lastabtrag verwendet werden [28], [38], [39].

1982 konzipierte der Kanadier Louis Gagné eine Technik, auch als „Gagné - Technik“ bekannt, bei der kreuzweise aufgeschichtete und vermörtelte Ballen die Wandstruktur formieren. Da sowohl das Mörtelskelett als auch das

Stroh die tragenden Elemente bilden, wird die Bauweise als hybrides System bezeichnet. Aufgrund der nachgewiesenen Wärmebrücken bewährte sich dieses System jedoch nicht [30]. Bei Herbert Gruber findet stattdessen die „Cells under Tension-Technik“ (auch „CUT-Technik“ genannt) Anwendung. Wie in Abb. 6 demonstriert, übernimmt ein Einfachständer mitsamt den (mörtellos) aufgemauerten Baustrohballen die Tragfunktion, Putzoberflächen oder Diagonalschalungen sind für die Horizontalaussteifung verantwortlich. Obendrein kommen Holzleisten, sogenannte „CUT-Leisten“, zum Einsatz, welche die einzelnen Strohballe komprimieren, sie in der der Konstruktion halten und das Ausknicken des Ständers verhindern [41].

5.3 Dach, Bodenplatte und Fundamente

Strohballengedämmte Dächer sind möglich, sofern in der Planung die Ballendimensionen mitberücksichtigt werden. Es ist nötig, Sparrenräume herzustellen, die eine Tiefe von ca. 34 cm und Breiten von 70-75 cm aufweisen, sodass sie anschließend von den Ballen befüllt werden können. Wie bei herkömmlichen hölzernen Dachkonstruktionen bekannt, erfolgt an der Außenseite eine Dachschalung (Verbretterung o.Ä.) mit einem darüberliegenden feuchtigkeitsundurchlässigen Unterdach (z.B. einer naturharzimprägnierten Weichfaserplatte). Abschließend folgt eine Hinterlüftung aus Lattung und Konterlattung sowie eine darauf liegende Dachhaut. An der Dachinnenseite liegt eine luftdichte Dampfbremse. Überdies ist auch auf den Brandschutz zu achten: Brandhemmende Verkleidungen aus einer Nut-Feder-Holzverschalung oder einer Gipskartonplatte hemmen die Brandbildung [2].

Neben strohgedämmten Dachkonstruktionen kommen auch strohgedämmte Bodenplatten zum Einsatz. Die Strohballe werden auch hier in ein Gefach aus Holzschalung und Holzsparren gefüllt. Die Konstruktion ist an der Innenseite luftdicht auszuführen, während außen ein diffusionsoffener Schichtaufbau vonnöten ist, um ein höheres Dampfgefälle zu erhalten. Zur Feuchtereduzierung wird eine 50 cm starke Unterlüftung der strohgedämmten Bodenplatte mitsamt einer 10 cm hohen Schotterunterfüllung empfohlen [11], [41].

Das Fundament des Strohballehauses, meist als Streifenfundament ausgeführt, soll jedenfalls unter die Frostgrenze ragen und so weit aus der Erde

herausstehen, dass die Außenwände vor Spritzwasser geschützt sind. Zur Oberseite hin ist die Ausbildung einer Feuchtigkeitssperre (z.B. Bitumenbahn) geboten [2].

5.4 Moderne Entwicklungen

Bauprodukte aus Stroh wurden vielseitig untersucht und weiterentwickelt. Neben dem Einsatz als Strohballen finden sich weitere Arten des Einsatzes:

- Strohbauplatten
- Stroh als Einblasdämmung
- Vorgefertigte Stroh-Wandmodule

Auf diese angeführten Anwendungen wird in den folgenden Absätzen näher eingegangen.

5.4.1 Strohbauplatten

Strohbauplatten kommen im Trockenbau neben Gipskarton- und Gipsfaserplatten zum Einsatz. Sie können im Innenausbau aber auch als Dämmmaterial eingesetzt werden. Zur Herstellung der Platten wird das Stroh unter Druck- und Temperatureinwirkung ohne erforderlicher Bindemittelzugabe gepresst. Aufgrund ihrer Dichte und dem hohen Luftporenanteil überwiegen neben den wärme- auch die schalltechnischen Eigenschaften [42], [43].

Da die Strohbauplatten nicht Teil der in dieser Arbeit untersuchten Aufbauten sind, wird an dieser Stelle nicht näher darauf eingegangen.

5.4.2 Stroh als Einblasdämmung

Ähnlich wie eingeblasene Zellulose wird nach europäischer Zulassung zertifiziertes geschreddertes Stroh direkt auf der Baustelle oder vorgefertigt in das Holz-Gefach eingeblasen und verdichtet. Das geschieht mit herkömmlichen Einblasmaschinen über einen genau abgestimmten Luftstrom mit einem

definierten Druck über einen Schlauch durch eine Düse (siehe Abb. 8). Damit ist es möglich, die Bauteile ohne Fugen auszufüllen, selbst Elektroleitungen bzw. Installationen können damit gänzlich umschlossen werden [44]. Das dafür verwendete Stroh wird in Produktionsanlagen auf Faserlängen von ca. 5-30 mm getrimmt [45].

Die Verarbeitungsgeschwindigkeit liegt in Abhängigkeit der Maschine bei ca. 4,5m³- 9m³ pro Stunde bei einer Einbaudichte von ca. 100 kg/m³ [12]. Die so eingebrachte Strohdämmung besitzt eine Wärmeleitfähigkeit von 0,043 W/mK und die Brandschutzklasse E nach europäischer Norm *DIN EN 13501-1*.



Abb. 8: Einblasung von Stroh in die Wände [46]

Die Methode eignet sich für Neu- und Zubau und ebenso für den Altbau, für Wände, Decken oder Dächer [47]. Vorteilhaft sind die Unabhängigkeit von Ballengrößen, ein fugenloser Einbau sowie das Entfallen von aufwendigem Zuschneiden [42], [47]. Für die Verarbeitung von Stroh zu Einblasdämmung sind keinerlei Zusätze notwendig, es kommen weder Salze, Brandhemmer, Bindemittel noch Kleber zum Einsatz.

Nach dem Ende des Lebenszyklus kann das Material im Zuge des Rückbaus abgesaugt und daraufhin bis zu fünfmal wiederverwendet werden [45].

5.4.3 Vorgefertigte Holz-Stroh-Module

Es gibt bereits Unternehmen, die im Werk vorgefertigte, mit Stroh gedämmte Wandmodule liefern, die nur noch der Montage bedürfen (siehe Abb. 9). Hierbei sind verschiedene Systeme möglich: Einige Firmen liefern die Wände als Ganzes samt den elektrischen Einrichtungen, Fenstern, Türen und Rollädenkästen an die Baustelle [9], andere bieten je nach Kundenwunsch einzelne maßgeschneiderte Module an, welche wie ein Baukastensystem zusammengebaut werden [8]. Die Module werden im Werk aus einem Holzständerbau gefertigt, in denen Strohballen mit einem bestimmten Verfahren in die Hohlkästen gepresst werden ([8], [9]), oder in denen Strohhacksel mit speziellen setzungssicheren Verfahren eingebracht werden [8], [9], [48].



Abb. 9: Ecocon-Module [8]

Neben Holz und Stroh sind auch hier meist keine weiteren Zusatzmittel nötig. Die Montagezeit vor Ort beträgt für die Wände im Regelfall einen Tag. Darauf folgen die Fassadenarbeiten. Die Wärmeleitfähigkeiten streuen je nach Verfahren [48]. Aufgrund der unbrennbaren Hülle, vorausgesetzt die Verputzung wurde fehlerfrei ausgeführt, sind auch hier hohe Feuerwiderstände möglich, in der Tat bis zu 120 Minuten möglich [8]. Infolge der Komprimierung der Strohplatte lässt sich auch eine relativ hohe Luftschalldämmung von ca. 57 dB erreichen.

Das Resultat vorgefertigter Stroh-Holz-Module kann unter anderem zu einer Verkürzung der Bauzeit sein oder zu einer exakteren Kostenvorhersehbarkeit führen [8], [42]. Ein weiterer Vorteil ist die Witterungsunabhängigkeit, welche beim Material Stroh aufgrund der Feuchteempfindlichkeit von Nutzen ist. Da die im Werk vorgefertigten Wände weniger Fehler aufweisen, kommt es außerdem

üblicherweise zu einer homogeneren Verteilung des Strohs als Dämmstoff im Holzrahmen sowie zu einer größeren Luftdichtheit. Diese Homogenität verhindert die Bildung von Wärmebrücken. Um eine erhöhte Wärmedämmung zu garantieren, hat sich der Einsatz von Holzfaserplatten als zusätzliche außenseitige Dämmschicht bewährt [8].

6 Stroh in ökologischer Hinsicht

6.1 Rohstoffverfügbarkeit

Die Getreidestrohernte betrug in Österreich 2020 ca. 1,8 Mio. Tonnen Getreidestroh [49]. Zu den größten Anbaugebieten zählen die Bundesländer Niederösterreich, Oberösterreich und das Burgenland. Unter der Annahme, dass sich 20% der Ernte als Baustroh eignen würden, stünden dem Land Österreich 360.000 Tonnen pro Jahr zur Verfügung. Laut einer Marktanalyse betrug die Nachfrage an Dämmstoffen im Jahr 2021 5,7 Mio. Kubikmeter [6]. Bei einer Einbaudichte von 110 kg/m^3 würden die Strohballen die Nachfrage an Dämmstoffen unter den gegebenen Annahmen zu rund 60% decken.

6.2 Umweltdeklarationen

Synthetische Dämmstoffe oder Mineralwolle nehmen derzeit mehr als 90% des Dämmstoffmarktes ein [3]. Dies ist auf ihre guten thermischen, schalltechnischen Eigenschaften sowie auf die Wirtschaftlichkeit zurückzuführen. Verglichen mit herkömmlichen Dämmungen, weisen Strohdämmungen einen niedrigeren ökologischen Fußabdruck auf. Dies äußert sich in einem kleineren Primärenergieinhalt und Treibhauspotential im gesamten Lebenszyklus (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Umweltdeklarationen verschiedener Dämmstoffe [3]

Dämmstoff	Primärenergieinhalt (MJ-eq/kg)	GWP (kgCO ₂ -eq/kg)	Betrachteter Prozess ^a
Strohdämmung	0,89	0,18 ^b	E+M+T
EPS	114	4,86	E+M+D+T
XPS	107	13,67	E+M+D+T
Mineralwolle	44	2,31	E+M+T
Hanf	k.A. ^c	0,15 ^b	E+M+T

^a E=Rohmaterial, M=Herstellung, T=Transport, D=Verwertung
^b ohne Kohlendioxidsequestrierung
^c k.A. = keine Angabe

Der Primärenergieinhalt (PEI) „beschreibt den zur Herstellung des Produktes notwendigen Energieverbrauch. Er weist die graue Energie eines Baustoffes aus, beschreibt also die zur Herstellung verbrauchte Energie. Dabei wird zwischen erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energie unterschieden“ [50]. Das Treibhauspotenzial, englisch Global Warming Potential (GWP), „ist eine Maßzahl für den relativen Beitrag einer chemischen Verbindung zur globalen Erwärmung. Sie gibt an, wie viel eine bestimmte Menge eines Treibhausgases im Vergleich zur gleichen Menge Kohlendioxid (CO₂) über einen Zeitraum von hundert Jahren zum Treibhauseffekt beiträgt. Sie wird daher auch als Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂-Äquivalent) bezeichnet“ [51]. Beide Begrifflichkeiten dienen als Parameter zum Ausdrücken der Nachhaltigkeit.

Wie z.B. Holz, hat der Rohstoff Stroh einen negativen CO₂-Fußabdruck, da er die Eigenschaft besitzt, während seines Wachstums CO₂ zu speichern. Laut diversen Deklarationen und Studien speichert ein Kilogramm Stroh ca. 1,341 kg CO₂ (Kohlenstoffsequestrierung) [3], [4], [52]. Wird Stroh jedoch thermisch verwertet, wird das gebundene CO₂ wieder frei und gelangt in die Umgebung.

Studien haben ergeben, dass bei Strohbauten nur 6% des Primärenergieinhaltes bzw. 8% des Treibhauspotenzials auf die Herstellungsphase zurückzuführen sind. Der größte Anteil an CO₂ wird im Gebrauchszustand ausgestoßen. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet, ist den Strohänden dennoch ein geringerer ökologischer Fußabdruck verglichen zu herkömmlichen Bauweisen nachzuweisen [3], [5]. Dies ist auch darauf zurückzuführen, dass Strohkonstruktionen oft Dämmeigenschaften in Passivhausqualität aufweisen [53].

7 Methodik

7.1 Ziel und Beschreibung des Vorgehens

Um das Ziel dieser Arbeit zu erreichen, bauphysikalische und ökonomische Aussagen über Strohkonstruktionen, im Speziellen über Strohwände, zu tätigen sowie Erkenntnisse darüber zu gewinnen, werden sieben verschiedene Systeme miteinander verglichen. Dieser Vergleich beruht auf einer Gegenüberstellung jener Lebenszykluskosten, die aus den drei Blöcken „Errichtung“, „Betrieb, Instandhaltung und Pflege“ sowie „Abbruch und Entsorgung“ zusammengesetzt sind.

Die sieben verschiedenen Stroh-Wandaufbauten gehen teils aus bereits bestehenden Strohbauwerken hervor, teils aus Rechercharbeiten gängiger Systeme am österreichischen Markt. Insofern stammen vier der sieben Wandsysteme von einer „Strohbox“ [54], die vormals vom Camillo Sitte Bautechnikum in Wien unter der Anleitung vom Strohbau-Experten Herbert Gruber aufgestellt und daraufhin der TU Wien zu Forschungszwecken übergeben wurde. Die vier Wände der Strohbox sind unterschiedlich und jeweils in den „traditionellen Strohballen-Wandsystemen“ (siehe Kapitel. 5.2) ausgeführt: Erstes System ist eine, zur horizontalen Aussteifung, beplankte Doppelständerwand (DSW), bei der das Stroh nur die dämmende Funktion übernimmt, zweites ein, zur horizontalen Aussteifung, außen beplanktes hybrides System (CUT A), bei dem das Stroh teilweise tragende Funktion übernimmt, drittes ist ein direkt verputztes hybrides System (CUT B) und viertes ein direkt verputztes lasttragendes System (LT). Der fünfte untersuchte Wandaufbau stammt aus einem Prüfstand am Universitätsgelände der TU Wien – Standort Campus Science Center, welcher bauphysikalische Messungen einer Holzkonstruktion mit Stroh als Einblasdämmung (siehe Kapitel 5.4.2), in Zusammenarbeit mit den österreichischen Firmen DPM [55] bzw. ISO-Stroh [56], durchzuführen ermöglicht. Die letzten beiden untersuchten Stroh-Wandaufbauten sind Produkte der Strohbau-Firmen Ecococon (ECC) [8] und Casevere (CV) [9]. Ersteres stellt ein vorgefertigtes Stroh-Holz-Modul (siehe Punkt 5.4.3) dar, das zweite eine im Werk vorgefertigte strohgedämmte Ständerbauweise. Zusammengefasst befasst sich diese Arbeit mit folgenden sieben Systemen:

Tab. 3: Untersuchte Stroh-Wandsysteme

System	Kurzbezeichnung
Infill-Doppelständerwand - außen beplankt	DSW
CUT-Wand - außen beplankt	CUT A
CUT-Wand - direkt verputzt	CUT B
Lasttragendes System – direkt verputzt	LT
DPM-Stroh-Einblasdämmung	DPM
Ecococon-Stroh-Holzmodul	ECC
Casevere-System	CV
Fassade	Kurzbezeichnung
hinterlüftet	HL
verputzt	VP

Bezüglich der untersuchten Systeme ist darauf hinzuweisen, dass der Schichtaufbau von den am Markt verfügbaren der Konstruktionen lt. Tab. 3 direkt übernommen wurde (siehe Abb. 14-21), da diese Arbeit die Auswirkung der verschiedenen Aufbauten auf die Kosten untersucht und somit u.a. verschiedene Dämmstärken miteinander vergleicht. Beispielsweise sind Konstruktionen mit dünneren Dämmstärken billiger in der Herstellung, dafür aber aufgrund der höheren Heizkosten teurer in der Nutzungsphase. Die diesem Vergleich zugrunde liegenden Resultate über die Wirtschaftlichkeit der Systeme über den gesamten Lebenszyklus, befinden sich in Kapitel 10.6 bzw. 10.7.

Für alle Systeme, ausgenommen der CUT B (CUT-Wand - direkt verputzt) und des LT (Lasttragendes System – direkt verputzt), wurden in den Berechnungen jeweils die Variationen „hinterlüftet“ (HL) und „verputzt“ (VP) getroffen. In den folgenden Abschnitten werden die Wandsysteme mit ihren Variationen mit den in Tab. 3 genannten Kurzbezeichnungen angegeben.

Um die Mengen für die Kostenermittlung der Herstellung, des Energiebedarfs sowie des Rückbaus zu erhalten, wurde zunächst ein Musterhaus im Zeichenprogramm „SketchUp Pro 2021“ erstellt. Dieses ist als eingeschößiges Gebäude mit einer Grundfläche von 120 m² konzipiert. Darüber hinaus enthält es neun Fenster und eine Eingangstür. Das Dach ist als Flachdach mit 5° Neigung ausgeführt.

Alle genannten Preise bzw. Kosten sind in Nettopreisen angegeben.

7.2 Ermittlung der Errichtungskosten

Aus dem Gerüst des Musterhauses war es möglich, für jedes der oben genannten untersuchten Wandsysteme anhand der gegebenen Aufbauten (Schichten, Schichtstärken, Ständerabstände usw.) die Materialmengen zu bestimmen. Die Ausschreibungstexte, die das deutsche Unternehmen „BauStroh GmbH“ auf ihrer Plattform zur Verfügung stellt [57], bildeten anschließend die Ausgangsbasis für die daraufhin erstellten Leistungsverzeichnisse der untersuchten Wandsysteme. Da sich die Wandkonstruktionen in den Ausführungen in manchen Positionen unterscheiden, wurden für jedes System die jeweiligen Herstellermeinungen mittels Video- und Telefongesprächen eingeholt. Durch die ergänzenden Angaben der Stroh-, Holz- sowie Lehmbaufachexpert*innen resultierten nachfolgend Leistungsverzeichnisse, in welchen die Positionen für die anfallenden Herstellungsarbeiten mitsamt den zuvor ermittelten Mengen und noch zu ermittelnden Einheitspreisen aufscheinen.

Für das Ermitteln der Herstellkosten der Systeme DSW (Infill-Doppelständerwand), CUT A (CUT-Wand – außen beplankt), CUT B (CUT - Wand – direkt verputzt) und DPM (DPM-Stroh-Einblasdämmung) wurden die Positionspreise der Leistungsverzeichnisse am österreichischen Markt recherchiert: Dabei wurden die Holzpositionen durch Interviews und Preisanfragen mit Zimmereien abgefragt, Stroh-Positionspreise sowie die Preise von Lehm- und Kalkarbeiten durch Interviews mit Stroh(bau)expert*innen bzw. Lehmbauexpert*innen. Ergänzend wurden Leistungsverzeichnisse bereits abgeschlossener Strohbauprojekte herangezogen, welche über Recherchearbeiten und etliche Kontaktaufnahmen mit Architekten, Fachexperten und Zimmereien Österreichs angesammelt wurden. Für die Preisermittlung der Systeme ECC (Ecococon-Stroh-Holzmodul) bzw. CV (Casevere- System) wurde bei den Herstellern ein Kostenvoranschlag auf Basis des Musterhauses für die fertigen Elemente angefordert, da diese als vorgefertigte Systeme an die Baustelle geliefert werden. Lediglich übrige Positionen, die im Kostenvoranschlag nicht enthalten waren, da sie in der Verantwortung des Bauherrn stehen (z.B. Hinterlüftung, Verputzarbeiten), aber deren Einheitspreise aus den vorherigen Wandaufbauten bekannt waren, wurden im Leistungsverzeichnis einzeln bepreist.

Es sei darauf hingewiesen, dass Baustellengemeinkosten, welche die gesamte Bauzeit des Wohngebäudes betreffen, in den Herstellungskosten nicht miteinkalkuliert worden sind. Solche sind z.B. Baucontainer, Aufstellen des Bauzauns usw. Ebenso wurden unvorhergesehene oder schwer abschätzbare Kosten wie z.B. zusätzliche Planungskosten oder Regiekosten nicht eingerechnet, da sie nur auf Abruf oder unter speziellen Gegebenheiten auftreten und somit nicht verallgemeinert werden können.

Zur Vergleichbarkeit der einzelnen Wandsysteme (mit den Variationen HL für „hinterlüftet“ und VP für „verputzt“) sind die Herstellkosten, die aus den Summen der Positionspreisen hervorgehen, in m^2 -Preisen, bezogen auf die äußere Nettowandfläche (äußere Wandfläche abzüglich der Fenster- und Türflächen) des Musterhauses, angegeben.

7.3 Ermittlung der Kosten für Betrieb, Instandhaltung und Pflege

7.3.1 Berechnung der wärmedämmenden Eigenschaften der Wandsysteme

Um in bauphysikalischer Hinsicht Unterschiede in den Wandsystemen zu erkennen, wurde zunächst der Wärmedurchgangskoeffizient („U-Wert“) ermittelt. Dieser ist ein „Maß für den Wärmedurchgang durch einen festen Körper von einem Fluid in ein zweites Fluid (ein Gas oder eine Flüssigkeit) aufgrund eines Temperaturunterschiedes zwischen den Fluiden“ [58]. Er gibt die Wärmeenergie in Watt an, die bei einem Temperaturunterschied von einem Kelvin in einer Sekunde durch einen Quadratmeter Wandfläche geleitet wird. Die Einheit ist $\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$ (Watt pro Quadratmeter und Kelvin). Der Wärmedurchgangswiderstand hängt von den Wärmeleitfähigkeiten (λ) der eingesetzten Materialien, deren Schichtdicken, der Bauteilgeometrie sowie den Übergangsbedingungen an den Bauteiloberflächen ($R_{\text{se}} + R_{\text{si}}$, siehe Formel (1)) ab [59].

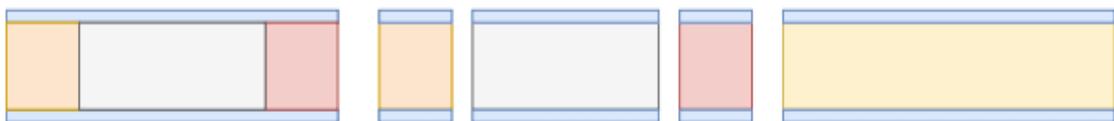


Abb. 10, Abb. 11 und Abb. 12: Inhomogene Konstruktion (links), Berechnung oberer Grenzwert (Mitte), Berechnung unterer Grenzwert (rechts) [59]

Die U-Werte wurden mithilfe des U-Wert-Rechners des online-Programms „ubakus“ ermittelt. Das Programm ermöglicht eine schichtweise Eingabe der einzelnen Wandaufbauten mit ihren Stärken und errechnet aufgrund seiner umfangreichen Bibliothek an normierten Bauteilen und den zugehörigen wärmetechnischen Kennwerten (z.B. Wärmeleitfähigkeit) die U-Werte. Für Produkte, die in der Bibliothek nicht enthalten waren, wurden die Wärmeleitfähigkeiten aus den Produktdatenblättern der Hersteller entnommen und in den U-Wert-Rechner eingespielt. Das Programm „ubakus“ führt die Berechnungen aufgrund der Formeln (1-5) gemäß *DIN EN ISO 6946*¹ durch [59]. Dabei wird in „homogene“ und „inhomogene“ Bauteile unterschieden. Unter „homogenen“ Konstruktionen versteht man solche, deren Aufbauten über die gesamte Fläche einheitlich sind (z.B. Putz, Beplankung etc.). Inhomogene Bauteile sind jene, bei denen eine Schicht aus mehreren Anordnungen besteht, wie z.B. eine Dämmung zwischen Sparren (siehe Abb. 10-12) [59].

¹ Das Berechnungsverfahren der DIN EN ISO 6946 ist, genauso wie jenes der ÖNORM EN ISO 6946, dem Verfahren der EN ISO 6946 gleichzusetzen [60].

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si}} \quad (1)$$

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{\frac{R_T' + R_T''}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{1}{R_T'} = \sum_k \frac{f_k}{R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{si}} \quad (3)$$

$$R_T'' = R_{se} + \sum_j R_j + R_{si} \quad (4)$$

$$\frac{1}{R_j} = \sum_k \frac{f_k}{R_k} \quad (5)$$

mit

U ...Wärmedurchgangskoeffizient in $W/(m^2 K)$

R_T ...Wärmedurchgangswiderstand in $m^2 K/W$

R_{se} ...äußerer Widerübergangswiderstand in $m^2 K/W$

d_i ...Dicke der Schicht i in m

λ_i ...Wärmeleitfähigkeit der Schicht i in $W/(m K)$

$(d_i/\lambda_i)=R_i$...Wärmedurchlasswiderstand der Schicht i in $m^2 K/W$

R_{si} ...innerer Wärmeübergangswiderstand in $m^2 K/W$

R_T' ...Oberer Grenzwert in $m^2 K/W$

R_T'' ...Unterer Grenzwert in $m^2 K/W$

f_k ...Teilflächenfaktor des Bauteils k

R_j ...Wärmedurchlasswiderstand der eindimensionalen Schichtenfolge j in $W/(m K)$

Die Wärmedurchgangswiderstände wurden gem. *DIN EN ISO 6946, Tabelle 7* mit $R_{se} = 0,04$ und $R_{si} = 0,13 m^2 K/W$ angenommen.

7.3.2 Ermittlung des (Referenz-)Heizwärmebedarfs

Zur Ermittlung der Heizkosten über die Lebensdauer wurde zunächst der Referenz-Heizwärmebedarf (HWB_{Ref}) berechnet. Dieser gibt die „errechnete Energiemenge, die je Gebäudenutzfläche innerhalb der Heizperiode zuzuführen ist, an, um die gewünschte Innentemperatur aufrechtzuerhalten“ [61]. Er ist meist in der Einheit Joule (J) bzw. in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Der Heizwärmebedarf ist abhängig von der Gebäudegeometrie, den U-Werten, den Außen- und Trennflächen, den Gesamtenergiedurchlassgraden (g-Werte) der

Fensterflächen sowie der Orientierung und Abschattung der Glasflächen [61]. Der HWB_{Ref} entspricht dem Heizwärmebedarf bei Verwendung eines Referenz-Lüftungsleitwertes und einer Referenz-Nutzung des Gebäudes. Dieser lässt Wärmegewinne aus Wärmerückgewinnung unberücksichtigt.

Der Heizwärmebedarf wurde mithilfe der Bauphysiksoftware „ArchiPHYSIK 18“ berechnet. Da für die Berechnung Energieverluste und -gewinne des gesamten Gebäudes, nämlich auch mit Dach, Bodenplatte, Türen und Fenstern, berücksichtigt werden, wurde das zuvor modellierte Musterhaus herangezogen. Die U-Werte wurden aus dem Programm „ubakus“ übernommen. Die Berechnungen führte die Software auf Grundlage der *ÖNORM B 8110-6-1/2*, der *OIB – Richtlinie 6* und gemäß der Formel (6) [59] durch.

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta * (Q_i + Q_s) \quad (6)$$

mit

Q_h ...Heizwärmebedarf (= HWB) in kWh

Q_T ...Transmissionswärmeverluste infolge Wärmeleitung durch die Bauteile und Wärmeübergang an den Oberflächen

Q_V ...Lüftungswärmeverluste infolge Luftaustausch

Q_i : interne Wärmegewinne infolge von Betrieb elektrischer Geräte, künstlicher Beleuchtung und Körperwärme von Personen (2,68 W/m² für Wohngebäude mit ein oder zwei Nutzungseinheiten)

Q_s : solare Wärmegewinne über transparente Bauteile

η ...Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne (0,90 für leichte Bauweisen)

Da diese Arbeit vorsieht, Aussagen speziell über Stroh-Wandkonstruktionen zu treffen, muss eine Annäherung für jenen Teil des Heizwärmebedarfs getroffen werden, der aufgrund der Transmissionswärmeverluste durch die Wände selbst verursacht wird. Dafür wird der Gesamt-Heizwärmebedarf des Gebäudes mit dem Anteil des Transmissionsleitwertes der Außenwände am Gesamt-Transmissionsleitwert LT multipliziert (siehe Formel (7)).

$$Q_{h,gewichtet} = \frac{\sum L_{AW}}{L_T} * HWB_{Gesamt} \quad (7)$$

mit

$Q_{h,gewichtet}$...über die Transmissionsleitwerte gewichteter Heizwärmebedarf in kWh

L_{AW} ...Transmissionsleitwerte der Außenwände

L_T ...Gesamt-Transmissionsleitwert aller Bauteile

HWB_{Gesamt} ...Gesamt-Heizwärmebedarf (=Q_h) in kWh

Tab. 4 zeigt die Eingabewerte, die neben den Aufbauten der einzelnen Wandsysteme in die Software eingegangen sind. Wie bereits erwähnt, wurde die Gebäudehülle geschlossen, um realitätsnahe Werte des Energiebedarfs für das Gebäude zu erhalten. Das als Warmdach konzipierte Holzdach, die Beton-Bodenplatte und die Fenster bzw. Türen besitzen Wärmedurchgangskoeffizienten, die in die Klasse „Niedrigenergiehaus“ gemäß ÖNORM H 5055 fallen.

Tab. 4: Eingabewerte in ArchiPHYSIK 18

Objekt	Nutzung des Gebäudes	Einfamilienhaus
	Abmessungen (L*B*H)	12 m * 10 m * 2,95 m
	Bauweise	Leichtbauweise
Referenzklima	Normaußentemperatur	-13°C
Standortklima	Seehöhe	195 m ü.A.
	Normaußentemperatur	-11,5°C
	Ort	1030 Wien, Lilienthalgasse
Angaben zu Fensterflächen	Süd- und Nord - orientiert	4,68 m ²
	Ost-orientiert	1,56 m ²
	West-orientiert	3,12 m ²
	Verschattung	ohne
Angabe zur Türfläche	Ost-orientiert	2,72 m ²
U-Werte	Fenster	0,8 W/m ² K
	Eingangstür	0,8 W/m ² K
	Dach (Holzdach, Warmdach)	0,12 W/m ² K
	Bodenplatte (Beton)	0,18 W/m ² K

7.3.3 Ermittlung der Heizenergiekosten

Für die Ermittlung der Heizkosten wurde der Tarif von 7,93 Cent pro kWh Erdgas mithilfe der Angaben von „E-Control Austria“ [62] abgeschätzt. Die Heizkosten wurden schließlich über die Nutzungsdauer des Gebäudes von 50 Jahren betrachtet. Um die in diesem Betrachtungszeitraum anfallenden Zinsen und die Inflation zu berücksichtigen, wurde auf den „Kalkulationszinssatz“ zurückgegriffen. Dieser dient dazu, Zahlungsströme abzuzinsen bzw. zu diskontieren. Mit dem Kalkulationszinssatz meint man demzufolge jenen Zinssatz, zu welchem das eingesetzte Kapital auch außerhalb der in diesem Fall getätigten Investition angelegt werden könnte. Da Staatsanleihen als eine risikoarme Investitionen gelten [63], wurden jene in Betracht gezogen und von deren Verzinsung ausgegangen. Der Kalkulationszinssatz wird durch den Realzins bestimmt, dessen Berechnung gemäß Formel (8) [63], [64] erfolgt .

Laut der Österreichischen Nationalbank beträgt die Inflationsrate für das Jahr 2021 2,4 % [65], der Basiszins zum 01.07.2021 -0,62 % [66]. Die Heizkosten nach 50 Jahren errechnen sich unter Berücksichtigung der jährlichen Verzinsung aufgrund des Realzinses in Form eines exponentiellen Wachstums lt. Formel (9).

$$r = \frac{1+i}{1+\pi} \quad (8)$$

mit

r...Realzins
i...Normalzins
π...Inflationsrate

$$\text{Heizkosten im Jahr } n = \text{Heizkosten im Jahr } 1 * (1 + r)^{n-1} \quad (9)$$

mit

r...Realzins
n...Anzahl der Jahre
n-1...berücksichtigt, dass im Jahr 1 keine Zinsen anfallen

Analog zur den Heizenergiekosten müssen auch die Kosten für Instandhaltung und Pflege während der gesamte Nutzungsphase berücksichtigt werden.

7.3.4 Ermittlung der Kosten für Instandhaltung und Pflege

In den Kostenblock „Instandhaltung und Pflege“ fließen die Pflegekosten der beiden verschiedenen Außenfassaden HL (hinterlüftet) und VP (verputzt) mit ein. Um für beide Varianten Informationen über die Instandhaltungsarbeiten und deren Kosten zu finden, wurden neben einer ausführlichen Internetrecherche auch telefonische Anfragen bei Herstellern getätigt. Die Ergebnisse dieser Anfragen sind direkt in die Berechnungen in Kapitel 6.3.2 eingeflossen.

Analog zu Kapitel 7.3.3 wurden die Kosten für Instandhaltung in Berücksichtigung ihrer Auftrittshäufigkeit und des Realzinses gem. Formel (9) über die Nutzungsjahre aufsummiert.

7.4 Ermittlung der Rückbau- und Entsorgungskosten

Über die Kosten für den Rückbau gaben die Anfragen und Interviews mit Abbruchfirmen Aufschluss. Für die Ermittlung der Entsorgungskosten wurden die Abfallbeauftragten der Deponie Wien befragt sowie Recherchearbeiten getätigt. Die Preise für die Entsorgung stammen aus der Preisliste des „Österreichischen Baustoff-Recycling-Verband“ (ÖBV) [67]. Für Fragen bezüglich der Trennbarkeit gewisser Materialien (z.B. Stroh bzw. Holz vom Verputz) dienten persönliche Erfahrungen, welche im Zuge des eigenhändigen Rückbaus der Strohbox am Universitätsgelände am 15.10.2021 gewonnen wurden (zum Rückbau der Strohbox siehe Anhang F).

Da sich wie in Kapitel 7.3.3 beschrieben die Investitionen in der Zukunft abspielen, verändert sich auch hier wieder der Wert des Geldes. Die Diskontierung erfolgt analog zu den Heizkosten, mit dem Unterschied, dass die Zahlungen nicht jedes Jahr, sondern einmal nach 50 Jahren, also am Ende der Nutzungsdauer, anfallen. Für die Berechnung der Entsorgungskosten im Jahr 50 kommt nachstehende Formel (10) zum Einsatz:

Entsorgungskosten nach n Jahren

$$= \text{Entsorgungskosten Jahr 1} * \frac{(1+r)^n + (1+r)^1}{2} * \mu \quad (10)$$

mit

r...Realzins

n...Anzahl der Jahre

μ...Häufigkeit der Zahlungen, hier 1

Der Term $((1+r)^n + (1+r)^1)/2$ mittelt den Realzins über die Nutzungsdauer von 50 Jahren und entspricht der Annahme eines linearen Wachstums. Dieses Berechnungsverfahren stellt eine Annäherung an eine exponentielle Verzinsung dar.

8 Musterhaus und untersuchte Systeme

Dieses Kapitel dient zur Vorstellung des Musterhauses und der sechs verschiedenen Wandsysteme aus Stroh mitsamt den Variationen HL (hinterlüftet) und VP (verputzt).

8.1 Musterhaus

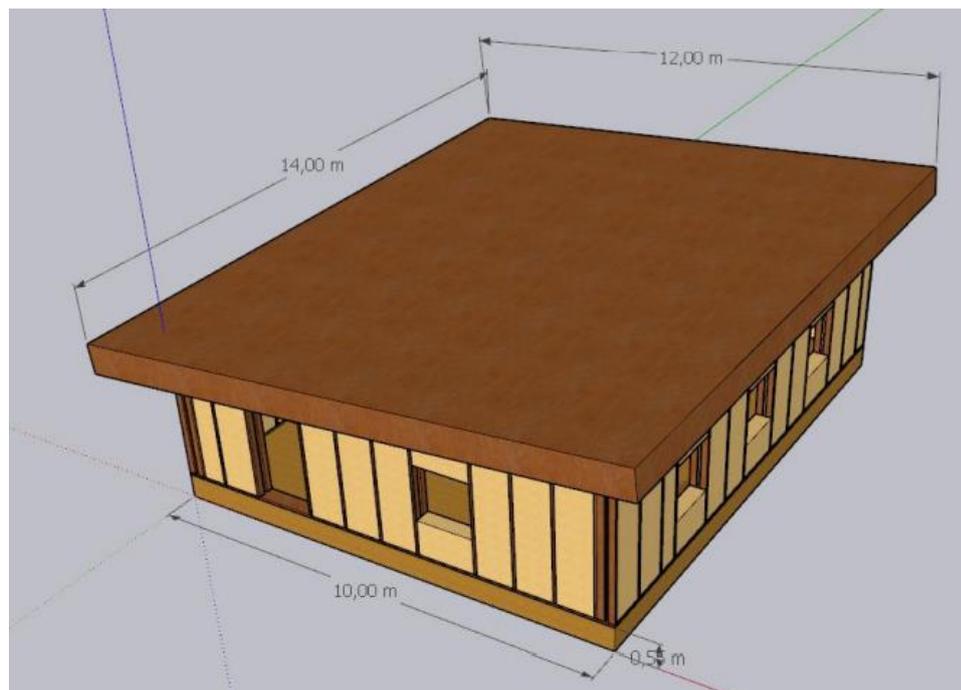


Abb. 13.: Musterhaus Strohkonstruktion

Abb. 13 zeigt das Musterhaus, das als Modell für die Berechnungen herangezogen wird. Im Bild sind außer den Abmessungen des Gebäudes u.a. die Anordnung der Holzständer des Systems DSW (Infill-Doppelständerwand) und die Strohausfachung zu erkennen.

Die Eckdaten des Musterhaus sind in Tab. 5 angeführt.

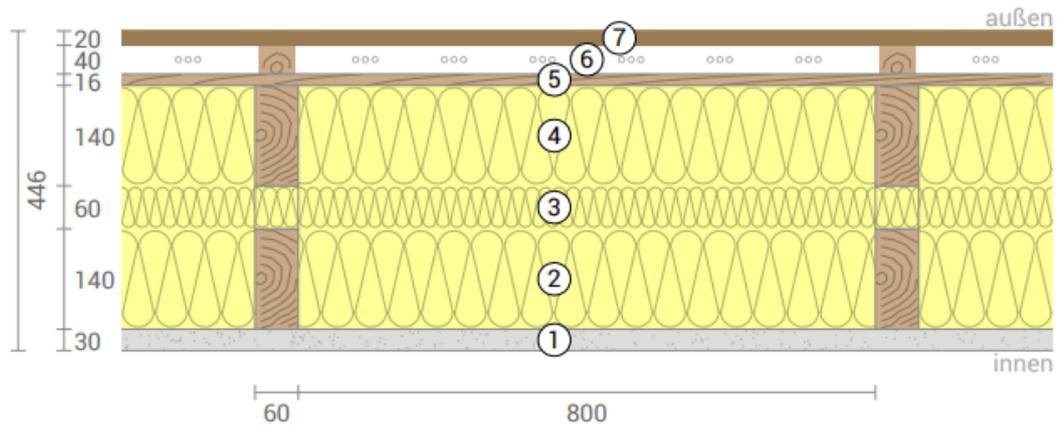
Tab. 5.: Eckdaten des Musterhauses

Eckdaten	Größe	Einheit
Länge, Breite	10, 12	m
Grundfläche	120	m ²
Fenster	9 Fenster: 1,25x1,25	m
Tür	1 Tür: 2,14x1,27	m ²
Dachneigung	5	°
Wandhöhe im Mittel	2,95	m
Äußere Bruttowandfläche	129,8	m ²
Äußere Nettowandfläche	113,02	m ²

8.2 Betrachtete Wandsysteme

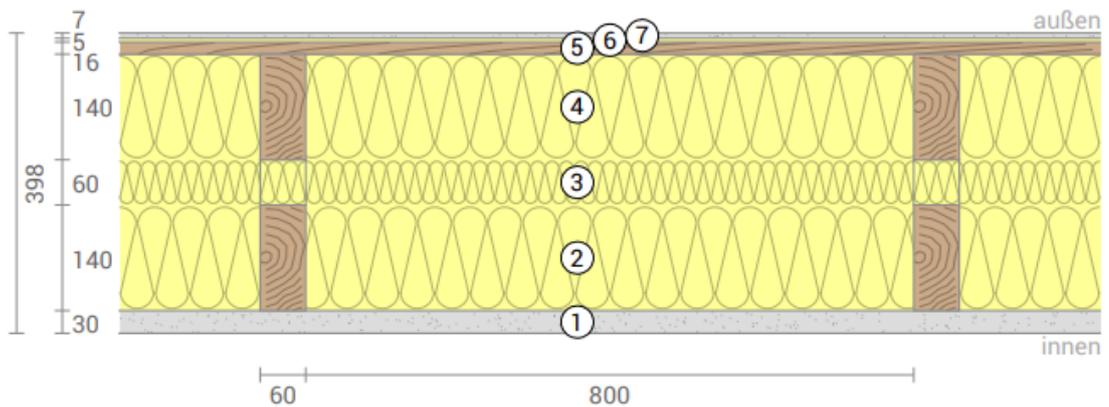
Die in dieser Arbeit ausgewählten und unter 4.1 beschriebenen Wandsysteme sind in den Abb. 14-21 veranschaulicht. Mit Ausnahme der Konstruktionen CUT B (CUT Wand – direkt verputzt) und LT (Lasttragendes System – direkt verputzt) werden alle Systeme in den Varianten HL (hinterlüftet) und VP (verputzt) betrachtet. Die Variation VP ist nachstehend jedoch nur für das System DSW (Infill- Doppelständerwand – außen beplankt) abgebildet. Für die Systeme CUT A (CUT-Wand außen beplankt), DPM (DPM-Stroh-Einblasdämmung), ECC (Ecococon-Stroh-Holz-Modul) und CV (Casevere-System), erfolgt die Verputzung analog zu System DSW VP, d.h. als abschließende Ebene erfolgt anstatt der Hinterlüftung und Stülpschalung (siehe Abb. 14), eine 5 mm dicke Schicht Schilfstukkatur, gefolgt von einer 7 mm starken Kalkputzschicht (siehe Abb. 15).

Im Anschluss an die Darstellung der in dieser Arbeit betrachteten Wandsysteme erfolgt im darauffolgenden *Kapitel 9* die Vorstellung der Ergebnisse ihrer Lebenszykluskostenberechnungen.



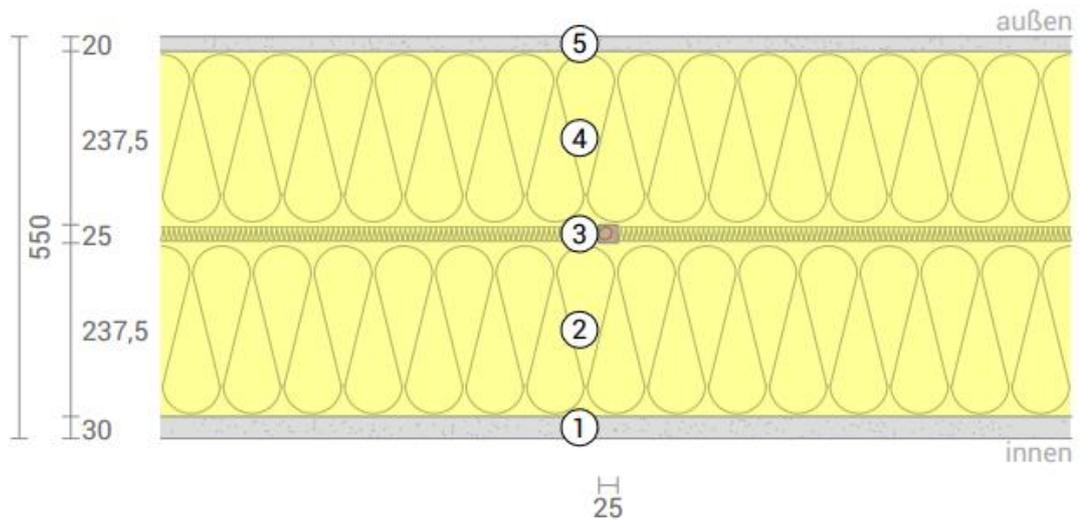
- | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------|
| ① Lehmputz (30 mm) | ④ Baustroh (140 mm) | ⑦ Stülpchalung (20 mm) |
| ② Baustroh (140 mm) | ⑤ AGEPAN DWD Protect (16 mm) | |
| ③ Baustroh (60 mm) | ⑥ Hinterlüftung (40 mm) | |

Abb. 14.: DSW HL (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt und hinterlüftet)



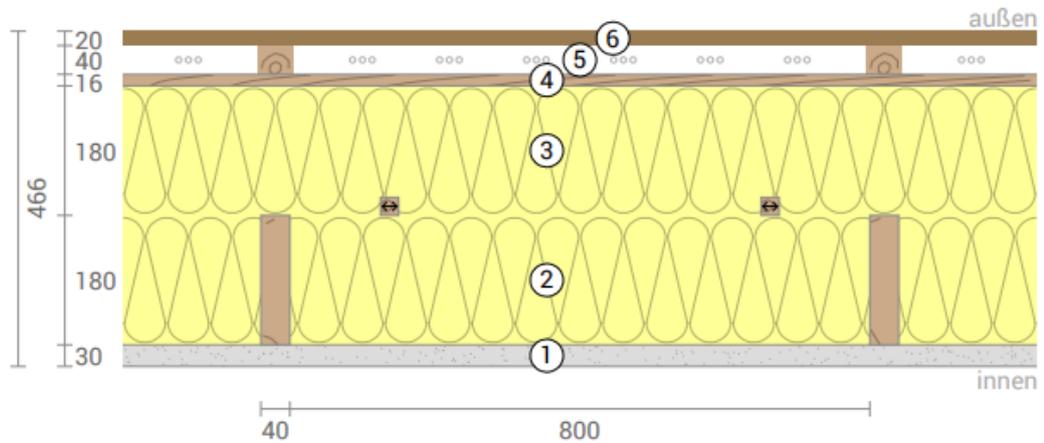
- | | | |
|---------------------|------------------------------|-------------------|
| ① Lehmputz (30 mm) | ④ Baustroh (140 mm) | ⑦ Kalkputz (7 mm) |
| ② Baustroh (140 mm) | ⑤ AGEPAN DWD Protect (16 mm) | |
| ③ Baustroh (60 mm) | ⑥ Schilfstuckatur (5 mm) | |

Abb. 15: DSW VP (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt und verputzt)



- ① Lehmputz (30 mm)
- ② Baustroh (237,5 mm)
- ③ Baustroh (25 mm)
- ④ Baustroh (237,5 mm)
- ⑤ Kalkputz (20 mm)

Abb. 16: LT (Lastragendes System – direkt verputzt)



- ① Lehmputz (30 mm)
- ② Baustroh (180 mm)
- ③ Baustroh (180 mm)
- ④ AGEPAN DWD Protect (16 mm)
- ⑤ Hinterlüftung (40 mm)
- ⑥ Stülpchalung (20 mm)

<-> Mit Pfeile markierte (Balken-)Lagen verlaufen rechtwinklig zur Hauptachse.

Abb. 17: CUT A HL (CUT-Wand außen beplankt und hinterlüftet)

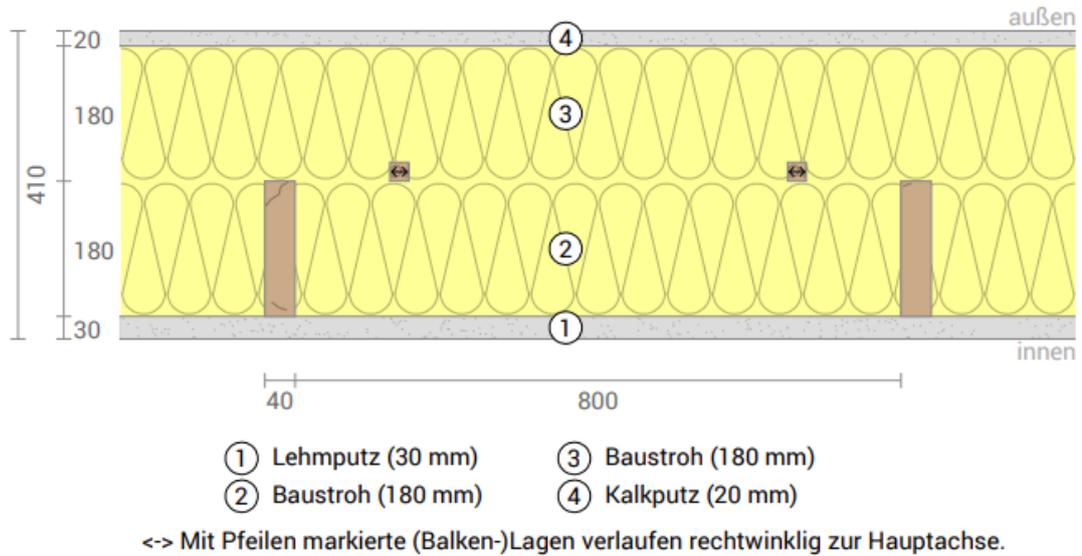


Abb. 18: CUT B (CUT-Wand direkt verputzt)

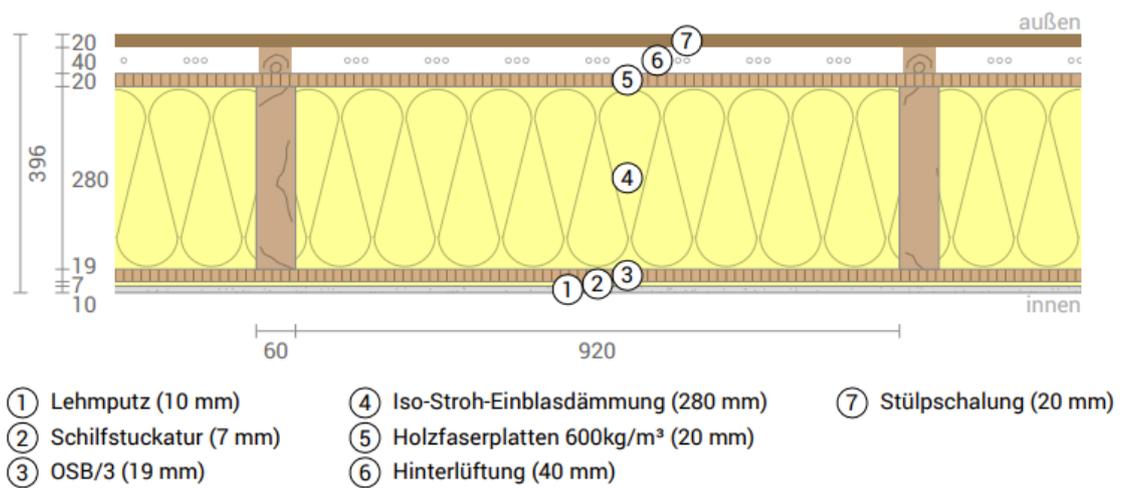


Abb. 19: DPM HL (DPM-Stroh-Einblasdämmung hinterlüftet)

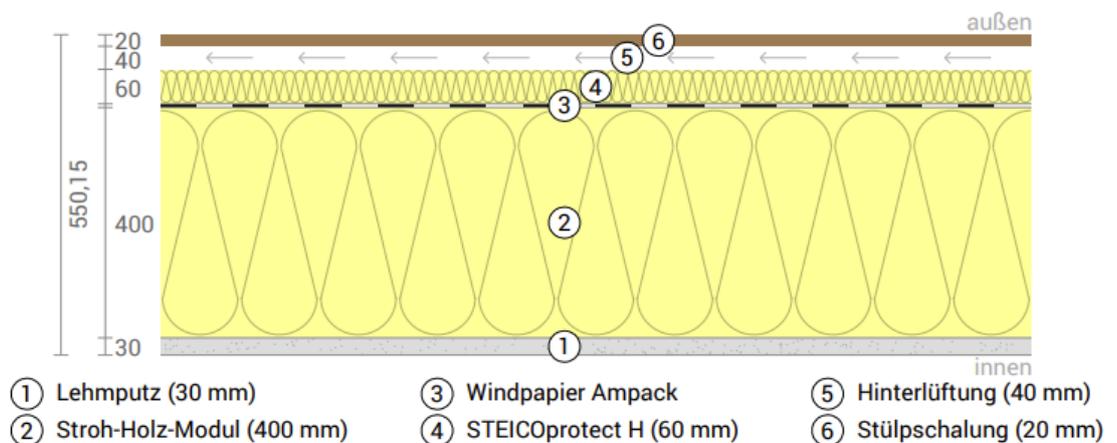
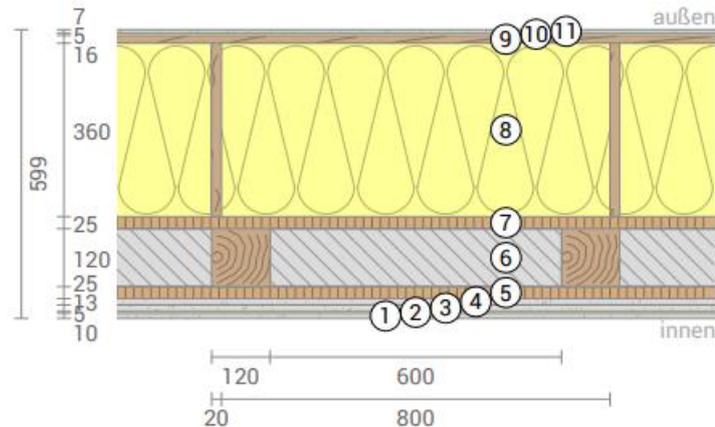


Abb. 20: ECC HL (Ecococon-Stroh-Holz-Modul hinterlüftet)



- | | | |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| ① Lehmputz (10 mm) | ⑤ OSB/3 (25 mm) | ⑨ AGEPAN DWD Protect (16 mm) |
| ② Schilfstuckatur (5 mm) | ⑥ Strohlehm 1400 (120 mm) | ⑩ Schilfstuckatur (5 mm) |
| ③ Gipskartonplatte (13 mm) | ⑦ OSB-Platte (25 mm) | ⑪ Kalkputz (7 mm) |
| ④ Gipskartonplatte (13 mm) | ⑧ Baustroh (360 mm) | |

Abb. 21: CV HL (Casevere-System hinterlüftet)

9 Ergebnisse

9.1 Allgemeines

Um die in diesem Kapitel vorgestellten Ergebnisse nachvollziehen zu können, werden die Berechnungen der Lebenszykluskosten beispielhaft für das System DSW HL (Infill-Doppelständerwand - außen beplankt und hinterlüftet) vorgeführt. Im Anschluss erfolgt die Präsentation der Endergebnisse der U-Werte und der Lebenszykluskosten aller Systeme. Die Leistungsverzeichnisse für die Herstellkosten, die Ergebnisse der U-Wert-Berechnungen bzw. des Heizwärmebedarfs, die Kosten für Instandhaltung und die Tabellen mit den Kosten für Rückbau & Entsorgung aller Systeme finden sich in den Anhängen B- E.

9.2 Errichtungskosten – DSW HL (Infill-Doppelständerwand außen beplankt und hinterlüftet)

Aus dem Leistungsverzeichnis des Systems DSW HL (siehe Anhang A1) sind die Herstellkosten der Wände des Musterhauses zu entnehmen. Fasst man die Positionen in die Hauptgruppen lt. Abb. 8 zusammen, erhält man die Kosten pro Kostengruppe in € (siehe Tab. 6, Spalte „Kosten gesamt €“). Die darauffolgende

Summierung der Kosten der Hauptgruppen ergibt die Gesamterrichtungskosten des Wandsystems für das gesamte Musterhaus von 38.037,00 €.

Tab. 6: Errichtungskosten, Infill-Doppelständerwand, hinterlüftetes System

DSW HL (Infill-Doppelständerwand – hinterlüftet)					
Errichtung	Häufigkeit	Dauer Jahre	Kosten €/m²	Kosten diskontiert €/m²	Kosten gesamt €
Bitumenpappe b=36	1x	50	1,42	1,42	160
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	1x	50	101,08	101,08	11.422,00
Beplankung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	1x	50	30,00	30,00	3.390,00
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	1x	50	58,39	58,39	6.598,00
Lehmputz inkl. Vorbereitung	1x	50	57,71	57,71	6.521,00
Stülpchalung inkl. Lattung (hinterlüftet)	1x	50	88,02	88,02	9.964,00
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	in den Berechnungen nicht einkalkuliert				
Gesamterrichtungskosten					38.037,00

Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der Kosten werden diese zudem in Kosten pro m² angegeben. Dafür wird die äußere Wandfläche, abzüglich der Fenster- bzw. Türflächen (äußere Nettowandfläche), mit rund 113 m² angesetzt (siehe Tab. 6., Spalte „Kosten €/m²“). Infolge des einmaligen Auftretens der Herstellkosten, also einer einmaligen Investition, bleibt eine Diskontierung (siehe Kapitel 7.3.3) aus.

Die Errichtungskosten aller Systemvarianten sind der Tab. 10 zu entnehmen.

9.3 Kosten Betrieb, Instandhaltung, Pflege – DSW HL

9.3.1 Berechnung der Heizenergiekosten

Um ein Bild der Wärmedurchgänge der Systeme zu erhalten, bedient man sich der Programm-basierten U-Wert-Berechnung. Die Abb. 22 u und Tab. 7 zeigen den Schichtaufbau der Wand DSW HL mit den zugehörigen Wärmeleitfähigkeiten λ und Wärmedurchgangswiderständen R .

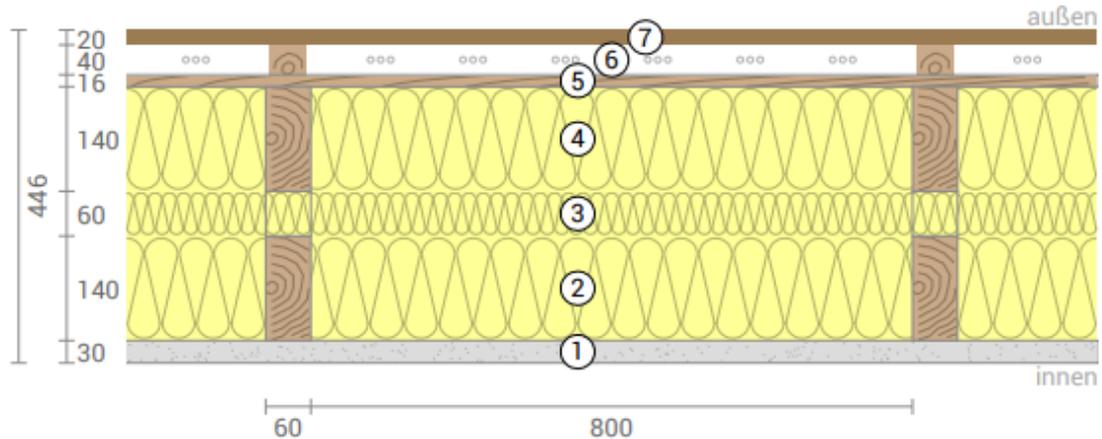


Abb. 22: Wandaufbau DSW HL (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt und hinterlüftet)

Tab.7: Wärmeleitfähigkeiten und Wärmedurchgangswiderstände DSW HL (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt und hinterlüftet)

Schicht	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
-	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)	-	-	0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	14,00	0,049	2,857
	KVH Fichte (7,0%)	14,00	0,130	1,077
3	Baustroh	6,00	0,049	1,224
	Sto-Weichfaserplatte M 042 (7,0%)	6,00	0,042	1,429
4	Baustroh	14,00	0,049	1,224
	KVH Fichte (7,0%)	14,00	0,130	1,077
5	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
-	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)	-	-	0,130

Dem Anhang C1 ist ein errechneter U-Wert der angeführten Doppelständerwand von 0,14 W/(m² K) zu entnehmen. Mit den Eingabewerten aus Kapitel 7.3.2 ergibt sich ein Referenz-Heizwärmebedarf für das Musterhaus von 6018 kWh/a. Um nun jenen Anteil des Heizwärmebedarfs zufolge des Transmissionswärmeverlustes über die Wände gem. Kapitel 7.3.2

herauszufinden, erhält man nun in Anwendung von Formel^o(7) mit den entsprechenden Transmissionswärmeleitwerten gem. ArchiPhysik einen gewichteten Heizwärmebedarf von 1689 kWh/a.

Multipliziert man letzteren mit dem Tarif für eine kWh Erdgas von 7,93 Cent pro kWh (siehe Kapitel 7.3.3), erhält man Heizkosten in der Höhe von 133,94 €/a (=1,19 €/a pro m² äußere Nettowandfläche). Errechnet man nun den Realzins mit der Formel (8) und der Inflationsrate bzw. dem Basiszins aus Kapitel 7.3.3, ergibt sich ein Kalkulationszinssatz von 2,95 %. Summiert man die Ergebnisse aus Formel (9) über die Nutzungsjahre von 50 Jahren auf, erhält man eine erforderliche Gesamtinvestition von 14.882,98 € infolge der Heizkosten. Pro m² äußerer Nettowandfläche ist das ein Wert von 131,71 €.

9.3.2 Instandhaltungskosten

Wie Abb. 14 bzw. Anhang C1 zu entnehmen ist, bildet die Stülpchalung den Abschluss der hinterlüfteten Fassade. Sie schützt vor äußeren Witterungseinflüssen. Laut den Recherchen [68], [69] überdauern sägeraue Bretterschalungen aus Lärchenbrettern Jahrzehnte wartungsfrei, sofern sie fehlerfrei ausgeführt sind. Um die Langlebigkeit zu erhöhen und um vor Feuchte und Verfärbung zu schützen [70], wird in dieser Arbeit von einer Holzschutzlasur ausgegangen, die lt. Annahme alle sechs Jahre aufgetragen wird. Die Kosten dafür werden auf Grundlage von einem Gespräch mit einer Holzbaufirma [71] bzw. einem online-Baukostenrechner [72] auf rund 13 € pro m² Nettowandfläche geschätzt. Summiert man nun diese Instandhaltungskosten mit der einer über die Lebensdauer von 50 Jahren auftretenden Häufigkeit von acht Mal, in weiterer Berücksichtigung des exponentiellen Wachstums und des in Abschnitt 6.3.1 errechneten Kalkulationszinssatzes von 2,95%, ergibt sich ein Gesamtkostenwert von 27.906,41 € für die Außenwände des Musterhauses (bzw. 246,96 € pro m² äußere Nettowandfläche).

Die in dieser Arbeit untersuchte verputzte Ausführungsvariante ist mit einer Kalkputzschicht ausgeführt. Den Gesprächen mit den Putzexperten [73], [74] ist zu entnehmen, dass eine fehlerfrei ausgeführte Kalkputzschicht keine Wartung erfordert. Risse treten bei fehlerfreien Ausführungen nämlich nur in der unteren Grundputzschicht auf. Da jedoch mit optischen Mängeln aufgrund auftretender

Verunreinigungen zu rechnen ist, empfiehlt es sich, die Fassade alle fünfzehn Jahre mit einer deckenden Kalkfarbe zu streichen. Die Kosten dafür belaufen sich auf ca. 23 € pro m² äußere Nettowandfläche [75]. Über die Nutzungsdauer von 50 Jahren aufsummiert entspricht dies, analog zur Berechnung der hinterlüfteten Fassade, diskontierten Kosten von 19.879,37 € (175,92 € pro m² äußere Nettowandfläche).

Die Ergebnisse der Kosten für Betrieb, Instandhaltung und Pflege sind für das System DSW HL (Infill-Doppelständerwand außen beplankt und hinterlüftet) in Tab. 8 zusammengefasst.

Tab. 8.: Kosten Betrieb, Instandhaltung und Pflege DSW HL (Infill-Doppelständerwand außen beplankt und hinterlüftet)

DSW HL (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt– hinterlüftet)					
Betrieb, Instandhaltung und Pflege	Häufigkeit	Dauer Jahre	Kosten €/(a*m²)	Kosten gesamt¹ diskontiert €/m²	Kosten gesamt¹ €
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	50	1,19	131,71	14.882,98
Holzschutzlasur	alle 6 Jahre	50	13,00	246,96	27.906,41
Gesamtkosten Betrieb, Instandhaltung, Pflege					42.789,39
¹⁾ Gesamtkosten über die Lebensdauer von 50 Jahren					

9.4 Abbruch- und Entsorgungskosten – DSW HL

Die Lohnkosten für den Abbruch betragen lt. Experten 8 € pro m² Wandfläche, unabhängig vom System [76]. Bei einer Bruttowandfläche von 130 m² (äußere Gesamtwandfläche) fallen also Kosten von 1038 € für den Abbruch an.

Trennt man nun die Bauteile nach ihren Bestandteilen und unter Berücksichtigung der Rezyklierbarkeit gemäß Angaben des ÖBV (siehe Kapitel 7.4), lassen sich die Materialien für die Wand DSW HL in folgenden Anteilen entsorgen:

- Holz
- Holz behandelt
- Baustellenabfälle (Baumix)
- Lehm (Bauschutt)
- Stroh

Da die Entsorgung über Mulden erfolgt, ergibt sich die Bepreisung in Tonnen. Infolgedessen sind die Gewichte des Abbruchs ausschlaggebend. Aus dem Leistungsverzeichnis wurden nun die Gewichte der fünf genannten Stoffe ermittelt. Dafür wurden vorerst ihre Volumina errechnet und schließlich über die Rohdichten in Tonnen umgerechnet (siehe Tab. 9, Spalte „Menge to“).

Tab. 9: Kosten Rückbau und Entsorgung DSW HL (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt und hinterlüftet)

	Bezeichnung	Menge to	Preis €/to	Kosten €
Entsorgung	Holz	3	52	178
	Holzstoffe behandelt	1	61	62
	Baustellenabfälle (Baumix)	0	210	0
	Lehm (als Bauschutt)	5	27	142
	Stroh	4	0	0
	a) Entsorgung ohne Stroh			
b) Entsorgung mit Lehm in Baumix				2.2213,89
Abbruch			Preis €/m ²	Kosten €
			8	1.038
c) Abbruch u. Entsorgung ohne Stroh ¹				1.420,21
d) Abbruch u. Entsorgung Stroh – Putz ungetrennt ²				3.252,29
¹⁾ Stroh von den anderen Materialien getrennt und vom Bauherrn selbst entsorgt; somit fallen für die Entsorgung Stroh keine Kosten an ²⁾ Stroh gemeinsam mit Lehm ungetrennt als Baumix entsorgt; somit fallen für die Entsorgung Stroh Kosten an				

Unter „Holz“ fallen hierbei alle unbehandelten Hölzer der Konstruktion, wie z.B. die Ständer, Schwellen, Brüstungs- und Sturzriegel. Unter „Holz behandelt“ fallen die mit Bindemittel behandelten Holzwerkstoffplatten wie z.B. Agepan-Platten. „Baustellenabfälle“ (Baumix) sind verschiedene Baustellenrestabfälle, wie Putzreste, Holzreste, Gipskarton oder andere (nicht sortenreine) Gemische aus Abfällen. Da sich bei der DSW HL nahezu alle Materialien trennen lassen, fällt bei dieser Wand kein Baumix an. Würde man aber die verputzte Infill-Wand betrachten (DSW VP), fielen unter den Baumix die mit Kalk verputzte Agepan-Platte, da der Kalkputz sehr hart wird und sich von der darunterliegenden Schicht

nicht trennen lässt. Unter „Lehm“ fällt der Lehmputz. Dieser kann leicht vom Untergrund getrennt werden, indem er mit einem Meisel abgeschlagen wird. Der vom Stroh sortenrein getrennte Lehmputz wird als Bauschutt entsorgt. Zu *Stroh* zählen die vom Lehm getrennten Strohballen.

In Tab. 9, Spalte „Preis €/to“ finden sich die Entsorgungspreise lt. Preisliste des ÖBV [67], die multipliziert mit den Tonnen aus der Spalte „Menge to“ die Kosten ergeben. Dabei fällt auf, dass für das Stroh keine Preise angegeben sind. Dies liegt daran, dass für das reine Stroh keine offiziellen Entsorgungsmöglichkeiten vorliegen. Lt. der Abfallberatung der Deponie Wien kann das Stroh nur als Kompost entsorgt werden, wenn nachgewiesen ist, dass es zum Zeitpunkt des Abbruchs keine Schadstoffe enthält, welche womöglich in den Nutzungsjahren entstanden sein könnten. Da ein solcher Nachweis mit zusätzlichen Kosten verbunden ist, kommen in dieser Arbeit zwei Varianten für den Abbau des Strohs in Frage: In der ersten Variante erfolgt die Entsorgung des Strohs durch den Bauherrn selbst, indem er einen anderen Abnehmer findet, der das Stroh weiterverwenden kann, wie z.B. ein Bauer oder eine Strohaufirma. In dieser Variante fallen für die Entsorgung des Strohs keine Kosten an. Die Gesamtkosten für den Bereich Entsorgung für diese Variante sind in Tab. 9, Zeile „a) Entsorgung ohne Stroh“ dargestellt. Sie betragen 381,81 € für das hinterlüftete Wandsystem bezogen auf das gesamte Musterhaus. In der zweiten Variante wird das Stroh gemeinsam mit dem Lehm ungetrennt als Baumix entsorgt. Somit werden Lehm und Stroh mit dem Preis für Baumix abgegolten. Die Kosten dieser Variante sind in Tab. 9, Zeile „b) Entsorgung Stroh mit Lehm in Baumix“ wiedergegeben und belaufen sich für das Musterhaus auf 2213,89 €. Rechnet man nun zu beiden Varianten die Abbruchkosten von 1038 € hinzu, machen die Gesamtkosten für Abbruch und Entsorgung für die erste Variante 1420,21 € (siehe Tab. 9, Zeile „c) Abbruch und Entsorgung ohne Stroh“) und für die zweite Variante 3252,29 € (siehe Tab. 9, Zeile „d) Abbruch und Entsorgung Stroh – Putz ungetrennt“) aus.

Für die weitere Berechnung der Lebenszykluskosten wird die zweite Variante herangezogen. Dies sind auch die Kosten, auf die sich die Ergebnisse in Kapitel 9.5 und 9.6 beziehen. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass den Interviews mit den Abbruchfirmen zu entnehmen ist, dass sie aufgrund des geringeren Aufwands, Putz und Stroh nicht trennen, sondern beides als Baumix

entsorgen. Die Einsparung, die sich durch die Trennung des Lehmputzes vom Stroh erzielen ließe, ist aber dennoch nicht von der Hand zu weisen.

Tab. 10: Rückbaukosten, Infill-Doppelständerwand – außen beplankt (hinterlüftet)

DSW HL (Infill-Doppelständerwand – außen beplankt– hinterlüftet)					
Abbruch und Entsorgung	Häufigkeit	Dauer Jahre	Kosten €	Kosten diskontiert €/m²	Kosten gesamt €
Abbruch	einmalig	50	9,19	39,29	4.439,66
Entsorgung	einmalig	50	19,59	83,80	9.469,57
Gesamtkosten Wartung, Instandhaltung, Pflege					13.909,24

Setzt man nun die Abbruchkosten von 1038 € (9,19 € pro m² äußere Nettowandfläche) mit dem Kalkulationszinssatz von 2,95% (siehe Kapitel 7.3.3 und 9.3) und in Formel (10) ein, erhält man nun den Geldwert für das 50ste Nutzungsjahr von 4439,66 € (39,29 € pro m² äußere Nettowandfläche). Dasselbe gilt für die Entsorgungskosten: Die 2213,89 € (19,59 € pro m² äußere Nettowandfläche) Entsorgungskosten ergeben nach der Diskontierung nach Formel (9) Kosten von 9469,57 € (83,80 € pro m² äußere Nettowandfläche). Die Gesamtkosten für den Rückbau betragen somit unter Berücksichtigung der Diskontierung in 50 Jahren 13.909,24 €. Die Ergebnisse sind in Tab. 10 veranschaulicht.

9.5 Lebenszykluskosten – DSW HL

Die Errichtungskosten aus Kapitel 9.2, die Kosten für Betrieb, Instandhaltung und Pflege aus Kapitel 9.3 und die Kosten für Abbruch und Entsorgung aus Kapitel 9.4. bilden nun aufsummiert die Lebenszykluskosten des Systems DSW HL. Sie belaufen sich für das Musterhaus auf 94.735,62 € (bzw. 838,37 €/m² Nettowandfläche).

Das Ergebnis der Lebenszykluskostenberechnung der DSW-HL-Wand ist im nächsten Kapitel, mitsamt den Ergebnissen der weiteren Systeme angeführt.

9.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der betrachteten Wandsysteme

Führt man nun die Berechnungen am Beispiel von Kapitel 9.2 – 9.4 für die weiteren sechs Wandsysteme (mit Variation HL und VP) durch, erhält man ihre Lebenszykluskosten. Die Endergebnisse finden sich in Tab. 11 wieder. Die genaueren Berechnungen liegen in den Anhängen A-E bei. Aus der Tabelle¹¹ sind für jedes System die Kosten der einzelnen Phasen Errichtung, Betrieb, Instandhaltung und Rückbau zu lesen, die in Summe die Lebenszykluskosten ergeben.

Tab. 11: Lebenszykluskosten verschiedener Wandkonstruktionen aus Stroh, bezogen auf das Musterhaus mit 113 m² Netto-Außenwandfläche

System- beschreibung	Errichtung €	Betrieb €	Instand- haltung €	Nutzungs- phase €	Rückbau €	LZK €
DSW HL	38.037	14.883	27.906	42.789	13.909	94.736
DSW VP	36.818	14.883	19.879	34.762	15.363	86.944
CUT A HL	35.894	13.544	27.906	41.450	13.819	91.163
CUT A VP	34.203	13.323	19.879	33.203	15.381	82.786
CUT B	30.812	13.958	19.879	33.837	16.206	80.855
LT	28.938	12.204	19.879	32.084	17.425	78.447
DPM HL	31.118	18.954	27.906	46.860	8.858	86.836
DPM VP	29.648	18.954	19.879	38.833	10.440	78.922
ECC HL	37.020	13.323	27.906	41.230	9.200	87.450
ECC VP	36.052	13.323	19.879	33.203	11.347	80.602
CV HL	43.290	12.204	27.906	40.111	25.594	108.995
CV VP	42.070	11.852	19.879	31.731	27.130	100.931

Aus Abb. 23 wird der Kostenverlauf der verschiedenen Strohkonstruktionen erkennbar. Ersichtlich sind die linearen Verläufe der Errichtungs- sowie Rückbaukosten neben den über die Jahre exponentiell verlaufenden Heizkosten. Abb. 25 zeigt die zu den Gesamtkosten aufsummierten Kostengruppen der Lebenszykluskosten, während aus Abb. 25 die einzelnen Kostengruppen ersichtlich werden.

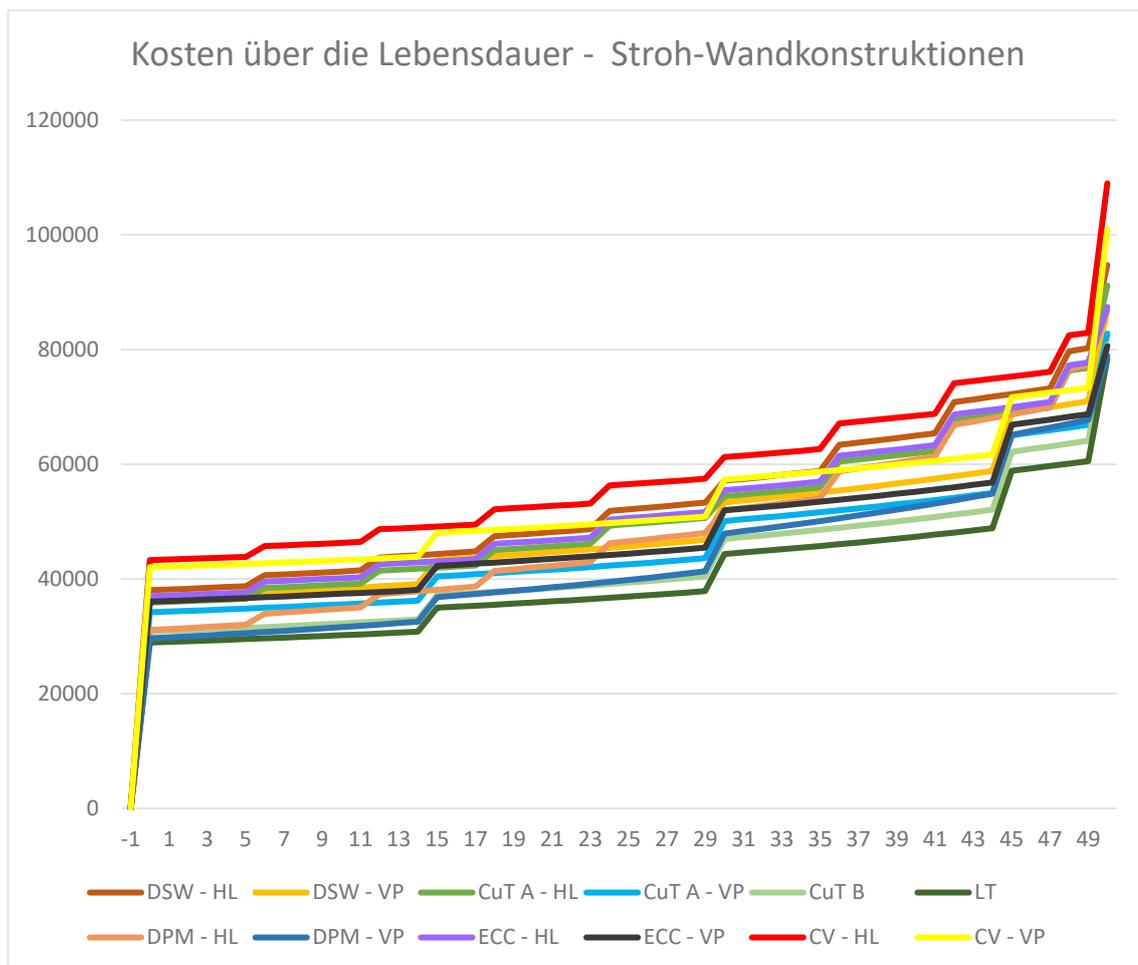


Abb. 23: Kostenverlauf über die Lebensdauer verschiedener Stroh-Wandkonstruktionen

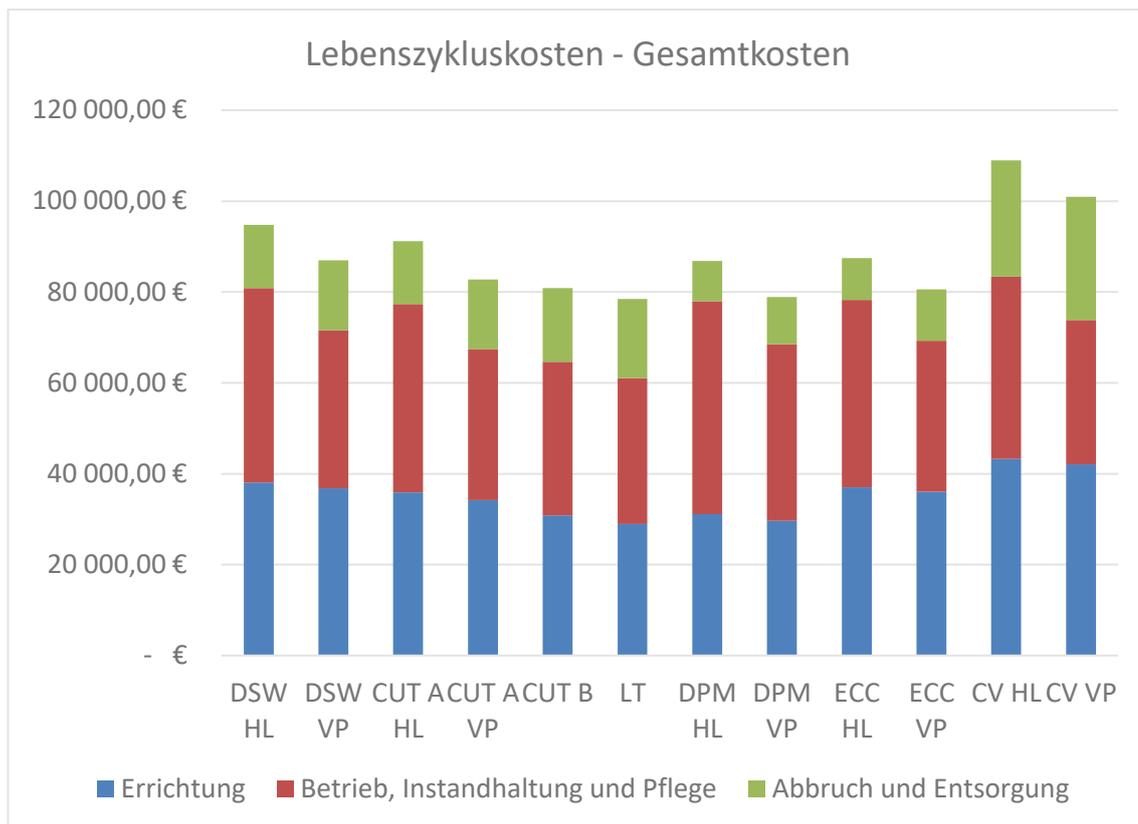


Abb. 24: Lebenszykluskosten als Gesamtkosten

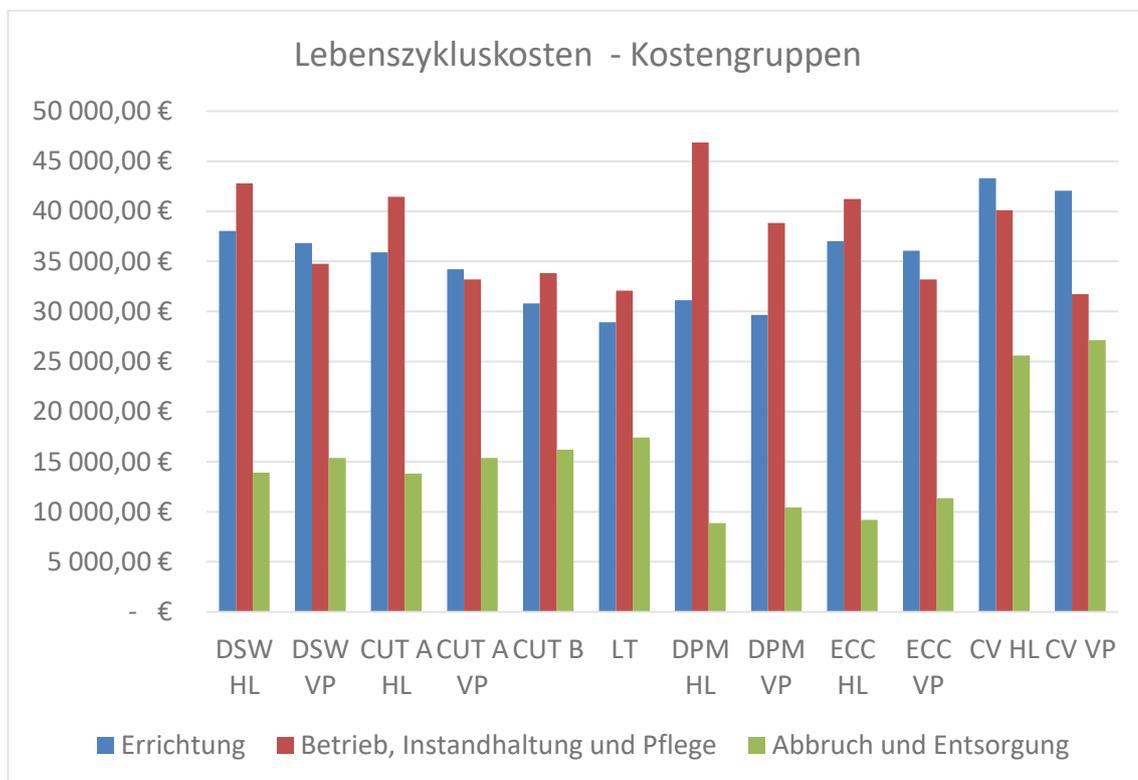


Abb. 25: Lebenszykluskosten in Kostengruppen

10 Auswertung

10.1 Errichtung

Bei Betrachtung der Tab. 11 und der Abb. 25, Spalte bzw. Balken „Errichtung“, wird ersichtlich, dass sich die Errichtungskosten für das Musterhaus von 28.938 Euro für das billigste der Systeme, nämlich das System LT (Lasttragendes System – direkt verputzt), bis hin zu 43.290,00 Euro für das teuerste der Systeme, nämlich das System CV HL (Casevere – System – hinterlüftet), erstrecken. Gerechnet auf die äußere Nettowandfläche ergibt sich hierfür ein Preis von 256,09 Euro/m² für das System LT bzw. 383,10 Euro/m² für das System CV HL. Prozentuell betrachtet erfährt die teurere der beiden Wände Mehrkosten von rund 50 % gegenüber der billigeren.

Um weitere Aussagen über die Ergebnisse zu treffen, wird im Folgenden vorerst die Auswirkung der Fassadenart auf die Kosten behandelt. Danach werden die Kosten der Systeme DSW (Infill-Doppestanderwand), CUT A (CUT Wand – außen beplankt), CUT B (CUT-Wand – direkt verputzt) und LT (Lasttragendes System – direkt verputzt) miteinander verglichen, da jene zur Gruppe „traditionelle Strohwandssysteme“ (siehe Kapitel 5.2) gehören und einen ähnlichen Aufbau aufweisen. In einem weiteren Schritt werden die Unterschiede in den Herstellkosten zu den weiteren Systemen DPM (DPM-Stroh-Einblasdämmung), ECC (Ecococon-Stroh-Holzmodul) und CV (Casevere-System) herausgearbeitet.

10.1.1 Auswirkung der Fassade auf die Kosten

In Bezug auf die Varianten HL (hinterlüftet) und VP (verputzt) ist in Abb. 24 erkennbar, dass die Wände mit der hinterlüfteten Fassade teurer sind. Dies ist auf die höheren Positionspreise (siehe Anhang A) zurückzuführen, welche für die hinterlüftete Fassade (zwei cm Stülpschalung auf Lattung) mit 88 Euro/m² festgesetzt sind, für die äußere Putzschicht mit Kalkputz auf Putzträger lediglich mit 75 Euro/m² plus pauschal 250 Euro Lieferung. An dieser Stelle ist hinzuzufügen, dass in dieser Arbeit davon ausgegangen wird, dass der Lehmputz getrennt vom Kalkputz angeliefert wird und somit die Kosten für Lieferung in beiden Positionen enthalten sind. Da es jedoch auch Hersteller gibt, die Innen-

und Außenputz zusammen anliefern, ist es durchaus möglich, sich die Liefergebühren für den Kalkputz zu sparen.

10.1.2 Kostenfaktoren der traditionellen Strohwandssysteme

Bei den Herstellkosten der Systeme DSW, CUT A, CUT B, LT in Tab. 11 ist in gegebener Reihenfolge ein absteigender Kurs wahrzunehmen. Betrachtet man die Tabellen aus Anhang A, ist dies auf die Menge an verwendetem Holz bzw. verwendeten Holzwerkstoffen zurückzuführen. Während die Wand DSW als Tragsystem Doppelständer plus eine äußere Beplankung (Leistungsverzeichnis Anhang A1) aufweist, enthalten die Wände CUT A und CUT B Einfachständer, wobei letztere überdies auf die Beplankung verzichtet und stattdessen eine zwei Zentimeter dicke Kalkputzschicht als Wandabschluss besitzt. Analog zum System CUT B verzichtet das System LT auf die Beplankung, ist ebenso mit Kalkputz verputzt, trägt aber, wie in Kapitel 5.2.2 erwähnt, die Lasten anstatt durch die Ständer nur durch das Stroh ab. Gemäß den Tabellen im Anhang A betragen die Einheitspreise für das Tragsystem mit Doppelständerwand 101,08 Euro/m² und für ein System mit Einfachständer 74,76 Euro/m². Der Wegfall der Beplankung und die darauffolgende direkte Verputzung macht lt. Leistungsverzeichnis (Anhang A) eine Preisreduktion von 30 Euro/m² aus. Die Kosten für das Tragsystem der Wand LT betragen schließlich nur mehr 53,98 Euro/m². Obwohl bei den Systemen CUT und LT spezielle Hölzer wie CUT-Leisten, Holzspieße oder eine massive Ringankerbox angefertigt werden müssen, lohnt sich lt. den Ergebnissen in Tab. 11, Spalte/Balken „Errichtung“ in preistechnischer Hinsicht die Ausführung von hybriden Systemen (siehe Kapitel 5.2.3) bzw. lasttragenden Systemen (siehe Kapitel 5.2.2) mit direkter Verputzung.

10.1.3 Kostenfaktor eingeblasenes Stroh

Die Wand DPM HL, welche wie die CUT B Wände aus einem Einfachständerwerk besteht, im Unterschied zu diesem aber ein kassettenförmiges Tragsystem aus Beplankung und Träger enthält, weicht um nur 7% vom günstigsten System (LT) ab. Laut dem Leistungsverzeichnis Anhang A unterscheidet sich die Position „Einblasung Stroh“ mit 61,33 Euro/m² kaum von der Position „Strohballen inkl.

Lieferung, Einbau“ mit 58,39 Euro/m². Bei der gegebenen Dämmstärke macht die Einblasung also kostentechnisch keinen Unterschied.

10.1.4 Kostenfaktoren der im Werk vorgefertigten Wandmodule

Das im Werk vorgefertigte Wandmodul ECC HL weicht um knapp 30% von der billigsten Wand ab: Die Kosten der Tragkonstruktion samt Einbau Stroh belaufen sich auf 186,06 Euro/m² (Vergleich Tragsystem plus Einbau Stroh der DSW HL 159,47 Euro/m²) und liegen somit analog zum System DSW im mittleren Kostenbereich. Zwar spart die Konstruktion gegenüber der DSW-Wand Material ein, holt den Preis aber durch die Vorfertigung bzw. Lieferkosten wieder ein.

Das auch im Werk vorgefertigte und teuerste System CV HL besitzt mit 250,04 Euro/m² die höchsten Kosten der Tragstruktur mitsamt dem Stroheinbau. Dies ist auf den hohen Holzanteil bzw. hohen Anteil an Holzwerkstoffen zurückzuführen, wie auch auf den (aus schalltechnischen Gründen) massiven Aufbau, der durch die zusätzliche Schicht an Strohlehm erzeugt wird (siehe Anhang A7).

10.2 Betrieb

10.2.1 Auswirkung der Konstruktion auf die Betriebskosten

Die Konstruktionen LT, ECC, CV (Lasttragendes System – direkt verputzt, Ecococon-Stroh-Holzmodul, Casevere-System) schneiden bezüglich der Heizkosten mit einem Preis von 12.204 Euro pro Jahr für das Musterhaus am besten ab (siehe Tab. 11 und Abb. 25). Die Heizkosten der Konstruktion DPM (DPM-Stroh-Einblasdämmung) belaufen sich auf 18.954 Euro. Sie erreichen den höchsten Wert und weichen um 55 % vom günstigsten System ab. Da der Heizwärmebedarf, ferner auch der U- Wert, für die Heizkosten ausschlaggebend ist, können die Betriebskosten mit erhöhten Dämmwerten eingeschränkt werden. Aus diesem Grund wird im nächsten Unterkapitel näher auf die Dämmeigenschaften der Konstruktionen eingegangen.

10.2.2 Dämmeigenschaften der verschiedenen Stroh-Wandkonstruktionen

Die U-Werte der Konstruktionen LT, ECC, CV betragen lt. Berechnungen (siehe Anhang C) $0,12 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Obwohl die Wärmeleitfähigkeit der flach liegenden Ballen höher ist als bei der hochkant liegenden Anordnung (DSW bzw. CUT), erreicht die LT-Wand aufgrund der größeren Dämmstärke von 50 cm statt 36 cm einen niedrigeren U-Wert als die Konstruktionen DSW ($0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) und CUT ($0,13 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Das Stroh-Holzmodul ECC besitzt zusätzlich zur dickeren Dämmstärke von 40 cm eine Holzfaserdämmplatte, welche den U-Wert positiv beeinflusst. Die ebenso vorgefertigte Wand CV erhält ihren niedrigen U-Wert aufgrund der Dämmstärke und des vielschichtigen sowie massiven Aufbaus (siehe Anhang C und Abb. 21). Die schmalste Wand, die DPM-Konstruktion, besitzt eine Dämmstärke von lediglich 28 cm. Dies und auch der größere Wärmedurchgangskoeffizient der Einblasdämmung hat zur Folge, dass der U-Wert der Wand mit $0,18 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ der höchste der untersuchten Wandtypen ist. Dies ließe sich allerdings mit einer höheren Dämmstärke oder mit dem Anbringen einer Holzfaserdämmplatte in die Konstruktion ändern.

10.3 Instandhaltung

Wie in Kapitel 9.3.2 ermittelt, betragen die Instandhaltungskosten für das Musterhaus über die gesamte Nutzungsdauer 27.906 Euro für die hinterlüftete Fassade (HL) bzw. 19.879 Euro für die Verputzte (VP). Unter den in jenem Kapitel angeführten Randbedingungen lohnt sich damit in erhaltungsspezifischen Aspekten die verputzte Variante eher, da sich die Kosten der Instandhaltung um 40 % unterscheiden.

10.4 Nutzungsphase

In Anbetracht der Kosten in der Nutzungsphase (Betrieb und Instandhaltung, siehe Kapitel 10.2 und 10.3), schneidet das System CV VP (Casevere-System – verputzt) mit Nutzungskosten von 31.731 Euro am besten ab, da es das System mit den geringsten Heiz- und Pflegekosten ist – die Konstruktionen DSW VP, CUT A VP, CUT B und LT weichen jedoch kaum davon ab. Aufgrund des höchsten Wärmedurchgangskoeffizienten ist das System DPM am teuersten in

der Erhaltung: Seine hinterlüftete Variante erreicht mit 46.860 Euro die Position der teuersten Wand im Kostenpunkt Nutzung.

10.5 Abbruch- und Entsorgungskosten

Die Abbruch- und Entsorgungskosten des Systems CV HL sind mit 27.130 Euro die teuersten in dieser Kostengruppe (siehe Tab. 11 und Abb. 25). Weiter darunter liegen die traditionellen Stroh-Wandkonstruktionen DSW, CUT und LT. Am billigsten sind die Systeme DPM und ECC, wobei das System DPM HL mit 9.200 Euro die günstigsten Rückbaukosten verursacht.

10.5.1 Auswirkende Faktoren auf die Entsorgungskosten

Aus Kapitel 9.4 ist erkennbar, dass sich drei Faktoren auf die Entsorgungskosten auswirken: Erstens die Abbruchmenge der Konstruktion, da die Kosten aufgrund des Gewichtes abgerechnet werden; zweitens wirkt sich die Art des Materials auf die Kosten aus, weil die Deponie rohe Materialien oder unbehandelte Hölzer für weniger Geld entgegennimmt (siehe Tab. 9, Spalte „Preis, €/to“), ungetrennte Materialien bzw. Baumix jedoch für mehr als das Dreifache; drittens hat die Trennbarkeit der Wandaufbauten eine Auswirkung auf die Kosten, da untrennbare Materialien bzw. Gemische als Baumix entsorgt werden müssen und daher am teuersten in der Entsorgung sind. In Tab. 11 ist zu beobachten, dass die verputzten Fassaden teurer in der Entsorgung sind als die hinterlüfteten Varianten. Wie in Kapitel 9.4 bereits angesprochen, ist dies dem Umstand geschuldet, dass der Kalkputz sich nicht von der darunterliegenden Beplankung bzw. bei einer direkten Verputzung sich nur mit Mühe vom Stroh lösen lässt und deshalb als Gesamtheit im Baumix landet. Würde man jedoch Verputz und Stroh trennen können, bedeute dies eine erhebliche Kostenreduktion bei der verputzten Variante.

Zudem ist anzuraten, Konstruktionen ähnlich den Konstruktionen DPM (DPM – Stroh – Einblasdämmung) und ECC (Ecococon – Stroh - Holzmodul) weniger massiv auszuführen, um aufgrund der Abrechnung je Tonne, Entsorgungskosten zu sparen. Darüber hinaus ist es ratsam, auf die Trennbarkeit zu achten.

10.6 Lebenszykluskosten

Aus Abb. 23 und 24 geht hervor, dass die Lebenszykluskosten des Systems CV höher sind als die der anderen Systeme (Lebenszykluskosten CV HL: 108.995 Euro). Dies ist auf die hohen Errichtungskosten zurückzuführen, sowie auch auf die, in Relation zu den weiteren Konstruktionen, hohen Rückbaukosten (siehe Abb. 21). Preistechnisch darunter liegen, in absteigender Reihenfolge, die Konstruktionen DSW HL und CUT A HL, ECC HL, DSW VP, DPM HL (Preisspanne 94.000 Euro – 87.000 Euro). Die übrigen Konstruktionen CUT A VP, CUT B, ECC VP, DPM VP und LT liegen im untersten Kostenbereich, zwischen 78.000 Euro und 83.000 Euro, wobei die Systeme DPM VP (78.922 Euro) und LT (78.447 Euro) die geringsten Lebenszykluskosten der betrachteten Wandsysteme aufweisen. Auch wenn die Rückbaukosten der Wand LT relativ hoch sind, punktet die Konstruktion mit geringen Erhaltungs- und Errichtungskosten, während die Wand DPM relativ hohe Erhaltungskosten aufweist, aber dafür in Errichtungs- und Rückbaukosten einspart. Das System ECC VP trumpft mit niedrigen Erhaltungs- und Rückbaukosten, während bei der CUT B-Wand die Errichtungskosten niedriger liegen.

Selbst wenn die Rückbaukosten der hinterlüfteten Varianten günstiger sind, sind ihre Instandhaltungskosten, aufgrund der Annahme einer alle 6 Jahre erforderlichen Behandlung mit einer Holzschutzlasur (siehe Kapitel 9.3.2), weit teurer. Aufgrund dessen sind die Lebenszykluskosten der verputzten Fassaden niedriger. Abb. 26 bringt dies zum Ausdruck.

11 Schlussfolgerung

Aus dieser Arbeit geht hervor, dass sich verschiedene Ausführungen von Strohkonstruktionen in ihren Lebenszykluskosten unterscheiden.

Die Ausführung einer schlanken Tragkonstruktion bei gleichzeitig dicker Dämmschicht bzw. effizienten Dämmsystemen hat zur Folge, dass in allen Lebensphasen vergleichsweise preiswerte Konstruktionen geschaffen werden. Aufgrund des Umsetzens von Klimazielen bzw. der Ressourcenknappheit kann es vorkommen, dass die Rohstoffkosten bzw. Kosten für Erdgas in Zukunft noch höher liegen als in dieser Arbeit angenommen. Infolgedessen ist es wichtig, einen hohen Dämmwert, bestenfalls in Passivhausqualität, zu erreichen. Durch das

Anbringen dickerer bzw. effizienter Dämmsysteme, deren Anbringen mit keinen erheblichen Mehrkosten verbunden ist, lassen sich hohe Einsparungen erzielen.

Zudem geht hervor, dass Wände des Fertigteilmoduls „Casevere“ (CV-System) in einer beträchtlichen Massivität hergestellt werden. Dies äußert sich zwar in einem geringen U-Wert, wirkt sich aber auf die Rückbau- und Errichtungskosten negativ aus. Das Potenzial der Konstruktion mit der DPM-Stroh-Einblasdämmung, welche mit niedrigen Errichtungs- und Rückbaukosten punktet, aber hohe Betriebskosten mit sich führt, wäre mit zusätzlichen dämmenden Eigenschaften zu erhöhen. Systeme, die mit wenig Material errichtet werden, aber dicke Dämmschichten aufweisen, wie die Systeme Lasttragendes System, Hybrides System mit CUT-Technik (CUT-System) bzw. Fertigteilmodul „Ecococon“, schneiden ökonomisch betrachtet am besten ab.

Da zukünftig Rückbau- und Wiederverwertungskonzepte gefragt sein werden, ist auf die Wiederverwertung besonderes Augenmerk zu legen. Obwohl die Holzfassade zwar teurer in der Anschaffung sowie in der Erhaltung ist, genießt sie im Rückbau ihre Vorteile, da Holz ohne Verputz wiederverwertbar ist und nicht zu den Baurestmassen zählt. Würde man für die Holzschalung hochwertigeres bzw. witterungsfestes Material verwenden, könnte man noch die teuren Wartungsarbeiten vermeiden bzw. deren Intervalle reduzieren und damit Instandhaltungs- und Rückbaukosten einsparen.

Um in allen Systemen die erhobenen Entsorgungskosten um ein erhebliches Maß zu reduzieren, sowie aus Gründen der Kreislaufwirtschaft, sollte das Stroh vom Verputz / von der Putzschicht getrennt und abseits von der Deponie entsorgt bzw. recycelt werden. Beispielsweise könnte das unversehrte Stroh zu Strohbauplatten bzw. Einblasstroh weiterverarbeitet werden.

12 Ausblick

Diese Arbeit setzt sich zum Ziel, verschiedene Strohkonstruktionen hinsichtlich ihrer Lebenszykluskosten zu vergleichen. Die dafür betrachteten Größen belaufen sich auf Errichtungskosten, Transmissionswärmeverluste und deren kostentechnische Erfassung, Kosten der Pflegemaßnahmen sowie des Rückbaus bzw. der Entsorgung. Das Ergebnis der Arbeit zeigt, dass Baustrohkonstruktionen durchaus in der Lage sind, Passivhausqualitäten

aufzuweisen. Um aber einen ganzheitlichen Vergleich der Lebenszykluskosten zu erhalten, ist es nötig, einen Vergleich der Ergebnisse mit herkömmlichen Bauweisen wie z.B. des Betonbaus durchzuführen. Damit ließe sich der relative Nutzen der betrachteten Wandsysteme erheben.

Die U-Werte der Systeme wurden in der Arbeit rechnerisch ermittelt. Darüber hinaus wurde angenommen, dass die Bauteile fehlerfrei eingebaut wurden. Da jedoch vor allem das Anbringen des Putzes eine gewisse Genauigkeit erfordert, ist nicht auszuschließen, dass beim Innen- bzw. Außenputz Risse entstehen oder sich durch Wärmebrücken bzw. mangelhafte Abdichtungen inhomogene Wärmedurchgänge abspielen. Es wäre deshalb sinnvoll zu überprüfen, ob die rechnerischen U-Werte mit den realen übereinstimmen. Dies könnte mittels entsprechender Sensorik in einem Prüfstand getestet werden.

Weiterhin enthält diese Arbeit keine feuchtetechnischen Untersuchungen, welche jedoch für die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit von Wandkonstruktionen erforderlich wären. Da vor allem Konstruktionen, die ohne Bepankungen ausgeführt werden (z.B. CUT B oder die LT) oder welche Fehler in der Ausführung aufweisen, ein höheres Risiko der Entstehung von Tauwasser und ferner der Schimmelbildung aufweisen, ist eine bauphysikalische Untersuchung hinsichtlich Feuchte notwendig.

Damit das Stroh letztendlich jener Nachhaltigkeit gerecht wird, die sein Image verspricht, ist es wichtig, es dementsprechend zu entsorgen. Damit es nicht auf einer Deponie als Baustellenabfall landet, sind alternative Entsorgungsmöglichkeiten zu untersuchen. Um das Stroh in einer öffentlichen Anlage zu kompostieren, aber auch um jenes als weiteren Baustoff zu verwenden, muss vorher nachgewiesen werden, dass sich darin nach dem Rückbau keine Schadstoffe befinden oder Feuchtigkeit bzw. Fäulnis aufgetreten ist. Hierfür wären weiterführende Untersuchungen vonnöten, um zu zeigen, wie sich Stroh in der Wand im Laufe des Lebenszyklus bei fehlerfreiem Einbau verhält.

13 Literaturverzeichnis

- [1] M. Anderl, K. Geiger, und B. Guegele, „Klimaschutzbericht 2020“, Report, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2020. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0738.pdf>
- [2] H. Gruber und A. Gruber, "Bauen mit Stroh", 2., Vollständ. überarb. edition. Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 2003.
- [3] F. D'Alessandro, F. Bianchi, G. Baldinelli, A. Rotili, und S. Schiavoni, „Straw bale constructions: Laboratory, in field and numerical assessment of energy and environmental performance“, J. Build. Eng., Bd. 11, S. 56–68, Mai 2017, doi: 10.1016/j.jobee.2017.03.012.
- [4] B. Sodagar, D. Rai, B. Jones, J. Wihan, und R. Fieldson, „The carbon-reduction potential of straw-bale housing“, Build. Res. Inf., Bd. 39, Nr. 1, S. 51–65, Feb. 2011, doi: 10.1080/09613218.2010.528187.
- [5] A. Chaussinand, J. L. Scartezini, und V. Nik, „Straw bale: A Waste from Agriculture, a New Construction Material for Sustainable Buildings“, Energy Procedia, Bd. 78, S. 297–302, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.646.
- [6] BRANCHENRADAR.com Marktanalyse GmbH, „Dämmstoffe in Österreich 2022“. <https://www.branchenradar.com/de/studien/baustoffe/daemmstoffe-in-oesterreich-2022/> (zugegriffen 13. Juli 2022).
- [7] ASBN, „Handwerker: Wir planen & bauen Dein Strohhallenhaus“. <https://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau/handwerker-links/> (zugegriffen 25. Oktober 2021).
- [8] ecococon, „Ein Modulsystem - von der Natur konzipiert“, ecococon. Zugegriffen: 15. November 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://ecococon.eu/de/Stroh-Modul>
- [9] Casevere Ökohaus GmbH, „CASEVERE“. <http://www.casevere.ch/#casevere-1> (zugegriffen 30. Dezember 2021).
- [10] Deutsches Insitut für Bautechnik, Europäische Technische Bewertung - ETA-17/0247 - „Baustroh - Wärmedämmstoff auf Strohhallen“. 21.06.20217, S. 7.
- [11] G. Minke, "Der Strohhallenbau: Ein Konstruktionshandbuch von Gernot Minke" (Januar 2004) Taschenbuch.
- [12] DPM Holzdesign GmbH, „Dämmstoffe - ISO -Stroh Einblasdämmung“. <https://www.dpm-gruppe.com/leistungen/daemmstoffe/> (zugegriffen 16. Juni 2022).
- [13] vivihouse, „vivihouse“. <https://www.vivihouse.cc/de/> (zugegriffen 17. Juli 2022).
- [14] P. Architekt Dipl.-Ing. Schubert, „Strohkonstruktionen“, 21. August 2022.
- [15] M. Tomitzi, „Eine Strohhalle“, Diplomarbeit, Institut für Kunstgeschichte, Bauforschung und Denkmalpflege, Wien, 2017.
- [16] H. Nowak und M. Paar, "Energetische Nutzung von Stroh". Wien: Umweltbundesamt, 1994.
- [17] H. Dissemond, "Stroh, ein Nachwachsender Rohstoff für die energetische Nutzung: Strohaufkommen, Strohverwertung und frei verfügbares Strohpotential aus der Sicht der Raum- und Umweltplanung". Wien: Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 1994.
- [18] Fachverband Strohhallenbau FASBA, „Baubiologie Magazin“. <https://baubiologie-magazin.de/fachverband-strohballenbau-fasba/> (zugegriffen 20. Oktober 2021).

- [19] austrian strawbale network, „ASBN - austrian strawbale network“. <https://baubiologie.at/strohballenbau/asbn/> (zugegriffen 19. Oktober 2021).
- [20] H. Hohensinner, Luise, H. Gruber, und W. Passauer, „Haus der Zukunft - Wandsystem aus nachwachsenden Rohstoffen“, GrAt und Österreichisches Strohballen Netzwerk asbn, Endbericht, Jan. 2001.
- [21] GrAT, „GrAT - Center for Appropriate Technology“, 17. Oktober 2021. <https://www.grat.at/projects/s-house-innovative-nutzung-von-nachwachsenden-rohstoffen-am-beispiel-eines-buro-und-ausstellungsgebauedes-s-house-innovative-use-of-renewable-resources-demonstrated-with-an-office/>
- [22] Gruber & Partner, „StrohNatur - Strohballen - und Lehmputz Workshops“. <http://www.strohnatur.at/willkommen-bei-strohnatur/> (zugegriffen 3. Oktober 2021).
- [23] S. Riffert, „Die Zukunft des Strohballenbaus in Österreich“, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Wien, 2017.
- [24] SonnenKlee, „BauStroh“. <https://www.sonnenklee.at/natuerliche-daemmstoffe/baustroh> (zugegriffen 1. Oktober 2021).
- [25] R. Wimmer, H. Hohensinner, und S. Eikemeier, „Stroh-Cert - Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballenbau“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 36/2011.
- [26] Baunetz_Wissen_, „Stroh - Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten“, BauNetz. Zugegriffen: 1. Mai 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/stroh-4712662>
- [27] ASBN - austrian strawbale network, „Erstes genehmigtes lasttragendes Strohballenhaus“. <https://baubiologie.at/strohballenbau/erstes-baugenehmigtes-lasttragendes-strohballenhaus-3/> (zugegriffen 13. November 2021).
- [28] B. Krick, "Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise". Kassel: Kassel Univ. Press, 2008.
- [29] ASBN - austrian strawbale network, „Baustrohballen“. <https://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau/baustrohballen/> (zugegriffen 20. Oktober 2021).
- [30] G. Minke und B. Krick, "Handbuch Strohballenbau: Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele", 3., erw. aktualisierte Aufl. Staufien bei Freiburg: Ökobuch, 2014.
- [31] A. H. u. a., „Stroh kompakt - Fabrik der Zukunft als regionales Produktionsnetzwerk auf Basis nachwachsender Rohstoffe anhand eines Pilotprojektes im Bereich Dämmstoffe“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, Berichte aus Energie- Umweltforschung, Aug. 2005.
- [32] T. Bernard, K. Azra, und T. Bednar, „Bautechnische, ökologische und ökonomische Grundlagen der Planung von Strohballen-Gebäuden - Literaturzusammenstellung und Analyse des thermischen Leitwertes der Gebäudehülle“, Bauphysik, Bd. 36, Nr. 3, S. 134–143, Juni 2014, doi: 10.1002/bapi.201410024.

- [33] T. Ashour, H. Georg, und W. Wu, „Performance of straw bale wall: A case of study“, *Energy Build.*, Bd. 43, Nr. 8, S. 1960–1967, Aug. 2011, doi: 10.1016/j.enbuild.2011.04.001.
- [34] B. Eng. R. Ehling, „Strohballenbau - Vergleich dreier Bauvorhaben unter konstruktiven, ausführungstechnischen und bauphysikalischen Aspekten“, Masterarbeit, Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig, Leipzig, 2016.
- [35] O. Hemke, „Untersuchung der Konstruktionsweisen im Strohballenbau hinsichtlich ihres Wärmedämmverhaltens mit Hilfe der Thermografie“, Freie wissenschaftliche Arbeit, Technische Universität Berlin, Berlin, 2009.
- [36] ASBN - austrian strawbale network, „Zertifikate & Tests - Tests zum Brandwiderstand“. <https://baubiologie.at/strohballenbau/zertifikate-tests/> (zugegriffen 16. Juni 2022).
- [37] Atelier Schmidt, „Haus F - Lasttragende Strohballenbauweise“. <https://www.atelierschmidt.ch/haus-f-reschenpass> (zugegriffen 12. November 2021).
- [38] Atelier Schmidt, „Haus B-D - Lasttragende Strohballenbauweise“. <https://www.atelierschmidt.ch/haus-bd-disentis> (zugegriffen 12. November 2021).
- [39] S. Werner, „Passivhäuser aus Strohballen“, *Arch. HTL Atelier Werner Schmidt, CH-Trun*, Nov. 1999.
- [40] SonnenKlee, „Interview mit Margareta Schwarz“. <https://www.sonnenklee.at/titelseite/> (zugegriffen 13. November 2021).
- [41] ASBN - austrian strawbale network, „Strohbau - Techniken“. https://baubiologie.at/strohballenbau/strohballenbau__trashed/strohbautechniken/ (zugegriffen 13. November 2021).
- [42] M. Treberspurg u. a., „Demonstrationsprojekt für einen ressourcenorientierten Wohnbau in vorgefertigter Holzbauweise mit Strohdämmung in Lasse/NÖ“, BOKU Wien, Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen, Wien, Endbericht.
- [43] ISTRAW - straw based materials, „Strohbauplatten - moderner Trockenbau“, ISTRAW. Zugegriffen: 15. November 2021. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.istraw.de/strohbauplatte>
- [44] Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), „Stroh als Einblasdämmung“. <https://baustoffe.fnr.de/daemmstoffe/stroh-als-einblasdaemmung> (zugegriffen 16. Juni 2022).
- [45] Deutsche Umwelthilfe e.V., „Innovationen in der Wärmedämmung - Eine Broschüre für interessierte Praktiker*innen“. https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Energieeffizienz/Gebaeude/Infobrosch%C3%BCre_Innovationen_in_der_W%C3%A4rmed%C3%A4mmung.pdf (zugegriffen 16. Juni 2022).
- [46] STANDARD Verlagsgesellschaft m.b.H, „Ein Haus, gedämmt mit Stroh“. <https://www.derstandard.at/story/2000109763639/ein-haus-gedaemmt-mit-stroh> (zugegriffen 16. Juni 2022).
- [47] SonnenKlee, „Einblasdämmung aus Biostroh“, SonnenKlee. Zugegriffen: 15. November 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.sonnenklee.at/natuerliche-daemmstoffe/baustroh/produktinfo-stroh-einblasdaemmung/>
- [48] LOPAS -Bauen mit der Natur, „Bauen mit der Natur - Dämmstoff Stroh“. <https://www.lopas.at/die-naturstoffe/>
- [49] STATISTIK AUSTRIA, „Statistik der Landwirtschaft“, Wien, 2021.

- [50] Baunetz_Wissen_Nachhaltig Bauen, „Primärenergieinhalt“. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/p/primaerenergieinhalt-1074251> (zugegriffen 14. Juli 2022).
- [51] Baunetz_Wissen_Nachhaltig Bauen, „Treibhauspotenzial“. <https://www.baunetzwissen.de/glossar/t/treibhauspotenzial-6305134> (zugegriffen 14. Juli 2022).
- [52] Bau EPD GmbH, „EPD - Environmental Product Declaration“, Fachverband Strohballenbau Deutschland (FASBA) e.V., EPD-Produktdeklaration, Okt. 2014.
- [53] T. Mattila, J. Grönroos, J. Judl, und M.-R. Korhonen, „Is biochar or straw-bale construction a better carbon storage from a life cycle perspective?“, *Process Saf. Environ. Prot.*, Bd. 90, Nr. 6, S. 452–458, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.psep.2012.10.006.
- [54] ASBN - austrian strawbale network, „Workshop: Lehrreiche Strohbox“. <https://baubiologie.at/strohballenbau/3766-2/> (zugegriffen 1. Januar 2022).
- [55] DPM Holzdesign GmbH, „DPM Gruppe“. <https://www.dpm-gruppe.com/> (zugegriffen 17. Dezember 2021).
- [56] D.-G. ISO-STROH, „ISO-STROH“. <https://www.iso-stroh.net/> (zugegriffen 5. Dezember 2021).
- [57] BauStroh GbmH, „Technische Unterlagen“. <https://www.baustroh.de/downloads.html>
- [58] Wikipedia, „Wärmedurchgangskoeffizient“, Wikipedia. <https://de.wikipedia.org/wiki/W%C3%A4rmedurchgangskoeffizient> (zugegriffen 30. Dezember 2021).
- [59] C. Riccabona und T. Bednar, "Bauphysik". Wien: Manz-Verl., 2010.
- [60] Komitee 175 - Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen, ÖNORM EN ISO 6946: "Bauteile und Bauelemente - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient -Berechnungsverfahren". 2018, S. 60.
- [61] Wikipedia, „Heizenergiebedarf“. <https://de.wikipedia.org/wiki/Heizenergiebedarf> (zugegriffen 20. Dezember 2021).
- [62] E-CONTROL, „Strom- und Gasrechnung“. <https://www.e-control.at/konsumenten/strom/strompreis/was-kostet-eine-kwh-gas> (zugegriffen 30. Januar 2021).
- [63] J. Hollands, „Entwicklung eines Modells zur Bewertung der ökologischen, ökonomischen und energetischen Auswirkungen fassadengebundener Begrünungssysteme“, Diplomarbeit, Technische Universität Wien, Wien, 2017.
- [64] H. Hirth, "Grundzüge der Finanzierung und Investition", 3., Überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg, 2012.
- [65] Österreichische Nationalbank, „Inflation aktuell - Die Inflationsrate der OeNB“, Wien, Q3/21.
- [66] WKO-Wirtschaftskammer Österreich, „Verzugszinssatz zwischen Unternehmen“, WKO-Wirtschaftskammer Österreich, Wien. Zugegriffen: 30. Dezember 2021. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.wko.at/service/ooe/Verzugszinssatz-zwischen-Unternehmern.html#:~:text=Der%20Basiszinssatz%20betr%C3%A4gt%20per%201.7,%2B%209%2C2%20Prozentpunkte>.
- [67] Österreichischer Baustoff-Recycling Verband, „Ausgewählte Baustoff-Recycling Annahme-/Abgabepreise“, Österreichischer Baustoff-Recycling

- Verband, Wien, Juni 2018. Zugegriffen: 18. Dezember 2021. [Online].
Verfügbar unter: http://brv.at/media/_MEDIA/BRV/Preisliste.pdf
- [68] FH Joanneum GmbH, „Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung“, Studie, FH Joanneum GmbH, WKO Steiermark, Landesinnung Bau, Graz.
- [69] bauwion - BauWissenOnline.Von Architekten und Ingenieuren., „Holzfassaden“.
<https://www.bauwion.de/wissen/fassade/wandbekleidung/305-holzfassaden> (zugegriffen 26. Februar 2022).
- [70] Sachseneder GmbH, „Preisliste Holzbau 2020“, 3484 Grafenwörth, Preisliste. [Online]. Verfügbar unter: https://www.sachseneder.at/wp-content/uploads/2020/04/SACHSENER_Preisliste_HOLZBAU_20200401.pdf
- [71] Mach-Holzbau, Karl Mach GmbH, „Kosten, Holzschutzlasur - Fassade“, 24. Februar 2022.
- [72] DaiBau, „Holz Lackieren, Lasieren Kosten“, DaiBau - Baukostenrechner. Zugegriffen: 25. Februar 2022. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.daibau.at/baukostenrechner/holzmalerei1>
- [73] Roland Narr, „Instandhaltung - Kalkputz“. Zugegriffen: 22. Februar 2022. [Telefon]. Verfügbar unter: <https://www.rolandnarr.at/index.php/leistungen/kalk/sumpfkalkputze>
- [74] Lehmplus, „Lehm- und Kalkputz - Instandhaltung“, 23. Februar 2022. Zugegriffen: 27. Februar 2022. [Telefon]. Verfügbar unter: <http://www.lehmplus.at/>
- [75] DaiBau, „Fassade streichen - Kosten“. <https://www.daibau.at/baukostenrechner/maler> (zugegriffen 27. Februar 2022).
- [76] Mustafa Elbizanti BSc., „Aufwand und Kosten von Abbrucharbeiten“, 30. Dezember 2021.

14 Anhang

Anhang A	Leistungsbeschreibung
Anhang B	Rückbau-& Entsorgungskosten
Anhang C	U-Werte
Anhang D	Heizwärmebedarf
Anhang E	Lebenszykluskosten
Anhang F	Rückbau Strohbox

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte								
1,1	Bitumenpappe b=36 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen; Umfang Bodenplatte: 44 m	m ²	16	10				160	44m Umfang
2	Tragkonstruktion								
2,1	Fußschwelle KVH 6x36 cm fortlaufende Verankerung/Lagesicherung am Fundament alle 1,5m (Anker M12); Schwelle zu Fundament luft- und winddicht anschließen, inkl. Lieferung	m	44						
2,2	Doppelständerwand 6x14cm / 80cm ; tragend und aussteifend zur Ausfachung mit Baustroh herstellen; KVH oder Triobalken Kiefer m. Zulassung; Wandhöhe im M.295 m; an vorh. Montageschwelle befestigen; Befestigung von Ständer und Kopfschwelle je 2x Vollenwinde Holzschrauben m. Zulassung ca. 8x180 mm in 45° von außen angesetzt; einschl. ggf. notwendiger Hilfshölzer und Knaggen, temporäre Aussteifungen etc.; Ständer mit Holzfeuchte trocken von 15+/-3%; inkl. Lieferung	m	283						110 Ständer, 2,5 Holzmeter/m ² ; 113,02 Wandfläche => 282,55m Holz
2,3	Kopfschwelle KVH 6x36cm ; Montage und Lieferung	m	44						
2,4	Brüstungs-, Sturzriegel 1,5cm für Tür- und Fensteröffnungen; in strohgedämmter Außenwand; kplt. Abbinden und montieren, einschl. kontinuierlicher Verschraubung unter 45°, 10 Stk. Holzschrauben 6x160mm pro Meter; inkl. Lieferung	m ²	8						
2,5	Sockelholz 6x6 cm , umlaufend, Eiche mit Schräge und unterseitiger abtropfnut liefern, herstellen und montieren inkl. Befestigungsmittel; (Edelstahl-Holzschrauben 5x120 mm V2A, Abstand </= 50cm	m	44						
Summe Kosten Pos. 2.1-2,5		m ²	130	88	38	50		11422,4	
2,6	Baustroh gem. europ. Technischer Bewertung ETA-17/0247 einbauen; d=36, h=50, l=80cm in vorgefertigte Außenwandelemente gleichmäßig verdichtet lückenlos und setzungssicher einbauen; inkl. Lücken stopfen; ebenen und bündig mit Ständer zurückgeschnittene Oberflächen; Baustroh liefern; täglich loses Baustroh zusammenkehren, in geschlossene Säcke oder Behälter füllen und in ausreichende Abstand zur Baustelle lagern, dies mind. 1xpro Woche von der Baustelle abfahren	m ³	113	55	17	38	382	6598,08	Lieferung ist pauschal unter Sonstiges 382€

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

2,7	Beplankung mit Agepan außen 1,6 cm; Montage, Befestigung, winddicht und aussteifend beplankt; inkl. Lieferung	m ²	113	30	10	20	3390,59
3	Fassade Hinterlüftet						
3,1	Lattung 4x4cm /40cm außen KVH zur Hinterlüftung; Lattung befestigen und montieren; Holz liefern in gesonderter Position	m	283				
3,2	Stülp Schalung 2cm außen; auf Lattung befestigen und montieren; Lieferung i. ges. Position	m ²	113				
	Summe Kosten Pos 3.1-3.2	m ²	113	88			9945,73
3	Fassade Verputzt						
3,3	Putzträger Schilfstukkkatur 7-15mm außen; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	113				
3,4	Kalkputz 0,7 cm außen; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	113				
	Summe Kosten Pos 3.3-3.4	m ²	113	75	25	50	8726,48
4	Verputzarbeiten Innen						
4,1	Putzträger Schilfstukkkatur 5-15mm innen; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	105				
4,2	Lehmputz 3 cm innen; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	105				
	Summe Kosten Pos 4.1-4.2	m ²	105	60	15	45	6521,42
5	Sonstige Kosten						
5,1	Abplanen von Stroflächen als Schlagregenschutz	m ²	130	0,2			27
5,2	Sonstige Hilfsmittel; weitere Hilfsmittel für Ausführungsdauer	PB	1				
Varianten:							
	Infill mit Hinterlüfteter Fassade	m ²	113	337	€ /m ²	€	38.065
	Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	326	€ /m ²	€	36.846

Lieferung mit 250€ pauschal unter Sonstiges

Lieferung mit 250€ pauschal unter Sonstiges

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte								
1,1	Bitumenpappe b=36 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen; Umfang Bodenplatte: 44 m	m ²	16	10				160	
2	Tragkonstruktion								
2,1	Fußschwelle KVH 6x36 cm ; fortlaufende Verankerung/Lagesicherung am Fundament alle 1,5 m, Anker M12; Schwelle zu Fundament luft- und winddicht anschließen; inkl. Lieferung Material	m	44						
2,2	Einfachständer 4x18 cm/ 80 cm KVH oder Triobalken Kiefer m. Zulassung tragend herstellen; Wandhöhe im M. 2,95m; an vorh. Montageschwelle befestigen; Befestigung zu Ständer und Kopfschwelle je 2x Vollgewinde Holzschrauben m. Zulassung ca. 8x18 mm in 45° von außen angesetzt; einschl. ggf. notwendiger Hilfshölzer und Knaggen, temporäre Aussteifungen etc.; für Tür und Fenstereinbauten doppelte Einfachständer mit dämmender Ausfachung (1Tür, 9 Fenster); Ständer mit Holzfeuchte trocken von 15+/-3%; im Eck Ständer winkelförmig anbringen; inkl. Lieferung	m	215						
2,3	Kopfschwelle KVH 6x36 cm ; Umfang ca. 44 m ; inkl. Lieferung	m	44						
2,4	Brüstungs-, Sturzriegel 1,5cm für Tür- und Fensteröffnungen; in strohgedämmter Außenwand; kplt. Abbinden und montieren, einschl. kontinuierlicher Verschraubung unter 45°, 10 Stk. Holzschrauben 6x160mm pro Meter; inkl. Lieferung	m ²	8						
2,5	Sockelholz 6x6 cm , umlaufend, Eiche mit Schräge und unterseitiger abtropfnut liefern, herstellen und montieren inkl. Befestigungsmittel; (Edelstahl-Holzschrauben 5x120 mm VZA, Abstand <=/= 50cm	m	44						
Summe Kosten Pos. 2,1-2,5		m ²	130	65	25	40		8448	Arbeit um 2/3 weniger als Infill
2,6	Baustroh gem. europ. Technischer Bewertung ETA-17/0247 Einbau und Lieferung; d=36, h=50, l=80 cm; Baustroh zwischen vorgefertigte Außenwandelemente einbauen und mithilfe in den Ballen eingelassenen Holzleisten komprimieren (CUT-cells under tension); CUT-Holzleisten in gesonderter Position; eben und bündig mit Ständer zurückgeschnittenen Oberflächen; inkl. Lieferung; täglich loses Baustroh zusammenkehren, in geschlossenen Säcken oder Behälter füllen und in ausreichendem Abstand zu Baustelle lagern, dies mind 1x pro Woche von der Baustelle	m ³	113	55	17	38	382	6598	Lieferung ist pauschal unter Sonstiges 382€

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

		Arbeit 1/3 des Strohballeinbaus					
2,7	CUT-Holzleisten 2,5x2,5 cm in Strohbällen einlassen und Strohbällen komprimieren; CUT-Holzleisten verhindern die Durchbiegung der Ständer und halten den Ballen in der Konstruktion; inkl. Lieferung	m	264	1	1	0	359
2,8	Bepankung mit Agepan außen 1,6 cm ; Montage, Befestigung und Lieferung inkl.	m ²	113	30	10	20	3391
3	Fassade Hinterlüftet						
3,1	Lattung 4x4cm /40cm außen KVH zur Hinterlüftung; Lattung befestigen und montieren; Holz liefern in gesonderter Position	m	264				
3,2	Stülp Schalung 2cm außen ; auf Lattung befestigen und montieren; Lieferung i. ges. Position	m ²	113				
Summe Kosten Pos. 3,1-3,2		m ²	113	88			9946
4	Fassade Verputzt						
4,1	Putzträger Schilfstukatur 5-15mm außen ; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	113				
4,2	Kalkputz 0,7 cm außen ; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	113				
Summe Kosten Pos. 4,1-4,2		m ²	113	75	25	50	250
5	Verputzarbeiten Innen						
5,1	Putzträger Schilfstukatur 5-15mm innen ; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	105				
5,2	Lehmputz 3 cm innen ; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	105				
Summe Kosten Pos. 5,1-5,2		m ²	105	60	15	45	250
6	Sonstige Kosten						
6,1	Ablanen von Strohfleichen als Schlagregenschutz	m ²	130	0,21			27
6,2	Sonstige Hilfsmittel; weitere Hilfsmittel für Ausführungsdauer						
Varianten:							
	Infill mit Hinterlüfteter Fassade	m ²	113	314	€	m ²	35 449
	Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	303	€	m ²	34 230

Lieferung mit 250€ pauschal unter Sonstiges

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte								
1,1	Bitumenpappe b=36 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen; Umfang Bodenplatte: 44 m	m ²	16	10				160	44m Umfang
2	Tragkonstruktion								
2,1	Fußschwelle KVH 6x36 cm ; fortlaufende Verankerung/Lagesicherung am Fundament alle 1,5 m, Anker M12; Schwelle zu Fundament luft- und winddicht anschließen; inkl. Lieferung Material	m	44					9	
2,2	Einfachständer 4x18 cm/ 80 cm KVH oder Triobalken Kiefer m. Zulassung tragend herstellen; Wandhöhe im M. 2,95m; an vorh. Montageschwelle befestigen; Befestigung zu Ständer und Kopfschwelle je 2x Vollgewinde Holzschrauben m. Zulassung ca. 8x18 mm in 45° von außen angesetzt; einschl. ggf. notwendiger Hilfsböhlen und Knaggen, temporäre Aussteifungen etc.; für Tür und Fenstereinbauten doppelte Einfachständer mit dämmender Ausfachung (1Tür, 9 Fenster); Ständer mit Holzfeuchte trocken von 15+/-3%; im Eck Ständer winkelförmig anbringen; inkl. Lieferung	m	215						
2,3	Kopfschwelle KVH 6x36 cm; Umfang ca. 44 m ; inkl. Lieferung	m	44						
2,4	Brüstungs-, Sturzriegel 1,5cm für Tür- und Fensteröffnungen; in strohgedämmter Außenwand; kplt. Abbinden und montieren, einschl. kontinuierlicher Verschraubung unter 45°, 10 Stk. Holzschrauben 6x160mm pro Meter; inkl. Lieferung	m	24						
2,5	Sockelholz 6x6 cm, umlaufend, Eiche mit Schräge und unterseitiger abtropfnut liefern, herstellen und montieren inkl. Befestigungsmittel; (Edelstahl-Holzschrauben 5x120 mm V2A, Abstand </= 50cm	m	44						
	Summe Kosten Pos. 1-2	m ²	130	65	25	40		8448	Arbeit um 2/3 weniger als Infill
2,6	Baustroh gem. europ. Technischer Bewertung ETA-17/0247 Einbau und Lieferung; d=36, h=50, l=80 cm; Baustroh zwischen vorgefertigte Außenwandelemente einbauen und mithilfe in den Ballen eingelassenen Holzleisten komprimieren (CUT-cells under tension); CUT-Holzleisten in gesonderter Position; eben und bündig mit Ständer zurückgeschnittenen Oberflächen; inkl. Lieferung; täglich loses Baustroh zusammenkehren, in geschlossenen Säcken oder Behälter füllen und in ausreichendem Abstand zu Baustelle lagern, dies mind 1x pro Woche von der Baustelle	m ²	113	55	17	38	382	6598	Lieferung ist pauschal unter Sonstiges 382€

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos. Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
2,7 CUT-Holzleisten 2,5x2,5 cm in Strohballen einlassen und Strohballen komprimieren; CUT-Holzleisten verhindern die Durchbiegung der Ständer und halten den Ballen in der Konstruktion; inkl. Lieferung	m	264	1	1	0	0	359	Arbeit 1/3 des Strohballeneinbaus
3 Verputzarbeiten								
3,1 Lehmputz 3 cm innen; Lehmputz direkt auf Stroh aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	105	60			250	6521	
3,2 Kalkputz 2 cm außen; Kalkputz direkt auf Strof aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	113	75	25	50	250	8726	Lieferung ist pauschal unter Sonstiges 250 Eur
4 Sonstige Kosten								
4,1 Abplanen von Strohfächen als Schlagregenschutz	m ²	130	0				27	
4,2 Sonstige Hilfsmittel; weitere Hilfsmittel für Ausführungsdauer								
Variante								
Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	273	€/m ²			30 840	

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte								
	Bitumenpappe b=50 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen; Umfang Bodenplatte: 44 m	m ²	22	10				220	44m Umfang
2	Tragkonstruktion								
2,1	Fußschwelle KVH 6x50 cm fortlaufende Verankerung/Lagesicherung am Fundament alle 1,5 m, Anker M12; Schwelle zu Fundament luft- und winddicht anschließen; Holz liefern in gesonderter Position; Öse in regelmäßigen unter Fußschwelle anbringen, zum Einbringen der Vorspanngurte	m	44	37	19	17		1606	Lohn Holzarbeiten=16h*55Euro/hx3Arbeiter/5 Teile
2,2	Gurte mit Ratsche in Öse einbringen, in regelmäßigen Abständen; Gurte mit Ratsche zum Niederspannen in Öse unter Fußschwelle führen	Stück	40	25	25			1000	
2,3	Eckwinkel 4x18 cm KVH oder Triobalken Kiefer m. Zulassung; Wandhöhe im M. 2,95 m; an Fußschwelle montieren; Befestigung zu Ständer je 2x Vollgewindeschraube m. Zulassung ca. 8x180 mm in 45° von außen angesetzt; einschl. ggf. notwendiger Hilfsböler und Knaggen, temp. Aussteifungen etc.; Ständer mit Holzfeuchte trocken von 15+/-3%; Holzmenge liefern in gesonderter Position	m	24	9	4	4		205	Lohn Holzarbeiten=13h*55Euro/hx3Arbeiter/5 Teile
2,4	Baustroh gem. europ. Technischer Bewertung ETA-17/0247 Einbau und Lieferung; d=36, h=80 cm; Baustroh wie Ziegel im Versatz aufmauern und mit eingeschlagenen Spieße (Bauholz) versteifen bzw.befestigen; die Spieße verbinden die Ballen mit der Schwelle; Stroh ebenen und bündig zur Oberfläche zuschneiden; Baustroh liefern gesondert; Holzspieße liefern in gesonderter Position; einschl. notwendiger Hilfsböler und Aussteifungen täglich loses Baustroh zusammenkehren, in geschlossenen Säcken, oder Behälter füllen und in ausreichendem Abstand zur Baustelle lagern, dies mind. 1x pro Woche von der Baustelle abfahren	m ³	113	61	23	38	382	7239	Im Punkto Sonstiges ist die Lieferung enthalten Lohn Stroh 1/3 mehr Lohn wegen Einbau Spieße
2,5	Holzspieße KVH 2,5x2,5 cm inkl. Lieferung	m	113	0	0	0		40	
2,6	Massive Ringankerbox 20*50 cm ; Ringankerbox auf Strohhallen herstellen und aufbringen zum Pressen der Ballen aufbringen; Ringankerbox mit 12 cm hohen Konstruktionshölzern und Weichfaserplatte hergestellt, mit Holzspießen auf Strohhallen befestigt;	m	44	61	32	29		2694	Lohn Holzarbeiten=13h*55Euro/hx3Arbeiter/5 Teile Weichfaserplatte 4cm, 5,28m ² =40Euro
2,7	Strohballen niederspannen ; Gurte mit Ratsche über Ringankerbox führen und spannen; nach dem Setzen (4-6 Wochen) Wand verputzen	m ²	113	3	3	3		330	

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Anhang A4: Lasttragend

2,8	Sockelholz 6x6 cm; umlaufend, Eiche mit Schräge und unterseitiger Abtropfnut	m	44	4	2	2	173	
	liefern, herstellen und montieren inkl. Befestigungsmittel Edelstahl-Holzschrauben 5 x 120 mm V2A Abstand </>=50cm							
2,9	Fensterbox OSB d=1,5cm herstellen; Rohbaumaß Fenster 1,25x1,25m Breite OSB Platten 1,20m; OSB Fensterbox mit Holznägeln an Ballen verbunden; einschl. Material, Lieferung und Verbindungsmittel	m ²	23	15	10	5	335	Lohn Holzarbeiten=13h*55Euro/hx3Arbeiter/5 Teile
###	Türbox OSB d=1,5cm herstellen; Rohbaumaß Tür h=2,14 b=1,27m; Breite OSB Platten 1,20m; OSB Türbox vernageln; einschließlich Material, Lieferung und Verbindungsmittel	m ²	5	8	3	5	46	Lohn Holzarbeiten=13h*55Euro/hx3Arbeiter/5 Teile
3	Verputzarbeiten							
3,1	Lehmputz 3 cm innen; Lehmputz direkt auf Stroh aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	101	60	15	45	250	Lieferung ist pauschal unter Sonstiges 250 Euro
3,2	Kalkputz 2 cm außen; Kalkputz direkt auf Strof aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	113	75	25	50	250	Lieferung mit Lehmputz
4	Sonstige Kosten							
4,1	Abplanen von Strohfleichen als Schlagregenschutz	m ²	130	0	0		28	
4,2	Sonstige Hilfsmittel; weitere Hilfsmittel für Ausführungsdauer							
Variante	Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	256	€	/m ²	28	965

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte								
	Bitumenpappe 28 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen	m ²	12	10				123	44m Umfang
2	Tragkonstruktion								
2,1	Fußschwelle KVH 6x28 cm fortlaufende Verankerung/Lagesicherung am Fundament alle 1,5m (Anker M12); Schwelle zu Fundament luft- und winddicht anschließen, inkl. Lieferung	m	44						
2,2	Holzständer KLH 6x28 cm / 92 cm m. Zulassung; Wandhöhe im M.295 m; an vorh. Montageschwelle befestigen; Befestigung von Ständer und Kopfschwelle je 2x Vollenwinde Holzschrauben m. Zulassung ca. 8x180 mm in 45° von außen angesetzt; einschl. ggf. notwendiger Hilfsböler und Kraggen, temporäre Aussteifungen etc.; Ständer mit Holzfeuchte trocken von 15+/-3%; inkl. Lieferung	m	123						
2,3	Kopfschwelle KVH 6x28 cm ; Montage und Lieferung	m ²	12						
2,4	Sockelholz 6x6 cm , umlaufend, Eiche mit Schräge und unterseitiger abtropfnut liefern, herstellen und montieren inkl. Befestigungsmittel; (Edelstahl-Holzschrauben 5x120 mm VZA, Abstand $\leq 50\text{cm}$	m	44						
2,5	Brüstungs-, Sturzriegel 1,5cm für Tür- und Fensteröffnungen; in strohgedämmter Außenwand; kplt. Abbinden und montieren, einschl. kontinuierlicher Verschraubung unter 45°, 10 Stk. Holzschrauben 6x160mm pro Meter; inkl. Lieferung	m	24						
Summe Kosten Pos 2.1-2.5		m ²	113	70	20	50		7911	
2,6	Einblasung Stroh inkl. Lieferung und Einbau	m ³	30	234				6930	Dicke Dämmschicht 28cm; 1,65€/kg; Verdichtung 104-140 kg/m ³ Anlieferung im Preis enthalten
2,7	Beklankung außen mit DHF Platten 2,0 cm ; Montage, Befestigung; winddicht und aussteifend beplankt;inkl. Lieferung	m ²	113	32				3617	
2,8	Beklankung innen mit OSB 1,9 cm ; Montage, Befestigung; luftdicht;inkl. Lieferung	m ²	106	32				3405	
3	Fassade Hinterlüftet								
3,1	Lattung 4x4cm /40cm außen KVH zur Hinterlüftung; Lattung befestigen und montieren; Holz liefern in gesonderter Position	m	283						
3,2	Stülpshalung 2cm außen ; auf Lattung befestigen und montieren; Lieferung i. ges. Position	m ²	113						
Summe Kosten Pos 2.1-2.5		m ²	113	88				9946	

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

4	Fassade Verputzt								
4,1	Putzträger Schilfstukatur 5-15mm außen; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	113						
4,2	Kalkputz 0,7 cm außen; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	113						
	Summe Kosten Pos 4,1-4,2	m ²	113	75	25	50	250	8726	
5	Verputzarbeiten Innen								
5,1	Putzträger Schilfstukatur 5-15mm innen; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	106						
5,2	Lehmputz 1 cm innen; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	106						
	Summe Kosten Pos 5,1-5,2	m ²	106	22	10	12	250	2591	
6	Sonstige Kosten								
6,1	Kran bereitstellung	Tage							
6,2	Sonstige Hilfsmittel und Hilfsmaterialien	PB							
Varianten:									
	Infill mit Hinterlüfteter Fassade	m ²	113	305	€/m ²			31 118	
	Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	295	€/m ²			29 899	

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte	m ²	18	10				176	44m Umfang
	Bitumenpappe 40 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen								
2	Tragkonstruktion	m ²	113	185	24	161	1500	20652	150€ - 10€ Rabatt für Baufirma pro m2 350€pauschal für Montageplan pro m2 entspricht: 143,125 bzw. 153,125 für Private netto
2,1	EcoCocon-Strohwandmodule ; Montage auf Bodenplatte; inkl. Lieferung								
2,2	Holzfaserplatten 60mm ; Montage, Befestigung, winddicht und aussteifend beplankt; inkl. Lieferung	m ²	113	27	10	17		2995	
2,3	Sockelholz 6x6 cm , umlaufend, Eiche mit Schräge und unterseitiger abtropfnut liefern, herstellen und montieren inkl. Befestigungsmittel; (Edelstahl- Holzschrauben 5x120 mm V2A, Abstand $\leq 50\text{cm}$	m	44	4	2	2		173	
3	Fassade Hinterlüftet								
3,1	Lattung 4x4cm /40cm außen KVH zur Hinterlüftung; Lattung befestigen und montieren; inkl. Lieferung	m	283						
3,2	Stülp Schalung 2cm außen ; auf Lattung befestigen und montieren; inkl. Lieferung	m ²	113						
	Summe Kosten Pos 3.1-3.2	m ²	113	88				9944	
3	Fassade Verputzt								
3,3	Putzträger Schilfstukatur 5-15mm außen ; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen								
3,4	Kalkputz 0,7 cm außen ; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung								
	Summe Kosten Pos 3.3-3.4	m ²	113	75	25	50	250	8726	
4	Verputzarbeiten Innen								
4,1	Putzträger Schilfstukatur 5-15mm innen ; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	104						
4,2	Lehmputz 1 cm innen ; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	104	22	10	12		2279	
	Summe Kosten Pos 4.1-4.2								

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
5	Sonstige Kosten								
5,1	Kran bereitstellung	Tage	1	600				600	
5,2	Sonstige Materialien und Hilfsmittel	PB							
Varianten:									
	Infill mit Hinterlüfteter Fassade	m ²	113	328	€/m ²			37 019	
	Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	317	€/m ²			35 802	

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Pos.	Leistungsbeschreibung	EH	n	EHP	Lo.	Ma.	So.	GP	Erläuterung
1	Vorbereitung Bodenplatte								
	Bitumenpappe 60 cm auf Bodenplatte unter Fußschwelle verlegen	m ²	26	10				264	44m Umfang
2	Tragkonstruktion								
2,1	Casevere-Stroh/Lehmwandmodule; Montage auf Bodenplatte; inkl. Lieferung	m ²	113	250				28255	
3	Fassade Hinterlüftet								
3,1	Lattung 4x4cm / 40cm außen KVH zur Hinterlüftung; Lattung befestigen und montieren; inkl. Lieferung	m	283						
3,2	Stülp Schalung 2cm außen; auf Lattung befestigen und montieren; inkl. Lieferung	m ²	113						
	Summe Kosten Pos 3.1-3.2	m ²	113	88				9946	
	Fassade Verputzt								
3,3	Putzträger Schilfstukkatur 5-15mm außen; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	113						
3,4	Kalkputz 0,7 cm außen; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	113	75	25	50	250	8726	Lieferung mit Lehmputz
	Summe Kosten Pos 3.3-3.4								
4	Verputzarbeiten Innen								
4,1	Putzträger Schilfstukkatur 5-15mm innen; Befestigung z.B. mit verzinkten Klammern alle 10 cm (für kleine Flächen eignet sich Steico Underfloor) Befestigung, Montage und Lieferung mit Lehmputz evt. Baupapier als Dampfbremse aufbringen	m ²	99						
4,2	Lehmputz 1 cm innen; Lehmputz auf Putzträger innen aufbringen; inkl. Lieferung	m ²	99	22	10	12	250	2425	
	Summe Kosten Pos 4.1-4.2								
5	Sonstige Kosten								
5,3	Kran Bereitstellung	Tage	2	1200				2400	
5,4	Sonstige Hilfsmittel und Hilfsmaterialien	PB							

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Varianten:				
Infill mit Hinterlüfteter Fassade	m ²	113	383 €/m²	43 290
Infill mit Weiß verputzter Fassade	m ²	113	372 €/m²	42 070

EH = Einheit, n = Anzahl, EHP = Einheitspreis, Lo. = Lohn, Ma. = Material, So. = Sonstiges, GP = Gesamtpreis

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Infill		Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	Hinterlüftet [to]	Verputzt [to]		Hinterlüftet [€]	Verputzt [€]	
Holz	3,4	1,7	52	178	88	
Holzstoffe behandelt	1,0	0,0	61	62	0	
Baustellenabfälle (Baumix)	0,0	2,3	210	0	492	
Lehm	5,3	5,3	27	142	142	Bauschutt
Stroh	4,1	4,1	0	0	0	
Lohnkosten						
Abbruch	[m ²] 129,8	[m ²] 129,8	€/m ² 8	[€] 1038	[€] 1038	

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 381,81	€ 722,21
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 2 213,89	€ 2 554,29
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 1 420,21	€ 1 760,61
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 3 252,29	€ 3 592,69

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Infill		Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	Hinterlüftet [to]	Verputzt [to]		Hinterlüftet [€]	Verputzt [€]	
Holz	3,0	1,8	52	157	92	
Holzstoffe behandelt	1,0		61	62	0	
Baustellenabfälle (Baumix)	0,0	2,3	210	0	492	
Lehm	5,3	5,3	27	142	142	Bauschutt
Stroh	4,1	4,1	0	0	0	

Lohnkosten	[m ²]	[€/m ²]	[€]
Abbruch	129,8	8	1038

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 361,37	€ 725,72
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 2 193,45	€ 2 557,80
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 1 399,77	€ 1 764,12
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 2 193,45	€ 3 596,20

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Verputzt		Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	[to]	[€/to]		Verputzt [€]	Verputzt [€]	
Holz	1,9	52	101			
Holzstoffe behandelt	0,0	61	0			
Baustellenabfälle (Baumix)	0,0	210	0			
Lehm	8,5	27	226			Bauschutt
Stroh	4,1	0	0			
Lohnkosten						
Abbruch	129,8	8	1038			

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 326,96
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 2 751,43
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 1 365,36
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 3 789,83

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Verputzt		Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	[to]	[€/to]		Verputzt [€]	Verputzt [€]	
Holz	1,9	52	100			
Holzstoffe behandelt	0,0	61	0			
Baustellenabfälle (Baumix)	0,0	210	0			
Lehm	8,3	27	221			Bauschutt
Stroh	5,7	0	0			
Lohnkosten	[m²]	[€/m²]	[€]			
Abbruch	129,8	8	1038			

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 321,99
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 3 035,82
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 1 360,39
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 4 074,22

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Infill		Verputzt [to]	Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	Hinterlüftet [to]	Verputzt [€]			Hinterlüftet [€]	Verputzt [€]	
Holz	2,9	1,7	52	152	86		
Holzstoffe behandelt	2,6	1,3	61	159	76		
Baustellenabfälle (Baumix)	0,1	2,6	210	21	540		
Lehm	1,8	1,8	27	48	48	Bauschutt	
Stroh	3,1	3,1	0	0	0		

Lohnkosten	[m ²]	[€/m ²]	[€]
Abbruch	129,8	8	1038
			1038

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 380,99	€ 750,69
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 1 033,26	€ 1 402,96
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 1 419,39	€ 1 789,09
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 2 071,66	€ 2 441,36

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Infill		Verputzt [to]	Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	Hinterlüftet [to]	Verputzt [€]			Hinterlüftet [€]	Verputzt [€]	
Holz	1,7	1,7	1,7	52	87	87	
Holzstoffe behandelt	1,8			61	110	0	
Baustellenabfälle (Baumix)	0,1	3,0	3,0	210	21	633	
Lehm	1,8	1,8	1,8	27	47	47	Bauschutt
Stroh	4,0	4,0	4,0	0	0	0	
Lohnkosten	[m²]	[m²]	[m²]	[€/m²]	[€]	[€]	
Abbruch	129,8	129,8	129,8	8	1038	1038	

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 264,23	€ 766,46
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 1 112,63	€ 1 614,86
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 1 302,63	€ 1 804,86
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 2 151,03	€ 2 653,26

Rückbau- & Entsorgungskosten

Rohstoff	Infill		Verputzt [to]	Preis [€/to]	Kosten		Erläuterung
	Hinterlüftet [to]	Verputzt [€]			Hinterlüftet [€]	Verputzt [€]	
Holz	2,9	1,6	52	152	86		
Holzstoffe behandelt	4,6	3,6	61	281	219		
Baustellenabfälle (Baumix)	17,3	19,5	210	3632	4102		
Lehm	1,7	1,7	27	45	45	Bauschutt	
Stroh	4,1	4,1	0	0	0		

Lohnkosten	[m ²]	[€/m ²]	[€]
Abbruch	129,8	8	1038

Ergebnisse

a.) Entsorgung ohne Stroh	€ 4 109,90	€ 4 450,98
b.) Entsorgung Stroh und Lehm in Baumix	€ 4 964,33	€ 5 305,41
c.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz sortiert	€ 5 148,30	€ 5 489,38
d.) Abbruch und Entsorgung Stroh und Putz unsortiert	€ 6 002,73	€ 6 343,81

Infill I

Außenwand

Anhang C1:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	14,00	0,049	2,857
	KVH Fichte (7,0%)	14,00	0,130	1,077
3	Baustroh	6,00	0,049	1,224
	Sto-Weichfaserplatte M 042 (7,0%)	6,00	0,042	1,429
4	Baustroh	14,00	0,049	2,857
	KVH Fichte (7,0%)	14,00	0,130	1,077
5	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,130

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Hinterlüftungsebene

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,upper}} = 7,010 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,lower}} = 6,835 \text{ m}^2\text{K/W}$.

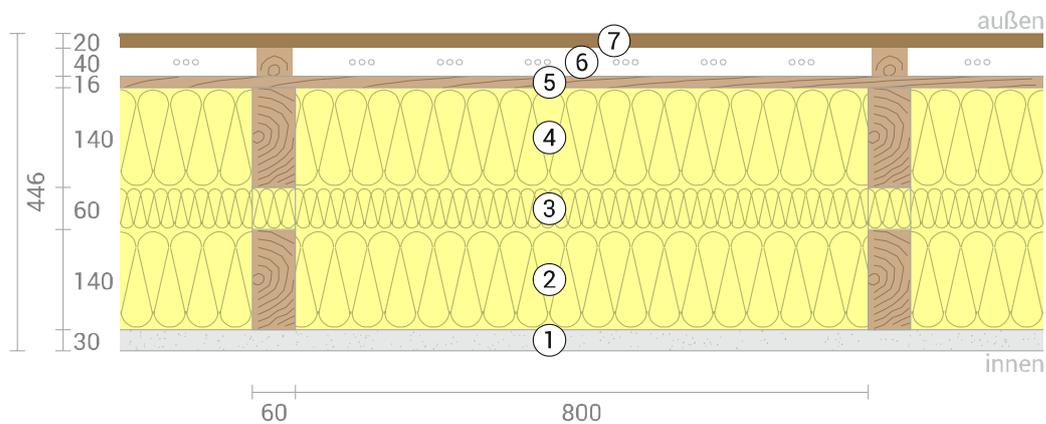
Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot,upper}} / R_{\text{tot,lower}} = 1,025$ (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}})/2 = 6,923 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,3%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



Infill II

Außenwand

Anhang C2:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	14,00	0,049	2,857
	KVH Fichte (7,0%)	14,00	0,130	1,077
3	Baustroh	6,00	0,049	1,224
	Sto-Weichfaserplatte M 042 (7,0%)	6,00	0,042	1,429
4	Baustroh	14,00	0,049	2,857
	KVH Fichte (7,0%)	14,00	0,130	1,077
5	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
6	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
7	Kalkputz	0,70	0,870	0,008
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,upper}} = 7,012 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,lower}} = 6,838 \text{ m}^2\text{K/W}$.

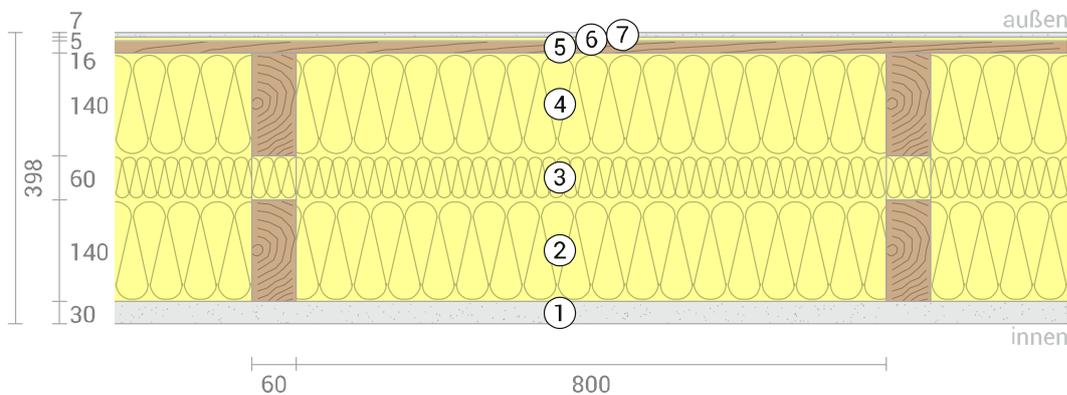
Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot,upper}} / R_{\text{tot,lower}} = 1,025$ (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}})/2 = 6,925 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,3%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$



CUT A I

Außenwand

Anhang C3:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (R _{si})			0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	18,00	0,049	3,673
	KVH Fichte (4,8%)	18,00	0,130	1,385
3	Baustroh	18,00	0,049	3,673
	KVH Fichte (Breite: 2,5 cm)	2,50	0,130	0,192
4	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
	Wärmeübergangswiderstand außen (R _{se})			0,130

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

R_{si}: Wärmestromrichtung horizontal

R_{se}: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Hinterlüftungsebene

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,upper}} = 7,655 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,lower}} = 7,517 \text{ m}^2\text{K/W}$.

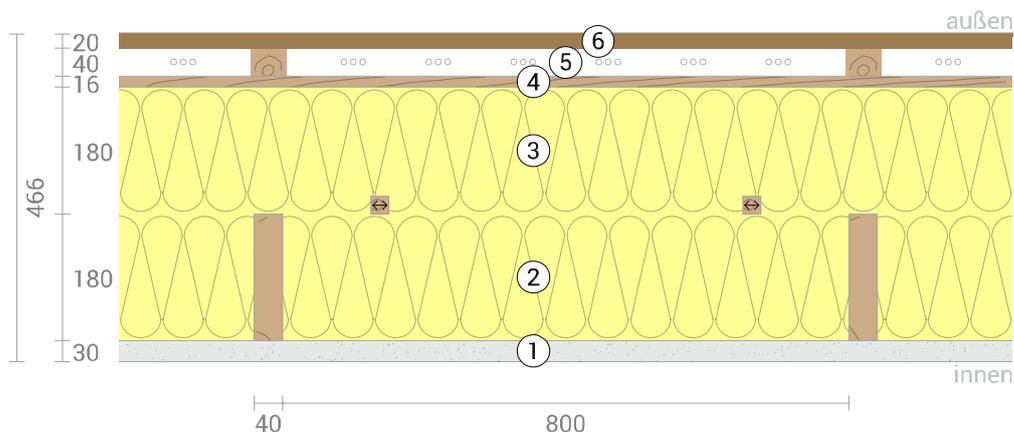
Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot,upper}} / R_{\text{tot,lower}} = 1,018$ (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}}) / 2 = 7,586 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 0,91%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



CUT A II

Außenwand

Anhang C4:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)				0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	18,00	0,049	3,673
	KVH Fichte (4,8%)	18,00	0,130	1,385
3	Baustroh	18,00	0,049	3,673
	KVH Fichte (Breite: 2,5 cm)	2,50	0,130	0,192
4	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
5	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
6	Kalkputz	0,70	0,870	0,008
Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)				0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{tot,upper} = 7,658 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{tot,lower} = 7,520 \text{ m}^2\text{K/W}$.

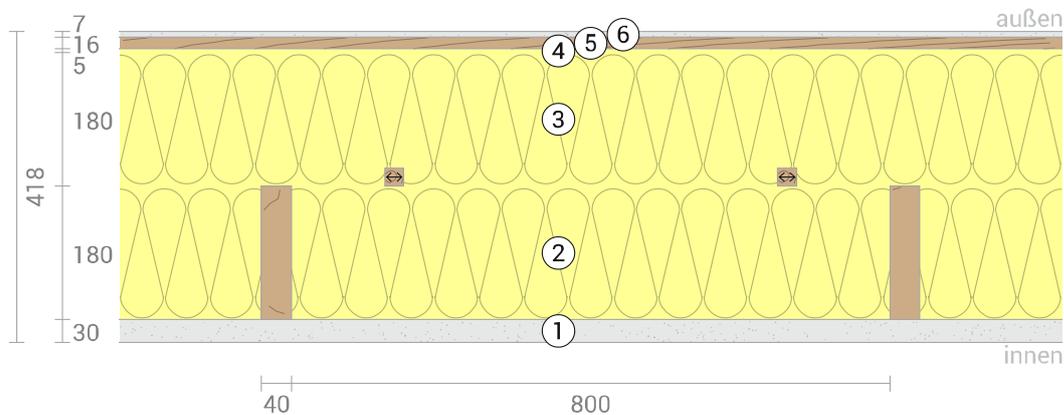
Prüfe Anwendbarkeit: $R_{tot,upper} / R_{tot,lower} = 1,018$ (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{tot} = (R_{tot,upper} + R_{tot,lower})/2 = 7,589 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 0,91 %

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{tot} = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



CUT B

Außenwand

Anhang C5:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (R _{si})			0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	18,00	0,049	3,673
	KVH Fichte (4,8%)	18,00	0,130	1,385
3	Baustroh	18,00	0,049	3,673
	KVH Fichte (Breite: 2,5 cm)	2,50	0,130	0,192
4	Kalkputz	2,00	0,870	0,023
	Wärmeübergangswiderstand außen (R _{se})			0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

R_{si}: Wärmestromrichtung horizontal

R_{se}: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_{tot,upper} = 7,408 m²K/W.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_{tot,lower} = 7,272 m²K/W.

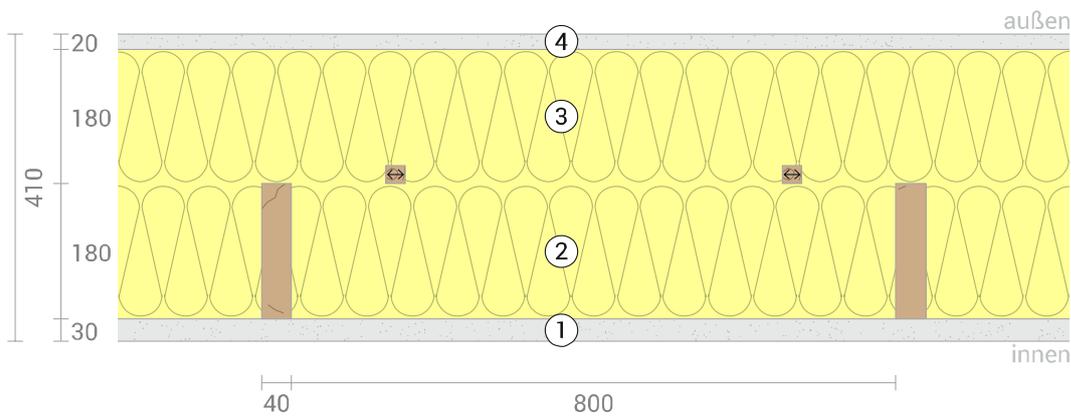
Prüfe Anwendbarkeit: R_{tot,upper} / R_{tot,lower} = 1,019 (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand R_{tot} = (R_{tot,upper} + R_{tot,lower})/2 = 7,340 m²K/W

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 0,93%

Wärmedurchgangskoeffizient U = 1/R_{tot} = **0,14 W/(m²K)**



Lasttragend

Außenwand

Anhang C6:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)				0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Baustroh	23,75	0,061	3,893
3	Baustroh	2,50	0,061	0,410
	KVH Fichte (3,0%)	2,50	0,130	0,192
4	Baustroh	23,75	0,061	3,893
5	Kalkputz	2,00	0,870	0,023
Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)				0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,upper}} = 8,420 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,lower}} = 8,414 \text{ m}^2\text{K/W}$.

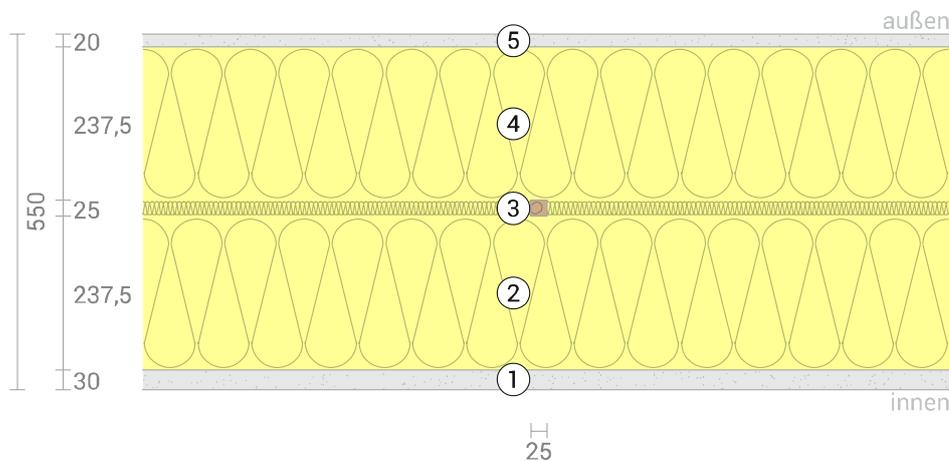
Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot,upper}} / R_{\text{tot,lower}} = 1,001$ (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}}) / 2 = 8,417 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 0,041%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



DPM I

Anhang C7:

Außenwand

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (R _{si})			0,130
1	Lehmputz	1,00	0,800	0,013
2	Schilfstuckatur	0,70	0,059	0,119
3	OSB/3	1,90	0,130	0,146
4	Iso-Stroh-Einblasdämmung	28,00	0,055	5,128
	Brettsperrholz (6,1%)	28,00	0,130	2,154
5	Holzfasерplatten 600kg/m ³	2,00	0,140	0,143
	Wärmeübergangswiderstand außen (R _{se})			0,130

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

R_{si}: Wärmestromrichtung horizontal

R_{se}: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Hinterlüftungsebene

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_{tot,upper} = 5,458 m²K/W.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes R_{tot,lower} = 5,409 m²K/W.

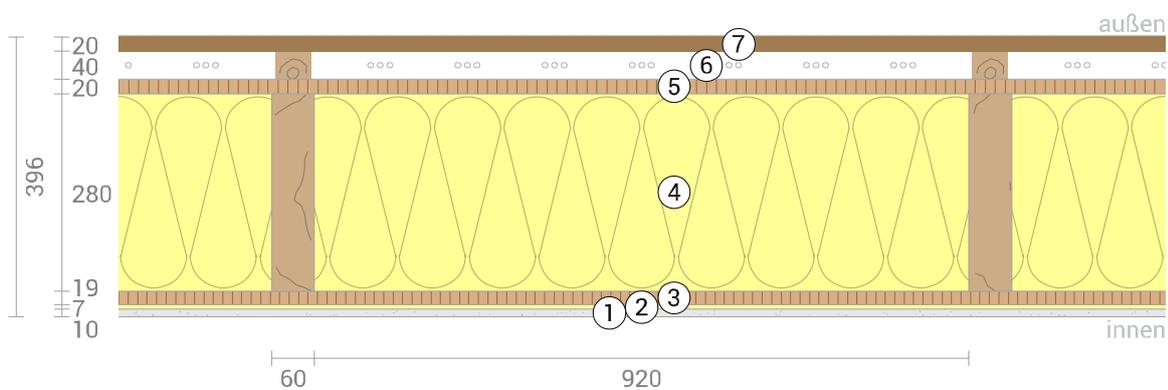
Prüfe Anwendbarkeit: R_{tot,upper} / R_{tot,lower} = 1,009 (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand R_{tot} = (R_{tot,upper} + R_{tot,lower})/2 = 5,433 m²K/W

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 0,45%

Wärmedurchgangskoeffizient U = 1/R_{tot} = **0,18 W/(m²K)**



DPM II

Außenwand

Anhang C8:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)				0,130
1	Lehmputz	0,10	0,800	0,001
2	Schilfrohr	1,50	0,065	0,231
3	OSB/3	1,90	0,130	0,146
4	Iso-Stroh-Einblasdämmung	28,00	0,055	5,128
	Brettsperrholz (6,1%)	28,00	0,130	2,154
5	Holzfasерplatten 600kg/m ³	2,00	0,140	0,143
6	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
7	Kalkputz	0,70	0,870	0,008
Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)				0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{tot,upper} = 5,567 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{tot,lower} = 5,512 \text{ m}^2\text{K/W}$.

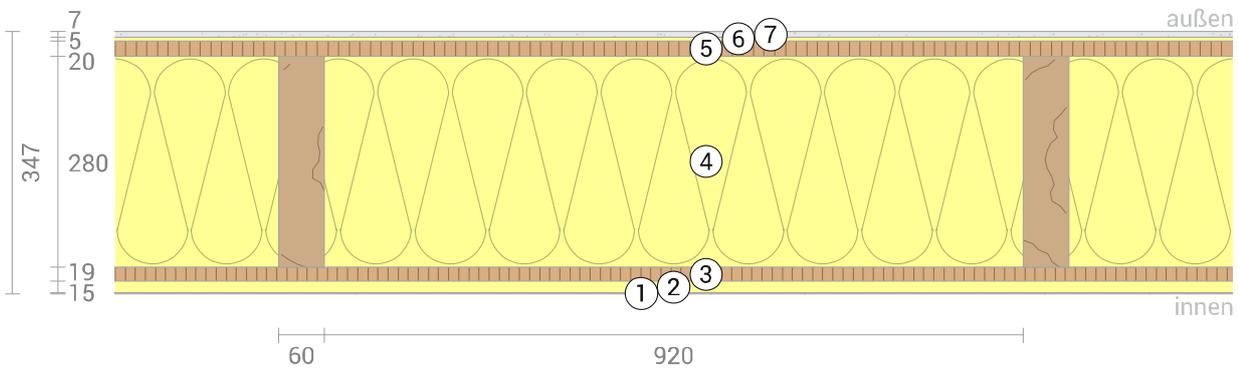
Prüfe Anwendbarkeit: $R_{tot,upper} / R_{tot,lower} = 1,010$ (maximal erlaubt: 1,5)

Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{tot} = (R_{tot,upper} + R_{tot,lower})/2 = 5,540 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 0,49%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{tot} = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



Ecococon I-A

Außenwand

Anhang C9:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
	Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)			0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Stroh-Holz-Modul	40,00	0,065	6,202
3	Windpapier Ampack	0,02	0,170	0,001
4	STEICOprotect H	6,00	0,050	1,200
	Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)			0,130

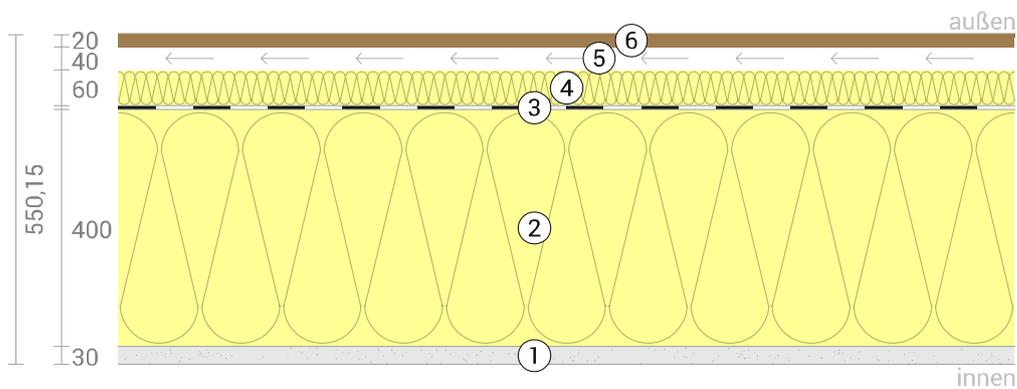
Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Hinterlüftungsebene

Wärmedurchgangswiderstand $R_{tot} = 7,700 \text{ m}^2\text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{tot} = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



Ecococon II-A

Außenwand

Anhang C10:

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)				0,130
1	Lehmputz	3,00	0,800	0,038
2	Stroh-Holz-Modul	40,00	0,065	6,202
3	Windpapier Ampack	0,02	0,170	0,001
4	STEICOprotect H	6,00	0,050	1,200
5	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
6	Kalkputz	0,70	0,870	0,008
Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)				0,040

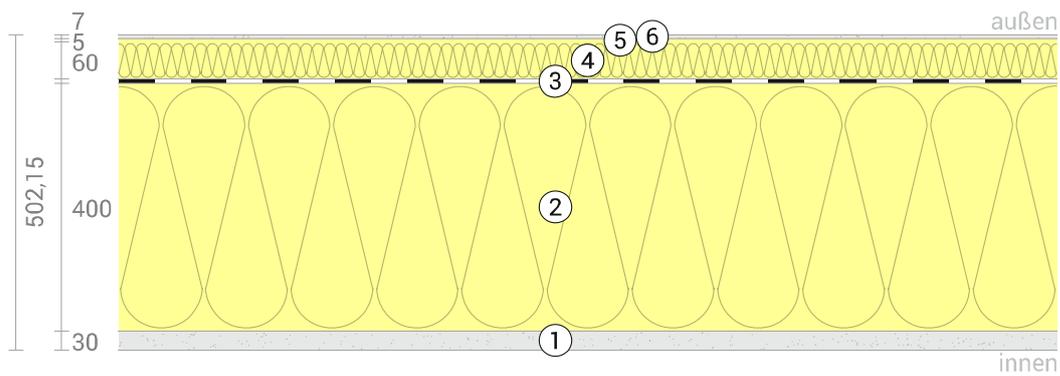
Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Wärmedurchgangswiderstand $R_{tot} = 7,703 \text{ m}^2\text{K/W}$

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{tot} = 0,13 \text{ W/(m}^2\text{K)}$



Casevere I

Anhang C11:

Außenwand

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (R _{si})				0,130
1	Lehmputz	1,00	0,800	0,013
2	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
3	Gipskartonplatte	1,30	0,250	0,052
4	Gipskartonplatte	1,30	0,250	0,052
5	OSB/3	2,50	0,130	0,192
6	Strohlehm 1400	12,00	0,600	0,200
	KVH Fichte (17%)	12,00	0,130	0,923
7	OSB-Platte	2,50	0,130	0,192
8	Baustroh	36,00	0,049	7,347
	KVH Fichte (2,4%)	36,00	0,130	2,769
9	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
10	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
11	Kalkputz	0,70	0,870	0,008
Wärmeübergangswiderstand außen (R _{se})				0,040

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

R_{si}: Wärmestromrichtung horizontal

R_{se}: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Direkter Übergang zur Außenluft

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,upper}} = 8,485 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot,lower}} = 8,315 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot,upper}} / R_{\text{tot,lower}} = 1,020$ (maximal erlaubt: 1,5)

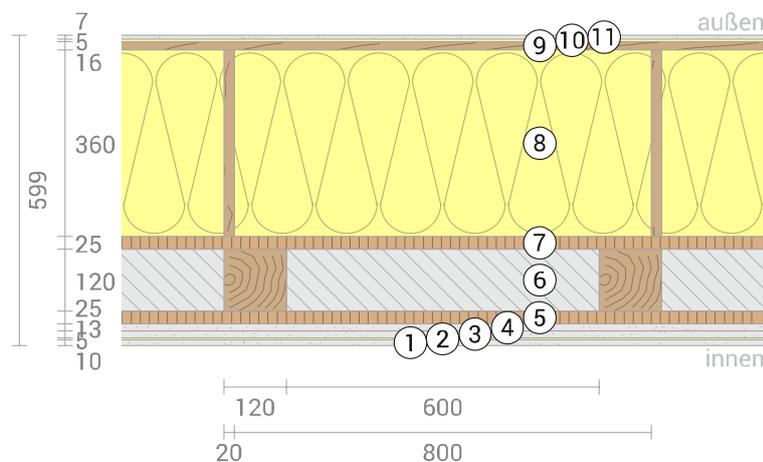
Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot,upper}} + R_{\text{tot,lower}}) / 2 = 8,400 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,0%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,12 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Das Bauteil enthält mehrere inhomogene Schichten unterschiedlicher Gesamtbreite. Für sämtliche Berechnungen wurde angenommen, dass sich die Schichtenanordnung in der Breite alle 82 cm wiederholt. Dies trifft jedoch mindestens für Schicht 6 mit einer Gesamtbreite von 72 cm nicht zu und kann eine erhöhte Ungenauigkeit des U-Werts verursachen.



Casevere II

Anhang C12:

Außenwand

U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946

#	Material	Dicke [cm]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]
Wärmeübergangswiderstand innen (Rsi)				0,130
1	Lehmputz	1,00	0,800	0,013
2	Schilfstuckatur	0,50	0,059	0,085
3	Gipskartonplatte	1,30	0,250	0,052
4	Gipskartonplatte	1,30	0,250	0,052
5	OSB/3	2,50	0,130	0,192
6	Strohlehm 1400	12,00	0,600	0,200
	KVH Fichte (17%)	12,00	0,130	0,923
7	OSB-Platte	2,50	0,130	0,192
8	Baustroh	36,00	0,049	7,347
	KVH Fichte (2,4%)	36,00	0,130	2,769
9	AGEPAN DWD Protect	1,60	0,090	0,178
Wärmeübergangswiderstand außen (Rse)				0,130

Die Wärmeübergangswiderstände wurden gemäß DIN 6946 Tabelle 7 gewählt.

Rsi: Wärmestromrichtung horizontal

Rse: Wärmestromrichtung horizontal, außen: Hinterlüftungsebene

Oberer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot;upper}} = 8,482 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Unterer Grenzwert des Wärmedurchgangswiderstandes $R_{\text{tot;lower}} = 8,312 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Prüfe Anwendbarkeit: $R_{\text{tot;upper}} / R_{\text{tot;lower}} = 1,020$ (maximal erlaubt: 1,5)

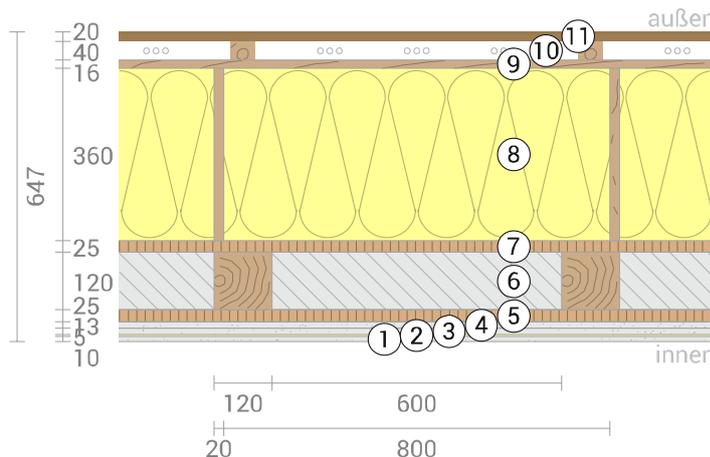
Das Verfahren darf angewendet werden.

Wärmedurchgangswiderstand $R_{\text{tot}} = (R_{\text{tot;upper}} + R_{\text{tot;lower}}) / 2 = 8,397 \text{ m}^2\text{K/W}$

Abschätzung des maximalen relativen Fehlers nach Absatz 6.7.2.5: 1,0%

Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1/R_{\text{tot}} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Das Bauteil enthält mehrere inhomogene Schichten unterschiedlicher Gesamtbreite. Für sämtliche Berechnungen wurde angenommen, dass sich die Schichtenanordnung in der Breite alle 82 cm wiederholt. Dies trifft jedoch mindestens für Schicht 6 mit einer Gesamtbreite von 72 cm nicht zu und kann eine erhöhte Ungenauigkeit des U-Werts verursachen.



Energieausweis für Wohngebäude



OIB-Richtlinie 6
Ausgabe: April 2019

GEBÄUDEKENNDATEN

EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	<input type="text" value="120,0 m²"/>	Heiztage	<input type="text" value="0 d"/>	Art der Lüftung	<input type="text" value="Fensterlüftung"/>
Bezugsfläche (BF)	<input type="text" value="96,0 m²"/>	Heizgradtage	<input type="text" value="3668 Kd"/>	Solarthermie	<input type="text" value="- m²"/>
Brutto-Volumen (V _B)	<input type="text" value="354,0 m³"/>	Klimaregion	<input type="text" value="N"/>	Photovoltaik	<input type="text" value="- kWh"/>
Gebäude-Hüllfläche (A)	<input type="text" value="373,6 m²"/>	Norm-Außentemperatur	<input type="text" value="-11,5 °C"/>	Stromspeicher	<input type="text" value="- kWh"/>
Kompaktheit (A/V)	<input type="text" value="1,06 1/m"/>	Soll-Innentemperatur	<input type="text" value="22,0 °C"/>	WW-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
charakteristische Länge (ℓ _c)	<input type="text" value="0,95 m"/>	mittlerer U-Wert	<input type="text" value="0,180 W/m²K"/>	WW-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BGF	<input type="text" value="- m²"/>	LEK _T -Wert	<input type="text" value="18,23"/>	RH-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BF	<input type="text" value="- m²"/>	Bauweise	<input type="text" value="leichte"/>	RH-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-V _B	<input type="text" value="- m³"/>				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = <input type="text" value="44,4 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = <input type="text" value="44,4 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = <input type="text" value="101,8 kWh/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = <input type="text" value="0,70"/>
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = <input type="text" value="6 018 kWh/a"/>	HWB _{Ref,SK} = <input type="text" value="50,2 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = <input type="text" value="5 869 kWh/a"/>	HWB _{SK} = <input type="text" value="48,9 kWh/m²a"/>
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = <input type="text" value="920 kWh/a"/>	WWWB = <input type="text" value="7,7 kWh/m²a"/>
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = <input type="text" value="11 617 kWh/a"/>	HEB _{SK} = <input type="text" value="96,8 kWh/m²a"/>
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = <input type="text" value="3,07"/>
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = <input type="text" value="1,46"/>
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = <input type="text" value="1,67"/>
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = <input type="text" value="1 667 kWh/a"/>	HHSB = <input type="text" value="13,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = <input type="text" value="13 283 kWh/a"/>	EEB _{SK} = <input type="text" value="110,7 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = <input type="text" value="15 566 kWh/a"/>	PEB _{SK} = <input type="text" value="129,7 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = <input type="text" value="14 468 kWh/a"/>	PEB _{n.ern.,SK} = <input type="text" value="120,6 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = <input type="text" value="1 098 kWh/a"/>	PEB _{ern.,SK} = <input type="text" value="9,2 kWh/m²a"/>
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = <input type="text" value="3 245 kg/a"/>	CO _{2eq,SK} = <input type="text" value="27,0 kg/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = <input type="text" value="0,70"/>
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = <input type="text" value="0 kWh/a"/>	PVE _{EXPORT,SK} = <input type="text" value="0,0 kWh/m²a"/>

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	<input type="text" value="ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION"/>
Ausstellungsdatum	<input type="text" value="27.12.2021"/>	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	<input type="text" value="26.12.2031"/>		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	120,0 m ²	Heiztage	0 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	96,0 m ²	Heizgradtage	3668 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	354,0 m ³	Klimaregion	N	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	373,6 m ²	Norm-Außentemperatur	-11,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,06 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	-
charakteristische Länge (ℓ _c)	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,180 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _T -Wert	18,23	RH-WB-System (primär)	-
Teil-BF	- m ²	Bauweise	leichte	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Ergebnisse	
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 44,4 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 44,4 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 101,8 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,70
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 6 018 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 50,2 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 5 869 kWh/a	HWB _{SK} = 48,9 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = 920 kWh/a	WWWB = 7,7 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 11 617 kWh/a	HEB _{SK} = 96,8 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 3,07
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 1,46
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,67
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 1 667 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 13 283 kWh/a	EEB _{SK} = 110,7 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 15 566 kWh/a	PEB _{SK} = 129,7 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn,ern,SK} = 14 468 kWh/a	PEB _{n,ern,SK} = 120,6 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern,SK} = 1 098 kWh/a	PEB _{ern,SK} = 9,2 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 3 245 kg/a	CO _{2eq,SK} = 27,0 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,70
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION
Ausstellungsdatum	27.12.2021	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	26.12.2031		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	<input type="text" value="120,0 m²"/>	Heiztage	<input type="text" value="0 d"/>	Art der Lüftung	<input type="text" value="Fensterlüftung"/>
Bezugsfläche (BF)	<input type="text" value="96,0 m²"/>	Heizgradtage	<input type="text" value="3668 Kd"/>	Solarthermie	<input type="text" value="- m²"/>
Brutto-Volumen (V _B)	<input type="text" value="354,0 m³"/>	Klimaregion	<input type="text" value="N"/>	Photovoltaik	<input type="text" value="- kWh"/>
Gebäude-Hüllfläche (A)	<input type="text" value="373,6 m²"/>	Norm-Außentemperatur	<input type="text" value="-11,5 °C"/>	Stromspeicher	<input type="text" value="- kWh"/>
Kompaktheit (A/V)	<input type="text" value="1,06 1/m"/>	Soll-Innentemperatur	<input type="text" value="22,0 °C"/>	WW-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
charakteristische Länge (ℓ _c)	<input type="text" value="0,95 m"/>	mittlerer U-Wert	<input type="text" value="0,170 W/m²K"/>	WW-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BGF	<input type="text" value="- m²"/>	LEK _T -Wert	<input type="text" value="17,71"/>	RH-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BF	<input type="text" value="- m²"/>	Bauweise	<input type="text" value="leichte"/>	RH-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-V _B	<input type="text" value="- m³"/>				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = <input type="text" value="43,0 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = <input type="text" value="43,0 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = <input type="text" value="100,2 kWh/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = <input type="text" value="0,69"/>
Erneuerbarer Anteil	<input type="text" value=""/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = <input type="text" value="5 837 kWh/a"/>	HWB _{Ref,SK} = <input type="text" value="48,6 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = <input type="text" value="5 690 kWh/a"/>	HWB _{SK} = <input type="text" value="47,4 kWh/m²a"/>
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = <input type="text" value="920 kWh/a"/>	WWWB = <input type="text" value="7,7 kWh/m²a"/>
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = <input type="text" value="11 399 kWh/a"/>	HEB _{SK} = <input type="text" value="95,0 kWh/m²a"/>
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = <input type="text" value="3,07"/>
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = <input type="text" value="1,47"/>
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = <input type="text" value="1,69"/>
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = <input type="text" value="1 667 kWh/a"/>	HHSB = <input type="text" value="13,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = <input type="text" value="13 066 kWh/a"/>	EEB _{SK} = <input type="text" value="108,9 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = <input type="text" value="15 327 kWh/a"/>	PEB _{SK} = <input type="text" value="127,7 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = <input type="text" value="14 229 kWh/a"/>	PEB _{n.ern.,SK} = <input type="text" value="118,6 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = <input type="text" value="1 098 kWh/a"/>	PEB _{ern.,SK} = <input type="text" value="9,2 kWh/m²a"/>
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = <input type="text" value="3 191 kg/a"/>	CO _{2eq,SK} = <input type="text" value="26,6 kg/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = <input type="text" value="0,69"/>
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = <input type="text" value="0 kWh/a"/>	PVE _{EXPORT,SK} = <input type="text" value="0,0 kWh/m²a"/>

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text" value=""/>	ErstellerIn	<input type="text" value="ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION"/>
Ausstellungsdatum	<input type="text" value="27.12.2021"/>	Unterschrift	<input type="text" value=""/>
Gültigkeitsdatum	<input type="text" value="26.12.2031"/>		
Geschäftszahl	<input type="text" value=""/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	<input type="text" value="120,0 m²"/>	Heiztage	<input type="text" value="0 d"/>	Art der Lüftung	<input type="text" value="Fensterlüftung"/>
Bezugsfläche (BF)	<input type="text" value="96,0 m²"/>	Heizgradtage	<input type="text" value="3668 Kd"/>	Solarthermie	<input type="text" value="- m²"/>
Brutto-Volumen (V _B)	<input type="text" value="354,0 m³"/>	Klimaregion	<input type="text" value="N"/>	Photovoltaik	<input type="text" value="- kWh"/>
Gebäude-Hüllfläche (A)	<input type="text" value="373,6 m²"/>	Norm-Außentemperatur	<input type="text" value="-11,5 °C"/>	Stromspeicher	<input type="text" value="- kWh"/>
Kompaktheit (A/V)	<input type="text" value="1,06 1/m"/>	Soll-Innentemperatur	<input type="text" value="22,0 °C"/>	WW-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
charakteristische Länge (ℓ _c)	<input type="text" value="0,95 m"/>	mittlerer U-Wert	<input type="text" value="0,170 W/m²K"/>	WW-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BGF	<input type="text" value="- m²"/>	LEK _T -Wert	<input type="text" value="17,78"/>	RH-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BF	<input type="text" value="- m²"/>	Bauweise	<input type="text" value="leichte"/>	RH-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-V _B	<input type="text" value="- m³"/>				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = <input type="text" value="43,2 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = <input type="text" value="43,2 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = <input type="text" value="100,4 kWh/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = <input type="text" value="0,70"/>
Erneuerbarer Anteil	<input type="text" value=""/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = <input type="text" value="5 862 kWh/a"/>	HWB _{Ref,SK} = <input type="text" value="48,9 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = <input type="text" value="5 714 kWh/a"/>	HWB _{SK} = <input type="text" value="47,6 kWh/m²a"/>
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = <input type="text" value="920 kWh/a"/>	WWWB = <input type="text" value="7,7 kWh/m²a"/>
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = <input type="text" value="11 428 kWh/a"/>	HEB _{SK} = <input type="text" value="95,2 kWh/m²a"/>
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = <input type="text" value="3,07"/>
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = <input type="text" value="1,47"/>
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = <input type="text" value="1,69"/>
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = <input type="text" value="1 667 kWh/a"/>	HHSB = <input type="text" value="13,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = <input type="text" value="13 095 kWh/a"/>	EEB _{SK} = <input type="text" value="109,1 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = <input type="text" value="15 359 kWh/a"/>	PEB _{SK} = <input type="text" value="128,0 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = <input type="text" value="14 261 kWh/a"/>	PEB _{n.ern.,SK} = <input type="text" value="118,8 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = <input type="text" value="1 098 kWh/a"/>	PEB _{ern.,SK} = <input type="text" value="9,2 kWh/m²a"/>
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = <input type="text" value="3 198 kg/a"/>	CO _{2eq,SK} = <input type="text" value="26,7 kg/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = <input type="text" value="0,69"/>
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = <input type="text" value="0 kWh/a"/>	PVE _{EXPORT,SK} = <input type="text" value="0,0 kWh/m²a"/>

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text" value=""/>	ErstellerIn	<input type="text" value="ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION"/>
Ausstellungsdatum	<input type="text" value="27.12.2021"/>	Unterschrift	<input type="text" value=""/>
Gültigkeitsdatum	<input type="text" value="26.12.2031"/>		
Geschäftszahl	<input type="text" value=""/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN

EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	<input type="text" value="120,0 m²"/>	Heiztage	<input type="text" value="0 d"/>	Art der Lüftung	<input type="text" value="Fensterlüftung"/>
Bezugsfläche (BF)	<input type="text" value="96,0 m²"/>	Heizgradtage	<input type="text" value="3668 Kd"/>	Solarthermie	<input type="text" value="- m²"/>
Brutto-Volumen (V _B)	<input type="text" value="354,0 m³"/>	Klimaregion	<input type="text" value="N"/>	Photovoltaik	<input type="text" value="- kWh"/>
Gebäude-Hüllfläche (A)	<input type="text" value="373,6 m²"/>	Norm-Außentemperatur	<input type="text" value="-11,5 °C"/>	Stromspeicher	<input type="text" value="- kWh"/>
Kompaktheit (A/V)	<input type="text" value="1,06 1/m"/>	Soll-Innentemperatur	<input type="text" value="22,0 °C"/>	WW-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
charakteristische Länge (ℓ _c)	<input type="text" value="0,95 m"/>	mittlerer U-Wert	<input type="text" value="0,180 W/m²K"/>	WW-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BGF	<input type="text" value="- m²"/>	LEK _T -Wert	<input type="text" value="17,92"/>	RH-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BF	<input type="text" value="- m²"/>	Bauweise	<input type="text" value="leichte"/>	RH-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-V _B	<input type="text" value="- m³"/>				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = <input type="text" value="43,6 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = <input type="text" value="43,6 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = <input type="text" value="100,8 kWh/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = <input type="text" value="0,70"/>
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = <input type="text" value="5 910 kWh/a"/>	HWB _{Ref,SK} = <input type="text" value="49,3 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = <input type="text" value="5 761 kWh/a"/>	HWB _{SK} = <input type="text" value="48,0 kWh/m²a"/>
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = <input type="text" value="920 kWh/a"/>	WWWB = <input type="text" value="7,7 kWh/m²a"/>
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = <input type="text" value="11 486 kWh/a"/>	HEB _{SK} = <input type="text" value="95,7 kWh/m²a"/>
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = <input type="text" value="3,07"/>
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = <input type="text" value="1,46"/>
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = <input type="text" value="1,68"/>
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = <input type="text" value="1 667 kWh/a"/>	HHSB = <input type="text" value="13,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = <input type="text" value="13 153 kWh/a"/>	EEB _{SK} = <input type="text" value="109,6 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = <input type="text" value="15 423 kWh/a"/>	PEB _{SK} = <input type="text" value="128,5 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = <input type="text" value="14 324 kWh/a"/>	PEB _{n.ern.,SK} = <input type="text" value="119,4 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = <input type="text" value="1 098 kWh/a"/>	PEB _{ern.,SK} = <input type="text" value="9,2 kWh/m²a"/>
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = <input type="text" value="3 213 kg/a"/>	CO _{2eq,SK} = <input type="text" value="26,8 kg/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = <input type="text" value="0,70"/>
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = <input type="text" value="0 kWh/a"/>	PVE _{EXPORT,SK} = <input type="text" value="0,0 kWh/m²a"/>

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	<input type="text" value="ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION"/>
Ausstellungsdatum	<input type="text" value="27.12.2021"/>	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	<input type="text" value="26.12.2031"/>		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN

EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	120,0 m ²	Heiztage	0 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	96,0 m ²	Heizgradtage	3668 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	354,0 m ³	Klimaregion	N	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	373,6 m ²	Norm-Außentemperatur	-11,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,06 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	-
charakteristische Länge (ℓ _c)	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,170 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _T -Wert	17,33	RH-WB-System (primär)	-
Teil-BF	- m ²	Bauweise	leichte	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Ergebnisse	
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 42,1 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 42,1 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 99,0 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,69
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 5 705 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 47,5 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 5 559 kWh/a	HWB _{SK} = 46,3 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = 920 kWh/a	WWWB = 7,7 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 11 241 kWh/a	HEB _{SK} = 93,7 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 3,07
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 1,47
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,70
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 1 667 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 12 907 kWh/a	EEB _{SK} = 107,6 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 15 152 kWh/a	PEB _{SK} = 126,3 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn,ern,SK} = 14 054 kWh/a	PEB _{n,ern,SK} = 117,1 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern,SK} = 1 098 kWh/a	PEB _{ern,SK} = 9,1 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 3 152 kg/a	CO _{2eq,SK} = 26,3 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,68
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION
Ausstellungsdatum	27.12.2021	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	26.12.2031		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	120,0 m ²	Heiztage	0 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	96,0 m ²	Heizgradtage	3668 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	354,0 m ³	Klimaregion	N	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	373,6 m ²	Norm-Außentemperatur	-11,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,06 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	-
charakteristische Länge (ℓ _c)	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,190 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _T -Wert	19,56	RH-WB-System (primär)	-
Teil-BF	- m ²	Bauweise	leichte	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Ergebnisse	
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 47,9 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 47,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 105,9 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,73
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 6 492 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 54,1 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 6 337 kWh/a	HWB _{SK} = 52,8 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = 920 kWh/a	WWWB = 7,7 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 12 185 kWh/a	HEB _{SK} = 101,5 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 3,07
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 1,44
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,64
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 1 667 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 13 852 kWh/a	EEB _{SK} = 115,4 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 16 193 kWh/a	PEB _{SK} = 134,9 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = 15 093 kWh/a	PEB _{n.ern.,SK} = 125,8 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = 1 099 kWh/a	PEB _{ern.,SK} = 9,2 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 3 385 kg/a	CO _{2eq,SK} = 28,2 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,73
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION
Ausstellungsdatum	27.12.2021	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	26.12.2031		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	<input type="text" value="120,0 m²"/>	Heiztage	<input type="text" value="0 d"/>	Art der Lüftung	<input type="text" value="Fensterlüftung"/>
Bezugsfläche (BF)	<input type="text" value="96,0 m²"/>	Heizgradtage	<input type="text" value="3668 Kd"/>	Solarthermie	<input type="text" value="- m²"/>
Brutto-Volumen (V _B)	<input type="text" value="354,0 m³"/>	Klimaregion	<input type="text" value="N"/>	Photovoltaik	<input type="text" value="- kWh"/>
Gebäude-Hüllfläche (A)	<input type="text" value="373,6 m²"/>	Norm-Außentemperatur	<input type="text" value="-11,5 °C"/>	Stromspeicher	<input type="text" value="- kWh"/>
Kompaktheit (A/V)	<input type="text" value="1,06 1/m"/>	Soll-Innentemperatur	<input type="text" value="22,0 °C"/>	WW-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
charakteristische Länge (ℓ _c)	<input type="text" value="0,95 m"/>	mittlerer U-Wert	<input type="text" value="0,190 W/m²K"/>	WW-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BGF	<input type="text" value="- m²"/>	LEK _T -Wert	<input type="text" value="19,56"/>	RH-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BF	<input type="text" value="- m²"/>	Bauweise	<input type="text" value="leichte"/>	RH-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-V _B	<input type="text" value="- m³"/>				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = <input type="text" value="47,9 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = <input type="text" value="47,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = <input type="text" value="105,9 kWh/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = <input type="text" value="0,73"/>
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = <input type="text" value="6 492 kWh/a"/>	HWB _{Ref,SK} = <input type="text" value="54,1 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = <input type="text" value="6 337 kWh/a"/>	HWB _{SK} = <input type="text" value="52,8 kWh/m²a"/>
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = <input type="text" value="920 kWh/a"/>	WWWB = <input type="text" value="7,7 kWh/m²a"/>
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = <input type="text" value="12 185 kWh/a"/>	HEB _{SK} = <input type="text" value="101,5 kWh/m²a"/>
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = <input type="text" value="3,07"/>
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = <input type="text" value="1,44"/>
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = <input type="text" value="1,64"/>
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = <input type="text" value="1 667 kWh/a"/>	HHSB = <input type="text" value="13,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = <input type="text" value="13 852 kWh/a"/>	EEB _{SK} = <input type="text" value="115,4 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = <input type="text" value="16 193 kWh/a"/>	PEB _{SK} = <input type="text" value="134,9 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = <input type="text" value="15 093 kWh/a"/>	PEB _{n.ern.,SK} = <input type="text" value="125,8 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = <input type="text" value="1 099 kWh/a"/>	PEB _{ern.,SK} = <input type="text" value="9,2 kWh/m²a"/>
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = <input type="text" value="3 385 kg/a"/>	CO _{2eq,SK} = <input type="text" value="28,2 kg/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = <input type="text" value="0,73"/>
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = <input type="text" value="0 kWh/a"/>	PVE _{EXPORT,SK} = <input type="text" value="0,0 kWh/m²a"/>

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	<input type="text" value="ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION"/>
Ausstellungsdatum	<input type="text" value="27.12.2021"/>	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	<input type="text" value="26.12.2031"/>		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	120,0 m ²	Heiztage	0 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	96,0 m ²	Heizgradtage	3668 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	354,0 m ³	Klimaregion	N	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	373,6 m ²	Norm-Außentemperatur	-11,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,06 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	-
charakteristische Länge (ℓ _c)	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,170 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _T -Wert	17,71	RH-WB-System (primär)	-
Teil-BF	- m ²	Bauweise	leichte	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 43,0 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 43,0 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 100,2 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,69
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 5 837 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 48,6 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 5 690 kWh/a	HWB _{SK} = 47,4 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = 920 kWh/a	WWWB = 7,7 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 11 399 kWh/a	HEB _{SK} = 95,0 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 3,07
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 1,47
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,69
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 1 667 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 13 066 kWh/a	EEB _{SK} = 108,9 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 15 327 kWh/a	PEB _{SK} = 127,7 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn,ern,SK} = 14 229 kWh/a	PEB _{n,ern,SK} = 118,6 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern,SK} = 1 098 kWh/a	PEB _{ern,SK} = 9,2 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 3 191 kg/a	CO _{2eq,SK} = 26,6 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,69
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION
Ausstellungsdatum	27.12.2021	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	26.12.2031		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	120,0 m ²	Heiztage	0 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	96,0 m ²	Heizgradtage	3668 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	354,0 m ³	Klimaregion	N	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	373,6 m ²	Norm-Außentemperatur	-11,5 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,06 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	-
charakteristische Länge (ℓ _c)	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,170 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _T -Wert	17,71	RH-WB-System (primär)	-
Teil-BF	- m ²	Bauweise	leichte	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 43,0 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 43,0 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 100,2 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,69
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 5 837 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 48,6 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 5 690 kWh/a	HWB _{SK} = 47,4 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = 920 kWh/a	WWWB = 7,7 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 11 399 kWh/a	HEB _{SK} = 95,0 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 3,07
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 1,47
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,69
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 1 667 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 13 066 kWh/a	EEB _{SK} = 108,9 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 15 327 kWh/a	PEB _{SK} = 127,7 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn,ern,SK} = 14 229 kWh/a	PEB _{n,ern,SK} = 118,6 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern,SK} = 1 098 kWh/a	PEB _{ern,SK} = 9,2 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 3 191 kg/a	CO _{2eq,SK} = 26,6 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,69
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION
Ausstellungsdatum	27.12.2021	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	26.12.2031		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENNDATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	120,0 m ²	Heiztage	0 d	Art der Lüftung	Fensterlüftung
Bezugsfläche (BF)	96,0 m ²	Heizgradtage	3642 Kd	Solarthermie	- m ²
Brutto-Volumen (V _B)	354,0 m ³	Klimaregion	N	Photovoltaik	- kWp
Gebäude-Hüllfläche (A)	373,6 m ²	Norm-Außentemperatur	-12,9 °C	Stromspeicher	- kWh
Kompaktheit (A/V)	1,06 1/m	Soll-Innentemperatur	22,0 °C	WW-WB-System (primär)	-
charakteristische Länge (ℓ _c)	0,95 m	mittlerer U-Wert	0,170 W/m ² K	WW-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-BGF	- m ²	LEK _T -Wert	17,27	RH-WB-System (primär)	-
Teil-BF	- m ²	Bauweise	leichte	RH-WB-System (sekundär, opt.)	-
Teil-V _B	- m ³				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

Ergebnisse	
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = 41,9 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = 41,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = 98,8 kWh/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = 0,68
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = 5 616 kWh/a	HWB _{Ref,SK} = 46,8 kWh/m ² a
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = 5 472 kWh/a	HWB _{SK} = 45,6 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = 920 kWh/a	WWWB = 7,7 kWh/m ² a
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = 11 045 kWh/a	HEB _{SK} = 92,0 kWh/m ² a
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = 3,07
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = 1,46
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = 1,69
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = 1 667 kWh/a	HHSB = 13,9 kWh/m ² a
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = 12 712 kWh/a	EEB _{SK} = 105,9 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = 14 933 kWh/a	PEB _{SK} = 124,4 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn,ern,SK} = 13 839 kWh/a	PEB _{n,ern,SK} = 115,3 kWh/m ² a
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern,SK} = 1 093 kWh/a	PEB _{ern,SK} = 9,1 kWh/m ² a
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = 3 104 kg/a	CO _{2eq,SK} = 25,9 kg/m ² a
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = 0,68
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = 0 kWh/a	PVE _{EXPORT,SK} = 0,0 kWh/m ² a

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION
Ausstellungsdatum	27.12.2021	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	26.12.2031		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Die Energiekennzahlen dieses Energieausweises dienen ausschließlich der Information. Aufgrund der idealisierten Eingangsparameter können bei tatsächlicher Nutzung erhebliche Abweichungen auftreten. Insbesondere Nutzungseinheiten unterschiedlicher Lage können aus Gründen der Geometrie und der Lage hinsichtlich ihrer Energiekennzahlen von den hier angegebenen abweichen.

Energieausweis für Wohngebäude

GEBÄUDEKENN DATEN
EA-Art:

Brutto-Grundfläche (BGF)	<input type="text" value="120,0 m²"/>	Heiztage	<input type="text" value="0 d"/>	Art der Lüftung	<input type="text" value="Fensterlüftung"/>
Bezugsfläche (BF)	<input type="text" value="96,0 m²"/>	Heizgradtage	<input type="text" value="3668 Kd"/>	Solarthermie	<input type="text" value="- m²"/>
Brutto-Volumen (V _B)	<input type="text" value="354,0 m³"/>	Klimaregion	<input type="text" value="N"/>	Photovoltaik	<input type="text" value="- kWh"/>
Gebäude-Hüllfläche (A)	<input type="text" value="373,6 m²"/>	Norm-Außentemperatur	<input type="text" value="-11,5 °C"/>	Stromspeicher	<input type="text" value="- kWh"/>
Kompaktheit (A/V)	<input type="text" value="1,06 1/m"/>	Soll-Innentemperatur	<input type="text" value="22,0 °C"/>	WW-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
charakteristische Länge (ℓ _c)	<input type="text" value="0,95 m"/>	mittlerer U-Wert	<input type="text" value="0,170 W/m²K"/>	WW-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BGF	<input type="text" value="- m²"/>	LEK _T -Wert	<input type="text" value="17,33"/>	RH-WB-System (primär)	<input type="text" value="-"/>
Teil-BF	<input type="text" value="- m²"/>	Bauweise	<input type="text" value="leichte"/>	RH-WB-System (sekundär, opt.)	<input type="text" value="-"/>
Teil-V _B	<input type="text" value="- m³"/>				

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Referenzklima)

	Ergebnisse
Referenz-Heizwärmebedarf	HWB _{Ref,RK} = <input type="text" value="42,1 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	HWB _{RK} = <input type="text" value="42,1 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	EEB _{RK} = <input type="text" value="99,0 kWh/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor	f _{GEE,RK} = <input type="text" value="0,69"/>
Erneuerbarer Anteil	<input type="text"/>

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF (Standortklima)

Referenz-Heizwärmebedarf	Q _{h,Ref,SK} = <input type="text" value="5 705 kWh/a"/>	HWB _{Ref,SK} = <input type="text" value="47,5 kWh/m²a"/>
Heizwärmebedarf	Q _{h,SK} = <input type="text" value="5 559 kWh/a"/>	HWB _{SK} = <input type="text" value="46,3 kWh/m²a"/>
Warmwasserwärmebedarf	Q _{tw} = <input type="text" value="920 kWh/a"/>	WWWB = <input type="text" value="7,7 kWh/m²a"/>
Heizenergiebedarf	Q _{H,Ref,SK} = <input type="text" value="11 241 kWh/a"/>	HEB _{SK} = <input type="text" value="93,7 kWh/m²a"/>
Energieaufwandszahl Warmwasser		e _{AWZ,WW} = <input type="text" value="3,07"/>
Energieaufwandszahl Raumheizung		e _{AWZ,RH} = <input type="text" value="1,47"/>
Energieaufwandszahl Heizen		e _{AWZ,H} = <input type="text" value="1,70"/>
Haushaltsstrombedarf	Q _{HHSB} = <input type="text" value="1 667 kWh/a"/>	HHSB = <input type="text" value="13,9 kWh/m²a"/>
Endenergiebedarf	Q _{EEB,SK} = <input type="text" value="12 907 kWh/a"/>	EEB _{SK} = <input type="text" value="107,6 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf	Q _{PEB,SK} = <input type="text" value="15 152 kWh/a"/>	PEB _{SK} = <input type="text" value="126,3 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Q _{PEBn.ern.,SK} = <input type="text" value="14 054 kWh/a"/>	PEB _{n.ern.,SK} = <input type="text" value="117,1 kWh/m²a"/>
Primärenergiebedarf erneuerbar	Q _{PEBern.,SK} = <input type="text" value="1 098 kWh/a"/>	PEB _{ern.,SK} = <input type="text" value="9,1 kWh/m²a"/>
äquivalente Kohlendioxidemissionen	Q _{CO2eq,SK} = <input type="text" value="3 152 kg/a"/>	CO _{2eq,SK} = <input type="text" value="26,3 kg/m²a"/>
Gesamtenergieeffizienz-Faktor		f _{GEE,SK} = <input type="text" value="0,68"/>
Photovoltaik-Export	Q _{PVE,SK} = <input type="text" value="0 kWh/a"/>	PVE _{EXPORT,SK} = <input type="text" value="0,0 kWh/m²a"/>

ERSTELLT

GWR-Zahl	<input type="text"/>	ErstellerIn	<input type="text" value="ArchiPHYSIK - A-NULL - SCHULVERSION"/>
Ausstellungsdatum	<input type="text" value="27.12.2021"/>	Unterschrift	<input type="text"/>
Gültigkeitsdatum	<input type="text" value="26.12.2031"/>		
Geschäftszahl	<input type="text"/>		

Anhang E1: Infill I

DSW HL (Infill-Doppelständerwand - außen beplankt - hinterlüftet)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=36cm	einmalig	0	0	1	1	160
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	101	101	11422
Beplankung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	einmalig	0	0	30	30	3390
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	einmalig	0	0	58	58	6598
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	58	58	6521
Stülpchalung inkl. Lattung (hinterlüftet)	einmalig	0	0	88	88	9946
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						38037

BETRIEB, INSTANDHALTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/(a*m ²) 2)	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	132	14883
Holzschutzlasur	6	1	50	13	247	27906
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						42789

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	20	84	9470
Gesamtkosten Entsorgung						13909
Gesamtkosten						94736

Anhang E2: Infill II

DSW VP (Infill-Doppelständerwand)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=36cm	einmalig	0	0	1	1	160
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	101	101	11422
Beklankung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	einmalig	0	0	30	30	3390
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	einmalig	0	0	58	58	6599
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	58	58	6521
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						36818

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	132	14883
Fassadenanstrich (Kalkfarbe)	15	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						34762

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	23	97	10924
Gesamtkosten Entsorgung						15363
Gesamtkosten						86944

Anhang E3: CuT Wand A I

CUT A HL (CUT Wand A - hinterlüftet)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=36cm	einmalig	0	0	1	1	160
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	75	75	8448
Beplankung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	einmalig	0	0	30	30	3391
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	einmalig	0	0	58	58	6598
CUT Leisten	einmalig	0	0	7	7	830
Lehmputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	58	58	6521
Stülpchalung inkl. Lattung (hinterlüftet)	einmalig	0	0	88	88	9946
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						35894

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	120	13544
Holzschutzlasur	6	1	50	13	247	27906
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						41450

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	19	83	9380
Gesamtkosten Entsorgung						13819
Gesamtkosten						91163

Anhang E4: CuT Wand A II

CUT A VP (CUT Wand A - verputzt)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=36cm	einmalig	0	0	1	1	160
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	75	75	8448
Beplankung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	einmalig	0	0	30	30	3391
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	einmalig	0	0	58	58	6598
CUT Leisten	einmalig	0	0	3	3	359
Lehmputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	58	58	6521
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						34203

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	118	13323
Fassadenanstrich (Kalkfarbe)	15	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						33203

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	23	97	10941
Gesamtkosten Entsorgung						15381
Gesamtkosten						82786

Anhang E5: CuT Wand B

CUT B (CUT Wand - direkt verputzt)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=36cm	einmalig	0	0	1	1	160
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	75	75	8448
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	einmalig	0	0	58	58	6598
CUT Leisten	einmalig	0	0	3	3	359
Lehmputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	58	58	6521
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						30812

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	124	13958
Fassadenanstrich (Kalkfarbe)	15	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						33837

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	24	104	11766
Gesamtkosten Entsorgung						16206
Gesamtkosten						80855

Anhang E6: Lasttragendes System

LT (Lasttragendes System - direkt verputzt)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=50cm	einmalig	0	0	2	2	220
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	54	54	6100
Strohballen inkl. Lieferung, Einbau	einmalig	0	0	67	67	7569
Lehmputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	56	56	6323
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						28938

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	108	12204
Fassadenanstrich (Kalkfarbe)	15	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						32084

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	27	115	12985
Gesamtkosten Entsorgung						17425
Gesamtkosten						78447

Anhang E7: DPM I

DPM HL (DPM-Stroh-Einblasdämmung- hinterlüftet)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=28cm	einmalig	0	0	1	1	123
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	70	70	7911
Bepunktung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	einmalig	0	0	32	32	3617
Einblasung Stroh inkl. Lieferung und Einbau	einmalig	0	0	61	61	6930
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	23	23	2591
Stülpchalung inkl. Lattung (hinterlüftet)	einmalig	0	0	88	88	9946
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						31118

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	2	168	18954
Holzschutzlasur	6	1	50	13	247	27906
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						46860

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	9	39	4418
Gesamtkosten Entsorgung						8858
Gesamtkosten						86836

Anhang E8: DPM II

DPM VP (DPM-Stroh-Einblasdämmung - verputzt)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=28cm	einmalig	0	0	1	1	123
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	70	70	7911
Beplankung DWD (Diffusionsoffene Wand- und Dachplatte)	einmalig	0	0	32	32	3617
Einblasung Stroh inkl. Lieferung und Einbau	einmalig	0	0	61	61	6930
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	21	21	2341
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstiges (z.B. Baustellengemeinkosten, Unvorhergesehenes, Regie)	einmalig	0	0		0	0
Gesamterrichtungskosten						29648

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEGE	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	2	168	18954
Fassadenanstrich (Kalkfarbe)	6	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						38833

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	12	53	6001
Gesamtkosten Entsorgung						10440
Gesamtkosten						78922

Anhang E9: Ecococon I

ECC HL (Ecococon-Stroh-Holz-Modul - hinterlüftet)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=40cm	einmalig	0	0	2	2	177
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	186	186	21025
Holzfaserdämmplatte	einmalig	0	0	27	27	2995
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	20	20	2279
Stülpchalung	einmalig	0	0	88	88	9944
Sonstige Kosten	einmalig	0	0	5	5	600
Gesamterrichtungskosten						37020

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	118	13323
Holzschutzlasur	6	1	50	13	247	27906
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						41230

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	10	42	4760
Gesamtkosten Entsorgung						9200
Gesamtkosten						87450

Anhang E10: Ecococoon II

ECC VP (Ecococoon - Stroh-Holz-Modul - verputzt)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=40cm	einmalig	0	0	2	2	177
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	186	186	21025
Holzfaserdämmplatte	einmalig	0	0	27	27	2995
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	22	22	2529
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstige Kosten	einmalig	0	0	5	5	600
Gesamterrichtungskosten						36052

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	118	13323
Fassadenanstrich (Kalkfarbe)	15	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						33203

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	14	61	6908
Gesamtkosten Entsorgung						11347
Gesamtkosten						80602

Anhang E11: Casevere I

CV HL (Casevere-System - hinterlüftet)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ² bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=40cm	einmalig	0	0	2	2	264
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	250	250	28255
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	21	21	2425
Stülpchalung	einmalig	0	0	88	88	9946
Sonstige Kosten	einmalig	0	0	21	21	2400
Gesamterrichtungskosten						43290

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	108	12204
Holzschutzlasur	6	1	50	13	247	27906
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						40111

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m ²	Kosten diskontiert €/m ²	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	44	187	21155
Gesamtkosten Entsorgung						25594
Gesamtkosten						108995

Anhang E12: Casevere II

CV VP (Casevere-System - verputzt)						
ERRICHTUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2 bzw. x1	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Bitumenpappe b=60cm	einmalig	0	0	2	2	264
Tragkonstruktion inkl. Fuß-, Kopfschwelle, Fenstersturz und Brüstung	einmalig	0	0	250	250	28255
Lehmputz inkl. Vorbereitung	einmalig	0	0	21	21	2425
Kalkputz inkl. Lieferung	einmalig	0	0	77	77	8726
Sonstige Kosten	einmalig	0	0	21	21	2400
Gesamterrichtungskosten						42070

INSTANDHALTUNG, WARTUNG und PFLEG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Heizenergiekosten (Erdgas)	jährlich	1	50	1	105	11852
Fassadenanstrich (Kalkputz)	15	1	50	23	176	19879
Gesamtkosten Instandhaltung, Wartung und Pflege						31731

ABBRUCH und ENTSORGUNG	Häufigkeit	Zeitpunkt		Kosten €/m2	Kosten diskontiert €/m2	Kosten gesamt €
		von Jahr	bis Jahr			
Abbruch	einmalig	50	50	9	39	4440
Entsorgung	einmalig	50	50	47	201	22690
Gesamtkosten Entsorgung						27130
Gesamtkosten						100931