

Diplomarbeit

Holzleichtbeton-Verbundbauweise: Ökologische und ökonomische Bewertung im Rahmen der Entwurfsplanung

**ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
eines Diplom-Ingenieurs,
unter der Leitung von**

Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. Alireza Fadaei

Institut für Architekturwissenschaften, E 259.2 Abteilung für Tragwerksplanung
und Ingenieurholzbau

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Waldemar Stefan Witkowski

0526472

E066/443

Wien, am 27.12.2018

Kurzfassung

In der Architektur gibt es eine Vielzahl von möglichen Planungsansätzen und Materialien. Ein besonders wichtiger Ansatz ist der schonende Umgang mit den zur Verfügung stehenden Ressourcen. Die Wahl der Baumaterialien kann zur Ressourcenschonung einen erheblichen Anteil beitragen. Holzleichtbeton ist Beton mit Beimischung von Holzspänen, welche aus Reststoffen aus der Holzindustrie stammen können. Da bei Holzleichtbeton der nachwachsende Rohstoff Holz eingesetzt wird, ist dies der Ökologie besonders zuträglich. Diese Diplomarbeit befasst sich daher mit dem Thema Holzleichtbeton und Holzleichtbeton-Verbundbauweisen. Es werden verschiedene Vorkommnisse von Holzleichtbeton näher betrachtet und anhand von ökologischen, ökonomischen und bauphysikalischen Kriterien beleuchtet. Es werden die Eigenschaften der Wärmedämmung, Schalldämmung, Duktilität und des Brandschutzes behandelt. Mit Hilfe der SWOT-Analyse wird der Frage nachgegangen für welche Einsatzgebiete sich Holzleichtbeton gut eignet und in welchen Gebieten noch Einsatzpotential herrscht. Dabei werden die Einsatzgebiete für tragende Außenwandsysteme, Innenwände und Zwischendecken, als auch der Einsatz als Dämmstoff analysiert. Mit Hilfe der Anwendung von Ökoindex 3 und der LCA (Ökobilanz) werden Kennwerte verglichen um Vorteile und Nachteile zu eruieren. Bauphysikalisch gesehen ist Holzleichtbeton sehr vielseitig einsetzbar, vorallem auch im Einsatz als Verbund. Weiters wird eine Ökobilanzierung des gesamten Lebenszyklus eines Holzmantelbetonsteins durchgeführt, wobei hier auch die Errichtungsphase eine große Rolle spielt. Im Zuge der Diplomarbeit werden Vergleiche von Holzmantelbeton, mit anderen gängigen Baumaterialien wie Ziegeln und Betonfertigteilen durchgeführt. Es wird auch ein ökologischer Vergleich von Holzleichtbeton als Dämmstoff, mit anderen Dämmmaterialien wie Steinwolle und EPS durchgeführt. Weiters wird Holzleichtbeton auch als alleiniges Wandelement näher betrachtet, wobei sich zeigt dass gute Dämmeigenschaften bei sehr ökologischer Bauweise zu erreichen sind. Holzleichtbeton ist ein sehr vielseitig einsetzbarer Baustoff und sollte daher in Zukunft weiterhin berücksichtigt werden.

Abstract

In Architecture there are a lot of different ways, on how to approach the planning of a building project and its materials. It is very important to use our resources in the most efficient way there possibly is. The choice of the right building materials can make a big difference in the environment. Every possible way to save resources can be helpful in the future. Wood-based concrete is concrete with extra wood chips added. Those wood chips can come from the wood product industry, as they are leftovers from the crafting of wood products. And the use of wood products is of course very environmentally friendly, as it is a renewable resource.

The main theme of this diploma thesis is wood-based concrete and wood-based concrete composite constructions. Different variations of wood-based concrete are considered in detail and are analysed on the basis of ecological, economical and physical criteria. We will be looking into the characteristics of insulation, sound absorption, ductility and fire prevention. With the help of the SWOT analysis we will find out which areas of application are most suitable for wood-based concrete and in which areas there is still potential. We will look closer into possible areas of application such as, external wall systems, interior walls, ceilings, as well as the use as insulation material. Wood-based concrete is very versatile, especially as composite.

Furthermore we will do analyses of OI3 (Ökoindex 3) and Life Cycle Assessment (LCA) of different wood-based concretes and other materials to use it as optimizing tools for different constructions. We will also compare wood-based concretes with other insulations materials. Wood-based concrete is a very versatile Building material and should be taken into consideration.

Danksagungen

Dankbar bin ich, dass ich an viele schöne, interessante und auch anstrengende Erlebnisse während meines Studiums zurückdenken darf. Vorallem hat mich das Studium viel über mich gelehrt.

Größter Dank gilt meiner Mutter, die mich immer ausdauernd bei allem unterstützt hat, was auch immer ich vor hatte. Sie wird mir immer ein Vorbild an Gutmütigkeit, Zuverlässigkeit und Zielstrebigkeit sein. Dank gilt auch meinem Vater, der mir mit seiner unkonventionellen Art auch ein Vorbild in vielerlei Dinge ist. Vielen Dank an Vanessa, die mich sehr unterstützt und mir geholfen hat.

Großer Dank gilt auch Professor Dipl.-Ing. Dr. Alireza Fadaei, welcher viel Verständnis hatte und mir sehr kompetent zur Seite gestanden hat.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	2
Abstract	3
Inhaltsverzeichnis	5
1 Einleitung	7
1.1 Motivation	9
1.2 Nachhaltiges Nutzen von Gebäuden	10
1.3 Problemstellung.....	11
1.4 Stand der Forschung	11
1.5 Methodik	12
1.5.1 Literaturrecherche.....	12
1.5.2 SWOT-Analyse	12
1.5.3 Ökologische Kennzahlen, Ökoindex	14
2 Nachhaltiges Bauen	15
2.1 Aspekte nachhaltigen Bauens	15
2.2 Ökonomische Aspekte.....	18
2.2.1 Marktwert und Werterhaltung	19
2.3 Ökologische Aspekte	20
2.3.1 Ressourcenschutz	20
2.3.2 Auswirkungen auf die Umgebung	21
2.3.3 Ökobilanz.....	22
2.4 Zufriedenheit der Nutzer und funktionale Qualitäten.....	23
2.4.1 Gesundheit, Behaglichkeit, Sicherheit.....	24
2.5 Bewertung mittels Ökoindex 3	26
2.5.1 Baustoffschicht-Bewertung ΔOI_3	27
2.5.1 Optimierung im Planungsprozess	28
2.5.2 Aspekte zur Baustoffauswahl	29
2.6 ÖKOBILANZ LCA lt.ÖNORM EN ISO 14040/-44, ÖNORM EN 15804	30
3 Holzleichtbeton	34
3.1 Ausgangsstoffe.....	37
3.1.1 Holz	37
3.1.2 Beton	39
3.1.3 Leichtbeton	42
3.2 Holzleichtbeton Verbundwerkstoffe	43
3.2.1 Holzspanbeton.....	43
3.2.2 Holzspanbetonmantelsteine	45
3.2.3 Holzwolleleichtbauplatten	45
3.2.4 weiterer Holzleichtbeton-Verbundbau	46
3.3 Eigenschaften von Holzleichtbeton	46
3.4 Hochbaukonstruktionen mit Holzleichtbeton	50
3.5 SWOT-Analyse Holzleichtbeton.....	52
3.5.1 Kombination der Eigenschaften	53
3.6 Kennwertberechnung und Kostenermittlung von Konstruktionen mit Holzleichtbeton.....	55

4	Holzleichtbetonverbundbauweise - Vergleichswerte	65
4.1	Vergleichswerte von Hochbaukonstruktionen	66
4.2	Vergleichswerte für Dämmstoffe	72
4.3	Vergleichswerte - Holzwolle	75
4.4	ÖKOBILANZIERUNG- Holzmantelbetonsteine	78
4.4.1	Technische Daten	78
4.4.2	Lebenszyklusbeschreibung.....	78
4.4.1	Ökobilanz.....	80
4.4.2	Analyse – Holzmantelbeton und Mauerziegel	89
4.4.3	Analyse – Betonbauweise	93
4.4.4	Analyse – Dämmstoffe	95
5	Diskussion	97
5.1	Holzleichtbeton in Hochbaukonstruktionen.....	98
5.2	Holzleichtbeton als Dämmstoff	103
5.3	Wohnungstrennwand und Zwischendecke	105
5.4	Holzleichtbeton und Ökonomie	106
5.5	Einordnung der Resultate in die Entwurfsplanung	107
6	Schlussfolgerung	109
6.1	Künftige Forschung	112
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	114
8	Abbildungsverzeichnis	117
9	Tabellenverzeichnis	119



1 Einleitung

Wir alle leben auf einem Planeten mit einer erschöpflichen Menge an Rohstoffen. Diese verwenden wir täglich, ohne uns besonders darüber im Klaren zu sein wo sie herkommen und wie viel Energie bereits verwendet wurde, um dieses oder jenes Produkt herzustellen. Erst langsam verankert sich in unserem Bewusstsein, dass jene Rohstoffe bzw. die Energien zum Herstellen von Produkten keinesfalls selbstverständlich sind. Daher muss mit diesen Dingen verantwortungsvoll umgegangen werden.

Eine besonders große Bedeutung beim Rohstoffverbrauch und beim Energieverbrauch nimmt die Bauindustrie ein. Weltweit verbraucht der Bausektor etwa 50 % des jährlichen Gesamtenergieverbrauchs und zählt somit zu den Hauptverursachern von Treibhausgasemissionen. Deshalb muss ein Umdenken stattfinden, welches global in vielen Bereichen und vor allem aber auch in der Bauindustrie, zu Nachhaltigkeit führen muss. Es wird daher in dieser Diplomarbeit der Frage nachgegangen, in wie weit Holzleichtbeton zur Nachhaltigkeit beitragen kann.

Gegenwärtig leben wir in einem „Cradle to Grave“ – Kreislauf „Von der Wiege bis zur Bahre“ in dem Möbel, Computer, Häuser usw. nur für den Zeitraum der direkten Verwendung geplant und konzeptioniert werden. Nach dem Zyklus der direkten Verwendung werden die hergestellten Produkte schließlich zu Abfall.

Nun wurde in den letzten Jahren von dem Architekten William McDonough und dem Chemiker Michael Baumgart ein neuer Ansatz mit der Bezeichnung „Cradle to Cradle“ entwickelt. Mit der Übersetzung „Von der Wiege zur Wiege“ bedeutet dies, Produkte und Güter so herzustellen und zu planen, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus nicht zu Abfall werden, sondern möglichst verlustfrei in ihre biologischen und technischen Kreisläufe zurückgeführt werden können. So soll die Produktion auf die Wiederverwertbarkeit der Erzeugnisse abzielen. Der „Cradle to Cradle“ – Ansatz lässt sich gut auf die Bauindustrie anwenden.

Um dieses Konzept durchzuführen muss bereits im Vorhinein, bei der Konstruktion, über viele Aspekte entschieden und diese genau geplant werden.

Somit können Häuser, die eines Tages nicht mehr gebraucht werden, in ihre Einzelemente zerlegt und für ein anderes Bauvorhaben wieder verwendet werden. Dabei hat die Wahl der Baustoffe natürlich eine große Bedeutung. Daher soll bei dieser Diplomarbeit mit Hilfe von ökologischen Kennzahlen, Vergleiche von Holzleichtbeton mit weiteren Verbundsystemen und anderen Baumaterialien durchgeführt werden. Es sollen Optimierungspotenziale, Schwachstellen und Risiken aufgezeigt werden.

Weiters sind Veranschaulichungen, Tabellen, Vergleiche und Näherungsansätze zur ökologischen und ökonomischen Beurteilung der Bauteile (Wände, Decken) zu beleuchten.

1.1 Motivation

Die verschwenderische Lebensweise, welche die Menschheit im Allgemeinen zurzeit aufweist, scheint es notwendig zu machen, ein Umdenken voranzutreiben. Es ist an der Zeit, dass dieses Umdenken stattfindet, da es sonst sehr bald zu weltweiten Katastrophen und Kriegen, durch Ressourcenverknappung kommen könnte. Da ca. die Hälfte der weltweiten Ressourcen für das Bauen verwendet wird, wäre ein bewusster Umgang mit jenen Ressourcen äußerst effektiv, ökologisch und in weiterer Folge auch ökonomisch. Schließlich würden dann alle Beteiligten davon profitieren und es käme zu einer win-win Situation. Um dies realisieren zu können, muss bereits in der Planung, Konstruktion und Konzeption von Gebäuden, dieses Thema aufgegriffen und bearbeitet werden. Somit sind Bauherren, Bauträger und Architekten in der Lage und vor allem in der Verantwortung, ökologische Bauweisen zu bewerten, die Vor- und Nachteile abzuwiegen um somit das beste mögliche Ergebnis zu erreichen. Um dies zunächst in einem kleinen Bereich zu forcieren, soll mit dieser Diplomarbeit ein Überblick in der Verwendung von Holzleichtbeton und Holzleichtbeton-Verbundbauweisen, in Hinblick auf Nachhaltigkeit, Ökologie und Wirtschaftlichkeit, veranschaulicht werden.

Holzleichtbeton wird bereits in verschiedensten Formen angeboten. Von Holzwolle mit einem hohem Holzanteil und einer niedrigen Dichte (380 kg/m^3), über Holzspanbeton mit einer höheren Dichte (1000 kg/m^3), bis hin zu Holzmantelverbundsteinen, welche im Verbund mit weiteren Materialien zur Verwendung kommen. Es werden daher im weiteren Verlauf dieser Arbeit verschiedene Holzleichtbetonprodukte näher betrachtet und die Einsetzbarkeit begutachtet.

1.2 Nachhaltiges Nutzen von Gebäuden

Bauten und Gebäude die errichtet werden, unterliegen immer einem gewissen Zweck. Es soll der Bedarf an Bedürfnissen und Funktionen gedeckt werden, die es notwendig gemacht haben, jenes Gebäude zu planen. Innerhalb der lokalen Umwelt, in welcher gebaut wird, müssen die durchaus komplexen Zusammenhänge und Systeme beachtet werden, um dem Nutzer die Qualität und Zufriedenheit bei der Nutzung des Gebäudes zu ermöglichen. Die gesetzlichen Anforderungen müssen eingehalten werden, genauso wie die vereinbarten Rahmen- und Randbedingungen. Weiters muss auch bestmöglich auf die Gesundheit des Nutzers geachtet werden, um so ein optimales Raumklima und ausreichende Räume zur Erholung zu bieten. Diese Faktoren haben unter anderem Einfluss auf den ökonomischen Wert des Gebäudes, da zufriedene und gesunde Nutzer zur Erhaltung und Pflege der Gebäudesubstanz, über den gesamten Lebenszyklus, beitragen. Dies hat dann schließlich Folgen auf Energie- und Stoffströme der lokalen und globalen Umwelt, und trägt somit einen wesentlichen Anteil zur Nachhaltigkeit bei.

Es herrscht also eine Verantwortung gegenüber der Umwelt und der Gesellschaft, nicht nur die Wirtschaftlichkeit zu garantieren, sondern auch die ökologischen und sozialen Anforderungen an Gebäuden zu definieren und sicherzustellen. Um soziale Qualität zu erreichen, muss auch auf die gestalterische und städtebauliche Qualität geachtet und auch der kulturelle Wert von vorhandener Bausubstanz berücksichtigt werden.

Um all diese Qualitäten zu erreichen ist es erforderlich, dass alle die am Planen und Errichten von Gebäuden beteiligt sind, ihren persönlichen Einflussbereich, in Bezug zum gesamten Lebenszyklus des Gebäudes, sehen und Möglichkeiten bedenken, die der Nachhaltigkeit in einem positiven Ausmaß zuträglich sind. Es muss darauf geachtet werden ganzheitlich und langfristig zu planen und nicht nur auf kurzfristigen und maximalen wirtschaftlichen Gewinn hinzusteuern.

„Nachhaltigkeit ist die Verbindung von wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit mit ökologischer Verantwortung und sozialer Gerechtigkeit.“ [6]

1.3 Problemstellung

Holzleichtbeton ist ein Werkstoff dessen ersten Entwicklungen bereits in den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts begonnen haben. Damals wurden Holzspäne mit Zement als Bindemittel zu Holzspanbeton verarbeitet. Ende der 60er Jahre hat wurde vermehrt damit begonnen, einheimische Hölzer zur Baustofferzeugung heranzuziehen, um ökonomische Einsparungen zu erreichen. Heutzutage wird dieses Thema aus weiteren Blickwinkeln betrachtet, nämlich denen der Ökologie und der Nachhaltigkeit. Aufgrund der enormen Verwendung von weltweiten Ressourcen in der Bauwirtschaft wird nun analysiert, welche Baumaterialien herangezogen werden können, um Bauvorhaben ökologisch zu optimieren und damit umweltfreundlicher zu gestalten. Mit dieser Diplomarbeit soll analysiert werden, für welche Anwendungen sich Holzleichtbeton aus ökologischer Sicht eignet und in welchem Bereich weitere Forschung mit diesem Material für größere Nachhaltigkeit sorgen könnte. Dabei sollen diverse Fragen geklärt werden. Da Holz als nachwachsender Rohstoff sich sehr gut auf eine Ökobilanz oder den Ökoindex auswirkt, soll aufgezeigt werden, wie gut der Ökoindex eines solchen Materials nun tatsächlich ist. Es werden folgende Fragestellungen aufgearbeitet und erörtert: Verbessert Holzleichtbeton den Ökoindex einer Verbundkonstruktion wesentlich? Für welche Einsatzgebiete eignen sich Holzleichtbeton und Holzleichtbetonverbundkonstruktionen um aus ökologischer und ökonomischer Sicht ein gutes Ergebnis zu erzielen? Ist es sinnvoll Holzleichtbeton in nur einem bestimmten Gebiet einzusetzen, oder ist die Verwendung von Holzleichtbeton in mehreren Bereichen möglich? Trägt dies zu einer Verbesserung der Nachhaltigkeit bei? Führt die Verwendung zu ökologische und ökonomische Vorteile?

1.4 Stand der Forschung

Holzleichtbeton ist schon seit vielen Jahren in Verwendung. Aufgrund seiner wärmedämmenden, akustischen und brandhemmenden Eigenschaften wird Holzleichtbeton bevorzugt im Bereich des Schallschutzes und auch im Bereich des Brandschutzes verwendet. Durch diese Eigenschaften wird es auch häufig im Bereich von

Tiefgaragen eingesetzt. Aufgrund der Schallschutzeigenschaften wird es auch im Außenbereich bei Schallschutzwänden von Autobahnen angewandt. Doch dies sind nicht die einzigen positiven Eigenschaften von Holzleichtbeton. Immer mehr kommt es auch zum Einsatz im Bereich der Hochbaukonstruktion. Beispielsweise im Einsatz von nicht tragenden Innenwänden, aber auch im Einsatz von Tragenden Außenwänden im Verbund mit anderen Materialien. Aufgrund der Sinnhaftigkeit von nachhaltigem Bauen und auch aufgrund der steigenden Nachfrage in diesem Bereich, wird in Zukunft sicherlich ein erneuter Blick auf den Baustoff Holzleichtbeton geworfen werden.

1.5 Methodik

1.5.1 Literaturrecherche

Mit Hilfe der Literaturrecherche werden zunächst die Begriffe Nachhaltigkeit, Ökologie und Ökonomie analysiert. Anschließend werden die für die weitere Bearbeitung notwendigen Kennzahlen recherchiert und definiert. Darauf folgt die Recherche des Baustoffes Holzleichtbeton, wodurch mit Hilfe von Vergleichen, Tabellen und Grafiken Rückschlüsse auf die damit weitere Konstruktion und den Gebrauch von Holzleichtbeton zu führen sind.

1.5.2 SWOT-Analyse

Es wird eine SWOT-Analyse durchgeführt, um dadurch herauszukristallisieren welche sinnvollen Arbeitsgebiete mit Holzleichtbeton bearbeitet werden können.

Die SWOT-Analyse (auf Deutsch: Stärken, Schwächen, Chancen, Gefahren) wurde ursprünglich als Instrument für Unternehmen eingesetzt, um Marketing- und Managementstrategien herauszukristallisieren.

Sie wurde in den 1960er Jahren an der Harvard Business School entwickelt [4]. Dieser Prozess kann aber auch, wie in diesem Fall, für Produkte oder Materialien herangezogen werden um Strategien zu erarbeiten.

Hierbei geht es darum, den Prozess einer Strategieentwicklung in eine gut übersichtliche Form zu bringen. Dabei wird das Umfeld auf Chancen und Gefahren untersucht, und es werden dabei die Stärken und Schwächen definiert. Anschließend wird darüber entschieden, welche Stärken genutzt und welche Chancen realisiert werden sollen.

Es wird also eine Umweltanalyse (externe Analyse) und eine den inneren Parametern entsprechende Analyse (interne Analyse) durchgeführt.

Bei der externen Analyse werden die Umwelt und deren Bedingungen analysiert. Es werden die externen Chancen und Gefahren aufgearbeitet, die sich aus dem technologischen Fortschritt oder der Veränderung der sozialen und ökologischen Umwelt ergeben. Diese Umweltbedingungen sind von außen vorgegeben und müssen beobachtet werden. Auf diese Bedingungen und Veränderungen muss mit einer Anpassung der Strategie reagiert werden.

Bei der internen Analyse werden die Stärken und die Schwächen des Unternehmens oder des Produktes beobachtet. Diese Stärken und Schwächen ergeben sich durch die Eigenschaften des Produktes selbst. Die SWOT-Analyse wird häufig mit Hilfe einer grafischen Matrix dargestellt.

Mit Hilfe einer grafischen Matrix, wird eine SWOT-Analyse veranschaulicht. Durch jene Vergleiche lassen sich dann Schlüsse ziehen, mit welchen dann, wie in diesem Fall auf die Nachhaltigkeit, Ökologie und Ökonomie der Baustoffe Bezug genommen werden kann.

SWOT-Analyse	Interne Analyse	
	Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)
Chancen (Opportunities)	Strategische Zielsetzung für S-O: Verfolgen von neuen Chancen, die gut zu den Stärken des Unternehmens passen (Matching-Strategie).	Strategische Zielsetzung für W-O: Schwächen eliminieren, um neue Chancen zu nutzen, also Schwächen in Stärken umwandeln (Umwandlungsstrategie).
Risiken (Threats)	Strategische Zielsetzung für S-T: Stärken nutzen, um Gefahren abzuwehren (Neutralisierungsstrategie).	Strategische Zielsetzung für W-T: Verteidigungsstrategien entwickeln, um vorhandene Schwächen nicht zum Ziel von Gefahren werden zu lassen.

Abb. 1 Matrixdarstellung einer SWOT-Analyse [5]

1.5.3 Ökologische Kennzahlen, Ökoindex

Das Baubook ist eine öffentliche im wesentlichen kostenlose Datenbank [7] mit vielen Informationen über Nachhaltigkeit und Ökologie zu verschiedenen Bauprodukten. Hier gibt es zu den einzelnen Bauprodukten ökologische Kennzahlen, welche zum Vergleich mit anderen Bauprodukten herangezogen werden können. Ein Vergleichsinstrument ist die Ermittlung und der Vergleich des Ökoindex 3 (OI3). Der Ökoindex 3 ist eine vereinfachte Bewertungsmethode für Baustoffe und Konstruktionen auf Basis von drei wichtigen ökonomischen Kennzahlen (Treibhauspotential, Versauerungspotential und den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie).

Weiters ist es möglich die Kennzahlen und den Ökoindex für ganze Konstruktionen und Bauteile zu bestimmen. Mit Hilfe des Baubooks werden Kennzahlen ermittelt und so Vergleiche von Verbundkonstruktionen mit und ohne Holzleichtbeton durchgeführt.

Ein weiteres Vergleichsinstrument ist die Ökobilanzierung. Diese kann über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden. Hier wird eine Vielzahl an ökologischen Kennzahlen betrachtet und ist somit umfassender.

2 Nachhaltiges Bauen

2.1 Aspekte nachhaltigen Bauens

Nachhaltiges Bauen bedeutet im Wesentlichen unter anderem die Berücksichtigung mehrerer zusammenhängender Faktoren. Es kann als Kreislauf gesehen werden, in dem jede Entscheidung eine Auswirkung auf folgende Prozesse hat. Die wichtigsten Aspekte des nachhaltigen Bauens lassen sich auf drei Punkte zurückführen. Es handelt sich um ökologische, ökonomische und soziokulturelle Aspekte [6]. Dabei ist es wichtig, dass jeder dieser drei Punkte ausreichend Aufmerksamkeit zuteil wird. Aus diesen Punkten lassen sich dann weitere erwünschte Aspekte herausfiltern, welche an die jeweiligen Arbeitsabläufe angepasst werden können. Darüber hinaus sind auch die technische Qualität und die Qualität der Prozesse und der Eigenschaften von Bedeutung. Nicht außer Acht gelassen werden darf hierbei der Standort eines Gebäudes, welcher in Bezug auf die Umgebung und die vorhandenen Ressourcen auch einen wichtigen Teil in der nachhaltigen Planung eines Gebäudes einnimmt. Das Ziel ist die Optimierung des Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

„Alles, was gegen die Natur ist, hat auf die Dauer keinen Bestand“ – Charles Darwin

Es soll der Ressourcenverbrauch, insbesondere der Energieverbrauch, so gering wie möglich gehalten werden um eine Verringerung der Umweltbelastungen erzielen zu können. Weiters soll eine Verbesserung der sozialen und kulturellen Aspekte erreicht werden. Dies gelingt durch Maßnahmen zur Optimierung der Behaglichkeit und durch gesundheitsfördernde Vorkehrungen zur Erhöhung der Lebensqualität und folglich der Leistungsfähigkeit der Nutzer.

Bei der bisherigen konventionellen Planung von Gebäuden wurde der Fokus auf eine Vielzahl von Einzelaspekten der einzelnen Lebenszyklusphasen gelegt. Die Berücksichtigung von vorhandenen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen wurde jedoch kaum miteingebunden. Beispielsweise liegen in der Errichtungsphase das Budget und die Investitionskosten im zentralen Fokus, ökologische Aspekte werden hingegen oft zur Steigerung der Nachhaltigkeit vernachlässigt.

Um ökologisch und ökonomisch nachhaltig zu handeln, muss der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes berücksichtigt und im Rahmen einer ganzheitlichen Planung Wechselwirkungen miteinander verknüpft und daraus Gesamtlösungen generiert werden.

Der Lebenszyklus eines Gebäudes setzt sich aus den aufeinander folgenden Phasen zusammen: Planungsphase, Bauphase, Nutzungsphase, Erneuerungsphase, Nutzungsphase und Rückbauphase. Es ist von Nutzen, dass diese Phasen aufeinander abgestimmt werden, denn dadurch lässt sich ein wesentlicher Teil an Energie und Ressourcen einsparen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass eine Verlängerung der Lebensdauer eines Gebäudes rechtzeitig berücksichtigt wird. Je länger die Lebensdauer eines Gebäudes ist, desto geringer ist der Aufwand, der zur Erhaltung eines Gebäudes bzw. zur Erneuerung eines Gebäudes, benötigt wird. Dies wird großteils durch die langfristige Funktionstüchtigkeit der gewählten Materialien und Baustoffe erreicht. Wenn nun die Lebensdauer eines Gebäudes betrachtet wird, kommt es bei allen Bauteilen und Baustoffen, die eine geringere Nutzungsdauer als die Lebensdauer des Gebäudes haben, zu zusätzlichen Aufwendungen und Investitionen, um eine Instandhaltung zu ermöglichen. Daher führen Baustoffe und Bauteile mit langer Funktionstüchtigkeit und Dauerhaftigkeit, zu einer Verlängerung der Lebensdauer eines Gebäudes.

Ein ganzheitlicher Planungsansatz und damit die Berücksichtigung der Instandhaltung und die Erneuerung von Gebäuden, verlängert die Lebens- und Nutzungsdauer und ist daher anzustreben.

Positiv wirkt sich auch eine Weiternutzung eines Bestandsgebäudes bzw. eine Umnutzung eines Gebäudes auf die Nachhaltigkeit aus. Bei einer Umnutzung eines Bestandsgebäudes ergeben sich zumeist geringere Stoffströme, als bei einem Neubau. Bestandsgebäude weiterhin zu nutzen und an die Nutzungsanforderungen anzupassen, ist eine weitere Möglichkeit den Verbrauch von natürlichen Ressourcen zu verringern. Dies sollte allerdings nicht auf Kosten der Lebensqualität der Nutzer geschehen und an die jeweilige Situation angepasst werden, da nicht jedes Gebäude für alle Nutzungen adaptiert werden kann. Je nachdem ob es sich um einen Umbau, Rückbau, Neubau oder um eine Kombination handelt, müssen die Verfahren ganzheitlich miteinander verglichen werden. Erst die Gesamtbilanz, die über den Nutzungszeitraum erstellt wird, hat eine Aussagekraft in Bezug auf die ressourcenschonende Auswirkung des Bauvorhabens.

Bei einer Umnutzung bzw. bei einem Umbau müssen hierbei auch die zusätzlich auftretenden Stoffströme und somit die Umweltauswirkungen berücksichtigt werden. Schließlich haben der Rückbau, der Abriss und die Entsorgung von Bau- und Gebäudeteilen auch Auswirkungen auf die Umwelt, welche bedacht werden müssen.

Um nachhaltiges Bauen zu ermöglichen, kann nicht immer nach einem feststehenden Schema vorgegangen werden. Es ist eher so, dass ein individuelles Konzept für die jeweilige Aufgabe ausgearbeitet werden muss, um das beste mögliche Ergebnis zu erreichen. Da das Bauen von Gebäuden eine Vielzahl von Menschen involviert, ist es kein besonders leichtes Unterfangen, das alle zusammen an einem einheitlichen Nachhaltigkeitskonzept arbeiten. Teilkonzepte und alternative Maßnahmen können leichter zu einer nachhaltigen Bauweise führen, allerdings ist schlussendlich die Gesamtbilanz über den Lebenszyklus des Gebäudes ausschlaggebend und daher in jedem Fall zu berücksichtigen.

2.2 Ökonomische Aspekte

In der ökonomischen Betrachtung bei der Verwirklichung eines Gebäudes ist das Ziel, alle wirtschaftlichen Faktoren zu optimieren. Hierbei geht es nicht nur um die kurzfristige Darstellung der Kosten bis zum Erbau eines Gebäudes, sondern um die langfristige Betrachtung der Kosten über den gesamten Lebenszyklus. Dabei spielen dann auch Erhaltungs-, Instandsetzungs- und später die Rückbau- und Entsorgungskosten eine Rolle. Weiters sind auch die Gebäudebetriebskosten nicht außer Acht zu lassen. Somit kann die langfristige Wirtschaftlichkeit, über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes, betrachtet werden. Wird nun eine Lebenszykluskostenanalyse erstellt, werden die Kosten bezogen auf die Nutzflächen [€/m²] errechnet. Da die zukünftigen Kosten, wie beispielsweise die Betriebskosten, von sehr vielen verschiedenen Einflüssen abhängig sind, handelt es sich hierbei um eine prognostizierte Entwicklung.

Alle Entscheidungen in der Planungsphase eines Gebäudes haben Auswirkungen im weiteren Verlauf.

Wenn zum Beispiel eine qualitativ hochwertigere Bauausführung gewählt wird, führt dies zu höheren Planungs- und Errichtungskosten. Dies kann jedoch in der Nutzungsphase zu einem deutlichen Vorteil führen, da die Nutzungskosten ab einer gewissen Lebensdauer eines Gebäudes, die Errichtungskosten übersteigen können.

Es ist also wünschenswert und wichtig, dass bereits in der Planungsphase eine Gesamtkoordination stattfindet, sodass nicht nur die einzelnen Gewerke für sich planen, sondern dass dieser Prozess in einem Gesamtkontext geschieht. Zurzeit ist dies eine besonders herausfordernde Aufgabe, da jedes einzelne Unternehmen, das an der Errichtung eines Gebäudes beteiligt ist, in der Terminplanung und in der Kostenplanung sehr unter Druck steht und dadurch wird eine koordinierte Zusammenarbeit erschwert.

2.2.1 Marktwert und Werterhaltung

Ein weiterer Aspekt in der ökonomischen Betrachtungsweise, ist die bestmögliche Erhaltung des Immobilienwertes bei voranschreitender Zeit bzw. im Lebenszyklus. Der Marktwert ist der Preis der zum aktuellen Zeitpunkt, mit Einbeziehung der Lage, am Immobilienmarkt zu erzielen ist. Die Werterhaltung muss über einen längeren Zeitraum gesehen werden. Demnach ist eine Immobilie dann stabil, wenn der Marktwert dieser Immobilie zeitlich nicht abnimmt, sondern gleich bleibt oder auch steigt. Da sich die Preise von Immobilien am Markt nicht gleichmäßig beobachten lassen, ist eine Preisprognose für eine hypothetische Immobilienbewertung nicht immer zutreffend. Dies findet immer in Abhängigkeit vom freien Markt statt, aber es ist grundsätzlich anhand von Vergleichswerten möglich, den Wert in einem gewissen Rahmen zu bestimmen. Entscheidend für eine solche Bewertung sind unter anderem die standort-, markt-, und gebäudebezogene Faktoren. Dabei spielen weitere Aspekte wie die Nahversorgungssituation, die Verkehrsanbindung, usw. eine Rolle. Auf die standort- und marktbezogenen Faktoren haben Planer fast keinen Einfluss, daher muss mit den gebäudebezogenen Faktoren, aus ökonomischer Sicht, sinnvoll umgegangen werden. Daher sind hier Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit, Dauerhaftigkeit und hohe Effizienz der Flächen eines Gebäudes, wichtige Punkte.

2.3 Ökologische Aspekte

Bei den ökologischen Aspekten geht es darum die Umwelt bestmöglich zu schützen, das heißt der Schutz und Erhalt der natürlichen Ressourcen sowie des Ökosystems. Da beim Errichten von Bauwerken große Mengen an Ressourcen und Energie verwendet werden, ist es für nachhaltiges Bauen von äußerster Wichtigkeit, den Verbrauch dieser Güter so gering wie möglich zu halten [8].

Um die unterschiedlichen ökologischen Ziele bemessen zu können, wurden quantifizierbare Indikatoren festgelegt, die es ermöglichen verschiedene Baustoffe miteinander zu vergleichen. Mit der Analyse der Ökobilanz, gibt es daher die Möglichkeit Gebäude ökologisch zu bewerten. Durch diese Form der Bewertung gibt es eine Objektivierung, die es ermöglicht eine ökologische Entscheidungsfindung zu treffen.

Damit können unterschiedliche Aspekte von Baustoffen in verschiedene Kriterien betrachtet werden. Hierbei wird zum Beispiel der primäre Energieinhalt von nicht erneuerbaren Energieressourcen, der Bedarf an Trinkwasser, oder der Ausstoß von Treibhausgasen betrachtet.

2.3.1 Ressourcenschutz

Zum Schutz der Ressourcen gibt es viele Aspekte die bedacht werden müssen. Diese müssen dann auch auf die jeweilige Situation angepasst und abgewogen werden.

Der Schutz der Ressourcen kann laut Leitfadens für nachhaltiges Bauen des deutschen Bundesministeriums durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Senkung des Ressourcenbedarfs bei der Erstellung und dem Betrieb von Gebäuden
- Reduzierung von Transportaufwendungen von Baustoffen
- Eine Geringhaltung der Flächeninanspruchnahme
- Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten, Baukonstruktionen und Gebäuden

- Nutzung von Regen- oder Grauwasser sowie Reduzierung des Frischwasserverbrauchs
- Minimierung des Energiebedarfs in der Nutzungsphase
- Einsatz regenerativer Energie
- Gefahrlose Rückführung der Stoffe in den natürlichen Stoffkreislauf
- Einsatz wiederverwendbarer oder -verwertbarer Bauprodukte/Baustoffe

Bei Betrachtung der Materialströme, die im Bausektor verwendet werden wird deutlich, welchen Stellenwert der Bausektor im Ressourcenverbrauch einnimmt. Ca. 50 % der weltweiten Ressourcen, die die Menschheit verbraucht, fließen in das Bauwesen. Beim Energieverbrauch der Europäischen Union entfallen ca. 40 % auf den Bausektor, mit allen dazugehörigen umweltschädlichen Folgen wie zum Beispiel Emissionen. Auch die Landzersiedelung spielt eine Rolle beispielsweise durch die Verbauung von fruchtbarem Land. Denn die Menge an versiegelter Fläche, steigt in der europäischen Union jährlich konstant an.

2.3.2 Auswirkungen auf die Umgebung

Die Wahl von Baustoffen und die Art der Konstruktion haben Auswirkungen auf die lokale und globale Umgebung. Diese Auswirkungen können unter anderem mit folgenden Indikatoren quantifiziert werden [9]:

Treibhausgaspotenzial (Global Warming Potential **GWP**): Auswirkungen im Hinblick auf die Erderwärmung.

Ozonschichtabbaupotenzial (Ozone Depletion Potential **ODP**): Auswirkungen im Hinblick auf die Zerstörung der Ozonschicht.

Ozonbildungspotenzial (Photochemical Oxidant Creation Potential **POCP**): Auswirkungen im Hinblick auf bodennahe Ozonbildung in Form von Sommersmog.

Versauerungspotenzial (Acidification Potential **AP**): Auswirkungen im Hinblick auf die Versauerung von Böden und Gewässern sowie Regen.

Überdüngungspotenzial (Eutrophication Potential **EP**): Auswirkungen im Hinblick auf Gewässer, Grundwasser und Böden.

Bei den Risiken für die lokale Umwelt kommen mögliche lokale Gefährdungen für Wasser, Boden und Luft, durch Stoffe die in der Bauphase auf Baustellen verwendet werden oder auch durch Verwitterung in der Nutzungsphase, zum Tragen. Weiters entsteht lokal ein Mikroklima, das auch Auswirkungen auf die lokale Umwelt hat. Beispielsweise der Wärmeinseleffekt in urbanen Strukturen im Vergleich zum Umland.

Beim globalen Umweltschutz spielt auch das Kyoto-Protokoll eine Rolle, in dem beschlossen wurde, dass bis 2020 die Treibhausgase um 40 % gegenüber 1990 gesenkt werden sollen.

2.3.3 Ökobilanz

Die Ökobilanz (auf Englisch LCA – Life Cycle Assessment) ist eine Analyse der Umweltwirkungen von Baustoffen, Bauelementen oder gesamten Gebäuden. Dabei ist es wichtig eine genaue Abgrenzung festzulegen.

Es werden alle Umweltwirkungen, die während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung auftreten, berücksichtigt. Es geht hierbei um den Lebenszyklus „from Cradle to Grave“. Die Ökobilanzmethode ist ein Entscheidungshilfemittel, welches umweltorientiert ist [10].

Bei der Durchführung einer Ökobilanzierung werden entlang des Lebensweges eines Produktes die Stoff- und Energieströme des gesamten Prozesses, analysiert. Alle Emissionen die in Luft, Wasser und Boden gelangen, werden erfasst. Auch die der Natur entnommenen Ressourcen werden aufgezeichnet und in der „Sachbilanz“ abgelegt. Dies geschieht über die Indikatoren wie die Umwelteffekte der Treibhausgase, Versauerung und Überdüngung.

Eine Ökobilanz ist in vier Schritte untergliedert (ISO 14040) Lt. Fraunhofer-Institut für Bauphysik:

1. Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens (engl. Goal and Scope)

Der erste Schritt der Ökobilanz legt das Ziel und den Untersuchungsrahmen fest. Dazu gehört beispielsweise die Definition der Systemgrenzen, der Funktion des Systems und der Anforderungen an die Datenqualität.

2. Sachbilanz (engl. LCI – Life Cycle Inventory)

Die Sachbilanz beinhaltet die Datensammlung aller benötigten eingehenden (Ressourcen, Materialien) und ausgehenden (Emissionen, Abfälle) Stoff- und Energieströme, welche in einer Bilanz erfasst werden.

3. Wirkungsabschätzung (engl. LCIA – Life Cycle Impact Assessment)

Bei der Wirkungsabschätzung werden die potenziellen Umweltwirkungen, Einflüsse auf die menschliche Gesundheit und Ressourcenverfügbarkeit mithilfe der Ergebnisse der Sachbilanz über entsprechende Charakterisierungsmodelle, softwaregestützt errechnet.

4. Auswertung und Interpretation (engl. Results and Interpretation)

Bei der Auswertung werden die Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung in Bezug auf das Ziel der Ökobilanzstudie interpretiert.

2.4 Zufriedenheit der Nutzer und funktionale Qualitäten

Die Nutzer der zu planenden Gebäude sollen sich mit ihrer Umgebung identifizieren können und ihre sozialen Bedürfnisse sollen dabei erfüllt werden. Denn Menschen nehmen ihre Umgebung bewusst und unbewusst wahr. Die sich daraus ergebenden Empfindungen, seien sie positiv oder negativ, spiegeln sich im Wohlbefinden und in der Motivation der Menschen wieder.

Das Wohlbefinden der Menschen bzw. der Bewohner haben einen großen Einfluss auf den Lebenszyklus eines Gebäudes. Wenn sich die Bewohner eines Gebäudes wohl fühlen, wird dieses geschätzt und gepflegt. Dies hat einen Einfluss auf die Instandhaltung eines Gebäudes und somit auch auf die Kosten im Hinblick auf die Lebensdauer und somit auf die Nachhaltigkeit des Gebäudes. Die Gebäude müssen also auf die Nutzer abgestimmt werden und sich an deren Bedürfnisse anpassen. Da diese Bedürfnisse subjektiv sind, können Befragungen durchgeführt werden um bestmöglich auf den Nutzer reagieren zu können. Um die Bedürfnisse zu Decken und die Zufriedenheit zu gewährleisten, muss vom Gesamtkonzept bis zur Detaillösung alles abgestimmt sein.

Zusätzlich muss auf die Funktionalität der Gebäude geachtet werden. Da eine lange Lebensdauer der Gebäude angestrebt wird, ist es notwendig dass nicht nur gegenwärtige Nutzeranforderungen erfüllt werden, sondern auch mögliche zukünftige Anpassungen und Umnutzungen in die Planung einfließen. Daher muss auch eine gewisse Flexibilität im Gesamtkonzept bedacht werden. Es muss daher beurteilt werden, welches Maß an Flexibilität die baulichen Strukturen zulassen und wie hoch der Aufwand ist, eine Anpassung an sich verändernde Rahmenbedingungen durchzuführen.

2.4.1 Gesundheit, Behaglichkeit, Sicherheit

Gesundheit

Es muss ausgeschlossen werden, dass gesundheits- oder umweltgefährdende Problemstoffe für das Bauen von Gebäuden verwendet werden. Besonders die Innenraumluftqualität hat Auswirkungen auf die Gesundheit. Durch die gezielte Baustoffwahl von geruchsarmen und emissionsarmen Produkten können gesundheitliche Beeinträchtigungen, vermieden werden. Die Konzentration flüchtiger geruchsaktiver Stoffe kann damit so gering wie möglich gehalten werden. Auch die Sicherstellung von ausreichender Lüftung von Innenräumen führt zu einer positiven Auswirkung auf die Gesundheit, da hierdurch die CO₂ Konzentration gering gehalten werden kann und zusätzlich auch das Schimmelbildungspotential reduziert wird.

Behaglichkeit

Ziel ist es, ein möglichst behagliches Raumklima zu schaffen. Um dieses zu erreichen, muss auf thermische, akustische, visuelle und olfaktorische Aspekte geachtet werden. Weiters ist es auch sehr wichtig auf diese Faktoren zu achten, da es sich gezeigt hat dass die Produktivität und die Zufriedenheit der Nutzer in einem direkten Zusammenhang mit diesen Faktoren stehen.

Der thermische Komfort bietet die Basis für das Wohlbefinden in einem Gebäude. Des Weiteren beeinflusst der thermische Komfort auch den Energieverbrauch eines Gebäudes. Im Winter muss darauf geachtet werden, dass das Gebäude gut die Wärme speichert und nach außen hin isoliert ist, und im Sommer muss das Gebäude vor allzu starker Überhitzung geschützt werden.

Der akustische Komfort bezieht sich einerseits auf eine gute Verständlichkeit der kommunizierenden Nutzer, und andererseits auf eine gute Schalldämmung zwischen den Räumen. In Bürogebäuden steht die gute Sprachverständlichkeit im Vordergrund. Weiters sollte auch der Grundgeräuschpegel in einem Büroraum nicht zu hoch sein. In Wohngebäuden steht vor allem die akustische Schalltrennung der einzelnen Wohnungen im Fokus. Es ist daher notwendig, akustische Dämpfungen in den Gebäuden zu bedenken.

Der visuelle Komfort wird durch adäquate Beleuchtung erreicht. Die Beleuchtung ist ein nicht zu vernachlässigender Umweltfaktor, der den Nutzungskomfort direkt beeinflusst. Wann immer es möglich ist, sollte natürliche Beleuchtung immer im Vordergrund stehen. Zusätzlich sollte ausreichend Sichtkontakt zwischen Innen- und Außenraum herrschen. Jede zusätzliche künstliche Beleuchtung, die nicht notwendig wäre, erfordert zusätzlichen Energieeinsatz.

Sicherheit

Ein weiterer Aspekt, der zum Wohlbefinden der Menschen beiträgt, ist das Gefühl der Sicherheit. Es sollte im und außerhalb des Gebäudes auf das Sicherheitsgefühl der Nutzer eingegangen werden. Es müssen Maßnahmen, zum Schutz der Nutzer und ihres Eigentums sowie zur Vermeidung von Gefahren und Unfällen, ergriffen werden.

2.5 Bewertung mittels Ökoindex 3

Der Ökoindex 3 (OI3) ist eine vereinfachte ökologische Bewertungsmethode für Baustoffe, Konstruktionen und Gebäuden auf Basis von Ökokennzahlen. Der Ökoindex 3 wurde vom österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) im Jahr 2003 entwickelt. Der OI3 beinhaltet die folgenden drei Ökokennzahlen [13]: Treibhauspotential, Versauerungspotential und den Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie. Dies kann auf Ebene der Baustoffe, Konstruktionen und gesamten Gebäuden berechnet werden. Mit dem Ergebnis der Zahl die sich bei der Bewertung des OI3 ergibt, lassen sich dann Schlüsse ziehen in Bezug auf das Potential das Klima zu erwärmen, die Umwelt zu versauern und nicht erneuerbare Energieressourcen zu verbrauchen. Die erforderlichen Ökokennzahlen für Baustoffe werden auf der Internetdatenbank „Baubook“ kostenlos zur Verfügung gestellt.

Bei der Bewertung für Bauteile werden die Werte der drei Indikatoren Treibhauspotential, Versauerungspotential und der Bedarf an nicht erneuerbarer Energie in ein Punktesystem umgerechnet und je höher die erreichte Punktezahl, umso negativer wirkt sich die Konstruktion oder das Gebäude auf die Umwelt aus.

Im weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit werden die Baustoffe und Verbundkonstruktionen mit Hilfe der OI3-Kennzahlen bewertet. Diese Bewertung mit den besagten drei Ökokennzahlen bietet eine vielsagende Aussagekraft in Bezug auf die Ökologie und ist ein gutes Vergleichsinstrument für verschiedene Verbundkonstruktionen. Dies ist vor allem wichtig um einen Überfluss an Informationen zu vermeiden und eine Vergleichbarkeit und einen Überblick zu wahren.

Dennoch wird im darauf folgenden Verlauf eine ganzheitliche Ökobilanzierung von Holzspanbeton durchgeführt, um Aussagen über den gesamten Lebenszyklus treffen zu können.

2.5.1 Baustoffschicht-Bewertung $\Delta OI3$

Jener $\Delta OI3$ Wert einer Baustoffschicht gibt an, um wie viele $OI3$ Punkte die betreffende Baustoffschicht den Wert der Konstruktion erhöht oder verringert [12]. Dieser $\Delta OI3$ Wert ist bei der Optimierung einer Konstruktion besonders hilfreich. Es kann rasch erkannt werden, welche Bauteile einen großen Einfluss auf die Ökologie einer Konstruktion haben und welche nur eine geringe Änderung erzielen.

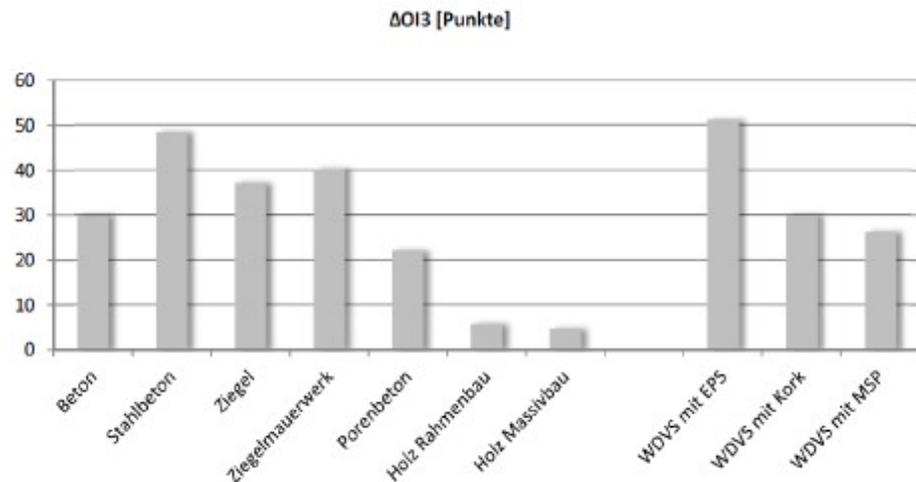


Abb. 2 $\Delta OI3$ Werte von Bauteilen(links), $\Delta OI3$ Werte von WDV (rechts) [12]

Das Diagramm (siehe Abb. 5) zeigt $\Delta OI3$ Werte von einigen Baustoffen mit gängigen Dicken. Der Wert gibt an, wie hoch der Einfluss einer einzelnen Baustoffschicht in einer Konstruktion auf die Umwelt ist.

Je geringer der $\Delta OI3$ Wert ist, desto ökologischer ist der Baustoff für die Umwelt. Beton weist einen sich im Mittelfeld befindlichen Wert auf. Der Stahlanteil im Stahlbeton ist ausschlaggebend für den $\Delta OI3$ Wert, das heißt je höher der Stahlanteil ist, umso höher ist der Wert. Bis zu einem gewissen Punkt kann gesagt werden, umso geringer der Herstellungsaufwand ist, desto besser sind die Ergebnisse, da bei Produktion und Transport vieles an Schadstoffen und Emissionen anfällt. Ziegelkonstruktionen schneiden aufgrund des Produktionsprozesses schlechter ab als Beton, und der Mörtel auf dem Ziegelmauerwerk erhöht den $\Delta OI3$ Wert. Des Weiteren zeigt Abb. 8, dass Porenbeton mit einem Wert von ca. 22 besser, als Beton abschneidet. Wie aus dem Diagramm ersichtlich ist, weist Massivholz den besten $\Delta OI3$ Wert auf.

Zu diesem Ergebnis kommt es deshalb, weil Holz ein sehr hohes CO₂ Speichervermögen aufweist. Dieser Überblick lässt bereits schlussfolgern, dass es aus ökologischer Sicht sinnvoll ist Holzleichtbeton zu verwenden.

Bei Wärmeverbundsystemen mit Dämmstärken auf Passivhausstandart, ist die Beeinflussung der Umwelt stärker als die der reinen konstruktiven Baustoffe. Dies zeigt sich durch höhere $\Delta OI3$ Werte. Das gewählte Material der Wärmedämmung hat einen großen Einfluss. Aus dem oben angeführten Diagramm (siehe Abb. 8) ist das dargestellte Wärmeverbundsystem mit Mineralschaumplatten (aus OI3 Sicht) am ökologischsten.

2.5.1 Optimierung im Planungsprozess

Durch die Analyse von Bauteilen und Konstruktionen mit Hilfe von ökologischen Kennzahlen zeigt sich, dass die Wahl der Materialien einen großen Einfluss auf die Ökologie haben. Um ökologisch zu optimieren muss versucht werden den Flächenanteil von Konstruktionen mit hohen OI3 Gesamtwerten, so gering wie möglich zu halten und Bauteile mit einem hohen $\Delta OI3$ -Wert innerhalb von Konstruktionen durch ökologischere Varianten mit kleinerem $\Delta OI3$ -Wert, zu ersetzen.

Es ist zur Zeit noch nicht möglich alle Bauteile mit schlechten ökologischen Werten innerhalb von Konstruktionen zu ersetzen, es soll jedoch angestrebt werden, dass eben jene Konstruktionen mit einem so gering als möglichen Flächenanteil eingesetzt werden.

Bei einer Analyse der Konstruktionen von Gebäuden zeigt sich weiters, dass die Außenwand, die Fundamentplatte und das Dach den größten Einfluss auf die Ökologie eines Gebäudes haben. Ausschlaggebend hierfür ist der hohe Flächenanteil dieser Bauteile an einem Gebäude.

Nach der Erkenntnis welche Schichten in der Konstruktion die höchsten Werte liefern, können dann jene Baustoffe beispielsweise in ihrer Dicke optimiert, oder durch ökologisch günstigere Varianten ausgewechselt werden.

2.5.2 Aspekte zur Baustoffauswahl

Um den allgemeinen Einfluss auf die Umwelt zu verringern und den OI3 zu verbessern, sollten laut IBO bei der Baustoffwahl die folgenden Grundsätze berücksichtigt werden [14]:

- Langlebigkeit der Produkte.
- Gut entsorgbare Produkte.
- Materialien mit geringem Herstellungsaufwand.
- Baustoffe aus Recyclingmaterial.
- Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.
- Keine Produkte mit gefährlichen Inhaltsstoffen.
- Keine Produkte mit Schadstoff-Emissionen

Diese Aspekte zur Baustoffauswahl sollten so gut als möglich berücksichtigt werden. Zumeist wird jedoch nur ein Kompromiss aus jenen Aspekten möglich sein.

2.6 ÖKOBILANZ LCA lt.ÖNORM EN ISO 14040/-44, ÖNORM EN 15804

Eine Ökobilanz (engl. auch LCA – Life Cycle Assessment) ist eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten während des gesamten Lebensweges („von der Wiege bis zur Bahre“). Dazu gehören sämtliche Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes, sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe). Im Ökoindex 3 werden mit den drei Faktoren, nur sehr Energie bezogene Umweltwirkungen betrachtet. Aussagekräftiger ist daher die Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus eines Produktes.

HERSTELLUNGS-PHASE			ERRICH-TUNGS-PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGS-PHASE				GUT-SCHRIFTEN UND LASTEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs- Rückgewinnungs- Recyclingpotential

Abb. 3 Lebenszyklusphasen [43]

Zu den Umweltwirkungen zählen sämtliche umweltrelevanten Entnahmen aus der Umwelt (z. B. Erze, Rohöl) sowie die Emissionen in die Umwelt (z. B. Abfälle, Kohlendioxidemissionen).[42] Durch die Analyse quantitativer Kennzahlen mit Hilfe einer Ökobilanz kann die Umweltleistung eines nachhaltigen Produktes verlässlich kommuniziert werden. [44]

In Abb. 3 sind die Lebenszyklusphasen in einzelne Module gegliedert. Diese beinhaltet die Herstellungs-, Errichtungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase. Am Ende werden dann die Gutschriften oder Lasten außerhalb der Systemgrenzen angezeigt.

Schritte zur Erstellung der Ökobilanz:

Bei den folgenden Schritten zur Erstellung der Ökobilanz, werden wir uns bereits auf Holzleichtbeton beziehen.

1) Zieldefinition

Ziel ist im weiteren Verlauf die ökologische Beurteilung und Vergleich eines Außenwandsystems von Holzleichtbetonmantelsteinen mit einem Außenwandsystem in der Verwendung von Mauerziegeln oder Beton.

Bei der Wahl des Außenwandsystems mittels bspw. Holzleichtbeton wird ein Aufbau eines Holzleichtbetonmantelsteines gewählt welcher mit Beton aufgefüllt wird um seine tragende Wirkung zu erhalten.

2) Umfang der Studie

Die Funktionale Einheit für den Holzleichtbetonmantelstein ist 1 m² Wand. Es muss darauf geachtet werden dass eventuell eine Umrechnung erforderlich sein wird.

Systembeschreibung

Es wird ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren bearbeitet. Die Systemgrenze beschreibt den Weg „von der Wiege bis zur Bahre“.

Allokation

Die Allokation beschreibt die Zuordnung der Daten bezogen auf eine bestimmte Größe oder Einheit. Im Bezug auf die Ökobilanz ist es bspw. das Zuteilen von Emissions- und Energiebeiträgen zur eigentlichen Quelle.

Wie zum Beispiel: •Allokation nach Masse
•Allokation nach Heizwert •Allokation nach anderen Regeln (z. B. Exergie, Stoffgehalt etc.)

3) Sachbilanzierung (LCI)

In der Sachbilanzierung werden die Daten und Kennwerte des Produktes gesammelt. Eine Übersicht des Inputs (die Ressourcen und Energie welche für die Produktion und den Transport es Produktes eingebracht werden) und des Outputs (die Produkte selbst, die Emissionen in die Luft, ins Wasser und in den Boden)

Globale Umweltindikatoren:

Ressourcenabbau

Globale Erwärmung (GWP)

Ozonabbau (ODP)

Regionale Umweltindikatoren:

Versauerung (AP)

Landnutzung

Human- und Ökotoxizitätspotential (HTP, ETP)

Überdüngung (EP)

Sommersmog (POCP)

Andere Indikatoren:

Lärm, Geruch, Deponievolumen, ionisierende Strahlung, etc.

4) Wirkungsabschätzung (LCIA)

Hierbei geht es um die Klassifizierung, Charakterisierung und Normalisierung der Kenngrößen.

Definition Wirkungsabschätzung laut ISO:

„Die Wirkungsabschätzung ist der Bestandteil der Ökobilanz, der dem Erkennen und der Beurteilung der Größe und Bedeutung von potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems dient.“ [44]

5) Interpretation

Die Ergebnisse der Daten der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung werden darauffolgend ausgewertet und interpretiert. Mit der Auswertung wird die Grundlage für die Diskussion geschaffen und kann dann je nach Ergebnissen eine Systemoptimierung durchführen.

6) Berichtswesen

Um die Nachvollziehbarkeit der erhaltenen Ergebnisse zu gewährleisten, ist es notwendig die Schritte festzuhalten und ein definiertes Berichtswesen durchzuführen.

7) Kritische Prüfung

Eine kritische Prüfung ist immer von Vorteil, da ausreichend Interpretationsspielraum vorhanden ist, welcher so objektiv wie möglich, bearbeitet werden sollte, um eine zutreffende Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die „ÖkobaDat“ ist die deutsche Datenbank für Baustoffdaten. Sie wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur Verfügung gestellt. Sie bietet Datensätze für die Erstellung von Ökobilanzen und liefert eine gute Datenbasis. Die österreichische Entsprechung dazu ist das Baubook. Seit September 2013 wurde die ÖkobaDat angepasst um eine Vereinheitlichung in der EU mit der EDP zu erreichen. Durch die Vereinheitlichung nach EN15804, sind einige Werte und Indikatoren hinzugekommen. Teilweise wurden manche Indikatoren umbenannt und die Referenzeinheiten verändert. Beispielsweise wurde der bisherige „nicht erneuerbare Primärenergieinhalt“ (PEI_{ne}) geändert in „Total nicht erneuerbare Primärenergie“ (PENRT).

Eine weitere große Datenbank ist die internationale ecoinvent Datenbank. Sie ist die derzeit weltweit führende Quelle für Ökobilanzdaten. Die ecoinvent Daten werden in Ökobilanzen, Umweltproduktdeklarationen, in CO₂-Bilanzen, in der Integrierten Produktpolitik, im Life Cycle Management, im Umweltdesign, in der Umweltzertifizierung und anderen Anwendungen verwendet.

3 Holzleichtbeton

Bei Holzleichtbeton handelt es sich um ein Verbundmaterial aus Holzstägespänen, Zement, Wasser und Additiven. Die verwendeten Stägespäne sind vor allem Nadelhölzer wie Tanne und Fichte, es können aber auch andere Holzarten verwendet werden. Dieser organische Zuschlag bietet eine Reihe von funktionalen und konstruktiven Vorteilen. Durch die Zugabe dieses Zuschlagsstoffes ist Holzleichtbeton deutlich leichter als herkömmlicher Beton. Weiters verbessern sich die wärmetechnischen Eigenschaften. Daher wird dieses Material den thermischen und akustischen Anforderungen gerecht. Die Verwendung von Holzleichtbeton hat ökologisch gesehen auch mehrere Vorteile. Denn zum Einsatz kommen Holzreststoffe und Schwachholz, was eine optimale Verwendung der natürlichen Holzressourcen darstellt. Dies führt zur Optimierung baukonstruktiver und bauphysikalischer Kenngrößen, unter Beibehaltung der positiven Eigenschaften des Holzes.

Holzleichtbeton besitzt eine relativ geringe Längenänderung und einen hohen Brandwiderstand. Die Festigkeit und Verarbeitbarkeit von Holzleichtbeton hängt im Wesentlichen vom Wasser-Bindemittel-Wert und vom Holz-Zement-Verhältnis ab.

Aufgrund der Rohdichte zählt Holzleichtbeton zu den Leichtbetonen. Abhängig von dem jeweiligen Mischungsverhältnis kommt es zu Rohdichten von 400 kg/m^3 bis 1700 kg/m^3 . Je höher der Holzanteil ist, desto stärker nimmt die Betonfestigkeit ab. Bei Stoffzusammensetzungen mit Rohdichten um 800 kg/m^3 können Druckfestigkeiten bis 10 N/mm^2 und Biegefestigkeiten bis 3 N/mm^2 erreicht werden [15].



Abb. 4 Holzspanbeton [16]

Holz als Zuschlagsstoff beeinflusst die statischen Qualitäten des Materials, somit kann gesagt werden, je größer der Holzanteil ist, desto stärker nehmen die Festigkeitswerte ab. Bei Holzleichtbeton ist der Zementgehalt höher als bei herkömmlichen Betonmischungen. Beim Abbindevorgang des Betons ist die verzögernde Wirkung von Holzzucker, durch Einsatz spezieller Schnellzemente zu unterbinden bzw. durch Vorbehandlung der Holzpartikel mit Mineralisierungsadditiven zu vermeiden.

Mit Holzleichtbeton wird die Wärmespeicherfähigkeit, sowie das thermodynamische Verhalten von Bauteilen verbessert. In Gebäudefassaden erreicht Holzleichtbeton, Wärmeleitfähigkeitswerte, die mit denen des Porenbetons vergleichbar sind.



Abb. 5 Restholzspäne [17]

Es hat sich weiters gezeigt, dass Holzleichtbeton in Innenräumen die Raumakustik verbessern kann. Als Wand- und Deckenabsorber werden mit Holzleichtbeton die Nachhallzeiten reduziert und somit Schalltechnisch gesehen, bessere Bedingungen geschaffen.

Auch bezüglich des Brandschutzes kann Holzleichtbeton in Innenräumen zum baulichen Brandschutz, eingesetzt werden. Mit Holzleichtbeton wird Brandschutz der Baustoffklasse A2 erreicht [18].

Holz und Beton haben verschiedene materialspezifische Vor- und Nachteile, daher hat die Verbindung dieser beiden Materialien positive Eigenschaften, welche durch ihre beidseitige Nutzung als Holzleichtbeton zur Geltung kommen. Um die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton passend einzusetzen, müssen die baukonstruktiven, bauphysikalischen, fertigungstechnischen, ökologischen und ökonomischen Aspekte berücksichtigt werden.

Weiters sind auch die gestalterischen Aspekte von Holzleichtbeton, vor allem für Architekten, von großer Bedeutung.

Geschichte

Eine Verbindung von anorganischen Baurohstoffen mit Holzresten aus der Holzbearbeitung gibt es schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts. In der Zeit der 1920er Jahre wurde von Architekten vielfach mit Materialentwicklungen experimentiert und so wurden beispielsweise Steinholzböden unter anderem beim Bauhausgebäude in Dessau verwendet. Anfang der 1930er Jahre wurde damit begonnen, Verfahren zur Herstellung von Holzbeton, zu patentieren. Holzspanbeton wurde damals meist als Estrich, Putzträger oder als Brandschutz eingesetzt. Als tragendes Bauteil wurde es allerdings sehr selten verwendet.

Durch Baustoffmangel Aufgrund des zweiten Weltkrieges, wurde begonnen Holzwerkstoffe mit Zement zu binden und Ende der 1960er Jahre wurde dieser Ansatz für kostengünstigen Kleinwohnungsbau und landwirtschaftliche Bauten eingesetzt. In weiterer Folge wurden Holzspäne, aus den Resten der Holzbearbeitung, mit Baustoffen kombiniert um diese für Putze und Estriche zu verwenden. Ab den 1970er Jahren wurde Holzspanbeton auch für Mantelbetonwände verwendet, wobei dieser Werkstoff sowohl für tragende Innen- und Außenwände, als auch für nicht tragende Innen- und Außenwände eingesetzt wurde.

Aufgrund der weltweiten Ressourcenverknappung von Sand und Kies, sowie der Tatsache, dass mit Holzleichtbeton in Wand- und Deckenkonstruktionen, einiges an Gewicht eingespart werden kann, wird seit einiger Zeit wieder eingehender an diesen Konzepten gearbeitet. Weiters zeigt sich, dass dieses Verbundmaterial durch Energie- und Stoffströme an ökologischer Bedeutung gewinnt.

3.1 Ausgangsstoffe

3.1.1 Holz

Holz ist durch seine Eigenschaften ein äußerst vielseitiger Baustoff. Die Eigenschaften und Qualitäten des Holzes unterscheiden sich hinsichtlich Holzart und Standort durchaus erheblich. Die Rohdichte von unterschiedlichen Holzarten liegt zwischen 200 kg/m^3 und 1400 kg/m^3 . Die Dichte kann aber auch innerhalb einer Holzart abweichen. Weiters ist die Rohdichte, welche die Eigenschaften des Holzes wesentlich beeinflusst, abhängig von der Holzfeuchte. Da Holz ein hygroskopisches Material ist, besitzt es die Eigenschaft Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft aufzunehmen und auch wieder abzugeben. Wenn Holz Feuchtigkeit aufnimmt, führt dies zum Quellen und wenn es Feuchtigkeit abgibt, kommt es zum Schwinden. Hierbei verändert sich das Volumen und dabei bewegt sich das Holz axial, radial oder tangential. Dieses Quell- oder Schwindverhalten wird weiters auch von der Struktur des Holzes beeinflusst [19].

Da Holz ein erneuerbarer Baustoff ist, wirkt sich dies besonders gut für die ökologische Bewertung aus. Im Gegensatz zu anderen Baustoffen, die bei ihrer Produktion CO_2 und andere Schadstoffe hervorrufen, ist beim Holz das Gegenteil der Fall, da beim Heranwachsen des Baumes sogar CO_2 aufgenommen wird.

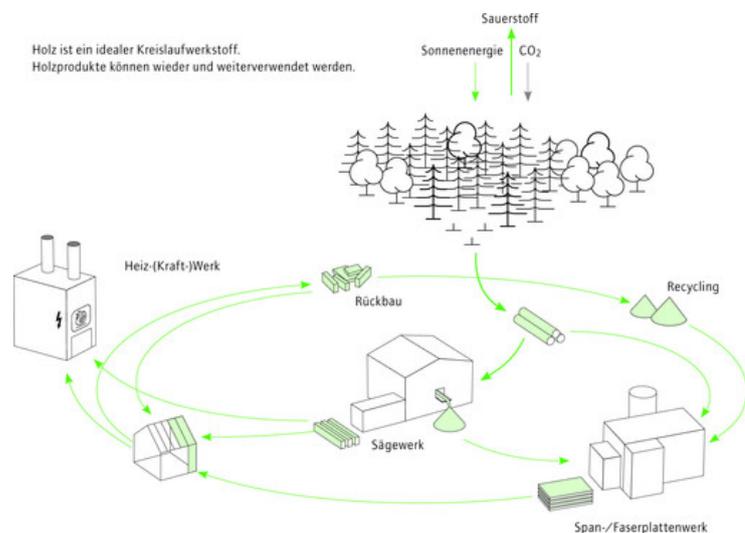


Abb. 6 Lebenszyklus von Holz [20]

Wie bereits erwähnt ist Holz ein nachwachsender Baustoff, welcher für tragende Konstruktionen eingesetzt werden kann, als auch als Zuschlagsstoff für weitere Baustoffe. Die Verwendung als Zuschlagsstoff wirkt sich besonders positiv aus, da dieser als Restprodukt der Holzindustrie und Holzbearbeitung in Form von Sägespänen und Sägemehl, gewonnen werden kann. Dies ist weiters in der Herstellung eine kostengünstige Art von Baustoff. Heutzutage wird bereits ein großer Teil der anfallenden Holzreste energetisch, als Brennstoff verwendet, ein weiterer Teil stofflich zur Weiterverarbeitung, und der Rest anderweitig, beispielsweise durch Kompostierung.

Generell sind etwa 48 % der Gesamtfläche in Österreich mit Wald bedeckt, dies sind etwa 4 Millionen Hektar. Daher wäre die Verwendung von einheimischen Hölzern nahe liegend und ohne lange Transportwege möglich. Dies wirkt sich schließlich wieder positiv auf die Ökologie des Baustoffes aus. Es ist also nicht nur ausreichend Holz in Österreich vorhanden, es wächst auch mehr Holz nach als gerodet wird.

„Weniger als ein Drittel des jährlichen Holzzuwachses in Österreich würde ausreichen, um damit alle Hochbauten eines Jahres mit Holz zu errichten“ [20].

Die am häufigsten vorkommenden Baumarten sind Nadelbäume. Nadelbäume haben einen Anteil von 71,6 % in Österreich, Laubbäume kommen mit 28,4 % vor. Von den Nadelbäumen ist die Fichte mit 59,7 % die am häufigsten vorkommende Baumart. Fichten und Kiefern eignen sich in der Bauindustrie gut als Zuschlagsstoff, da beide Hölzer eine ähnliche Jahresringstruktur und vergleichbare Zerspanungsbedingungen haben. Allerdings unterscheiden sie sich in der Art der Wasseraufnahme. Fichtenholz nimmt Wasser sehr langsam auf, Kiefernholz hingegen sehr schnell. Birken und Buchen (Laubbäume) eignen sich auch gut als Zuschlagsstoffe, aber sie kommen deutlich seltener vor als die zuvor erwähnten Fichten und Kiefern. Jedoch hat sich Aufgrund der Holzinhaltstoffe gezeigt, dass für die Verbindung von Holz und Zement, nicht alle Holzarten geeignet sind um ein gutes Abbindeverhalten zu erreichen.

Durch die Beimischung von Holzfasern und Holzspänen werden die Eigenschaften von Beton unterschiedlich verändert. Denn die Holzfasern haben eine höhere Zugfestigkeit und beeinflussen die Dichte, Biegezugfestigkeit und den E-Modul. Holzfasern als Zuschlagstoff ergeben bei Holzleichtbeton bessere Wärmedämmwerte und gute Bearbeitbarkeit durch die geringere Dichte und geringeres Gewicht.

Holzarten	Elastizitätsmodul aus Biegeversuch E [N/mm ²]	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit längs	Biegefestigkeit	Bruchschlagarbeit ω [kJ/m ²]	Härte nach Brinell [N/mm ²]	
		σ ZB [N/mm ²]	σ DB [N/mm ²]	σ BB [N/mm ²]		längs	quer
Laubhölzer							
Linde (TIXX)	7.400	85	44–52	90–106	50	37–41	13–20
Schwarzpappel (PONG)	8.800	77	30–35	55–65	50	30	10
Bergahorn (ACPS)	10.500	120	50	95	62–68	62	27
Eiche (QCXE)	13.000	110	52	95	60–75	50–65	23–42
Buche (FASY)	14.000	135	60	120	100	70	28–40
Nadelhölzer							
Fichte (PCAB)	11.000	95	45	80	46–50	31/32	12–16
Kiefer (PNSY)	11.000	100	47	85	40–70	39–40	14–23

Abb. 7 Kennwerte verschiedener Holzarten [21]

3.1.2 Beton

Beton wird aus einem Gemisch aus dem Bindemittel Zement, Wasser und Gesteinskörnungen hergestellt. Dazu können weitere Zuschlagstoffe hinzugefügt werden. Bei der Betonherstellung werden die einzelnen Anteile der Komponenten genau berechnet, um dann die gewünschten Festigkeitswerte zu erreichen.

Als Gesteinskörnung wird Kies und Sand verwendet. Zusammen mit dem Bindemittel Zement und der Zugabe von Wasser, kommt es zur Kristallisation des Zements und zur Verbindung mit den Gesteinskörnern. Durch diese sogenannte Hydratation kommt es zur Erhärtung und es entsteht ein festes Baustoffgemisch. Beton wird meistens zur Verbesserung seiner Eigenschaften, als Verbundwerkstoff ausgeführt, beispielsweise als Stahlbeton, Faserbeton oder Textilbeton. Weiters werden dem Beton zur gezielten Beeinflussung der Eigenschaften, Zuschlagstoffe beigemischt. Beispielsweise Stoffe welche das Schwinden verringern um Risse zu vermeiden, oder Holzspäne welche den Fokus dieser Arbeit darstellen [22] [23].

Der weltweit vielfältige Einsatz von Beton, hat einen großen Einfluss auf den weltweiten Ressourcenverbrauch und auf das Emissionsaufkommen.

Durch den Abbau von Sand für die Betonherstellung kommt es bereits zu merklichen Verknappungen des Rohstoffes Sand. Leider eignet sich der in großen Mengen verfügbare Wüstensand nicht für die Betonproduktion, da sich die runde Kornstruktur nicht ausreichend mit dem Zement verbindet.

Bei der Produktion von Beton kommt es auch zu CO₂ Emissionen, hauptsächlich durch den für die Produktion notwendigen Zementanteil. Die durch die Betonproduktion hervorgerufenen CO₂ Emissionen sind für ca. 6-9 % der weltweit menschenhervorgerufenen CO₂ Emissionen verantwortlich. Zu einem großen Teil kommt es zu den Emissionen durch das energieaufwändige Brennen von Zement bei der Zementherstellung,

Weltweit werden jährlich 2,8 Milliarden Tonnen Zement hergestellt. [23]

Zement

Zement ist ein für die Herstellung von Beton das essentielle Bindemittel. Durch die chemische Reaktion erhärtet dieses Bindemittel mit Wasser mittels Hydratation und bleibt danach fest. Die notwendigen natürlichen Rohstoffe zur Herstellung von Zement sind Kalkstein und Ton. Zusätzlich können Sand und eisenoxidhaltige Stoffe, zur besseren Sinterung, beigemischt werden. Zement wird durch Brennen (bzw. Sintern) von Kalk, Ton, Sand und Eisenerz bei ca. 1450°C und anschließendem Zermahlen und Beigeben von Gips hergestellt.

Nach Zugabe von Wasser erhärtet der Zementleim, sowohl an der Luft als auch unter Wasser. Der entstandene Zementstein bildet Festigkeiten, welche vom Wasserzementverhältnis abhängen (W/Z-Wert bzw. W/B-Wert). Zement dient auch zur Verbindung der weiteren Inhaltsstoffe des Betons, wie etwa den Zuschlägen und den Gesteinskörnungen. Die Porosität des Zementsteins bestimmt die Festigkeit und die Dichte des Betons.

Betonarten

Beton kann je nach Herstellungsverfahren und durch verschiedene mögliche Zuschläge beeinflusst werden und die Eigenschaften in eine gewünschte Richtung verändert. Ist das Ziel eine hohe Tragfähigkeit und ein hoher Schallschutz, wird Beton mit einer hohen Dichte benötigt. Soll hingegen eine hohe Wärmedämmung erreicht werden, können die Eigenschaften des Betons durch porige Zuschläge verbessert werden. Allerdings wird durch den Einsatz von porigen Zuschlägen, die Festigkeit des Betons herabgesetzt. Wird jedoch als Zusatz Holzspäne verwendet, so kann weiterhin eine gute Festigkeit erreicht werden und gleichzeitig die Wärmedämmung erhöht werden.



Abb. 8 Betonarten [16]

Zu den wichtigsten Betonarten gehören Schwerbeton, Normalbeton und Leichtbeton. Diese unterscheiden sich durch die Dichte und durch die unterschiedlichen Zuschläge [22]:

- **Schwerbeton** hat eine Trockenrohddichte über 2600 kg/m^3 und besteht aus sehr schweren Gesteinskörnungen wie zum Beispiel Basalt, Schwerspat, Magnetit oder auch Stahlfasern. Schwerbeton eignet sich für Spezialanwendungen wie beispielsweise Strahlenschutz.
- **Normalbeton** hat eine Trockenrohddichte von 2000 bis 2600 kg/m^3 und besteht aus Gesteinskörnungen wie Kiessand, Feldbrechgut, oder auch Brechtgut aus Recyclingbeton.
- **Leichtbeton** hat eine Trockenrohddichte unter 2000 kg/m^3 und wird mit Leichtzuschlägen wie Blähton, Holzspänen, Ziegelsplitt, Kalksplitt und Polystyrol hergestellt. Leichtbeton eignet sich vor allem auch für den Wohnbau.

3.1.3 Leichtbeton



Abb. 9 haufwerksporig [24]

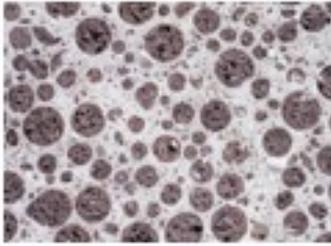


Abb. 10 gefügedicht [25]

Als Leichtbeton, dessen Trockenrohddichte wie zuvor erwähnt unter 2000 kg/m^3 liegt, wird mit verschiedenen Zuschlagsarten hergestellt. Dazu wird beispielsweise Blähton, Ziegelsplitt, Blähglas, Glasschaum, Luft oder Holzspäne hinzugefügt. Dabei wird durch die Zuschlagsart und der Mengenanteil die wichtigen Eigenschaften wie Dichte und Festigkeit gesteuert.

Weitere Unterschiede werden noch anhand der Gefügearten gemacht. Es werden gefügedichte und haufwerksporige Leichtbetone hergestellt. Haufwerksporiger Leichtbeton unterscheidet sich gegenüber gefügedichten Leichtbeton durch seine Lufthohlräume. An jenen Stellen, an denen sich beispielsweise die Blähtonkugeln berühren entstehen Zwischenräume. Diese Zwischenräume füllen sich nicht oder nur teilweise mit Zementleim. Dieser Beton hat eine besonders geringe Dichte und daher eine geringere Festigkeit. Dies macht ihn aber zum Beispiel für Einsatzgebiete ideal, die eine ausreichende Festigkeit bieten müssen und gleichzeitig weniger Materialeinsatz benötigen.

Eine weitere Unterscheidung des Leichtbetons erfolgt anhand der Einsatzgebiete. Es wird zwischen Konstruktionsleichtbeton, welcher gefügedicht mit einer Dichte von 800 kg/m^3 bis 2000 kg/m^3 und wärmedämmenden Konstruktionsleichtbeton unterschieden. Wärmedämmender Beton ist haufwerksporig bis gefügedicht und weist eine Dichte von 500 kg/m^3 bis 800 kg/m^3 auf [26].

Wärmedämmender Beton hat eine geringere Dichte und somit ein geringeres Gewicht mit hohem Porengehalt. Die Wärmedämmung wird durch den hohen Porengehalt und zusätzlich durch den wärmedämmenden Zuschlagstoff erreicht.

Bei der Herstellung von Leichtbeton ist es notwendig, besonders hohe Anforderungen an die Qualität und die Verarbeitung des Frischbetons zu stellen. Dies ist wichtig, denn es zeigt sich, dass es im Gegensatz zu Normalbeton eine größere Entmischungsgefahr aufgrund der unterschiedlichen Rohdichten der Zuschläge und des Sandes gibt. Außerdem erfordert die Verdichtung eine wesentlich höhere Aufbringung von Energie und auch ein höheres Maß an Rütteln, als bei Normalbeton, da die Auflast des Eigengewichtes viel geringer ist.

Holzspanbeton	
Rohdichte (mit Schwerstoffzuschlägen) [kg/m ³]	400 – 600 (> 1000)
(Würfel-)Druckfestigkeit (mit Spezialmischungen) [N/mm ²]	9,5 – 20 (bis 34,5)
Biegezugfestigkeit (bei Spezialfabrikaten) [N/mm ²]	8,5 – 12 (bis 20)
Wärmeleitfähigkeit [W/mK] ($\rho = 450 \text{ kg/m}^3\text{--}1000 \text{ kg/m}^3$)	0,11 – 0,37
Dampfdiffusionswiderstandsfaktor [μ]	4 – 6

Abb. 11 Holzspanbetonkennwerte [28] [29]

Auch aufgrund der geringen Rohdichte steigen die gröberen Zuschlagsstoffe, gegenüber dem Feinmörtel, verstärkt nach oben, was die Oberflächenbehandlung stören kann. Dies kann jedoch durch geeignete Rüttelgeräte bzw. Glättgeräte und einer zusätzlichen Schicht Mörtelmischung behoben werden.

Weiters gibt es beim Leichtbeton, im Vergleich zu Normalbeton, auch Unterschiede hinsichtlich baukonstruktiver Eigenschaften. Beim Normalbeton wird die Kraftableitung zum größten Teil über die meist festere Gesteinskörnung erreicht. Beim gefügedichten Leichtbeton erfolgt die Kraftableitung durch den beinhalteten Mörtel, da die Gesteinskörner meist eine geringere Festigkeit aufweisen und auch leichter verformbar sind. Somit hängt die Druckfestigkeit des Leichtbetons wesentlich von der Festigkeit des Zementsteins ab. Die Zugfestigkeit von Leichtbeton beträgt zwischen 65 % und 80 % von Normalbeton. Dies kann jedoch meist durch größere Elastizität ausgeglichen werden.

3.2 Holzleichtbeton Verbundwerkstoffe

3.2.1 Holzspanbeton

Holzspanbeton ist eine Verbundkonstruktion aus Holz und Beton und gehört zur Gruppe des Faserbetons. Holzspanbeton ist besonders elastisch und wärmedämmend, jedoch gibt es ein relativ hohes Schwindverhalten. Dieses beträgt bis zu 6 mm pro m [28]. Dieses Schwinden kann durch verschiedene Zusätze verringert werden. Jedenfalls erfordert jenes Schwinden längere Lagerzeiten vor dem Einbau einer HLB-Platte oder eines Formsteines. Auch das Quellverhalten kann durch Zusätze verringert werden.

Als Zuschlagsstoff werden vor allem Weichholzarten wie Fichte und Tanne hinzugefügt, aber auch härtere Hölzer wie Birke und ähnliche Holzarten. Lärche wird aber beispielsweise als ungeeignet eingestuft, da die in diesem Holz enthaltenen Inhaltsstoffe negative Auswirkungen auf die Festigkeit von Holzbeton haben.

Bei dem zum Einsatz kommenden Holz handelt es sich in wie bereits erwähnt um Abfallstoffe aus der Forstwirtschaft und aus Handwerksbetrieben.

Wichtig ist das getrocknetes Spangut verwendet wird, damit die gewünschten Eigenschaften nicht unkontrolliert beeinflusst werden. Um eine gute Verbindung von Spangut und Zement zu erreichen, kann es hilfreich sein die Späne vorzubehandeln. Auf die Vorbehandlung kann dann verzichtet werden, wenn der Anteil der organischen Stoffe verhältnismäßig gering ist, oder wenn anhand von Versuchen geklärt ist, dass die notwendigen Eigenschaften auch ohne einer Vorbehandlung erreicht werden können.

Die Vorbehandlung des Spangutes dient jedenfalls zur Verbesserung der Oberflächenbindung zwischen dem Zementleim und dem Holz, sowie die Verringerung des Schwindens beim Erhärten. Bei der Vorbehandlung werden zwei Vorgehensweisen unterschieden:

- Veränderung der Oberfläche zur Verbesserung der Haftung von den Holzspänen mit dem Zementleim.
- Die Tränkung bzw. Mineralisierung der Holzspäne, zur Verhinderung von weiterem Feuchtigkeitseintritt in die Holzspäne. Damit das für die Bildung von Holzleichtbeton notwendige Wasser, nicht von den Holzspänen aufgesaugt wird und eine gute Bindung des Holzleichtbetons verhindert.

Der Ablauf zum Erzeugen von Holzspanbeton ist wie folgt: Zunächst werden die Holzspäne in Mühlen mechanisch bearbeitet, gereinigt und in die entsprechenden Korngrößen zerkleinert. Danach werden die Holzspäne mit mineralischen Additiven durchtränkt, wobei sich die Holzspäne ansaugen. Daran kann sich dann das zugemischte Bindemittel, der Zement, gut anlagern und zu einem festen Verbund der Zuschläge werden. Durch das Ansaugen der Holzspäne mit den Additiven wird erreicht, dass keine Feuchtigkeit mehr eindringen kann. Beim frischen Holzspanbeton verhält sich die weitere Festigkeitsentwicklung ähnlich wie beim normalen Beton und kann dann geformt werden [28].

3.2.2 Holzspanbetonmantelsteine

Holzspanbeton kommt im Hochbau vor allem im Wohnbau als Holzspanmantelsteine für tragende und nicht tragende Innen- und Außenwände zum Einsatz. Es können verschiedene Formen und Sonderanfertigungen hergestellt werden.



Abb. 12 Holzspanbetonmantelstein mit integrierter Dämmung [30]

Holzspanbetonmantelsteine werden anschließend mit Beton gefüllt um die Festigkeit zu erhöhen und so einen guten Festigkeits- und Wärmedämmverbund zu erreichen. Die Betonfüllung gewährleistet eine optimale Lastabtragung. Mit dieser Kernbetonfüllung werden bei Holzspanbetonmantelsteinen U-Werte bis $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht. Wenn noch zusätzlich ein Wärmedämmverbundsystem ausgeführt wird, können U-Werte bis zu $0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ erzielt werden. Holzspanbetonmantelsteine ermöglicht einen hohen Grad an Vorfertigung, auch in größeren Formaten, was den Bauprozess beschleunigt.

3.2.3 Holzwolleleichtbauplatten

Eine weitere Einsatzmöglichkeit von Holzspänen im Hochbau ist das Produkt der Holzwolleleichtbauplatten. Bei Holzwolle handelt es sich um längere gewellte Holzspäne aus luftgetrockneten heimischen Hölzern, welche sich ineinander verknoten und mit Bindemitteln vermischt werden. Dieses Gemisch ist schwach verdichtet und ist somit nicht als ein tragendes Bauteil gedacht. Diese Platten haben eine geringere Wärmedämmung als zur Zeit übliche Wärmedämmstoffe, mit einem Wärmeleitfähigkeitswert von $0,093 \text{ W/mK}$. Jedoch ist die Wärmekapazität und somit der sommerliche Wärmeschutz hoch. Weiters haben sie auch eine gute Schalldämmung und eine gute Diffusionsfähigkeit. Da die Dämmwirkung im Vergleich zu anderen Dämmstoffen geringer ist, ist mit stärkeren Wanddicken zu rechnen. Dadurch lassen sich mit konventionellen Wandaufbauten mit Holzwolleleichtbauplatten auch niedrige U-Werte erreichen. Auch der Feuerwiderstand eines Gebäudes lässt sich mit jenen Holzwolleleichtbauplatten erhöhen.



Abb. 13 Holzwolleplatten [28]

Da auch diese Platten aus natürlichen Rohstoffen hergestellt werden, ergeben sich daraus nur

geringe Umweltbelastungen im Vergleich zu üblichen Dämmstoffen wie zum Beispiel Polystyrol. Weiters ist das Produkt recyclebar und somit um vieles ökologischer als anderer Dämmstoffe.

3.2.4 weiterer Holzleichtbeton-Verbundbau

Verbundbau bezeichnet die Verbindung von verschiedenen Werkstoffen zu einer Einheit, mit dem Ziel der Verbesserung der technischen Eigenschaften, durch Nutzung der Vorteile der einzelnen Komponenten. Ein Beispiel für die Umsetzung von Verbänden ist der Verbund aus Stahl und Beton zu Stahlbeton. Beton hat die Eigenschaft eine hohe Druckfestigkeit zu besitzen, hat dafür aber eine geringe Zugfestigkeit. Durch die Zugabe von Stahl lässt sich Stahlbeton herstellen, welcher eine hohe Druckfestigkeit und Zugfestigkeit aufweist. In unserem Bezug liegt nun der Verbundwerkstoff Holzleichtbeton im Vordergrund, was auch die Vorteile der beiden Materialien nützt und somit seinen konstruktiven Nutzen erhält. Nun können verschiedene Systeme bzw. Konstruktionsaufbauten mit Holzleichtbeton kombiniert und für Wand- und Deckenaufbauten verwendet werden, um das Potential des Holzleichtbetons auszuschöpfen. Zum Beispiel der Verbund von Holzleichtbeton in Verbindung mit Massivholzkonstruktionen für Wand- oder Deckenaufbauten. Hier wird die Dämmung des Holzleichtbetons mit den tragenden Eigenschaften des Massivholzes kombiniert.

3.3 Eigenschaften von Holzleichtbeton

Die Eigenschaften von Holzleichtbeton sind von verschiedenen Einflüssen abhängig. Die Festigkeit und die Verarbeitbarkeit von Holzleichtbeton werden vom Holz-Zement-Verhältnis und vom Wasser-Zement-Wert beeinflusst. Beispielsweise können bei Holzleichtbeton mit einer Rohdichte von 1000 kg/m^3 Druckfestigkeiten bis zu 15 N/mm^2 und Biegefestigkeiten bis 5 N/mm^2 erreicht werden können [31]. Es zeigt sich, dass je höher der Holzanteil ist, desto stärker nimmt die Festigkeit des Holzleichtbetons ab.

Weiters ist es so, dass Holzleichtbeton einen höheren Zementgehalt hat, als andere Betonmischungen.

Der Gehalt an Holzzucker in den Spänen hat einen verzögernden Einfluss auf den Abbindevorgang. Dieser lässt sich jedoch durch Vorbehandlung der Holzspäne mit Mineralisierungszusätzen, oder dem Einsatz von speziellen Schnellzementen verhindern.

Schallschutz, Schalldämmung, Akustik

Durch die Mischung des Betons mit Holzspänen zu Holzleichtbeton entstehen Luftporen, die zu einem porösen Gefüge führen. Dadurch ist der Werkstoff Holzleichtbeton ein schlechter Leiter von Schall. Die Schallgeschwindigkeit im Holzleichtbeton (abhängig von der Dichte) beträgt in etwa 1250 m/s, im Gegensatz dazu weist Normalbeton eine Schallgeschwindigkeit von 3800 m/s auf [32]. Somit zeigt sich, dass mit Holzleichtbeton im Bereich des Trittschalls bei Bodenbelägen, gute Ergebnisse zu erzielen sind. Allgemein kann gesagt werden, dass Schallabsorption funktioniert, indem die Schallenergie durch Reibung in den Poren in Wärmeenergie umgewandelt wird. Um eine gute Absorption zu erreichen ist es notwendig, dass es viele verschieden große Poren gibt, sodass der Schall in das Material eindringen kann, um einen guten Reibungsvorgang zu erhalten. Weiters von Vorteil, um gute Schallabsorptionsergebnisse zu erhalten, ist es wenn ein großer Strömungswiderstand gegeben ist. Bei zu engen Luftkanälen kann der eintretende Schall nicht ausreichend tief in das Material eindringen und wird somit zu einem großen Teil reflektiert. Wenn die Luftkanäle aber zu groß sind, dringt der Schall leicht durch das Material und hat somit schlechte schalldämmende Wirkung.



Abb. 14 Holzleichtbeton als Schallschutz [33-1]

Wärmedämmung und Wärmespeicherung

Um Holzleichtbeton für den Wärmeschutz einzusetzen ist es notwendig, dass die Mindestanforderungen an Wärmeschutz für Außenwandkonstruktionen erfüllt werden. So ist in der Wiener Bauordnung ein maximaler Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände von $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ für Neubauten definiert. Dies betrifft jedoch nur Neubauten im Allgemeinen.

Auch bei der Wärmeleitfähigkeit ist der Porengehalt von essentieller Bedeutung. Weiters ist noch die Form der Poren, der Holz-Zement-Anteil und der Feuchtigkeitsgehalt von Bedeutung.

Da es verschiedene Zusammensetzungen von Holzspanbeton gibt, sind auch die Werte für die spezifische Wärmeleitfähigkeit auch unterschiedlich. Diese sind abhängig vom Holzspananteil und damit von der Dichte des Produktes. Holzspanbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 wurde mit einer Wärmeleitfähigkeit (λ -Wert) von $0,12 \text{ W/mK}$ gemessen. Die zementgebundene Holzspandämmplatte der Firma Velox erreicht einen λ -Wert von $0,104 \text{ W/mK}$. Holzwolleplatten mit einer Dichte von 380 kg/m^3 erreichen einen noch niedrigeren λ -Wert von $0,09 \text{ W/mK}$. Bei Holzspanbeton mit einer deutlich höheren Dichte ergeben sich auch deutlich höhere Wärmeleitfähigkeitswerte. Holzspanbeton mit einer Dichte 1.000 kg/m^3 hat einen λ -Wert von $0,370 \text{ W/mK}$. Somit kann gesagt werden, dass der Wert für die Wärmeleitfähigkeit umso kleiner wird, je geringer die Dichte und je größer der Porenanteil ist.

Um daher den Einsatz für Außenwände zu ermöglichen, muss der U-Wert kleiner als $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein. Die Kombination für Aufbauten von Holzleichtbeton und Massivholz oder Brettsperrholz ergibt, bei einer Stärke von 17 cm für den Brettsperrholzaufbau und einer Stärke von 15 cm für den Holzleichtbetonaufbau, ergibt einen U-Wert von $0,342 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dies ermöglicht daher den Einsatz für Außenwände. So lässt sich damit mindestens der Standard der Massivbauweise erreichen und der Heizwärmebedarf wird gering gehalten. Mit diesen Materialien ist aber auch Passivhausstandard zu erreichen. Bei Passivhäusern muss der U-Wert von opaken Außenbauteilen unter $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen. Um einen derart niedrigen U-Wert zu erhalten muss allerdings im Verbund mit weiteren Materialien gearbeitet werden. Zum Beispiel eine tragende Holzmantelbetonwand in Verbindung mit einer ökologischen und gut wärmedämmenden Hanffaserdämmplatte.

Zum wärmespeichernden Effekt eignet sich weiters der Einsatz von Holzmantelbetonsteinen mit einem Betonkern, da dieser im Winter als aktiver Wärmespeicher und im Sommer als ein wirkungsvoller Schutz gegen sommerliche Überhitzung wirkt. Holzspanbeton ist weiters diffusionsoffen und wirkt als Klimamembran, was zu einem ausgeglichenen Wohnklima beiträgt.

Brandschutz

Ein großer Teil des Holzleichtbetons besteht aus Zementstein, welcher ein nicht brennbarer Baustoff ist. Ein weiterer großer Teil ist Holz, welcher ein brennbarer, aber feuerhemmender Baustoff ist. Beim Verbund der Holzspäne zu Holzleichtbeton, werden die Späne von Zementleim eingeschlossen, wodurch das Brandverhalten der Holzspäne stark gemindert wird.

Durch Versuche der TU München konnte festgestellt werden, dass Holzleichtbeton mit einem Holzmasseanteil von bis zu 20 %, die Baustoffklasse A2 (nicht brennbar nach DIN 4102) erreichen kann [32]. Beim Einsatz von Holzleichtbeton in der Außenfassade oder an der Rauminnenseite von tragenden Holzkonstruktionen, trägt die Holzleichtbetonschicht zum Brandschutz bei.

Bei einem Holzmasseanteil von 20 % ist im Einsatz für Innenräume auch eine akustische Wirksamkeit möglich und somit wäre ein zusätzlicher Vorteil des Materials im Innenraum geschaffen.

Erdbebensicherheit

Der Einsatz von Holzmantelbetonsteinen für Wände in Gebieten mit Erdbebengefährdung, bietet eine erhöhte Sicherheit und ist bei entsprechender konstruktiver und statischer Bemessung, eine gute Wahl. Gebäude in Holzbetonbauweise können starken Erdbebenstößen entgegensetzen ohne nennenswerte Schäden zu erleiden. Durch die hohe Zähigkeit (Duktilität) von Holzmantelbetonwänden findet bei Erdstößen eine innerliche Dämpfung statt. Dadurch ist es möglich, dass die horizontale Belastung, die bei einem Erdbeben auftritt, gut aufgenommen wird ohne dass es dabei zu Schäden kommt.

3.4 Hochbaukonstruktionen mit Holzleichtbeton

Mit Holzleichtbeton bietet sich der Einsatz für Innenwand- als auch für Außenwandkonstruktionen an. Generell ist zu erkennen, dass der Anteil des Holzbaus in Österreich steigt und auch einen erheblichen Teil im Hochbau ausmacht. Nach einer Studie der BOKU Wien zum Thema Holzbauteil in Österreich, die im Jahr 2011 veröffentlicht wurde und den Erhebungszeitraum von 1998 bis 2008 beobachtete, zeigt sich dass der Anteil der bewilligungspflichtigen Hochbaubauvorhaben in Österreich von 25 % auf 39 % gestiegen ist. Besonders im urbanen Raum kam es zu einer klaren Zunahme von Holzbauaktivitäten. Es wurde ein Anstieg bis zu 45 % der Wohnbauvorhaben verzeichnet. In Wien wurde bereits 2008 jedes vierte Bauvorhaben im Wohnbau mithilfe von Holzkonstruktionen umgesetzt [34].

Dies zeigt, dass der nachwachsende Rohstoff Holz, bei Konstruktionen in Form von Skelettbau, als auch in Massivbauweise bereits in einem großen Ausmaß eingesetzt wird. Da Konstruktionsholz in diesem großen Ausmaß bereits verwendet wird, gibt es dadurch auch eine steigende Menge an Rest- und Nebenprodukten der Konstruktionsholzproduktion. Diese Abfallprodukte können nun für die Produktion von Holzleichtbeton herangezogen werden.

Verwendung in Wandaufbauten

Holzleichtbeton lässt sich gut in Wandaufbauten einsetzen. Es ist jedoch darauf zu achten, dass Holzleichtbeton je nach Dichte unterschiedliche Bereiche in einer Konstruktion abdecken kann, wie Lastabtragung (wenn auch in einem beschränkten Maße), Wärmedämmung und Wärmespeicherung, Schalldämmung und Brandschutz. Bei der alleinigen Verwendung von Holzleichtbeton zur Lastabtragung ist eine Variante mit einer hohen Dichte von $> 1.500 \text{ kg/m}^3$ zu wählen. Hierbei ist dann der Holzmasseanteil geringer. Je höher die Dichte, desto höher wird die Wärmeleitfähigkeit, wodurch die Wärmedämmung wieder abnimmt. Nun ist es sinnvoll einen Kompromiss zu finden zwischen der Eigenschaft der Lastabtragung und der Wärmedämmung. Aus ökologischer Sicht muss



Abb. 15 Außenwandkonstruktion mit Holzleichtbeton [35]



Abb. 16 Holzleichtbetonwandelement zum Verfüllen mit Beton [36]

zu einem höheren Holzanteil tendiert werden. Dabei erhält man auch bessere Wärmedämmwerte. Da dies wie erwähnt zur Verringerung der Festigkeit führt, bietet sich also der Verbund mit anderen Materialien zur Erhöhung der Stabilität an. Als Beispiel zur Erhöhung der Festigkeit einer Verbundkonstruktion mit Holzleichtbeton kann bei Außenwänden der Verbund von Holzmantelbetonsteinen genannt werden, welche mit Beton aufgefüllt werden, oder der Verbund mit Massivholzbauweise, welcher in Form von Brettstapelelementen eingesetzt wird. Dadurch können die vertikalen und horizontalen Traglasten aufgenommen werden. Ist dies nun gewährleistet, kann Holzleichtbeton wärmedämmend, wärmespeichernd und auch tragend wirken.

Beim Einsatz von Wandaufbauten, müssen wie bereits erwähnt laut OIB Richtlinie, thermische Voraussetzungen erfüllt werden. Bei Wänden gegen Außenluft muss ein U-Wert kleiner gleich $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für Wandaufbauten im Passivhausbereich muss der U-Wert kleiner gleich $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein.

Massivholz-Holzleichtbeton-Verbund

Durch die Verwendung von Massivholz im Hochbau ist es möglich widerstandsfähige Gebäude zu errichten, die sich somit auch für größere Belastungen eignen. Diese Massivholzbauweise kann im Wohnungsbau durch Brettstapelholz, ausgeführt werden.

Der Verbund aus Massivholz mit Holzleichtbeton führt zu einer Verbesserung der wärmedämmenden, statischen und schalltechnischen Eigenschaften eines Wandbauteiles bzw. eines Deckenbauteiles. Eine derartige Verbundkonstruktion in Form einer Decke, hat ein gutes Wärmespeichervermögen, wirkt brandhämmend und sorgt für einen guten Feuchtigkeitsausgleich. Brettstapeldecken sind im Vergleich zu massiven Stahlbetondecken auch weniger schwingungsempfindlich. Die Brettstapeldecke muss in Verbindung der einzelnen Deckenelemente schlüssig verbunden sein um eine Scheibenwirkung der Decke zu gewährleisten. Durch den Einsatz von Brettstapelelementen können im Wohnbau die Gebäudelasten deutlich reduziert werden.

3.5 SWOT-Analyse Holzleichtbeton

Wie in Kapitel 1.5.2 beschrieben soll die SWOT-Analyse aufzeigen, welche Möglichkeiten Holzleichtbeton im Hochbau bietet. Dabei ist zunächst einzugrenzen, welcher Holzleichtbeton betrachtet wird. Zum Beispiel hat Holzspanbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 höhere Wärmedämmeigenschaften (spez. Wärmeleitfähigkeit λ von $0,12 \text{ W/mK}$), jedoch eine geringere Festigkeit. Holzspanbeton mit einer Dichte von 1000 kg/m^3 besitzt hingegen eine höhere Festigkeit, hat jedoch schlechtere Dämmeigenschaften (spez. Wärmeleitfähigkeit λ von $0,37 \text{ W/mK}$).

Bezogen wird sich nun auf Holzspanbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 .

Stärken (strengths):

Zu den Stärken zählt eine gute Dämmeigenschaft mit einer Wärmeleitfähigkeit λ von $0,12 \text{ W/mK}$. Weiters hat dieser Werkstoff einen Anteil an recycelten Holspänen. Dies hat einen positiven ökologischen Effekt, da CO_2 während dem Wachsen des Holzes gespeichert wird und Holzspäne als Nebenprodukt bzw. Abfall von anderen Produktionsprozessen anfallen. Gute Feuerbeständigkeit ist bei Holzspanbetonplatten ebenfalls gegeben, da sie schwer entflammbar sind, mit kaum Rauchentwicklung und keinem abtropfen [38]. Des Weiteren sind auch gute Schalldämmeigenschaften durch den hohen Porengehalt vorhanden.

Schwächen (weaknesses):

Holzspanbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 weist eine bedingte Tragfähigkeit durch hohen Holzspan- und Porengehalt auf. Daher ist es nicht als tragendes Bauteil gedacht. Die Wärmeleitfähigkeit λ von $0,12 \text{ W/mK}$ befindet sich im selben Bereich wie beispielsweise Holz oder eine OSB-Platte. Andere Dämmstoffe wie beispielsweise eine Korkdämmplatte weisen eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit λ von $0,041 \text{ W/mK}$ auf.

Daher ist die alleinige Dämmung mit einer Holzspandämmplatte nicht vergleichbar mit den derzeit gängigen Dämmstoffen.

Chancen (opportunities):

Die Tragfähigkeit kann erhöht werden indem der Holzspangehalt gesenkt wird, dies führt jedoch dazu, dass die positiven Wärmedämmeigenschaften geringer werden. Jedoch kann die Tragfähigkeit erhöht werden, indem ein Verbundwerkstoff von Holzspanbeton mit statisch tragfähigeren Materialien kombiniert wird. Beispielsweise ein Holz-Holzspanbeton-Verbund oder bei Holzmantelbetonsteinen mit Ausfüllung von mit Normalbeton. Damit kann erreicht werden, dass tragende Wände oder Decken mit diesem Material ausgeführt werden können. Weiters besteht die chance darin weniger Ressourcen verwendet zu müssen indem man Holzreststoffe verwendet.

Gefahren (threats):

Da die Ausführung zu Verbundwerkstoffen mit Aufwand, CO₂-Produktion und Kosten verbunden ist, muss stets im Auge behalten werden ob die ökologisch optimierte Konstruktionsvariante mit Holzspanbeton, einen ausreichend guten Wärmedämmwert besitzt und wie hoch sich hierbei die Kosten belaufen.

3.5.1 Kombination der Eigenschaften

Stärke-Chancen-Kombination (SO):

Welche Stärken passen zu welchen Chancen?

Stärken sind die gute Wärmedämmung mit der Chance zur Ausführung als Verbundwerkstoff. Auch die gute Formbarkeit des Materials kann als eine Chance für zukünftige Verfahren angesehen werden.

Stärke-Gefahren-Kombination (ST):

Wie können vorhandene Stärken eingesetzt werden, um den Eintritt bestimmter Risiken abzuwenden?

Es muss mit Bedacht auf die Ökologie ein geeigneter Mittelweg zwischen Tragfähigkeit und guten Dämmeigenschaften gefunden werden.

Schwäche-Chancen-Kombination (WO):

Wie können trotz Schwächen Chancen genutzt werden?

Durch die Ausführung zu einem Verbund, kann die bedingte Tragfähigkeit erhöht werden und somit zu einem tragenden Bauteil werden.

Schwäche-Gefahren-Kombination (WT):

Wie können wir trotz Schwächen den Gefahren trotzen?

Analyse der ökologischen Kennzahlen der entsprechenden tragenden Bauteile mit den Holzspanbeton-Verbundwerkstoffen. Daraus können dann weitere Schlüsse gezogen werden.

SWOT-Analyse	Interne Analyse		
	Stärken (Strengths)	Schwächen (Weaknesses)	
E x t e r n e A n a l y s e	Chancen (Opportunities)	<p>SO Stärke-Chancen-Kombination: Welche Stärken passen zu welchen Chancen? Stärken sind die gute Wärmedämmung mit der Chance zur Ausführung als Verbundwerkstoff.</p>	<p>WO Schwäche-Chancen-Kombination: Wie können trotz Schwächen Chancen genutzt werden? Durch die Ausführung zu einem Verbund, kann die bedingte Tragfähigkeit erhöht werden und dann somit zu einem tragenden Bauteil werden.</p>
	Risiken (Threats)	<p>ST Stärke-Gefahren-Kombination: Wie können vorhandene Stärken eingesetzt werden, um den Eintritt bestimmter Risiken abzuwenden? Es muss ein geeigneter Mittelweg gefunden werden zwischen Tragfähigkeit und guten Dämmeigenschaften.</p>	<p>WT Schwäche-Gefahren-Kombination: Wie können wir trotz Schwächen den Gefahren trotzen? Analyse der ökologischen Kennzahlen der entsprechenden tragenden Bauteilen mit den Holzspanbeton-Verbundwerkstoffen. Daraus dann Schlüsse ziehen.</p>

Abb. 17 Matrix einer SWOT-Analyse zu Holzleichtbeton

3.6 Kennwertberechnung und Kostenermittlung von Konstruktionen mit Holzleichtbeton

Als Überblick zur möglichen Verwendung von Holzleichtbeton, werden nun Beispiele angeführt, welche Holzleichtbeton in verschiedenen Positionen und Formen im Verbund zeigen. Dazu werden in der linken Spalte die Kosten der Materialien aufgezeigt. Die angezeigten Listenpreise kommen von verschiedenen Anbietern und Produzenten und sind Nettopreise ohne MwSt. (stand 2018) und werden auf ganze Zahlen gerundet. Zur Herstellung des Aufbaus der Konstruktionen wird natürlich noch das know how und die Manneskraft benötigt. Dies wird in den folgenden Auflistungen jedoch noch außer Acht gelassen. Dennoch kann gesagt werden das zur Zeit die Kosten für einen Arbeitsstunde (Regiemannstunde) bei ca. 50,0 €/h liegen.

Kosten:

Brettschichtholz ¹ :	122 €/m ²
Velox WS50 ² :	(22 €/m ²)
(22€/m ²) x 4	88 €/m ²
Summe =	210 €/m ²

¹Anbieter: gsh-Holz

²Anbieter: Velox

Außenwand mit Brettschichtholz

a) Aufbau Außenwand 1, besteht aus einer tragenden Brettstapelschicht mit 15 cm Stärke und davor gesetzten Holzleichtbetonspanplatten mit 20 cm. Für die Holzspanplatte werden drei Holzspan-Dämmplatten mit jeweils 5 cm Dicke von Velox herangezogen, welche eine Dichte von 475 kg/m³ haben. Der sich hieraus ergebende U-Wert beträgt 0,308 W/m²K und der ΔOI3 beträgt 51. Es zeigt sich also, dass bei diesem gewählten Aufbau bereits die thermischen Voraussetzungen für eine Außenwand vorhanden sind, also ein U-Wert welcher unter 0,35 W/m²K liegt.

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : Außenwand 1 BS
 Typ : Wand (gegen Auf)
 Projekt :
 Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3500 m
 U-Wert : 0,308 W/m²K
 flächenspez. Masse: 173,8 kg/m²
 ΔOI3: 51

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Brettschichtholz, verleimt Aussenanw	15,000	0,130	<input type="button" value="Neu"/>
2		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="button" value="Neu"/>
3		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="button" value="Neu"/>
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="button" value="Neu"/>
A 5		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="button" value="Neu"/>

sonstige, nicht U-Wert-relevante Bestandteile

Abb. 18 Brettschichtholz wand mit Holzleichtbetonplatten [33]

b) Aufbau Außenwand 1.1 aus den zuvor gewählten Brettschichtholz und Holzspanplatten eingehüllt in eine Wandkonstruktion zeigt, dass hierbei ein U-Wert von 0,257 W/m²K zu erwarten ist. Jener U-Wert liegt bereits deutlich unterhalb der vorgeschriebenen 0,35 W/m²K. Der ΔOI3-Wert beträgt 49.



Abb. 19 Brettschichtholz wand mit Holzleichtbetonplatten – voller Aufbau [33]

Kosten:

Brettschichtholz: ¹122 €/m²
 Velox WS50²:
 (22€/m²) x 2 44 €/m²
 Sto SW 040_[5cm]³:
 (16€/m²) x 2 32 €/m²
 Summe = 198 €/m²

c) Aufbau Außenwand 1.3 zeigt einen ähnlichen Aufbau mit einer 15 cm tragenden Brettschichtholz wand und 10 cm Holzspanplatten. Dazwischen wurde noch eine 10 cm Steinwolle dämmplatte positioniert. Diese Kombination zeigt eine Verbesserung des U-Wertes auf 0,209 W/m²K, jedoch auch eine Erhöhung des ΔOI3-Wertes auf 84.

¹Anbieter: gsh-Holz

²Anbieter: Velox

³Anbieter: Sto



Abb. 20 Brettschichtholz wand mit Holzspanbeton und Steinwolle [33]

Kosten:

Brettschichtholz: 1122 €/m²

Velox WS50²:

(22€/m²) x 2 44 €/m²

Capatect

Hanffasermatte⁴: 29 €/m²

Summe = 195 €/m²

d) Aufbau Außenwand 1.4 zeigt einen ähnlichen Aufbau mit einer 15 cm tragenden Brettschichtholz wand und 10 cm Holzspanplatten. Dazwischen wurde statt der 10 cm Steinwolle dämmplatte, eine Hanffasermatte positioniert. Diese Kombination ergibt eine leichte Veränderung des U-Wertes auf 0,214 W/m²K, jedoch auch eine deutliche Verbesserung des ΔOI3-Wertes auf 50.

¹Anbieter: gsh-Holz

²Anbieter: Velox

⁴Anbieter: Profifarben.at

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : Außenwand 1.4-Hanfdämmung
Typ : Wand (gegen Außenluft - nicht
Projekt :
Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3500 m
U-Wert : 0,214 W/m²K
flächenspez. Masse: 135,5 kg/m²
ΔOI3: 50

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1	<input type="checkbox"/>	Brettschichtholz, verleimt Aussenanwendung (525 k	15,000	0,130	<input type="button" value="Neu"/>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Capatect Hanffasermatte / NAPORowall	10,000	0,042	<input type="button" value="Neu"/>
3	<input type="checkbox"/>	Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="button" value="Neu"/>
A 4	<input type="checkbox"/>	Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="button" value="Neu"/>

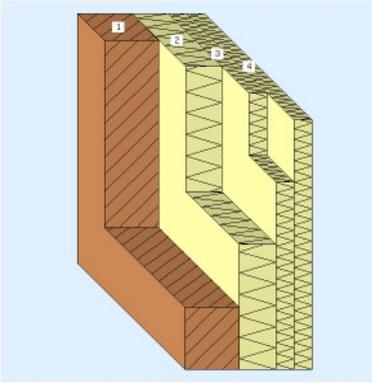


Abb. 21 Brettschichtholz wand mit Holzspanbeton und Hanffasermattung [33]



Abb. 22 Holzmantelbetonstein [37]

Außenwand mit Holzmantelbetonsteinen

Holzmantelbetonsteine sind Steine, die aus Holzleichtbeton gefertigt und im inneren hohl sind. Um als tragende Wand zu fungieren, werden diese Hohlräume mit Beton aufgefüllt, um damit die auftretenden statischen Kräfte abzuleiten. So wird Holzleichtbeton als verlorene Schalung verwendet. Zusätzlich kann noch Dämmmaterial zur Erhöhung der Wärmedämmung im Inneren des Mantelsteines, eingebracht sein.

Die unten angeführte linke Abbildung (Abb. 23) zeigt einen Holzmantelbetonstein der Firma Thermo-Span mit der Bezeichnung Thermo-T2 super mit einer Stärke von 38 cm. Der Holzspanbeton des Mantelsteines hat eine Dichte von 550 kg/m^3 . Zusätzlich zum Holzleichtbeton beinhaltet dieser Verbund eine Wärmedämmung in Form von Steinwolle. Der Rest des Zwischenraumes wird beim Einbau mit Beton aufgefüllt. Bei einer Dicke von 38 cm hat dieser Holzmantelbetonstein einen U-Wert von $0,257 \text{ W/m}^2\text{K}$ und kommt auf einen ΔOI3 -Wert von 52. Eine Alternative zu dem bereits genannten Mantelbetonstein zeigt die rechte Abbildung (Abb. 24). Dies ist ein Mantelbetonstein der Firma Isospan mit der Bezeichnung Isospan Super2000 S36,5/16,5. Dieser hat eine Dicke von 36,5 cm und hat als Wärmedämmung EPS. Somit hat dieser Mantelbetonstein einen U-Wert von $0,199 \text{ W/m}^2\text{K}$ und kommt auf einen ΔOI3 -Wert von 39.



Abb. 23 Holzmantelbetonstein Fa.Thermo-span [33]

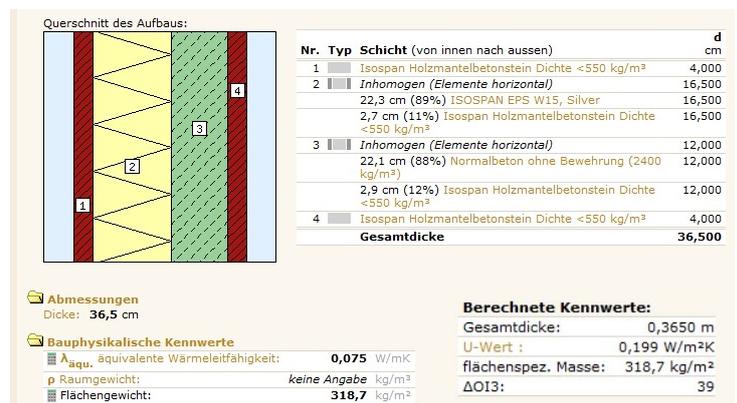


Abb. 24 Holzmantelbetonstein Fa.Isospan [33]

Kosten:

Isospan Super2000 S30/09⁵:
58 €/m²

Füllbeton für
Schalungssteine⁶
(ca. 100l/m²) : 90 €/m²

Velox WS75²:
(31€/m²) x 2 62 €/m²

Summe = 210 €/m²

e) Im folgenden Wandaufbau (siehe Abb. 33) wird ein Holzmantelbetonstein der Firma Isospan mit der Bezeichnung Super2000 S30/9 verwendet und zusätzlich 15 cm Holzspanndämmplatten angebracht. Dieser Holzmantelbetonstein hat eine Dicke vom 30 cm und ist mit 9 cm EPS Dämmung gefüllt. Mit Verputz ergibt sich eine Wandstärke von 45,5 cm. Hieraus wird ein U-Wert von 0,245 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 48 berechnet.

⁵Anbieter: SW Umwelttechnik; ⁶Anbieter: dai Bau; ²Anbieter: Velox

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : AWm 01 Isospan, Super2000/9
 Typ : Wand (gegen Außenluft - nicht hint
 Projekt :
 Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,4549 m
 U-Wert : 0,246 W/m²K
 flächenspez. Masse: 418,8 kg/m²
 ΔOI3: 48

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Spachtel - Gipsspachtel	0,300	0,800	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	isospan Super 2000 S30/9	30,000	0,123	
3		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	
A 5		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	0,190	0,800	

sonstige, nicht U-Wert-relevante Bestandteile

Abb. 25 Mantelbetonstein Isospan Super S30/9 mit weiteren Holzspanbetonplatten [33]

Kosten:

Isospan Super 2000
S36,5/16,5-Silver⁵: 91 €/m²

Füllbeton für
Schalungssteine⁶
(ca. 100l/m²) : 90 €/m²

Velox WS75²:
(31€/m²) x 2 62 €/m²

Summe = 243 €/m²

f) Als nächstes Beispiel wird im folgenden Wandaufbau wieder ein Holzmantelbetonstein der Firma Isospan verwendet, jedoch ein anderes Model mit der Bezeichnung Super2000 S36,5/16,5 – Silver. Zusätzlich werden auch hier 15 cm Holzspanndämmplatten angebracht. Der Holzmantelbetonstein hat eine Dicke von 36,5 cm und ist mit 16,5 cm EPS Dämmung gefüllt. Mit Verputz ergibt sich eine Wandstärke von ca. 52 cm. Hieraus folgt ein U-Wert von 0,154 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 54.

⁵Anbieter: SW Umwelttechnik; ⁶Anbieter: dai Bau; ²Anbieter: Velox

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : AWm 01 Isospan, Super2000 S36,5/16,5 - Silver
 Typ : Wand (gegen Außenluft - nicht hinterlüftet)
 Projekt :
 Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,5199 m
 U-Wert : 0,154 W/m²K
 flächenspez. Masse: 397,3 kg/m²
 ΔOI3: 54

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Spachtel - Gipsspachtel	0,300	0,800	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	isospan Super 2000 S36,5/16,5 - Silver	36,500	0,075	
3		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	
A 5		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	0,190	0,800	

sonstige, nicht U-Wert-relevante Bestandteile

Abb. 26 Mantelbetonstein Isospan Super S36,5/16,5 Silver mit weiteren Holzspanbetonplatten [33]

Kosten:

Isospan Super 2000 S36,5/16,5-Silver ⁵ :	91 €/m ²
Füllbeton für Schalungssteine ⁶ (ca. 100l/m ²) :	90 €/m ²
Velox WS50 ² :	
(22€/m ²) x 2	44 €/m ²
Velox WS75 ² :	31 €/m ²
Summe =	256 €/m²

g) Um einen Außenwandaufbau für Passivhäuser nutzen zu können, muss der U-Wert unterhalb 0,150 W/m²K liegen. Mit dem vorangegangenen Aufbau wäre dies fast gelungen. Daher wird nun ein ähnlicher Aufbau wie zuvor betrachtet, mit dem gleichen Isospan Holzmantelbetonstein Super2000 S36,5/16,5 – Silver, jedoch mit insgesamt 2,5 cm stärkeren Holzspandämmplatten, also mit Holzspandämmplatten mit einer Dicke von 17,5 cm. Somit wird ein U-Wert von 0,149 W/m²K erreicht, bei einem ΔOI3-Wert von 60.

⁵Anbieter: SW Umwelttechnik; ⁶Anbieter: dai Bau; ²Anbieter: Velox

Allgemeine Daten

Bezeichnung und Art der Berechnung: Kopie von AWm 01 Isospan, Super2000 S36,5/16,5 - Silver BG1, Neubau

Typ: Wand (gegen Außenluft - nicht hinterlüft)

Projekt, Auftraggeber:

Berechnete Kennwerte:

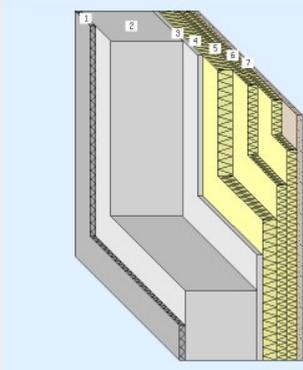
Gesamtdicke: 0,5499 m

U-Wert: 0,149 W/m²K

flächenspez. Masse: 418,1 kg/m²

ΔOI3: 60

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Spachtel - Gipsspachtel	0,300	0,800	<input type="checkbox"/>
2		isospan Super 2000 S36,5/16,5 - Silver	36,500	0,075	<input type="checkbox"/>
3		Kleber mineralisch	0,500	1,000	<input type="checkbox"/>
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	<input type="checkbox"/>
5		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="checkbox"/>
6		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	<input type="checkbox"/>
A 7		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	0,190	0,800	<input type="checkbox"/>



2D-Grafik

Abb. 27 Mantelbetonsteinaufbau zulässig für Passivhäuser [33]

Kosten:

Betonfertigteil ⁷ :	85 €/m ²
EPS Dämmung ⁸ :	6 €/m ²
Summe =	91 €/m²

h) Zum Vergleich zeigt der nächste Wandaufbau eine Betonfertigteilwand mit einer Stärke von 22 cm und einer EPS Wärmedämmung mit einer Stärke von 30 cm. Mit dem Verputz ergibt sich eine Wanddicke von ca. 52 cm. Hieraus ergibt sich ein U-Wert von 0,129 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 81.

Wenn bei diesem Betonwandaufbau die vorhandene Wärmedämmung mit der 30 cm EPS-Dämmung, durch 30 cm Holzspandämmplatten ersetzt wird, ergibt sich ein deutlich höherer U-Wert von 0,361 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 69.

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung: AWm 01 a Stahlbeton-Außenwand, EPS

Typ: Wand (gegen Außenluft - nicht hinterlüftet)

Projekt:

Auftraggeber:

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,5249 m

U-Wert: 0,129 W/m²K

flächenspez. Masse: 518,1 kg/m²

ΔOI3: 81

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Spachtel - Gipsspachtel	0,300	0,800	<input type="checkbox"/>
2		Normalbeton mit Bewehrung 1 % (2300 kg/m ³)	22,000	2,300	<input type="checkbox"/>
3		EPS-F (15.8 kg/m ³)	30,000	0,040	<input type="checkbox"/>
A 4		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	0,190	0,800	<input type="checkbox"/>

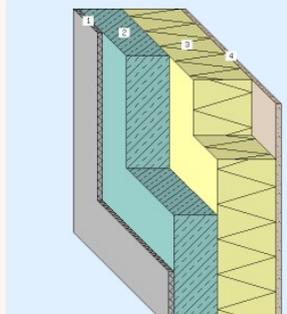


Abb. 28 Stahlbetonwand mit EPS Wärmedämmung [33]

Kosten:

Isospan Super 2000
S36,5/16,5-Silver⁵: 91 €/m²

Füllbeton für
Schalungssteine⁶
(ca. 100l/m²): 90 €/m²

Summe = 181 €/m²

i) Im folgenden Aufbau wird eine Außenwand bestehend aus nur einem Holzmantelbetonstein mit inkludierter zusätzlicher Dämmung gezeigt. Mit dem Verputz ergibt sich eine Wanddicke von ca. 40 cm. Es berechnet sich ein U-Wert von 0,197 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 45.

⁵Anbieter: SW Umwelttechnik; ⁶Anbieter: dai Bau;

Abb. 29 Holzmantelbetonsteinwandaufbau Isospan Super 2000 [33]

Kosten:

Porotherm 38 W.i Objekt
Plan⁸ (16 Stk./m²): 80 €/m²

Summe = 80 €/m²

j) Zum Vergleich dazu wird ein Hochlochziegel mit integrierter Mineralwolle betrachtet. Mit dem Verputz ergibt sich hier eine Wanddicke von ca. 41 cm mit einem ein U-Wert von 0,178 W/m²K und einem ΔOI3-Wert von 82.

⁸Anbieter: Baustoffshop.at

Abb. 30 Hochlochziegel mit integrierter Mineralwolle [33]

Kosten:

Durisol DSS37,5/12⁹: 47€/m²

Füllbeton für
Schalungssteine⁶: 90 €/m²

Velox WS75²:

$(31€/m^2) \times 2 = 61 €/m^2$

Summe = 198 €/m²

k) Nun wird ein Wandaufbau mit einem anderen Holzmantelbetonstein betrachtet, von der Firma Durisol. Ein Mantelbetonstein mit der Bezeichnung DSS 37,5/12 Superdickwand-Passivhausstein. Dieser Holzmantelbetonstein hat eine Dicke von 37,5 cm. Bei diesem Aufbau errechnet sich ein U-Wert von 0,199 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 54.

⁹Anbieter: Leier; ⁶Anbieter: dai Bau; ²Anbieter: Velox

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : AWm 01 Durisol DSs
 Typ : Wand (gegen Außenluft - nicht hinterlüftet)
 Projekt :
 Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,5299 m
 U-Wert : 0,199 W/m²K
 flächenspez. Masse: 406,4 kg/m²
 ΔOI3: 54

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Spachtel - Gipsputz	0,300	0,800	
2		Durisol DSS 37,5/12 Superdickwand-Passivhausstein	37,500	0,110	
3		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 75	7,500	0,104	
A 5		Silikatputz (ohne Kunstharzzusatz)	0,190	0,800	

Abb. 31 Holzmantelbetonsteinwandaufbau Durisol DSS 37,5/12 [33]

Wohnungstrennwände

Zum Vergleich werden nun noch zwei Wohnungstrennwandaufbauten betrachtet, denn auch hierfür kann Holzleichtbeton als Dämmplatte, aber auch als tragende Wand, fungieren.

Kosten:

Betonfertigteil⁷: 85 €/m²

Velox WS50²:

$(22€/m^2) \times 2 = 44 €/m^2$

Summe = 129 €/m²

l) Als nächstes wird nun ein Wohntrennwandaufbau betrachtet. Dabei wird als tragendes Wandelement eine 20 cm dicke Stahlbetonwand betrachtet, an die jeweils an beiden Seiten eine Holzspandämmplatte aufgebracht wird. Hieraus folgt ein U-Wert von 0,717 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 61.

⁷Anbieter: Maba, Kirchberger Concrete; ²Anbieter: Velox

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : Wohntrennwand Velox
 Typ : Wand (Trennwand zwischen Wohn oder B)
 Projekt :
 Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3270 m
 U-Wert : 0,717 W/m²K
 flächenspez. Masse: 537,2 kg/m²
 ΔOI3: 61

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,500	0,210	
2		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	
3		Stahlbeton 80 kg/m ³ Armierungsstahl (1 Vol.%)	20,000	2,300	
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	
A 5		Edelputzmörtel CR Kalkzement (1600 kg/m ³)	1,200	0,780	

Abb. 32 Stahlbetonwand mit Holzspandämmplatten [33]

Kosten:

Schallschutzziegel¹⁰: 77 €/m²

Sto SW 040_[5cm]³: 16 €/m²

Summe = 93 €/m²

m) Im Vergleich dazu wird eine Wohntrennwand aus Schallschutzziegeln ohne Holzspandämmplatten betrachtet. Hieraus ergibt sich ein U-Wert von 0,601 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 67.

³Anbieter: Sto; ¹⁰Anbieter: Brenner Ziegel

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : IWM 02 a Füllziegel-Wohntrennwand
Typ : Wand (Trennwand zwischen Wohn oder B
Projekt :
Auftraggeber :

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3400 m
U-Wert : 0,601 W/m²K
flächenspez. Masse: 392,2 kg/m²
ΔOI3: 67

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1		Gipskartonplatte (900 kg/m ³)	1,500	0,250	
2		Mineralwolle zw. Schwingbügel, Luftspalt	6,000	0,049	
3		Brenner SCHALLSCHUTZZIEGEL SSZ 25x25-S	25,000	0,431	
A 4		Edelputzmörtel CR Kalkzement (1600 kg/m ³)	1,500	0,780	

sonstige, nicht U-Wert-relevante Bestandteile

Abb. 33 Schallschutzziegel mit Mineralwolle [33]

Zwischendecken

Im Folgenden werden zwei verschiedene Zwischendecken betrachtet.

Kosten:

CLT-Platte¹: 80 €/m²

Velox WS50²:
(21€/m²) x 3 63 €/m²

Zementestrich⁶: 15 €/m²

Summe = 157 €/m²

n) Der nachfolgende Deckenaufbau besteht aus einer CLT-Platte mit Holzspandämmplatten, Estrich und Parkett. Hieraus folgt ein U-Wert von 0,375 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 52.

¹Anbieter: gsh-Holz; ²Anbieter: Velox; ⁶Anbieter: dai Bau;

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : Decke, CLT-HLB
Typ : Decke, Dach (Decke gegen unbeheizte G
Projekt : Althausanierung - Messemodell
Auftraggeber : EIV

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3400 m
U-Wert : 0,375 W/m²K
flächenspez. Masse: 259,6 kg/m²
ΔOI3: 52

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
O 1		Massivparkett	2,000	0,160	
2		Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m ³)	7,000	1,100	
3		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	
4		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	
5		Velox Holzspan-Dämmplatte WS 50	5,000	0,104	
U 6		CLT - cross laminated timber (Dicke 80 - 320mm)	10,000	0,120	

Abb. 34 Cross Laminated Timber-Platte mit Holzspandämmplatten und Estrich [33]

Kosten:

Fertigteildecke⁷: 55 €/m²

Zementestrich+ TSD⁶:
20 €/m²

Summe = 75 €/m²

o) Als nächste Zwischendecke wird eine Stahlbetondecke mit TSD, Estrich und Parkett betrachtet. Hier ergibt ein U-Wert von 0,678 W/m²K und ein ΔOI3-Wert von 94.

⁷Anbieter: Maba, Kirchberger Concrete; ⁶Anbieter: dai Bau;

Allgemeine Daten

Sprache, Bezeichnung : De 03: Decke, Stahlbeton
Typ : Decke, Dach (Decke gegen unbeheizte G
Projekt : Althausanierung - Messemodell
Auftraggeber : EIV

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3250 m
U-Wert : 0,678 W/m²K
flächenspez. Masse: 608,6 kg/m²
ΔOI3: 94

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
O 1		Massivparkett	2,000	0,160	<input type="button" value="Neu"/>
2		Zement- und Zementfließestrich (1800 kg/m ³)	7,000	1,100	<input type="button" value="Neu"/>
3		Trittschalldämmung	3,500	0,035	<input type="button" value="Neu"/>
U 4		Stahlbeton 100 kg/m ³ Armierungsstahl (1,25 Vol.%)	20,000	2,300	<input type="button" value="Neu"/>

Abb. 35 Stahlbetonzwischendeckenaufbau [33]

4 Holzleichtbetonverbundbauweise - Vergleichswerte

Bei der Wahl der Baustoffe die für ein Bauvorhaben verwendet werden sollen, müssen mehrere Aspekte berücksichtigt und jeweilige Prioritäten abgewogen werden. Die Betrachtung der einzelnen Kriterien kann dann für die Wahl der Baustoffe hilfreich sein.

Eine gute Herangehensweise für die passende Auswahl von Holzleichtbeton ist die Betrachtung der folgenden ausschlaggebenden Kriterien: ökologische, ökonomische, bauphysikalische und gesundheitliche Kriterien.

Bauphysikalische Kriterien:

Dazu zählt die Wärmeleitfähigkeit λ , um damit den U-Wert der Konstruktion zu errechnen und zu bestimmen welche Stärke eine Konstruktion haben wird. Weiters kann auch der Wasserdampfdiffusionswiderstand μ berücksichtigt werden um die klimaregulierende Wirkung und Atmungsfähigkeit des Werkstoffes zu bewerten.

Ökologische Kriterien:

Umweltbelastung und Energiebedarf für die Herstellung, spielen hierbei eine große Rolle. Die unterschiedlichen Dichten der Baustoffe spiegeln auch den Transportaufwand wieder, welcher sich

in Form von Abgasen äußert, da schwere Materialien auch mit einem höheren Transportaufwand einhergehen. Weiters ist hier auch die Verfügbarkeit der Rohstoffe, sowie die Entsorgung und das Recycling der Baustoffe ausschlaggebend. Die hier gewählten ökologischen Kriterien beziehen sich hauptsächlich auf den Ökoindex 3. Im weiteren Verlauf der Diplomarbeit wird auf die ganzheitliche Lebenszyklusbetrachtung mittels Ökobilanzierung eingegangen.

Ökonomische Kriterien:

Hierbei ist der Materialpreis zu berücksichtigen, welcher unter anderem von der Materialstärke und vom Produktionsaufwand abhängig ist. In weiterer Folge ist der Transport der Güter auch ein ökonomischer Faktor.

Gesundheitliche Kriterien:

Baustoffe und Konstruktionen haben unterschiedlichste Zusammensetzungen von einzelnen Bestandteilen. Manche dieser Bestandteile können auch toxische Ausdünstungen freisetzen. Dies geschieht zumeist in einem geringen Ausmaß, sollte jedoch nicht ignoriert werden. Ein weiterer Punkt ist, dass Baustoffe bzw. Konstruktionen zu einem positiveren Raumklima beitragen können, wodurch die Behaglichkeit gesteigert und auf lange Sicht die Gesundheit der Bewohner gefördert wird. Ein positiveres Raumklima wird auch beispielsweise durch Konstruktionen gefördert, welche helfen, Schimmelbildung in Räumen zu verhindern.

4.1 Vergleichswerte von Hochbaukonstruktionen

In der folgenden Tabelle 1 (siehe nächste Seite) werden die zuvor gewählten Konstruktionen bezugnehmend auf die Wärmedämmeigenschaften (U-Wert), die Ökologiekennzahl ($\Delta OI3$ -Wert), und im Hinblick auf die ökonomische Größe (die zu erwartenden Kosten pro m^2), zusammengefasst. Um weiters noch eine wichtige Vergleichsgröße zu berücksichtigen, wurde auch die physische Stärke der Konstruktion in Tabelle 1 berücksichtigt.

Vergleichstabelle der gewählten Konstruktionen

Aufbau	Stärke [cm]	U-Wert [W/m ² K]	$\Delta OI3$ -Wert [-]	Kosten [€/m ²]
Brettschichtholz wand				
a) BSH-Wand/ Holzspanndämmplatten	35	0,308	51	210
c) BSH-Wand/ Holzspanndämmplatten/ Steinwolle	35	0,209	84	198
d) BSH-Wand/ Holzspanndämmplatten/ Hanffaser	35	0,214	50	195
Holzmantelbeton wand				
e) Isospan Super 2000 S30/09/ Holzspanndämmplatten	45	0,246	48	210
f) Isospan Super 2000 S36,5/16,5-Silver/ Holzspanndämmplatten	52	0,154	54	243
g) Isospan Super 2000 S36,5/16,5-Silver/ Holzspanndämmplatten	55	0,149	60	256
i) Isospan Super 2000 S36,5/16,5-Silver / ohne weitere Dämmung	39	0,197	45	181
Beton wand				
h) Beton wand / EPS Dämmung	52	0,129	81	91
Wohnungstrenn wand				
l) Stahlbeton wand/ Holzspanndämmplatte	33	0,717	62	129
m) Schallschutzziegel/ Mineralwolle	34	0,601	67	93
Zwischendecke				
n) CLT-Platte/ Holzspanndämmplatten/ Zementestrich	34	0,375	52	157
o) Betondecke/ Zementestrich	33	0,678	94	75

Tabelle. 1 Vergleichstabelle der verschiedenen Aufbauten

Das Funktionsäquivalent dieser Konstruktionen gilt bis Gebäudeklasse 3. Es dürfen bis zu 3 oberirdische Geschosse vorliegen und das Fluchtniveau darf nicht größer als 7,0 m sein.

Laut OIB Richtlinie 6 dürfen bei Neubauten die U-Werte für Außenwände nicht höher als $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein. Die U-Werte für Wohnungstrennwände und Wohnungstrenndecken dürfen $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht überschreiten. Diese Kriterien treffen auf sämtliche in der Tabelle 1 befindlichen Aufbauten zu.

Für einen Vergleich der Außenwandkonstruktionen wurden 3 Hauptgruppen ausgewählt:

- a) Brettschichtwand (mit Holzleichtbetondämmplatten als zusätzliche Dämmung)
- f) Holzmantelbetonsteinwand mittels Isospan Super 2000 (mit integrierter EPS Dämmung und Holzspanndämmplatten als zusätzliche Dämmung)
- h) Stahlbetonwand (mit zusätzlicher EPS Dämmung)

In der folgenden Abbildung sieht man den U-Wert der Aufbauten a) f) und h). Aufbau a) mit Brettschichtwand und Holzspanndämmplatten, hat einen U-Wert von $0,308 \text{ W/m}^2\text{K}$ und somit einem ca. doppelt so hohen Dämmwert wie die beiden Aufbauten f) und h). Aufbau f) mit dem Einsatz von Holzmantelbetonsteinen und Holzleichtbetondämmplatten, hat also einen deutlich niedrigeren U-Wert als die Brettschichtwand und liegt nur knapp oberhalb von Aufbau h). Den geringsten U-Wert hat also die Stahlbetonwand mit EPS, Aufbau h). Mit einem U-Wert von $0,129 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist dieser Wert geringfügig kleiner als der U-Wert des Aufbaus f) mit $0,154 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aus Sicht der Dämmwirkung würde man hier wohl zu Aufbau f) oder Aufbau h) tendieren, je nachdem welche weiteren ökologischen oder ökonomischen Faktoren für die Wahl der Konstruktion von Bedeutung sind.

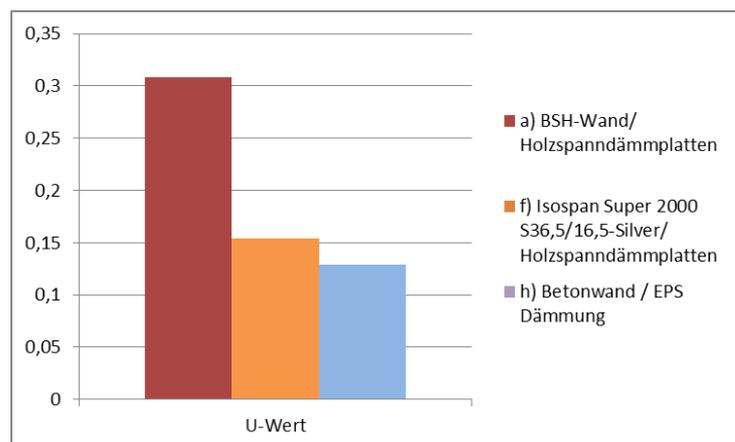


Abb. 36 U-Wert [$\text{W/m}^2\text{K}$], der 3 verschiedenen Außenwandkonstruktionen

Ein Blick auf den $\Delta OI3$ -Wert zeigt dass hier der geringste und somit beste Wert beim Aufbau a) liegt mit 51. Ein leicht höherer Wert mit 54, liegt bei Aufbau f) mit dem Holzmantelbetonstein. Diese beiden Aufbauten liegen aus ökologischer Ökoindex 3 Sicht, nahe beieinander. Die Stahlbetonwand h) hat einen $\Delta OI3$ -Wert von 81 und liegt somit an letzter Stelle. Aus ökologischer Sicht in Bezug auf den Ökoindex 3, würde man zu Aufbau a) oder Aufbau f) tendieren.

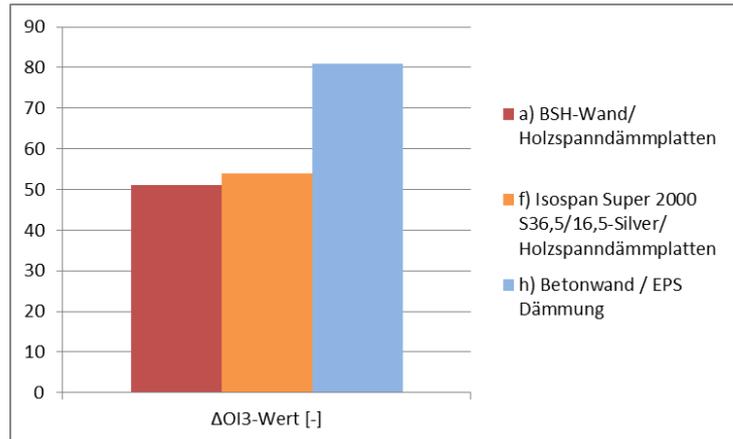


Abb. 37 $\Delta OI3$ -Wert [-], von 3 verschiedenen Außenwandkonstruktionen

In der nun folgenden Grafik wird ein Blick auf die Kosten geworfen. Die höchsten Kosten pro m^2 sind bei Aufbau f) zu finden. Danach folgt Aufbau a) mit der Brettschichtholz wand. Die günstigste Variante ist Aufbau h). Aus ökonomischer Sicht müsste man zum Aufbau h) tendieren.

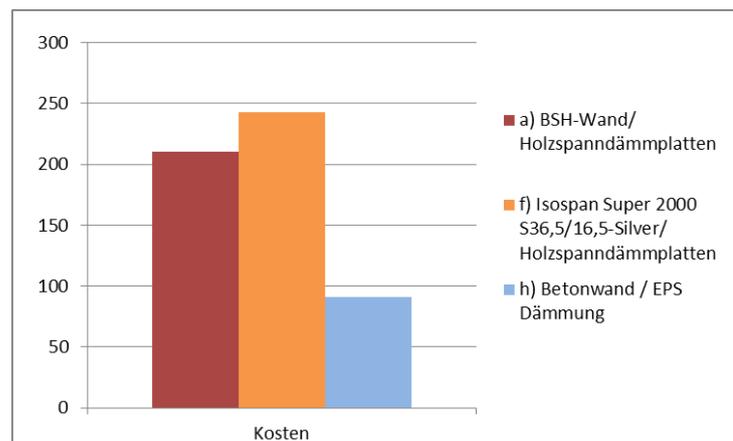


Abb. 38 Kosten [€/m²], der 3 verschiedenen Außenwandkonstruktionen

Mit jenen 3 gewählten Aufbauten zeigt sich, dass jede Konstruktion ihre Vorteile und Parameter mit sich bringt. Es muss also beim Planen von Gebäuden abgewogen werden, welchen Aspekten eine größere Gewichtung zuteil kommen soll. Sollen ökologische Aspekte eine größere Gewichtung erhalten kann dies bedeuten, dass damit die Kosten höher werden. Dies ist natürlich nur aus heutiger Sicht zu betrachten. Denn aufgrund von weiterer Ressourcenverknappung, können sich die Kosten grundlegend ändern. Wenn Ressourcen wie Sand und Zement teurer werden, werden recyle-te Produkte wie beispielsweise Holzleichtbeton günstiger und somit auch ökonomisch attraktiver.

Die folgenden 3 Diagramme zeigen den U-Wert, den $\Delta OI3$ -Wert und die Kosten pro m^2 , sämtlicher sich in Tabelle 1 befindlichen Aufbauten. Dies ist als kleiner Überblick zu betrachten, da in dieser Grafik Außenwand-, Zwischenwand- und Deckenbauteile zusammengefasst sind.

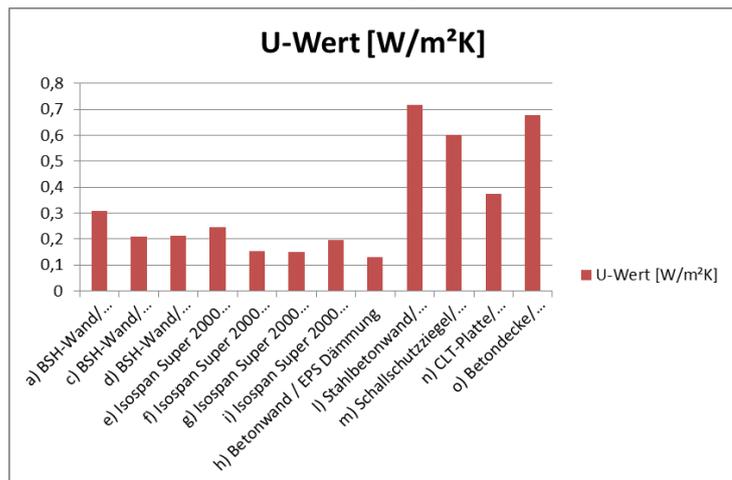


Abb. 39 Übersicht der U-Werte aus Tabelle 1

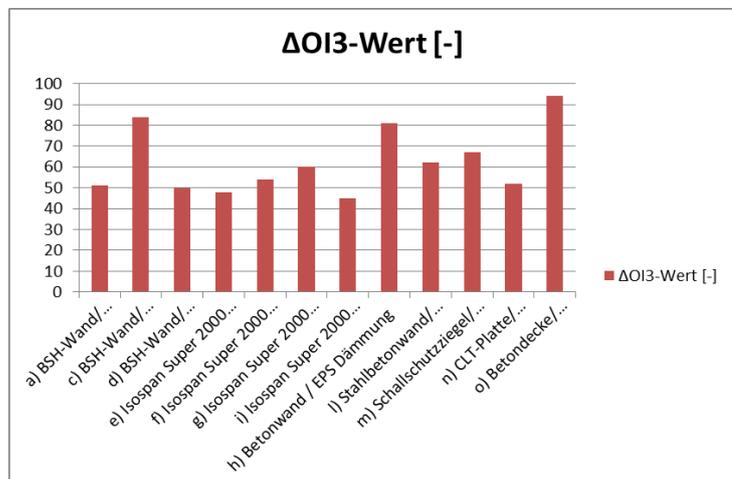


Abb. 40 Übersicht der $\Delta OI3$ -Werte aus Tabelle 1

Das folgende Diagramm zeigt eine Übersicht der Kosten pro m² für die sich in Tabelle 1 befindliche Bauteile.

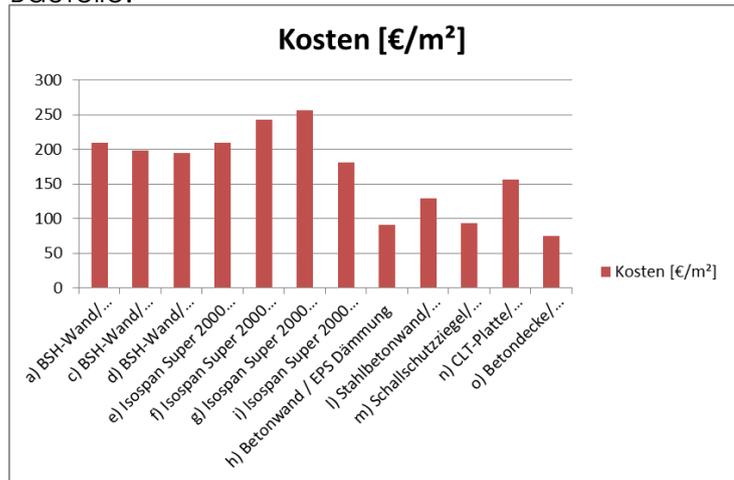


Abb. 41 Übersicht der Kosten aus Tabelle 1

4.2 Vergleichswerte für Dämmstoffe

Tabelle 2 zeigt Kennzahlen für Dämmstoffe und fasst unterschiedliche Kriterien zusammen. Bauphysikalische Kennwerte wie die Wärmeleitfähigkeit und der daraus hervorgehende U-Wert, sowie auch ökologische Kennzahlen werden in dieser Tabelle dargestellt. Die untersten vier Zeilen zeigen verschiedene am Markt erhältliche Holzleichtbetonplatten.

Die Werte dafür stammen aus dem Baubook.

	λ [W/mK]	U-Wert [W/m ² K] für 5cm Materialstärke	Dichte [kg/m ³]	Δ O13- Wert	PEI ne [MJ/kg]	GWP100 Summe [kgCO ₂ /kg]
EPS W30	0,035	0,626	30,0	9	98,896	4,169
Flachsflocken	0,042	0,735	58,5	5	31,538	0,218
Hanfdämmung	0,045	0,781	40,0	3	28,679	0,077
Steinwolle	0,040	0,704	145,0	21	21,363	1,935
Mineralschaumplatte	0,046	0,796	115,0	5	12,344	1,006
Holzspanbeton 475 kg/m³	0,120	1,701	475,0	3	2,426	-0,221
Holzspanbeton 1000 kg/m³	0,370	3,277	1000,0	6	2,426	-0,221
Holzwole	0,090	1,378	380,0	4	4,071	-0,133
Velox Holzspanplatte	0,104	1,537	475,0	5	2,970	-0,370

Tabelle 2 Auswahlkriterien für Dämmstoffe

In den Folgenden 3 Diagrammen werden die Kennwerte der gewählten Dämmstoffe aus Tabelle 2 veranschaulicht.

Holzleichtbeton mit der Dichte von 1000 kg/m^3 hat hier den größten λ -Wert. Der Holzspananteil ist hier geringer, wodurch die Dämmwirkung ebenfalls geringer ist. Einen deutlich geringeren Wert hat bereits Holzwole. Den niedrigsten Wert hat die EPS-Dämmung.

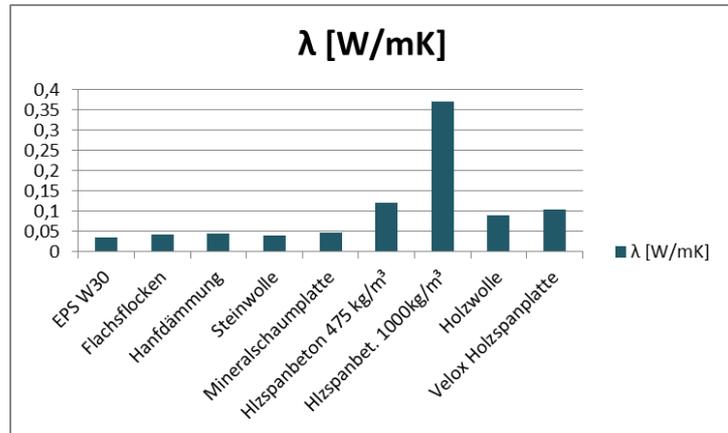


Abb. 42 λ-Werte der Dämmstoffe

Beim U-Wert zeigt sich ein fast identes Bild wie bei der vorherigen Darstellung, jedoch umgerechnet für eine 5 cm Bauteilstärke. Neben EPS haben auch Flachsflocken, Hanfdämmung und Steinwole sehr niedrige U-Werte. Holzwole hat in etwa den doppelten U-Wert.

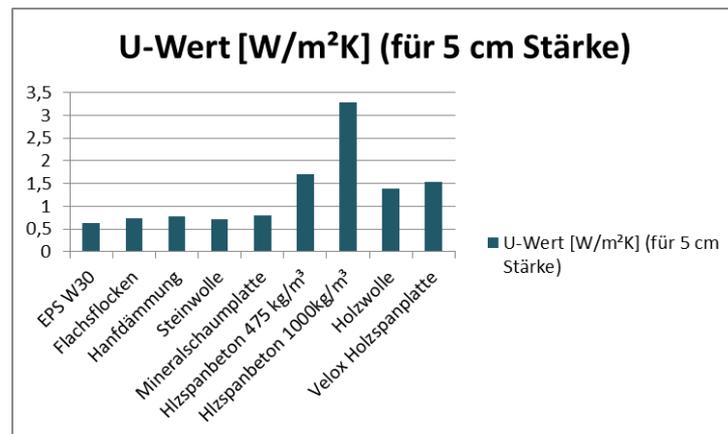


Abb. 43 U-Werte der Dämmstoffe

Bei der Dichte zeigt sich ebenfalls ein ähnliches Bild und es ist zu erkennen dass die Dichte einen großen Einfluss auf die Dämmwirkung hat. Expandiertes Polystyrol hat auch hier den geringsten Wert, dicht gefolgt von der Hanfdämmung.

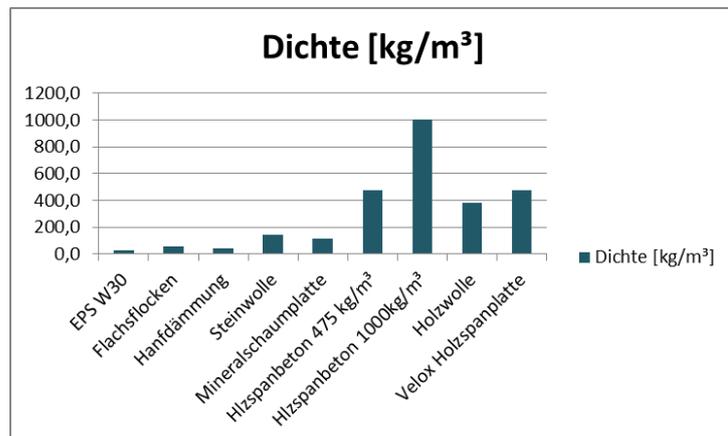


Abb. 44 Dichte der Dämmstoffe

In den nächsten 3 Diagrammen werden der Primärenergieinhalt nicht erneuerbar, das Erderwärmungspotential und der $\Delta\text{Ökoindex 3}$, veranschaulicht.

Beim nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt zeigt sich hier der größte Wert bei der EPS Dämmung. Der Energieaufwand ist hier um ein vielfaches höher als jener der anderen Dämmstoffe. Hier zeigen die Holzleichtbetonprodukte die geringsten Werten auf. Vorallem durch die erneuerbare Energie der Holzspäne.

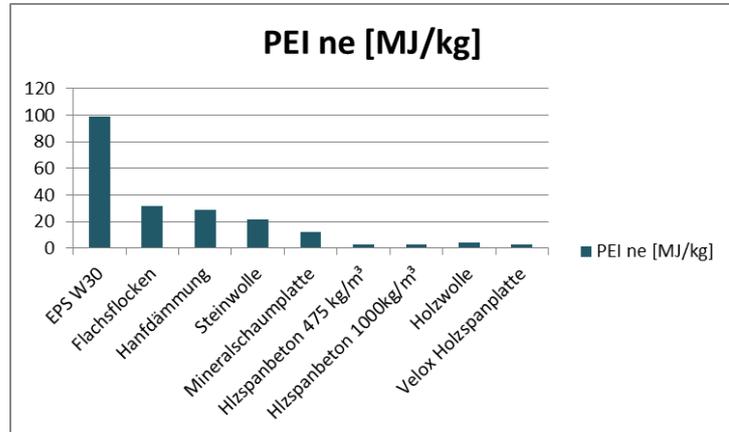


Abb. 45 PEI ne, der Dämmstoffe

Beim Treibhauspotential/ Erderwärmungspotential zeigt Holzleichtbeton auch hier die besten und geringsten Werte. Die Werte befinden sich sogar im negativen Bereich, da Holz im Laufe seines Lebenszyklus CO_2 aufnimmt. Den höchsten und somit schlechtesten Wert zeigt hier die EPS-Dämmung. Der zweithöchste Wert zeigt sich bei der Steinwolle.

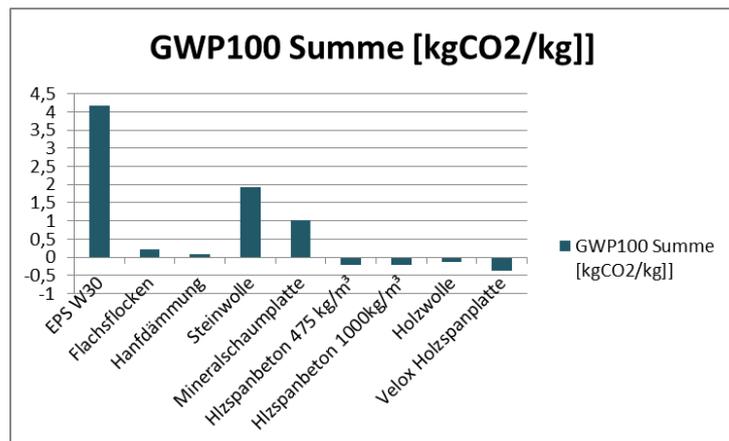


Abb. 46 GWP 100 Summe, der Dämmstoffe

Holzwoleprodukte haben sehr geringe ΔOI3 -Werte und sind nachhaltiger für die Umwelt. Die Dämmwirkung ist, wie zuvor beschrieben, jedoch geringer. Der ΔOI3 -Wert bei Steinwolle und EPS liegt hier am höchsten. EPS und Steinwolle haben weiters auch ein hohes Versauerungspotential.

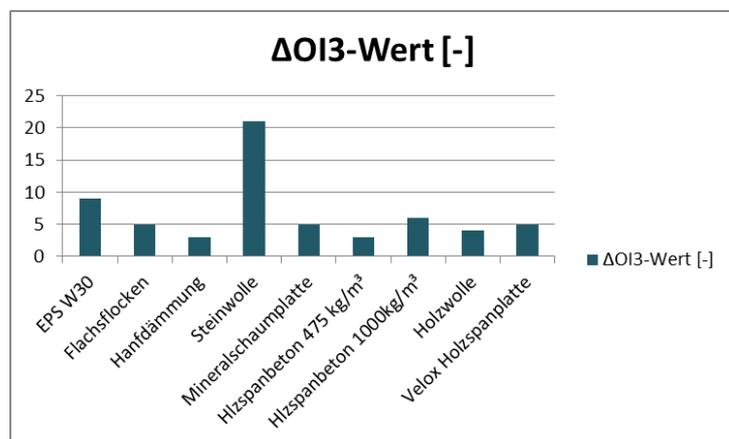


Abb. 47 OI3-Werte der Dämmstoffe

4.3 Vergleichswerte - Holzwolle

Es werden nun Holzwolle und jeweils ein weiteres Dämmmaterial aus. Mit dem Kennwert des Holzleichtbetonproduktes wird dann eine Alternative betrachtet, welche einen besseren und einen schlechteren Wert aufzeigt. Dabei zeigt die untere Skala den schlechtesten und den besten Wert, der sich in der Tabelle 2 befindlichen Produkte an.

Abb. 48 zeigt die Wärmeleitfähigkeit λ von Holzwolle, sowie von Holzspanbeton 475 und Steinwolle. Holzwolle mit einer Dichte von 380 kg/m^3 , hat eine Wärmeleitfähigkeit von $0,09 \text{ W/mK}$ und Holzspanbeton mit einer höheren Dichte von 475 kg/m^3 hat eine größere Wärmeleitfähigkeit und ist somit eine schlechtere Wahl, hinsichtlich der Dämmwirkung.

Eine deutlich bessere Alternative ist Steinwolle, mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,04 \text{ W/mK}$. In weiterer Folge wird die Steinwolle auch aus ökologischer Sicht, mit Hilfe des ΔOI3 -wertes betrachtet.

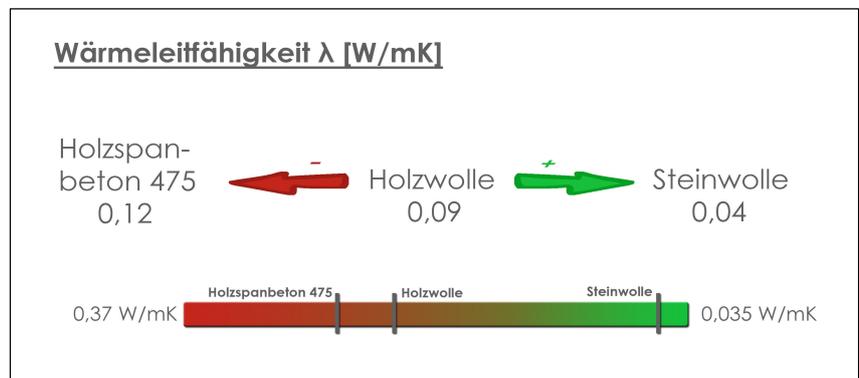


Abb. 48 Wärmeleitfähigkeits-Vergleichswerte

Als nächstes wird nun in Abb.49 der ΔOI3 -Wert, mit den zuvor verglichenen gleichen drei Produkten, betrachtet. Nun zeigt sich, dass Steinwolle zwar bei der Wärmeleitfähigkeit bessere Werte aufzeigt als Holzwolle, jedoch deutlich schlechter beim ΔOI3 -Wert abschneidet. Der ΔOI3 -Wert von Holzspanbeton 475 um ein vielfaches geringer als jener der Steinwolle.

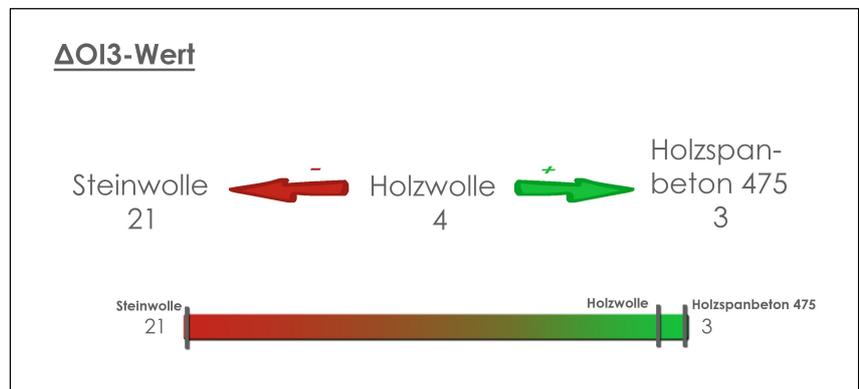


Abb. 49 OI3-Vergleichswerte 1

In Abb. 50 zeigt sich, dass Holzwolle auch einen deutlich geringeren $\Delta OI3$ -Wert hat als eine EPS Dämmung. Und es zeigt sich dass die EPS Dämmung auch einen deutlich geringeren $\Delta OI3$ -Wert hat, als die zuvor erwähnte Dämmvariante mit Steinwolle.

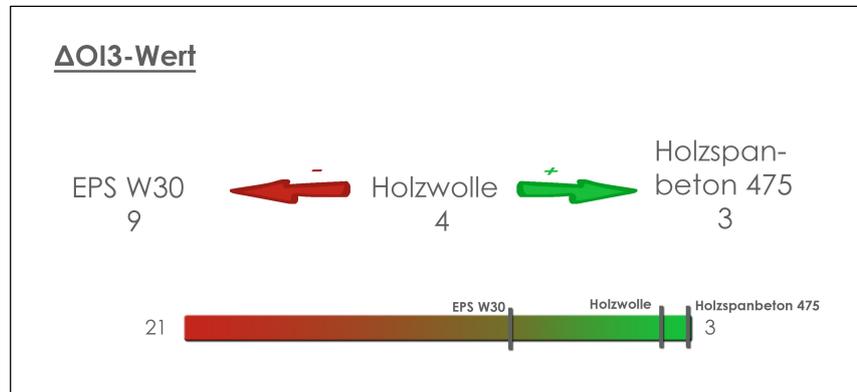


Abb. 50 OI3-Vergleichswerte 2

Abb. 51 zeigt den nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt, das heißt den Aufwand an Primärenergieträgern der zur Herstellung des jeweiligen Produktes erforderlich ist. Der Aufwand an Energieträgern welcher zum Herstellen von Steinwolle erforderlich ist (2,43 MJ/kg), ist erheblich größer als jener zur Herstellung von Holzwolle. Auch hier zeigt sich, dass Holzspanbeton in diesem Bereich ökologischer ist als Steinwolle.

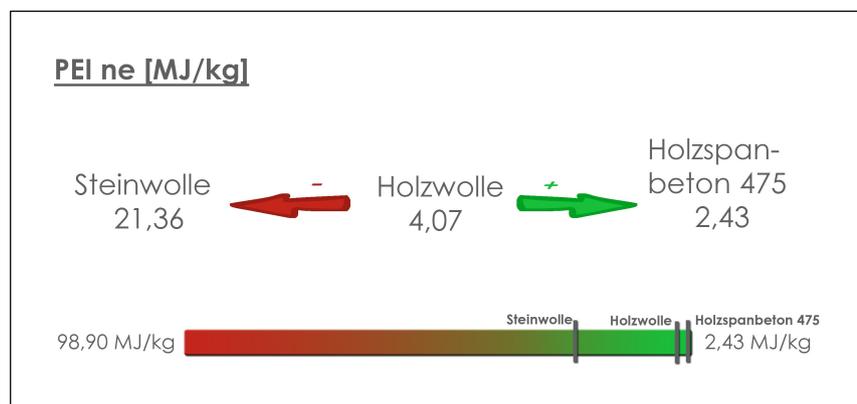


Abb. 51 Primärenergie-Vergleichswerte

Als weitere ökologische Kenngröße wird nun auch das Treibhauspotential GWP100 mit einer Laufzeit von 100 Jahren betrachtet. Dieser Wert betrachtet die entstehenden Treibhausgase eines Produktes.

In Abb. 52 zeigt sich, dass Holzwolle im Bereich des Treibhauspotentials bessere Werte aufweist, als in diesem Fall Steinwolle. Es zeigt also, dass bei der Produktion beim Transport und bei der Bearbeitung ein deutlich geringeres Treibhauspotential bei Holzwolle und bei Holzspanprodukten herrscht, als bei Steinwolle. Der Wert für Holzwolle ist nicht nur geringer als jener der Steinwolle, es ist auch ein negativer Wert. Dies wird vor allem durch den Holzanteil im Produkt begründet, da Holz ein nachwachsender Rohstoff ist, welcher in seinem Lebenszyklus CO₂ aufnimmt. Bei allen Produkten aus der Tabelle mit einem Holzanteil, findet sich ein negativer GWP100 Wert, was ökologisch gesehen besonders vorteilhaft ist.

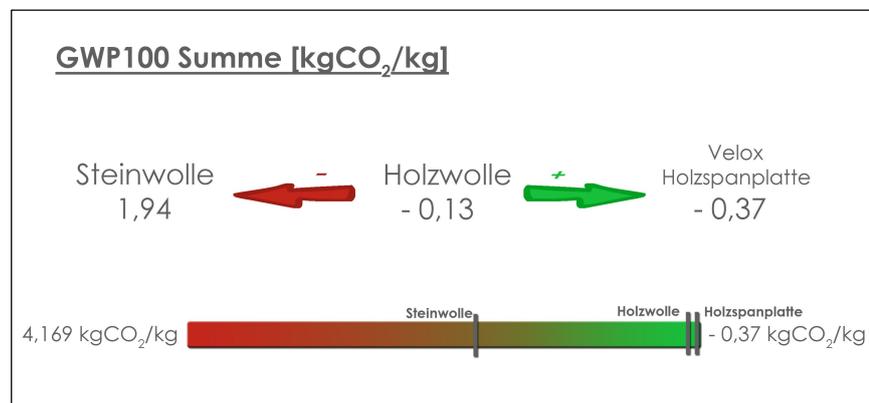


Abb. 52 Treibhauspotential-Vergleichswerte

4.4 ÖKOBIANZIERUNG- Holzmantelbetonsteine

In der nun folgenden Ausarbeitung betrachten wir eine Ökobilanzierung eines Holzleichtbetonsteins. Hier werden nun möglichst viele Prozesse und Lebenszyklusphasen berücksichtigt und in weiterer Folge veranschaulicht.

4.4.1 Technische Daten

Der nun betrachtete Holzleichtbetonstein trägt die Bezeichnung Isospan N22. Dieser auch für Außenwände zu Verwendung kommen. Es ist ein Schalungsstein welcher als verlorene Schalung für bewehrte Ortbetonwände verwendet werden kann. Die Datensätze kommen aus der EPD (environmental product declaration) nach ISO 14025 und EN 15804 erstellt wurden von der Bau EPD GmbH. In der folgenden Tabelle lassen sich die technischen Daten des Holzspansteines ablesen.

Isospan N22	
Steinabmessungen:	
Breite; Höhe; Länge	0,22 m; 0,25 m; 1,00 m
Wärmeleitfähigkeit	0,301 W/mK
Rohdichte (Mantelbetonstein)	550 kg/m ³
Zugfestigkeit	> 0,15 N/mm ²
Trockenrohichte (ofentrocken)	550 kg/m ³
Bewertetes Schalldämm-Maß Rw	57 dB

Tabella 3 Technische Daten

4.4.2 Lebenszyklusbeschreibung

Herstellung

Hergestellt werden die Holzleichtbetonsteine in einem Werk in Ramingstein. Es werden Holzspäne, Zement und Wasser vermischt und weiters in Formkästen gefüllt. Danach trocknen die Steine an der Luft und werden anschließen auf eine gleiche Höhe gefräst.

Bestandteile Holzbeton:

Hackschnitzel	0,530 kg/kg
---------------	-------------

Zement	0,445 kg/kg
--------	-------------

Wasser	0,025 kg/kg
--------	-------------

*Tabelle 4 Bestandteile des
Holzleichtbetons*

Verpackung

Die Holzleichtbetonsteine können nach der Aushärtung, ohne jegliche Verpackung unter freiem Himmel gelagert werden.

Transporte

Die Steine werden ab Werk mittels LKW zu den Kunden transportiert. Laut EPD beträgt eine mittlere Transportdistanz ca. 145 km.

Produkteinbau

Bei der Verarbeitung von Holzleichtbetonsteinen ist auf einen ebenen Untergrund, beim Verlegen der ersten Steinlage zu achten. Bei Bedarf kann für diese erste Lage ein Ausgleichsmörtel verwendet werden. Danach können die Steine nebeneinander, als auch übereinander, ohne Fugenmörtel positioniert werden. Anschließend werden die Steine mit Beton verfüllt und mittels Flaschenrüttler verdichtet.

Nutzungszustand

Bei sachgemäßem Einbau ist eine störungsfreie Nutzung, ohne jegliche Änderung der stofflichen Zusammensetzung über die gesamte Nutzungsdauer, zu erwarten.

Umweltauswirkungen während der Nutzung

Es sind keine Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesundheit der Nutzer bekannt.

Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer ist jene Zeit, vom Einbau des Produktes bis zur Entsorgung. Die Referenznutzungsdauer für Holzleichtbetonsteine mit Kernbeton beträgt 100 Jahre.

Nachnutzung – Recycling

Die Wiederverwendung einer fertigen Holzleichtbetonwand ist in der Nachnutzung zerstörungsfrei nicht möglich. Am Ende des Lebenszyklus ist Recycling möglich, jedoch ist die Aufbereitung und Trennung der Bestandteile und Schichten, mit hohem Aufwand verbunden und im Moment nicht praktikabel.

Entsorgung

Nach Abbruch des Gebäudes kann das Produkt, wie viele andere Produkte, als Baurestmassendeponien gelagert werden.

4.4.1 Ökobilanz

In der Bilanzierung werden alle Lebenszyklusphasen von der Wiege bis zu Bahre betrachtet. Die deklarierte Einheit ist 1 m² Wand.

Bestandteile für 1m² Wand		N22
Holzleichtbetonstein		60,8 kg/m ²
Füllbeton		266,2 kg/m ²
Bewehrungsstahl		0,3 kg/m ²

Tabelle 5 Bestandteile für 1 m² Wand

Daten

Die Daten wie Energie- und Rohstoffbedarf und ähnliches wurden vom Hersteller bereitgestellt. Hintergrunddaten wurden aus ecoinvent v2.2 herangezogen. Die Belastungen für die Herstellung der Hackschnitzel werden von ecoinvent ökonomisch alloziert.

4.4.1.1 Herstellungsphase A1 – A3

Die Holzleichtbetonsteine werden aus Hackschnitzeln von verschiedenen Sägewerken aus der Region hergestellt und angeliefert. Diese werden dann zerkleinert, in die Produktionshalle, durch einen Tunnel geblasen und dort mit Holzmantelbetonschrot, Zement und Wasser vermischt. Die entstandene Masse wird in Formkästen zu Mantelsteinen geformt und durch Rütteln verdichtet. Danach werden die Steine mindestens 24 Stunden zur Aushärtung gelagert und nach der Trocknung auf gleiche Höhe gefräst. Die fertigen Steine werden dann auf Paletten im freien aufbewahrt. Die Energie für die Herstellungsphase wird mittels Elektrizität erbracht. Zum Beheizen der Werkshalle im Winter wird Heizöl verwendet. Weiters sind 5 dieselbetriebene Stapler auf dem Firmengelände in Verwendung.

Bezeichnung	Wert
Energieverbrauch aufgeschlüsselt nach Energieträger:	
Elektrizität	7,112 MJ/m ²
Heizöl	2,759 MJ/m ²
Diesel	1,440 MJ/m ²
Süßwasserverbrauch aus Brunnenwasser	8,64E-03 m ³ /m ²

Tabelle 6 Energie- und Wasserbedarf für die Herstellung pro m²

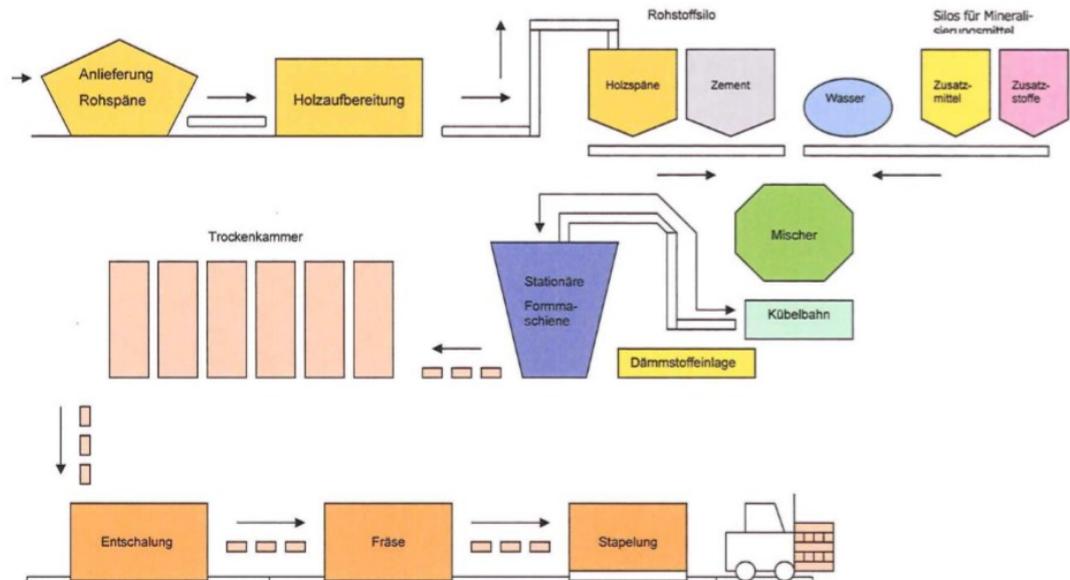


Abb. 53 Schema der Herstellungsphase (A1-A3) [45]

4.4.1.2 Errichtungsphase A4 – A5

Die fertiggestellten Produkte werden mittels LKW an den gewünschten Ort der Baustelle transportiert. Der mittlere Auslieferungsradius für die Holzleichtbetonsteine beträgt 145 km. Der für die Ausführung benötigte Bewehrungsstahl hat in etwa den selben Auslieferungsradius. Der Füllbeton wird von Regionalen Betonwerken mittels Betonmischfahrzeugen geliefert, welcher einen durchschnittlichen Auslieferungsradius von 15 km hat.

4.4.1.3 Nutzungsphase B1 – B7

Es finden während der Nutzungsphase des Produktes keine für die Ökobilanz relevanten Stoff- und Energieströme statt.

4.4.1.4 Entsorgungsphase C1 – C4

Am Ende der Nutzung der Holzleichtbetonsteine beginnt die Entsorgungsphase. Aufgrund des Aufwandes ist davon auszugehen, dass die einzelnen Schichten der aufbauten nicht getrennt sondern auf Baurestmassendeponien gebracht werden. Die mittlere Entfernung zur Deponie wird mit 50 km in der Ökobilanz berücksichtigt.

4.4.1.5 Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial D

Um eine Wiederverwendung zu ermöglichen müssten die Komponenten aufgetrennt werden. Zerstörungsfrei ist ein Rückbau nicht möglich. Das Trennen der einzelnen Bestandteile ist mit einem hohen Aufwand verbunden und scheint nach heutiger Sichtweise nicht wirtschaftlich zu sein.

4.4.1.6 Umweltindikatoren

Im Folgenden werden die Umweltindikatoren der Wirkungsabschätzung angezeigt. Beim GWP (global warming potential), gibt es eine Unterteilung in "GWP-Prozess", "GWP C-Gehalt" und "GWP Summe". GWP-Prozess beinhaltet alle CO₂-äquivalenten Emissionen, die in den Lebensphasen des Produktes entstehen. "GWP C-Gehalt" bezieht sich auf den in nachwachsenden Produkten gespeicherten Kohlenstoff. Die "GWP Summe" ist das Ergebnis der Summe von "GWP-Prozess" und "GWP C-Gehalt".

Im der folgenden Tabelle werden werden Abkürzungen für die Kennzahlen verwenden. Hier eine kurze Erläuterung zu den Abkürzungen:

GWP = Globales Erwärmungspotenzial

ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht

AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser;

EP = Eutrophierungspotenzial

POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon

ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen

ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe

Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4
GWP Prozess [kg CO2 äquiv]	2,18E+01	1,46E+00	2,81E+01	0,00E+00	1,31E+00	2,70E+00	0,00E+00	2,32E+00
GWP C- Gehalt [kg CO2 äquiv]	-5,83E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,80E+01
GWP Summe [kg CO2 äquiv]	-3,66E+01	1,46E+00	2,81E+01	0,00E+00	1,31E+00	2,70E+00	0,00E+00	4,04E+01
ODP [kg CFC11 äquiv]	6,90E-07	2,31E-07	7,75E-07	0,00E+00	1,63E-07	4,28E-07	0,00E+00	6,96E-07
AP [kg SO2 äquiv]	3,35E-02	5,59E-03	5,37E-02	0,00E+00	1,01E-02	1,04E-02	0,00E+00	1,38E-02
EP [kg PO43- äquiv]	2,33E-02	1,49E-03	3,41E-02	0,00E+00	2,34E-03	2,76E-03	0,00E+00	3,38E-03
POCP [kg C2H4 äquiv]	6,69E-03	7,68E-04	8,52E-03	0,00E+00	1,19E-03	1,42E-03	0,00E+00	2,49E-03
ADPE [kg Sb äquiv]	8,25E-06	4,02E-06	1,52E-05	0,00E+00	2,07E-07	7,45E-06	0,00E+00	2,50E-06
ADPF [MJ]	1,26E+02	2,14E+01	1,64E+02	0,00E+00	1,80E+01	3,96E+01	0,00E+00	5,77E+01

Tabelle 7 Indikatoren der Wirkungsabschätzung von N22 pro m²

In Tabelle 8 werden die Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes des Produktes aufgezeigt. Hier nun eine kurze Beschreibung der Abkürzungen:

PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger

PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung

PERT = Total erneuerbare Primärenergie

PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger

PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung

PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie

SM = Einsatz von Sekundärstoffen

RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe

NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe

FW = Einsatz von Süßwasserressourcen

Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4
PERE [MJ]	1,76E+01	3,04E-01	1,12E+01	0,00E+00	7,27E-02	5,64E-01	0,00E+00	4,66E-01
PERM [MJ]	5,55E+02	0,00E+00						
PERT [MJ]	5,72E+02	3,04E-01	1,12E+01	0,00E+00	7,27E-02	5,64E-01	0,00E+00	4,66E-01
PENRE [MJ]	1,64E+02	2,26E+01	2,26E+02	0,00E+00	1,85E+01	4,19E+01	0,00E+00	6,07E+01
PENRM [MJ]	0,00E+00							
PENRT [MJ]	1,64E+02	2,26E+01	2,26E+02	0,00E+00	1,85E+01	4,19E+01	0,00E+00	6,07E+01
SM [kg]	0,00E+00							
RSF [MJ]	0,00E+00							
NRSF [MJ]	0,00E+00							
FW [m³]	9,01E-02	8,28E-04	5,20E-02	0,00E+00	3,70E-04	1,54E-03	0,00E+00	6,17E-03

Tabelle 8 Indikatoren des Ressourceneinsatzes von N22 pro m²

In Tabelle 9 werden die Parameter zur Beschreibung der Abfallkategorien pro m² aufgezeigt. Dabei kommen folgende Abkürzungen zu tragen:

HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie

NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall

RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall

Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4
HWD [kg]	1,52E-04	2,27E-05	2,38E-04	0,00E+00	9,51E-06	4,20E-05	0,00E+00	2,38E-05
NHWD [kg]	5,08E-01	1,42E-01	3,03E+00	0,00E+00	1,22E-02	2,64E-01	0,00E+00	3,27E+02
RWD [kg]	2,84E-04	3,36E-05	6,78E-04	0,00E+00	9,51E-06	6,22E-05	0,00E+00	5,17E-05

Tabelle 9 Abfallkategorien pro m²

Die Parameter zur Beschreibung des Verwertungspotenzials in der Entsorgungsphase sind in diesem Fall nicht vorhanden, da davon ausgegangen wird, dass das Produkt nur Baurestmassendeponien gebracht wird.

Gesamter Lebenszyklus

Im folgenden Diagramm (Abb. 54) sind die Anteile der Ökoindikatoren der einzelnen Lebensphasen aufgezeigt. Bei Betrachtung der Kennzahlen über den gesamten Lebenszyklus zeigt sich, dass die Errichtungsphase A4-A5 die größten Auswirkungen mit ca. 50 % auf die Bilanz hat. Die Herstellungsphase A1-A3 trägt ca. 35 % und die Entsorgungsphase trägt ca. 20 % zur Gesamtbilanz bei. Der Abbruch C1 des Bauteils spielt dabei keine große Rolle.

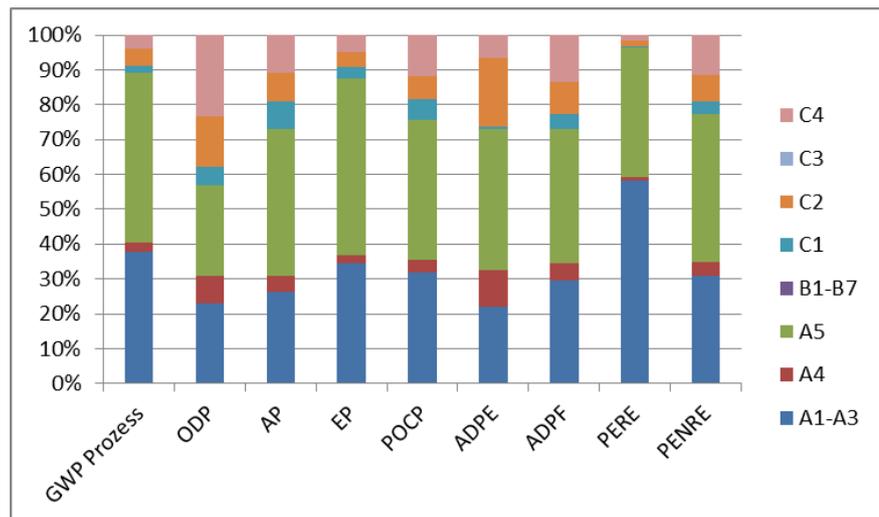


Abb. 54 Gesamter Lebenszyklus mit Anteilen in der Bilanzierung

Die Herstellungsphase

Die in der Herstellungsphase des Holzleichtbetons entstehenden Werte stammen hauptsächlich aus dem für die Herstellung eingesetztem Zement. Der Transport der eingesetzten Stoffe zeigt sich vor allem im Ozonabbaupotential und im abiotischen Ressourcenverbrauch. Der Energieaufwand für die tatsächliche Entstehung des Holzspanbetons, macht im Hinblick auf die Gesamtbilanz ca. ein Drittel aus.

Die Errichtungsphase

Wie in Abb. 55 ersichtlich ist, entstehen die größten Belastungen in der Einbauphase durch den Einsatz des Füllbetons. Der Transport der Holzleichtbetonsteine zur Baustelle und der Transport der Füllbetons zur Baustelle, sind nur für einen kleinen Teil der Belastungen verantwortlich.

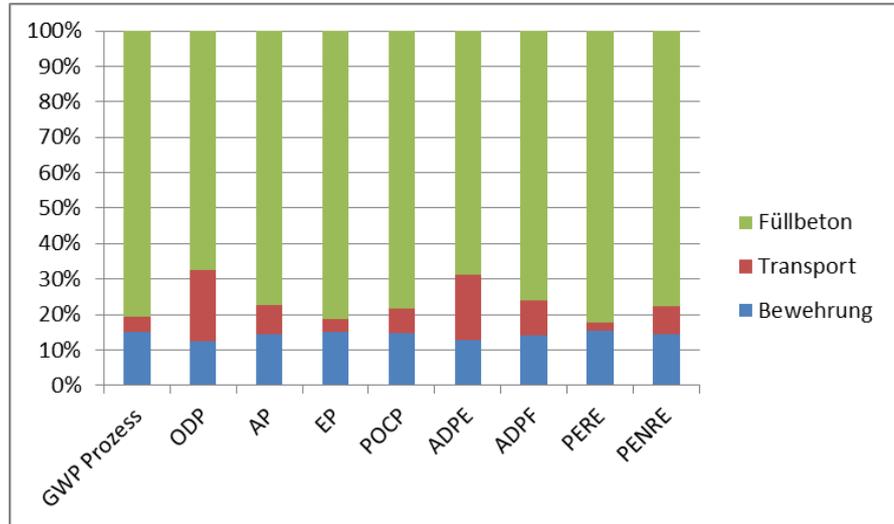


Abb. 55 Anteile der Belastungen während der Errichtungsphase A4, A5

4.4.2 Analyse – Holzmantelbeton und Mauerziegel

Um die technische Größe zu wahren beziehen wir uns auf die Größe eines Einfamilienhauses.

Nach der bisherigen Betrachtung der Ökologiekennwerte der Holzleichtbetonmantelsteine, wird nun jenes Außenwandssystem, mit einem Mauerziegelaußenwandssystem verglichen und näher betrachtet. In der folgenden Tabelle werden nun die Parameter zur Beschreibung der Wirkungsabschätzung für Mauerziegel pro Tonne betrachtet.

Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4
GWP [kg CO2 äquiv]	1,73E+02	4,14E+00	9,82E+00	0,00E+00	9,58E-02	1,71E+00	2,30E+00	2,13E+00
ODP [kg CFC11 äquiv]	1,75E-05	5,12E-07	7,30E-09	0,00E+00	1,17E-08	2,11E-07	2,87E-07	6,38E-07
AP [kg SO2 äquiv]	3,03E-01	2,22E-02	1,25E-03	0,00E+00	7,22E-04	9,12E-03	1,77E-02	1,27E-02
EP [kg PO43- äquiv]	1,12E-01	6,36E-03	3,45E-03	0,00E+00	2,04E-04	2,62E-03	4,89E-03	3,68E-03
POCP [kg C2H4 äquiv]	4,17E-02	2,10E-03	2,49E-04	0,00E+00	1,08E-04	8,66E-04	2,65E-03	2,58E-03
ADPE [kg Sb äquiv]	5,66E-05	3,40E-07	1,21E-07	0,00E+00	2,86E-08	1,40E-07	4,75E-07	2,21E-06
ADPF [MJ]	2,00E+03	5,61E+01	8,36E-01	0,00E+00	1,33E+00	2,31E+01	3,19E+01	5,35E+01

Tabelle 10 Wirkungsabschätzung von Mauerziegeln pro Tonne

Parameter	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4
PERE [MJ]	5,08E+02	1,39E-01	1,79E-02	0,00E+00	7,40E-03	5,74E-02	1,32E-01	4,39E-01
PENRE [MJ]	2,04E+03	5,69E+01	9,12E-01	0,00E+00	1,36E+00	2,34E+01	3,26E+01	5,57E+01

Tabelle 11 Ressourceneinsatz von Mauerziegeln pro Tonne

Abb. 56 zeigt auf, dass der Anteil der Herstellungsphase A1-A3 im Lebenszyklus von Mauerziegeln, die größte Bedeutung, von ca. 90 % hat. Sowohl bei der Wirkungsabschätzung als auch beim Ressourceneinsatz.

Die Aufteilung und Gewichtung der Kennwerte der Gesamtbilanz für die Produkte Holzleichtbetonsteine und Mauerziegel sind also sehr unterschiedlich. Bei den Ziegeln hat die Herstellung und das „brennen“ der Ziegel größte energetische und ökologische Auswirkungen und bei den Holzleichtbetonsteinen ist es vor allem die Fertigstellungsphase, durch den Einsatz von Füllbeton.

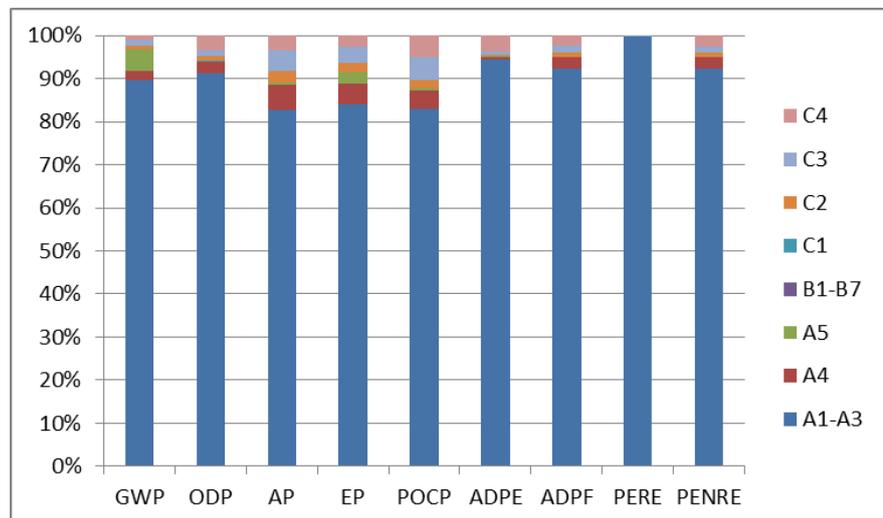


Abb. 56 Gesamter Lebenszyklus mit Anteilen in der Bilanzierung für Mauerziegel

Die Werte der Mauerziegel mussten von der deklarierten Einheit „Tonne“ auf die deklarierte Einheit „m²“ umgerechnet werden, um eine Vergleichbarkeit zu wahren.

In den folgenden Abbildungen (Abb. 57 und Abb. 58) sind die Lebenszykluswerte der beiden Produkte abgebildet. Hier wird die zuvor erwähnten Gewichtungen und Größenordnung der Lebensphasen aufgezeigt.

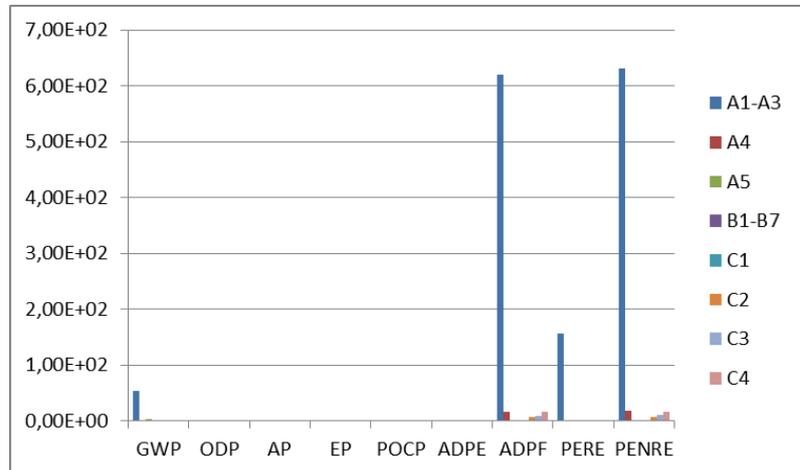


Abb. 57 Lebenszykluswerte eines Mauerziegels pro m²

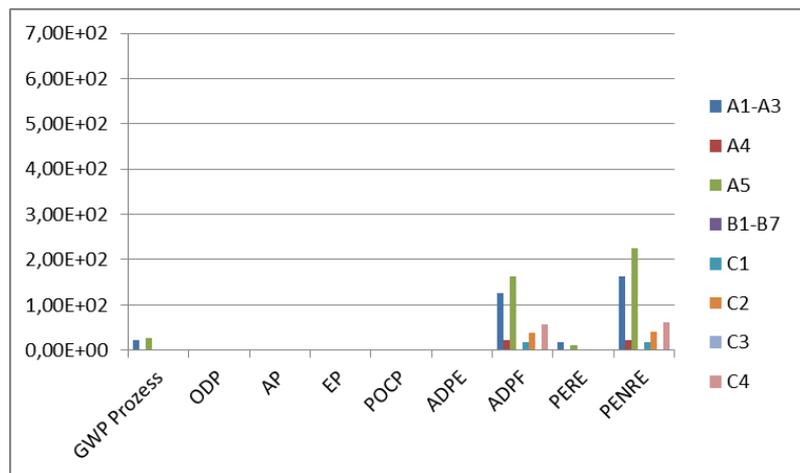


Abb. 58 Lebenszykluswerte eines Holzmantelbetonsteins pro m²

In jenen Abbildungen werden die Lebenszykluswerte addiert und so ein Größenvergleich der Produkte Mauerziegel und Holzleichtbetonstein. Die größten Amplituden kommen beim primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PENRE) und beim Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe (ADPF). Diese hängen aufgrund der fossilen Brennstoffe miteinander zusammen.

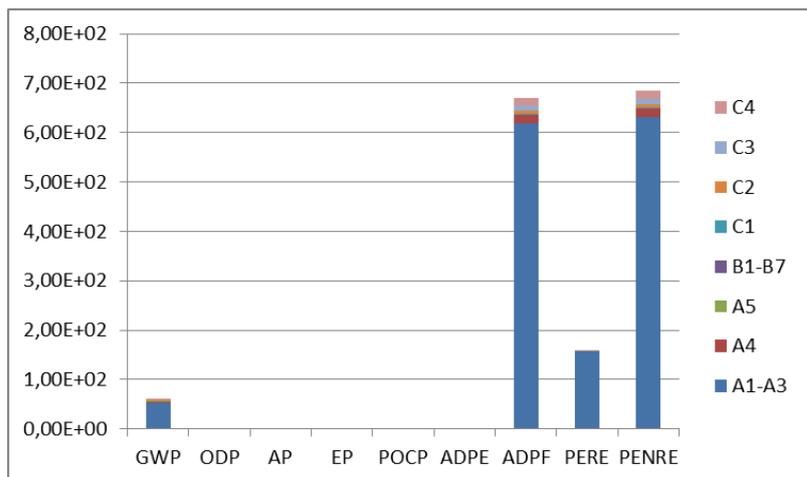


Abb. 59 addierte Lebenszykluswerte Mauerziegel

Bei der gewählten Skalierung der y-Achse des Diagramms, wurde darauf geachtet die größten Amplituden zu erfassen. Die Werte für die Kennzahlen ODP, AP, EP, POCP, ADPE, sind allerdings im Vergleich zu den anderen Werten, um vieles geringer. Dadurch sind sie in jenen Diagrammen nicht visuell wahrnehmbar.

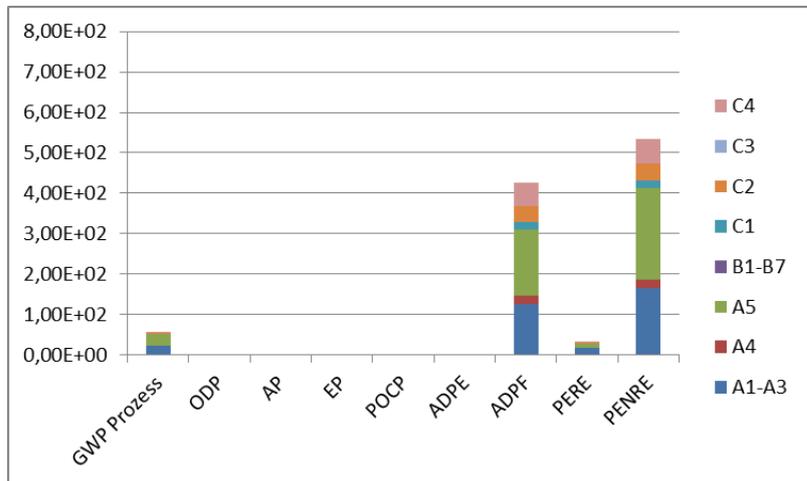


Abb. 60 addierte Lebenszykluswerte Holzmantelbetonstein

Bei dieser ganzheitlichen Betrachtung kann festgestellt werden, dass Holzleichtbetonsteine geringere ökologische Auswirkungen auf die Umwelt haben, als der Einsatz von Mauerziegeln. Vor allem in der Herstellungsphase A1-A3, aber auch über den gesamten Lebenszyklus A1-C4.

4.4.3 Analyse – Betonbauweise

Ein weiteres sehr häufig eingesetztes Produkt in der Bauindustrie ist der Beton. Deshalb soll hier auch ein Vergleich dieser Materialien stattfinden. In den folgenden Abbildungen (61 – 63) wird ein Vergleich der zuvor betrachteten Holzleichtbetonsteine und Mauerziegeln mit Betonfertigteilen angestellt. Hierbei wird die Herstellungsphase A1-A3 veranschaulicht.

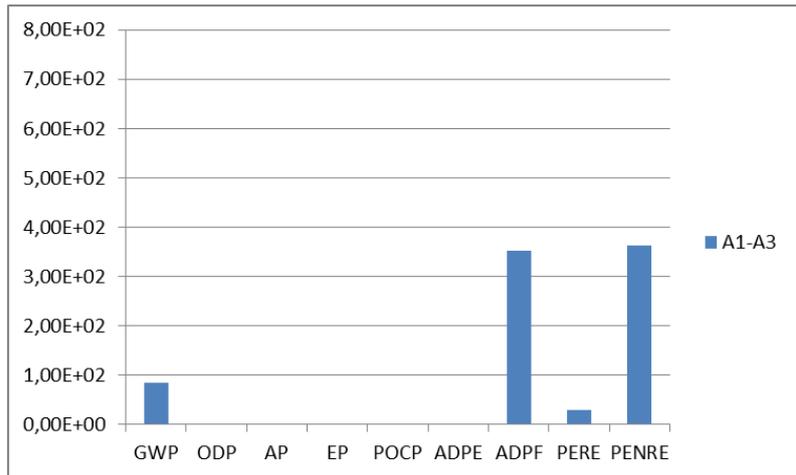


Abb. 61 Kennwerte der Herstellungsphase für Betonfertigteile

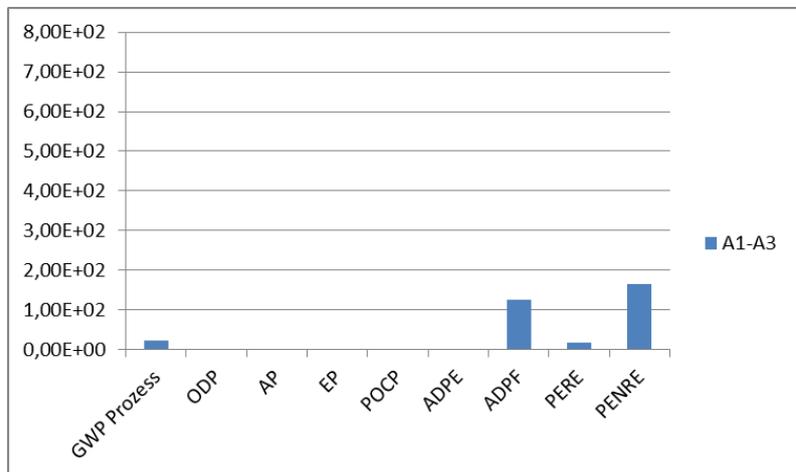


Abb. 62 Kennwerte der Herstellungsphase für Holzleichtbetonmantelsteine

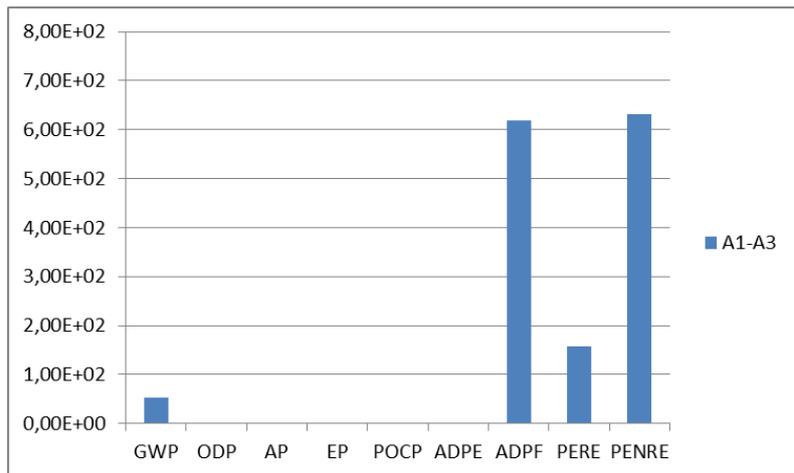


Abb. 63 Kennwerte der Herstellungsphase für Mauerziegel

Die Abbildungen 61 – 63 veranschaulichen die Umweltauswirkungen der drei Produkte in der Herstellungsphase. Es ist zu erkennen, dass Holzleichtbeton in der Herstellung die geringsten Auswirkungen auf die Umwelt hat. Sowohl was die Menge an eingesetzter Energie betrifft, als auch das Erderwärmungspotenzial. An zweiter Stelle kommen die Betonfertigteile. Der Energieeinsatz in der Herstellungsphase von Betonfertigteilen ist hier zwar über 50 % höher als der von Holzspanbeton, allerdings muss bei der Verwendung im Verbund von Holzmantelbetonsteinen zur Fertigstellung des Aufbaus noch Stahlbeton eingebracht werden, was so die Überlegenheit des Holzleichtbetons zum Teil wieder aufhebt. Jedoch ist Holzleichtbeton bei alleinigem Einsatz und nicht als Verbund, bezüglich dem Beton wiederum deutlich im Vorteil.

Die Herstellungsphase der Mauerziegel (Abb. 63) ist deutlich energieaufwändiger als die der Beton- und Holzleichtbetonprodukte. Den größten Anteil dabei hat der Energieeinsatz welcher für das Brennen der Ziegel notwendig ist. Bei den Beton- und Holzleichtbetonprodukten ist nach der Rohstoffgewinnung, Vermischung der Komponenten mit Wasser, der Formgebung und dem Trocknen und nachbehandeln, kein Einsatz eines Ofens für den Brennvorgang von nöten. Dies hält den Energieeinsatz geringer.

4.4.4 Analyse – Dämmstoffe

In Kapitel 3.5 wurden mit Hilfe der SWOT-Analyse, die Chancen und Stärken von Holzleichtbeton näher betrachtet. Holzleichtbeton kann im Hochbau als tragende Konstruktion, als auch als Dämmmaterial verwendet werden. Es muss zwischen Tragfähigkeit und guten Dämmeigenschaften ein Mittelweg gefunden werden – mit Bedacht auf die Ökologie. Beispielsweise haben Holzwolleplatten, wie bereits erwähnt, geringere Wärmedämmeigenschaften als die heute gängigen Dämmmaterialien, können aber dennoch als Wärmedämmung zum Einsatz kommen. Im Folgenden werden daher die Dämmstoffe Holzwolle, Steinwolle und EPS zum Ökologiekennzahlenvergleich herangezogen.

	Holzwolle	Steinwolle	EPS
GWP	-1,34E-01	1,93E+00	4,17E+00
ODP	1,27E-08	7,01E-08	1,32E-07
AP	8,61E-04	1,42E-02	1,49E-02
EP	4,85E-04	3,11E-03	2,61E-03
POCP	9,06E-05	4,19E-03	6,75E-03
PERE	8,59E-02	7,83E-01	9,59E-01
PENRE	3,20E+00	2,14E+01	5,89E+01

Tabelle 12 Kennzahlen der Herstellungsphase A1-A3

Für die Kennwerte dieser Produkte wurde das Baubook herangezogen. Die deklarierte Einheit ist [kg]. Bei der Holzwolle handelt es sich um eine Holzwolleleichtbauplatte mit einer Dichte von 350 kg/m³. Die Steinwolle hat eine Rohdichte von 100 kg/m³, und bei der EPS Dämmung handelt es sich um das Produkt mit der Bezeichnung „Austrotherm EPS W 20“ mit einer Rohdichte von 19,5 kg/m³.

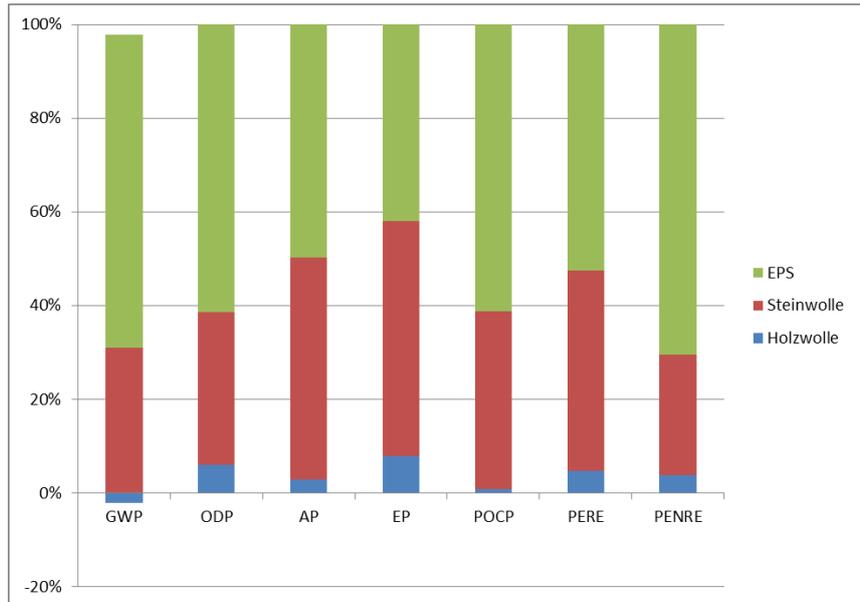


Abb. 64 Vergleich der Kennwerte in der Herstellungsphase A1-A3

Die Abb. 64 zeigt eine Gegenüberstellung der ökologischen Kennwerte der Produkte Holzwole, Steinwole und EPS. Hier ist zu sehen in welchen Größenordnungen sich die 3 Produkte befinden. Die geringsten ökologischen Auswirkungen als auch der geringste Energieeinsatz bei der Herstellung ist bei der Holzwole gegeben. Holzwole hat um vielfaches geringere und somit bessere Werte, als die beiden anderen Produkte. Das globale Erderwärmungspotential GWP weist sogar einen negativen Wert auf.

Wie bereits erwähnt, hat Holzwole allerdings eine höhere Wärmeleitfähigkeit, und damit eine geringere Wärmedämmleistung, als die beiden anderen Produkte. Die Wärmeleitfähigkeit von Holzwole liegt bei $\lambda = 0,09 \text{ W/mK}$. Die Dämmstoffe EPS und Steinwole haben λ -Werte zwischen $0,035 \text{ W/mK}$ und $0,040 \text{ W/mK}$. Es gibt allerdings auch Holzwoledämmstoffe mit einem kleineren λ -Wert von bis zu $0,05 \text{ W/mK}$. Beim Einsatz der Dämmstoffe in Hochbaukonstruktionen ist das Erreichen von guten und somit geringen U-Werten vonnöten. Dies kann dann mittels höheren Bauteilstärken beeinflusst werden. Somit lassen sich dann die geforderten Dämmwerte auch mit Holzwole und Holzspanbeton erreichen, mit dem Vorteil, dass hier die weitaus ökologischere Variante gewählt wird.

5 Diskussion

Nach den in Kapitel 3.6 errungenen Erkenntnissen lassen sich verschiedene Schlüsse in Bezug auf Holzleichtbeton ziehen. Holzleichtbeton kann sowohl als Dämmstoff, als auch als tragende Hochbaukonstruktion verwendet werden. Jedoch gibt es in beiden Bereichen bessere als auch schlechtere Alternativen. Bei der detaillierten Betrachtung von Holzleichtbetonprodukten, welche zur Dämmung verwendet werden können, wurde das Hauptaugenmerk neben den bauphysikalischen Größen des λ - und des U-Wertes, auf ökologische Größen wie den $\Delta OI3$ -Wert, den gesamten Primärenergieinhalt nicht erneuerbar PE_{ne} (PENRT) und dem Treibhauspotential GWP₁₀₀Summe gelegt. Weiters wurden auch die ökologischen Kennzahlen in der Herstellungsphase der Produkte näher betrachtet. Dabei wurden verschiedene Holzleichtbetonprodukte mit weiteren Dämmmaterialien verglichen.

Bei der Betrachtung von Holzleichtbeton in Hochbaukonstruktionen wurde das Hauptaugenmerk auf den U-Wert (Dämmung und Bauphysik), auf den $\Delta OI3$ -Wert (ökologische Betrachtung) und auf die Kosten pro m² (ökonomischer Blickpunkt) gelegt.

5.1 Holzleichtbeton in Hochbaukonstruktionen

Um mit Holzleichtbeton, tragende Außenwände mit einer guten Dämmwirkung zu erhalten, wird Holzleichtbeton hauptsächlich in Verbänden ausgeführt. Daher wurden in Kapitel 3.6 verschiedene Holzleichtbeton-Verbundsysteme näher betrachtet. Um die Vergleichbarkeit zu wahren wurde nur die tragende Wand mit der entsprechenden Dämmung zu den Berechnungen herangezogen. Zunächst wurden Brettschichtholzwände und Holzleichtbetondämmplatten mit weiteren Wärmedämmprodukten verglichen. Es zeigt sich, dass eine BSH-Wand mit einer Dicke von 15 cm und Holzleichtbetondämmplatten mit einer Dicke von 20 cm (Aufbau a), bereits einen U-Wert von $0,308 \text{ W/m}^2\text{K}$ hat. Damit wäre die Mindestanforderung des U-Wertes für Außenwände bereits erreicht, da dieser hierfür unter $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen muss. Bei der Berechnung des ΔOI3 -Wertes ergab sich ein Wert von 51. Bei einer weiteren Variante mit 10 cm Holzleichtbetondämmplatte und 10 cm Steinwollgedämmung (Aufbau c), ergab sich ein U-Wert von $0,209 \text{ W/m}^2\text{K}$, welcher niedriger ist als der zuvor erwähnte. Dies vor allem dadurch, dass die 10 cm Steinwollgedämmung einen besseren λ -Wert haben. Jedoch zeigt sich hierbei, dass der ökologische ΔOI3 -Wert mit 84 deutlich höher ausfällt, als bei dem zuvor erwähnten Wandaufbau mit Holzleichtbetonplatten. Eine gute Alternative zu den zwei bereits erwähnten Aufbauten ist bei gleichem Aufbau, statt der Steinwollgedämmung, eine 10 cm dicke Hanffaserdämmplatte (Aufbau d). Hierbei ist ein U-Wert von $0,214 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ein ΔOI3 -Wert von 50 zu erreichen.

Also zeigt sich hier ein ähnlich guter U-Wert wie bei der Variante mit Steinwolleplatten, jedoch mit einem deutlich besseren $\Delta OI3$ -Wert.

Ökonomisch gesehen ist Aufbau a) der teuerste mit 210 €/m², gefolgt von Aufbau c) mit 198 €/m² und Aufbau d) schlägt mit 195 €/m² zu Buche und ist somit die teuerste Alternative. Hierbei handelt es sich jeweils um die reinen Materialkosten.

Eine weitere Möglichkeit bei tragenden Außenwänden ist der Einsatz von Holzmantelbetonsteinen. Im Aufbau e) wird der Holzmantelbetonverbundstein Isospan Super2000 S30/9 (im Verbund mit 9 cm EPS Dämmung) mit Beton ausgefüllt, in Kombination mit 15 cm Holzleichtbetondämmplatten verwendet. Bei einer Gesamtwandstärke von 45,5 cm ergibt sich hier ein U-Wert von 0,245 W/m²K und ein $\Delta OI3$ -Wert von 48. Falls ein ähnlicher Aufbau jedoch mit einem geringeren U-Wert gewünscht ist, bietet sich Aufbau f) an, da mit dem nächst größeren Holzmantelbetonverbundstein Super2000 S36,5/16,5 – Silver und mit den gleichen 15 cm Holzspandämmplatten, ein geringerer U-Wert von 0,154 W/m²K zu erreichen ist und der $\Delta OI3$ -Wert mit 54, nur leicht angehoben wird.

Es ist auch möglich im Bereich der Passivhausstandards mit Holzleichtbeton für Außenwände zu agieren. Hierfür muss der U-Wert unterhalb 0,150 W/m²K liegen.

Aufbau g) zeigt mit dem Holzmantelbetonverbundstein Isospan Super2000 S36,5/16,5 – Silver, und Holzleichtbetondämmplatten mit 17,5 cm Stärke, einen U-Wert von 0,149 W/m²K. Damit ist es möglich diesen Aufbau im Bereich der Passivhäuser einzusetzen. Die Dämmwirkung wird hierbei durch die Kumulation des Holzleichtbetons der Mantelsteine, mit der inkludierten EPS Dämmung und den Holzleichtbetondämmplatten erreicht. Dabei ergibt sich eine Wandstärke von ca. 55 cm bei einem $\Delta OI3$ -Wert von 60. Um hier die Ökologie in Verhältnis zu setzen wird in Aufbau h) eine Stahlbetonwand mit 30 cm EPS Dämmung betrachtet. Hierbei ergibt sich ein U-Wert von 0,129 W/m²K, welcher niedriger ist als jener der zuvor erwähnten Konstruktion, und ein $\Delta OI3$ -Wert von 81, welcher deutlich höher ist, bei einer Wandstärke von ca. 52 cm. Unter Berücksichtigung der Kosten zeigt sich, dass Aufbau g), mit dem Hauptbestandteil Holzleichtbeton, um einiges teurer aber auch ökologischer ist, als Aufbau h) mit dem

Hauptbestandteil Stahlbeton und EPS als Dämmmaterial.

Ein großer Vorteil von Holzmantelbetonverbundsteinen ist, dass sie als tragende Außenwände verwendet werden können, ohne dass an der Außenseite ein zusätzlich erforderliches Wärmedämmverbundsystem aufgebracht werden muss. Dies ist vergleichbar mit dem Einsatz von am Markt erhältlichen Hochlochziegeln mit integrierter Wärmedämmung, beispielsweise in Form von Mineralwolle. Bei einem ähnlichen U-Wert und bei ähnlicher Bauteilstärke zeigt sich jedoch ein deutlicher Unterschied in Hinblick auf den $\Delta OI3$ -Wert. Im Aufbau i) mit dem Holzmantelbetonverbundstein Isospan Super2000 S36,5/16,5 – Silver, ergibt sich ein U-Wert von $0,197 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ein $\Delta OI3$ -Wert von 45. Im Vergleich dazu der Aufbau j) mit dem gefüllten Hochlochziegel Porotherm 38 zeigt sich ein U-Wert von $0,178 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ein $\Delta OI3$ -Wert von 82. Dies lässt erkennen, dass der Hochlochziegel bei nur geringfügig niedrigerem U-Wert, einen um fast den doppelten Faktor höheren $\Delta OI3$ -Wert hat. Allerdings sind die Kosten für den Holzmantelbetonverbundstein, aufgrund des Füllbetons, auch deutlich höher. Ökologisch gesehen ist hier aber die Wahl des Holzmantelbetonverbundsteines deutlich sinnvoller.

Holzleichtbetonwandelemente:



Abb. 65 Holzleichtbetonwandelement [39]

Neben den bereits erwähnten Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich des Schallschutzes, der Wärmedämmung, des Brandschutzes und dem Einsatz im Hochbau in Form von Holzmantelbetonsteinen, ist es möglich mit diesem Werkstoff großformatige durchgängige Außenwandelemente zu produzieren. Die Firma Eltomation hat in Schweden Fertigteilelemente aus Holzleichtbeton hergestellt, welche sich gut für den Bau von Einfamilienhäusern eignen. Diese Wandelemente haben eine Länge von bis zu 6 m und eine Stärke von 40 - 60 cm. Die aus langfasrigen aus Holzspäne hergestellten Holzleichtbetonwandelemente können mit dem LKW transportiert, mit dem Kran auf die Baustelle gehoben und von 2 - 3 Arbeitern richtig positioniert und verbunden werden.

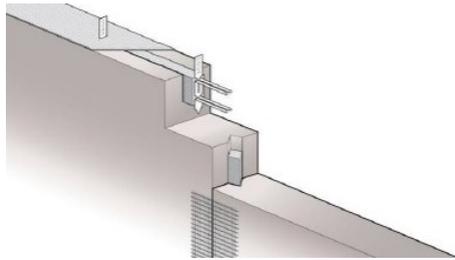


Abb. 66 Aussteifung und Verbindung der Wandelemente mittels Beton [40]

Um eine Verbindung der einzelnen Wandelemente zu erreichen, werden an den Stirnseiten, nach der Positionierung, Gelenksäulen mit Hilfe von Beton ausgegossen. Um die Wände horizontal auszusteiern ist im oberen Bereich der Wandelemente eine Nut ausgefräst, welche vor Ort mit Beton ausgegossen wird und somit einen aussteifenden Betonring bildet.

Bevor der Beton vergossen wird, wird zunächst der zu füllende Bereich bewehrt. Die Dichte dieser Holzleichtbetonwand wurde in diesem Beispiel mit 300 kg/m^3 ausgeführt. Die Widerstandsfähigkeit des Hauses wird also durch die aussteifenden Gelenksäulen, des Betonrings an der Oberseite und durch die Dicke der Wandelemente erreicht.

Bemerkenswert ist aber vor allem auch das Verhalten der Wand bei einem Brand. Bei einem Test wurden die großen Wandelemente 6 Stunden lang einem kontrollierten Feuer ausgesetzt, bei welchem an der Außenseite der Wand eine Temperatur von 1200°C wirkte. An der Innenseite der Wand wurde aber nur eine Temperatur von 45°C gemessen.

Weiters interessant ist bei jenen Holzleichtbetonwandelementen der Blick auf die U-Werte. Betrachten wir zunächst eine Holzspanbetonwand mit einer relativ hohen Dichte von 1000 kg/m^3 . Bei einer 60 cm starken Wand mit jener Dichte ergibt sich ein U-Wert von $0,558 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ein ΔOI3 -Wert von 71 (siehe Abb. 67). Dies ist ein guter U-Wert, wenn bedacht wird, dass es sich bei diesem Wandaufbau um nur ein Material handelt und hier keine weitere Dämmung aufgebracht werden müsste, und somit die Arbeitszeit und die Kosten für weitere Materialien gering gehalten werden könnten.

Bauteil bearbeiten

Allgemeine Daten

- Bezeichnung und Art der Berechnung: 60 cm Holzspanbetonwand BG1, Neubau
- Typ: Wand (gegen Außenluft - nicht hinterlüftet)
- Projekt, Auftraggeber:

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I 1	<input checked="" type="checkbox"/>	Holzspanbeton (1000 kg/m^3)	60,000	0,370	<input type="button" value="Neu"/>

Querschnitt

Berechnete Kennwerte:

- Gesamtdicke: 0,6000 m
- U-Wert: 0,558 $\text{W/m}^2\text{K}$
- flächenspez. Masse: 600,0 kg/m^2
- ΔOI3 : 71

Abb. 67 Holzleichtbetonwand (1000 kg/m^3) [33]

Betrachten wir nun eine Holzleichtbetonwand mit einer geringeren Dichte von 475 kg/m^3 und einer gleich bleibenden Wandstärke von 60 cm (siehe Abb. 68). Hier ergibt sich ein deutlich geringerer U-Wert von $0,193 \text{ W/m}^2\text{K}$ und ein $\Delta OI3$ -Wert von 34 . Die Holzleichtbetonwand mit der geringeren Dichte ist also knapp dreimal so wärmedämmend, wie die zuvor erwähnte Wand mit der höheren Dichte.

Bauteil bearbeiten

Allgemeine Daten

- Bezeichnung und Art der Berechnung: Kopie von _60 cm Holzspanbetonwand 475 kg/m^3 BG1, Neubau
- Typ: Wand (gegen Außenluft - nicht hinterlü)
- Projekt, Auftraggeber:

Berechnete Kennwerte:

- Gesamtdicke: $0,6000 \text{ m}$
- U-Wert: $0,193 \text{ W/m}^2\text{K}$
- flächenspez. Masse: $285,0 \text{ kg/m}^2$
- $\Delta OI3$: 34

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
1		Holzspanbeton (475 kg/m^3)	60,000	0,120	

sonstige, nicht U-Wert-relevante Bestandteile

Querschnitt

Abb. 68 Holzleichtbetonwand (475 kg/m^3) [33]

Diese guten Dämmwerte sind beachtlich und durch die einfache Handhabung der Holzleichtbetonwand, ökonomisch gesehen sehr interessant. Wenn jedoch dünnere Wandstärken gewünscht sind, lassen sich diese Wärmedämmwerte nicht erreichen.

Bei der Analyse der Kosten zeigt sich laut der Firma Eltomation, dass je nach Komplexität der Wandelemente, der Preis bei ca. 100 €/m^2 liegt. Dies ist sehr konkurrenzfähig, da hier auch die Kosten für zusätzliche Wärmedämmung entfallen, da $40 - 60 \text{ cm}$ starke Holzleichtbetonwände bereits einen guten U-Wert erreichen. Die Kosten für die Außenwände eines einstöckigen Hauses mit etwa 100 m^2 Wohnfläche belaufen sich laut der Firma Eltomation, auf zwischen $12.000,- \text{ €}$ und $15.000,- \text{ €}$. Zusätzlich ist zu erwähnen, dass durch den hohen Grad an Vorfertigung und raschen und unkomplizierten Aufbau, die Zeit der Bauphase, beispielsweise im Vergleich zu gemauerten Häusern, drastisch verkürzt werden kann, wodurch hier weitere Kosten eingespart werden können.

5.2 Holzleichtbeton als Dämmstoff

Da aufgrund des Holzanteils im Holzleichtbeton die Dichte geringer ist als bei herkömmlichem Beton, trägt dies auch zu einem kleineren Wärmedurchgangskoeffizienten bei und erhöht somit die Wärmedämmwirkung. Hinzu kommt, dass durch einen höheren Holzspananteil die Menge und Größe an Poren zunimmt, was der Wärmedämmung zuträglich ist. So wurden in dieser Arbeit verschiedene Holzleichtbetonprodukte näher betrachtet und die Eigenschaften mit verschiedenen weiteren Wärmedämmprodukten verglichen.

Es wurden vier verschiedene Holzleichtbetonprodukte verglichen. Dabei handelt es sich um Holzleichtbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 , Holzleichtbeton mit einer Dichte von 1000 kg/m^3 , Holzwolle mit einer Dichte von 380 kg/m^3 und einer Holzspanplatte der Firma Velox mit einer Dichte von 475 kg/m^3 (siehe Tabelle 2, Seite 72).

Bei Betrachtung des Wärmedurchgangskoeffizienten λ zeigt sich, dass der geringste Wert mit $\lambda = 0,09 \text{ W/mK}$ bei Holzwolle zu finden ist und Holzwolle somit die beste Wärmedämmung aufzeigt. Dies erschließt sich durch den größeren Holzspananteil und der geringeren Dichte. Der größte λ -Wert und somit die geringste Wärmedämmung zeigt sich bei Holzleichtbeton mit der Dichte von 1000 kg/m^3 , mit einem λ -Wert von $0,37 \text{ W/mK}$. Wenn dazu herkömmliche Dämmstoffe betrachtet werden, zeigt sich, dass jene Dämmstoffe wie EPS oder Steinwolle λ -Werte zwischen $0,035 \text{ W/mK}$ und $0,04 \text{ W/mK}$ aufweisen und somit in diesem Bereich bessere Ergebnisse erzielen. Dabei muss aber erwähnt werden, dass es auch Holzwolledämmstoffe mit einem kleineren λ -Wert von bis zu $0,05 \text{ W/mK}$ gibt.

Wenn nun die ökologischen Kennzahlen des Primärenergieinhalts aller nicht erneuerbaren stofflichen und energetischen Ressourcen PEI_{ne} und des Treibhauspotentials GWP100-Summe betrachtet werden, zeigen sich wiederum die Vorteile von Holzleichtbetonbauteilen. Je kleiner diese Werte sind, desto weniger Energie wird für die Produktion benötigt bzw. desto weniger Treibhausgase werden ausgestoßen. Hier zeigt sich, dass Holzleichtbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 den geringsten Primärenergieinhalt, aller

nicht erneuerbaren stofflichen und energetischen Ressourcen PEI_{ne} mit 2,43 MJ/kg hat.

Die Holzleichtbetonplatte der Firma Velox, ebenfalls mit einer Dichte von 475 kg/m³, hat einen ähnlich geringen PEI_{ne} von 2,97 MJ/kg.

Im Vergleich dazu hat eine EPS-Dämmung einen deutlich höheren PEI_{ne} von 98,90 MJ/kg. Einen geringeren nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt als EPS hat Hanfdämmung, mit einer PEI_{ne} von 28,68 MJ/kg. Dennoch ist dieser Wert um mehr als das 10-fache höher, als jener der Holzleichtbetonplatte. Den geringsten PEI_{ne} der nicht Holzspanbetonprodukte, hat in der obigen Tabelle die Mineralschaumplatte mit einem PEI_{ne} von 12,34 MJ/kg. Hinsichtlich der Treibhausgasemissionen zeigt sich dann aber wieder ein deutlich besseres Ergebnis bei den Holzleichtbetonprodukten, als bei den übrigen Wärmedämmprodukten. Auch hierbei gilt, je kleiner der GWP100-Summe Wert ist, desto ökologischer ist das Produkt. So kann erkannt werden, dass der beste Wert wieder bei den Holzleichtbetonprodukten zu finden ist, nämlich bei der Holzspanplatte von Velox mit einem GWP100-Summe Wert von -0,37 kgCO₂/kg. Durch die Verwendung von Holzspänen in diesem Produkt ergibt sich ein negativer Treibhausgasemissionswert. Im Vergleich zu den Holzleichtbetonprodukten, kann bei der EPS-Dämmung ein GWP100-Summe Wert von 4,17 kgCO₂/kg festgestellt werden. Auch der nachwachsende Rohstoff Hanf mit Hanfdämmung hat mit 0,077 kgCO₂/kg einen höheren GWP100-Summe Wert als Holzleichtbeton.

Bei der Betrachtung des ΔOI_3 -Wertes lässt sich auch hier wieder erkennen, dass die Holzleichtbetonprodukte gute Werte aufzeigen. Holzleichtbeton mit einer Dichte von 475 kg/m³ hat den geringsten ΔOI_3 -Wert mit 3. Auch Holzwolle zeigt einen guten ΔOI_3 -Wert mit 4. Bei den anderen nicht Holzleichtbetonprodukten zeigt sich, dass Steinwolle mit 21 den schlechtesten ΔOI_3 -Wert hat. Eine gute Alternative zu einem Holzleichtbetonprodukt, hinsichtlich des ΔOI_3 -Wertes, ist Hanfdämmung mit einem ΔOI_3 -Wert von 3.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Holzleichtbeton, mit einer niedrigen Dichte wie zum Beispiel Holzwolle, gut wärmedämmend ist, wenn auch herkömmliche Wärmedämmprodukte

wie beispielsweise Steinwolle, in etwa eine doppelt so gute Wärmedämmung haben. Jedoch ist ökologisch gesehen Steinwolle deutlich schlechter für die Umwelt mit einem $\Delta OI3$ -Wert von 21, während Holzwolle einen $\Delta OI3$ -Wert von 4 hat.

Aus ökologischer Betrachtung wäre daher zum Beispiel eine Hanfdämmung eine gute Alternative, da diese einen $\Delta OI3$ -Wert von 3 hat und bezüglich der Wärmedämmung einen guten λ -Wert von 0,045 W/mK aufzeigt.

5.3 Wohnungstrennwand und Zwischendecke

Da Holzleichtbeton außer der Dämmwirkung auch sehr gute schalldämmende Eigenschaften besitzt, eignet es sich aus ökologischer Sicht zum Einsatz in Wohnungstrennwänden und Zwischendecken. Im Aufbau l) in der Ausführung als Holzmantelbetonwand, mit einer Stahlbetonwand und Holzleichtbetondämmplatten an beiden Seiten, ergibt sich ein U-Wert von 0,717 W/m²K und ein $\Delta OI3$ -Wert von 61. Zum Vergleich im Aufbau m) mit Schallschutzziegeln und 5 cm Mineralwolle folgt ein U-Wert von 0,601 W/m²K und ein $\Delta OI3$ -Wert von 67. Hier zeigt sich, dass sich die U-, und $\Delta OI3$ -Werte nicht drastisch unterscheiden, es kann also bedenkenlos aus ökonomischer Sicht entschieden werden, da hier die Ausführung mit den Schallschutzziegeln um mehr als die Hälfte kostengünstiger ist, als die des Aufbaus l).

Beim Blick auf die Zwischendecken des Aufbaus n) und des Aufbaus o), erweist sich die Variante der CLT-Platte mit Holzleichtbetondämmplatten als sehr ökologisch. Aufbau n) zeigt einen U-Wert von 0,375 W/m²K und einen $\Delta OI3$ -Wert von 52. Während Aufbau o) mit der Stahlbetondecke einen U-Wert von 0,678 W/m²K und einen $\Delta OI3$ -Wert von 94 aufweist. Auch hier zeigt sich, dass der Konstruktionsaufbau mit Holz und Holzleichtbeton, einen günstigeren Wärmedämmwert und einen besseren $\Delta OI3$ -Wert hat. Jedoch ist auch hier die Variante des Aufbaus n) aus ökonomischer Sicht, die teurere.

5.4 Holzleichtbeton und Ökonomie

Bei der ökonomischen Betrachtung ist es wichtig die wirtschaftlichen Faktoren bestmöglich zu optimieren. Hierbei hilft es eine langfristige Betrachtung der Kosten über den gesamten Lebenszyklus durchzuführen. Beginnend bei der Planung, der Herstellung und Errichtung, über zur Nutzung und letztendlich zum Abbruch. Die größte Beeinflussbarkeit die der Planer hat, sind die Kosten für die Herstellung und Errichtung. Die in dieser Phase getroffenen Entscheidungen, betreffen dann in der Nutzungsphase die Instandhaltungs- und Betriebskosten des Gebäudes. Die Instandhaltungskosten vom Material Holzleichtbeton, sind im Vergleich gering und es wird in Analysen eine Lebensdauer von 100 Jahren kalkuliert. Die Betriebskosten werden durch dieses Material stärker beeinflusst, da beispielsweise die Dämmwirkung des Materials einen Einfluss auf den U-Wert und damit auf die während dem Betrieb eingesetzte Energie zum Heizen des Gebäudes hat. Es ist also Wichtig die in der Planungsphase definierten Randbedingungen wie Dämmwirkung und zukünftiger Einsatz an Energie in der Nutzung zu berücksichtigen, genau so wie die Kosten und eingesetzte Energie in der Herstellung und Errichtung. Daher ist der Einsatz von Holzleichtbeton gegebenenfalls in der Errichtung eventuell die kostenintensivere Variante, dennoch ist aber der eingesetzte Energiebedarf in der Herstellung und in der Nutzung oftmals geringer. In Kapitel 3.6 wurden verschiedene Konstruktionen von Holzleichtbeton betrachtet und die Herstellungskosten miteinander verglichen. Der Einsatz von Holzleichtbeton muss allerdings nicht immer die teurere Variante sein, wie die in Kapitel 5.1 erwähnte Holzleichtbetonwandkonstruktion der Firma Eltomation zeigt.

Der Energiebedarf und die Auswirkungen auf die Umwelt, sollte global gesehen also eine größere Gewichtung zukommen als es zur Zeit der Fall ist. Die Abbruchsphase und Rückgewinnung der Rohstoffe wird in naher Zukunft auch eine größere Gewichtung zukommen. Ein großer Teil des Abbruchs wird derzeit noch auch Deponien gelagert. Durch die Verknappung der Rohstoffe ist es nur eine Frage der Zeit, bis die Rückgewinnung der eingesetzten Rohstoffe, im Endeffekt kostengünstiger und ökonomischer wird.

5.5 Einordnung der Resultate in die Entwurfsplanung

Holzleichtbeton eignet sich für eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten. Für tragende als auch nicht tragende Außen-, als auch Innenwände und in einem beschränkten Maß als Dämmmaterial. Mit Hilfe der erstellten Tabellen und Vergleichskonstruktionen ist ein Überblick geschaffen, welchen man für weitere Entwurfsplanungen berücksichtigen kann. Entscheidend für die Wahl sind die Entscheidungskriterien und die Gewichtung welche man ihnen zuteilt bzw. welche von Randbedingungen zugeteilt wird. Die Kriterien für die Entscheidungsfindung können anhand von Beispielen, aus Tabelle 1 und Tabelle 2 herausgelesen werden. In Tabelle 1 kann man sich mit Hilfe der Ökologischen Kriterien wie dem Ökoindex 3, bauphysikalischen Kriterien wie dem U-Wert und ökonomischen Kriterien wie den Kosten pro m^2 , anhand der gewählten Beispielkonstruktionen einen Überblick verschaffen. Hierbei sollte ein besonderes Augenmerk auf den ökologischen Kennzahlen liegen. Bestenfalls sollte die größte Gewichtung der Ökologie zukommen.

Für den Einsatz von Holzleichtbeton als tragende Wandkonstruktion eignet sich Holzleichtbeton in Form von Holzleichtbetonmantelsteinen im Verbund (Abb. 23,24, Seite 58). In den Aufbauten e) f) g) (Abb.25,26,27, Seite 59,60) wurden die gewählten Holzmantelbetonsteine mit weiterem Holzleichtbeton als Dämmung ergänzt. Hier kann man erkennen dass die U-Werte der Konstruktionen zwischen $0,246 \text{ W/m}^2\text{K}$ und $0,149 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegen und dies bei ΔOI3 -Werten zwischen 48 und 60. Somit sind hier niedrige U-Werte, bei niedrigen ΔOI3 -Werten zu erreichen.

Beim alleinigen Einsatz von Holzleichtbeton als einheitliches Wandelement (Abb.67,68, Seite 101,102) zeigt sich der ökologische Vorteil von Holzleichtbeton besonders gut. Hier sind mit Holzleichtbeton mit einer Dichte von 475 kg/m^3 ein U-Wert von $0,193 \text{ W/m}^2\text{K}$, bei einem ΔOI3 -Wert 34 zu erreichen. Hier muss aber auch die statische Tragfähigkeit miteinbezogen werden und an die Anforderungen angepasst werden. Es wird daher empfohlen bei der weiteren Wahl von Bauteilkonstruktionen eine Berechnung der Kennzahlen durchzuführen diese dann mit Holzleichtbetonkonstruktionen zu vergleichen.

Bezüglich dem Einsatz als Dämmmaterial kann man in Kapitel 4.2, 4.3 verschiedene Materialien vergleichen. Wie bereits erwähnt kann Holzleichtbeton mit einer geringen Dichte, auch als Wärmedämmung agieren. Der $\Delta OI3$ -Wert und weitere ökologische Kennzahlen von Holzleichtbetondämmstoffen sind geringer als jene von Steinwolle oder EPS-Dämmung, jedoch ist die Wärmedämmung nicht ganz so gut. Bei größeren Wandstärken können jedoch sehr gute U-Werte erzielt werden. Dennoch muss man sagen dass es ökologisch gesehen ähnlich gute Dämmstoffe gibt, bei deutlich besserer Dämmwirkung. Ein Beispiel hierfür ist Hanfdämmung.

Weiters sollte bei der Wahl von Holzleichtbeton berücksichtigt werden, dass dies ein besonders duktiles, nicht brennbares, schalldämmendes und raumklimaregulierendes Material ist, wodurch zusätzliche Vorteile hinzukommen.

6 Schlussfolgerung

Es ist also zu erkennen, dass der Einsatz von Holzleichtbeton aus ökonomischer Sicht zumeist die teurere Variante ist. Ökologisch gesehen zeigt sich, dass es aufgrund der natürlichen Stoffe wie Holz, Sand und Wasser zu umweltfreundlichen Baustoffen zählt und häufig die ökologischere Variante darstellt.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass ein möglichst hoher Anteil des nachwachsenden Rohstoffes Holz, als Sekundärrohstoff aus Altholz oder Holzresten, bestehen kann.

Bauphysikalisch gesehen ist Holzspanbeton sehr vielseitig einsetzbar, da es neben den wärmedämmenden Eigenschaften, aufgrund des Porenanteils auch gut schalldämmend ist. Auch aufgrund der Zusammensetzung hat Holzleichtbeton eine sehr gute raumklimaregulierende Wirkung. Im Hinblick auf den Brandschutz sind die von Zementleim ummantelten Holzspäne nicht brennbar. Weiters hat Holzleichtbeton eine hohe Duktilität und hat dadurch die Fähigkeit auch horizontal auftretende Belastungen, wie beispielsweise Erdbeben, aufzunehmen und abzdämpfen.

Diese Vielseitigkeit macht dieses Material vor allem im Verbund zu einem sehr ökologischen Baustoff, welcher in den meisten bautechnischen Bereichen seine Anwendung finden kann und dadurch eine in Betracht zu ziehende Variante beim Planen von Gebäuden sein sollte.

Holzleichtbeton ist weiters sehr langlebig, was in Bezug auf seine Nachhaltigkeit eine große Rolle spielt. Beispielsweise konnten Holzwolleplatten, welche um 1930 in Italien als Dämmstoff verwendet wurden, am Ende des Lebenszyklus des Gebäudes abgetragen und in einem weiteren Gebäude wieder eingebaut werden, da sie selbst nach all den Jahren noch in einem sehr guten Zustand waren. Holzwolleleichtbetonplatten die in Skandinavien über 60 Jahre im Außenbereich eingesetzt wurden, zeigen selbst nach unzähligen Tau- und Gefrierphasen, keinerlei Verschleiß.

Am Ende des Lebenszyklus von Holzleichtbeton ist also eine bestimmte Wiederverwertbarkeit möglich. Da Holzleichtbeton im Zuge von Abrissmaßnahmen eines Bauwerkes mit verschiedenem weiteren Bauschutt und Anhaftungen abgetragen wird, muss beim Entsorgen zunächst eine mechanische Vorbehandlung und Trennung stattfinden. Der Anteil der Holzspäne kann thermisch und energetisch verwertet werden ist jedoch aufgrund der Ummantelung mit Zementleim schwer entflammbar, wodurch es zu entsprechend langen Verweilzeiten beim thermischen behandeln kommt.

Bei der allgemeinen Betonherstellung, wird Zement mit Sand, Kies und Wasser vermischt. Dabei gibt es ökologisch gesehen zwei Faktoren, welche hier negative Auswirkungen haben. Zum einen kommt es bereits jetzt schon langsam zu einer weltweiten Verknappung der Ressource Sand, und zum anderen ist die Herstellung von Zement ein sehr energieaufwändiger Prozess. Bezüglich der Ressource Sand ist ein möglicher Zugang jener, dass für die Herstellung von Beton, künftig Recyclebeton verwendet werden könnte. Recyclebeton wird aus alten, abgebrochenen Betonbauteilen erzeugt. Dabei werden die Bestandteile zerkleinert und getrennt, wodurch Sand und Gesteinskörner gewonnen werden, welche dann wieder zur Herstellung von Beton herangezogen werden können.

Beim zweiten Faktor, dem höchst energieaufwändigem Herstellen von Zement, wird zur Zeit auch an Alternativen geforscht. Zement wird durch das Brennen von Kalkgestein hergestellt. Dafür sind sehr hohe Temperaturen von ca. 1200°C erforderlich. Zur Zeit wird daran geforscht, ein zementähnliches Produkt aus Kalkgestein herzustellen, wobei beim Brennvorgang eine Temperatur von nur ca. 200°C erreicht werden muss. Somit kann ein großer Teil der Herstellungsenergie eingespart werden.

In jedem Fall ist die Herstellung von Holzleichtbeton ökologisch gesehen von Vorteil, da hier weniger Sand, Gestein und Zement verwendet wird, als bei der herkömmlichen Herstellung von Stahlbeton.

In Kapitel 4.4 wurde eine Ökobilanzierung von Holzmantelbetonsteinen durchgeführt. Die Herstellungsphase A1-A3 der Holzmantelbetonsteine, macht ca. 35 % der Bilanz aus, dies stammt zu einem großen Teil von dem Einsatz des Zements. Bei der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus hat sich herausgestellt, dass die Errichtungsphase A4-A5 die größten Auswirkungen auf die Bilanz hat (siehe Abb. 54, Seite 87). Dies vor allem dadurch, dass bei der Errichtung, Stahlbeton in die Holzmantelbetonsteine eingebracht wird (siehe Abb. 55, Seite 88). Nach der Bilanzierung der Holzmantelbetonsteine, wurden die erlangten Werte in Relation gesetzt und mit den gängigen Baumaterialien Mauerziegel und Fertigbeton verglichen. Nach Betrachtung der Materialien Holzmantelbeton, Mauerziegel und Betonfertigteilen zeigte sich, dass Holzleichtbeton die geringsten Auswirkungen in der Herstellungsphase auf die Umwelt hat. Dies gilt für die Menge an eingesetzter Energie, als auch für das Erderwärmungspotenzial (Abb. 62). In Abb. 59 und Abb. 60 wird der Lebenszyklusvergleich von Mauerziegel und Holzmantelbetonstein aufgezeigt und es ist erkennbar, dass die Umweltauswirkungen von Holzmantelbeton hier um einiges geringer sind, als die des Mauerziegels. Auch im Vergleich von Holzmantelbeton und Fertigbetonteilen (siehe Abb. 62 und Abb. 61, Seite 93) wird der ökologische Vorteil von Holzleichtbeton abgebildet.

Im Hinblick auf die Wärmedämmung und bei der Gegenüberstellung der ökologischen Kennwerte der Produkte Holzwolle, Steinwolle und EPS (siehe Abb. 64, Seite 96) erschließt sich, dass die geringsten ökologischen Auswirkungen sowie der geringste Energieeinsatz bei der Herstellung von Holzwolle vorliegt. Bauphysikalisch gesehen hat Holzwolle jedoch eine geringere Wärmedämmwirkung, als die beiden anderen Dämmmaterialien, dies kann jedoch mittels höheren Bauteilstärken beeinflusst und somit gute Wärmedämmwirkung erreicht werden.

Nachhaltige Baustoffe zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass sie während der Produktionsprozesse so wenig Abgase wie möglich ausstoßen. Auch während der Produktionsprozesse sollten so wenig Abfallstoffe wie möglich erzeugt werden, oder bestenfalls auch schon Sekundärrohstoffe zur Erzeugung verwendet werden. Weiters ist es auch wünschenswert, dass natürliche, lokale und nicht toxische Stoffe zur Produkterzeugung herangezogen werden, welche in späterer Folge am Ende der Lebensdauer auch wieder in den Rohstoffkreislauf zurückgeführt werden können. All dies trifft sehr genau auf den Verbundstoff Holzleichtbeton zu, daher trägt Holzleichtbeton zu einem ganzheitlichen und energie- und umweltbewussten Bauen und Planen bei.

6.1 Künftige Forschung

In der heutigen Zeit in welcher das Internet der Dinge und die computergestützte Automatisierung in allen Bereichen des menschlichen Lebens kontinuierlich voran schreitet, kann auch damit gerechnet werden, dass es in der Bauindustrie zu weiteren innovativen Entdeckungen und Forschungen kommen wird. Auch im Bereich von Holzleichtbeton kann in naher Zukunft eine interessante Weiterentwicklung stattfinden. Durch die Formbarkeit und vielseitige Einsetzbarkeit von Holzleichtbeton sind neue Verarbeitungsmethoden denkbar. Forscher der Technischen Universität München, des Lehrstuhls für Holzbau und Baukonstruktion, untersuchen den Einsatz von Holzleichtbeton für die Fertigung von großformatigen Bauteilen mit Hilfe von 3D-Druck, bzw. „additiver Fertigung frei geformter Bauelemente durch numerische gesteuerte Extrusion von Holzleichtbeton“ [41].



Abb. 69 extrudierte HLB-Bauteile [41]

Es ist den Forschern gelungen eine für den 3D-Druck funktionierende Holzleichtbetonmischung zu finden, womit Schicht für Schicht mit Hilfe eines Schneckenförderers, Bauteile aus Holzleichtbeton hergestellt werden können. Somit ist eine digital gestützte geometrische Freiformgestaltung, unterschiedlichster Bauteile möglich. Durch die Tragfähigkeit und Wärmedämmung des Materials, können in Zukunft frei geformte monolithische Bauelemente oder gesamte Gebäude entstehen.

Holzleichtbeton eignet sich besonders gut für diese Art der schalungsfreien Formgebung, da durch den Verbund des widerstandsfähigen Materials „Beton“ und des elastischen Materials „Holz“, eine langlebige Konstruktion entstehen kann. Es steckt viel Potential in dieser Verarbeitungsmöglichkeit von Holzleichtbeton.

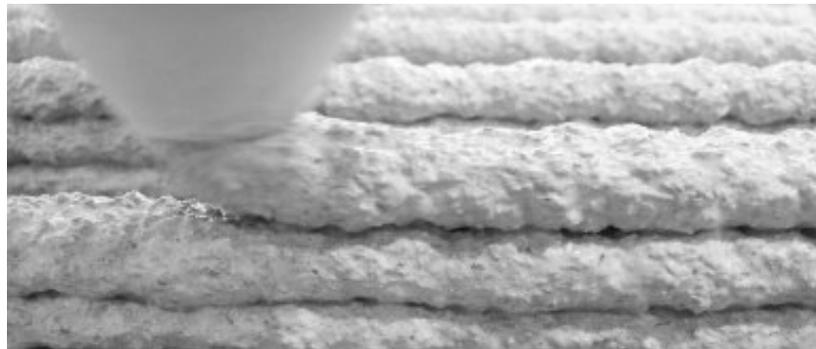


Abb. 70 Holzleichtbetonschichtaufbau [41]

In weiterer Forschung sollte auch dem Wiederaufbereiten und dem Recycling von Baustoffen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Mit zunehmender Verknappung der Ressourcen wird es immer notwendiger werden, weniger Energie für die Beschaffung neuer Baumaterialien zu verwenden, und mehr auf die Wiederaufbereitung bereits hergestellter Materialien und Bauteile zu setzen. Es sollte versucht werden neuere und einfachere Methoden zur Trennung von Einzelkomponenten zu erforschen um den immer mehr werdenden Bauschutt auf Deponien zu verringern. Denn dann könnten die heutigen Deponien, die Rohstofflager von morgen werden. Zur Zeit sind die Abbruch und Trennungsprozesse relativ energieaufwändig, dies könnte sich aber mit zunehmender Forschung ändern. Weitere Forschung sollte auch in Richtung statischer Tragfähigkeit von Holzleichtbeton gehen um weitere mögliche Eignungen zu erforschen.

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [3] Fraunhofer IBP Informationsdienst Wissenschaft e. V. (2016); <https://idw-online.de/de/image?id=169176&size=screen>, abgerufen am 22.01.2016
- [4] Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH (2016); <https://methodenpool.salzburgresearch.at/methode/swot-analyse/>, abgerufen am 11.02.2016
- [5] Homburg, C., Krohmer, H.: Marketingmanagement (2009)
- [6] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Deutschland (BMVBS), Leitfaden für nachhaltiges Bauen (2013)
- [7] baubook GmbH; <https://www.baubook.info/>; abgerufen am 24.07.2015
- [8] Carl-Alexander Graubner, Katja Hüske, John Wiley & Sons, Nachhaltigkeit im Bauwesen 2003
- [10] Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP; <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/-Kompetenzen/ganzheitliche-bilanzierung/Angewandte-Methoden/Oekobilanzierung.html>, abgerufen am 09.06.2016
- [11] Bau-EPD GmbH, EPD Workshop 2.0; http://www.bau-epd.at/wp-content/uploads/2015/02/20150211-Bau-EPD-GmbH-Präs-BauZ_2015-SRI.pdf, abgerufen am 12.06.2016
- [12] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Ökoindex3 Einführende Information; (2012)
- [13] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, OI3 Indikator, Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude; (2013)
- [14] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Ökoindex3 Anwendung – Grundlagen, Berechnungsergebnisse, Optimierung; (2013)
- [15] proHolz Austria; <http://www.proholz.at/zuschnitt/45/holzleichtbeton/>, abgerufen am 13.07.2016
- [16] Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (VÖB); http://www.wohnbeton.at/Seiten/wohnbau/02was_ist_beton.asp, abgerufen am 13.07.2016
- [17] Baunetz Media GmbH; <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/holzspaene-1088441>, abgerufen am 13.07.2016
- [18] Informationszentrum Beton GmbH; <https://www.beton-campus.de/2015/03/holzleichtbeton/>, abgerufen am 12.07.2016
- [19] Kolb Josef, Holzbau mit System (2012)
- [20] proHolz Austria; <http://www.proholz.at/co2klimawald/waldland-oesterreich/>, abgerufen am 22.09.2016
- [21] Grosser, Zimmer, Sell, Nomenklatur nach DIN EN 13556, Werte nach DIN 68364 (2003); https://www.waldwissen.net/waldwirtschaft/holz/verarbeitung/lwf_nutzung_wi_nterlinde/index_DE, abgerufen am 22.09.2018

- [22] Grübl, Weigler, Sieghart; Beton – Arten, Herstellung und Eigenschaften (2001)
- [23] G. Stehno; Baustoffe und Baustoffprüfung (2013)
- [24] Leichtbeton haufwerksporrig;
http://www.leichtbeton.at/leichtbeton/leichtbeton_ist/, abgerufen am 23.09.2016
- [25] Leichtbeton gefügedicht;
https://cdn.stylepark.com/manufacturers/l/liapor/produkte/leichtbeton-gefuegedicht/_1410xAUTO_fit_center-center_90/leichtbeton-gefuegedicht-1.jpg, abgerufen am 23.09.2016
- [26] Zilch, Diederichs, Katzenbach; Handbuch für Bauingenieure (2002)
- [27] Baunetzwissen, Betonarten;
<https://www.baunetzwissen.de/beton/fachwissen/betonarten>, abgerufen am 23.09.2016
- [28] Krippner, Untersuchungen zu Einsatzmöglichkeiten von Holzleichtbeton im Bereich von Gebäudefassaden (2004)
- [29] Beraus, Holzspanbeton. Naturbaustoff-ökologisch und wirtschaftlich (2001)
- [30] DOCUmedia GmbH, Holzmantelbetonstein; <http://www.bau-docu.at/oekologisch-bauen-mit-holzspan-mantelbeton-28586/news.html>, abgerufen am 03.01.2018
- [31] Sonntag, Wandaufbauten mit Schalungssteinen aus Holzspanbeton (2003)
- [32] Musso, Niebler, Krippner, Issig, Holzbau der Zukunft – Holzleichtbeton im Hochbau (2007)
- [33] Grafiken wurden mit Hilfe des Bauteilrechners der Internetplattform www.baubook.info berechnet und erstellt.
- [33-1] ofroom, Beton, Betonwerk Rieder;
<http://beton.ofroom.net/beton/texte/produkt/betonwerk-rieder-holzbetonabsorber/?comefrom=material&id=1069>; abgerufen am 30.09.2017
- [34] proholz Austria, Holzbauanteil Wien und Österreich;
<http://www.proholz.at/news/news/detail/holzbauanteil-wien-neue-datenerhebung/>, abgerufen am 30.06.2016
- [35] Velox Werk GmbH; <http://www.velox.at/de/referenzen/wohn-hochbau/mehrgeschossiger-wohnbau/>, abgerufen am 30.06.2016
- [36] SAS Virtual Expo, Isospan Holzmantelbetonsteinwand;
<http://trends.archiexpo.de/isospan-baustoffwerk-gmbh/project-105503-226741.html>, abgerufen am 30.06.2016
- [37] EAB Massivhaus GmbH & Co KG, Thermospan Produkte; <https://www.eab-massivhaus.de/technologie/massive-bauweise/thermospan-produkte/>, abgerufen am 29.06.2016
- [38] Velox Holzspanbetondämmplatte WS 50 Leistungserklärung;
http://www.velox.at/fileadmin/content/servicecenter/atteste/Leistungserklaerungen/Leistungserklaerung_Nr._LE-13.0100-WS.pdf, abgerufen am 13.06.2016
- [39] ITE Group PLC, Holzleichtbetonwandelement;
<https://www.worldbuild365.com/product/0i9eo51su/production-lines/large-wood-wool-cement-element-plant>, abgerufen am 23.10.2016

[40] EltotationB.V., Large Wood Wool Cement Wall Element Building System; https://www.eltotation.com/application/files/6114/5734/7743/2_Large_WWC_Wall_Element_System_introduction_and_technical_description_March_2013.pdf, abgerufen am 23.10.2016

[41] Henke, Talke (2016); Additive Fertigung frei geformter Bauelemente durch numerisch gesteuerte Extrusion von Holzleichtbeton

[42] RMU Umweltberatung; http://rmu-umweltberatung.de/?page_id=13, abgerufen am 15.04.2018

[43] EPD Holzmantelbetonsteine Silver mit integrierter EPS-Dämmplatte, Bau EPD GmbH Umweltproduktdeklaration; abgerufen am 01.05.2017

[44] Daxner & Merl GmbH, LV Ökologisch beim Tragwerksentwurf, Präsentation Block 1; abgerufen am 21.03.2018

[45] EPD Holzmantelbetonsteine, Bau EPD GmbH Umweltproduktdeklaration; abgerufen am 16.05.2016

8 Abildungsverzeichnis

Abb. 1 Matrixdarstellung einer SWOT-Analyse [5]	13
Abb. 2 $\Delta OI3$ Werte von Bauteilen(links), $\Delta OI3$ Werte von WDVS (rechts) [12]	27
Abb. 3 Lebenszyklusphasen [43]	30
Abb. 4 Holzspanbeton [16]	35
Abb. 5 Restholzspäne [17]	35
Abb. 6 Lebenszyklus von Holz [20]	37
Abb. 7 Kennwerte verschiedener Holzarten [21]	39
Abb. 8 Betonarten [16]	41
Abb. 9 haufwerksporig [24]	42
Abb. 10 gefügedicht [25]	42
Abb. 11 Holzspanbetonkennwerte [28] [29]	43
Abb. 12 Holzspanbetonmantelstein mit integrierter Dämmung [30]	45
Abb. 13 Holzwolleplatten [28]	45
Abb. 14 Holzleichtbeton als Schallschutz [33-1]	47
Abb. 15 Außenwandkonstruktion mit Holzleichtbeton [35]	50
Abb. 16 Holzleichtbetonwandelement zum Verfüllen mit Beton [36]	51
Abb. 17 Matrix einer SWOT-Analyse zu Holzleichtbeton	54
Abb. 18 Brettsichtholz wand mit Holzleichtbetonplatten [33]	55
Abb. 19 Brettsichtholz wand mit Holzleichtbetonplatten – voller Aufbau [33]	56
Abb. 20 Brettschichtholz wand mit Holzspanbeton und Steinwolle [33]	56
Abb. 21 Brettschichtholz wand mit Holzspanbeton und Hanffaserdämmung [33]	57
Abb. 22 Holzmantelbetonstein [37]	58
Abb. 23 Holzmantelbetonstein Fa.Thermo-span [33]	58
Abb. 24 Holzmantelbetonstein Fa.Isospan [33]	58
Abb. 25 Mantelbetonstein Isospan Super S30/9 mit weiteren Holzspanbetonplatten [33]	59
Abb. 26 Mantelbetonstein Isospan Super S36,5/16,5 Silver mit weiteren Holzspanbetonplatten [33]	59
Abb. 27 Mantelbetonsteinaufbau zulässig für Passivhäuser [33]	60
Abb. 28 Stahlbetonwand mit EPS Wärmedämmung [33]	60
Abb. 29 Holzmantelbetonsteinwandaufbau Isospan Super 2000 [33]	61
Abb. 30 Hochlochziegel mit integrierter Mineralwolle [33]	61
Abb. 31 Holzmantelbetonsteinwandaufbau Durisol DSS 37,5/12 [33]	62
Abb. 32 Stahlbetonwand mit Holzspandämmplatten [33]	62
Abb. 33 Schallschutzziegel mit Mineralwolle [33]	63
Abb. 34 Cross Laminated Timber-Platte mit Holzspandämmplatten und Estrich [33]	63
Abb. 35 Stahlbetonzwischendeckenaufbau [33]	64

Abb. 36 U-Wert [W/m ² K], der 3 verschiedenen Außenwandkonstruktionen.....	68
Abb. 37 ΔOI_3 -Wert [-], von 3 verschiedenen Außenwandkonstruktionen	69
Abb. 38 Kosten [€/m ²], der 3 verschiedenen Außenwandkonstruktionen	69
Abb. 39 Übersicht der U-Werte aus Tabelle 1	70
Abb. 40 Übersicht der ΔOI_3 -Werte aus Tabelle 1	70
Abb. 41 Übersicht der Kosten aus Tabelle 1	71
Abb. 42 λ -Werte der Dämmstoffe	73
Abb. 43 U-Werte der Dämmstoffe	73
Abb. 44 Dichte der Dämmstoffe	73
Abb. 45 PEI ne, der Dämmstoffe.....	74
Abb. 46 GWP 100 Summe, der Dämmstoffe.....	74
Abb. 47 OI_3 -Werte der Dämmstoffe	74
Abb. 48 Wärmeleitfähigkeits-Vergleichswerte.....	75
Abb. 49 OI_3 -Vergleichswerte 1	75
Abb. 50 OI_3 -Vergleichswerte 2	76
Abb. 51 Primärenergie-Vergleichswerte.....	76
Abb. 52 Treibhauspotential-Vergleichswerte.....	77
Abb. 53 Schema der Herstellungsphase (A1-A3) [45]	82
Abb. 54 Gesamter Lebenszyklus mit Anteilen in der Bilanzierung.....	87
Abb. 55 Anteile der Belastungen während der Errichtungsphase A4, A5.....	88
Abb. 56 Gesamter Lebenszyklus mit Anteilen in der Bilanzierung für Mauerziegel.....	90
Abb. 57 Lebenszykluskennwerte eines Mauerziegels pro m ²	91
Abb. 58 Lebenszykluskennwerte eines Holzmantelbetonsteins pro m ²	91
Abb. 59 addierte Lebenszykluskennwerte Mauerziegel.....	92
Abb. 60 addierte Lebenszykluskennwerte Holzmantelbetonstein	92
Abb. 61 Kennwerte der Herstellungsphase für Betonfertigteile.....	93
Abb. 62 Kennwerte der Herstellungsphase für Holzleichtbetonmantelsteine.....	93
Abb. 63 Kennwerte der Herstellungsphase für Mauerziegel.....	94
Abb. 64 Vergleich der Kennwerte in der Herstellungsphase A1-A3	96
Abb. 65 Holzleicht-betonwandelement [39]	100
Abb. 66 Aussteifung und Verbindung der Wandelemente mittels Beton [40].....	101
Abb. 67 Holzleichtbetonwand (1000 kg/m ³) [33]	101
Abb. 68 Holzleichtbetonwand (475 kg/m ³) [33]	102
Abb. 69 extrudierte HLB-Bauteile [41].....	112
Abb. 70 Holzleichtbetonschichtaufbau [41]	113

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Vergleichstabelle der verschiedenen Aufbauten	67
Tabelle 2 Auswahlkriterien für Dämmstoffe	72
Tabelle 3 Technische Daten	78
Tabelle 4 Bestandteile des Holzleichtbetons.....	79
Tabelle 5 Bestandteile für 1 m ² Wand	80
Tabelle 6 Energie- und Wasserbedarf für die Herstellung pro m ²	81
Tabelle 7 Indikatoren der Wirkungsabschätzung von N22 pro m ²	84
Tabelle 8 Indikatoren des Ressourceneinsatzes von N22 pro m ²	85
Tabelle 9 Abfallkategorien pro m ²	86
Tabelle 10 Wirkungsabschätzung von Mauerziegeln pro Tonne.....	89
Tabelle 11 Ressourceneinsatz von Mauerziegeln pro Tonne	90
Tabelle 12 Kennzahlen der Herstellungsphase A1-A3.....	95

Hintergrundbilder der Kapitel

Kapitel 1; <https://de.depositphotos.com/52923161/stock-photo-pine-wood-micrograph.html>, abgerufen am 19.05.2018

Kapitel 2; <https://i.ytimg.com/vi/qBtc7R3Bp9w/maxresdefault.jpg>, abgerufen am 19.05.2018

Kapitel 3; <http://fs5.directupload.net/images/160529/soezhg33.jpg>, abgerufen am 19.05.2018

Kapitel 4; https://www.mental-health-guide.com/wp-content/uploads/2016/11/Fotolia_42315218_S.jpg, abgerufen am 19.05.2018

Kapitel 5;
https://pixabay.com/get/e837b40d28f7053ed1534705fb0938c9bd22ffd41cb3174696f4c479a4/wood-1252034_1920.jpg, abgerufen am 19.05.2018

Kapitel 6; <https://horizon-magazine.eu/sites/default/files/field/image/Forest.jpg>, abgerufen am 19.05.2018