

Vergleich zwischen herkömmlichen und natürlichen Baustoffen anhand einer Sanierung und eines Neubaus

Masterthese zur Erlangung des akademischen Grades
“Master of Science”

eingereicht bei
Bmstr. Ing. Klaus Kiessler

Florian Lugner Bakk. rer. nat.

01631791

Eidesstattliche Erklärung

Ich, **FLORIAN LUGNER BAKK. RER. NAT.**, versichere hiermit

1. dass ich die vorliegende Masterthese, "VERGLEICH ZWISCHEN HERKÖMMLICHEN UND NATÜRLICHEN BAUSTOFFEN ANHAND EINER SANIERUNG UND EINES NEUBAUS", 117 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich das Thema dieser Arbeit oder Teile davon bisher weder im In- noch Ausland zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 01.09.2023

Unterschrift

Vorwort

Die vorliegende Masterarbeit widmet sich dem spannenden Thema des Bauens mit Naturbaustoffen und legt dabei einen besonderen Fokus auf den Vergleich von Wand- und Deckenaufbauten. Sowohl ein Neubau als auch die Sanierung eines alten Bauernhauses, welche mit Naturbaustoffen durchgeführt wurde, werden betrachtet und konventionellen Bauweisen gegenübergestellt.

Der Klimawandel stellt eine der größten Herausforderungen unserer Zeit dar. Die steigenden Temperaturen, der Anstieg des Meeresspiegels und die zunehmenden Extremwetterereignisse sind nur einige der Auswirkungen, die bereits spürbar sind. Der Bausektor spielt dabei eine entscheidende Rolle, da er für einen erheblichen Teil der globalen Treibhausgasemissionen verantwortlich ist. Es ist daher von großer Bedeutung, dass wir nachhaltige Lösungen im Bauwesen finden, um den Klimawandel einzudämmen und die Umweltauswirkungen zu reduzieren. Der Einsatz von Naturbaustoffen bietet hier ein enormes Potenzial.

Meine persönliche Motivation und mein starkes Interesse am ökologischen Bauen und der Verwendung von nachhaltigen Materialien haben mich dazu bewegt, mich intensiv mit diesem Thema auseinanderzusetzen. Durch meine langjährige Tätigkeit in der Baubranche habe ich hautnah miterlebt, wie wichtig es ist, dass sich die Bauindustrie verändert und nachhaltigere Praktiken übernimmt. Es ist an der Zeit, dass wir unsere Verantwortung für die Umwelt wahrnehmen und nachhaltige Lösungen in der Baubranche etablieren.

Ein besonderer Dank gebührt meinem Betreuer, Bmstr. Ing. Klaus Kiessler, der mich während der Erstellung dieser Arbeit stets unterstützt hat. Seine wertvollen Anregungen und neuen Perspektiven haben mir geholfen, meine Forschung voranzutreiben und neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Des Weiteren möchte ich mich besonders bei Johannes und Alois Hirschmugl bedanken, die mir mit viel Zeit und Geduld den Umgang mit Naturbaustoffen nähergebracht haben. Durch ihre Unterstützung konnte ich verschiedene Baustellen besichtigen und an einem inspirierenden Workshop zum Thema Lehm teilnehmen.

Ihre Expertise und Leidenschaft für nachhaltiges Bauen haben mich tief beeindruckt und meine Begeisterung für dieses Thema weiter gestärkt.

Diese Masterarbeit basiert auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie eigenen praktischen Erfahrungen und Untersuchungen. Sowohl theoretische als auch praktische Aspekte wurden berücksichtigt, um ein umfassendes Verständnis für das Bauen mit Naturbaustoffen zu erlangen. Mein Ziel ist es, mit dieser Arbeit einen Beitrag zur Förderung nachhaltiger Bauweisen zu leisten und das Bewusstsein für ökologische Materialien zu stärken

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während der gesamten Zeit unterstützt und ermutigt haben. Vor allem möchte ich mich aber noch bei meinem Vater Bmstr. Ing. Andreas Lugner für seine Hilfe und sein technisches Wissen, welches er mit mir geteilt hat, bedanken. Euer Vertrauen und eure Unterstützung haben mir die nötige Motivation gegeben, diese Arbeit erfolgreich abzuschließen.

Ich hoffe, dass diese Masterarbeit dazu beiträgt, das Bewusstsein für nachhaltiges Bauen zu schärfen und die Verwendung von Naturbaustoffen in der Baubranche weiter voranzutreiben. Allen Lesern wünsche ich eine interessante Lektüre.

In der vorliegenden Arbeit wird darauf verzichtet, bei Personenbezeichnungen sowohl die männliche als auch die weibliche Form zu nennen. Die männliche Form gilt in allen Fällen, in denen dies nicht explizit ausgeschlossen wird, für beide Geschlechter.

Wien, 14. August 2023

Florian Lugner, Bakk. rer. nat

Kurzfassung

In vielen Lebensbereichen sind die Themen Ökologie, Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung nicht mehr wegzudenken. Ebenso spielt nachhaltiges Bauen in der Immobilienwirtschaft eine immer größer werdende Rolle. In dieser Arbeit wird der Einfluss von Naturbaustoffen in Bezug auf klimaschonendes Bauen behandelt. Diese Masterarbeit spezialisiert sich auf den Vergleich von natürlichen und herkömmlich verwendeten Baustoffen bei unterschiedlichen Wand- und Deckenbauten. Anhand von zwei Best-Practice-Beispielen, einem Neubau und einer Sanierung, werden die verwendeten Baustoffe genauestens auf Treibhauspotenziale, Primärenergieinhalte, Versauerungspotenziale und verschiedenste physikalische Kennwerte untersucht und mit herkömmlichen Materialien verglichen. Die Kreislaufwirtschaft, die Wiederverwertbarkeit und die Deponie der jeweiligen Stoffe wird ebenfalls gesondert analysiert. Die Arbeit soll schließlich einen umfassenden Vergleich zwischen natürlichen und herkömmlichen Baustoffen anhand der Wand- und Deckenaufbauten und der bereits genannten Faktoren darstellen und mit Zahlen verbildlichen. Viele dieser Parameter mussten selbst erhoben und berechnet werden, somit ist die empirische Methodik dieser Arbeit gegeben. Neben dem Durchforschen wissenschaftlicher Datenbanken stellt die Hauptbibliothek der TU Wien und der Hauptuniversität Wien facheinschlägige Literatur zur Verfügung. Um die verschiedenen Wand- und Deckenaufbauten darzustellen und miteinander zu vergleichen, wurde die Website Ubakus.de verwendet. Mit Hilfe von Herstellerangaben der verschiedensten Firmen und Datenbanken wie Baubook.at, Ubakus.de, Dataholz.eu, Oekobaudat.de und Naturebuilt.at wurden die notwendigen Daten für die Gegenüberstellung gesammelt. Ziel dieser Arbeit ist es, zu beantworten, welche Vor- und Nachteile Naturbaustoffe in Bezug auf den U-Wert, das Treibhauspotenzial, den Primärenergieinhalt, das Versauerungspotenzial, sowie auf das Innenraumklima, die Wiederverwertung und die Entsorgung haben. Die gegenständliche Untersuchung hat ergeben, dass so gut wie alle Wand- und Deckenaufbauten mit Naturbaustoffen in Bezug auf die genannten Parameter besser abschneiden als Aufbauten mit herkömmlichen Materialien. Das Innenraumklima, die Deponie und die Wiederaufnahme in die Kreislaufwirtschaft profitieren ebenfalls positiv von der Verwendung von Naturbaustoffen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ziel und Vorgehensweise.....	5
2	Begriffsbildung und Definition.....	7
2.1	CO ₂ -Äquivalente	7
2.2	Ökobilanzen	7
2.3	Ökologische Zertifikate und Umweltzeichen.....	9
2.3.1	IBO Prüfzeichen.....	9
2.3.2	Natureplus Umweltzeichen	10
2.3.3	Österreichisches Umweltzeichen	10
3	Bauen mit Naturbaustoffen.....	11
3.1	Bauplan zu einem ökologischen Haus	11
3.2	Kreislaufwirtschaft.....	13
3.3	Innenraumklima	14
3.4	Naturbaustoffe.....	16
3.4.1	Lehm	16
3.4.2	Holz.....	19
3.4.3	Stroh	21
3.4.4	Hanf.....	22
3.4.5	Kalk.....	23
3.4.6	Schafwolle.....	24
4	Best-Practice-Beispiel 1.....	25
4.1	Befund.....	25
4.2	Pläne.....	26
4.3	Fotodokumentation	28
4.4	Wand- und Deckenaufbauten.....	30
4.5	Wand- und Deckenaufbauten konventionell.....	35

5	Best-Practice-Beispiel 2.....	40
5.1	Befund.....	40
5.2	Plan.....	41
5.3	Fotodokumentation:	42
5.4	Wand- und Deckenaufbauten	42
5.5	Wand- und Deckenaufbauten konventionell.....	45
6	Vergleich traditioneller und ökologischer Wand- und Deckenaufbauten	49
7	Darstellung der Ergebnisse	54
7.1	Excel Tabellen Neubau	54
7.2	Grafische Darstellung der Ergebnisse Neubau	55
7.3	Excel Tabellen Sanierung	77
7.4	Grafische Darstellung der Ergebnisse Sanierung.....	77
8	Conclusio und Ausblick.....	93

1 Einleitung

Fast 40% der globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen sind auf den Bau- und Gebäudesektor zurückzuführen. Des Weiteren ist das Bauwesen für weit mehr als 50% des globalen Ressourcenverbrauchs, in Form von mineralischem Abbau, zuständig. (Elbers, 2022)

Durch diesen sehr großen Anteil an weltweiten CO₂-Emissionen wird klar sichtbar, dass der Sektor der Bauindustrie eine maßgebende Rolle im Kampf gegen den Klimawandel und einem nachhaltigen Ressourcenmanagement einnimmt.

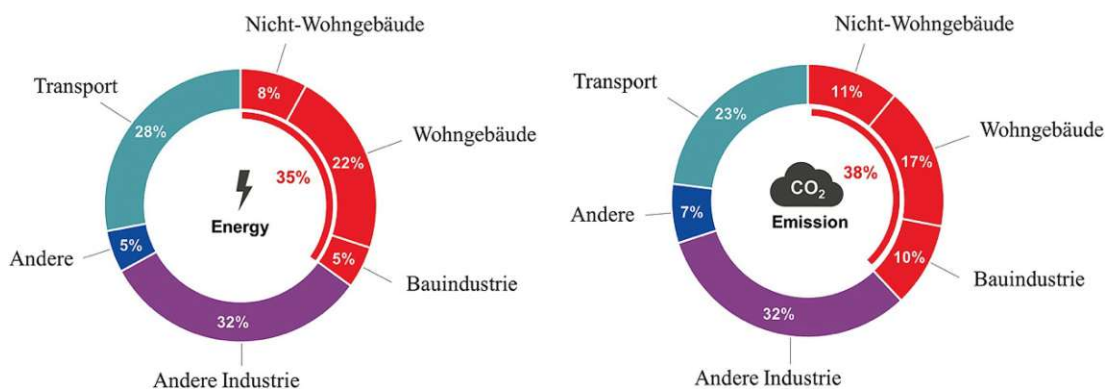


Abbildung 1: Verteilung der Energie und CO₂-Emissionen in den unterschiedlichen Sektoren (Elbers, 2022)

In Abbildung 1 lässt sich ablesen, dass 38% der globalen CO₂-Ausstöße auf die Bauwirtschaft zurückzuführen sind. Von diesen 38% werden 28% auf den Gebäudebetrieb in der Nutzungsphase und 10% auf die Bauindustrie und die Herstellung der Gebäude zugeschrieben. (Elbers, 2022)

35% des globalen Energieverbrauchs beziehen sich auf den Bausektor. Der Gebäudebetrieb bzw. die Nutzungsphase machen 30% aus. Die restlichen 5% des Energieverbrauchs spiegeln die Erstellung der Gebäude wider. (Elbers, 2022)

Diese 35% spiegeln den Stand 2022 wider, hierbei lässt sich aber sagen, dass in Zukunft vermehrt auf Photovoltaik und Windenergie gesetzt wird und die Energieausstöße im Betrieb somit immer kleiner werden. Somit kann man den CO₂-Ausstoß bzw. Energieverbrauch nur noch mit der Gebäudehülle und den verwendeten Baumaterialien verringern, da im Betrieb auf die selbsthergestellte erneuerbare Energie zurückgegriffen wird.

Ca. 75% aller Häuser in Österreich wurden vor den 90ern erbaut, knapp zwei Drittel aller Gebäude müssten damit saniert werden, um den heutigen Energiestandards zu entsprechen. (Klima- und Energiefonds, o. D.)

Somit steht dieser Sektor vor neuen Herausforderungen: Der globale CO₂-Ausstoß muss stark reduziert werden und regenerative Energiesysteme müssen vermehrt verwendet werden, um den Klimawandel zu bremsen und die Dekarbonisierung des Bausektors ist dazu ein wesentlicher Bestandteil. In den Zeiten einer globalen Klima- und Energiekrise müssen neue Schritte gesetzt werden. Somit spielt ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen in der Immobilienwirtschaft und dem Bausektor eine immer größer werdende Rolle. (Elbers, 2022)

Trotz der Verantwortung des Bausektors am Klimawandel und dem großen Potenzial zur Dekarbonisierung hat sich die Bauwirtschaft bisher kaum mit alternativen Lösungsansätzen auseinandergesetzt. Um das Pariser Abkommen erfolgreich einzuhalten, muss man auf die Verwendung von energie- und ressourcenintensiven Baustoffen verzichten und statt der Linearwirtschaft versuchen die Materialien im Kreislauf zu halten. Dies kann man unter anderem mit Naturbaustoffen, welche einen geringen Primärenergieinhalt besitzen, leichter wiederverwertet und nahezu problemlos deponiert werden können, falls diese nicht erneut verwendet werden können. Durch den weltweiten Bauboom müssen innovative Planungskonzepte und Strategien entwickelt und angewendet werden, um den Klimazielen näher zu kommen. (Elbers, 2022)

Somit muss schon in der Planungsphase daran gedacht werden, ob man ein Tragwerk aus Beton und Stahl baut oder alternative Konstruktionen wählt. Beton, Stahl, Aluminium und Glas sind äußerst energie- und prozessintensiv und besitzen dementsprechend hohe CO₂-Emissionen. Holz, welches von einem nachhaltigen Anbau stammt, ist im Gegenteil ein nachwachsender und kohlenstoffbindender Baustoff und hat somit einen positiven Einfluss auf die CO₂-Bilanz. (Elbers, 2022)

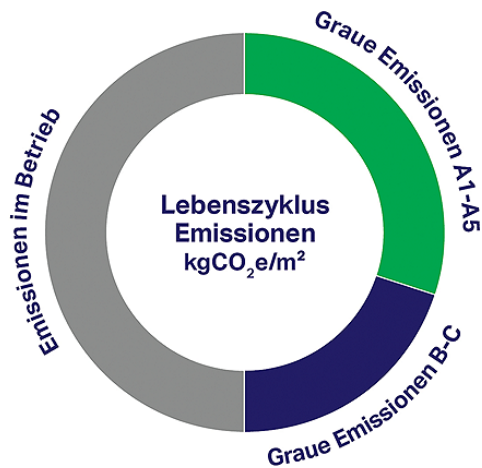


Abbildung 2: Verteilung der Emissionen eines Gebäudes (Elbers, 2022)

In den letzten Jahrzehnten wurde der Fokus vermehrt auf die Verringerung der Emissionen im Gebäudebetrieb gelegt, leider wurden die grauen Treibhausgasemissionen, welche bei der Rohstoffgewinnung, Herstellung, Transport, Abriss und Entsorgung entstehen bzw. frei werden nicht wirklich beachtet.

Wie man aus der Abbildung 2 entnehmen kann, entsprechen die Emissionen im Betrieb mehr als 50% der gesamten Emissionen über den Lebenszyklus eines Gebäudes. (Elbers, 2022)

Wenn man davon ausgeht, dass im Betrieb ausschließlich erneuerbare Energie verwendet wird, kann man CO₂-Emissionen nur noch bei der Errichtung des Gebäudes und bei der Wahl der Materialien einsparen. Naturbaustoffe stellen hierbei eine großartige Lösung des Problems dar.

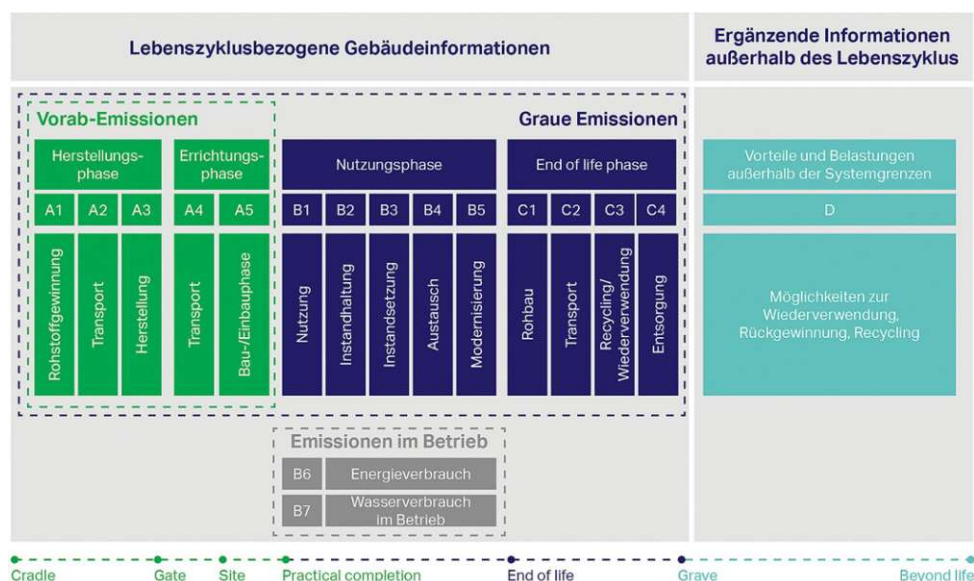


Abbildung 3: Lebenszyklusanalyse DIN EN 15987 (Elbers, 2022)

Die Abbildung 3 stellt die verschiedenen Lebenszyklusphasen (A1-A5, B1-B5, C1-C4 und D) eines Gebäudes laut DIN EN 15987 dar. Mit Hilfe dieser Ökobilanz kann die umweltbezogene Qualität eines Gebäudes ermittelt werden und Baustoffe können somit bewertet werden. (Elbers, 2022)

Die vorliegende Masterarbeit bezieht sich hauptsächlich auf die Treibhausgasemissionen in der Herstellungs- und Errichtungsphase (A1-A5) der jeweiligen Baumaterialien und nicht auf den Endenergieverbrauch der Nutzungsphase bzw. auf die Emissionen im Betrieb des Gebäudes. Wenn man davon ausgeht, dass man Passivhäuser bzw. Häuser mit erneuerbaren oder regenerativen Energiesystemen erbaut und somit keine externe Energie für den Betrieb benötigt bzw. verbraucht wird, fallen knapp 50% der Emissionen weg. Somit kann man die Ökobilanz eines Gebäudes nur noch mit der Wahl der Baumaterialien verbessern. Genau deswegen muss das Hauptaugenmerk auf die Gebäudehülle und die verwendeten Baumaterialien gelegt werden. Durch die Verringerung der Gebäudehülle bzw. durch die Reduktion von Materialvolumen können zusätzlich CO₂-Emissionen eingespart werden.

Egal ob im Neubau oder bei einer Sanierung muss in Zukunft vermehrt auf die Verwendung von nachwachsenden und umweltschonenden Materialien gesetzt werden. Nicht nur wegen dem Einfluss auf den Klimawandel, sondern auch für ein besseres Raumklima und die Gesundheit der Bewohner sollte eine Bauweise mit Naturbaustoffen bevorzugt werden. Ebenso gibt es keine toxischen Ausdünstungen wie von konventionell verwendeten Baumaterialien mehr. Des Weiteren muss durch eine passende Planung und Architektur das Konzept des Gebäudes mit den jeweiligen Materialien unterstützt werden. Durch die Verwendung von Naturbaustoffen wie Holz, Lehm, Stroh, Wolle und Hanf werden meist diffusionsoffene und atmungsaktive Bauteile und Innenräume geschaffen, welche für ein angenehmeres Wohngefühl und feuchtigkeitsregulierendes Innenraumklima sorgen. (Stahr, 2018)

1.1 Ziel und Vorgehensweise

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zunächst einen Überblick über die derzeitige Lage der Immobilienwirtschaft in Bezug auf die Nachhaltigkeit und die Verwendung von Naturbaustoffen zu geben. Im Zuge dessen werden Ökobilanzen und die dazugehörigen ökologischen Zertifikate und Umweltzeichen genauer erläutert. Des Weiteren werden einige Naturbaustoffe, die in den Best-Practice-Beispielen herangezogen werden, im Detail vorgestellt. Der Hauptteil dieser Arbeit befasst sich mit den Wand- und Deckenaufbauten zweier Häuser. Einerseits handelt es sich um einen Neubau, welcher mit ökologischen Baumaterialien erbaut wurde, andererseits befasst sich die Arbeit mit einem alten Bauernhaus, welches mit Naturbaustoffen saniert wurde. Den ökologischen Wand- und Deckenaufbauten werden Aufbauten mit einer konventionellen Bauweise gegenübergestellt und in Bezug auf verschiedene Umweltindikatoren und physikalische sowie thermodynamische Kenngrößen miteinander verglichen. Die Aufbauten der ökologischen Gebäude wurden in dieser Arbeit mit den tatsächlich verwendeten Materialien gerechnet. Zum Vergleich wurden die konventionellen Aufbauten mit Hilfe von Baumeister Andreas Lugner, Baumeister Klaus Kiessler und Alois und Johannes Hirschmugl erstellt, diese Aufbauten spiegeln die derzeit gebräuchlichen Baumaterialien und Bauweisen wider. Die Beschaffung aller physikalischen Kenngrößen und Umweltindikatoren der Baumaterialien wurden mit Hilfe von Herstellerangaben der jeweiligen Unternehmen, Datenbanken wie Baubook.at, Ubakus.de, Dataholz.eu, Oekobaudat.de und Naturebuilt.at durchgeführt. Viele der verwendeten Materialien mussten zunächst in Ubakus.de angelegt werden. Im weiteren Verlauf wurden Wand- und Deckenaufbauten in Ubakus.de erstellt, dieses Onlinetool ermöglicht eine grafische Darstellung der Aufbauten und ermittelt zugleich viele wichtige physikalische und ökologische Kennwerte. Diese Werte wurden mit Microsoft Excel zu verschiedenen Tabellen zusammengefasst und anschließend miteinander verglichen. Ziel hierbei ist klar die Gegenüberstellung der verschiedenen Aufbauten. Das Hauptaugenmerk des Vergleichs liegt auf den Treibhauspotenzialen, den Primärenergieinhalten und den Versauerungspotenzialen, des Weiteren werden physikalische Kenngrößen wie die Bauteildicke, das Gewicht, der U-Wert, der Wärmedurchgangswiderstand, die Wärmespeicherfähigkeit, der Wärmeverlust und weitere Umweltindikatoren wie das Überdüngungspotential, der Sommersmog und das Ozonabbauendes Potential miteinander verglichen.

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll folgende Forschungsfrage beantwortet werden:

- Welche Vor- und Nachteile haben natürliche Baustoffe gegenüber herkömmlich verwendeten Materialien in Bezug auf den U-Wert, das Treibhauspotenzial, den Primärenergieinhalt, das Versauerungspotenzial, sowie auf das Innenraumklima, die Wiederverwertung und die Entsorgung?

2 Begriffsbildung und Definition

Im folgenden Kapitel werden zunächst CO₂-Äquivalente, Ökobilanzen und die in Österreich gängigsten ökologischen Zertifikate und Klimaschutzinitiativen genauer erläutert.

2.1 CO₂-Äquivalente

Im Laufe dieser Arbeit geht es zu einem großen Teil um CO₂-Äquivalente. CO₂-Äquivalente stellen eine Maßeinheit zur Vereinheitlichung verschiedener Treibhausgase und deren Klimawirkung dar. Neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) gibt es viele andersartige Treibhausgase wie Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und einige differierende Fluor-Kohlenwasserstoffe. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Treibhausgasen zu ermöglichen, werden diese auf die Klimawirksamkeit von CO₂ umgerechnet. CO₂ besitzt somit ein Erwärmungspotenzial (GWP, Global Warming Potential) von 1. (Net4Energy, o. D.)

Methan ist rund 25-mal schädlicher für die Umwelt als CO₂, Lachgas hingegen ist sogar knapp 300-mal so klimaschädlich. (Umwelt Bundesamt, 22.06.2022)

2.2 Ökobilanzen

Das Bauwesen besitzt ein großes, noch nicht ausgeschöpftes Potenzial zur Verringerung des Klimawandels. Um den ökologischen Fußabdruck möglichst gering zu halten und diesen überhaupt definierbar und vergleichbar zu machen, wurden ökologische Zertifikate und Ökobilanzen entwickelt. Mit Hilfe von Ökobilanzen können Baumaterialien bezüglich ihrer ökologischen Qualitäten bewertet werden und bieten somit eine Orientierungshilfe.

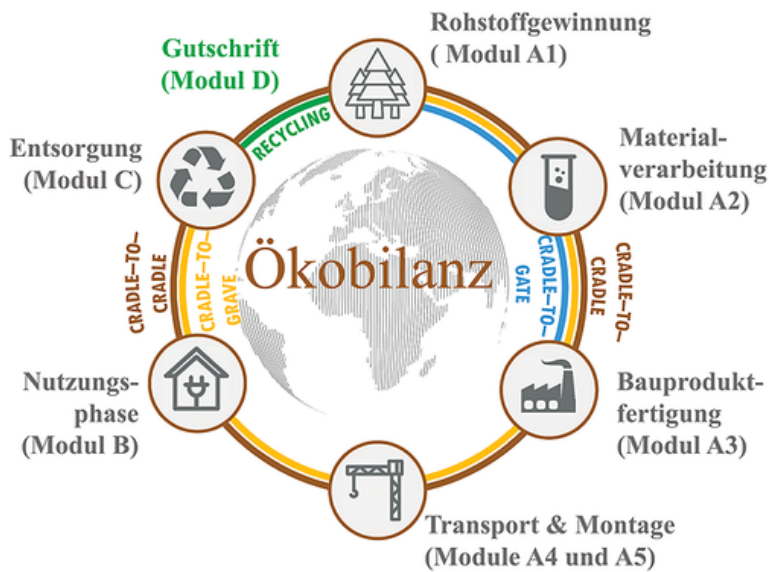


Abbildung 4: Phasen der Ökobilanz (Hoffmann et al., 2021)

In der Abbildung 5 werden die Phasen der Ökobilanz genauer erläutert. Die Abschnitte A1-A5, welche sich auf die Rohstoffgewinnung, Materialverarbeitung, Bauproduktfertigung, Transport & Montage der Baumaterialien beziehen, sowie die Nutzungsphase B, die Entsorgungsphase C und die Phase der potenziellen Gutschrift D durch Recycling stellen die Ökobilanz dar. (Hoffmann et al., 2021)

Diese Arbeit fokussiert sich auf die Umweltindikatoren des Ökoindex OI3 (Treibhauspotenziale, Primärenergieinhalte und Versauerungspotenziale) der Baumaterialien, welche von der Rohstoffgewinnung bis zur Montage entstehen (Module A1-A5).

2.3 Ökologische Zertifikate und Umweltzeichen

Ökologische Zertifikate und Umweltzeichen leisten einen wichtigen Beitrag zur Bewertung des nachhaltigen Bauens. Diese prüfen Bauprodukte, zeichnen diese mit Siegeln aus und geben eine Orientierungshilfe für Auftraggeber, Bauherren, Architekten und Endkonsumenten. Diese ausgewählten Zertifikate kategorisieren ausschließlich Baumaterialien und ermöglichen eine Gegenüberstellung dieser. Nun werden die wichtigsten Organisationen kurz vorgestellt.

2.3.1 IBO Prüfzeichen

Das IBO Prüfzeichen bietet schon seit 1980 eine Orientierungshilfe für Baustoffe und Innenraumausstattungen. Der gesamte Lebenszyklus der Bauprodukte wird nach verschiedensten Merkmalen analysiert und wenn ein Produkt die baubiologischen und bauökologischen Anforderungen erfüllt, wird es mit dem IBO Prüfzeichen gekennzeichnet und ein Prüfbericht zu dem jeweiligen Produkt wird verfasst.

(Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.)



Abbildung 5: IBO Prüfzeichen 1 (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.)



Abbildung 6: IBO Prüfzeichen 2 (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.)

2.3.2 Natureplus Umweltzeichen

Das natureplus Qualitätszeichen zeichnet ebenfalls Bauprodukte, bei Einhaltung gewisser qualitätsbezogener Kriterien und Anforderungen bezüglich der Nachhaltigkeit, aus. Die Überprüfung dieser Normen wird von akkreditierten Laboren und Gutachtern nach internationalen Standards ausgeführt. Somit ist das natureplus Umweltzeichen das einzige europäische Label, welches auf wissenschaftlichen Kriterien beruht. Die drei Säulen des Qualitätszeichen sind Klimaschutz, Wohngesundheit und Nachhaltigkeit. (Natureplus, o. D.)



Abbildung 7: Natureplus (Natureplus, o. D.)

2.3.3 Österreichisches Umweltzeichen

Hierbei handelt es sich um ein staatliches Umweltzeichen, welches neben Produkten in der Bau- und Wohnbranche, auch im Bereich Tourismus, Bildung und Events Zertifikate verteilt wird. Das österreichische Umweltzeichen ist ein unabhängiges Gütesiegel für Qualität und Umwelt für die vier genannten Kategorien. (Klimaaktiv, 2022)

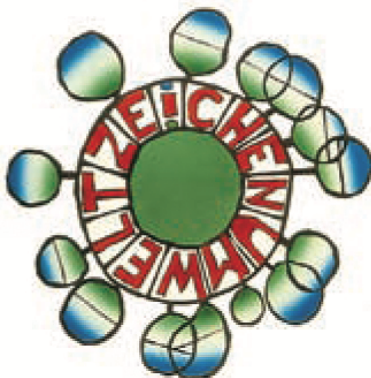


Abbildung 8: Österreichisches Umweltzeichen (Klimaaktiv, 2022)

3 Bauen mit Naturbaustoffen

Mit Hilfe von Ökobilanzen und den verschiedensten ökologischen Zertifikaten und Umweltzeichen wird die Wahl der passenden Baumaterialien und Bauweisen immer einfacher, nun geht es aber auch um die Art und Weise, wie ein Haus mit Naturbaustoffen gebaut werden sollte. Nicht nur die Wahl der Materialien sollte genauestens berücksichtigt werden, sondern viele weitere Aspekte, welche im folgenden Kapitel erläutert werden, ermöglichen den Bau eines ökologischen Gebäudes. Im weiteren Verlauf des Kapitels wird auf die Kreislaufwirtschaft, das Innenraumklima und die verschiedenen Naturbaustoffe, welche im anschließenden Vergleich behandelt werden, eingegangen.

3.1 Bauplan zu einem ökologischen Haus

Es gibt vier Lebenszyklusphasen von Gebäuden, diese unterteilen sich in Herstellungs-, Errichtungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphasen. In jeder dieser Phasen kommen Energie- und Stoffströme auf. Diese Ströme entstehen durch die Ressourcenentnahme aus der Umwelt, die benötigte Energie, die Herstellung der Baustoffe, den Transport, die Errichtung des Gebäudes, die Nutzung, den Rückbau und die Deponie. (Nagler, 2022)

In jeder dieser Lebenszyklusphasen stecken unfassbare Potenziale, wenn man nachhaltige, regionale Baustoffe materialschonend einsetzt und mit einer umfassenden Planung Gebäude errichtet bzw. saniert, können große Mengen an CO₂-Äquivalenten eingespart werden. Um Kosten einzusparen, versucht man zurzeit vermehrt mit Dämmmaterialien und der damit resultierenden dichten Gebäudehülle, den Energieverbrauch zu senken. (Nagler, 2022)

Ca. 20% der gesamten Lebenszykluskosten eines Gebäudes sind auf die Planungs- und Bauphase zurückzuführen, die restlichen 80% fallen in der Nutzungsphase an. Hierbei muss man aber sagen, dass die Entsorgung und der Rückbau eines Gebäudes nicht berücksichtigt werden. Die Deponie und der Abbruch spielen ebenfalls eine große Rolle in Bezug auf die Kosten und werden in anderen Modellen auf ca. 10% geschätzt. (Nagler, 2022)

Um die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu schonen, müssen schon in der Planungsphase wichtige Gedanken angestellt werden. Mittels der Architektur sollte man Gebäude schaffen, die von sich aus wenig Heizenergie benötigen und im Sommer nicht zu schnell überhitzen. Die Ausrichtung des Gebäudes bzw. der Räume muss ebenfalls im Vorhinein bedacht werden. Aufenthaltsräume, wie das Wohnzimmer sollten sich nach Süden orientieren, Arbeitszimmer und Schlafzimmer sollten ostseitig ausgerichtet sein. Potenzielle Beschattungssysteme müssen auch zu den unterschiedlichen Sonnenständen im Winter und Sommer funktionieren. (Nagler, 2022)

Ebenfalls sollte man die Hüllfläche reduzieren: diese ist einerseits teuer in der Anschaffung, andererseits wird der Materialeinsatz und der Energieverbrauch im Betrieb minimiert, wenn man die bauliche Dichte erhöht. Des Weiteren können positive Auswirkungen auf den Flächenverbrauch, den Erschließungsaufwand und das Verkehrsaufkommen wahrgenommen werden. (Nagler, 2022)

Die thermische Trägheit spielt für den Komfort der Bewohner ebenfalls eine große Rolle. Je schwerer die Bauweise ist, desto besser speichert diese Masse Temperatur. Somit sollte man schon in der Planungsphase Überlegungen anstellen, wie groß die thermische Trägheit sein soll. Wenn ein Raum beispielsweise nicht vor der Sonne geschützt ist und die Nachtentwärmung im Zuge von Lüften nicht stringent durchgeführt werden kann, wird eine massive Bauweise empfohlen. Gegenteilig reicht eine leichte Bauweise aus, wenn der Raum im Schatten liegt und konsequent effektiv quergelüftet werden kann. Eine massive Bauweise ist in Bezug auf Primärenergieinhalte und Treibhauspotenziale wiederum negativ zu betrachten, da große Materialmengen mehr CO₂-Emissionen mit sich bringen. (Nagler, 2022)

Eine ordentliche Systemtrennung, also die Trennung von Technik und der Baukonstruktion hilft ebenfalls der Nachhaltigkeit eines Bauprojektes. Gewisse Teile des Gebäudes haben unterschiedlich lange Lebenszyklen und müssen früher als andere gewartet, repariert oder ausgetauscht werden. Wenn eine Systemtrennung vorhanden ist, kann ein einziges Teil ohne Zerstörung anderer Teile ausgetauscht werden und eine rohstoffschonende Arbeitsweise wird ermöglicht. Dies hat nicht nur Vorteile

gegenüber der Umwelt, sondern auch wirtschaftliche Mehrwerte, da nicht ganze Bauteile auf einmal getauscht werden müssen. (Nagler, 2022)

Um nachhaltig zu bauen sollte man so wenig wie möglich Bauteilschichten benutzen, möglichst viele nachwachsende Materialien verwenden und passend zu den Merkmalen und der Wesensart der verwendeten Materialien die Elemente des Bauwerks anpassen. (Nagler, 2022) Somit wird Verbund zwischen den Gebäudeschichten vermieden, um einen Abbau je nach den unterschiedlichen Lebensdauern zu ermöglichen. (Elbers, 2022)

Dies stellt einer der größten Vorteile von Naturbaustoffen dar. Ein sortenreiner Rückbau in Verbindung mit der Wiederverwertbarkeit dieser Baustoffe schont Deponie-, sowie Baumaterialkosten und schützt die Umwelt. Bei konventionellen Bauweisen ist dies kaum bzw. nicht möglich. Hierbei muss man große Deponieflächen verwenden und neue Baustoffe herstellen, dies schadet einerseits der Umwelt und ist andererseits schlichtweg teurer. Die Städte der Zukunft sollten darauf ausgelegt sein, dass man bei Abbruch eines Gebäudes die Baumaterialien sortenrein rückbauen kann und diese bei dem nächsten Projekt wiederverwertet werden. Städte sollten somit als Rohstofflager der Zukunft fungieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt einer ökologischen Bauweise ist die Wahl des Grundstücks. Lärm- und Störungsquellen, das Mikroklima und chemische Vorbelastungen der Böden sollten vor dem Baustart bzw. vor der Planungsphase genauestens analysiert werden. Ein Grundstück sollte frei von jeglichen chemischen Einwirkungen, elektrischen bzw. elektromagnetischen Strahlungen und erhöhten Radonvorkommnissen sein. (Artelt, 2014)

3.2 Kreislaufwirtschaft

Die heutzutage dominierende Wirtschaftsform ist die Linearwirtschaft, dabei werden Produkte nur für einen dezidierten Zweck produziert, genutzt und nach der Lebensdauer entsorgt oder thermisch verwertet. Ziel bei der sogenannten Circular Economy ist es, bestimmte Rohstoffe für eine möglichst lange Zeitperiode im aktiven Kreislauf zu halten, um somit die immer knapper werdenden endlichen Ressourcen zu sparen und den anfallenden Müll zu minimieren. Durch das Cradle to Cradle Konzept,

welches darauf ausgelegt ist Rohstoffe in einem geschlossenen Kreislauf zu behalten, Reparaturen und Wiederverwertungen versucht man Rohstoffe zu schonen, Energie zu sparen und die verwendeten Materialien immer wieder in den Kreislauf zurückzuführen. Schon in der Planungsphase muss man sich Gedanken über die Trennung der einzelnen Materialien nach der Nutzungsphase machen, um möglichst große Vorteile zu erwirtschaften. Sortenreine und gut trennbare Materialien eignen sich gut für die Wiederaufnahme in die Kreislaufwirtschaft und dienen einem guten Innenraumklima. (Bäuerle & Lohmann, 2021)

Mit Hilfe von Naturbaustoffen, welche sortenrein und gut zu trennen verbaut werden, kann man genau diesem Problem der Linearwirtschaft entgegenwirken und versuchen, ökologische Baumaterialien in dem Kreislauf zu halten, sie wiederzuverwerten und somit Baustoffe und die Umwelt zu schonen.

3.3 Innenraumklima

Die maßgebenden Faktoren eines guten Innenraumklimas sind die Bauweise und die verwendeten Baumaterialien. Zurzeit werden in der Baubranche größtenteils äußerst dichte Gebäudehüllen, welche eine große Menge an Dämmmaterialien besitzen, gebaut. Dies hat einerseits energetische Vorteile, andererseits besitzen solche Gebäude keine natürliche Luftwechselrate. In diffusionsdichten Räumen können Feuchtigkeit, Schimmel, unangenehme Gerüche oder verschiedenste Absonderungen von chemischen Stoffen die Gesundheit und das Wohlbefinden der Benutzer negativ beeinflussen. In der Vergangenheit gab es einige Fälle mit den Wohngiften Asbest und Lindan, welche gesundheitsschädigende Folgen für Menschen mit sich führten. Genau aus diesem Grund wurden einige dieser Stoffe bereits verboten. Chemische Stoffe wie Formaldehyd, Weichmacher, Flammschutzmittel, Holzschutzmittel, Radon und teerhaltige Verbindungen werden als Wohngifte bezeichnet. In manchen Bestandsbauten können noch einige dieser gesundheitsschädigenden Stoffe enthalten sein. Um diese Schadstoffe und die damit verbundenen Krankheiten zu vermeiden, sollten Materialien, welche solche Wohngifte bzw. flüchtige organische Verbindungen beinhalten, nicht verwendet werden. Wenn dies nicht möglich ist, wird eine ausreichende Frischluftzufuhr empfohlen, um die Schadstoffkonzentration der Raumluft zu minimieren. Ebenfalls sollte die Staubbelastung so gering wie möglich

gehalten werden, um Gesundheitsstörungen vorzubeugen. Die häufigsten Gesundheitsbelastungen äußern sich in einer Reizung der Schleimhäute, sowie einer Beeinträchtigung des Allgemeinbefindens. Klassische Symptome wie Husten, Augenbrennen, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Übelkeit, Schwindel, sowie allergische Reaktionen und Reizungen der Haut werden durch solche Wohngifte verursacht. (Coutalides & Sträuli, 2015)

Die untenstehende Abbildung fasst die Faktoren bezüglich der Gesundheit und des Wohlbefindens der Benutzer eines Innenraums zusammen. (Coutalides & Sträuli, 2015)

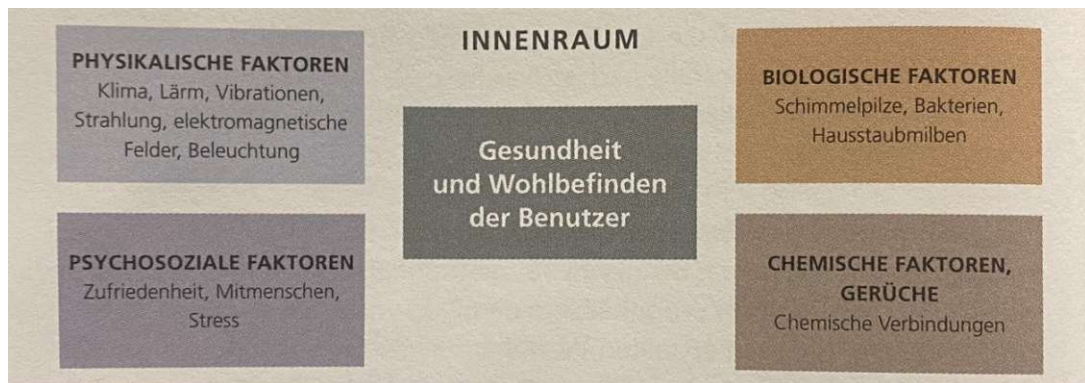


Abbildung 9: Innenraumklima (Coutalides & Sträuli, 2015)

Aus dem obenstehenden Text sollte klar hervorgehen, dass Baumaterialien mit chemischen Inhalten in der gesamten Baubranche nicht mehr verwendet werden sollten. Nicht nur wegen den ökologischen Faktoren, sondern auch wegen den Aspekten rund um die Gesundheit der Benutzer der Wohnräume. Baumaterialien wie Holz, Stroh, Lehm und Wolle beinhalten keiner dieser negativen Bestandteile. Durch die diffusionsoffenen bzw. wasserdampfdurchlässigen Eigenschaften dieser ökologischen Baustoffe, wird auch das Problem der Schimmelbildung und der zu hohen Schadstoffkonzentrationen in der Raumluft reduziert.

3.4 Naturbaustoffe

Zurzeit wird in der Baubranche darauf geachtet, dass fertiggestellte Bauten in der Nutzungsphase möglichst geringe Heizkosten verursachen und möglichst viel Energie sparen, indem diese Objekte ausreichend gedämmt werden. Dies ist ein wichtiger Schritt in die richtige Richtung, dennoch impliziert dies nicht zugleich ein nachhaltiges Objekt oder Gebäude. Wie viel Energie bei der Herstellung der Dämmmaterialien und dem Transport anfallen bzw. wie viele Schadstoffe in diesem Material enthalten sind, wird leider im konventionellen Bau missachtet. In Zeiten einer Klima- und Energiekrise muss vermehrt auf nachwachsende und nachhaltige Materialien zurückgegriffen werden. Nun werden einige Naturbaustoffe im Detail vorgestellt:

3.4.1 Lehm

Wenn man von ökologischen Baumaterialien spricht, ist Lehm einer der meisterwähnten Baustoffe. Schon seit Jahrtausenden wird Lehm in den verschiedensten Konstruktionsarten verwendet. Aus Urgestein, welches über lange Zeit der Verwitterung ausgesetzt ist, entsteht Lehm. Dieser Lehm kann einerseits am Entstehungsort verfügbar sein oder auch durch natürliche Prozesse transportiert worden sein. Lehm besteht aus Tonmineralien und sandigen bis steinigen Bestandteilen. Die Körnungen ergeben das sogenannte Mineralgerüst. Die Eigenschaften von Lehm unterscheiden sich stark von der Art und den Anteilen der Tonminerale. Die Bindekraft und die Plastizität sind von dem natürlichen Bindemittel Ton abhängig. Magerer Lehm besitzt mehr sandige Bestandteile im Vergleich zu fettigem Lehm, welcher hingegen viel Ton enthält. (Stahr, 2018)

Lehm wirkt geruchsabsorbierend und stellt somit keine Raumluftbelastung dar. Es gibt keine toxischen Ausdünstungen in irgendeiner Form bei der Verwendung von Lehm. Der hervorragende Schallschutz und die gute thermische Speicherkapazität bei Erstellung hoher Rohdichten bieten neben dem hohen Sorptions- und Diffusionsvermögen, welches eine großartige ganzjährige Feuchtigkeitsregulierung darstellt, sind überzeugende Vorteile von Lehm als Baustoff. Lehm eignet sich wunderbar für die Zusammenarbeit mit Holz, da sich dieses durch seine Gleichgewichtsfeuchte von 4,5% holzkonservierend verhält. Die spärliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Wasser und die mangelhafte Druck- und

Zugfestigkeit, vor allem mit den im trockenen Zustand einhergehenden Rissbildungen, sind negative Aspekte von Lehm als Baustoff. Strohlehm bzw. Leichtlehm weisen ebenfalls ein schlechtes Brandschutzverhalten auf. (Stahr, 2018)

Neben den hervorragenden luftfeuchtigkeitsregulierenden Eigenschaften von Lehm und Ton, tragen diese mit der großartigen Wärmespeicherfähigkeit ebenfalls für das Raumklima bei. Die abfallarme, leichte Handhabbarkeit und die Wiederverwendbarkeit von Lehm sind einige Gründe, wieso dieses Baumaterial schon seit Jahrtausenden verwendet wird. (Isolena, o. D.)

Arten von Lehm

- **Stampflehm**

Stampflehm hat eine Rohdichte von $1700\text{--}2200\text{kg/m}^3$ und wird meistens mit Kies, Schotter, Stroh, Heu oder Heidekraut gemischt. Er wird meistens in eine Schalung gestampft und kann sogar als tragendes Bauteil verwendet werden. (Stahr, 2018)

- **Wellerlehm**

Hierbei handelt es sich um ein Gemisch aus Stroh und Lehm, welches im trockenen Zustand eine Rohdichte von $1500\text{--}1800\text{kg/m}^3$ besitzt. Die Aufbereitung dieses Lehms stellt sich als sehr aufwendig heraus und wird meist nur zur Ausbesserung von historischen Wellerwänden verwendet. (Stahr, 2018)

- **Stroh- bzw- Faserlehm**

Wie der Name schon sagt, besteht dieses Material aus Stroh bzw. Fasern mit Lehm und besitzt eine Rohdichte von $1200\text{--}1700\text{kg/m}^3$. Er wird ähnlich wie Wellerlehm hergestellt, nur besitzt Stroh- bzw. Faserlehm ca. doppelte Menge an Stroh. Dieser wird meistens als Ausfachungsbaustoff für Fachwerkwände und Balkendeckenkonstruktionen verwendet. (Stahr, 2018)

- **Leichtlehm**

Bei Leichtlehm wird zwischen leichten und schweren Mischungen unterscheiden. Die Rohdichte beläuft sich auf $400\text{-}1200\text{kg/m}^3$ und Lehm trägt dabei mindestens 30% zu dem Gewicht bei. Es wird ebenfalls zwischen organischen und mineralischen Leichtlehm unterschieden. Stroh, Heidekraut, Seggen, Riedgras, Sauergras und Grobheu werden als Fasern beigelegt. Außen- und Innenwände, sowie Vorsatzschalen und Deckenausfachungen werden aus Leichtlehm konstruiert. (Stahr, 2018)

- **Lehmschüttungen**

Lehmschüttungen werden zum Verfüllen von Hohlräumen und waagrechten Bauteilen, wie Geschoßflächen verwendet. Trocken besitzen Lehmschüttungen eine Rohdichte von $1200\text{-}2200\text{kg/m}^3$, des Weiteren können Leichtlehmschüttungen eine Rohdichte von $400\text{-}1200\text{kg/m}^3$ aufweisen. (Stahr, 2018)

- **Lehmmörtel**

Lehmmörtel kann in Lehmmauermörtel und Lehmputzmörtel unterteilt werden. Lehmmörtel besteht aus Baulehm und Zuschlägen und findet verschiedenste Anwendungsfelder, wie:

- Lehm-Mauermörtel
- Leichtlehm-Mauermörtel
- Lehm-Spritzmörtel
- Lehm-Putzmörtel
- Lehm-Unterputz
- Lehm-Oberputz grob
- Lehm-Oberputz fein (Schönburg, 2017)

- **Lehmsteine**

Lehmsteine entstehen durch Pressen mit oder ohne Faserzusatz von Baulehm. Die Trockenrohddichte beläuft sich auf 1200kg/m^3 . Verwendung finden diese Lehmsteine als tragendes Lehmmauerwerk in Form von Außen- und Innenwänden. Aus Leichtlehm gepresste Leichtlehmsteine können im

Gegensatz zu den Lehmsteinen nicht für tragende Mauerwerke verwendet werden. (Schönburg, 2017)

- **Lehmplatten**

Durch Zugabe von Stroh, Schilf oder Holzwolle zu Baulehm entstehen Lehmplatten. Bei einer erhöhten pflanzlichen Zuschlagsquote ergeben sich Leichtlehmplatten. Diese nichttragenden Lehmplatten werden oft bei Innenwandkonstruktionen oder Ausfachungen von Balkendecken verwendet. (Schönburg, 2017)

- **Lehmputze**

Lehmputze werden hauptsächlich bei Innenwänden verwendet. Bei dezidierten Nassräumen und Wänden, welche starke äußerliche Einwirkungen ausgesetzt sind, sieht man von Lehmputz ab. Normalerweise besteht Lehmputz aus natürlichen Rohstoffen und ist in Form von reinem Lehmputz, Lehm-Kalk-Putz, Lehm-Gips-Putz am Markt vorhanden. Anbringen lassen sich die Lehmputze fast auf allen Oberflächen. (Stahr, 2018)

3.4.2 Holz

Massivholz ist ein nachhaltiges, nachwachsendes und kohlenstoffbindendes Material mit bereits erstklassigen mechanischen Eigenschaften von Natur aus. Es besitzt ein gutes Verhältnis von Tragfähigkeit zu Gewicht und erweist sich somit als gute Alternative zu Stahl bzw. Stahlbeton. Durch die Digitalisierung und die Vorfertigung im Holzbau wird eine rapide und trockene Bauweise ermöglicht. (Elbers, 2022)

Seit Jahrtausenden wird das Material Holz wegen seiner Optik, Geruch, Haptik und durch seinen Klang verwendet. Es stellte sich als die Schlüsselressource der vor- und frühindustriellen Gemeinschaften dar. Erst seit den letzten 30 Jahren wird Holz wieder vermehrt in der Baubranche verwendet. (Pech & Bauer, 2016)

Wenn man nachhaltig mit diesem Rohstoff umgeht, sollte Holz meist regional und in großem Ausmaß zur Verfügung stehen. Bereits in der Wachstumsphase trägt Holz einen wesentlichen Beitrag für den Erhalt der Artenvielfalt, der Absorption von CO₂,

der Speicherung von H₂O und vielen weiteren positiven Auswirkungen auf das Ökosystem und Global Warming bei. Wenn dieses Holz auch noch von einem nachhaltig zertifizierten Anbau kommt, hat dieser Rohstoff sogar eine positive Auswirkung auf die CO₂-Bilanz. Somit ist Holz klimaneutral und stellt einen CO₂-Langzeitspeicher dar. (Nagler, 2022)

Materialien aus Holz haben über ihre Wachstumsphase Kohlenstoff aus der Atmosphäre gezogen und gespeichert. Durch diese Eigenschaft gehen anfangs negative Treibhausgasemissionen bei Holzbaustoffen hervor, welche aber beispielsweise bei dem Cradle to Grave Modell, welches darauf ausgelegt ist, dass Produkte am Ende ihrer Nutzung im Müll landen, bei der Entsorgung in Form einer thermischen Verwertung wieder hinzugerechnet werden. Das zunächst gespeicherte CO₂ wird wieder frei. (Hoffmann et al., 2021)

Bei der Verarbeitung von Holz wird ebenfalls deutlich weniger Energie freigesetzt als bei Ziegel-, Stahl- oder Betonbauten (Liedl & Rühm, 2019)

Neben dem ökologischen Mehrwert von Holz, erfüllt es für urbane Bauwerke dieselben Leistungsanforderungen wie Ziegel oder Beton als Monomaterial, also als sortenreines Material. Im Gegensatz zu den kommerziell verwendeten Materialien erwartet man sich noch ein ordentliches Entwicklungspotenzial von Holz, da dieses erst seit kurzer Zeit vermehrt verwendet wird. Da Holz eine geringe Wärmeleitfähigkeit hat, erfordert die Einspeisung von Raumwärme an der Holzoberfläche meist viel Zeit. Andererseits entspricht Brettsper Holz den Gesundheits- und Hygieneanforderungen, da dieses luftundurchlässig und diffusionshemmend wirkt und keine weiteren Kunststofffolien angebracht werden müssen. Neben diesen Eigenschaften besitzt die raumseitige Oberfläche von Holz kapillaraktive und feuchtigkeitsspeichernde Besonderheiten, diese ermöglichen eine Feuchtigkeitsregulation im Innenraum. (Nagler, 2022)

Auch das Innenraumklima und die Bewohner des Hauses profitieren ebenfalls von der Verwendung von Holz. Holz ist antiallergisch, antielektrostatisch, antibakteriell, es zieht keinen Staub an und ist nicht reizend für die Schleimhäute. (Isolena, o. D.)

Ebenfalls können einwandfreie Luftschalldämmwerte als zweilagige Außenwandkonstruktion in Verbindung mit einer Wetterschutzbekleidung erzielt werden. Des Weiteren kann auch ein hervorragender Trittschallschutz mit der Hilfe von Estrich und einer Trittschalldämmung mit kleiner dynamischer Steifigkeit, schweren, biegeweichen Deckenbekleidungen und integrierter Beschwerung für die Brettsperrhölzer erzeugt werden. (Nagler, 2022)

3.4.3 Stroh

Schon seit Jahrhunderten wurde Stroh zur Armierung von Lehm oder für konventionelle Strohdächer verwendet, somit ist Stroh ein historischer Baustoff. Die trockenen Halme besitzen gute stabil-elastische statische Eigenschaften, bieten ein hervorragendes Wärmedämmvermögen und einen überragenden Schallschutz. Der moderne Strohbau fing erst ab den 1870er Jahren an, dabei wurden die ersten Strohziegel gepresst. Unter Stroh versteht man die Stängel und Halme von verschiedensten Getreidesorten und grasartig wachsenden Pflanzen, ohne Wurzeln und Blütenstand, wie:

- Weizen,
- Hafer,
- Roggen,
- Gerste,
- Hirse,
- Sorghum,
- Hopfen,
- Flachs,
- Hanf,
- Schilf,
- Elefantengras,
- Sonnenlumen und
- Reis (Gruber et al., 2012)

Die Hauptbestandteile von Stroh sind Zellulose, Lignin und Kieselerde. Des Weiteren ist Stroh von einer hydrophoben Wachsschicht überzogen und ist wegen des hohen Silikatanteil stark wasserabweisend. Die rohrförmige Struktur der Halme ermöglichen die (Reiß-)Festigkeit und Elastizität. Das herausragende Wärmedämmvermögen besteht wegen den Lufträumen im Stroh. Die Nenndichte eines Strohballels beläuft sich auf 105kg/m^3 . (Gruber et al., 2012)

Stroh als Material ist fast auf der ganzen Welt regional verfügbar und ist an sich das Abfallprodukt eines nachwachsenden Rohstoffes. Durch die Verwendung des Materials, statt der Verbrennung, trägt dieser Baustoff einen positiven Beitrag für die Umwelt bei. Auch wirtschaftlich macht die Verwendung von Stroh Sinn. Strohballell stellen ein kostensparendes Material dar und kann des Weiteren von unerfahrenen Arbeitskräften eingebaut werden. Die überdimensionierten Strohballell sind vor allem im urbanen Raum schlechter geeignet, da diese viel Platz benötigen und dieser innerstädtisch limitiert ist. Ein weiterer Nachteil von Stroh ist die Feuchteempfindlichkeit und die damit verbundene Schimmelbildung, dem kann nur mit einer guten Belüftung oder einer diffusionsoffenen Bauweise entgegengewirkt werden. (Gruber et al., 2012)

Dennoch punktet Stroh mit seiner Atmungsaktivität, Recyclebarkeit, Schadstofffreiheit und Luftfeuchtigkeitsregulation. Diese Faktoren ermöglichen ein gesundes Raumklima und schonen zugleich die Umwelt. (Isolena, o. D.)

3.4.4 Hanf

Hanf oder auch Cannabis genannt, ist eine Gattung der Hanfgewächse und stellt die älteste Nutzpflanze der Welt dar. Die ältesten Funde in Europa können auf die Zeit um 5500 v. Chr. zurückgeführt werden. Im Gegensatz dazu wurde Hanf in China schon vor über 10.000 Jahren verwendet. (Holzmann & Wangelin, 2009)

Nutzhanf äußert sich in einem sehr rapiden und dichten Wachstum. Im Großen und Ganzen können alle Teile der Pflanze zur Erzeugung von verschiedensten Produkten verwendet werden. Neben medizinischen Produkten und der Verwendung als Biomasse können aus Hanföl, Hanfsamen, Hanffasern und Hanfschäben

verschiedenste Baustoffe, Nahrungsmittel, Textilien, Farben und Kosmetika erzeugt werden. (Holzmann & Wangelin, 2009)

Das seit Jahrhunderten verwendete Material stellt sich als wunderbares Dämmmaterial, Zuschlagsstoff und Abdichtung heraus. Die Atmungsaktivität, Schadstofffreiheit und Luftfeuchtigkeitsregulation tragen ebenfalls für ein gesundes Raumklima bei. Des Weiteren hat Hanf eine großartige Recyclebarkeit. (Isolena, o. D.)

Dämmstoffe aus Hanf können in verschiedensten Formen verwendet werden. Mit Dämmplatten, Dämmmatten oder Einblas- oder Stopfdämmstoffen können Innen- und Außenwände, Dächer, Decken sowie Bodenaufbauten gedämmt werden. Hanf eignet sich sogar ausgezeichnet als Trittschalldämmung. (Holzmann & Wangelin, 2009)

Hanf stellt eine großartige Alternative zu anderen Dämmstoffen dar, die Pflanze wächst schnell, benötigt wenig Wasser und es müssen keine Pestizide oder Herbizide verwendet werden. Des Weiteren verfügt Hanf neben der ausgezeichneten Wärmedämmung und der Lärmisolation, über hervorragende ökologische Eigenschaften und verfügt über eine gute Umweltbilanz.

3.4.5 Kalk

Die Einsatzbereiche von Lehm als Putz sind eingeschränkt, dieser ist nicht frostfest und hält Regen nicht stand. Um Lehmputze im Außenbereich zu verwenden, muss ein diffusionsoffener und wasserabweisender Anstrich gewährleistet sein. Bei einer Bauweise mit Stroh muss der Innenputz das Eindringen von Wasserdampf aus dem Innenraum verhindern. Lehm und seine feuchtigkeitsregulierenden Eigenschaften meistern diese Aufgabe mit Bravour. Kalk erweist sich als eine großartige Alternative im Außenbereich. Kalkputze sind wasser- und winddicht, verhindern Tauwasserbildungen, haben positiven Einfluss auf den Brandschutz der Außenwand und bieten einen großartigen Insektenschutz. Mit Kalkputz, welcher als Außenputz direkt auf dem Stroh angebracht wird, entsteht eine stabile Platte, die Horizontal- und Vertikalbelastungen standhält und guten Schutz vor äußerlichen Witterungsbedingungen bietet. (Liedl & Rühm, 2019)

Kalk besitzt einen basischen pH-Wert und bietet somit einen hervorragenden Schimmelschutz. Kalk ist härter als Lehm und ganz ohne Chemie wasserabweisend. Wasser- und windabweisende, fugenlose und glänzende Oberflächen können mit diesem luftfeuchtigkeitsregulierenden Baustoff erzeugt werden. Er bietet ein gutes Pendant zu Lehm in Form von Putz bei Bereichen, die Wasser ausgesetzt sind. (Isolena, o. D.)

3.4.6 Schafwolle

Schon seit Jahrhunderten wird Schafwolle verwendet, um Menschen warm zu halten und gegen winterliche Bedingungen anzukämpfen. Dämmstoffe aus Schafwolle werden meistens aus rezyklierter Schurwolle gefertigt. Nach dem Scheren wird die Wolle gereinigt, anschließend wird diese mit Borsalz behandelt, um die Wolle ungeziefer- und schimmelfrei zu halten. Diese Behandlung bietet ebenfalls einen Brandschutz. Der Durchmesser einer durchschnittlichen Faser beträgt 0,015 – 0,05 mm und kann bis zu 30 cm lang sein. Diese Fasern werden zum Größten Teil in Form von Matten, Filzen, Vliesen oder Stopfwolle verwendet. In Sachen Gesundheit und Ökologie schließt Wolle auch sehr gut ab. Um Schafwolle herzustellen, muss nur 25 – 80 kWh/m³ Energie eingesetzt werden. (Fouad, 2022)

Des Weiteren werden keine gesundheitsschädigenden Stoffe von Wolle freigesetzt, der Eiweiß-Grundstein Keratin kann sogar Formaldehyd aufnehmen und neutralisieren und durch diese antistatische Eigenschaft reinigt Schafwolle sogar die Raumluft. Die hygroskopischen Eigenheiten von Wolle tragen für ein positives Raumklima bei und verhindern zugleich die Schimmelbildung. Schafwolle kann bis zu 33 Prozent ihres Eigengewichts an Feuchtigkeit, während aufrechtbleibender Wärmedämmung, binden und wieder abgeben. In Sachen Brandschutz, Raumluft, Akustik, Luftqualität, Recycling und Wärmeschutz schließt Schafwolle ebenfalls hervorragend ab. Die Selbstentzündungstemperatur von Schafwolle beträgt 560 – 500 Grad Celsius, welche ca. doppelt so hoch wie diese von Holz. Dies ermöglicht einen guten Brandschutz. Die verschiedenen Faserfeinheiten ermöglichen ebenfalls gute Schallabsorptionseigenschaften. Die diffusionsoffenen Eiweißfasern von Schafwolle bieten Schimmelpilzen keinen Nährboden, somit ist diese perfekt von Schimmel geschützt. (Isolena, o. D.)

4 Best-Practice-Beispiel 1

In diesem Kapitel werden zunächst der Neubau des ersten Best-Practice Beispiels und dessen Wand- und Deckenaufbauten genauer vorgestellt. Des Weiteren werden konventionelle Wand- und Deckenaufbauten dargestellt. Dieses Best-Practice Beispiel legt exemplarisch Aufbauten mit Naturbaustoffen vor und dient somit als Leuchtturmprojekt für Folgevorhaben.

4.1 Befund

Das erste Best-Practice-Beispiel ist ein absoluter Vorzeige Neubau in Bezug auf Ökologie, Nachhaltigkeit und Naturbaustoffe. Das Bestandsobjekt befindet sich im Burgenland, Gols, 7122.



Abbildung 10: Neubau in Gols, Straßenansicht (eigene Aufnahme)

Der Grundriss des Hauses beträgt rund 10x10 Meter. Das Haus besitzt einen Keller, welcher mit einem handelsüblichen Fundament erbaut wurde, dieser ist der einzig große umwelt- und energietechnische Nachteil des Hauses. Des Weiteren wurde wegen wirtschaftlichen Entscheidungen nicht Kork zum Dämmen, sondern handelsübliches EPS und XPS verwendet. Ein Holzmassivhaus wäre statt dem Ziegelkonstrukt ebenfalls die ökologisch schonendere Variante gewesen, aber wirtschaftlich nicht tragbar gewesen. Die Ziegel, welche im Erdgeschoss mit Perlite gefüllt sind, dienen als Wärmespeicher und sorgen somit für einen verringerten Energieverbrauch.

4.2 Pläne

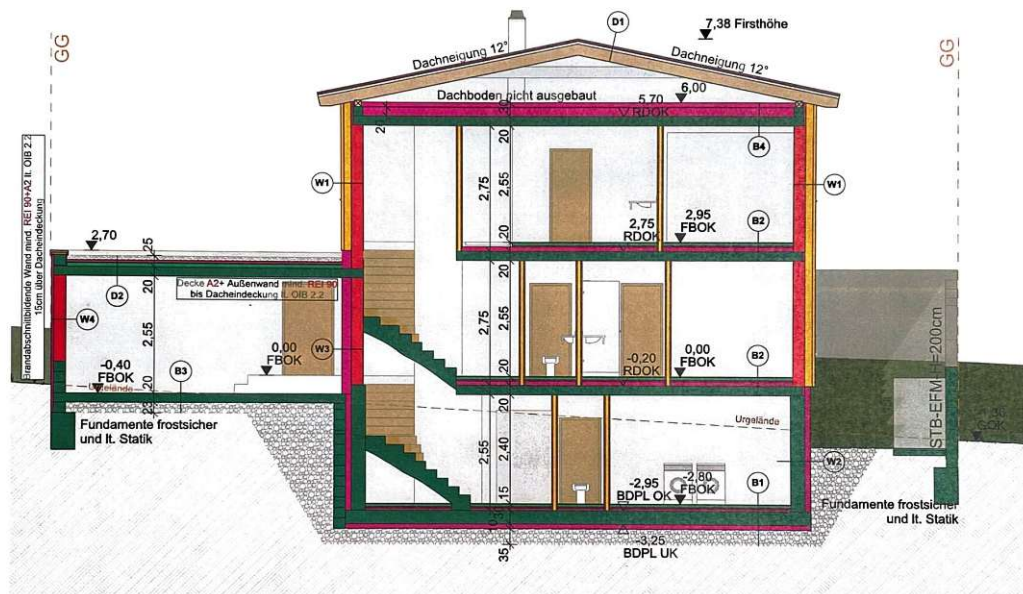


Abbildung 11: Schnitt Neubau (Hirschmugl, 2022)

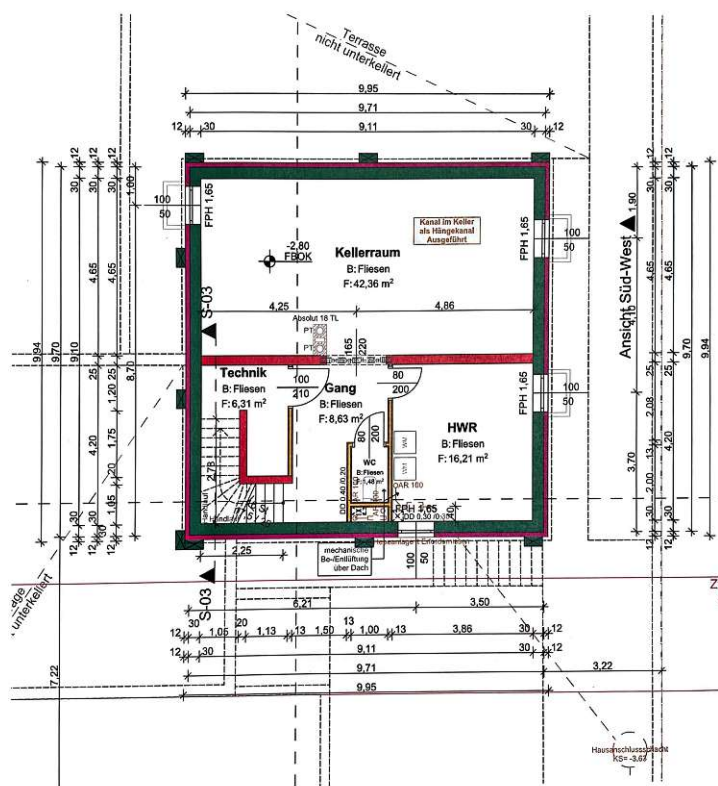


Abbildung 12: Plan Kellergeschoss (Hirschmugl, 2022)

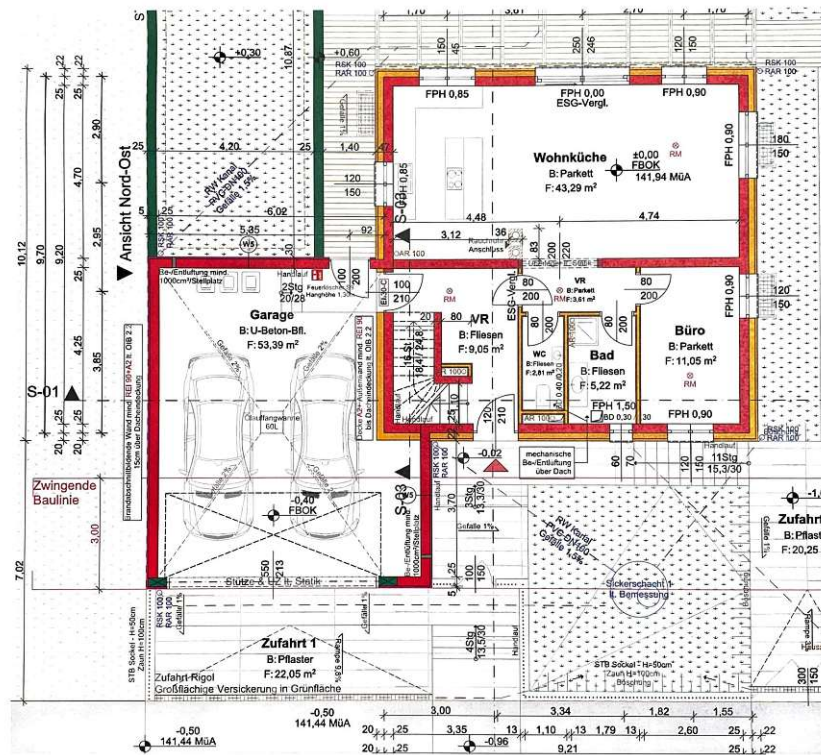


Abbildung 13: Plan Erdgeschoss (Hirschmugl, 2022)

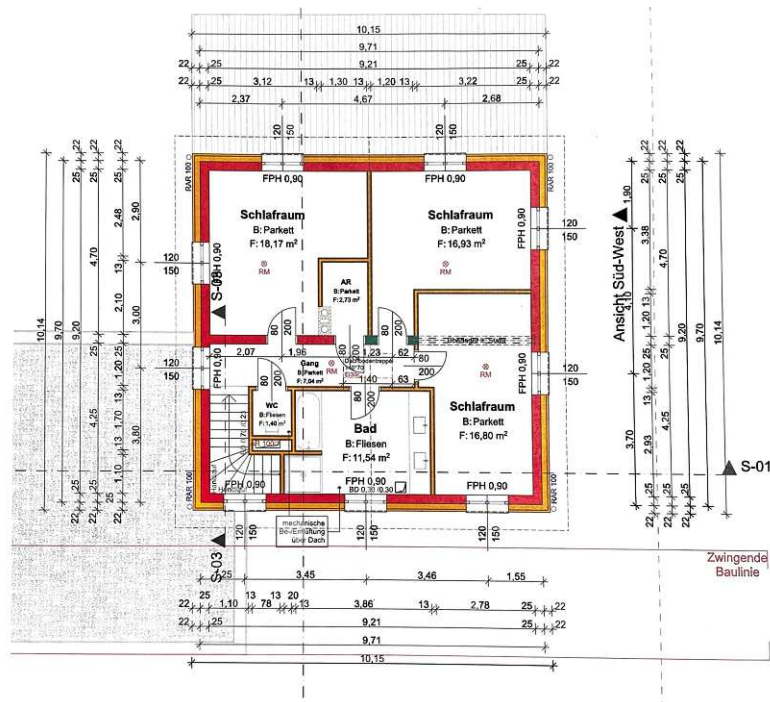


Abbildung 14: Plan Obergeschoss (Hirschmugl, 2022)

4.3 Fotodokumentation

In den nachfolgenden Bildern sind Aufnahmen des Bestandsobjekts des Best-Practice-Beispiels zu sehen. Zunächst wird das Haus in der Gartenansicht, sowie die Innenräume, der Dachboden, der Keller und die nicht tragende Innenwand dargestellt, um einen bildlichen Überblick zu verschaffen.



Abbildung 15: Neubau in Gols, Gartenansicht (eigene Aufnahme)



Abbildung 16: Neubau in Gols, Wohnzimmer (eigene Aufnahme)



Abbildung 17: Neubau in Gols, Küche (eigene Aufnahme)



Abbildung 18: Neubau in Gols, Dachboden mit Schafwolle (eigene Aufnahme)



Abbildung 19: Neubau in Gols, Keller (eigene Aufnahme)



Abbildung 20: Neubau in Gols, Wandaufbau Innenwand nicht tragend (eigene Aufnahme)

4.4 Wand- und Deckenaufbauten

Zunächst werden die tatsächlich verwendeten Wand- und Deckenaufbauten dargestellt. Die Wand- und Deckenaufbauten entsprechen genau den Aufbauten des bereits errichteten Hauses. Die Wand- und Deckenaufbauten werden von innen nach außen dargestellt.

Außenwand Wohngebäude:

- 1) 00,20 cm Lehmoberputz (Levita Oberputz OP1)
- 2) 01,50 cm Lehmunterputz (Levita Unterputz UP2)
- 3) 25,00 cm Ziegel (Porotherm 25-38 EFH, welcher mit einer mineralischen Dämmschüttung (Thermofill) gefüllt sind)
- 4) 16,00 cm Holzständerkonstruktion, welche mit Stopfhanf (HDWST-Stopfhanf) gefüllt ist
- 5) 06,00 cm Holzfaser-Dämmplatte (SCHNEIDER Holzfaserdämmung best wood Multitherm 180 D)
- 6) 00,80 cm Kalkmörtel (HAGA Bio-Einbettmörtel H305)
- 7) 00,30 cm Sumpfkalk Feinputz (HAGA Calkosit H540)

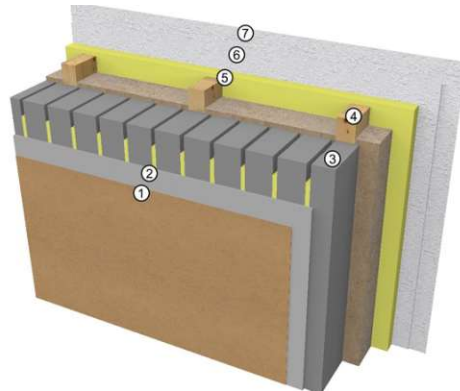


Abbildung 21: Wandaufbau Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenwand Kellergeschoss:

- 1) 30,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 2) 00,30 cm Bitumendickbeschichtung
- 3) 12,00 cm Polystyrol-Extruderschäumstoff (XPS 035)

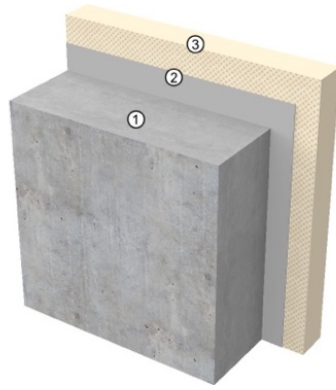


Abbildung 22: Wandaufbau Außenwand Kellergeschoss (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenwand Wohngebäude zu Garage:

- 1) 01,50 cm Lehmunterputz (Levita Unterputz UP2)
- 2) 00,20 cm Lehmoberputz (Levita Oberputz OP1)
- 3) 25,00 cm Ziegel (Porotherm 25-38 EFH, welche mit einer mineralischen Dämmschüttung (Thermofill) gefüllt sind)
- 4) 14,00 cm mineralische Dämmschüttung (Thermofill)
- 5) 01,00 cm Rabitzwand (stauss-Ziegelgewebe)
- 6) 02,00 cm Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)

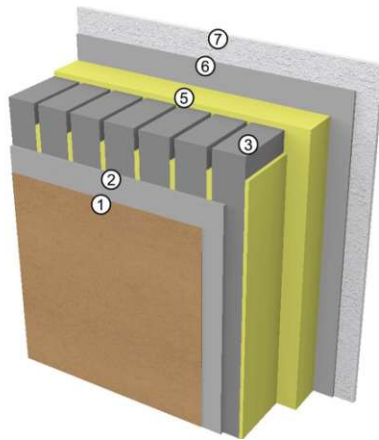


Abbildung 23: Wandaufbau Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenwand Garage:

- 1) 00,30 cm Sumpfkalk Feinputz (HAGA Calkosit H540)
- 2) 00,80 cm Kalkmörtel (HAGA Bio-Einbettmörtel H305)
- 3) 06,00 cm Holzfaser-Dämmplatte (SCHNEIDER Holzfaserdämmung best wood Multitherm 180 D)
- 4) 25,00 cm Ziegel (Porotherm 25-38 EFH)
- 5) 01,50 cm Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)

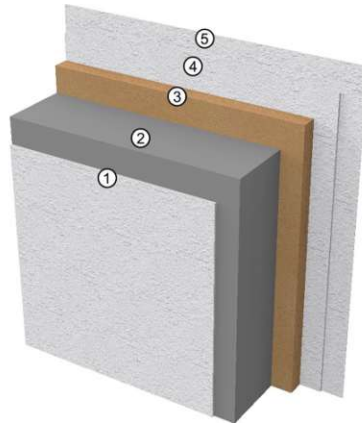


Abbildung 24: Wandaufbau Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Innenwand tragend:

- 1) 00,20 cm Lehmoberputz (Levita Oberputz OP1)
- 2) 01,50 cm Lehmunterputz (Levita Unterputz UP2)
- 3) 25,00 cm Ziegel (Porothersm 25-38 EFH)
- 4) 01,50 cm Lehmunterputz (Levita Unterputz UP2)
- 5) 00,20 cm Lehmoberputz (Levita Oberputz OP1)

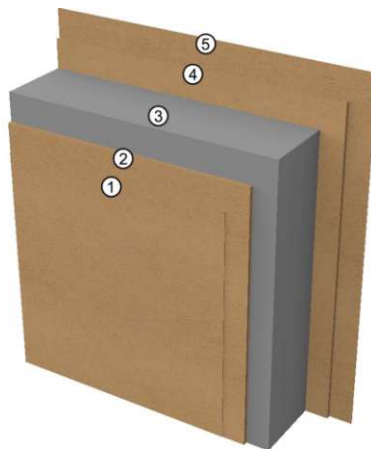


Abbildung 25: Wandaufbau Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Innenwand nicht tragend:

- 1) 00,20 cm Lehmoberputz (Levita Oberputz OP1)
- 2) 01,60 cm Lehmbauplatte (conluto Lehmleichtbauplatte)
- 3) 07,50 cm Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle (Isolena optimal) gefüllt ist
- 4) 01,60 cm Lehmbauplatte (conluto Lehmleichtbauplatte)
- 5) 00,20 cm Lehmoberputz (Levita Oberputz OP1)



Abbildung 26: Wandaufbau Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden Kellergeschoss:

- 1) 00,14 cm Parkett (Eiche)
- 2) 04,50 cm Formplatte (LITOTHERM Basalt Formplatte)
- 3) 02,00 cm Holzfaserplatte (steicobase)
- 4) 02,00 cm Holzfaserplatte (steicobase)
- 5) 05,50 cm Ausgleichsschüttung (cemwood CW2000 Schüttung)
- 6) 30,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 7) 10,00 cm Polystyrol-Extruderschaumstoff (XPS 035)

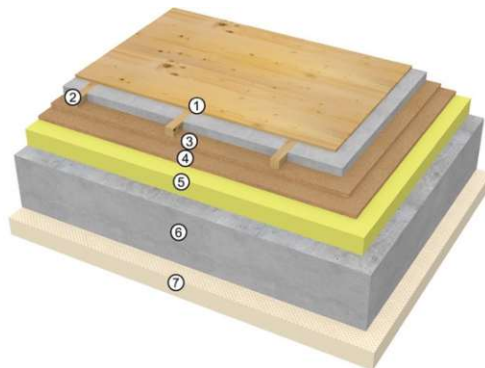


Abbildung 27: Fußbodenaufbau Kellergeschoss (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden EG + OG:

- 1) 02,50 cm Parkett (Eiche)
- 2) 04,50 cm Formplatte (Lithotherm Basalt Formplatte)
- 3) 02,00 cm Holzfaserplatte (steicobase)
- 4) 02,00 cm Holzfaserplatte (steicobase)
- 5) 09,00 cm Ausgleichsschüttung (cemwood CW2000 Schüttung)
- 6) 20,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 7) 01,50 cm Lehmputz (Levita Unterputz UP2)
- 8) 00,20 cm Lehmputz (Levita Oberputz OP1)

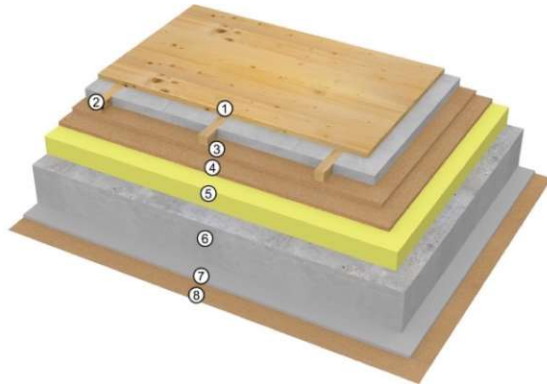


Abbildung 28: Fußbodenaufbau EG + OG (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden Garage:

- 1) 20,00 cm Unterbeton 1% armiert



Abbildung 29: Fußbodenaufbau Garage (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden Dachboden:

- 35,00 cm Schafwolle (Isolena optimal)
- 20,00cm Stahlbeton 2% armiert

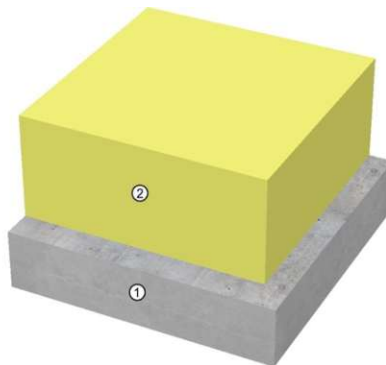


Abbildung 30: Fußbodenaufbau Dachboden (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

4.5 Wand- und Deckenaufbauten konventionell

Im Gegensatz zu den vorherigen Wand- und Deckenaufbauten, welche dem tatsächlich gebauten Haus entsprechen, wurden hier Annahmen für konventionelle Aufbauten getroffen. Somit wurde Beton, EPS, XPS, Glaswolle, Silikonharzputz, sowie Gips anstatt Ziegel, Lehm, Stroh, Kalk und Schafwolle angenommen. Die Wand- und Deckenaufbauten werden von innen nach außen dargestellt.

Außenwand Wohngebäude konventionell:

- 1) 01,50 cm Gipsmaschinenputz (KNAUF Gipsmaschinenputz MP 75)
- 2) 25,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 3) 20,00 cm expandiertes Polystyrol (EPS 035)
- 4) 00,30 cm Silikonharzputz
- 5) 00,50 cm Klebspachtel (Baumit Dickschicht-Klebspachtel)

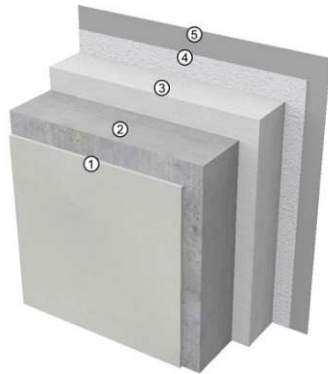


Abbildung 31: Wandaufbau Wohngebäude konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenwand Kellergeschoss konventionell:

- 1) 10,00 cm Polystyrol-Extruderschaumstoff (XPS 035)
- 2) 00,30 cm Bitumendickbeschichtung
- 3) 00,30 cm Bitumendickbeschichtung
- 4) 30,00 cm Stahlbeton 2% armiert

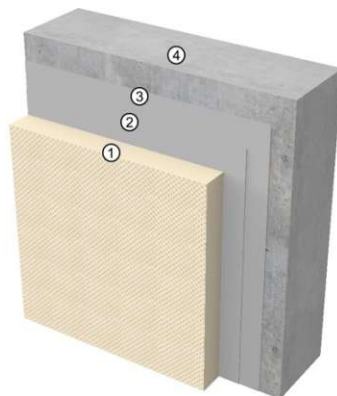


Abbildung 32: Wandaufbau Außenwand Keller konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenwand Wohngebäude zu Garage konventionell:

- 1) 01,50 cm Gipsmaschinenputz (KNAUF Gipsmaschinenputz MP 75)
- 2) 25,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 3) 14,00 cm expandiertes Polystyrol (EPS 035)
- 4) 00,30 cm Silikonharzputz
- 5) 00,50 cm Klebspachtel (Baumit Dickschicht-Klebspachtel)

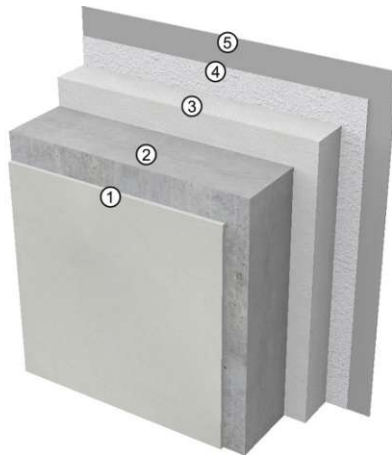


Abbildung 33: Außenwand Wohngebäude zu Garage konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenwand Garage konventionell:

- 1) 01,50 cm Gipsmaschinenputz (KNAUF Gipsmaschinenputz MP 75)
- 2) 25,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 3) 08,00 cm expandiertes Polystyrol (EPS 035)
- 4) 00,30 cm Silikonharzputz
- 5) 00,50 cm Klebspachtel (Baumit Dickschicht-Klebspachtel)

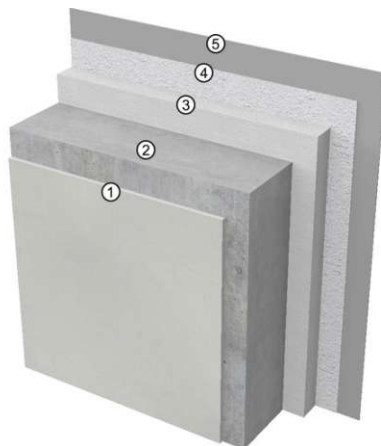


Abbildung 34: Wandaufbau Außenwand Garage konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Innenwand tragend konventionell:

- 1) 01,50 cm Gipsmaschinenputz (KNAUF Gipsmaschinenputz MP 75)
- 2) 25,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 3) 01,50 cm Gipsmaschinenputz (KNAUF Gipsmaschinenputz MP 75)



Abbildung 35: Wandaufbau Innenwand tragend konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Innenwand nicht tragend konventionell:

- 1) 01,25 cm Gipskartonplatte
- 2) 07,50 cm Metallständerkonstruktion (CW-Profil), welche mit Glaswolle (WLG 032) gefüllt ist
- 3) 01,25 cm Gipskartonplatte

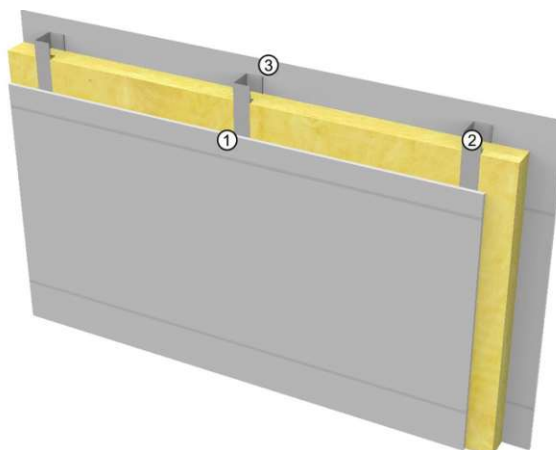


Abbildung 36: Wandaufbau Innenwand nicht tragend konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden Kellergeschoss konventionell:

- 1) 01,00 cm Fliesen
- 1) 07,00 cm Zementestrich (RÖFIX 970)
- 2) 00,02 cm Dampfbremse (PAE-Folie)
- 3) 10,00 cm Polystyrol-Extruderschaumstoff (XPS 035)
- 4) 00,30 cm Bitumendickbeschichtung
- 5) 00,30 cm Bitumendickbeschichtung
- 6) 30,00 cm Stahlbeton 1% armiert
- 7) 10,00 cm Polystyrol-Extruderschaumstoff (XPS 035)

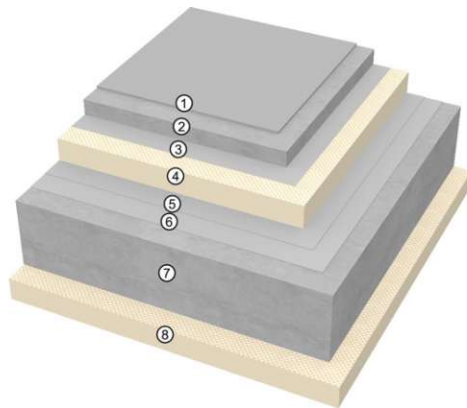


Abbildung 37: Fußbodenaufbau Kellergeschoss konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden EG + OG konventionell:

- 2) 02,50 cm Parkett (Eiche)
- 3) 07,00 cm Zementestrich (RÖFIX 970)
- 4) 00,02 cm Dampfbremse (PAE-Folie)
- 5) 03,00 cm Steinwolle-Dämmplatte (Rockwool Floorrock TE)
- 6) 20,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 7) 01,50 cm Gipsmaschinenputz (KNAUF Gipsmaschinenputz MP 75)

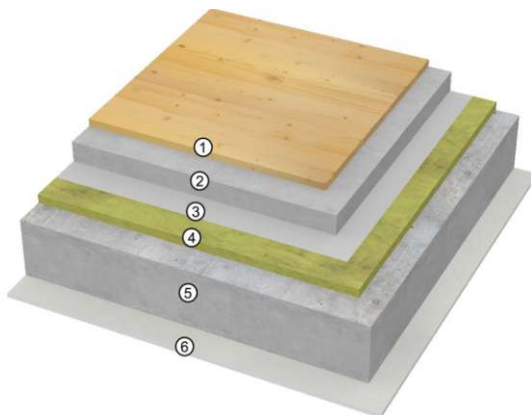


Abbildung 38: Fußbodenaufbau EG +OG konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden Garage konventionell:

20,00 cm Beton 1% armiert

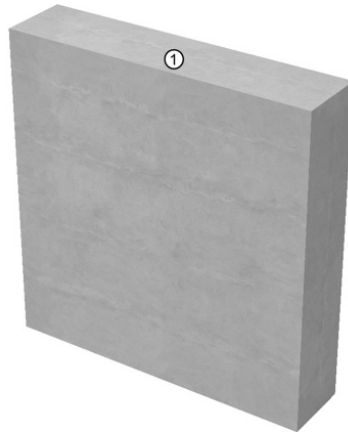


Abbildung 39: Fußbodenaufbau Garage konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden Dachboden konventionell:

- 1) 20,00 cm Stahlbeton 2% armiert
- 2) 18,80 cm PU-Hartschaum Dachbodenelement (Linitherm PHW Dachbodenelemente)

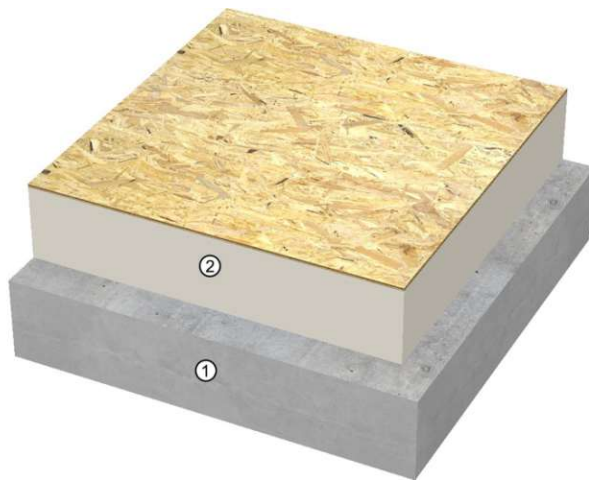


Abbildung 40: Fußbodenaufbau Dachboden konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

5 Best-Practice-Beispiel 2

Im folgenden Kapitel werden zunächst das Bestandsobjekt des zweiten Best-Practice Beispiels und dessen Wand- und Deckenaufbauten genauer vorgestellt. Des Weiteren werden ebenfalls konventionelle Wand- und Deckenaufbauten gegenübergestellt. Dieses Best-Practice-Beispiel stellt ein Musterbeispiel einer Sanierung mit Naturbaustoffen dar.

5.1 Befund

Bei diesem Best-Practice-Beispiel handelt es sich um ein revitalisiertes Bauernhaus in Niederösterreich, Hollern, 2471. Das Bestandshaus, welches um die Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert erbaut wurde, besteht aus einem Steinmauerwerk ohne Fundament. Die Außenmauer bestehen aus einem Mischmauerwerk aus Ziegeln und verschiedensten Steinen, welche eine Dicke von 35-40 cm aufweisen. Die Innenwände hingegen sind reine Ziegelwände mit einer Stärke von 20cm.



Abbildung 41: Revitalisiertes Bauernhaus in Hollern, Straßenansicht (eigene Aufnahme)

Der komplette Umbau wurde so umweltschonend und ökologisch wie möglich durchgeführt. Soweit es möglich war, wurden nur Naturbaustoffe in Form von Kalk, Lehm, Stroh, Wolle und Holz in den Wand- und Deckenaufbauten verwendet.

Die Firma Hirschmugl hat die gesamten Umbauarbeiten durchgeführt. Bevor das alte Bauernhaus umgebaut wurde, gab es große Feuchtigkeitsprobleme. Das dargestellte Feuchtigkeitsproblem äußert sich, indem die Feuchtigkeit des Erdreichs über das Steinmauerwerk aufsteigt und somit die restliche Bausubstanz schädigt. Diesen Problemen hat man mit Naturbaustoffen und einer diffusionsoffenen Bauweise und elektronischen Heizmatten, welche im Sockelbereich eingespachtelt wurden, entgegengewirkt.

5.2 Plan

Das Bestandsobjekt in Hollern, 2471 hat folgenden Grundriss:

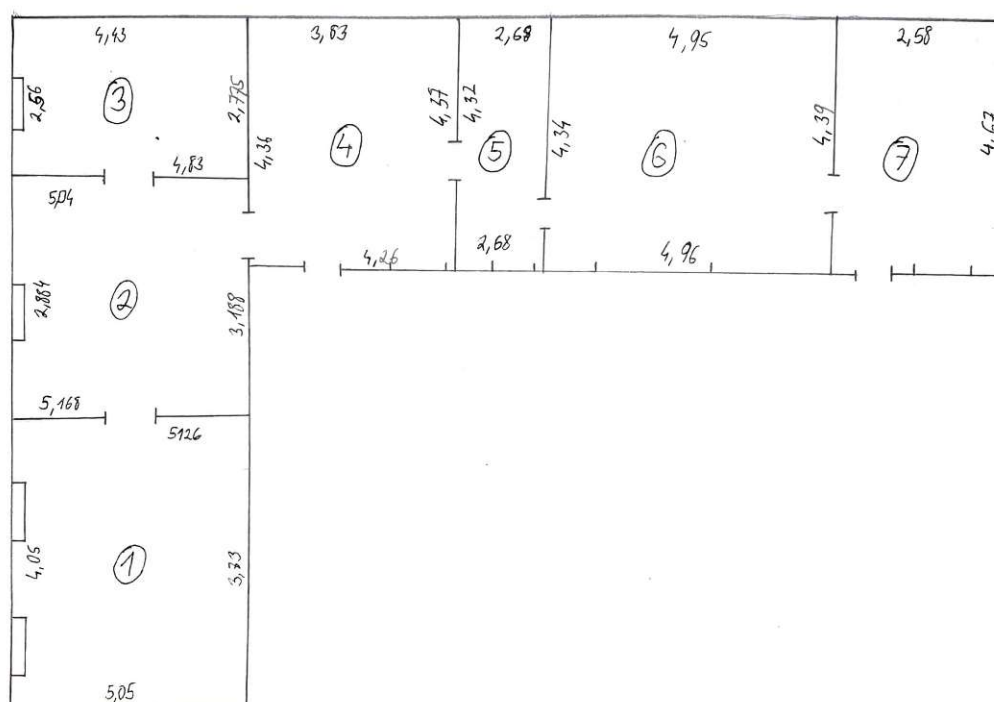


Abbildung 42: Plan Bauernhaus Höllern (eigene Darstellung)

Raumaufteilung:

- 1: Schlafzimmer
- 2: Küche
- 3: Kinderzimmer
- 4: Esszimmer
- 5: Badezimmer
- 6: Wohnzimmer
- 7: Kinderzimmer

5.3 Fotodokumentation:

Die folgenden Darstellungen zeigen das revitalisierte Bauernhaus in der Gartenansicht, sowie den Aufbau der Innenwand.



Abbildung 43: Revitalisiertes Bauernhaus in Hollern, Gartenansicht (eigene Aufnahme)

5.4 Wand- und Deckenaufbauten

Zunächst werden die tatsächlich verwendeten Wand- und Deckenaufbauten genau dargestellt. Die Wand- und Deckenaufbauten entsprechen genau den Aufbauten der bereits durchgeführten Sanierung. Die Wand- und Deckenaufbauten werden von innen nach außen dargestellt.

Außenmauer feucht:

- 1) 00,40 cm Lehmoberputz (Levita Lehmoberputz OP1)
- 2) 05,00 cm mineralischer Dämm- und Entfeuchtungputz (HAGA Biotherm H415/416) welcher mit Elektroheizmatten versehen ist
- 3) 00,50 cm Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)
- 4) 35,00 cm Mischmauerwerk (Stein und Ziegel)
- 5) 01,00 cm Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)

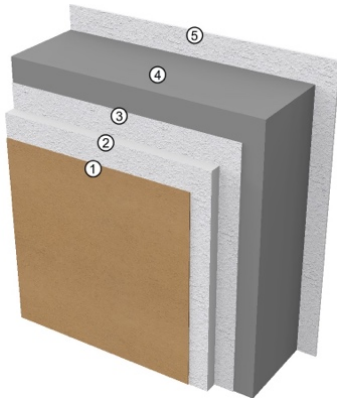


Abbildung 44: Wandaufbau Außenwand feucht (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Außenmauer trocken:

- 1) 00,40 cm Lehmoberputz (Levita Lehmoberputz OP1)
- 2) 02,20 cm Kalk-Stroh-Putzträgerplatte (maxit strohpanel Putzträger-Platte)
- 3) 05,00 cm Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle (Isolena optimal) gefüllt ist
- 4) 01,00 cm Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)
- 5) 35,00 cm Mischmauerwerk (Stein und Ziegel)
- 6) 01,00 cm Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)

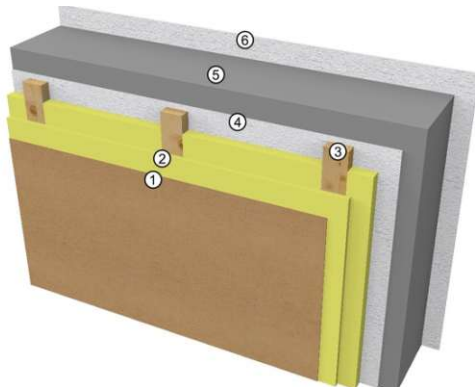


Abbildung 45: Wandaufbau Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Innenwand nicht tragend:

- 1) 00,80 cm Lehmoberputz (Levita Lehmoberputz OP)
- 2) 02,20 cm Strohpanel Kalk-Stroh-Putzträgerplatte (maxit strohpanel Putzträger-Platte)
- 3) 07,50 cm Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle (Isolena optimal) gefüllt ist
- 4) 02,20 cm Kalk-Stroh-Putzträgerplatte (maxit strohpanel Putzträger-Platte)
- 5) 00,80 cm Lehmoberputz (Levita Lehmoberputz OP1)

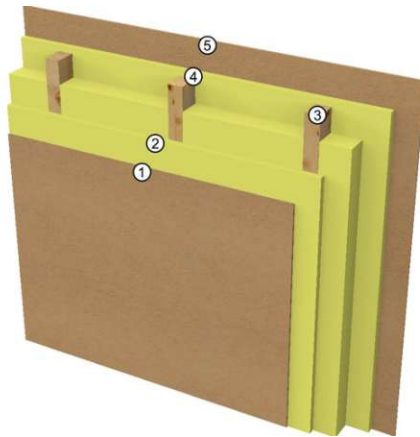


Abbildung 46: Wandaufbau Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Decke:

- 1) 00,40 cm Lehmoberputz (Levita Lehmoberputz OP1)
- 2) 02,20 cm Kalk-Stroh-Putzträgerplatte (maxit strohpanel Putzträger-Platte)
- 3) 07,50 cm Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle (Isolena optimal) gefüllt ist
- 4) 22,00 cm Tramdecke
- 5) 14,00 cm Schafwolle (Isolena optimal)

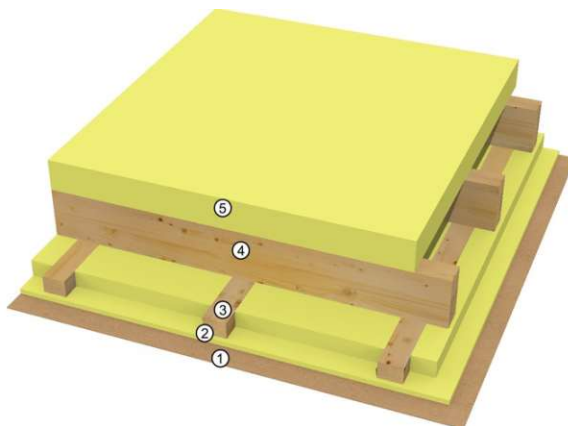


Abbildung 47: Deckenaufbau (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden:

- 1) 02,00 cm Parkett (Lärche)
- 2) 05,00 cm Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle (Isolena optimal) gefüllt ist
- 3) 15,00 cm Beton

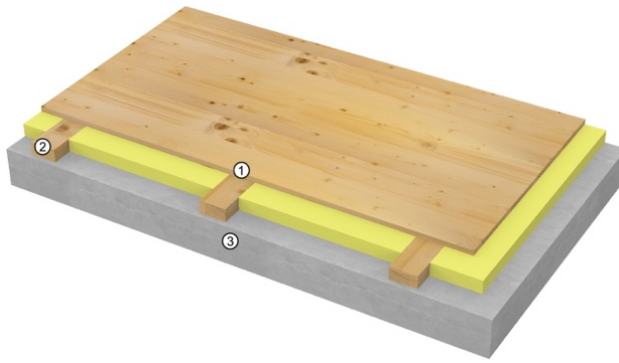


Abbildung 48: Bodenaufbau (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

5.5 Wand- und Deckenaufbauten konventionell

Im Gegensatz zu den vorherigen Wand- und Deckenaufbauten, welche dem tatsächlich gebauten Haus entsprechen, wurden hier Annahmen für konventionelle Aufbauten getroffen. Somit wurde vermehrt Zement, XPS und Gips anstatt Lehm, Stroh, Kalk und Wolle verwendet. Die Wand- und Deckenaufbauten werden von innen nach außen dargestellt.

Außenmauer feucht konventionell:

- 1) 01,00cm Kalkzementputz fein
- 2) 03,00cm Kalkzementputz grob
- 3) 05,00 cm Kalk-Dämmputz (HASIT 840 CalceClima®)
- 4) 35,00 cm Mischmauerwerk (Stein und Ziegel)
- 5) 01,50 cm Kalkzementputz grob
- 6) 00,30 cm Kalkzementputz fein

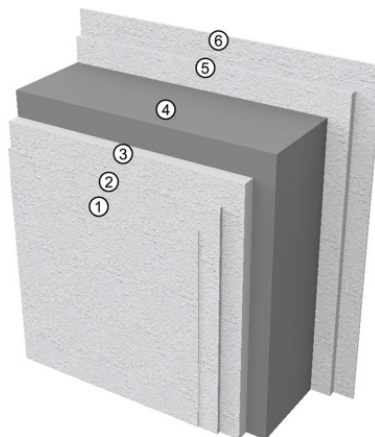


Abbildung 49: Wandaufbau Außenwand feucht konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Das Mischmauerwerk wird nachträglich unterhalb der Fußbodenoberkante im Innenbereich mittels Kunstharzinjektionen trockengelegt.

Außenwand trocken konventionell:

- 1) 01,25 cm Gipskartonplatte
- 2) 00,02 cm Dampfbremse (PAE-Folie)
- 3) 03,00 cm Metallständerkonstruktion (CW-Profil), welcher mit Mineralwolle gefüllt ist
- 4) 35,00 cm Mischmauerwerk (Stein und Ziegel)
- 5) 03,00cm Kalkzementputz grob
- 6) 01,00cm Kalkzementputz fein

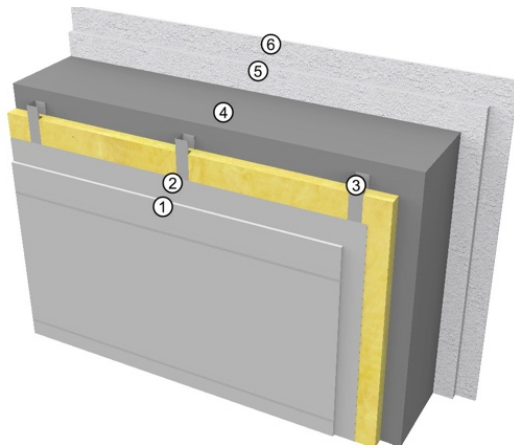


Abbildung 50: Wandaufbau Außenwand trocken konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Innenwand nicht tragend konventionell:

- 1) 01,25 cm Gipskartonplatte
- 2) 07,50 cm Metallständerkonstruktion (CW-Profil), welche mit Glaswolle (WLG 032) gefüllt ist
- 3) 01,25 cm Gipskartonplatte

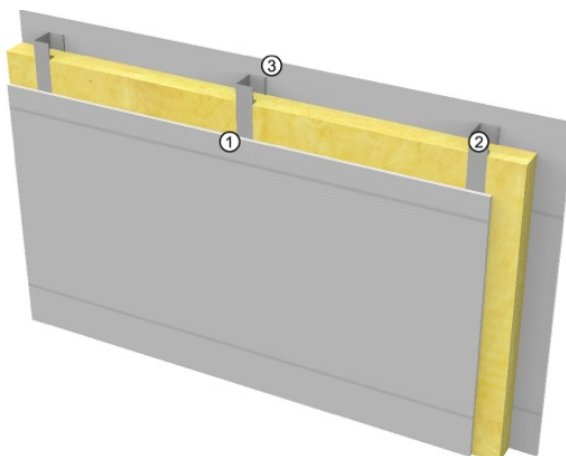


Abbildung 51: Wandaufbau Innenwand nicht tragend konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Decke konventionell:

- 1) 12,50 cm Abgehängte Gipskartondecke mit einer Lage Gipskartonplatte
- 2) 07,50 cm Metallständerkonstruktion CW-Profil), welche mit Mineralwolle (WLG 032) gefüllt ist
- 3) 22,00 cm Tramdecke
- 4) 14,00 cm Dachboden Dämmplatte aus Steinwolle (Knauf Insulation Dachboden Dämmplatte TPD-L)

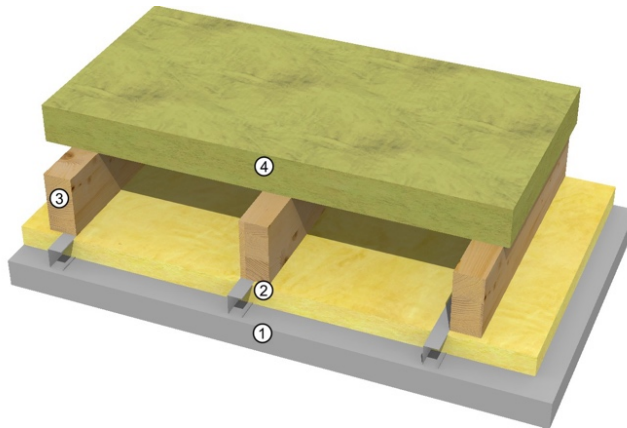


Abbildung 52: Fußbodenaufbau Dachboden konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Fußboden konventionell:

- 1) 02,00 cm Parkett (Lärche)
- 8) 05,00 cm Zementestrich (RÖFIX 970)
- 2) 00,02 cm Dampfbremse (PAE-Folie)
- 3) 05,00 cm Polystyrol-Extruderschäumstoff (XPS 035)
- 4) 15,00 cm Beton

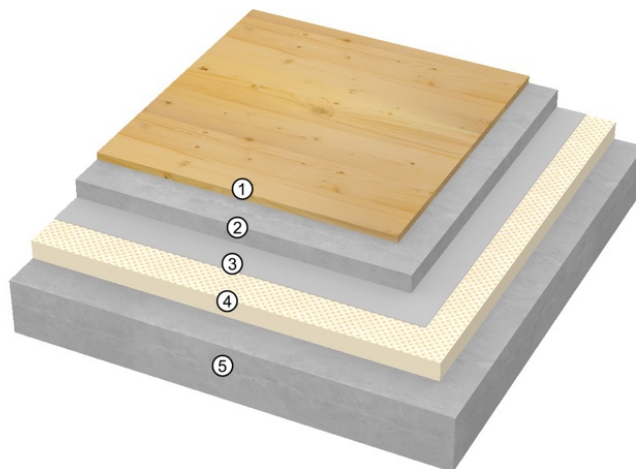


Abbildung 53: Fußbodenaufbau konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)

Zusätzliche Informationen:

Die Decken sind abgehängt. Als Hauptheizmedium wird ein zentraler Kamin genutzt und optional wird mit einer elektrischen Fußbodenheizung zugeheizt. In den gesamten Staffelnkonstruktionen befindet sich Schafwolle, welches als Dämmmaterial und feuchtigkeitsregulierendes Material fungiert. Die elektronische Fußbodenheizung wurde nur gewählt, da in naher Zukunft eine gesamte Photovoltaik-Anlage zugebaut wird und diese das gesamte Haus mit grüner Energie speist.

6 Vergleich traditioneller und ökologischer Wand- und Deckenaufbauten

Anhand dieser physikalischen Kenngrößen und Umweltindikatoren werden die unterschiedlichen Wand- und Deckenaufbauten miteinander verglichen:

- Bauteildicke [cm]
- Gewicht [kg/m²]
- U-Wert [W/(m²K)]
- Wärmedurchgangswiderstand [m²K/W]
- Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m²K]
- Wärmeverlust [kWh/m² pro Heizperiode]
- Überdüngungspotential [kg Phosphat Äqv./kg]
- Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]
- Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]
- Ökoindex OI3 Umweltindikatoren
 - o Primärenergieinhalt [kWh/m²]
 - o Treibhauspotenzial [kg CO₂ Äqv./m²]
 - o Versauerungspotenzial [kg SO₂ Äqv./m²]
- sd-Wert [m]

Nun werden noch die oben genannten Kennwerte und Umweltindikatoren genauer im Detail beschrieben:

Bauteildicke: Die Bauteildicke wird in diesem Vergleich in cm angegeben. Die Dicke allein sagt nicht besonders viel über ein Bauteil aus, aber in Bezug auf den U-Wert eines Bauteils bei einer bestimmten Dicke kann man Schlüsse über die thermodynamischen Eigenschaften der Aufbauten ziehen. Im urbanen Raum werden dennoch Bauteile mit einer geringen Dicke bevorzugt, da diese platzsparender sind und somit meist wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen.

Gewicht: Das Gewicht wird in Kilogramm pro Quadratmeter angegeben. Unterschiedliche Gewichte haben unterschiedliche Vor- und Nachteile. Ein niedriges Gewicht ist in Sachen Transport, Installation und Abbruch im Vorteil, andererseits haben Bauteile mit einer hohen Masse herausragende Schalldämmeigenschaften.

U-Wert: Der Wärmedurchgangskoeffizient oder auch U-Wert genannt, stellt den Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes dar. Je größer der U-Wert eines Wand- oder Deckenaufbaus ist, desto schlechter sind die wärmedämmenden Eigenschaften.

$$U = \frac{1}{Rt}$$

U = Wärmedurchgangskoeffizient in W/(m²K)]

Rt = Wärmedurchgangswiderstand in m²K/W (Willems et al., 2019)

Wärmedurchgangswiderstand: Der Wärmedurchgangswiderstand stellt jenen Widerstand dar, dem alle Wärmedurchlasswiderstände der Bauteile und deren oberflächennahen Luftschichten dem Wärmedurchgang entgegenwirken. Bauteile mit einem größeren Wärmedurchgangswiderstand besitzen bessere Wärmedämmeigenschaften.

$$Rt = R_{si} + R + R_{se}$$

Rt = Wärmedurchgangswiderstand in m²K/W

R_{si} = Wärmeübergangswiderstand innen in (m²·K)/W

R = Wärmedurchlasswiderstand Bauteil in (m²·K)/W

R_{se} = Wärmeübergangswiderstand außen in (m²·K)/W

(Willems et al., 2019)

Wärmespeicherfähigkeit: Die Wärmespeicherfähigkeit gibt an, welche Energiemenge aufzuwenden ist, um die Bauteiltemperatur um 1 Grad Kelvin zu steigern. Eine gute Wärmespeicherfähigkeit eignet sich hervorragend für den sommerlichen Hitzeschutz. (Ubakus, o. D.)

Wärmeverlust: Der Wärmeverlust, gemessen in kWh/m² pro Heizperiode, gibt an welche Wärmemenge während einer gewissen Zeitperiode durch einen Quadratmeter eines Bauteils entweicht. Je geringer der Wärmeverlust, desto weniger Energie geht im Prozess des Heizens verloren. Viele dieser Werte wirken sich auf die ökologische Bilanz eines Bauteils aus. (Ubakus, o. D.)

Überdüngungspotential: Die Überdüngung oder auch Eutrophierung genannt, stellt den Wandel von nährstoffarmen zu nährstoffreichen Böden oder Gewässern dar. Phosphor – und Stickstoffverbindungen bieten für Gewässer Nährboden und führen zu einer vermehrten Algenbildung und ultimativ zum Sterben von Fischen. (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011)

Sommersmog: Das Ozonbildungspotenzial (POCP) wird auch als Sommersmog bezeichnet und stellt ein massebezogenes Äquivalent toxischer Spurengase, welche in Reaktion mit Sonnenlicht zum Entstehen von bodennahem Ozon führen, dar. Dieser dadurch entstandene Sommersmog ist gesundheitsschädlich für Mensch, Pflanzen und Tiere. (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2013)

Ozonabbauendes Potential: Zur Feststellung des Ozonschichtabbaupotenzials (ODP) werden Trichlorfluormethan-Äquivalente (R11-Äqu.) über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes herangezogen. R11-Äquivalente zerstören die Ozonschicht und können zu Tumorbildungen bei Menschen und Störungen der Photosynthese bei Pflanzen führen. (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, 2011)

sd-Wert: Der sd-Wert oder auch wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke genannt, besitzt die Einheit Meter und stellt den Widerstand, welcher eine Bauteilschicht dem Wasserdampf entgegenwirkt, dar.

$$S_d = d \cdot \mu$$

S_d = wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke

d = Bauteildicke

μ = Wasserdampfdiffusionswiderstand

(Baunetzwissen, o. D.)

Ökoindex3 - OI3

Der Ökoindex OI3 beurteilt Baustoffe, Konstruktionen und gesamte Gebäude nach ihrer ökologischen Qualität mit Hilfe von dem Treibhauspotenzial, dem Versauerungspotenzial und dem Primärenergieinhalt. (Baubook, o. D.)

Die Darstellung der Ergebnisse dieser Arbeit konzentriert sich auf die drei folgenden Umweltindikatoren:

Treibhauspotenzial bzw. Beitrag zur globalen Erwärmung (GWP):

Als Treibhauspotenzial (Global Warming Potential) werden die Auswirkungen von Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Fluorkohlenwasserstoffe (HFKWs) auf die globale Erwärmung bezeichnet. Die Baustoffe werden immer relativ zu Kohlenstoffdioxid in kg CO₂ – Äquivalenten angegeben. Die Treibhauspotenziale werden für einen 100-jährigen Zeitraum angegeben. (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.)

Das Treibhauspotenzial, gemessen in kg CO₂ Äqv./m², gibt die freigesetzten Treibhausgase der Baustoffe von der Produktion bis zur Verwendung an, dies spiegelt das Cradle to Gate Konzept wider. (Ubakus, o. D.)

Versauerungspotenzial (AP):

Durch eine Reaktion zwischen Stickoxid- (NO_x), Schwefeldioxidgasen (SO_2) und anderen Elementen der Luft wird die Versauerung von Boden und Gewässern herbeigeführt. Unter Versauerung versteht man die Abnahme des pH-Werts von Boden und Gewässern. Das Versauerungspotenzial (Acid Potential) wird in kg-SO_2 -Äquivalenten angegeben. (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.)

Primärenergieinhalt an nicht-erneuerbaren Ressourcen (PEI):

Als Primärenergieinhalt oder auch Graue Energie genannt, wird jener Gesamtenergiebedarf, welcher zur Herstellung eines Produktes benötigt wird, bezeichnet. Unter nicht erneuerbarer Energie wird jene Energie, welche durch die Verwendung von fossilen Brennstoffen oder Atomkraftwerken entsteht, verstanden.

Dieser wird in erneuerbarer (PEI ern) und nicht erneuerbarer (PEI n.e.) Energie unterschieden und in Mj angegeben. (Baubook, o. D.)

Primärenergieinhalte, welche in kWh/m^2 gemessen werden, beinhalten jene Graue Energie, die von der Produktion bis zur Verwendung der Baustoffe entsteht. Das Cradle to Gate Konzept wurde bereits im Kapitel 2.2 genauer erläutert. (Ubakus, o. D.)

7 Darstellung der Ergebnisse

Nun werden die Ergebnisse der unterschiedlichen Wand- und Deckenaufbauten in Form von Excel Tabellen dargestellt. Des Weiteren werden die Aufbauten zur Veranschaulichung ebenfalls grafisch gegenübergestellt. Das Hauptaugenmerk dieser Gegenüberstellung liegt auf den U-Wert und den OI3 Richtlinien, welche das Treibhauspotenzial, den Primärenergieinhalt und das Versauerungspotenzial beinhaltet.

7.1 Excel Tabellen Neubau

Die Werte der folgenden Excel Tabellen wurden mit Hilfe des Onlinetools UBAKUS berechnet. Die Tabellen beinhalten alle im Kapitel 6 angeführten physikalischen Kenngrößen und Umweltindikatoren und geben die Ergebnisse der jeweiligen Aufbauten wieder.

Neubau ökologisch:

Neubau ökologisch Wandaufbauten	Außenwand Wohngebäude	Außenwand Keller	Außenwand Wohngebäude zu Garage	Außenwand Garage	Innenwand tragend	Innenwand nicht tragend
Bauteildicke [cm]	49,8	42,3	43,7	33,1	28,4	11,1
Gewicht [kg/m ²]	278,4	727,4	285,7	221,2	252,8	57,2
U-Wert [W/(m ² K)]	0,094	0,268	0,102	0,37	0,796	0,522
Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]	10,64	3,736	9,759	2,704	1,256	1,917
Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m ² K]	112	643	94	41	59	64
Wärmeverlust [kWh/m ² pro Heizperiode]	7	20	8	0	60	39
Primärenergieinhalt [kWh/m ²]	279	329	192	149	145	41
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ Äqv./m ²]	23	102	51	29	40	-1,1
Versauerungspotenzial [kg SO ₂ Äqv./m ²]	0,18	0,18	0,13	0,12	0,11	0,031
Überdüngungspotenzial [kg Phosphat Äqv./kg]	0,057	0,027	0,038	0,035	0,036	0,0096
Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]	0,01	0,026	0,0067	0,0018	0,0017	0,002
Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]	0,0000024	0,00000016	0,0000037	4,9E-09	0,0000006	0,00000017
sd-Wert [m]	2,16	198	2	1,62	1,43	0,36

Tabelle 1: Neubau Wandaufbauten ökologisch (eigene Darstellung mittels Excel)

Neubau ökologisch Deckenaufbauten	Fußboden Keller	Fußboden EG + OG	Fußboden Garage	Fußboden Dachboden
Bauteildicke [cm]	58,9	41,7	20	55
Gewicht [kg/m ²]	827,7	623,2	460	486,3
U-Wert [W/(m ² K)]	0,207	0,474	3,877	0,119
Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]	4,83	2,108	0,258	8,42
Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m ² K]	806	633	405	433
Wärmeverlust [kWh/m ² pro Heizperiode]	16	36	254	9
Primärenergieinhalt [kWh/m ²]	347	212	88	167
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ Äqv./m ²]	64	16	47	63
Versauerungspotenzial [kg SO ₂ Äqv./m ²]	0,22	0,16	0,075	0,13
Überdüngungspotenzial [kg Phosphat Äqv./kg]	0,035	0,03	0,013	0,029
Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]	0,029	0,02	0,0083	0,018
Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]	0,00000091	0,00000038	9,9E-09	0,00000084
sd-Wert [m]	45,65	28,3	26	16,35

Tabelle 2: Neubau Deckenaufbauten ökologisch (eigene Darstellung mittels Excel)

Neubau konventionell:

Neubau konventionell Wandaufbauten	Außenwand Wohngebäude	Außenwand Keller	Außenwand Wohngebäude zu Garage	Außenwand Garage	Innenwand tragend	Innenwand nicht tragend
Bauteildicke [cm]	47,3	40,6	41,3	35,3	28	10
Gewicht [kg/m ²]	633,9	729,8	632,1	630,3	633	20,6
U-Wert [W/(m ² K)]	0,166	0,314	0,231	0,383	2,882	0,581
Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]	6,037	3,182	4,323	2,608	0,347	1,722
Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m ² K]	566	645	564	561	564	18,8
Wärmeverlust [kWh/m ² pro Heizperiode]	12	24	17	30	217	45
Primärenergieinhalt [kWh/m ²]	344	346	305	265	176	43
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ Äqv./m ²]	99	104	95	90	76	12
Versauerungspotenzial [kg SO ₂ Äqv./m ²]	0,22	0,18	0,21	0,2	0,13	0,036
Überdüngungspotenzial [kg Phosphat Äqv./kg]	0,029	0,027	0,028	0,027	0,016	0,0051
Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]	0,14	0,026	0,1	0,067	0,02	0,0032
Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]	0,00000022	0,00000017	0,0000002	0,00000017	0,00000013	0,00000001
sd-Wert [m]	40,38	344	34,38	28,38	32,74	0,27

Tabelle 3: Neubau Wandaufbauten konventionell (eigene Darstellung mittels Excel)

Neubau konventionell Deckenaufbauten	Fußboden Keller	Fußboden EG + OG	Fußboden Garage	Fußboden Dachboden
Bauteildicke [cm]	33,65	34,02	20	38,8
Gewicht [kg/m ²]	515,6	665	460	490,7
U-Wert [W/(m ² K)]	0,317	0,731	3,877	0,122
Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]	3,159	1,369	0,258	8,168
Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m ² K]	476	620	405	441
Wärmeverlust [kWh/m ² pro Heizperiode]	24	57	262	10
Primärenergieinhalt [kWh/m ²]	236	210	88	266
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ Äqv./m ²]	63	61	47	72
Versauerungspotenzial [kg SO ₂ Äqv./m ²]	0,11	0,18	0,075	0,17
Überdüngungspotenzial [kg Phosphat Äqv./kg]	0,016	0,051	0,013	0,024
Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]	0,015	0,023	0,0083	0,15
Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]	0,000000048	0,000000072	9,9E-09	0,000028
sd-Wert [m]	329,56	28,48	26	818,4

Tabelle 4: Neubau Deckenaufbauten konventionell (eigene Darstellung mittels Excel)

7.2 Grafische Darstellung der Ergebnisse Neubau

Um die Gegenüberstellung der verschiedenen Wand- und Deckenaufbauten möglichst anschaulich zu gestalten, werden die Ergebnisse grafisch dargestellt. Da einige Wand- und Deckenaufbauten in der ökologischen Bauweise wegen des Fundaments und wirtschaftlichen Überlegungen nicht nur mit Naturbaustoffen, sondern mit konventionellen EPS, XPS und Stahlbeton versehen sind, werden nur ausgewählte Aufbauten miteinander verglichen. Jeden einzelnen Wand- und Deckenaufbau in Bezug auf alle Umweltindikatoren und physikalische Kenngrößen zu vergleichen, würde ebenfalls den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Das Hauptaugenmerk liegt daher auf dem U-Wert und der OI3-Richtlinie, welche das Treibhauspotenzial, den Primärenergieinhalt und das Versauerungspotenzial beinhaltet.

Folgende Aufbauten werden miteinander verglichen:

- Außenwand Wohngebäude
- Außenwand Wohngebäude zu Garage
- Außenwand Garage
- Innenwand tragend
- Innenwand nicht tragend
- Fußboden EG + OG
- Fußboden Dachboden

Die Daten der folgenden Tabellen stammen von Herstellerangaben der jeweiligen Baumaterialien, Datenbanken wie Baubook.at, Ubakus.de, Dataholz.eu, Oekobaudat.de und Naturebuilt.at.

Außenwand Wohngebäude:

Die folgenden Tabellen bieten einen Überblick der OI3-Indikatoren der unterschiedlichen Wand- und Deckenaufbauten. Die Tabellen geben einen Überblick, welche der Materialien bzw. Schichten hohe oder niedrige Werte in Bezug auf den Primärenergieinhalt, das Treibhauspotenzial und das Versauerungspotenzial pro Quadratmeter haben. Die jeweiligen Werte sind von der Bauteildicke und deren Masse pro Quadratmeter abhängig.

Tabelle Außenwand Wohngebäude ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
2	1,5 cm	Lehmunterputz (Levita UP2)	27,8 kg/m ²	10,9532 kWh/m ²	2,43528 kg/m ²	0,007645 kg/m ²
3	25 cm	Ziegel (Porotherm 25- 38 EFH)	190,0 kg/m ²	121,41 kWh/m ²	34,58 kg/m ²	0,09766 kg/m ²
	25 cm	Mineralische Dämmschüttung (Thermofill) (86%)	18,1 kg/m ²	32,399 kWh/m ²	5,3757 kg/m ²	0,0147696 kg/m ²
4	16 cm	Hanf- Dämmwolle	7,1 kg/m ²	77,39 kWh/m ²	3,57911 kg/m ²	0,024211 kg/m ²
	16 cm	Holzständer aus Fichte (12%)	8,5 kg/m ²	3,536 kWh/m ²	-12,9625 kg/m ²	0,0064345 kg/m ²
5	6 cm	Holzfasер- Dämmplatte (best wood Multitherm 180 D)	10,8 kg/m ²	29,484 kWh/m ²	-12,312 kg/m ²	0,03024 kg/m ²
6	0,8 cm	Kalkmörtel (HAGA Bio- Einbettmörtel H305)	8,0 kg/m ²	1,016 kWh/m ²	0,8728 kg/m ²	0,001464 kg/m ²
7	0,3 cm	Sumpfkalk Feinputz (HAGA Calkosit H540)	4,5 kg/m ²	1,2465 kWh/m ²	0,9495 kg/m ²	0,000603 kg/m ²
Σ	49,8 cm		278,4 kg/m²	278,5003 kWh/m²	23,01793 kg/m²	0,1837687 kg/m²

Tabelle Außenwand Wohngebäude konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,5 cm	Gipsmaschinenputz (Knauf MP 75)	16,5 kg/m ²	9,1905 kWh/m ²	2,20605 kg/m ²	0,0023925 kg/m ²
2	25 cm	Beton armiert (2%)	600,0 kg/m ²	157,8 kWh/m ²	72 kg/m ²	0,1224 kg/m ²
3	20 cm	expandiertes Polystyrol (EPS 035)	6,0 kg/m ²	132,6 kWh/m ²	15,726 kg/m ²	0,03594 kg/m ²
4	0,3 cm	Silikonharzputz	5,4 kg/m ²	37,8 kWh/m ²	7,506 kg/m ²	0,05508 kg/m ²
5	0,5 cm	Klebespachtel (Baumit Dickschicht- Klebespachtel)	6,0 kg/m ²	6,96 kWh/m ²	2,01 kg/m ²	0,005615 kg/m ²
Σ	47,3 cm		633,9 kg/m²	344,3505 kWh/m²	99,44805 kg/m²	0,2214275 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

Die grafische Gegenüberstellung vergleicht die ökologische und konventionelle Bauweise miteinander und stellt die Ergebnisse anschaulich dar. Hierbei wird auf den U-Wert, den Primärenergieinhalt, das Treibhauspotenzial und das Versauerungspotenzial eingegangen.

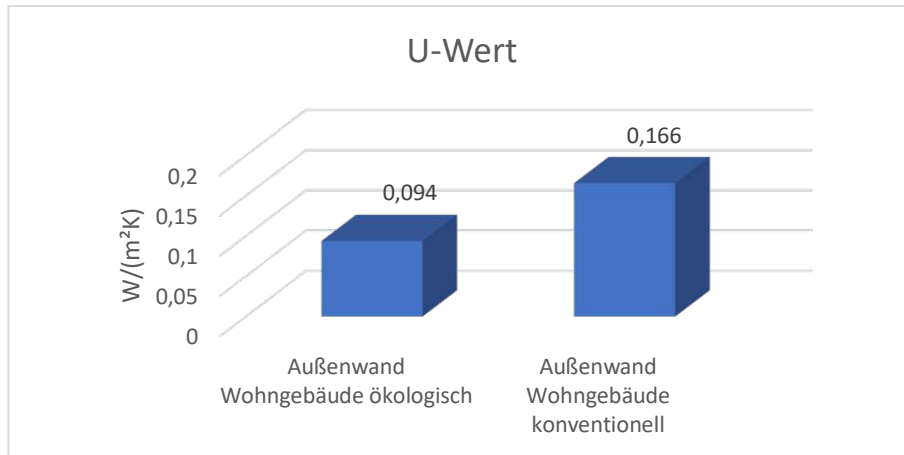


Abbildung 54: U-Wert Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)

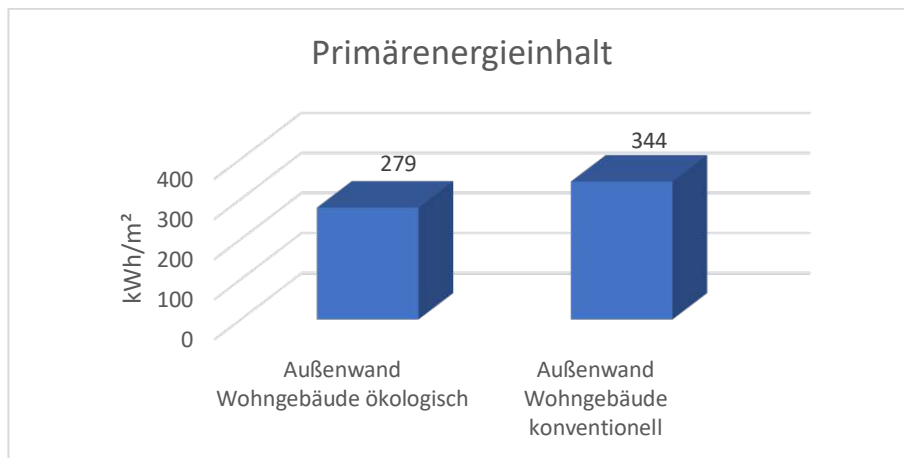


Abbildung 55: Primärenergieinhalt Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)

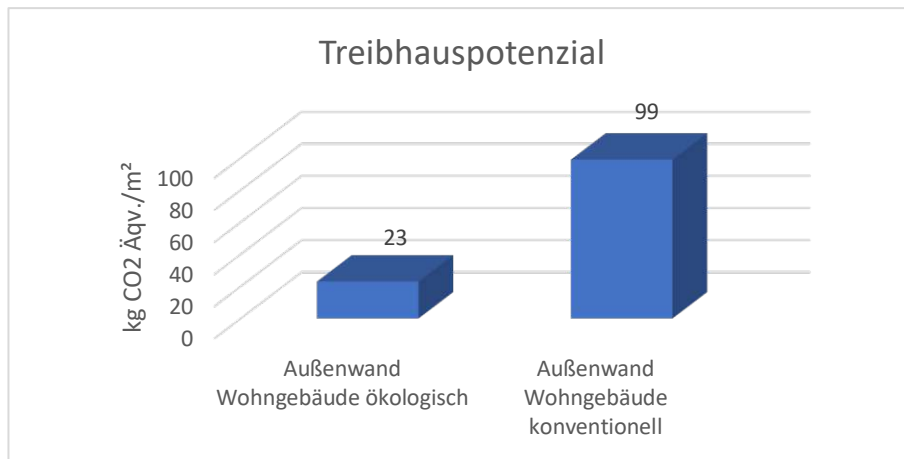


Abbildung 56: Treibhauspotenzial Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)

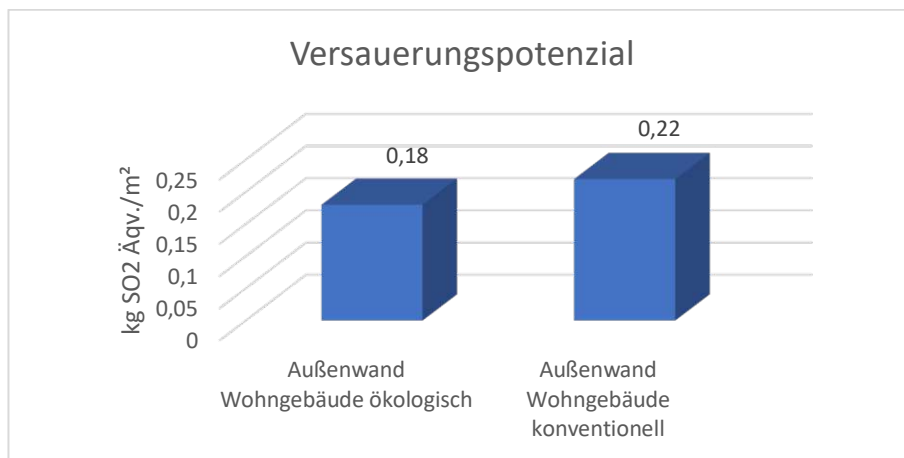


Abbildung 57: Versauerungspotenzial Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt. Wie man den Tabellen entnehmen kann, besitzen der Beton, das expandiertes Polystyrol, sowie der Silikonharzputz höhere Primärenergieinhalte, Treibhauspotenziale und Versauerungspotenziale als der Ziegel, die Hanfvolle, sowie der Kalkmörtel und Sumpfkalk Feinputz pro Quadratmeter. Der Gipsmaschinenputz hingegen schneidet besser als die Lehmputze ab.

Der Gipsmaschinenputz hat einen um 23% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 25% niedrigeres Treibhauspotenzial und ein um 71% niedrigeres Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Lehmputze vereint. Der Beton hat einen um 3% höheren Primärenergieinhalt, ein um 80% erhöhtes Treibhauspotenzial

und ein um 9% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Ziegel, welcher mit einer mineralischen Dämmschüttung gefüllt ist. Das EPS hat einen um 20% höheren Primärenergieinhalt und ein um 41% niedrigeres Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Holzfaser-Dämmplatte und die Holzständerkonstruktion, welche mit Stopfhanf gefüllt ist. Das EPS besitzt ein positives Treibhauspotenzial von 15,7 kg/m² im Gegensatz zu den negativen -21,7 kg/m² der Holzfaser-Dämmplatte und der Holzständerkonstruktion, welche mit Stopfhanf gefüllt ist. Der Silikonharzputz und die Dickschicht-Klebspachtel haben einen um 1878% erhöhten bzw. einen knapp 20-fachen Primärenergieinhalt, ein um 422% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 29264% erhöhtes bzw. ein knapp 294-faches Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Kalkmörtel und Sumpfkalk Feinputz vereint.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 77% höheren U-Wert, einen um 23% höheren Primärenergieinhalt, ein um 330% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 22% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

Außenwand Wohngebäude zu Garage:

Tabelle Außenwand Wohngebäude zu Garage ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
2	1,5 cm	Lehmunterputz (Levita UP2)	27,8 kg/m ²	10,9532 kWh/m ²	2,43528 kg/m ²	0,007645 kg/m ²
3	25 cm	Ziegel (Porotherm 25-38 EFH)	190,0 kg/m ²	121,41 kWh/m ²	34,58 kg/m ²	0,09766 kg/m ²
	25 cm	Mineralische Dämmschüttung (Thermofill) (86%)	18,1 kg/m ²	32,041 kWh/m ²	5,3163 kg/m ²	0,0146064 kg/m ²
4	14 cm	Mineralische Dämmschüttung (Thermofill)	11,6 kg/m ²	20,764 kWh/m ²	3,4452 kg/m ²	0,0094656 kg/m ²
5	1 cm	Rabitzwand (stauss Ziegelgewebe)	14,0 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
6	2 cm	Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)	20,6 kg/m ²	5,7062 kWh/m ²	4,3466 kg/m ²	0,0027604 kg/m ²
Σ	43,7 cm		285,7 kg/m ²	191,94 kWh/m ²	50,62342 kg/m ²	0,132879 kg/m ²

Tabelle Außenwand Wohngebäude zu Garage konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,5 cm	Gipsmaschinenputz (Knauf MP 75)	16,5 kg/m ²	9,1905 kWh/m ²	2,20605 kg/m ²	0,0023925 kg/m ²
2	25 cm	Beton armiert (2%)	600,0 kg/m ²	157,8 kWh/m ²	72 kg/m ²	0,1224 kg/m ²
3	14 cm	expandiertes Polystyrol (EPS 035)	4,2 kg/m ²	92,82 kWh/m ²	11,0082 kg/m ²	0,025158 kg/m ²
4	0,3 cm	Silikonharzputz	5,4 kg/m ²	37,8 kWh/m ²	7,506 kg/m ²	0,05508 kg/m ²
5	0,5 cm	Klebespachtel (Baumit Dickschicht- Klebespachtel)	6,0 kg/m ²	6,96 kWh/m ²	2,01 kg/m ²	0,005615 kg/m ²
Σ	41,3 cm		632,1 kg/m ²	304,5705 kWh/m ²	94,73025 kg/m ²	0,2106455 kg/m ²

Grafische Gegenüberstellung:

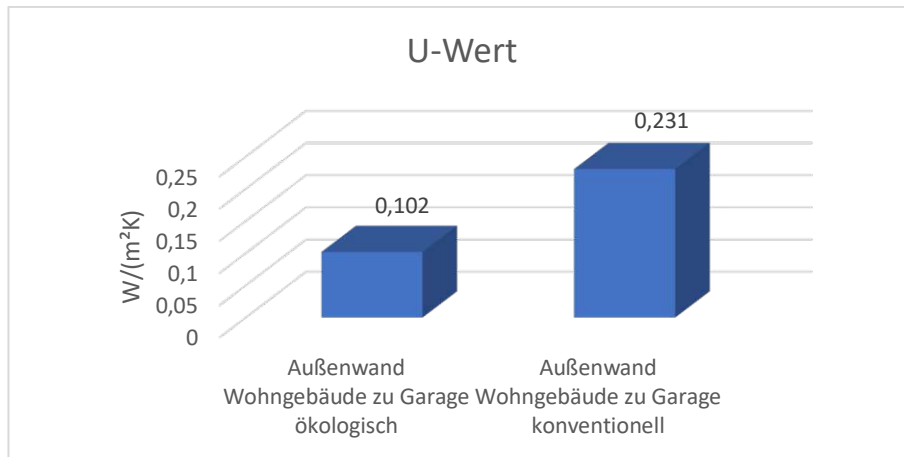


Abbildung 58: U-Wert Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

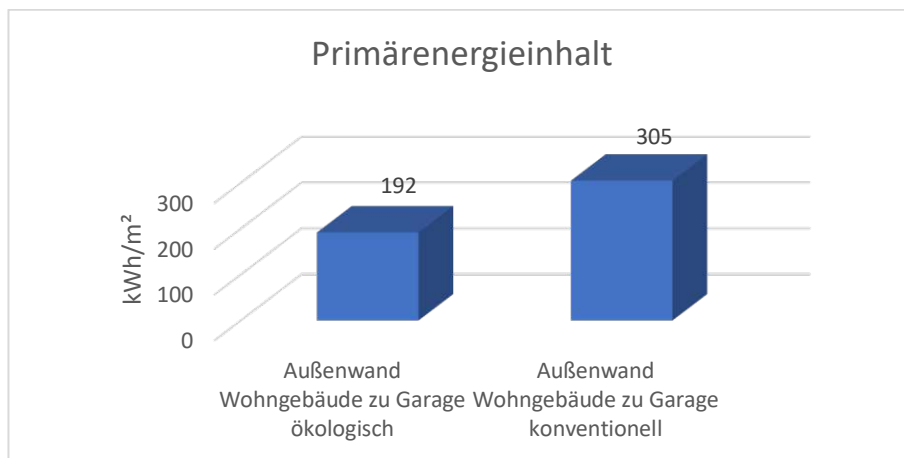


Abbildung 59: Primärenergieinhalt Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

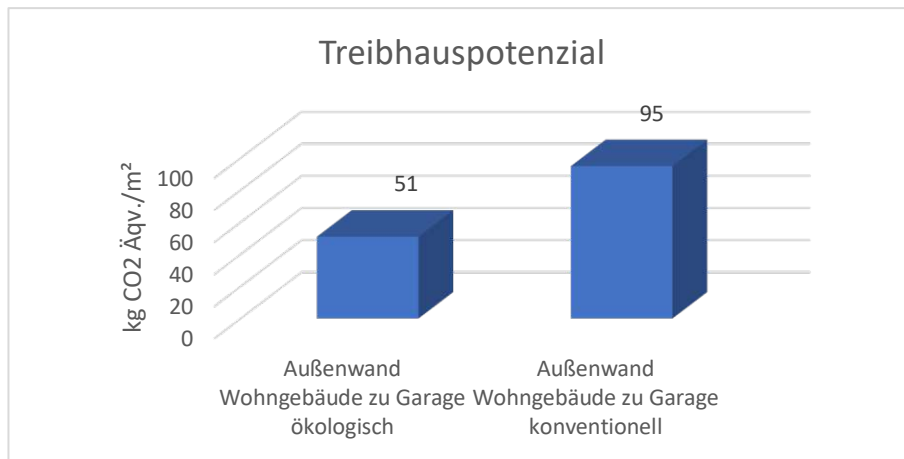


Abbildung 60: Treibhauspotenzial Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

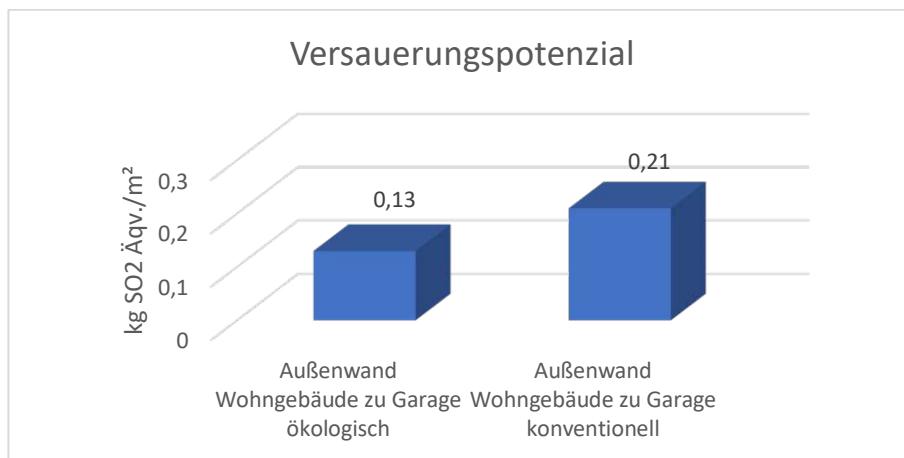


Abbildung 61: Versauerungspotenzial Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt.

Der Gipsmaschinenputz hat einen um 23% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 25% niedrigeres Treibhauspotenzial und ein um 71% niedrigeres Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Lehmputze vereint. Der Beton hat einen um 3% höheren Primärenergieinhalt, ein um 80% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 9% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Ziegel, welcher mit einer mineralischen Dämmschüttung gefüllt ist. Das EPS hat einen um 347% höheren Primärenergieinhalt, ein um 220% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 166% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die mineralische Dämmschüttung (Thermofill). Der Silikonharzputz und die Dickschicht-

Klebspachtel haben einen um 684% höheren bzw. einen knapp 8-fachen Primärenergieinhalt, ein um 119% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 2099% erhöhtes bzw. ein knapp 22-faches Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Kalkgrundputz.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 126% höheren U-Wert, einen um 59% höheren Primärenergieinhalt, ein um 86% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 62% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

Außenwand Garage:

Tabelle Außenwand Garage ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1 cm	Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)	10,3 kg/m ²	2,8531 kWh/m ²	2,1733 kg/m ²	0,0013802 kg/m ²
2	25 cm	Ziegel (Porotherm 25-38 EFH)	190,0 kg/m ²	121,41 kWh/m ²	34,58 kg/m ²	0,09766 kg/m ²
3	6 cm	Holzfaser-Dämmplatte (best wood WALL 140)	8,4 kg/m ²	22,932 kWh/m ²	-9,576 kg/m ²	0,02352 kg/m ²
4	0,8 cm	Kalkmörtel (HAGA Bio-Einbettmörtel H305)	8,0 kg/m ²	1,016 kWh/m ²	0,8728 kg/m ²	0,001464 kg/m ²
5	0,3 cm	Sumpfkalk Feinputz (HAGA Calkosit H540)	4,5 kg/m ²	1,2465 kWh/m ²	0,9495 kg/m ²	0,000603 kg/m ²
Σ	33,1 cm		221,2 kg/m²	149,4576 kWh/m²	28,9996 kg/m²	0,1246272 kg/m²

Tabelle Außenwand Garage konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,5 cm	Gipsmaschinenputz (Knauf MP 75)	16,5 kg/m ²	9,1905 kWh/m ²	2,20605 kg/m ²	0,0023925 kg/m ²
2	25 cm	Beton armiert (2%)	600,0 kg/m ²	157,8 kWh/m ²	72 kg/m ²	0,1224 kg/m ²
3	8 cm	expandiertes Polystyrol (EPS 035)	2,4 kg/m ²	53,04 kWh/m ²	6,2904 kg/m ²	0,014376 kg/m ²
4	0,3 cm	Silikonharzputz	5,4 kg/m ²	37,8 kWh/m ²	7,506 kg/m ²	0,05508 kg/m ²
5	0,5 cm	Klebspachtel (Baumit Dickschicht-Klebspachtel)	6,0 kg/m ²	6,96 kWh/m ²	2,01 kg/m ²	0,005615 kg/m ²
Σ	35,3 cm		630,3 kg/m²	264,7905 kWh/m²	90,01245 kg/m²	0,1998635 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

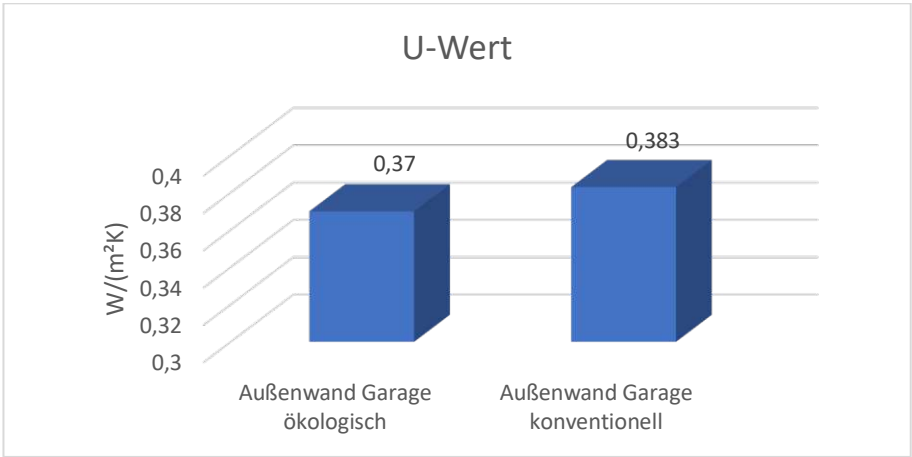


Abbildung 62: U-Wert Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

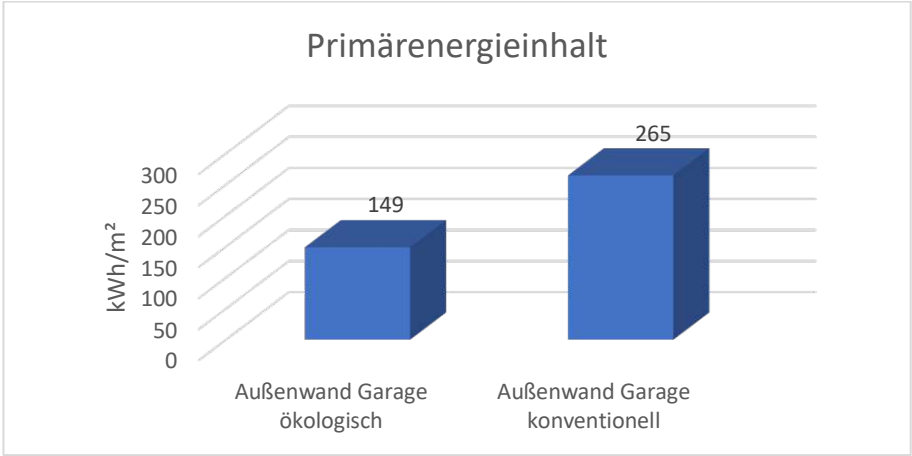


Abbildung 63: Primärenergieinhalt Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

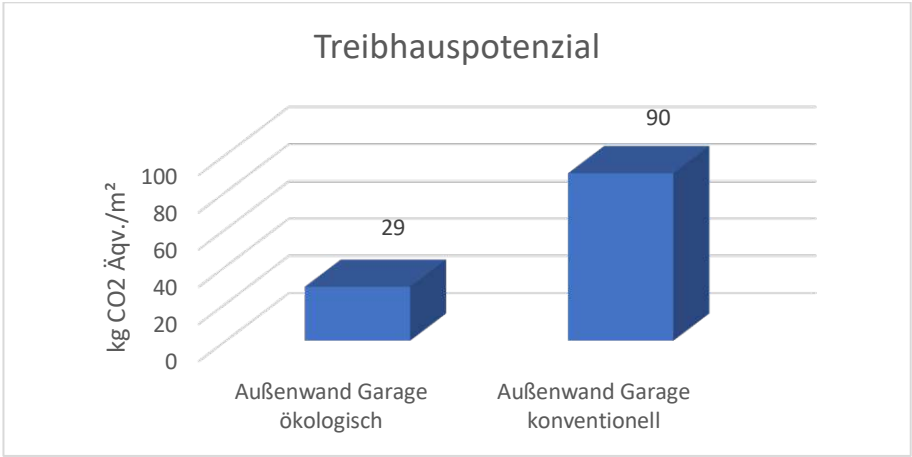


Abbildung 64: Treibhauspotenzial Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

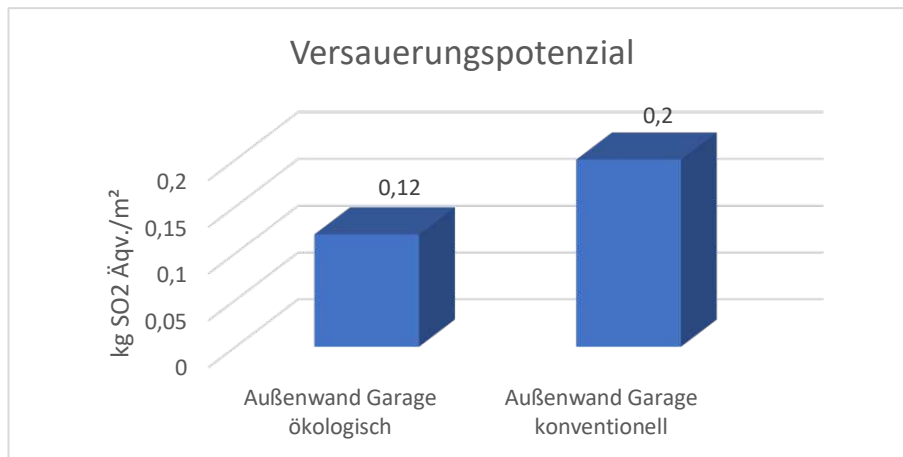


Abbildung 65: Versauerungspotenzial Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt.

Der Gipsmaschinenputz hat einen um 222% erhöhten Primärenergieinhalt, ein 1,5% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 73% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Kalkgrundputz. Der Beton hat einen um 30% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 108% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 25% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Ziegel. Das EPS hat einen um 131% erhöhten Primärenergieinhalt, besitzt ein positives Treibhauspotenzial von 6,3 kg/m² im Gegensatz zu den negativen -9,6 kg/m² der Holzfaserdämmplatte und hat ein um 39% verringertes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Holzfaserdämmplatte. Der Silikonharzputz und die Dickschicht-Klebspachtel haben einen um 1878% höheren bzw. einen knapp 20-fachen Primärenergieinhalt, ein um 422% höheres Treibhauspotenzial und ein um 2836% höheres bzw. ein knapp 29-faches Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Kalkmörtel und Sumpfkalk Feinputz vereint.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 4% höheren U-Wert, einen um 78% höheren Primärenergieinhalt, ein um 210% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 67% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

Innenwand tragend:

Tabelle Innenwand tragend ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
2	1,5 cm	Lehmunterputz (Levita UP2)	27,8 kg/m ²	10,9532 kWh/m ²	2,43528 kg/m ²	0,007645 kg/m ²
3	25 cm	Ziegel (Porotherm 25- 38 EFH)	190,0 kg/m ²	121,41 kWh/m ²	34,58 kg/m ²	0,09766 kg/m ²
4	1,5 cm	Lehmunterputz (Levita UP2)	27,8 kg/m ²	10,9532 kWh/m ²	2,43528 kg/m ²	0,007645 kg/m ²
5	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
Σ	28,4 cm		252,8 kg/m²	145,4476 kWh/m²	40,45064 kg/m²	0,1144332 kg/m²

Tabelle Innenwand tragend konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,5 cm	Gipsmaschinenputz (Knauf MP 75)	16,5 kg/m ²	9,1905 kWh/m ²	2,20605 kg/m ²	0,0023925 kg/m ²
2	25 cm	Beton armiert (2%)	600,0 kg/m ²	157,8 kWh/m ²	72 kg/m ²	0,1224 kg/m ²
3	1,5 cm	Gipsmaschinenputz (Knauf MP 75)	16,5 kg/m ²	9,1905 kWh/m ²	2,20605 kg/m ²	0,0023925 kg/m ²
Σ	28 cm		633 kg/m²	176,181 kWh/m²	76,4121 kg/m²	0,127185 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

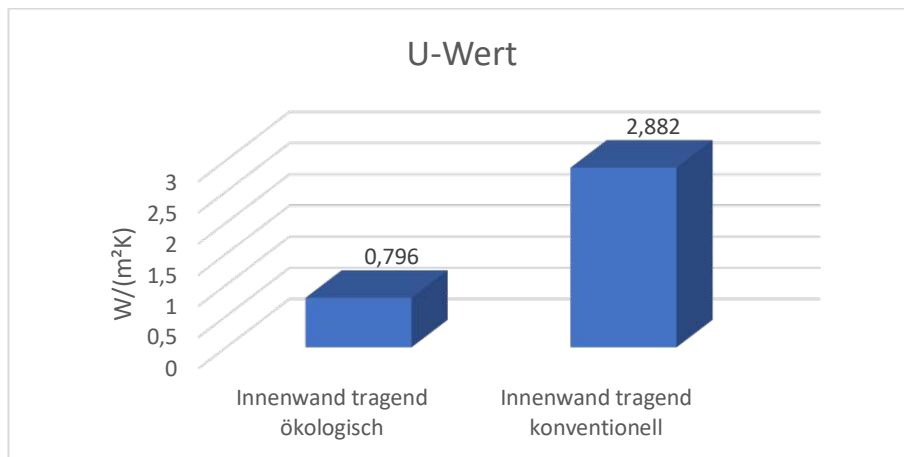


Abbildung 66: U-Wert Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

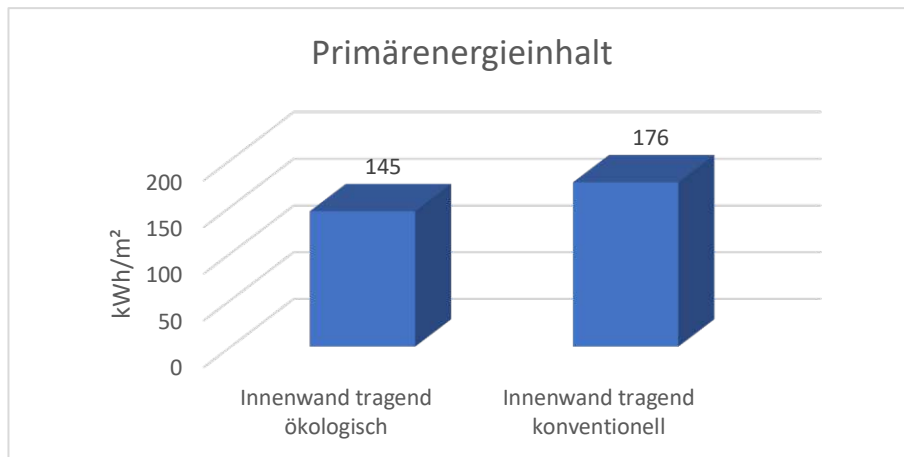


Abbildung 67: Primärenergieinhalt Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

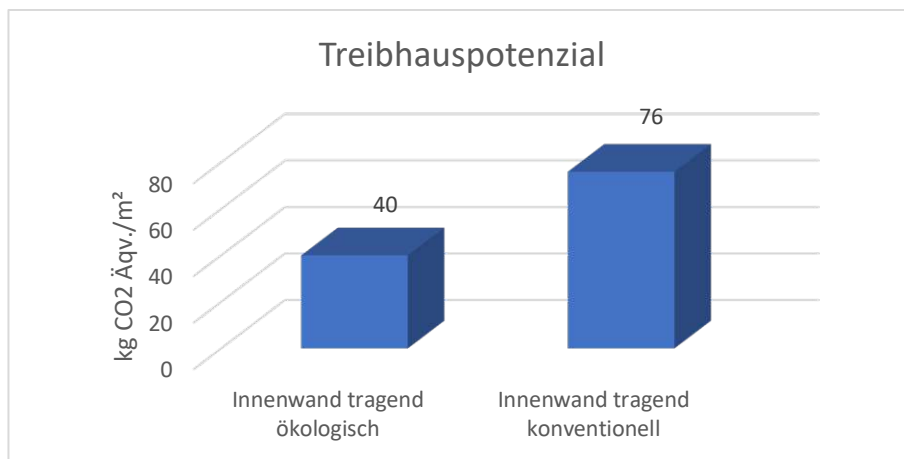


Abbildung 68: Treibhauspotenzial Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

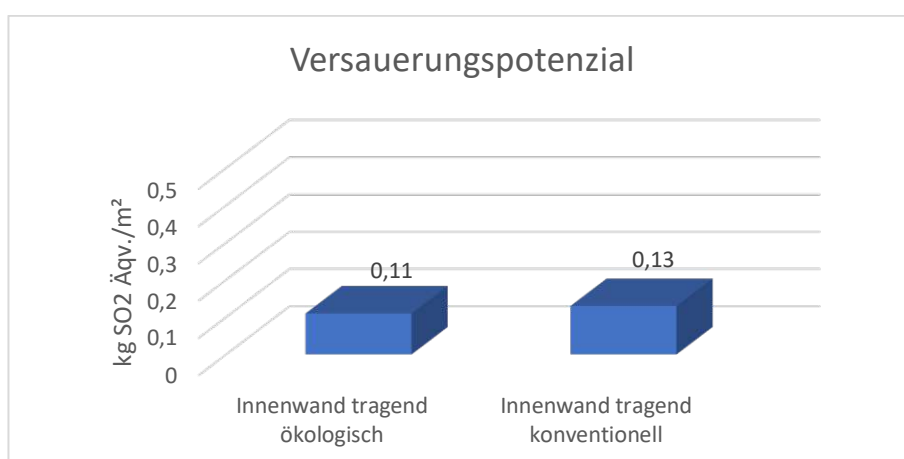


Abbildung 69: Versauerungspotenzial Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich des Primärenergieinhaltes, des Treibhauspotenzials und des Versauerungspotenzials besitzt.

Der Gipsmaschinenputz hat einen um 23% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 25% niedrigeres Treibhauspotenzial und ein um 71% niedrigeres Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Lehmputze vereint. Der Beton hat einen um 30% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 108% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 25% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Ziegel.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 262% höheren U-Wert, einen um 21% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 90% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 18% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

Innenwand nicht tragend:

Tabelle Innenwand nicht tragend ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
2	1,6 cm	Lehmbauplatte (conluto 16 mm)	23,2 kg/m ²	14,964 kWh/m ²	0,151496 kg/m ²	0,01102 kg/m ²
3	7,5 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	1,3 kg/m ²	8,463 kWh/m ²	1,079 kg/m ²	0,006019 kg/m ²
	7,5 cm	Holzständer aus Fichte (6,7%)	2,3 kg/m ²	0,9568 kWh/m ²	-3,5075 kg/m ²	0,0017411 kg/m ²
4	1,6 cm	Lehmbauplatte (conluto 16 mm)	23,2 kg/m ²	14,964 kWh/m ²	0,151496 kg/m ²	0,01102 kg/m ²
5	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
Σ	11,1 cm		57,2 kg/m²	41,479 kWh/m²	-1,125428 kg/m²	0,0312833 kg/m²

Tabelle Innenwand nicht tragend ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,25 cm	Gipskartonplatte	8,5 kg/m ²	8,925 kWh/m ²	2,07825 kg/m ²	0,003247 kg/m ²
2	7,5 cm	Glaswolle (WLG032)	2,2 kg/m ²	11,66 kWh/m ²	3,4782 kg/m ²	0,015928 kg/m ²
	7,5 cm	Metallständer (CW-Profil)	1,4 kg/m ²	13,944 kWh/m ²	4,1146 kg/m ²	0,01323 kg/m ²
3	1,25 cm	Gipskartonplatte	8,5 kg/m ²	8,925 kWh/m ²	2,07825 kg/m ²	0,003247 kg/m ²
Σ	10 cm		20,5 kg/m²	43,394 kWh/m²	11,7493 kg/m²	0,035652 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

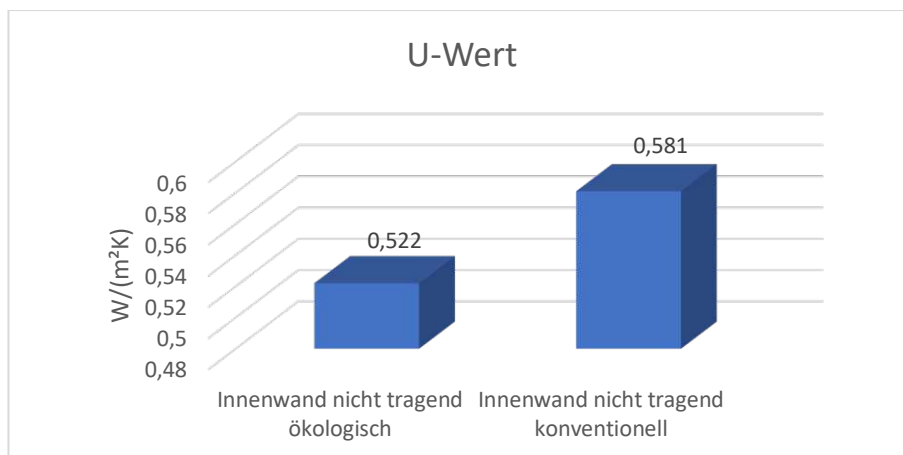


Abbildung 70: U-Wert Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

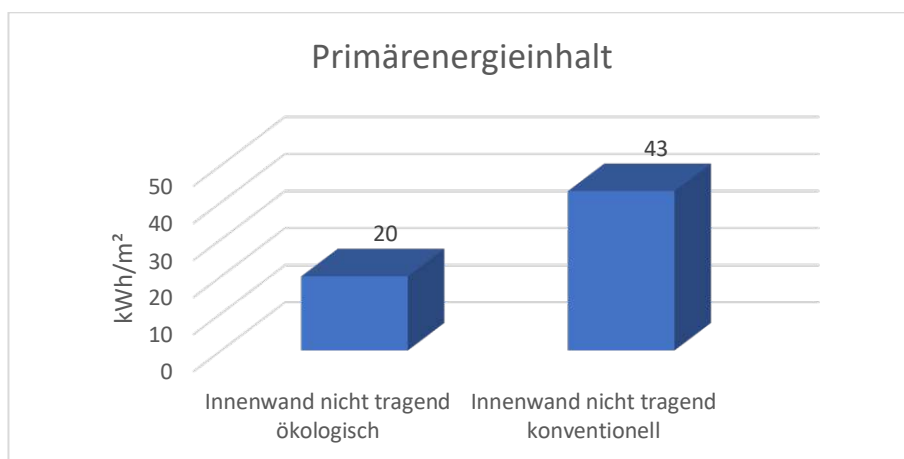


Abbildung 71: Primärenergieinhalt Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

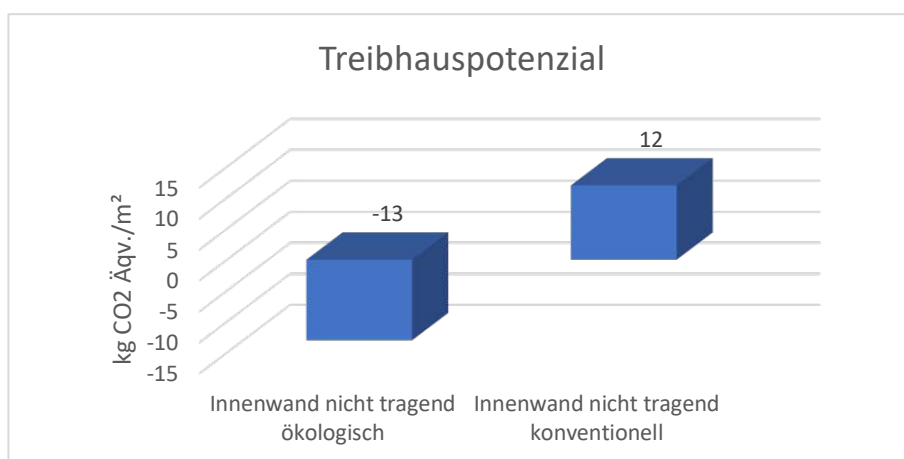


Abbildung 72: Treibhauspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

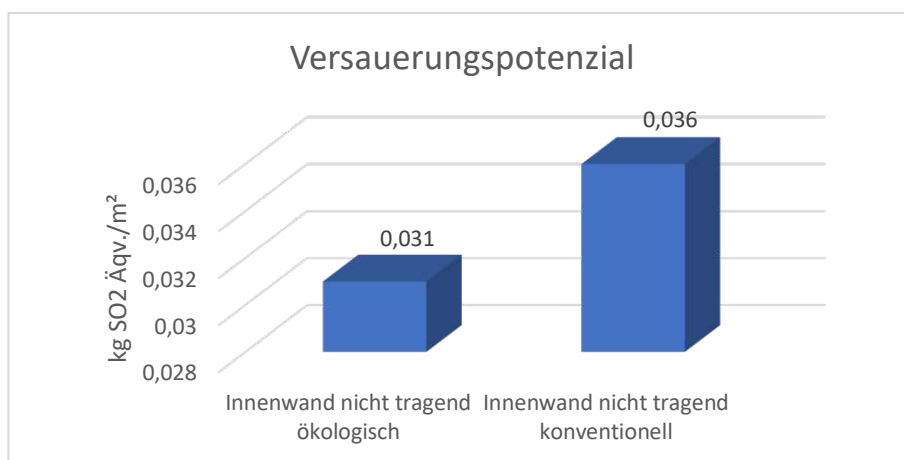


Abbildung 73: Versauerungspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und ein deutlich besseres Treibhauspotenzial hat, andererseits ist der Primärenergieinhalt und das Versauerungspotenzial höher als bei der konventionellen Bauweise.

Wie man den Tabellen entnehmen kann, hat die Gipskartonplatte einen um 44% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 219% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 72% niedrigeres Versauerungspotenzial als die Lehmbauplatte und der Lehmputz vereint. Die Metallständerkonstruktion, welche mit Glaswolle gefüllt ist, hat ein um 172% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 276% erhöhtes Versauerungspotenzial als die Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. Die Metallständerkonstruktion, mit Glaswolle gefüllt ist, hat ein Treibhauspotenzial von $7,6 \text{ kg/m}^2$ im Vergleich zu den $-2,4 \text{ kg/m}^2$ der Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 11% höheren U-Wert, einen um 5% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 16% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau. Der konventionelle Wandaufbau hat ein Treibhauspotenzial von 12 kg/m^2 im Vergleich zu den $-1,1 \text{ kg/m}^2$ der ökologischen Bauweise.

Fußboden EG + OG:

Tabelle Fußboden EG + OG ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	2,5 cm	Parkett (Eiche)	17,3 kg/m ²	7,1968 kWh/m ²	-26,3825 kg/m ²	0,0130961 kg/m ²
2	4,5 cm	Formplatte (Lithotherm)	50,4 kg/m ²	7,308 kWh/m ²	3,55824 kg/m ²	0,008064 kg/m ²
	4,5 cm	Holzbretter aus Fichte (8,3%)	1,7 kg/m ²	0,7072 kWh/m ²	-2,5925 kg/m ²	0,0012869 kg/m ²
3	2 cm	Holzfaserplatte (STEICObase)	5,0 kg/m ²	16,7 kWh/m ²	-4,74 kg/m ²	0,00565 kg/m ²
4	2 cm	Holzfaserplatte (STEICObase)	5,0 kg/m ²	16,7 kWh/m ²	-4,74 kg/m ²	0,00565 kg/m ²
5	9 cm	Ausgleichsschüttung (CEMWOOD)	32,4 kg/m ²	24,9804 kWh/m ²	-9,60012 kg/m ²	0,0232956 kg/m ²
6	20 cm	Beton armiert (2%)	480 kg/m ²	126,24 kWh/m ²	57,6 kg/m ²	0,09792 kg/m ²
7	1,5 cm	Lehmunterputz (Levita UP2)	27,8 kg/m ²	10,9532 kWh/m ²	2,43528 kg/m ²	0,007645 kg/m ²
8	0,2 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	3,6 kg/m ²	1,0656 kWh/m ²	0,50004 kg/m ²	0,0007416 kg/m ²
Σ	41,7 cm		623,2 kg/m²	211,8512 kWh/m²	16,03844 kg/m²	0,1633492 kg/m²

Tabelle Fußboden EG + OG konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	2,5 cm	Parkett (Eiche)	17,3 kg/m ²	7,1968 kWh/m ²	-26,3825 kg/m ²	0,0130961 kg/m ²
2	7 cm	Zementestrich (RÖFIX 970)	147 kg/m ²	54,684 kWh/m ²	22,197 kg/m ²	0,046305 kg/m ²
3	0,02 cm	Dampfbremse (PAE-Folie)	0,3 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
4	3 cm	Steinwolle-Dämmplatte (ROCKWOOL Floorrock TE)	3,9 kg/m ²	12,831 kWh/m ²	4,9491 kg/m ²	0,023751 kg/m ²
5	20 cm	Beton armiert (2%)	480 kg/m ²	126,24 kWh/m ²	57,6 kg/m ²	0,09792 kg/m ²
6	1,5 cm	Gipsmaschinenputz (Knauf MP 75)	16,5 kg/m ²	9,1905 kWh/m ²	2,20605 kg/m ²	0,0023925 kg/m ²
Σ	34,02 cm		665 kg/m²	210,1423 kWh/m²	60,56965 kg/m²	0,1834646 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

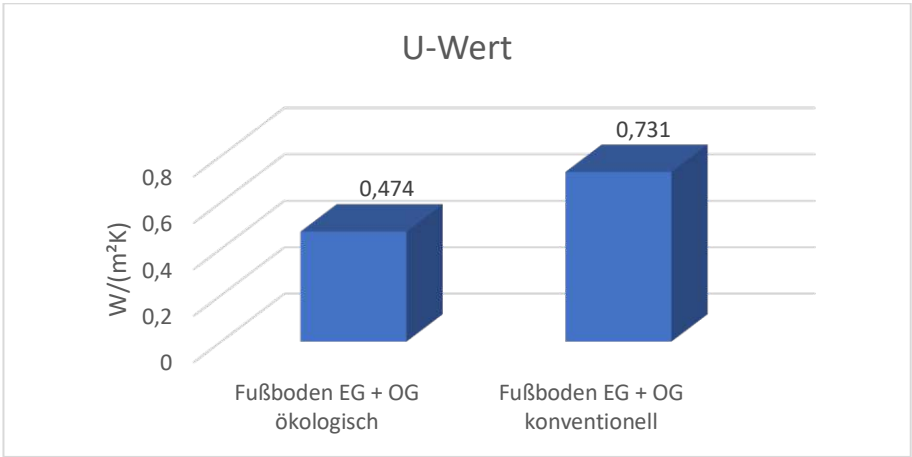


Abbildung 74: U-Wert Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)

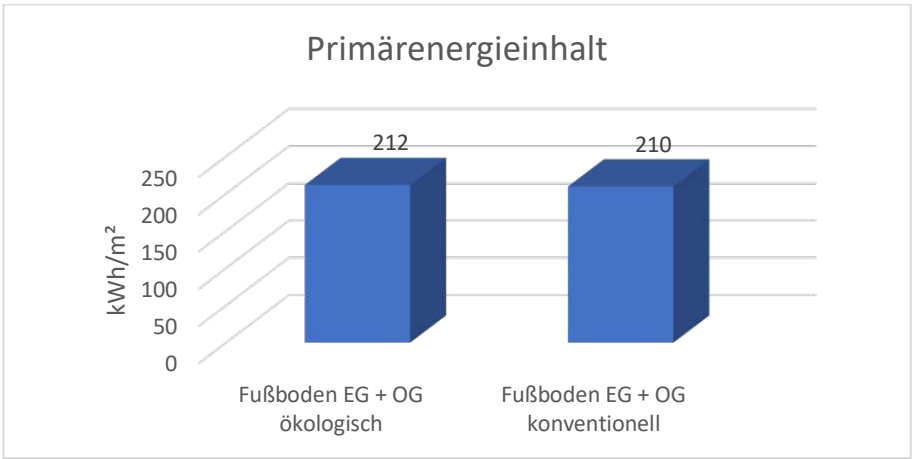


Abbildung 75: Primärenergieinhalt Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)

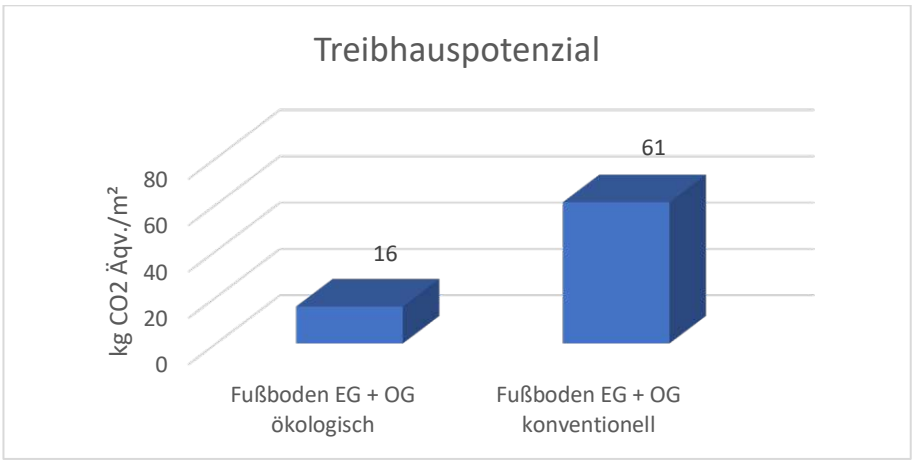


Abbildung 76: Treibhauspotenzial Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)

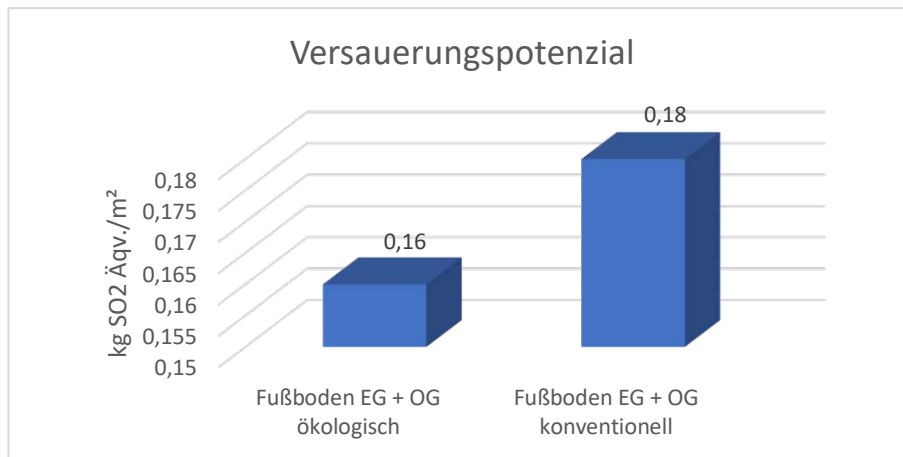


Abbildung 77: Versauerungspotenzial Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert, niedrigere Treibhauspotenziale, niedrigere Versauerungspotenziale, aber einen höheren Primärenergieinhalt als die konventionelle Bauweise aufweist.

Der Zementestrich und die Steinwolle-Dämmplatte haben einen um 2% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 59% erhöhtes Versauerungspotenzial als der gesamte Aufbau zwischen dem Parkett und dem Beton (Lithotherm, STEICObase, CEMWOOD Schüttung) der ökologischen Bauweise. In Bezug auf das Treibhauspotenzial hat der konventionelle Aufbau einen Wert von 27,1 kg/m², im Vergleich zu den 18,1 kg/m² der ökologischen Bauweise. Der Gipsmaschinenputz hat einen um 23% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 25% niedrigeres Treibhauspotenzial und ein um 71% niedrigeres Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Lehmputze vereint. Der Beton hat einen um 4% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 67% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 0,3% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Ziegel.

Der konventionelle Fußbodenaufbau hat einen um 54% höheren U-Wert, einen um 1% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 281% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 13% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

Fußboden Dachboden:

Tabelle Fußboden Dachboden ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	20 cm	Beton armiert (2%)	480 kg/m ²	126,24 kWh/m ²	57,6 kg/m ²	0,09792 kg/m ²
2	35 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	6,3 kg/m ²	41,013 kWh/m ²	5,229 kg/m ²	0,02778 kg/m ²
Σ	55 cm		486,3 kg/m ²	167,253 kWh/m ²	62,829 kg/m ²	0,1257 kg/m ²

Tabelle Fußboden Dachboden konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	20 cm	Beton armiert (2%)	480 kg/m ²	126,24 kWh/m ²	57,6 kg/m ²	0,09792 kg/m ²
2	18 cm	PU-Hartschaum Dachbodenelement (Linitherm P HW Dachbodenelement: Linitherm PAL)	5,9 kg/m ²	129,03 kWh/m ²	22,125 kg/m ²	0,0649 kg/m ²
	0,8 cm	PU-Hartschaum Dachbodenelement (Linitherm P HW Dachbodenelement: Linitherm OSB)	4,8 kg/m ²	10,512 kWh/m ²	-7,3872 kg/m ²	0,006816
Σ	38,8 cm		490,7 kg/m ²	265,782 kWh/m ²	72,3378 kg/m ²	0,169636 kg/m ²

Grafische Gegenüberstellung:

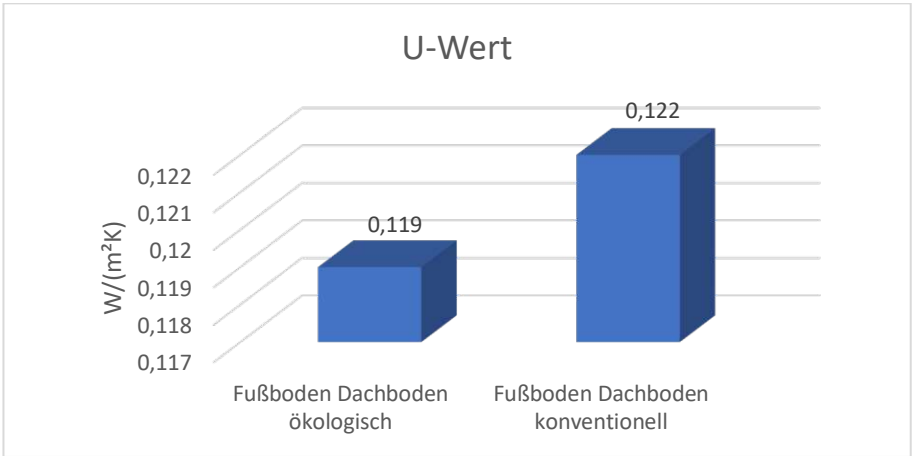


Abbildung 78: U-Wert Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)

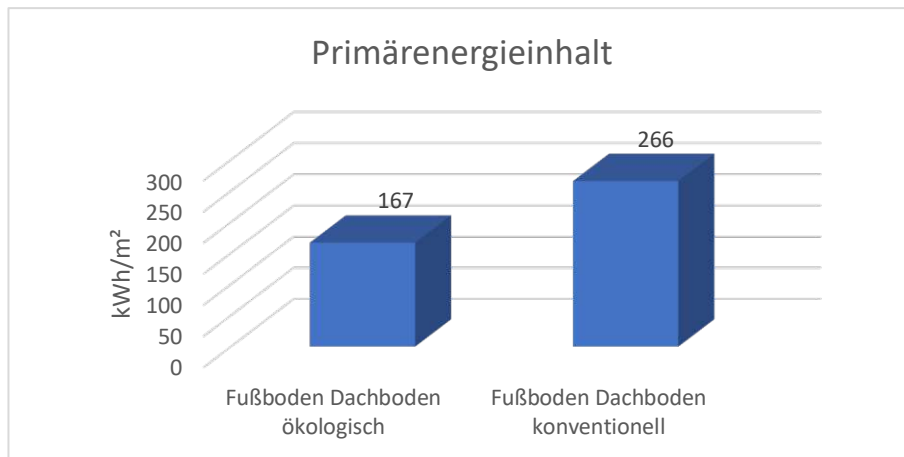


Abbildung 79: Primärenergieinhalt Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)

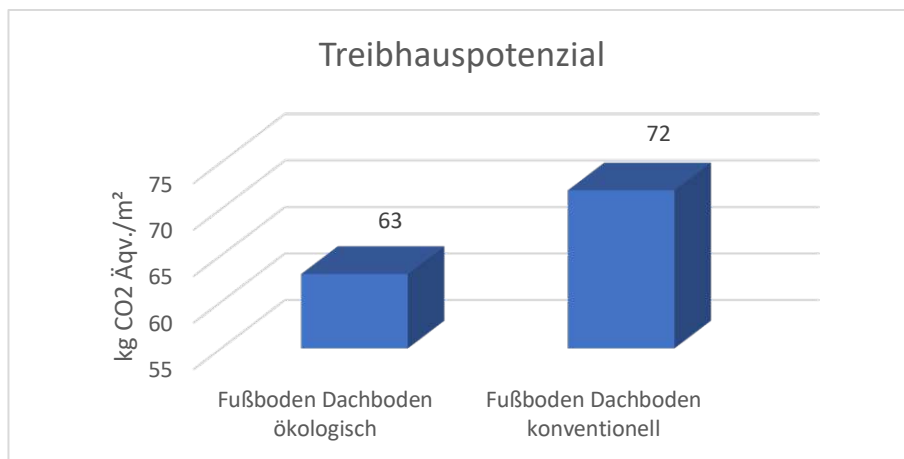


Abbildung 80: Treibhauspotenzial Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)

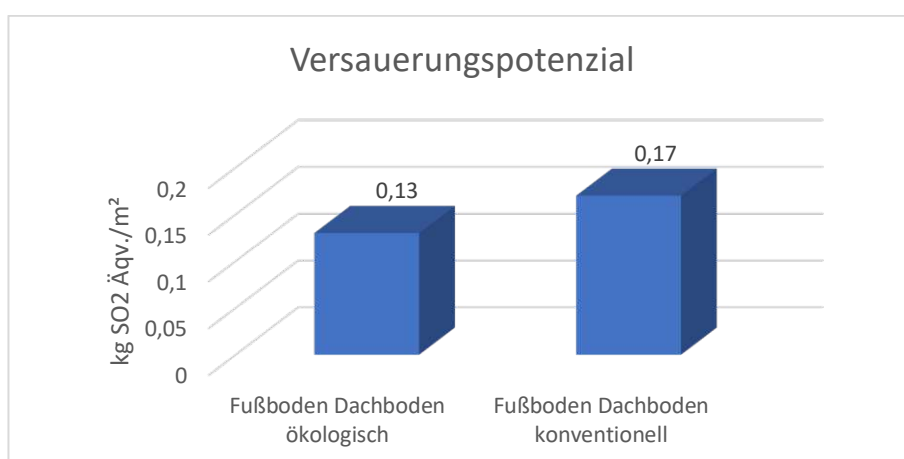


Abbildung 81: Versauerungspotenzial Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt. Wie man den Tabellen entnehmen kann, besitzt der PU-Hartschaum höhere Primärenergieinhalte, Treibhauspotenziale und dem Versauerungspotenziale als herkömmliche Schafwolle.

Das PU-Hartschaum Dachbodenelement hat einen um 240% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 182% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 158% erhöhtes Versauerungspotenzial als herkömmliche Schafwolle.

Der konventionelle Deckenaufbau hat einen um 3% höheren U-Wert, einen um 59% höheren Primärenergieinhalt, ein um 14% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 31% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

7.3 Excel Tabellen Sanierung

Die Werte der folgenden Excel Tabellen wurden mit Hilfe des Onlinetools UBAKUS berechnet. Die Tabellen beinhalten alle im Kapitel 6 angeführten Faktoren und geben die Ergebnisse der jeweiligen Aufbauten wieder.

Sanierung ökologisch:

Sanierung ökologisch	Außenmauer feucht	Außenmauer trocken	Innenwand nicht tragend	Decke	Fußboden
Bauteildicke [cm]	41,9	44,6	13,5	46,1	22
Gewicht [kg/m ²]	735,2	736,6	43,3	33,6	377,8
U-Wert [W/(m ² K)]	0,772	0,574	0,435	0,18	0,775
Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]	1,296	1,757	2,318	5,562	1,303
Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m ² K]	735	739	46	25	372
Wärmeverlust [kWh/m ² pro Heizperiode]	60	44	34	14	58
Primärenergieinhalt [kWh/m ²]	34	15	20	35	54
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ Äqv./m ²]	16	-5	-13	-29	4,3
Versauerungspotenzial [kg SO ₂ Äqv./m ²]	0,018	0,014	0,023	0,036	0,06
Überdüngungspotenzial [kg Phosphat Äqv./kg]	0,0036	0,013	0,025	0,021	0,012
Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]	0,00094	0,0012	0,0019	0,0057	0,0065
Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]	8,4E-10	0,00000013	0,00000022	0,00000052	0,00000011
sd-Wert [m]	70,39	70,4	0,35	0,34	20,65

Tabelle 5: Sanierung ökologisch (eigene Darstellung mittels Excel)

Sanierung konventionell:

Sanierung konventionell	Außenmauer feucht	Außenmauer trocken	Innenwand nicht tragend	Decke	Fußboden
Bauteildicke [cm]	45,8	45,27	10	44,75	27,02
Gewicht [kg/m ²]	819,4	782,9	20,6	45,9	480,9
U-Wert [W/(m ² K)]	0,816	0,664	0,581	0,162	0,539
Wärmedurchgangswiderstand [m ² K/W]	1,225	1,507	1,722	6,063	1,857
Wärmespeicherfähigkeit [kJ/m ² K]	819	782	18,8	49	473
Wärmeverlust [kWh/m ² pro Heizperiode]	61	50	45	13	42
Primärenergieinhalt [kWh/m ²]	68	49	43	119	130
Treibhauspotenzial [kg CO ₂ Äqv./m ²]	35	21	12	6,3	30
Versauerungspotenzial [kg SO ₂ Äqv./m ²]	0,041	0,038	0,035	0,16	0,096
Überdüngungspotenzial [kg Phosphat Äqv./kg]	0,0089	0,0069	0,0051	0,023	0,033
Sommersmog [kg Ethen Äqv./kg]	0,0026	0,0031	0,0032	0,012	0,013
Ozonabbauendes Potential [kg R11 Äqv./kg]	0,000000001	7,5E-09	0,000000001	9,6E-09	0,00000052
sd-Wert [m]	72,17	77,33	0,27	0,32	25,25

Tabelle 6: Sanierung konventionell (eigene Darstellung mittels Excel)

7.4 Grafische Darstellung der Ergebnisse Sanierung

Die unterschiedlichen Aufbauten des sanierten Bauernhauses werden ebenfalls anhand des U-Werts, des Treibhauspotenzials, Primärenergieinhaltes und Versauerungspotenzials miteinander verglichen. Alle fünf Aufbauten werden untereinander gegenübergestellt, da sich die konventionellen Aufbauten stark von den Aufbauten mit Naturbaustoffen unterscheiden.

Folgende Aufbauten werden miteinander verglichen:

- Außenmauer feucht
- Außenmauer trocken
- Innenwand nicht tragend
- Decke
- Fußboden

Außenmauer feucht:

Die folgenden Tabellen bieten einen Überblick der OI3-Indikatoren der unterschiedlichen Wand- und Deckenaufbauten. Die Tabellen geben einen Überblick, welche der Materialien bzw. Schichten hohe oder niedrige Werte in Bezug auf den Primärenergieinhalt, das Treibhauspotenzial und das Versauerungspotenzial pro Quadratmeter haben. Die jeweiligen Werte sind von der Bauteildicke und deren Masse pro Quadratmeter abhängig.

Tabelle Außenmauer feucht ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,4 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	7,2 kg/m ²	2,1312 kWh/m ²	1,00008 kg/m ²	0,0014832 kg/m ²
2	5 cm	Mineralischer Dämm- und Entfeuchtungsputz (HAGA Biotherm H415/416)	12,5 kg/m ²	27,625 kWh/m ²	12,1125 kg/m ²	0,0145 kg/m ²
3	0,5 cm	Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)	5,2 kg/m ²	1,4404 kWh/m ²	1,0972 kg/m ²	0,0006968 kg/m ²
4	35 cm	Mauerwerk aus unregelmäßigen Natursteinen (2000 kg/m ³)	700 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
5	1 cm	Kalkputz (HAGA Bio-Grundputz H210)	10,3 kg/m ²	2,8531 kWh/m ²	2,1733 kg/m ²	0,0013802 kg/m ²
Σ	41,9 cm		735,2 kg/m²	34,0497 kWh/m²	16,38308 kg/m²	0,0180602 kg/m²

Tabelle Außenmauer feucht konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,3 cm	Kalkzementputz fein	5,4 kg/m ²	1,782 kWh/m ²	1,0611 kg/m ²	0,0012312 kg/m ²
2	1,5 cm	Kalkzementputz grob	27 kg/m ²	8,91 kWh/m ²	5,3055 kWh/m ²	0,006156 Wh/m ²
3	5 cm	Kalk-Dämmputz (HASIT 840 CalceClima® Thermo)	15 kg/m ²	33,15 kWh/m ²	14,535 kg/m ²	0,0174 kg/m ²
4	35 cm	Mauerwerk aus unregelmäßigen Natursteinen (2000 kg/m ³)	700 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
5	3 cm	Kalkzementputz grob	54 kg/m ²	17,82 kWh/m ²	10,611 kg/m ²	0,012312 kg/m ²
6	1 cm	Kalkzementputz fein	18 kg/m ²	5,94 kWh/m ²	3,537 kg/m ²	0,004104 kg/m ²
Σ	45,8 cm		819,4 kg/m²	67,602 kWh/m²	35,0496 kg/m²	0,0411096 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

Die grafische Gegenüberstellung vergleicht die ökologische und konventionelle Bauweise miteinander und stellt die Ergebnisse anschaulich dar. Hierbei wird auf den U-Wert, den Primärenergieinhalt, das Treibhauspotenzial und das Versauerungspotenzial eingegangen.

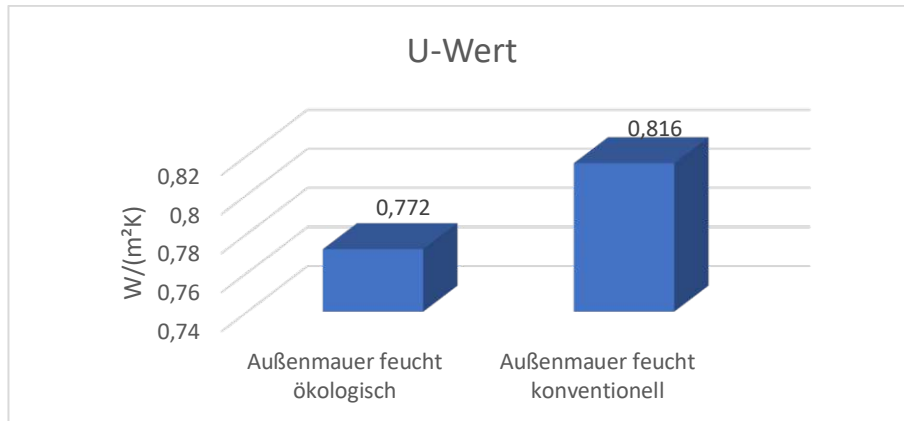


Abbildung 82: U-Wert Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)

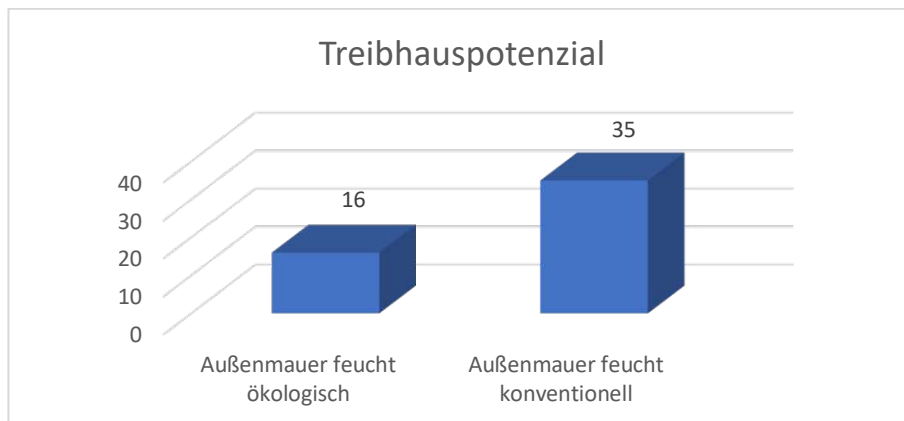


Abbildung 83: Treibhauspotenzial Außenmauer feucht (eigene Darstellung mittels Excel)

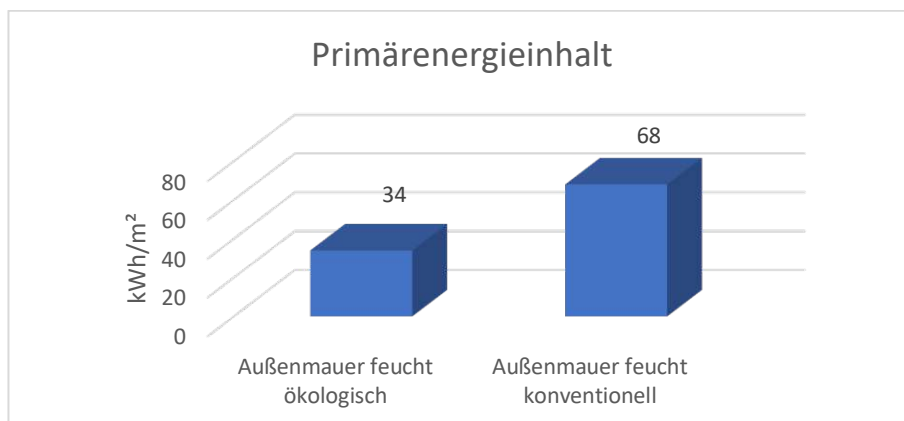


Abbildung 84: Primärenergieinhalt Außenmauer feucht (eigene Darstellung mittels Excel)

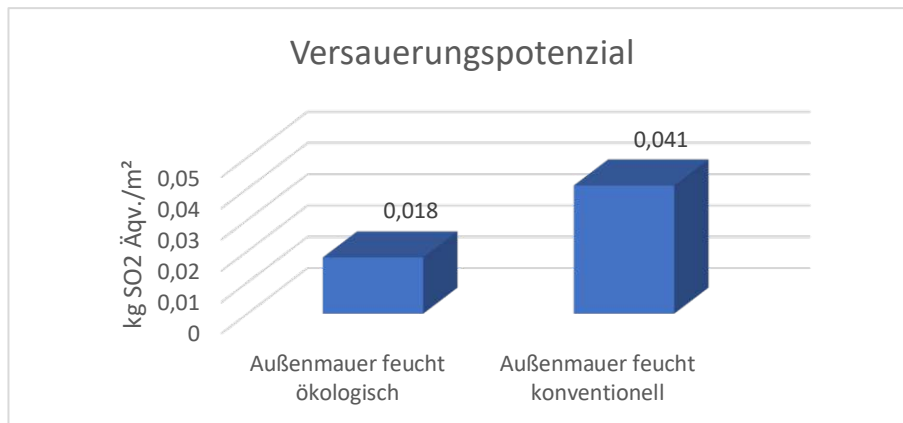


Abbildung 85: Versauerungspotenzial Außenmauer feucht (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen besseren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt.

Der Kalkzementputz hat einen um 16% niedrigeren Primärenergieinhalt, ein um 6% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 17% niedrigeres Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Lehmputz.

Der Kalk-Dämmputz hat einen um 20% erhöhten Primärenergieinhalt, ein ebenfalls um 20% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 20% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der mineralischer Dämm- und Entfeuchtungsputz.

Der Kalkzementputz, mit einer Stärke von 1cm, hat einen um 108% erhöhten Primärenergieinhalt, ein ebenfalls um 63% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 197% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Kalkputz, welcher auch 1cm dick ist.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 6% höheren U-Wert, einen um 119% höheren Primärenergieinhalt, ein um 100% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 128% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

Außenmauer trocken:

Tabelle Außenmauer trocken ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,4 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	7,2 kg/m ²	2,1312 kWh/m ²	1,00008 kg/m ²	0,0014832 kg/m ²
2	2,2 cm	Kalk-Stroh- Putzträgerplatte (maxit strohpanel)	4,8 kg/m ²	1,0704 kWh/m ²	-6 kg/m ²	0,0040896 kg/m ²
3	5 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	0,8 kg/m ²	5,208 kWh/m ²	0,664 kg/m ²	0,003704 kg/m ²
	5 cm	Holzständer aus Fichte (14%)	3,2 kg/m ²	1,3312 kWh/m ²	-4,88 kg/m ²	0,0024224 kg/m ²
4	1cm	Kalkputz (HAGA Bio- Grundputz H210)	10,3 kg/m ²	2,8531 kWh/m ²	2,1733 kg/m ²	0,0013802 kg/m ²
5	35 cm	Mauerwerk aus unregelmäßigen Natursteinen (2000 kg/m ³)	700 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
6	1 cm	Kalkputz (HAGA Bio- Grundputz H210)	10,3 kg/m ²	2,8531 kWh/m ²	2,1733 kg/m ²	0,0013802 kg/m ²
Σ	44,6 cm		736,6 kg/m²	15,447 kWh/m²	-4,86932 kg/m²	0,0144596 kg/m²

Tabelle Außenmauer trocken konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,25 cm	Gipskartonplatte	8,5 kg/m ²	8,925 kWh/m ²	2,07825 kg/m ²	0,003247 kg/m ²
2	0,02 cm	Dampfbremse (PAE-Folie)	0,3 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
3	5 cm	Mineralwolle (WLG032)	1 kg/m ²	5,3 kWh/m ²	1,581 kg/m ²	0,00724 kg/m ²
	5 cm	Metallständer (CW-Profil)	1,1kg/m ²	10,956 kWh/m ²	3,2329 kg/m ²	0,010395 kg/m ²
4	35 cm	Mauerwerk aus unregelmäßigen Natursteinen (2000 kg/m ³)	700 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
5	3 cm	Kalkzementputz grob	54 kg/m ²	17,82 kWh/m ²	10,611 kg/m ²	0,012312 kg/m ²
6	1 cm	Kalkzementputz fein	18 kg/m ²	5,94 kWh/m ²	3,537 kg/m ²	0,004104
Σ	45,27 cm		782,9 kg/m²	48,941 kWh/m²	21,04015 kg/m²	0,037298 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

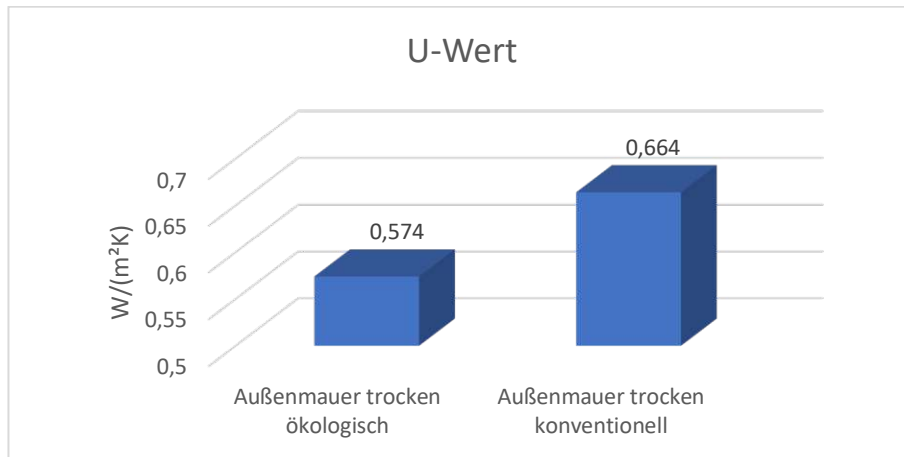


Abbildung 86: U-Wert Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)

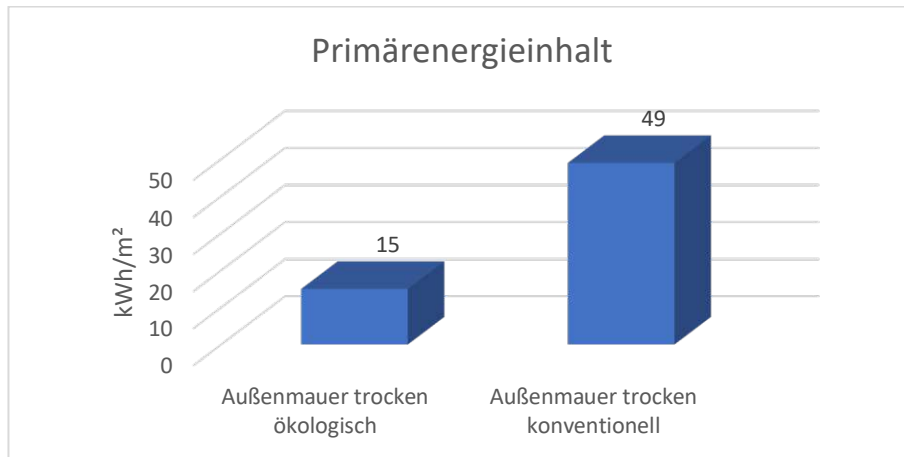


Abbildung 87: Primärenergieinhalt Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)

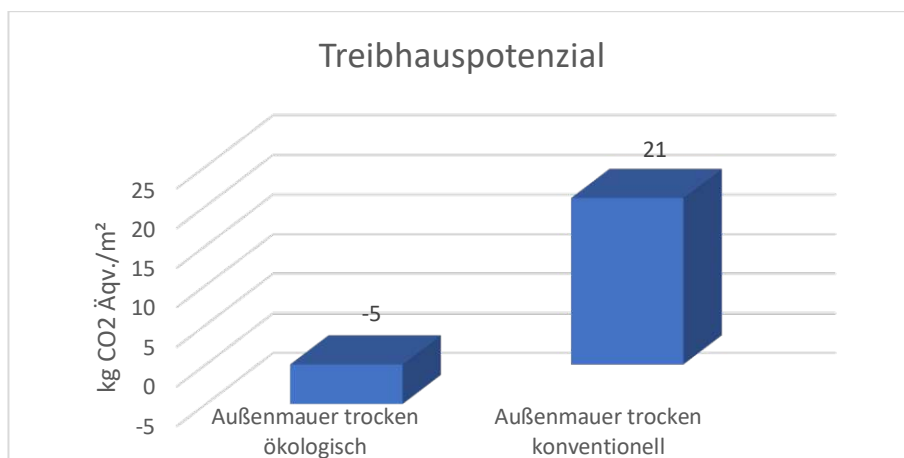


Abbildung 88: Treibhauspotenzial Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)

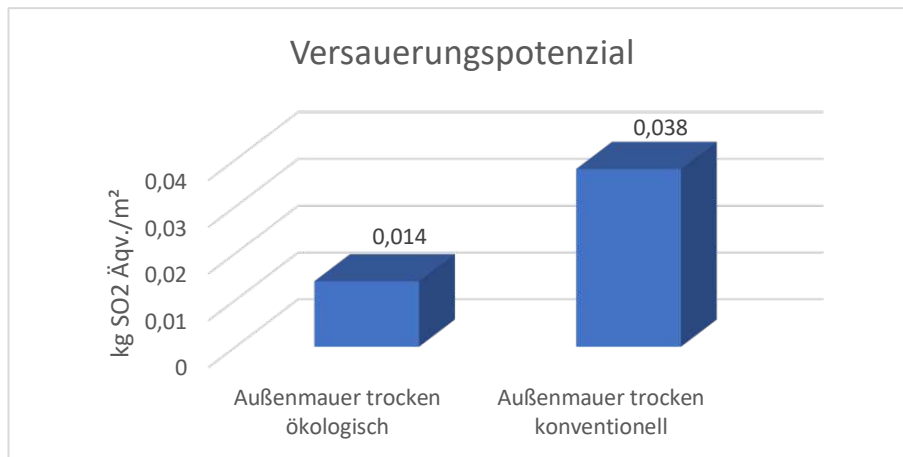


Abbildung 89: Versauerungspotenzial Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)

Basierend auf den graphischen Vergleichen und den vorliegenden Excel-Tabellen lässt sich feststellen, dass die Verwendung von Naturbaustoffen in der Bauweise einerseits zu einem niedrigeren U-Wert führt, andererseits niedrigere Werte in Bezug auf Umweltindikatoren aufweist.

Die Gipskartonplatte hat einen um 179% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 42% verringertes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Kalk-Stroh-Putzträgerplatte und der Lehmputz vereint. Bezüglich des Treibhauspotenzials hat die Gipskartonplatte einen Wert von 2,1 kg/m² im Gegenzug zu den negativen -5 kg/m² der Kalk-Stroh-Putzträgerplatte und dem Lehmputz vereint. Die Metallständerkonstruktion, welche mit Mineralwolle gefüllt ist, hat ein um 149% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 188% erhöhtes Versauerungspotenzial als die Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. Die Metallständerkonstruktion, mit Mineralwolle gefüllt ist, hat ein Treibhauspotenzial von 4,8 kg/m² im Vergleich zu den -2,7 kg/m² der Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. Der Kalkzementputz hat einen um 108% erhöhten Primärenergieinhalt, ein ebenfalls um 63% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 197% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als der Kalkputz.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 16% erhöhten U-Wert, einen um 227% höheren Primärenergieinhalt und ein um 171% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau. Der konventionelle Wandaufbau hat ein Treibhauspotenzial von 21 kg/m² im Vergleich zu den -5 kg/m² der ökologischen Bauweise.

Innenwand nicht tragend:

Tabelle Innenwand nicht tragend ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,8 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	14,3 kg/m ²	4,2328 kWh/m ²	1,98627 kg/m ²	0,0029458 kg/m ²
2	2,2 cm	Kalk-Stroh- Putzträgerplatte (maxit strohpanel)	4,8 kg/m ²	1,0704 kWh/m ²	-6 kg/m ²	0,0040896 kg/m ²
3	7,5 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	1,2 kg/m ²	7,812 kWh/m ²	0,996 kg/m ²	0,0055556 kg/m ²
	7,5 cm	Holzständer aus Fichte (14%)	3,8 kg/m ²	1,5808 kWh/m ²	-5,795 kg/m ²	0,0028766 kg/m ²
4	2,2 cm	Kalk-Stroh- Putzträgerplatte (maxit strohpanel)	4,8 kg/m ²	1,0704 kWh/m ²	-6 kg/m ²	0,0040896 kg/m ²
5	0,8 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	14,3 kg/m ²	4,2328 kWh/m ²	1,98627 kg/m ²	0,0029458 kg/m ²
Σ	13,5 cm		43,3 kg/m²	19,9992 kWh/m²	-12,82646 kg/m²	0,0225034 kg/m²

Tabelle Innenwand nicht tragend konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,25 cm	Gipskartonplatte	8,5 kg/m ²	8,925 kWh/m ²	2,07825 kg/m ²	0,003247 kg/m ²
2	7,5 cm	Glaswolle (WLG032)	2,2 kg/m ²	11,66 kWh/m ²	3,4782 kg/m ²	0,015928 kg/m ²
	7,5 cm	Metallständer (CW-Profil)	1,4 kg/m ²	13,944 kWh/m ²	4,1146 kg/m ²	0,01323 kg/m ²
3	1,25 cm	Gipskartonplatte	8,5 kg/m ²	8,925 kWh/m ²	2,07825 kg/m ²	0,003247 kg/m ²
Σ	10 cm		20,6 kg/m²	43,394 kWh/m²	11,7493 kg/m²	0,035652 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

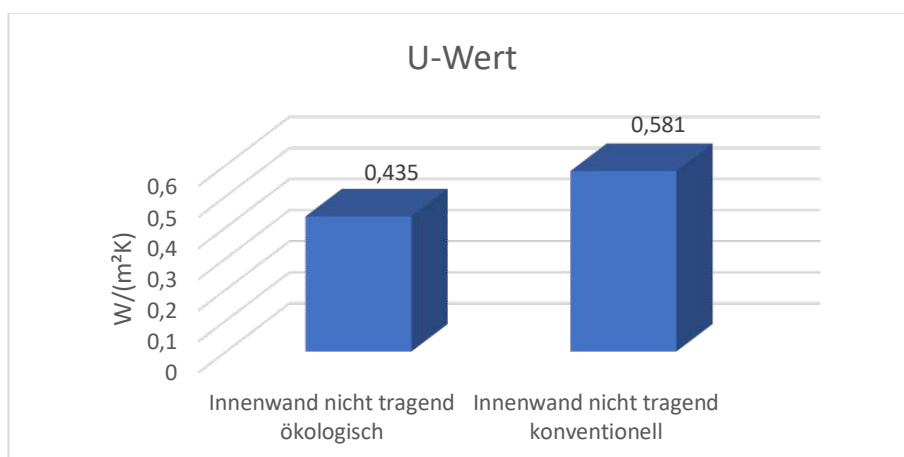


Abbildung 90: U-Wert Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

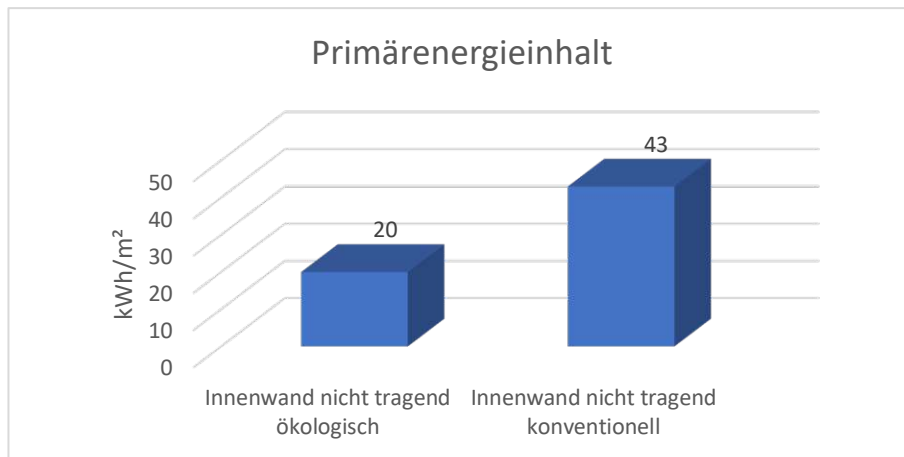


Abbildung 91: Primärenergieinhalt Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

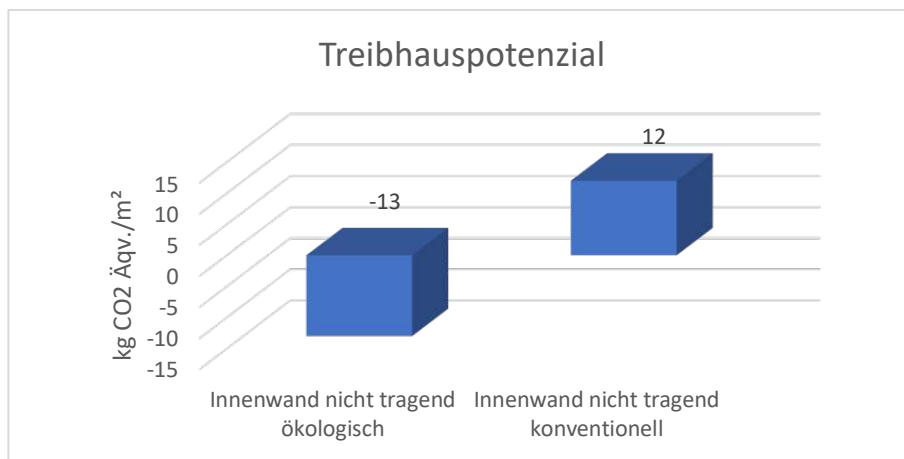


Abbildung 92: Treibhauspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

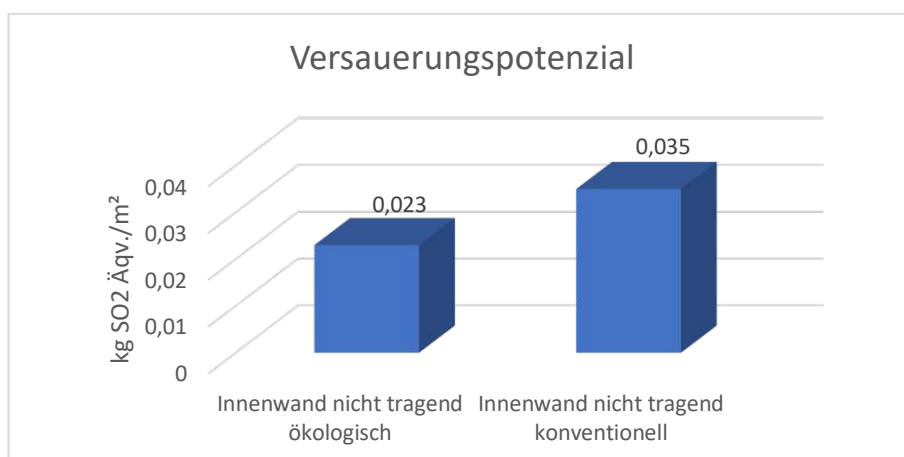


Abbildung 93: Versauerungspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einen besseren U-Wert und niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt.

Die Gipskartonplatte hat einen um 68% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 54% verringertes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Kalk-Stroh-Putzträgerplatte und der Lehmputz vereint. Bezüglich des Treibhauspotenzials hat die Gipskartonplatte einen Wert von 2,07825 kg/m² im Gegenzug zu den negativen -4 kg/m² der Kalk-Stroh-Putzträgerplatte und dem Lehmputz vereint.

Die Metallständerkonstruktion, welche mit Glaswolle gefüllt ist, hat ein um 172% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 245% erhöhtes Versauerungspotenzial als die Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. Die Metallständerkonstruktion, mit Glaswolle gefüllt ist, hat ein Treibhauspotenzial von 7,6 kg/m² im Vergleich zu den -4,8 kg/m² der Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist.

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 34% erhöhten U-Wert, einen um 115% höheren Primärenergieinhalt und ein um 52% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau. Der konventionelle Wandaufbau hat ein Treibhauspotenzial von 12 kg/m² im Vergleich zu den -13 kg/m² der ökologischen Bauweise.

Decke:

Tabelle Decke ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	0,4 cm	Lehmoberputz (Levita OP1)	7,2 kg/m ²	2,1312 kWh/m ²	1,00008 kg/m ²	0,0014832 kg/m ²
2	2,2 cm	Kalk-Stroh- Putzträgerplatte (maxit strohpanel)	4,8 kg/m ²	1,0704 kWh/m ²	-6 kg/m ²	0,0040896 kg/m ²
3	7,5 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	1,2 kg/m ²	7,812 kWh/m ²	0,996 kg/m ²	0,005556 kg/m ²
	7,5 cm	Holzständer aus Fichte (14%)	3,8 kg/m ²	1,5808 kWh/m ²	-5,795 kg/m ²	0,0028766 kg/m ²
4	22 cm	Tramdecke aus Fichte (14%)	14,1 kg/m ²	5,8656 kWh/m ²	-21,5025 kg/m ²	0,0106737 kg/m ²
5	14 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	2,5 kg/m ²	16,275 kWh/m ²	2,075 kg/m ²	0,011575 kg/m ²
Σ	46,1 cm		33,6 kg/m²	34,735 kWh/m²	-29,22642 kg/m²	0,0362541 kg/m²

Tabelle Decke konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	1,25 cm	Gipskartonplatte	8,5 kg/m ²	8,925 kWh/m ²	2,07825 kg/m ²	0,003247 kg/m ²
2	7,5 cm	Mineralwolle (WLG032)	1,5 kg/m ²	7,95 kWh/m ²	2,3715 kg/m ²	0,01086 kg/m ²
	7,5 cm	Metallständer (CW-Profil)	1,5 kg/m ²	14,94 kWh/m ²	4,4085 kg/m ²	0,014175 kg/m ²
3	22 cm	Tramdecke aus Fichte (14%)	18,0 kg/m ²	7,488 kWh/m ²	-27,45 kg/m ²	0,013626 kg/m ²
4	14 cm	Dachboden Dämmplatte aus Steinwolle (Knauf Insulation TPD- L)	16,1 kg/m ²	79,212 kWh/m ²	24,9228 kg/m ²	0,117047 kg/m ²
Σ	44,75 cm		45,6 kg/m²	118,515 kWh/m²	6,33105 kg/m²	0,158955 kg/m²

Grafische Gegenüberstellung:

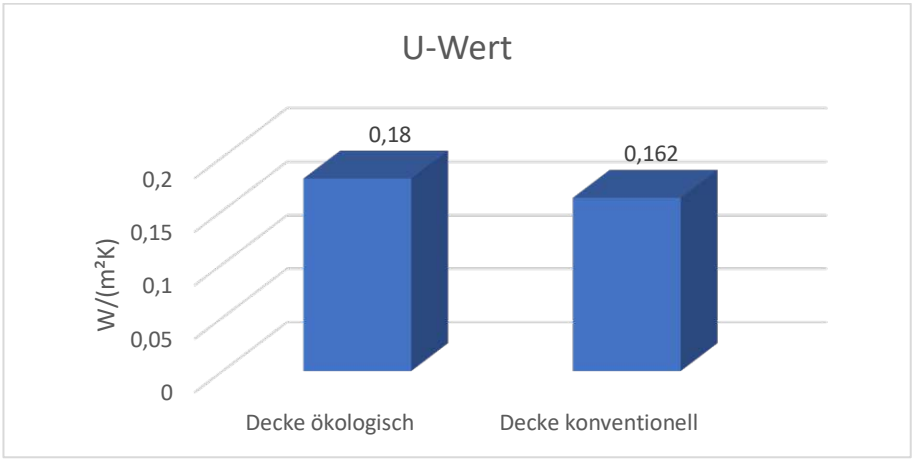


Abbildung 94: U-Wert Decke (eigene Darstellung mittels Excel)

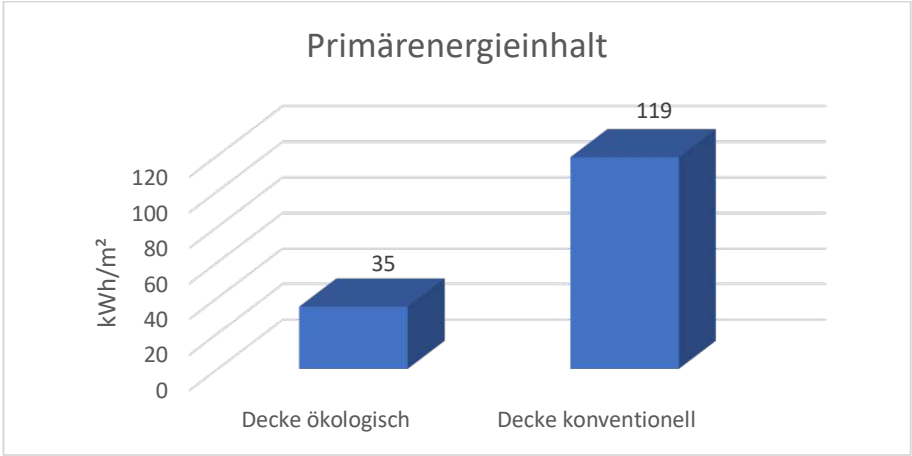


Abbildung 95: Primärenergieinhalt Decke (eigene Darstellung mittels Excel)

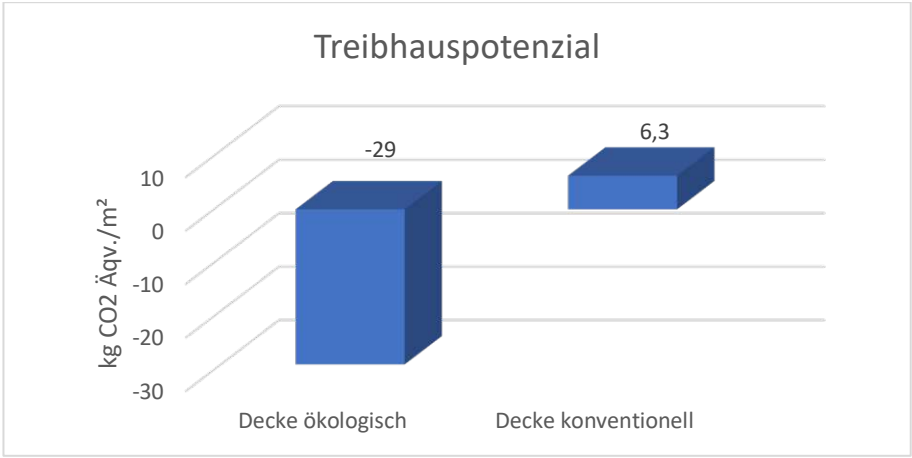


Abbildung 96: Treibhauspotenzial Decke (eigene Darstellung mittels Excel)

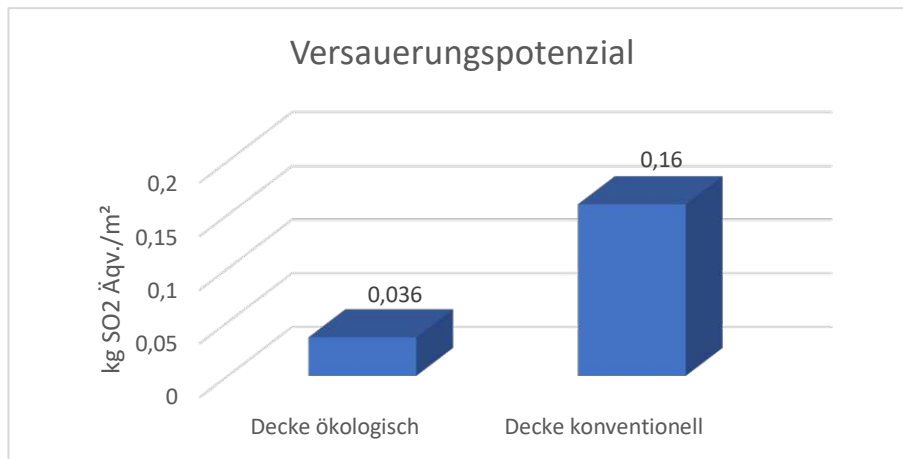


Abbildung 97: Versauerungspotenzial Decke (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen höheren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt.

Die Gipskartonplatte hat einen um 179% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 42% verringertes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als die Kalk-Stroh-Putzträgerplatte und der Lehmputz vereint. Bezüglich des Treibhauspotenzials hat die Gipskartonplatte einen Wert von 2,1 kg/m² im Vergleich zu den negativen -5 kg/m² der Kalk-Stroh-Putzträgerplatte und dem Lehmputz vereint. Die Metallständerkonstruktion, welche mit Mineralwolle gefüllt ist, hat ein um 144% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 197% erhöhtes Versauerungspotenzial als die Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. Die Metallständerkonstruktion, die mit Mineralwolle gefüllt ist, hat ein Treibhauspotenzial von 6,8 kg/m² im Vergleich zu den -4,8 kg/m² der Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. Die Dämmplatte aus Steinwolle hat einen um 387% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 1101% erhöhtes bzw. 12-faches Treibhauspotenzial und ein um 911% erhöhtes bzw. 10-faches Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als herkömmliche Schafwolle.

Der konventionelle Deckenaufbau hat einen um 10% niedrigeren U-Wert, einen um 240% höheren Primärenergieinhalt und ein um 344% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau. Der konventionelle Wandaufbau hat ein Treibhauspotenzial von 6,3 kg/m² im Vergleich zu den -29 kg/m² der ökologischen Bauweise.

Fußboden:

Tabelle Fußboden ökologisch:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	2 cm	Parkett (Eiche)	13,8 kg/m ²	5,7408 kWh/m ²	-21,045 kg/m ²	0,0104466 kg/m ²
2	5 cm	Schafwolle (ISOLENA optimal)	0,8 kg/m ²	5,208 kWh/m ²	0,664 kg/m ²	0,003704 kg/m ²
	5 cm	Holständer aus Fichte (14%)	3,2 kg/m ²	1,3312 kWh/m ²	-4,88 kg/m ²	0,0024224 kg/m ²
3	15 cm	Beton	360 kg/m ²	41,76 kWh/m ²	29,556 kg/m ²	0,0432 kg/m ²
Σ	22 cm		377,8 kg/m ²	54,04 kWh/m ²	4,295 kg/m ²	0,059773 kg/m ²

Tabelle Fußboden konventionell:

#	Dicke	Schicht	Gewicht	Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar)	Treibhauspotential (CO ₂ -Äquivalente)	Versauerungspotenzial (SO ₂ -Äquivalente)
1	2 cm	Parkett (Eiche)	13,8 kg/m ²	5,7408 kWh/m ²	-21,045 kg/m ²	0,0104466 kg/m ²
2	5 cm	Zementestrich (RÖFIX 970)	105 kg/m ²	39,06 kWh/m ²	15,855 kg/m ²	0,033075 kg/m ²
3	0,02 cm	Dampfbremse (PAE-Folie)	0,3 kg/m ²	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
4	5 cm	Hartschaum (XPS 035)	1,8 kg/m ²	44,82 kWh/m ²	5,4216 kg/m ²	0,009108 kg/m ²
5	15 cm	Beton	360 kg/m ²	41,76 kWh/m ²	29,556 kg/m ²	0,0432 kg/m ²
Σ	27,02 cm		480,9 kg/m ²	131,3808 kWh/m ²	29,7876 kg/m ²	0,0958296 kg/m ²

Grafische Gegenüberstellung:

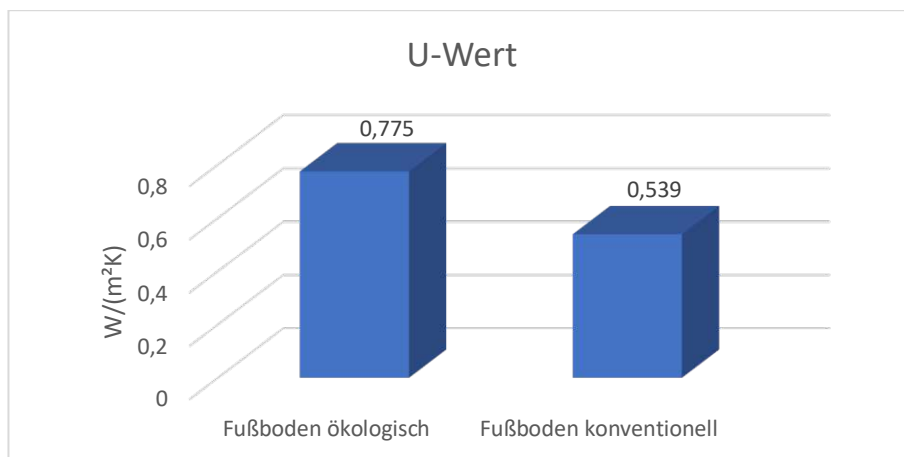


Abbildung 98: U-Wert Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)

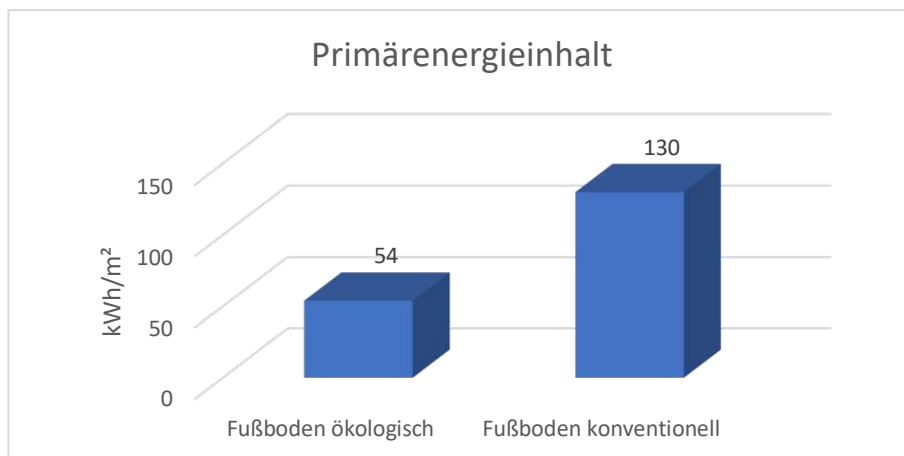


Abbildung 99: Primärenergieinhalt Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)

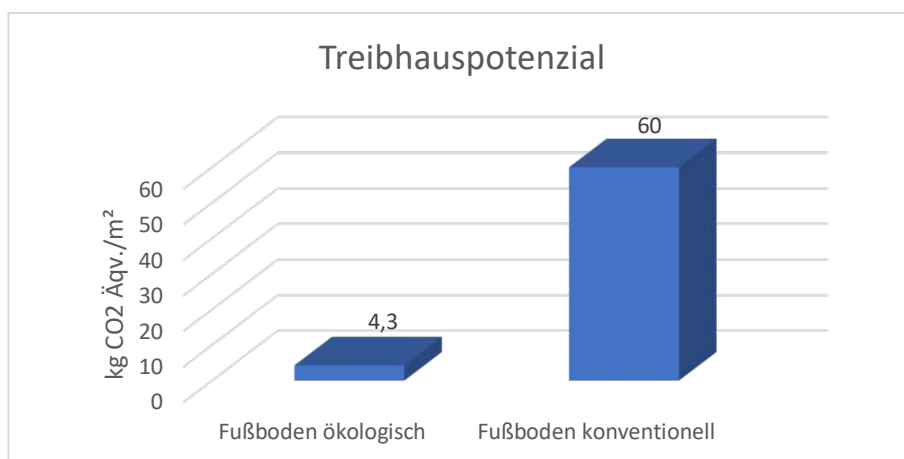


Abbildung 100: Treibhauspotenzial Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)

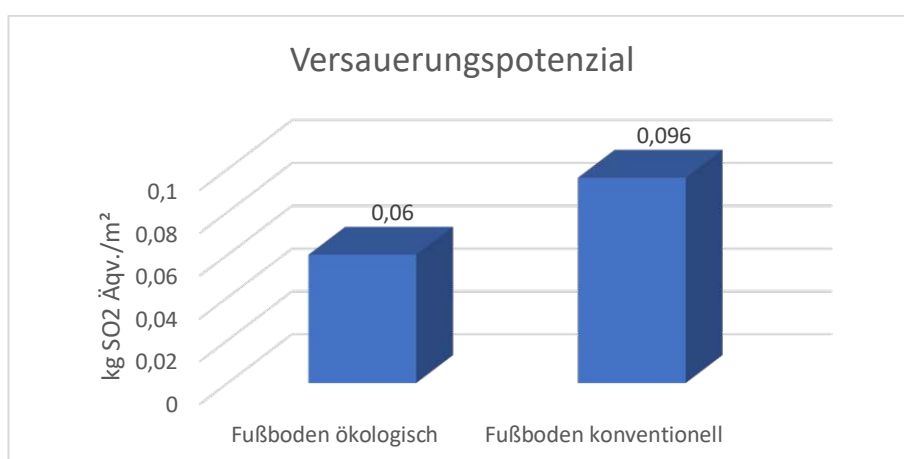


Abbildung 101: Versauerungspotenzial Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)

Anhand der grafischen Gegenüberstellungen und der oben angeführten Excel-Tabellen lässt sich sagen, dass die Bauweise mit Naturbaustoffen einerseits einen höheren U-Wert und andererseits niedrigere Werte bezüglich der Umweltindikatoren besitzt.

Der Zementestrich und die XPS-Platte haben einen um 1183% erhöhten Primärenergieinhalt und ein um 589% erhöhtes Versauerungspotenzial als die Holzständerkonstruktion, welche mit Schafwolle gefüllt ist. In Bezug auf das Treibhauspotenzial hat der konventionelle Aufbau einen Wert von 21,3 kg/m² und die ökologische Bauweise einen Wert von -4,2 kg/m².

Der konventionelle Wandaufbau hat einen um 30% niedrigeren U-Wert, einen um 141% höheren Primärenergieinhalt, ein um 1295% erhöhtes bzw. ein knapp 14-faches Treibhauspotenzial und ein um 60% erhöhtes Versauerungspotenzial als der ökologische Aufbau.

8 Conclusio und Ausblick

Ziel der Masterarbeit war es auf die Notwendigkeit der Verwendung von Naturbaustoffen in der Baubranche aufmerksam zu machen. Des Weiteren wurden die wichtigsten Begrifflichkeiten, ökologischen Zertifikate und Umweltzeichen, das Innenraumklima und die Kreislaufwirtschaft behandelt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde auf die wichtigsten Naturbaustoffe eingegangen, welche in den zwei Best-Practice-Beispielen vorkommen. Zunächst wurden die ökologischen und konventionellen Wand- und Deckenaufbauten der Best-Practice Beispiele genau dargestellt. Die wichtigsten physikalischen Kenngrößen und Umweltindikatoren, mit welchen man den Vergleich dieser Aufbauten angestellt hat, wurden ebenfalls kurz erläutert. Abschließend wurden die Ergebnisse der verschiedenen Aufbauten ausführlich anhand von Excel-Tabellen und grafischen Gegenüberstellungen miteinander verglichen.

Mithilfe der Untersuchung sollte eine Antwort auf die folgende Forschungsfrage gefunden werden:

- Welche Vor- und Nachteile haben natürliche Baustoffe gegenüber herkömmlich verwendeten Materialien in Bezug auf den U-Wert, das Treibhauspotenzial, den Primärenergieinhalt, das Versauerungspotenzial, sowie auf das Innenraumklima, die Wiederverwertung und die Entsorgung?

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die untersuchten Wand- und Deckenaufbauten mit den Materialien Ziegel, Lehm, Stroh, Hanf, Holz, Schafwolle und Kalk im Vergleich zu konventionell verwendeten Materialien wie Stahlbeton, EPS, XPS, Gips, Zement, Glas- sowie Mineralwolle und vielen mehr, zum Großteil, bessere Ergebnisse hinsichtlich der Primärenergieinhalte, der Versauerungspotenziale und der Treibhauspotenziale erzielen.

Die Primärenergieinhalte der nachhaltigen Materialien sind im Allgemeinen geringer als die der konventionellen Materialien. Dies liegt zum einen daran, dass die Herstellung der nachhaltigen Materialien weniger energieintensiv ist und zum anderen daran, dass sie häufig aus nachwachsenden Rohstoffen gewonnen werden. Im

Gegensatz dazu, erfordern die konventionellen Materialien einen hohen Energieaufwand bei der Herstellung und sind oft nicht erneuerbar.

Auch in Bezug auf die Versauerungspotenziale zeigen die meisten nachhaltigen Materialien Vorteile gegenüber den konventionellen Materialien. Die nachhaltigen Materialien weisen in der Regel einen niedrigeren Säuregehalt auf und tragen somit weniger zur Versauerung der Umwelt bei. Dies ist insbesondere auf die natürlichen Eigenschaften der Materialien zurückzuführen, die weniger chemische Zusätze enthalten und somit weniger schädliche Emissionen verursachen.

Darüber hinaus weisen die nachhaltigen Materialien auch geringere Treibhauspotenziale auf. Dies liegt vor allem daran, dass sie während ihrer Herstellung weniger Treibhausgase freisetzen, teilweise sogar binden und ebenfalls eine gute Wärmedämmung bieten. Dadurch kann der Energieverbrauch für Heizung und Kühlung reduziert werden, was wiederum zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen führt.

Des Weiteren wiesen Wand- und Deckenaufbauten mit Naturbaustoffen auch geringere U-Werte auf. Dies bedeutet, dass sie eine bessere Wärmedämmung boten und somit den Energieverbrauch für Heizung und Kühlung reduzierten. Dies trug zur Energieeffizienz der Gebäude bei und führte zu einer weiteren Verringerung der Treibhausgasemissionen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Wand- und Deckenaufbauten mit Naturbaustoffen wie Lehm, Stroh, Hanf, Holz, Schafwolle und Kalk in Bezug auf Primärenergieinhalte, Versauerungspotenziale, Treibhauspotenziale und U-Werte bessere Ergebnisse erzielten als konventionelle Materialien. Ihre Verwendung fördert eine nachhaltige Bauweise, die sowohl ökologische als auch energetische Aspekte berücksichtigt und zu einer Reduzierung der Umweltbelastung beiträgt.

Nun wird noch genauer auf die Ergebnisse der Gegenüberstellungen der unterschiedlichen Materialien eingegangen:

Die gegenständliche Untersuchung bringt hervor, dass die Lehmputze höhere Primärenergieinhalte, Treibhauspotenziale und Versauerungspotenziale besitzen als Gipsmaschinenputze. Lehmbauplatten hingegen haben einen erhöhten Primärenergieinhalt und ein erhöhtes Versauerungspotenzial, aber ein niedrigeres Treibhauspotenzial als Gipskartonplatten.

Diese erhöhten Werte der Produkte aus Lehm, lassen sich durch die hohe Energiemenge, welche vor der Produktion in die Trocknung des Lehms gesteckt wird, erklären. Dafür ist Lehm wiederverwertbar, kompostierbar und kann sehr gut erneut in die Kreislaufwirtschaft eingeführt werden. Des Weiteren hat Lehm viele großartige Vorteile gegenüber Gips, er reinigt die Luft eines Gebäudes, regelt das Raumklima und reguliert den Feuchtigkeitsgehalt eines Innenraums. Deswegen muss man genau abwägen, welche der zwei Stoffe man verwenden will. Gipskartonplatten müssen heutzutage als Sondermüll auf die Mülldeponie gebracht werden, da viele Umwelt- und gesundheitsschädigende Stoffe enthalten sind, Lehmbauplatten hingegen können wiederverwertet oder problemlos deponiert werden.

Die Kalk-Stroh-Putzträgerplatte hingegen hat ein niedrigeres Treibhauspotenzial, einen geringeren Primärenergieinhalt, aber ein höheres Versauerungspotenzial als die Gipskartonplatte. Die Untersuchung hat ebenfalls gezeigt, dass Kalkputze geringere Primärenergieinhalte, niedrigere Treibhauspotenziale und niedrigere Versauerungspotenziale als Kalkzementputze, Silikonharzputze und Gipsmaschinenputze haben.

Die Holzfaserdämmplatte hat ein niedrigeres Treibhauspotenzial, einen niedrigeren Primärenergieinhalt, aber ein höheres Versauerungspotenzials als konventionelles EPS, da eine große Menge an Energie aufgebracht werden muss diese zu pressen und verschiedenste Klebstoffe in der Holzfaserdämmplatte enthalten sind. EPS hingegen wird durch eine chemische Reaktion hergestellt, welche kaum Energie benötigt.

Hanfdämmwolle und die mineralische Dämmschüttung schneidet ebenfalls bei allen drei Umweltindikatoren besser ab als handelsüblicher EPS.

Die gegenständliche Untersuchung hat ebenfalls ergeben, dass Schafwolle einen niedrigeren Primärenergieinhalt, ein niedrigeres Treibhauspotenzial und ein niedrigeres Versauerungspotenzial als Mineral- und Glaswolle hat. Des Weiteren wurde herausgefunden, dass Schafwolle ebenfalls niedrigere Werte bezüglich der OI3-Umweltindikatoren als PU-Hartschaum Dachbodenelemente und sowie XPS-Platten hat. Schafwolle wird aus dem natürlichen Rohstoff der Schafschur gewonnen und ist somit ein nachwachsender und erneuerbarer Rohstoff. Die Herstellung von Schafwolle erfordert im Vergleich zu konventionellen Materialien einen geringeren Energieaufwand und verursacht weniger schädliche Emissionen. Darüber hinaus bietet Schafwolle eine ausgezeichnete Wärmedämmung, was zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung führt und somit die Treibhausgasemissionen verringert. Auch in Bezug auf die Versauerungspotenziale zeigt Schafwolle Vorteile. Sie enthält keine schädlichen chemischen Zusätze und setzt während ihrer Herstellung weniger Säuren frei. Dadurch trägt Schafwolle weniger zur Versauerung der Umwelt bei und sorgt für eine gesündere Raumluftqualität. Ihre natürlichen Eigenschaften und ihre umweltfreundliche Herstellung machen sie zu einer weiteren empfehlenswerten Option für nachhaltiges Bauen.

Um Schaf- oder Hanfwolle bzw. Glas- oder Mineralwolle in einer Wandkonstruktion zu verwenden, muss man diese entweder in eine Holzständer- bzw. Metallständerkonstruktion hineinstopfen. Die Holzständerkonstruktion hat bezüglich aller drei Umweltindikatoren der OI3-Richtlinie deutlich bessere Werte als die Konstruktion aus Metall.

Beton besitzt einen um 30% erhöhten Primärenergieinhalt, ein um 108% erhöhtes Treibhauspotenzial und ein um 25% erhöhtes Versauerungspotenzial pro Quadratmeter als Ziegel bei der selben Wandstärke.

Neben den Vorteilen in Bezug auf die OI3-Richtlinien und den U-Wert haben Naturbaustoffe im Vergleich zu konventionellen Baumaterialien eine Reihe von weiteren Vorteilen.

Erstens sind Naturbaustoffe wie Holz, Lehm, Stroh, Hanf, Schafwolle und Kalk in der Regel lokal verfügbar und erfordern weniger Energie für die Herstellung und den Transport im Vergleich zu konventionellen Baustoffen wie Beton oder Stahl. Dies reduziert den CO₂-Ausstoß und den ökologischen Fußabdruck des Bauprojekts. Des Weiteren wird die lokale Wirtschaft gefördert.

Zweitens bieten diese Materialien eine gute Wärmedämmung und Feuchtigkeitsregulierung, was zu einem angenehmen und gesunden Raumklima führt. Lehm und Kalk haben beispielsweise die Fähigkeit, Feuchtigkeit aufzunehmen und bei Bedarf wieder abzugeben, was zur Vermeidung von Schimmelbildung und zur Verbesserung der Raumluft beiträgt. Stroh und Hanf bieten ebenfalls gute Wärmedämmeigenschaften und können zur Reduzierung des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung beitragen. Darüber hinaus haben Naturbaustoffe oft eine positive Wirkung auf das Raumklima, da sie atmungsaktiv sind und den Austausch von Feuchtigkeit und Luft ermöglichen. Dies führt zu einer verbesserten Luftqualität und das Wohlbefinden der Bewohner kann somit gesteigert werden.

Drittens sind Naturbaustoffe in der Regel recycelbar und biologisch abbaubar, was zu einer geringeren Umweltbelastung führt. Im Gegensatz dazu erzeugen konventionelle Baustoffe oft große Mengen an Abfall und können schwer oder gar nicht zu recyceln sein.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Nachhaltigkeit von Naturbaustoffen ist ihre Wiederverwertbarkeit und ihre Rolle in der Kreislaufwirtschaft. Im Gegensatz zu konventionellen Baustoffen können Naturbaustoffe am Ende ihrer Lebensdauer, wie bereits beschrieben, recycelt oder biologisch abgebaut werden, soweit diese sortenrein bzw. nicht zu stark miteinander verklebt werden. Dies ermöglicht eine effiziente Nutzung der Ressourcen und reduziert die Menge an Abfall, die in Deponien landet. Die Kreislaufwirtschaft fördert auch die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen und den Einsatz von regionalen Materialien. Dies reduziert den Transportaufwand, die damit verbundenen Emissionen und unterstützt wiederum die lokale Wirtschaft.

Darüber hinaus bieten Naturbaustoffe auch optische Vorteile, da sie eine warme und natürliche Atmosphäre schaffen können. Dies kann zu einem verbesserten Wohlbefinden und einer höheren Lebensqualität der Bewohner beitragen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Naturbaustoffe nicht nur positive Auswirkungen auf den U-Wert, die Primärenergieinhalte, die Versauerungspotenziale und die Treibhauspotenziale haben, sondern auch das Innenraumklima verbessern und zur Kreislaufwirtschaft beitragen. Ihre Verwendung fördert ein gesundes und nachhaltiges Bauen, das sowohl ökologische als auch gesundheitliche Aspekte berücksichtigt.

Eine vollständige Antwort auf die Frage, ob Naturbaustoffe eindeutig besser als konventionelle Baustoffe sind, kann nicht gegeben werden, da jedes Material gewisse Vor- und Nachteile mit sich bringt. Im Endeffekt geht es um das Abwägen, welches Material man für welches Bauteil und welchen Zweck verwendet. Kein Material ist in jeder Hinsicht das Beste, dennoch sind Naturbaustoffe sicherlich umweltschonender, aber in der Anschaffung vermutlich ein wenig kostenintensiver als konventionell verwendete Baumaterialien.

Zukünftige Forschung könnte an dieser Arbeit anknüpfen, indem die wirtschaftlichen Aspekte der verschiedenen Materialien genauer untersucht werden. Es wäre äußerst interessant zu wissen, wieviel welche Materialien in der Anschaffung, Verarbeitung und Deponie kosten. Deponiekosten dürfen in diesem Hinblick nicht missachtet werden, da bei Naturbaustoffen kaum Deponiekosten aufgewendet werden müssen.

Der Ausblick auf das Bauen mit Naturbaustoffen zeigt ein großes Potenzial für die Zukunft. Die steigende Nachfrage nach nachhaltigen und umweltfreundlichen Baustoffen wird dazu führen, dass Naturbaustoffe wie Holz, Lehm und Hanf immer häufiger eingesetzt werden.

Eine der wichtigsten Entwicklungen wird die Weiterentwicklung und Optimierung der Herstellungsprozesse von Naturbaustoffen sein. Durch innovative Technologien und Forschung können die Eigenschaften und Verarbeitungsmöglichkeiten von

Naturbaustoffen verbessert werden. Dadurch werden sie noch vielseitiger einsetzbar und können auch in größeren Bauprojekten verwendet werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Förderung und Unterstützung von Naturbaustoffen durch staatliche Institutionen und Bauvorschriften. Durch entsprechende Richtlinien und Anreize können Bauherren und Architekten dazu ermutigt werden, Naturbaustoffe vermehrt einzusetzen. Dies könnte beispielsweise durch finanzielle Unterstützung oder steuerliche Vorteile geschehen.

Zudem wird die Sensibilisierung der Gesellschaft für nachhaltiges Bauen eine entscheidende Rolle spielen. Durch Aufklärungskampagnen und Informationsveranstaltungen können die Vorteile von Naturbaustoffen vermittelt werden. Dadurch wird das Bewusstsein für ökologisches Bauen gestärkt und die Nachfrage nach Naturbaustoffen weiter steigen.

Ein weiterer Trend, der sich abzeichnet, ist die Kombination von Naturbaustoffen mit moderner Technologie. Durch den Einsatz von Smart-Home-Systemen und energieeffizienten Lösungen können Naturbaustoffe noch effektiver genutzt werden. So können beispielsweise Holzhäuser mit intelligenten Heiz- und Lüftungssystemen ausgestattet werden, um den Energieverbrauch weiter zu reduzieren.

Darüber hinaus wird die Integration regenerativer Energiesysteme in Gebäude eine immer wichtigere Rolle spielen. Solarenergie, Windenergie, Geothermie und Biomasse werden verstärkt genutzt, um den Energiebedarf von Gebäuden zu decken und den Einsatz fossiler Brennstoffe zu reduzieren. Die Entwicklung effizienter Energiespeichersysteme wird ebenfalls vorangetrieben, um die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien zu maximieren.

Zu guter Letzt lässt sich sagen, dass das Bauen mit Naturbaustoffen eine vielversprechende Zukunft hat. Durch technologische Weiterentwicklungen, staatliche Unterstützung und eine gesteigerte Sensibilität der Personen in der Baubranche wird nachhaltiges Bauen immer kostengünstiger, effizienter und hoffentlich immer populärer. Somit kann der Bausektor in Zukunft einen positiven Beitrag für den Klimawandel leisten.

Insgesamt wird das Bauen mit Naturbaustoffen und regenerativen Energiesystemen in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen. Es bietet die Möglichkeit, nachhaltige und energieeffiziente Gebäude zu schaffen, die sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bieten. Durch die Kombination von Naturbaustoffen und regenerativen Energiesystemen können wir eine nachhaltige und klimafreundliche Bauweise vorantreiben und einen positiven Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels leisten.

Literatur- bzw. Quellenverzeichnis

- Artelt, H. (2014). *Biologisch bauen, renovieren, wohnen: Handbuch für Bauherren und Architekten*. Reimer, Berlin.
- Bäuerle, H., & Lohmann, M.-T. (2021). *Ökologische Materialien in der Baubranche: Eine Übersicht der Möglichkeiten und Innovationen*. Springer Vieweg, Wiesbaden.
- Coutalides, R., & Sträuli, W. (2015). *Innenraumklima: Wege zu gesunden Bauten* (3. Auflage). Wird Verlag, Zürich.
- Elbers, U. (2022). Ressourcenschonendes Bauen – Wege und Strategien der Tragwerksplanung. *Bautechnik*, 99(1), 57–64.
<https://doi.org/10.1002/bate.202100114>
- Fouad, N. A. (Hrsg.). (2022). *Holzbau*. Ernst & Sohn, Berlin.
- Gruber, H., Gruber, A., & Santler, H. (2012). *Neues Bauen mit Stroh in Europa* (4., völlig überarb. u. erg. Aufl.). Ökobuch, Staufen.
- Hoffmann, L., Heiden, B., & Holschemacher, K. (2021). Zum ökobilanziellen Vergleich auf Bauteilebene. *Bautechnik*, 98(4), 277–284.
<https://doi.org/10.1002/bate.202000087>
- Holzmann, G., & Wangelin, M. (2009). *Natürliche und pflanzliche Baustoffe: Rohstoff - Bauphysik - Konstruktion* (1. Auflage). Vieweg + Teubner, Wiesbaden.
- Knecht, K., Sigrist, D., (2019). *Vergleich der beiden Lüftungskonzepte der Siedlung Klee bezüglich Ökologie und Ökonomie*. Sustainable Solutions GmbH, Zürich.
- Liedl, P., & Rühm, B. (2019). *Gesundes Bauen und Wohnen: Baubiologie für Bauherren und Architekten* (1. Auflage). Deutsche Verlags-Anstalt, München.

Nagler, F. (Hrsg.). (2022). *Einfach Bauen: Ein Leitfaden*. Birkhäuser, Berlin.

Pech, A., & Bauer, G. (Hrsg.). (2016). *Holz im Hochbau: Theorie und Praxis*. Birkhäuser, Berlin.

Stahr, M. (2018). *Sanierung von baulichen Anlagen: Nachhaltig – Ökologisch – Umweltgerecht*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.

Schönburg, K. (2017). *Lehmbauarbeiten*. (2., überarbeitete und ergänzte Auflage). Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Schroeder, H. (2019). *Lehmbau: Mit Lehm ökologisch planen und bauen*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.

Willems, W. M., Schild, K., & Stricker, D. (2019). *Formeln und Tabellen Bauphysik: Wärmeschutz – Feuchteschutz – Klima – Akustik – Brandschutz*. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.

Internetquellen:

Baobook (o. D.): Datenbank. <https://www.baobook.at/zentrale/> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Baobook (o. D.): OI3 – Ökoindex 3
<https://www.baobook.info/de/oekoprogramme/oekoindex/downloads/oi-folder.pdf> -
 abgerufen am: 10. Juli 2023

Baunetzwissen (o.D.): Sd-Wert.
<https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/feuchteschutz/sd-wert-4384605>
 - abgerufen am: 10. Juli 2023

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2013): Ozonbildungspotenzial (POCP).

https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/unterrichtsgebaeude/neubau/v_2013/BNB_UN2013_113.pdf - abgerufen am: 10. Juli 2023

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): Ozonschichtabbaupotenzial (ODP).

https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2011_1/BNB_BN2011-1_112.pdf – abgerufen am: 10. Juli 2023

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): Überdüngungspotenzial (EP).

https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/fileadmin/steckbriefe/verwaltungsgebaeude/neubau/v_2011_1/BNB_BN2011-1_115.pdf - abgerufen am: 10. Juli 2023

Isolena (o. D.): Raumlufte verbessern für ein gesundes Wohnen.

<https://www.isolena.com/de/know-how/raumlufte-verbessern.html> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Isolena (o. D.): Schafwollämmung.

<https://www.isolena.com/de/schafwolldaemmung.html> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Klimaaktiv (2022): Österreichisches Umweltzeichen.

<https://www.klimaaktiv.at/haushalte/einkaufen/umweltzeichen.html> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Klimaaktiv (o. D.): Über uns. <https://www.klimaaktiv.at/ueber-uns.html> - abgerufen am:

10. Juli 2023

Klima- und Energiefonds (o. D.): Brennpunkt Gebäudesektor: Nachhaltig bauen und leistungsfähig wohnen ist kein Widerspruch.

<https://www.klimafonds.gv.at/press/brennpunkt-gebaeudesektor-nachhaltig-bauen-und-leistungsfähig-wohnen-ist-kein-widerspruch/> - abgerufen am: 10. Juli

Natureplus (o. D.): <https://www.natureplus.org/> - abgerufen am: 10. Juli 2023

net4energy (o.D.): Co₂-Äquivalent. <https://www.net4energy.com/wiki/co2-%C3%A4quivalent> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o. D.): Ökobilanzen. <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekobilanzen> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (o. D.): Umweltindikatoren. <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/ibo-richtwerte-fuer-baumaterialien/treibhauspotenzial-primarenergieverbrauch-versauerungspotenzial> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Ubakus (o. D.): U-Wert Rechner <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner> - abgerufen am: 10. Juli 2023

Umwelt Bundesamt (22.06.2022): Lachgas und Methan. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/landwirtschaft/umweltbelastungen-der-landwirtschaft/lachgas-methan> – abgerufen am: 31.07.2023

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verteilung der Energie und CO ₂ -Emissionen in den unterschiedlichen Sektoren (Elbers, 2022).....	1
Abbildung 2: Verteilung der Emissionen eines Gebäudes (Elbers, 2022).....	3
Abbildung 3: Lebenszyklusanalyse DIN EN 15987 (Elbers, 2022)	3
Abbildung 4: Phasen der Ökobilanz (Hoffmann et al., 2021).....	8
Abbildung 5: IBO Prüfzeichen 1 (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.).....	9
Abbildung 6: IBO Prüfzeichen 2 (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, o. D.).....	9
Abbildung 7: Natureplus (Natureplus, o. D.).....	10
Abbildung 8: Österreichisches Umweltzeichen (Klimaaktiv, 2022)	10
Abbildung 9: Innenraumklima (Coutalides & Sträuli, 2015).....	15
Abbildung 10: Neubau in Gols, Straßenansicht (eigene Aufnahme).....	25
Abbildung 11: Schnitt Neubau (Hirschmugl, 2022)	26
Abbildung 12: Plan Kellergeschoss (Hirschmugl, 2022).....	26
Abbildung 13: Plan Erdgeschoss (Hirschmugl, 2022)	27
Abbildung 14: Plan Obergeschoss (Hirschmugl, 2022).....	27
Abbildung 15: Neubau in Gols, Gartenansicht (eigene Aufnahme)	28
Abbildung 16: Neubau in Gols, Wohnzimmer (eigene Aufnahme)	28
Abbildung 17: Neubau in Gols, Küche (eigene Aufnahme).....	28
Abbildung 18: Neubau in Gols, Dachboden mit Schafwolle (eigene Aufnahme).....	29
Abbildung 19: Neubau in Gols, Keller (eigene Aufnahme)	29
Abbildung 20: Neubau in Gols, Wandaufbau Innenwand nicht tragend (eigene Aufnahme).....	29
Abbildung 21: Wandaufbau Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	30
Abbildung 22: Wandaufbau Außenwand Kellergeschoss (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	31
Abbildung 23: Wandaufbau Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels ubakus.de).....	31
Abbildung 24: Wandaufbau Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	32

Abbildung 25: Wandaufbau Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	32
Abbildung 26: Wandaufbau Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	33
Abbildung 27: Fußbodenaufbau Kellergeschoss (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	33
Abbildung 28: Fußbodenaufbau EG + OG (eigene Darstellung mittels ubakus.de)..	34
Abbildung 29: Fußbodenaufbau Garage (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	34
Abbildung 30: Fußbodenaufbau Dachboden (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	34
Abbildung 31: Wandaufbau Wohngebäude konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	35
Abbildung 32: Wandaufbau Außenwand Keller konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	35
Abbildung 33: Außenwand Wohngebäude zu Garage konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de).....	36
Abbildung 34: Wandaufbau Außenwand Garage konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	36
Abbildung 35: Wandaufbau Innenwand tragend konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	37
Abbildung 36: Wandaufbau Innenwand nicht tragend konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de).....	37
Abbildung 37: Fußbodenaufbau Kellergeschoss konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	38
Abbildung 38: Fußbodenaufbau EG +OG konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	38
Abbildung 39: Fußbodenaufbau Garage konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	39
Abbildung 40: Fußbodenaufbau Dachboden konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	39
Abbildung 41: Revitalisiertes Bauernhaus in Hollern, Straßenansicht (eigene Aufnahme).....	40
Abbildung 42: Plan Bauernhaus Höllern (eigene Darstellung).....	41

Abbildung 43: Revitalisiertes Bauernhaus in Hollern, Gartenansicht (eigene Aufnahme).....	42
Abbildung 44: Wandaufbau Außenwand feucht (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	43
Abbildung 45: Wandaufbau Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	43
Abbildung 46: Wandaufbau Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	44
Abbildung 47: Deckenaufbau (eigene Darstellung mittels ubakus.de).....	44
Abbildung 48: Bodenaufbau (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	45
Abbildung 49: Wandaufbau Außenwand feucht konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	45
Abbildung 50: Wandaufbau Außenwand trocken konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	46
Abbildung 51: Wandaufbau Innenwand nicht tragend konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de).....	46
Abbildung 52: Fußbodenaufbau Dachboden konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	47
Abbildung 53: Fußbodenaufbau konventionell (eigene Darstellung mittels ubakus.de)	47
Abbildung 54: U-Wert Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)	57
Abbildung 55: Primärenergieinhalt Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)	57
Abbildung 56: Treibhauspotenzial Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)	58
Abbildung 57: Versauerungspotenzial Außenwand Wohngebäude (eigene Darstellung mittels Excel)	58
Abbildung 58: U-Wert Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel)	60
Abbildung 59: Primärenergieinhalt Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel).....	60

Abbildung 60: Treibhauspotenzial Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel).....	61
Abbildung 61: Versauerungspotenzial Außenwand Wohngebäude zu Garage (eigene Darstellung mittels Excel).....	61
Abbildung 62: U-Wert Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel).....	63
Abbildung 63: Primärenergieinhalt Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)	63
Abbildung 64: Treibhauspotenzial Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)	63
Abbildung 65: Versauerungspotenzial Außenwand Garage (eigene Darstellung mittels Excel)	64
Abbildung 66: U-Wert Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel).....	65
Abbildung 67: Primärenergieinhalt Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	66
Abbildung 68: Treibhauspotenzial Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	66
Abbildung 69: Versauerungspotenzial Innenwand tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	66
Abbildung 70: U-Wert Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel).....	68
Abbildung 71: Primärenergieinhalt Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	69
Abbildung 72: Treibhauspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	69
Abbildung 73: Versauerungspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	69
Abbildung 74: U-Wert Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)	72
Abbildung 75: Primärenergieinhalt Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)	72
Abbildung 76: Treibhauspotenzial Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)	72
Abbildung 77: Versauerungspotenzial Fußboden EG + OG (eigene Darstellung mittels Excel)	73
Abbildung 78: U-Wert Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel) ...	74

Abbildung 79: Primärenergieinhalt Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)	75
Abbildung 80: Treibhauspotenzial Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)	75
Abbildung 81: Versauerungspotenzial Fußboden Dachboden (eigene Darstellung mittels Excel)	75
Abbildung 82: U-Wert Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel).....	79
Abbildung 83: Treibhauspotenzial Außenmauer feucht (eigene Darstellung mittels Excel)	79
Abbildung 84: Primärenergieinhalt Außenmauer feucht (eigene Darstellung mittels Excel)	79
Abbildung 85: Versauerungspotenzial Außenmauer feucht (eigene Darstellung mittels Excel)	80
Abbildung 86: U-Wert Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel).....	82
Abbildung 87: Primärenergieinhalt Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)	82
Abbildung 88: Treibhauspotenzial Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)	82
Abbildung 89: Versauerungspotenzial Außenmauer trocken (eigene Darstellung mittels Excel)	83
Abbildung 90: U-Wert Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	84
Abbildung 91: Primärenergieinhalt Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	85
Abbildung 92: Treibhauspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	85
Abbildung 93: Versauerungspotenzial Innenwand nicht tragend (eigene Darstellung mittels Excel)	85
Abbildung 94: U-Wert Decke (eigene Darstellung mittels Excel)	88
Abbildung 95: Primärenergieinhalt Decke (eigene Darstellung mittels Excel).....	88
Abbildung 96: Treibhauspotenzial Decke (eigene Darstellung mittels Excel).....	88
Abbildung 97: Versauerungspotenzial Decke (eigene Darstellung mittels Excel)....	89
Abbildung 98: U-Wert Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel).....	90
Abbildung 99: Primärenergieinhalt Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)...	91

Abbildung 100: Treibhauspotenzial Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)..	91
Abbildung 101: Versauerungspotenzial Fußboden (eigene Darstellung mittels Excel)	
.....	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Neubau Wandaufbauten ökologisch (eigene Darstellung mittels Excel)..	54
Tabelle 2: Neubau Deckenaufbauten ökologisch (eigene Darstellung mittels Excel)	54
Tabelle 3: Neubau Wandaufbauten konventionell (eigene Darstellung mittels Excel)	
.....	54
Tabelle 4: Neubau Deckenaufbauten konventionell (eigene Darstellung mittels Excel)	
.....	55
Tabelle 5: Sanierung ökologisch (eigene Darstellung mittels Excel)	77
Tabelle 6: Sanierung konventionell (eigene Darstellung mittels Excel).....	77