

Projektarbeit zur eidg. Berufsprüfung Baubiologie



LIGNOTHERM, das Massivholz-Bodenheizungssystem im Vergleich

Facharbeit

Verfasser: Stefan Christen, Büntenstrasse 18, 6060 Sarnen, Herbst 2023

Betreuungsperson: Stephan Küng, Küng Holzbau AG

Experten: Ryszard Gorajek Christoph Lehner

Inhaltsverzeichnis

1	Abkürzungsverzeichnis	3
2	Persönliche Vorstellung	3
3	Vorwort	4
4	Einleitung	6
4.1	Ziel	7
4.2	Abgrenzung.....	7
5	Hauptteil	8
5.1	Die Geschichte der Fussbodenheizung	8
5.2	Ausgangslage Facharbeit	10
5.3	Problemstellung.....	11
5.3.1	Feuchtigkeit	12
5.3.2	Gesundheitliche Risiken	12
5.3.3	Umweltbelastung.....	12
5.3.4	Entsorgung.....	13
5.4	Vergleich	13
5.4.1	Vergleich der Materialschichten und Preis des herkömmlichen Bodensystems zu LIGNOTHERM.....	13
5.4.2	Vergleich der Systeme in ökologischer Perspektive	15
5.4.3	Vergleich Aufbau / Zeitaufwand	20
5.4.4	Vergleich Rückbau und Recycling.....	21
5.4.5	Vergleich bezüglich Kriterien nach den Grundsätzen des GNB.....	22
5.4.6	Dimensionierung von Heizungsanlagen	25
6	Beantwortung der Fragestellungen / Fachliches Fazit	26
7	Persönliches Fazit / Empfehlung	29
8	Verzeichnisse	30
8.1	Fachgespräch.....	30
8.2	Bücher.....	30
8.3	Quellenverzeichnis.....	30
8.4	Abbildungsverzeichnis	31
8.5	Tabellenverzeichnis	32
9	Eigenständigkeit und Autorenschaft / Urhebererklärung	32

10	Anhang	33
	Anhang 1 – Broschüre Holzpur	
	Anhang 2 – Schallschutzmessung Lignotherm, Zimmer 203.....	
	Anhang 3 – Schallschutzmessung Lignotherm, Zimmer 204.....	
	Anhang 4 – Broschüre Lignotherm.....	
	Anhang 5 – Bemessungstool Lignotherm (nur elektronisch)	
	Anhang 6 – Prüfbericht HSLU Lignotherm	
	Anhang 7 – Oekobilanz holzpur	
	Anhang 8 – Oekobilanzdaten Zement vs. Holz (nur elektronisch).....	
	Anhang 9 – Grundsätze GNB 2022.....	

1 Abkürzungsverzeichnis

BFS	Bundesamt für Statistik
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungsanstalt
GNB	Gesundes und nachhaltiges Bauen
IBN	Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
LFI	Landesforstinventar
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
THGE	Treibhausgasemissionen
UBP	Umweltbelastungspunkte
VVEA	Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen

2 Persönliche Vorstellung

Mein Name ist Stefan Christen und ich bin in Büren (Nidwalden) aufgewachsen. Nach der Lehre als Zimmermann begann ich 1998 bei der Firma Küng Holzbau in Alpnach als Zimmermann. Anschliessend habe ich eine Weiterbildung zum Vorarbeiter, dann Holzbaupolier absolviert. Mittlerweile bin ich seit mehreren Jahren in einem 10-köpfigen Team als Projektleiter tätig und plane von kleineren Projekten wie Anbauten bis hin zu Mehrfamilienhäusern. Die Küng Holzbau AG beschäftigt ca. 100 Mitarbeitende und hat ihren Sitz in Alpnach, Kanton Obwalden. Die Holzbauunternehmung hat sich im Bereich der Massivholz-Bauweise mit dem System Holzpur (siehe Anhang 1) spezialisiert, sodass ich inzwischen in diesem Bereich viele Erfahrungen gesammelt habe und auch Bauleitungsaufgaben übernehme.

Seit 10 Jahren hat sich die Tätigkeit der Firma zunehmend auf die Massivholzbauweise fokussiert. Rund 90 % der Projekte werden in dieser Bauweise ausgeführt. Vor 5 Jahren kam dann auch die Idee auf, ein Bodenheizungssystem aus Massivholz zu fertigen, um unser Angebot zu erweitern und die Idee möglichst

vollumfänglicher Holzintegration in Bauten zu fördern. In diesem Zusammenhang entstand auch die Motivation für die Ausbildung zum Baubiologen.

3 Vorwort

Als Holzbauer mit über 25 Jahren Berufserfahrung habe ich schon viele Baustellen und Bauweisen gesehen. Ich habe mitverfolgen können, wie die Firma Küng Holzbau sich in den letzten Jahren zunehmend im Bereich der Massivholzbauweise spezialisiert hat. Immer mehr Bereiche (Aussenwand, Innenwand damit verbunden Isolation, Decken- und Dachsysteme) wurden dahingehend entwickelt, dass sie aus dem ökologischem und nachwachsendem Material Holz, gefertigt werden können. Zusätzlich werden diese Systeme alle leimfrei und durch Holzdübel verbaut, sodass auf chemische Stoffe vollständig verzichtet werden kann.

Ein Baustein fehlte jedoch lange Zeit. So wurden, hauptsächlich in Neubauten, fast immer Unterlagsböden aus Zement eingebaut. Zementböden erschienen uns aber klar als nicht nachhaltig und im Vollholzkonzert als störend. Die Firma Küng Holzbau AG wollte auch in diesem Bereich mit ökologischem Material arbeiten können. So wurde in einem ersten Schritt Lithotherm (vgl. Abb. 1) das Niedertemperatur Raum-Klima-System aus Basalt-Lava Stein, Trocken- Bodenheizungen montiert. Als Holzexperten stellten sich jedoch bei der Firma schon bald die Frage, ob ein Bodenheizsystem nicht auch mit Massivholz machbar wäre.

Ein Bodenheizsystem aus Massivholz zu produzieren, stellt ein Novum dar und würde die Massivholzbauweise vervollständigen. Was man aus Massivholz alles herstellen kann, ist faszinierend. Alles kann leimfrei, ohne Zusatzstoffe produziert und verbaut werden. Es wäre ein idealer Bodenaufbau, der sich auch wieder Rückbauen liesse. Die Idee ein Holzbodenheizsystem aufzugleisen, motivierte uns. Ziel soll sein, möglichst viele Bauschritte mit Holz nachhaltig realisieren zu können. So machte sich die Firma Küng Holzbau AG an die Arbeit. Als erstes musste geklärt werden, welches Holz sich für ein mögliches Bodensystem eignet. Wir testeten verschiedene einheimische (schweizerische) Holzarten auf ihre Wärmespeicherfähigkeit. Eine Grundvoraussetzung war, dass die Holzart in ausreichender Menge im Schweizer Wald vorhanden und somit keine seltene Baumart ist.

So stiess man schon bald auf die Holzart Buche. Diese hat viele Vorteile: Buche ist ausreichend vorhanden (häufigste Hartholzart in der Schweiz, gemäss Landesforstinventar LFI der Schweiz, (LFI, 2023)), Buche ist kostengünstig und weist eine höhere Wärmeleitfähigkeit als Nadelhölzer auf. Zudem hat die Zellstruktur von Buchenholz gute Voraussetzung, damit sich die Wärme im Material gut verteilen kann. Weiter weist Buchenholz auch bessere Werte in Bezug auf Trittschalldämmung auf. Dies hat auch Stephan Küng, Geschäftsführer der Küng Holzbau AG, am Fachgespräch vom 31. Oktober 2023 so bestätigt und entsprechend ausgeführt (Küng, 2023). Es wurden diesbezüglich auch konkrete Schallschutzmessungen an einem Objekt vorgenommen, die dies bestätigen (siehe Anhang 2 und Anhang 3).

Es konkretisierte sich die Idee aus Buchenholz ein Bodenheizungssystem zu entwickeln. Es entstand unser Produkt LIGNOTHERM (vgl. Abb. 2), welches wir seit 2020 in unserer Firma selbst herstellen. Das Produkt hat sich schon in dieser kurzen Zeit sehr bewährt, sodass wir mittlerweile das Bodenheizungssystem auch an andere Firmen verkaufen können.



Abb. 1: Lithotherm; Niedertemperatur Raum-Klima-System aus Basalt-Lava Stein (bba, 2019)



Abb. 2: LIGNOTHERM: Bodenheizungssystem aus Buchenholzbrettern (Küng Holzbau AG, 2021)



Abb. 3: LIGNOTHERM: Bodenheizungssystem aus Buchenholzbrettern, Querschnitt (Küng Holzbau AG, 2021)

Unser Produkt LIGNOTHERM (siehe Anhang 4) hat mich motiviert die vorliegende Arbeit zu schreiben. Ich möchte anhand eines Vergleichs aufzeigen, welche Vor- und Nachteile dieses System gegenüber den herkömmlichen Bodenheizsystemen hat.

Ich danke der Firma Küng Holzbau AG mit Geschäftsführer Stephan Küng für die Unterstützung und Motivation im Bereich der Baubiologie weitere Kenntnisse erwerben zu können.

4 Einleitung

Beim Planen von Häusern stellt sich vermehrt die Frage, wie man ökologischer nach dem Prinzip von gesundem und nachhaltigem Bauen (GNB) arbeiten kann. Hierbei wurde bislang vor allem das Augenmerk auf die Aussenhülle, sprich Dämmung / Isolation gelegt. Die Aussenhülle soll mit guten Wärmedämmwerten, ökologischen Materialien und nicht zuletzt mit vielen gestalterisch Möglichkeiten Kunden überzeugen. Es gibt aber durchaus noch Verbesserungsmöglichkeiten, vor allem bei den Bodenaufbauten.

Bei der vorliegenden Arbeit möchte ich den Bereich der Bodenaufbauten genauer anschauen. Kann man einen Bodenaufbau nach den GNB-Vorgaben einbauen? Wenn ja, welche und wie stehen sie im Vergleich zu herkömmlichen Bodenaufbauten? Hierzu habe ich zwei Bodenaufbauten einander gegenübergestellt. Der herkömmliche Unterlagsbodenaufbau mit Zement (UB-Zement) verglichen mit dem Unterlagsbodenaufbau aus Buchenholz (das Produkt LIGNOTHERM der Firma Küng Holzbau AG). Ich möchte aufzeigen, welche Vor- und Nachteile die beiden Arten von Bodenheizsystemen haben und diese in einem Vergleich gegenüberstellen. Dazu verwende ich Berechnungen, die ich auf der Basis der Datenbank des Bundes KBOB (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren, (KBOB, 2023)) vorgenommen habe, sowie Fachberichte und ein Fachgespräch mit Stephan Küng, Geschäftsführer der Küng Holzbau AG.

Die Arbeit richtet sich an Architekten, Bauunternehmen und Holzbauer, welche sich für ökologische Alternativen zum alten Bodenheizsystem interessieren. Zudem soll die Arbeit motivieren, genauere Berechnungen in diesem Bereich vorzunehmen, mit dem Ziel das Produkt LIGNOTHERM langfristig in die Datenbank KBOB (Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren) aufzunehmen.

4.1 Ziel

Ziel der Arbeit ist es das neue System LIGNOTHERM als Alternative zur alten Bauweise im Vergleich aufzuzeigen. Welches System ist nachhaltiger? Daraus ergeben sich folgende Fragen, welche im Hauptteil beantwortet werden sollen:

- Wie unterscheidet sich der Bodenaufbau des herkömmlichen Bodensystems mit Zement zu LIGNOTHERM bezüglich Materialschichten und Materialkosten?
- Wie unterscheiden sich die beiden Systeme bezüglich Ökologie?
- Wie unterscheiden sich die beiden Systeme bezüglich Aufbau, Rückbau und Recycling?
- Welche Kriterien decken die Bodenheizsysteme im Vergleich nach den Grundsätzen des GNB ab?
- Wie beeinflussen wärmetechnisch optimierte Neubauten die Dimensionierung von Heizungsanlagen und welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es?

Die Arbeit soll aufzeigen, welche Bodenheizart die ökologischere und nachhaltigere ist und warum. Die Ergebnisse sollen im Anschluss verwendet werden, um sowohl Optimierungen am Holzbodenheizungssystem LIGNOTHERM vorschlagen zu können als auch im Holzbaubereich das neuartige Heizsystem weiter zu etablieren.

4.2 Abgrenzung

In der vorliegenden Arbeit wird ausschliesslich der Aufbau von zwei Bodenheizsystemen verglichen, und zwar der herkömmliche Unterlagsbodenaufbau mit Zement im Vergleich mit einem Unterlagsbodenaufbau aus Buchenholz (LIGNOTHERM). Wichtig ist zu erwähnen, dass in der Arbeit nur der Bodenaufbau angeschaut wird. Wie die Wärme produziert wird, sei es durch eine Öl-, Elektro-, Holz- oder Wärmepumpenheizung oder weitere, spielt für den Vergleich in der Arbeit keine Rolle (vgl. Abb. 4). Es ist mir bewusst, dass in einem weiteren Schritt der Energieverbrauch der beiden Heizsysteme detaillierter angeschaut werden müsste. Dies würde den Rahmen dieser Arbeit allerdings sprengen. Dennoch möchte ich folgende Bemerkung aus dem Fachgespräch mit Stephan Küng, Geschäftsführer der Küng Holzbau AG noch anmerken: «Die Erfahrungen mit LIGNOTHERM in den letzten drei Jahren und verschiedene Berechnungen von Heizungsingenieuren (siehe Anhang 5 und Anhang 6) für bestimmte Bauprojekte haben gezeigt, dass bei Neubauten mit LIGNOTHERM die gleiche Heizenergie benötigt wird, wie bei herkömmlichen Unterlagsböden.» (Küng, 2023). Des Weiteren werden die Bodenaufbauten ausschliesslich bezüglich Nachhaltigkeit, ökologischer Aspekte und Preise verglichen und untersucht. Der Unterhalt der Bodenaufbauten wird nicht analysiert.

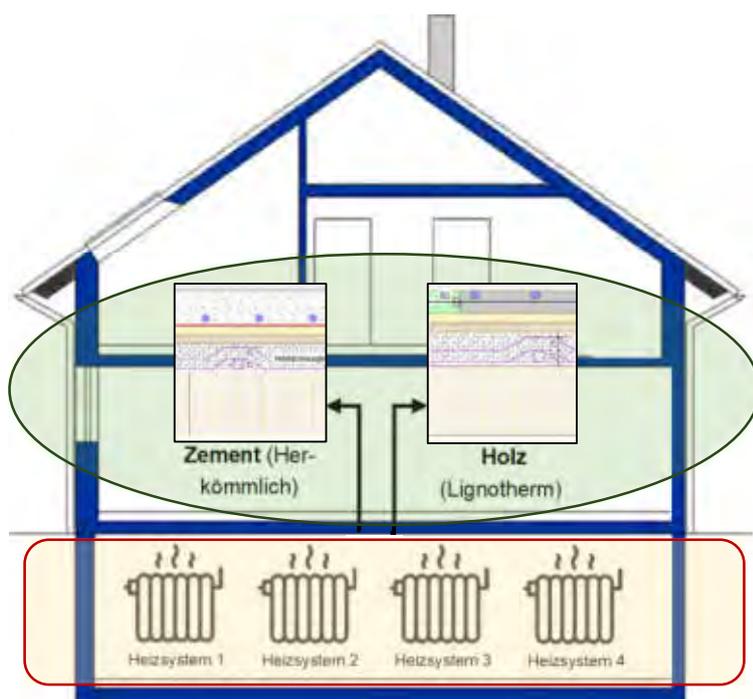


Abb. 4: Abgrenzung Analysebereich (Oeko-Architekturhaus, 2023)

5 Hauptteil

5.1 Die Geschichte der Fussbodenheizung

Die ersten Fussbodenheizungen wurden bereits von den Griechen erfunden und von den Römern weiterentwickelt, genannt Hypokaustum (vgl. Abb. 5 und Abb. 6), (Wikipedia F. , 2023). Die Römer haben vor über 2000 Jahren das System der griechischen Bodenheizung maximal optimiert. Beim Hypokaustum zirkuliert warme Luft in geschlossenen Schächten, um so die Oberflächen der Böden zu erwärmen. Hypokaustum ist lateinisch und bedeutet «von unten gebrannt / beheizt» und umschreibt eine Luftheizung. Es wurden auf dem Rohboden in regelmässigen Abständen kleine Pfeiler aus Ziegelsteinen verlegt, auf welchen der Fussboden aufgebaut wurde. So entstanden im Boden Hohlräume. Die heissen Abgase, welche durch einen Holzofen erzeugt wurden, leitete man durch die Hohlräume unter dem Fussboden durch. So wurden der Fussboden und dadurch auch der darüberliegende Raum gewärmt. Durch Schächte aus hohlen Ziegeln wurde das Abgas beziehungsweise der Rauch durch die Wände ins Freie geleitet. Dieses Heizsystem funktionierte so gut, dass laut antiken Berichten die Böden ohne Holzschuhe nicht betretbar waren. So wurden vor allem römische Bäder geheizt. Aber auch wohlhabende Römer haben in ihren Anwesen diese Heizart verwendet. In Grabungsanlagen kann man solche Heizungsanlagen (Hypokausten) noch heute besichtigen, so zum Beispiel in der Stadt Perge in Aksu.

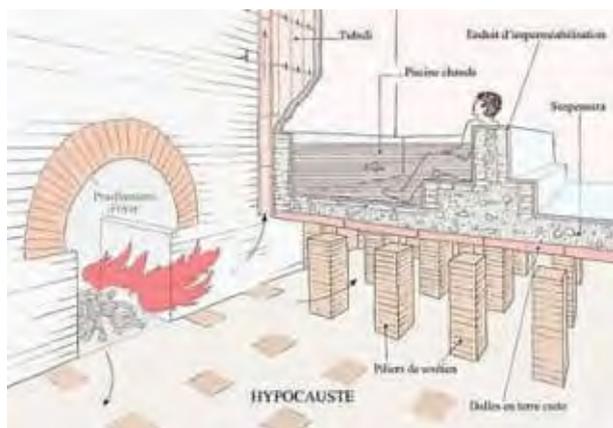


Abb. 5: Hypokaustum, Schema (Wikipedia H. , 2023)



Abb. 6; Hypokaustum, Bild (Holidaycheck, 2014)

Mit dem Untergang des römischen Reiches, ging auch dieses bereits weitentwickeltes Heizsystem verloren (Tessloff, 2023). Im Mittelalter wurde dann wieder zuerst mit offenen Feuerstellen im Haus geheizt. Da in den meisten Häusern Holzböden und auch sonst viel Holz verbaut war, stellte dies aber eine grosse Brandgefahr dar, sodass sich mit der Zeit zunehmend geschlossene Öfen durchgesetzt haben. Zuerst gab es vor allem Kachelöfen, als dann ab dem 15. Jahrhundert Gusseisen in grösseren Mengen hergestellt wurde, entstand auch der Eisenofen. Diese Heizform mit zentralen Öfen im Küchen- oder Wohnbereich wurde lange Zeit angewendet.

In der Nachkriegszeit im letzten Jahrhundert entstand dann die Zentralheizung. In den 70er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden in unserer Region schon weitgehend Zentralheizungen eingebaut. Diese löste die alten Öfen ab. Die Form der Heizkörper hat sich immer wieder verändert und es hat sich inzwischen vor allem die Fussbodenheizung etabliert.

Die moderne Bodenheizung, so wie wir sie heute kennen, entstand in den 1970er Jahren (Gabanyi, 2016). Neue Kunststoffrohre ersetzen dabei die schadenanfälligen Stahlrohre, welche anfänglich eingebaut wurden. In den darauffolgenden Jahren kamen viele neue Systeme und immer bessere Materialien auf den Markt. In den 1990er Jahren beginnt die Fussbodenheizung, sich gegen Heizkörpersysteme im Wohnungsbau durchzusetzen. Gemäss BFS (Bundesamt für Statistik) von 2021 gibt es in der Schweiz rund 4.7 Millionen Wohneinheiten (Bundesamt für Statistik, 2022). Etwa 1/3 dieser Wohnungen wurden ab 1990 mehrheitlich mit Unterlagsböden und integrierten Fussbodenheizrohren gebaut.

Bodenheizungen haben eine Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren. Der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein (SIA) geht von 30 Jahren aus, die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt EMPA von 50 Jahren (Houzy AG, 2020). Es ist davon auszugehen, dass in den nächsten Jahrzehnten im Bereich der Bodenheizsysteme ein Sanierungsdruck entsteht und ganze Bodenaufbauten wegen der sanierungsbedürftigen, eingegossenen Heizrohre ersetzt werden müssen.

5.2 Ausgangslage Facharbeit

Im Bauwesen gibt es stets viele Modernisierungen. Es gibt eine Vielzahl von Heizsystemen. Die Klimakrise motiviert Unternehmen neue, kostengünstigere und klimafreundlichere Heizformen zu entwickeln. Ebenso ist in der Schweiz ein gewisser Sanierungsstau zu beobachten: Der Bauboom der Nachkriegszeit führt dazu, dass heute viele Häuser aus den 60er und 70er Jahren saniert werden müssen. Ein guter Zeitpunkt also auch die Bauweisen und Möglichkeiten zu überprüfen und zu verbessern. Im Vergleich zu vielen alten Häusern aus dem 18. und 19. Jahrhundert, welche in ihrer Substanz oft noch gut erhalten sind, stellt die Sanierung jüngerer Häuser (40 bis 50 Jahre) oftmals eine grosse Herausforderung dar. Vor allem der Rückbau und die Entsorgung der verwendeten Materialien ist ökologisch gesehen oft schwierig. Die verwendeten Baustoffe weisen Gesundheitsrisiken auf und müssen entsorgt werden. Das steigende Bewusstsein für Ökologie, Klima und Nachhaltigkeit in der Gesellschaft bringt auch das Bauwesen dazu, Neubauten auch unter diesem Blickwinkel zu überdenken und nachhaltig zu planen.

Im Bereich der Bodensysteme gab es hier in den vergangenen Jahren auch viele Verbesserungen. Es gibt heutzutage diverse Bodensysteme, in denen die Heizungsrohre nicht mehr eingegossen werden, sondern in vorgefertigte Rillen verlegt werden, im sogenannten Trockenbausystem. Dies bietet den Vorteil, dass die Böden bei Sanierung nicht rausgespitzt werden müssen.

Im Trockenbau werden hierfür hauptsächlich folgende Materialien verwendet: Gipsfaserplatten genuttet, Weichfaserplatten mit Alublech und Holzlatte (vgl. Abb. 7), EPS-Styroporplatten mit Alublech (vgl. Abb. 8), Steinplatten mit Holzlatte (vgl. Abb. 1).



Abb. 7: Trockenbausystem mit Holzfaserplatte und Aluminium (Zimmerei & Holzbau Franz Wegmann GmbH, 2022)



Abb. 8: Trockenbausystem mit EPS und Aluminium (Dünki Wärmetechnik GmbH, 2021)

Vorteile dieser Systeme gibt es vor allem beim Umbau oder Sanierungen von älteren Gebäuden. Aber auch bei Neubauten werden diese Trockenbausysteme immer mehr eingesetzt. Beim genaueren Betrachten der verwendeten Materialien wird jedoch deutlich, dass es sich hier nicht um nachhaltige Materialien handelt, welche verbaut werden. Wie kann das verbessert werden? Als ökologischer Baustoff bietet sich hier Holz an. Ein Unterlagsbodensystem aus Holz wäre ökologisch ideal. So könnte zudem das bereits erfolgreich lancierte Holzpur-System der Firma Küng Holzbau AG abgerundet werden. Das Holzpur-System weist nachweislich gute Ökobilanzdaten aus, wie in Anhang 7 aufgeführt. Es ist also sinnvoll diese Linie weiter zu verfolgen.

5.3 Problemstellung

Obwohl der Einbau von herkömmlichen Unterlagsböden aus Zement schnell und preiswert ist und diesbezüglich einen Vorteil bietet, gibt es auch einige Nachteile und ökologische Probleme, welche untenstehend beschrieben werden.

5.3.1 Feuchtigkeit

Beim Einbau von Zement-Unterlagsböden braucht es viel Wasser. Nach Aussage von Ernst Zurfluh, Geschäftsführer der Ernst Zurfluh AG, werden bei einem herkömmlichen Zement-Unterlagsboden von 80 mm dicke, (ohne chemische Zusätze) ca. 8 Liter Wasser pro m² in ein neues Haus eingebracht. Dies macht bei einer Wohnung von 120 m² rund 960 Liter Wasser aus. Man bringt Wasser, sprich Feuchtigkeit ins Haus, was nicht optimal ist. Feuchtigkeit am Bau ist eine der häufigsten Ursachen für Baumängel. Gerade bei massiven Holzhäusern können beim Austrocknen der Unterlagsböden gravierende Schäden entstehen, wenn nicht regelmässig (nach Lüftungsprotokoll) gelüftet wird. In der nachfolgenden Abb. 9 sieht man eine durch Feuchtigkeit aufgequollene und nach Trocknung verzerrte Holzwand.



Abb. 9: Schadenbild zu Feuchtigkeit (Küng Holzbau AG, 2021)

5.3.2 Gesundheitliche Risiken

Die herkömmlichen Bodenheizsysteme arbeiten mit Zement. Die Produktion und Verwendung von Zement sind gesundheitlich nicht unbedenklich. Es ist erwiesen, dass Zement zu starker Reizung der Haut, der Augen und der Atemwege führen kann. Das stark alkalische Material hat einen hohen pH-Wert. Ebenso kann Zementstaub zu schweren Atemwegserkrankungen führen. Während in westeuropäischen Ländern strengere Regelungen zur Arbeitssicherheit gelten, ist in vielen Produktionsstätten in Asien (Marktführer, (Wikipedia Z. , 2019)) davon auszugehen, dass die Arbeitskräfte einem erhöhten Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind.

5.3.3 Umweltbelastung

Bei der Zementproduktion entstehen grosse Mengen des Klimagases Kohlendioxid CO₂. Global werden jährlich über 4,6 Milliarden Tonnen Zement verbaut. Bei dessen Herstellung fallen aber 2,8 Milliarden

Tonnen CO₂ an. Das sind fast acht Prozent der weltweiten Emissionen und damit mehr als Flugverkehr und Rechenzentren zusammen verursachen. (Witsch, 2020)

5.3.4 Entsorgung

Ein grosses Problem stellt auch die Entsorgung des Materials von herkömmlichen Unterlagsböden dar. Wohin mit all dem Material, wenn die Böden, nach maximal 60 Jahren, ihre Lebensdauer erreicht haben? Die meisten Unterlagsböden haben eine aufgeklebte Nutzschicht wie z.B. Parkett, Fliesen, Lino- leum etc. Die einbetonierten Bodenheizrohre werden beim Ausbrechen des Zement-Unterlagsboden zwangsläufig zerstört. Alles landet im Sondermüll: Nutzschicht, Klebeschicht, Unterlagsboden und Bodenheizrohre. Bis Anfangs der 90er Jahre waren zudem auch einige Kleber mit Asbest belastet. Hier sind der Entsorgungsaufwand und die Gesundheitsrisiken immens.

5.4 Vergleich

Im folgenden Abschnitt werden die Heizsysteme anhand der unter Punkt 4.1 definierten Zielsetzungen gegenübergestellt und verglichen.

5.4.1 Vergleich der Materialschichten und Preis des herkömmlichen Bodensystems zu LIGNOTHERM

Der materielle Aufbau und der Preis pro Quadratmeter eines herkömmlichen Bodensystems und dem von LIGNOTHERM unterscheidet sich wie folgt:

Bodenaufbau mit Zement UB			Bodenaufbau mit Lignotherm				
	Dicke mm	Preis/m ²		Dicke mm	Preis/m ²		
8	Parkett 3-Schicht geklebt, versiegelt	15mm	150.-	8	Behandlung Seifenwasser	0.1mm	30.-
7	UB Zement, mit BH	80mm	45.-	7	Bodenriemen Buche geschraubt	25mm	180.-
6	Folie PE	0.2mm	5.-	6	Lignotherm, Buchenholz mit BH	45mm	97.-
5	Trittschall PS 81	20mm	22.-	5	Trittschall PS 81	20mm	22.-
4	Trittschall Gutex N	20mm	24.-	4	Trittschall Gutex N	20mm	24.-
3	Kalksplit	60mm	45.-	3	Kalksplit	60mm	45.-
2	Funderplan	8mm	30.-	2	Funderplan	8mm	30.-
1	Brettstapel, Fichte	140mm	200.-	1	Brettstapel, Fichte	140mm	200.-
Total	343mm	521.-	Total:	318mm	628.-		

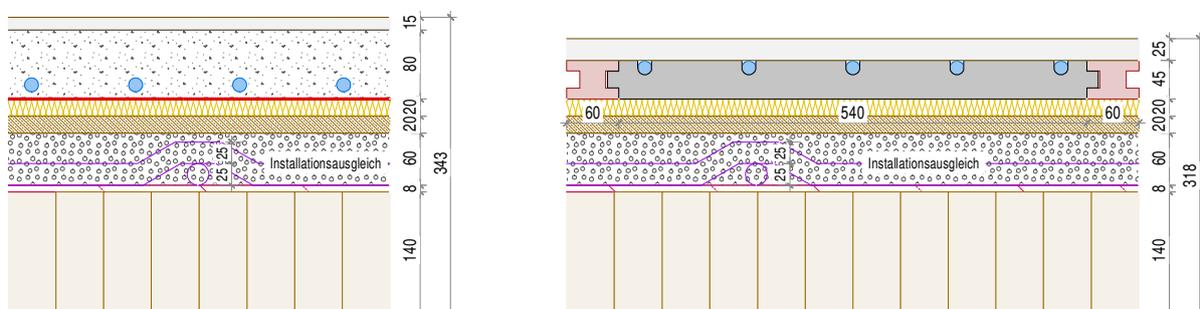


Abb. 10: Querschnitt Bodenaufbauten (Christen, eigene Darstellung, 2023)

Die ersten Schichten beider Aufbauten sind identisch: Bis und mit Schicht Nr. 5 «Trittschall PS 81» sind die Materialien vom Zement-Unterlagsboden und LIGNOTHERM gleich. Alle diese Schichten könnten später wieder rückgebaut werden und haben durch den gleichen Aufbau auch die gleiche Ökobilanz.

Der Fokus dieser Arbeit liegt in den obersten drei Schichten der jeweiligen Bodenaufbauten, weil sich diese gegenseitig voraussetzen.

Unterlagsboden aus Zement

Nr.	Schicht
8	Klebeparkett 3-Schicht, werkversiegelt 15 mm
7	UB-Zement inkl. Bodenheizung 80 mm
6	Folie PE verklebt, Rand und Fläche 0.2 mm

Bodenheizsystem aus Holz (LIGNOTHERM)

Nr.	Schicht
8	Behandlung Seifenwasser 0.1 mm
7	Bodenriemen Buche geschraubt 25 mm
6	LIGNOTHERM, inkl. Bodenheizung 45 mm

Tab. 1: Vergleich Bodenaufbau, Schichten

Nur die Schicht LIGNOTHERM mit der Zementschicht zu vergleichen würde das Bild verfälschen, da diese nicht unabhängig voneinander eingebaut werden können. Bei beiden Bodenaufbauten ist das Ziel, möglichst gleiche Oberflächen gleichartig zu machen.

Bezüglich Kosten ist das Bodenheizsystem aus Holz (LIGNOTHERM) erheblich teurer. Beim Fachgespräch zeigt Stephan Küng, Geschäftsführer der Küng Holzbau AG die entsprechende Preisstruktur auf (vgl. Abb. 10). Das ergibt bei einer Wohnungsgrösse von 120 m² einen Mehrpreis von CHF 12'840 für LIGNOTHERM.

Einen grossen Teil dieser Mehrkosten kann aber bei der Dimensionierung der tragenden Bauteile kompensiert werden, da das Bodenheizsystem aus Holz (LIGNOTHERM) erheblich leichter ist.

Nr.	Schicht	Gewicht pro m ²	Nr.	Schicht	Gewicht pro m ²
8	Klebeparkett Buche 3-Schicht, werkversiegelt 15 mm, 720 kg/m ³ (abhängig von der gewählten Holzart)	10.8 kg/m ²	8	Behandlung Seifenwasser 0.1 mm	0.2 kg/m ²
7	UB-Zement inkl. Bodenheizung 80 mm, 2100 kg/m ³	168 kg/m ²	7	Bodenriemen Buche geschraubt 25 mm, 720 kg/m ³	50.4 kg/m ²
6	Folie PE verklebt am Rand und in der Fläche 0.2 mm, 920 kg /m ³	0.2 kg/m ²	6	LIGNOTHERM, inkl. Bodenheizung 45 mm, 720 kg /m ³	
Total Gewicht		179 kg/m²	Total Gewicht		50.6 kg/m²

Tab. 2: Gewichtsvergleich

Das macht bei einer Wohngeschossfläche von 120 m² eine Gewichtsreduktion von ca. 15'400 kg aus. Berechnet man das Gesamtgewicht für ein 5-geschossigen Mehrfamilienhaus macht das ca. 77.0 t Gewicht an Material, das eingespart werden kann. Dies hat einen erheblichen Einfluss auf die statische Planung des gesamten Bauobjektes und bietet dadurch auch mehr gestalterische Möglichkeiten.

5.4.2 Vergleich der Systeme in ökologischer Perspektive

Wie sind die Kennzahlen dieser beiden Systeme im Vergleich?

Ich habe anhand der KBOB Datenbank Berechnungen gemacht, und für die Schichten 6 - 8 der Unterlagsböden Vergleiche angestellt. Die detaillierten Daten und Berechnungen sind unter Anhang 8 aufgeführt. Ich habe folgende Annahmen getroffen:

- Es wird ein Variantenvergleich zwischen LIGNOTHERM inkl. Deckbelag und Standard Zementunterlagsboden 80 mm inkl. Deckbelag gemacht
- 1 m² Bodenbelag wird als funktionelle Einheit angenommen
- Systemgrenze: Enthalten sind Materialproduktion für den Bodenaufbau und die Entsorgung am Lebensende
- Nicht berücksichtigt werden identische Elemente
- Aufwände für Einbau und Rückbau verlegter Elemente der Bodenheizung und Betrieb/Unterhalt sind identisch
- Lieferdistanzen Materialien sind vergleichbar
- Lebensdauer und Nutzung sind identisch
- UB-Zement wird 1 % Abzug vorgenommen für Volumen Rohrleitungen, beim Holz kein Abzug für Rohrleitungen
- Unsicherheit Schätzwert von 20 % eingerechnet

Grauennergie «nicht erneuerbar» (Bodenaufbau über Trittschall)

Die graue Energie eines Produktes ist die total benötigte Energie, die für die Herstellung, den Transport, die Lagerung, den Verkauf und der Entsorgung aufgewendet wird, es ist die sogenannte nicht erneuerbare Primärenergie eines Produktes.

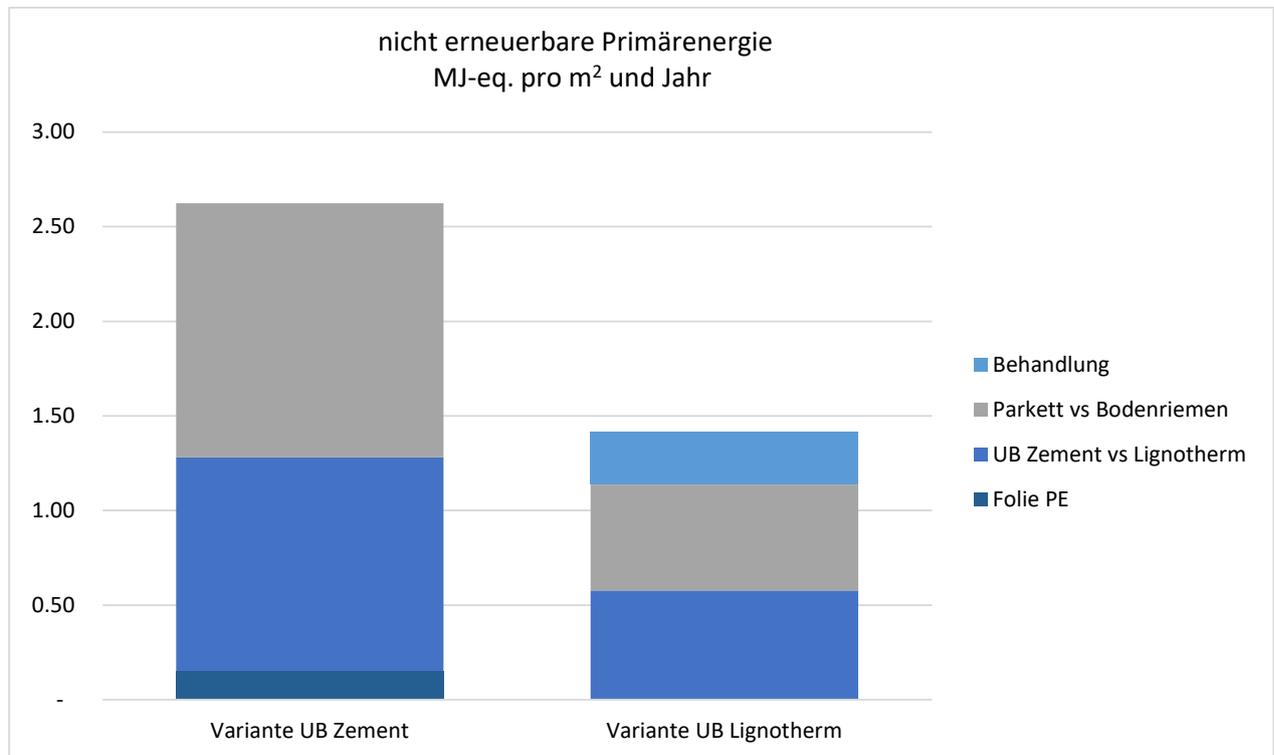


Abb. 11: Grafik Grauennergie

Abb. 11 zeigt, dass bezüglich Grauennergie das Holzbodensystems im Vergleich deutlich besser abschneidet. Vor allem die Grauennergie vom werkversiegelten Parkett (Schicht 8) ist 1.6 höher als die Grauennergie des Bodenriemens mit Behandlung (Schicht 7 + 8). Der Zementunterlagsboden zusammen mit der Folie (Schicht 6 + 7) verursacht 2.2 mal mehr Grauennergie als LIGNOTHERM (Schicht 6). Total wird beim Zementsystem 1.85 mal mehr der nicht erneuerbare Primärenergie benötigt als beim Holzsystem.

Berücksichtigt man die Grauennergie auf den kompletten Bodenaufbau aller Schichten (Schicht 1 - 8), dann wird bei der Zementvariante 22% mehr der nicht erneuerbare Primärenergie benötigt als bei der Holzvariante.

Graue Energie	Variante UB-Zement	Variante UB-Lignotherm	Bemerkung
Behandlung		0.28	
Parkett vs. Bodenriemen	1.34	0.56	9 % Einsparung in Bezug Total Bilanz - Wahl Bodenbelag
UB-Zement vs. Lignotherm	1.13	0.58	13 % Einsparung in Bezug Total Bilanz - Wahl UB
Folie PE	0.15	-	
Trittschall PS 81	0.29	0.29	
Trittschall Gutex N	0.34	0.34	
Kalksplit	0.34	0.34	
Funderplan	1.05	1.05	
Brettstapel, Fichte	0.80	0.80	
Total	5.4	4.2	22 % Reduktion Totalbilanz

Tab. 3: Vergleich Graue Energie

Gesamtumweltbelastungspunkte (Bodenaufbau über Trittschall)

Umweltbelastungspunkte (UBP) sind eine Masseinheit. Diese gibt an, wie schädlich ein Produkt oder eine Dienstleistung für die Umwelt ist. Bei diesen werden unter anderem die CO₂-Bilanz, die Landnutzung und der Energieverbrauch berücksichtigt. Je höher die Belastung für die Umwelt, desto mehr UBP.

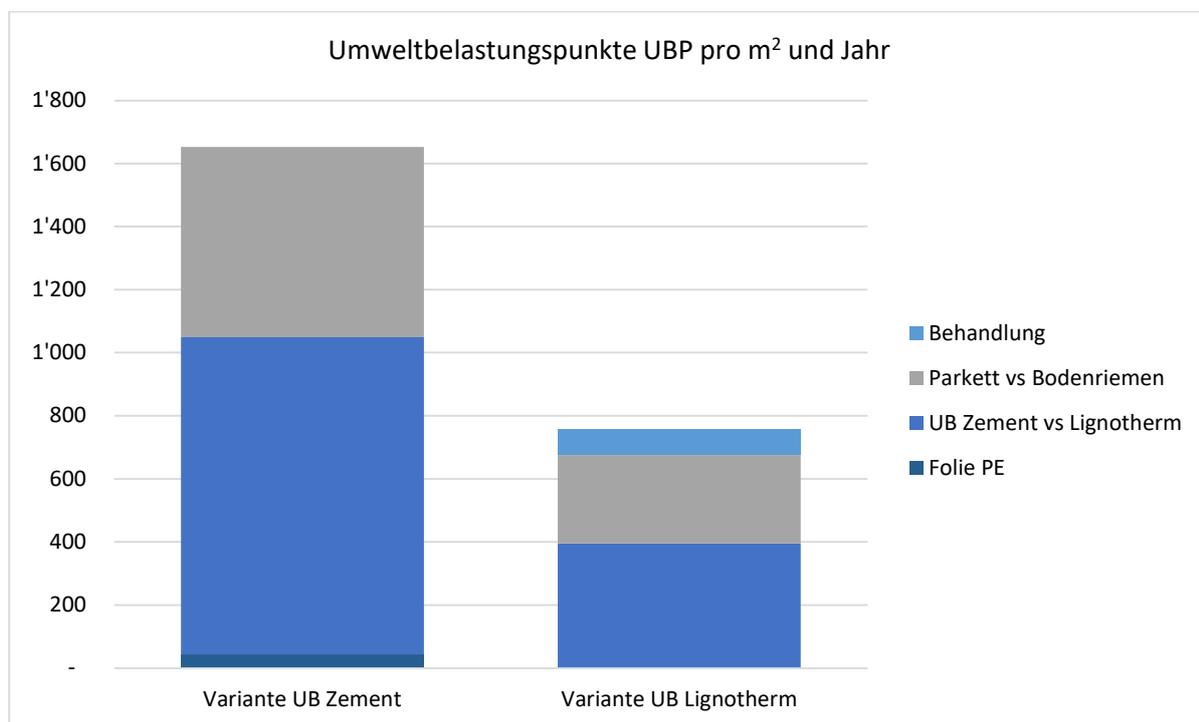


Abb. 12: Grafik Umweltbelastungspunkte

Wie in Abb. 12 ersichtlich, ist bezüglich UBP das Holzbodensystems deutlich besser. Die UBP vom werkversiegelten Parkett (Schicht 8) ist 1.7 mal höher als die Bodenriemen mit Behandlung (Schicht 7 + 8). Der Zementunterlagsboden zusammen mit der Folie (Schicht 6 + 7) kommt auf gut 2.6 mal mehr UBP als LIGNOTHERM (Schicht 6). Das Zementsystem hat somit mehr als doppelt so viele UPS als das System mit LIGNOTHERM.

Berücksichtigt man die UBP im Hinblick auf den kompletten Bodenaufbau aller Schichten (Schicht 1 – 8), dann liegen die UBP bei der Zementvariante 29 % höher als bei der Holzvariante.

UBP	Variante UB-Zement	Variante UB-Lignotherm	Bemerkung
Behandlung		81.3	
Parkett vs. Bodenriemen	603.3	281.3	8 % Einsparung in Bezug Total Bilanz - Wahl Bodenbelag
UB-Zement vs. Lignotherm	1'006.1	394.7	28 % Einsparung in Bezug Total Bilanz - Wahl UB
Folie PE	42.5	-	
Trittschall PS 81	104.5	104.5	
Trittschall Gutex N	137.7	137.7	
Kalksplit	259.2	259.2	
Funderplan	450.8	450.8	
Brettstapel, Fichte	498.0	498.0	
Total	3'102.1	2'207.5	29 % Reduktion Totalbilanz

Tab. 4: Vergleich UBP

Treibhausgasemissionen (Bodenaufbau über Trittschall)

Die Treibhausgasemissionen beschreibt eine Masszahl, welche angibt, wie der relative Beitrag eines Materials zum Treibhauseffekt ist, beziehungsweise wie ihre mittlere Erwärmungswirkung auf die Erdatmosphäre über einen gewissen Zeitraum (meist 100 Jahre) ausfällt.

Wie in Abb. 13 ersichtlich, ist bezüglich Treibhausgasemissionen das Holzbodensystems viel besser. Die Treibhausgasemissionen vom werkversiegelten Parkett (Schicht 8) liegt 1.5 mal höher als des Bodenriemens mit Behandlung (Schicht 7 + 8). Der Zementunterlagsboden zusammen mit der Folie (Schicht 6 + 7) liegt sogar über 5 mal höher als LIGNOTHERM (Schicht 6). Total sind die Treibhausgasemissionen beim Zementsystem 3 mal höher als beim Holzsystem.

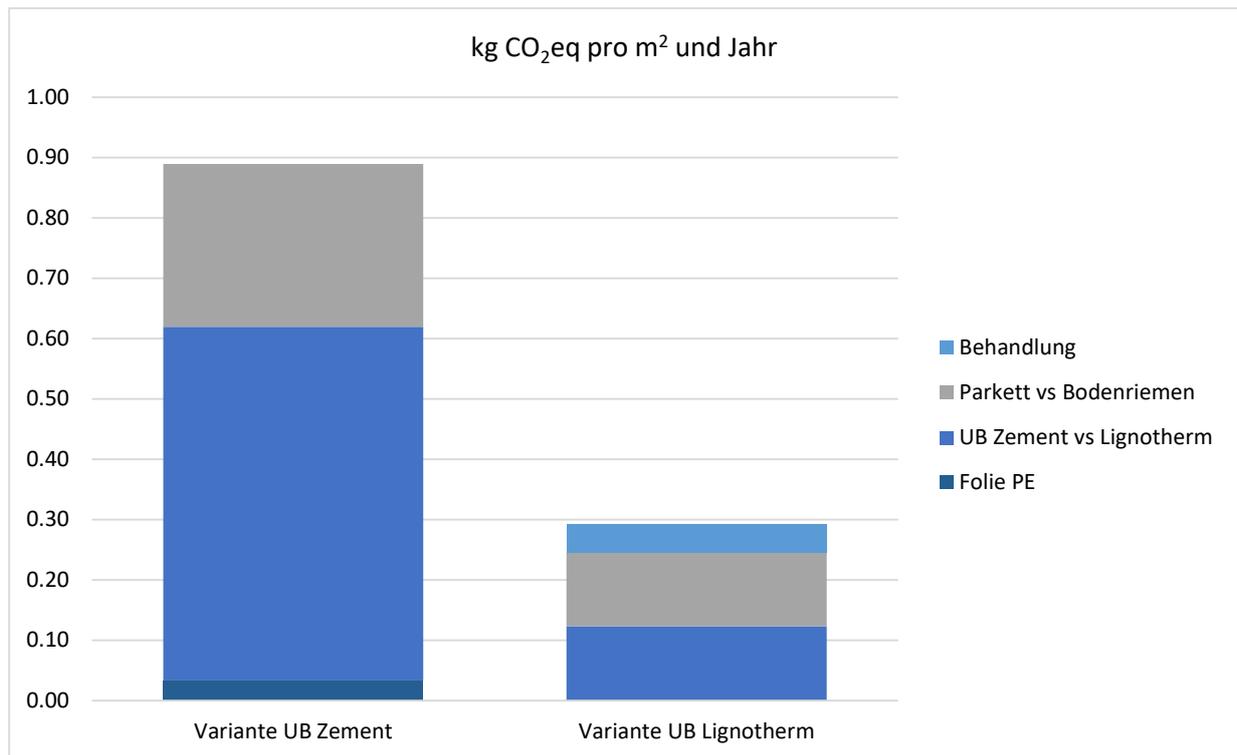


Abb. 13: Grafik kg CO₂eq

Schaut man die Treibhausgasemissionen der Totalbilanz der Systeme an, so ist dieses bei der Zementvariante fast 40 % höher als bei der Holzvariante.

Treibhausgasemissionen	THGE Variante UB-Zement	THGE Variante Lignotherm	Bemerkung
Behandlung	0.00	0.05	
Parkett vs. Bodenriemen	0.27	0.12	7 % Einsparung in Bezug Total Bilanz - Wahl Bodenbelag
UB-Zement vs. Lignotherm	0.59	0.12	50 % Einsparung in Bezug Total Bilanz - Wahl UB
Folie PE	0.03	0.00	
Trittschall PS 81	0.06	0.06	
Trittschall Gutex N	0.07	0.07	
Kalksplit	0.07	0.07	
Funderplan	0.27	0.27	
Brettstapel, Fichte	0.17	0.17	
Total	1.53	0.93	39 % Reduktion Totalbilanz

Tab. 5: Vergleich Treibhausgasemissionen

5.4.3 Vergleich Aufbau / Zeitaufwand

In Bezug auf das Verbauen der beiden Systeme gibt es auch einige Unterschiede. Die Einbauzeit bei Holzsystem LIGNOTHERM geht länger als das Einbringen des Zement-Unterlagsboden. Jedoch braucht das Holzsystem keine Austrocknungszeit wie jenes des Zement-Unterlagsboden. In der Regel braucht die Austrocknungszeit 1 Woche pro 1 cm Schichtstärke. Bei 8 cm sind das bis zu 8 Wochen. Vielfach gibt es diese Zeit nicht, oder sie wird nicht eingehalten und es wird mit Beschleunigern (chemische Stoffe) nachgeholfen, damit der Unterlagsboden schneller trocknet und weiterbearbeitet werden kann. Eine zusätzliche meist angewendete Möglichkeit besteht darin, dass nach ca. 10 Tagen mit einem mobilen Heizgerät die Unterlagsböden langsam von innen her getrocknet werden. All das braucht Energie und Geld, nur um den Zement- Unterlagsboden ausreichend und schneller abzutrocknen.

Beim Holzsystem braucht es diese Austrocknungsphase nach dem Einbauen nicht. Sobald die Buchenbretter montiert sind, können die Bodenheizrohre verlegt und abgedrückt werden (da wird die Dichtigkeit der verlegten Bodenheizrohre überprüft). Sind alle Bodensysteme dicht, kann mit dem Verlegen der Massivholzbodenriemen begonnen werden. Wie beim Trocknen des Zement-Unterlagsboden braucht es bei den Buchenbrettern auch eine Trocknungsphase, diese wird vom Lieferanten (Sägewerk) in einer Trocknungskammer vorgenommen. Die Buchenbretter müssen auf 10-12 % Feuchtigkeit technisch getrocknet werden, damit sie in den Wohnräumen verlegt werden können. Vor dem Bauprozess ist diese Trocknung allerdings bereits abgeschlossen und so kann verhindert werden, dass Feuchtigkeit im Bau eingeschleust wird. Dies hat einen positiven Einfluss auf die Bauzeit.

Nachfolgend ein Vergleich des Zeitaufwandes für das Verlegen der Unterlagsboden (Schicht 6+7). Das Montieren der Deckbeläge (Schicht 7+8) wird nicht berücksichtigt. Es wird von einer Wohnung mit 120 m² ausgegangen. Es wird nur die Zeit auf der Baustelle für den Vergleich der Bauzeit berücksichtigt. Als Ausgangslage sind alle Arbeiten getätigt bis und mit Trittschalldämmplatte aus Glasfaser PS81, also Schritt 1-5 gemäss Abb. 10: Querschnitt Bodenaufbauten)

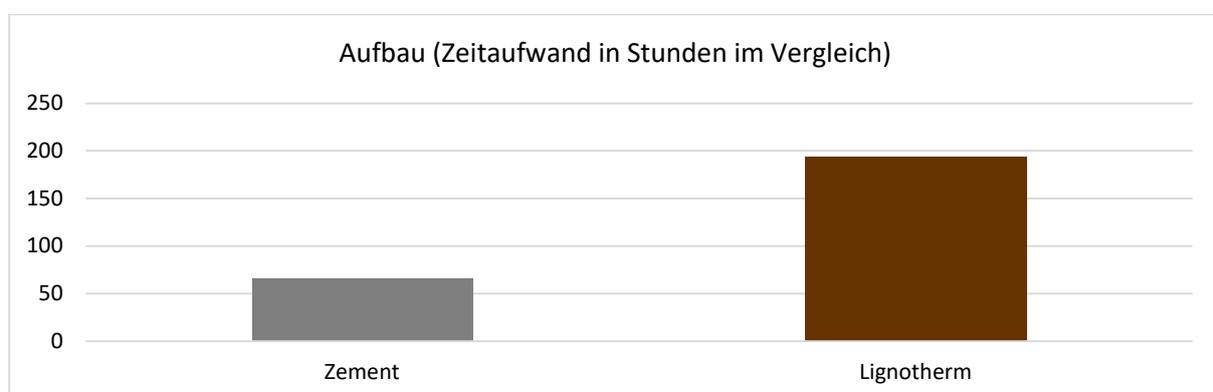


Abb. 14: Vergleich Zeitaufwand in Stunden für Aufbau

Unterlagsboden aus Zement

Arbeitsschritte (6+7)	Zeitaufwand
Plastikfolie verlegen und verkleben	2 Mann à 4h = 8h
Bodenheizrohre mit Schiene oder Schnellklipp verlegen	2 Mann à 12h = 24h
Einbringen von Unterlagsboden aus Zement, 80 mm Aufbaustärke	Mannschaft von 4 Mann à 8.5h = 34h
Total	66h

Bodenheizsystem aus Holz (LIGNOTHERM)

Arbeitsschritt (7)	Zeitaufwand
Die Holzleisten und Buchenbretter LIGNOTHERM montieren	4 Mann à 8.5h an 5 Tagen = 170h
Bodenheizrohre mit Schiene oder Schnellklipp verlegen	2 Mann à 12h = 24h
Total	194h

Tab. 6: Vergleich Zeitaufwand Aufbau in Stunden

Es ist zu sehen, dass das Verbauen des Holzbodensystems 3.6 mal länger dauert. Dies stellt vor allem preislich ein Nachteil dar. Ökologisch hat dies nur einen geringen Einfluss.

5.4.4 Vergleich Rückbau und Recycling

Wir gehen davon aus, dass beide Bodensysteme eine Lebensdauer von ca. 60 Jahren haben (Annahme SIA). Der Rückbau / Abbau der ersten 5 identischen Schichten unterscheidet sich nicht. Der Abbau der letzten jeweils 2-3 Schichten unterscheidet sich wie folgt:

Der Arbeitsaufwand beim Rückbau des herkömmlichen Unterlagsboden aus Zement ist sehr gross, denn der Zement muss zeitintensiv herausgebrochen werden. Es entsteht Sondermüll und gesundheitlich nicht unbedenklicher Zementstaub (siehe 5.3.4 Entsorgung). Das Recycling von Zement und der Polyethylen-Folie ist eine grössere Herausforderung und es gibt verschiedene Bemühungen dieses Material nachhaltiger nutzen oder recyceln zu können. Der Rückbau der 3 obersten Schichten des Holzbodensystems mit LIGNOTHERM ist wesentlich einfacher und schneller. Die mechanisch mit Schrauben befestigten Massivholzbodenriemen können schnell und ohne Probleme demontiert und entsorgt werden.

Das Entsorgen der LIGNOTHERM-Schicht (Nr. 6 vgl. Abb. 10: Querschnitt Bodenaufbauten) ist sehr einfach. Leimfrei und ohne Schadstoffe können die Bretter formatiert als kleinere Holzformteile genutzt werden. Sowohl in der Holzplattenindustrie für diverse Anwendungen, für Stückholzheizungen und weitere nachgelagerte Nutzungen können sie bedenkenlos verwendet werden. Für den Rückbau ergeben sich folgende geschätzten Zeitaufwendungen:

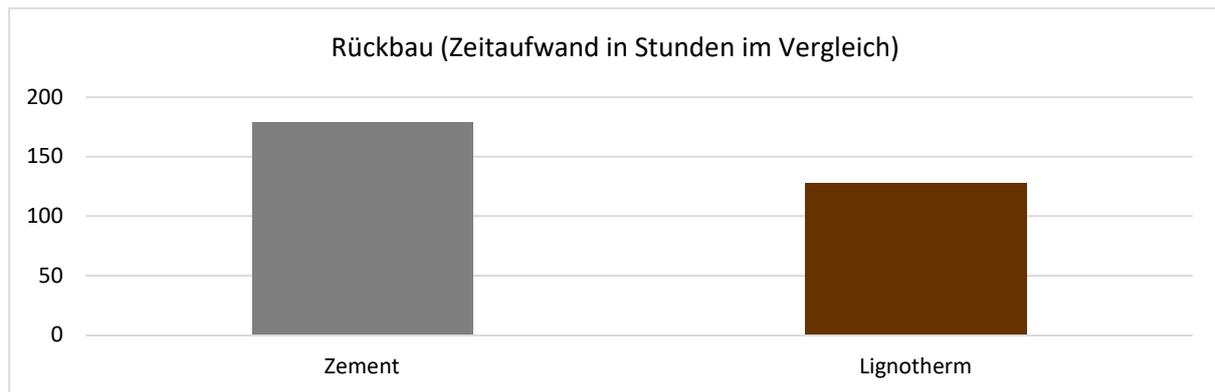


Abb. 15: Vergleich Zeitaufwand in Stunden für Rückbau

Unterlagsboden aus Zement

Arbeitsschritt	Zeitaufwand
Herausspitzen vom Parkett, UB-Zements und aller Rohre inkl. Entsorgung	3 Mann à 8.5h an 7 Tagen = 178.5
Total	178.5h

Bodenheizsystem aus Holz (LIGNOTHERM)

Arbeitsschritt	Zeitaufwand
Demontieren und lagern von Bodenriemen und Buchenbretter LIGNOTHERM	3 Mann à 8.5h an 5 Tagen = 127.5h
Total	127.5h

Tab. 7: Vergleich Zeitaufwand in Stunden für Rückbau

5.4.5 Vergleich bezüglich Kriterien nach den Grundsätzen des GNB

Das Bauen nach GNB-Grundsätzen (Gesundes und nachhaltiges Bauen) siehe Anhang 9, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Die GNB-Grundsätze dienen Fachleuten als Orientierung wie Baustoffe gewählt werden können, die möglichst recyclebar sind, Energie sparen und giftige Emissionen verhindern. Dies soll beim Bauen, Sanieren und Betreiben von Gebäuden entsprechend einfließen. Bereits vor mehr als 30 Jahren wurden Grundregeln der Baubiologie vom Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit (IBN) festgelegt. Es sind stichwortartige Zusammenfassungen der Voraussetzungen, die aus baubiologischer Sicht beim Bauen und Wohnen zu berücksichtigen sind. Sie decken im Wesentlichen folgende Themen ab:



Abb. 16: Baubiologie = gesund + nachhaltig Bauen (Rauch-Schwegler, 2023)

Für den Vergleich in dieser Arbeit sind bei den verschiedenen Themenkreisen des GNB folgende Aspekte und Unterasspekte zu berücksichtigen:

ÖKOLOGISCHE VERANTWORTUNG

Umwelt: Ressourcen, Biodiversität

Bausubstanz

Die beiden Systeme unterscheiden sich in den oberen 3 Schichten vor allem durch die Bausubstanz. Während bei LIGNOTHERM Holzsystem mit einem nachwachsenden Rohstoff gearbeitet wird, welcher im Stoffkreislauf eingebettet, sehr gut trenn- und recyclebar ist, besteht beim herkömmlichen Zementboden die Grundlage aus einem mineralischen Stoff. Dieser wird aufwändig gewonnen und auch die Entsorgung ist komplizierter als im Vergleich zu Holz.

Energie und Klima

Während Holz ein nachwachsender Rohstoff ist, wird bei der Zementherstellung sehr viel CO₂ ausgestossen. Zement wird abgebaut, sprich ist nicht erneuerbar. Da der Baustoff für viele Bauschritte sehr wichtig ist, macht es Sinn, Bereiche, in denen es Alternativen gibt, diese auch einzusetzen. Es gilt den Baustoff Zement nur gezielt und sinnvoll zu nutzen. Der Bericht der Landesgeologie vom Jahr 2020 hält folgendes fest: «Der Zementherstellungsprozess benötigt grosse Mengen an Rohstoffen und thermischer Energie. Durch kontinuierliche Prozessoptimierung ist die Industrie heute in der Lage, eine Vielzahl von Abfällen unserer Gesellschaft in ihren Zementöfen und Mühlen stofflich und thermisch zu verwerten. Dank dieser international etablierten Praxis werden heute weniger fossile Brennstoffe benötigt, Deponieräume geschont und die Substitution eines Teils der Zementrohstoff ermöglicht, wobei sich die Primärrohstoffe Kalk und Mergel bisher nur zu einem sehr geringen Teil substituieren lassen.» (swisstopo, 2020). Der vermehrte Einsatz von Recycling-Beton und zu kleinen Teilen auch Recycling-Zement bedingt eine konsequentere Bereitstellung von geeigneten Abfällen gemäss der «Verordnung

über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen» (VVEA). Im Bericht der Landesgeologie zum Thema «Rohstoffe zur Herstellung von Zement» wird auch darauf hingewiesen, dass der Bedarf an Zement in der Schweiz konstant ist, jedoch die Erschliessung von neuen Zementwerken mit vielen Herausforderungen zu kämpfen hat, wie (Schutzgebiete etc.). Holz hingegen kann vielerorts schnell und unkompliziert gewonnen werden.

SOZIALE GERECHTIGKEIT

Gesellschaft

Gesellschaftlich gesehen wird klimaneutralere Produktion immer wichtiger. In diesem Zusammenhang ist auch die Verwendung eines regionalen, nachwachsenden Rohstoffes (Holz) positiv. Es gibt einen klaren Trend zu mehr Nachhaltigkeit. LIGNOTHERM erfüllt diesen Aspekt. Die Zementindustrie ist auch bestrebt, nachhaltiger zu agieren und erstellt Konzepte, um die Produktion und das Recycling zu verbessern.

Baukultur

Ein Unterlagsbodensystem mit Holz zu fertigen stellt eine Innovation dar. Die Verwendung von Zementunterlagsboden hingegen ist in der gängigen Baukultur der letzten 40 Jahre verankert. Neue Formen von Bauen mit vermehrt oder möglichst ausschliesslich nachhaltigen Stoffen ist ein klarer Trend und beeinflusst die Baukultur von heute. Neue Systeme wie jenes von LIGNOTHERM werden die Baukultur der heutigen Zeit beeinflussen.

WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG

Wirtschaft

Lebenszyklusbetrachtung

Betrachtet man den Lebenszyklus der verwendeten Materialien in beiden Systemen, so ist bei LIGNOTHERM die Nutzungsdauer der Materialien länger, da es auch nachgelagert noch verwendet werden kann. Im Moment ist die Investition in die Entwicklung in LIGNOTHERM sicherlich höher als das Verwenden des herkömmlichen Unterlagsboden mit Zement. Langfristig gesehen können jedoch auch wieder Kosten gespart werden, da das Material danach wieder weiterverwendet werden kann. Die Entsorgungskosten für Holzmaterial sind zudem viel geringer als für Sondermüll. Auch die Unterhaltskosten können bei LIGNOTHERM als gut bewertet werden, da Reparaturen möglich sind, ohne das komplette System ausbrechen zu müssen. Bei Zementunterlagsböden muss bei Reparaturen oft der ganze Boden ausgebrochen werden.

Regionalökonomie

Mit der Entwicklung eines Holzunterlagsbodensystem kann der einheimische Arbeitsmarkt positiv unterstützt werden. Da bei LIGNOTHERM ausschliesslich einheimisches Holz verwendet und vor Ort verarbeitet wird, hat dieses System einen positiven Einfluss auf die Regionalökonomie. Der Marktpreis von LIGNOTHERM ist sicherlich höher als vom Massenprodukt Zement. Die Schweiz als Land mit viel

Waldanteil bietet sich zudem optimal an, diesen Wald als Ressource noch intensiver zu nutzen und mehr Material aus Holz für den Bau von Wohnbauten zu verwenden.

Zement wird in der Schweiz auch hergestellt. Es gibt 6 Zementwerke in der Schweiz, vorwiegend im Jura. Diese können rund 86 % des schweizerischen Zementbedarfes decken (swisstopo, 2020). Damit ist die Wertschöpfungskette beim Zement in der Schweiz gross. Die Zementindustrie ist ein wichtiger Bereich der Schweizer Wirtschaft.

INDIVIDUELLES WOHLBEFINDEN / ETHIK

Thermischer Komfort

Holz als warmes und natürliches Material wird von der Mehrheit als angenehm empfunden, es spricht verschiedene Sinne an, wie Optik, Geruch und Haptik. Holz beeinflusst das Raumklima positiv ist atmungsaktiv und dampfdiffusionsfähig. Zement hingegen gilt eher als kaltes und chemisches Material.

5.4.6 Dimensionierung von Heizungsanlagen

Neue Bauformen haben dazu geführt, dass mit dickeren Wänden, besseren Isolationen, Solaranlagen und weiteren Innovationen Häuser heute viel besser gedämmt sind und mittels erneuerbarer Energien beheizt werden können. Die Architektur hat einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch der heute gebauten Wohnhäuser. Die Ausrichtung der Fenster und deren Glasanteil, die Dachform, der Aufbau der Aussenhülle und viele weitere Elemente haben einen positiven Einfluss auf den Energieverbrauch von Wohnbauten. Auch die Politik nimmt Einfluss. So braucht es in der Schweiz heute, wenn ein Baugesuch eingereicht wird für ein Neubau immer einen Wärmenachweis. Dicker und besser gedämmte Wände können die benötigte Heizleistung entscheidend verringern. Auch die ausgewählten Dämmmaterialien haben immer bessere Dämmwerte. Es stellt sich auch die Frage, ob wir die Heizungsanlagen besser an die Wohnbausituation anpassen könnten oder sogar müssen. Mit dem heutigen Stand der Solar- und Warmwassertechnik sowie dem steigenden Bewusstsein für Ökologie müsste man sich überlegen, ob Heizungsanlage immer noch in gleicher Grösse und Dimension gebaut werden müssen. Oder ob man mit sinnvollen Beheizungskonzepten auch hier Energie sparen könnte? Aktuell werden oft Bodenheizungen in Räumen eingebaut, die über längere Perioden ausgeschaltet sind oder aber es werden Räume beheizt, obwohl diese kaum genutzt werden. Energetisch macht das keinen Sinn. Wichtig wäre eine Fokussierung der Beheizung auf die wichtigen Räume, sinnvolle Heizungsanlagen kombiniert mit durchdachter Bauweise, um Energie sparen zu können. Durch Anpassungen von Elementen wie Bodenheizsystemen, Dämmungen, Isolationen etc., kann schon viel optimiert werden. Genaues Überdenken wo, wie und wie stark Räume beheizt werden müssen, wäre ein weiterer Ansatz, um nachhaltiger zu wohnen. So müsste man sich Überlegungen machen, wie gross Heizungsanlagen künftig noch sein müssen, und ob die gängigen Standards mittlerweile nicht überdimensioniert sind.

6 Beantwortung der Fragestellungen / Fachliches Fazit

Im folgenden Abschnitt werden die unter Punkt 4.1 definierten Ziele resp. Fragestellungen beantwortet.

- Wie unterscheidet sich der Bodenaufbau des herkömmlichen Bodensystems mit Zement zu LIGNOTHERM bezüglich Materialschichten und Materialkosten?

Beide Systeme haben 8 verschiedene Schichten, wovon die untersten 5 Schichten identisch sind. Der Unterschied liegt in den obersten 3 Ebenen: Wie unter Punkt 5.4.1 beschrieben, ist das Holzbodenheizungssystem LIGNOTHERM leichter und dünner bei der Bauteildicke. Dies ist positiv bei der statischen Tragstruktur. Das Holzbodensystem ist über 3x leichter als das Zementbodensystem. Dies ist ein grosser Vorteil.

Bezüglich des Preises ist das LIGNOTHERM System deutlich teurer (bei einer Wohnfläche von 120 m² CHF 13'000). Dies beeinflusst die Wahl des Unterlagsboden sicherlich stark, vor allem bei Grossbauprojekten. Jedoch lohnt sich hier ein zweiter Blick. Durch das massiv leichtere Gewicht beim Holzbodensystem, können in der statischen Planung und Umsetzung ähnlich hohe Kosten wieder eingespart werden.

- Wie unterscheiden sich die beiden Systeme bezüglich Ökologie?

Wie unter Punkt 5.4.2 ersichtlich ist das Holzbodenheizungssystem LIGNOTHERM in allen ökologischen Belangen wesentlich besser als der Unterlagsboden aus Zement: Sowohl die Grauenergie «nicht erneuerbar», die Umweltbelastungspunkte UBP als auch der Treibhausgasausstoss CO₂ sind bei LIGNOTHERM deutlich tiefer.

Hier die Daten grob im Überblick: Beim Grauenergie-Vergleich braucht das Holzsystem 1.85 mal weniger nicht erneuerbare Primärenergie als das Zementssystem. Bei den Umweltbelastungspunkten UBP schädigt das Holzsystem die Umwelt über 2 mal weniger als das Zementssystem. Beim Treibhausgasausstoss CO₂ ist der Unterschied am grössten; Das Holzsystem generiert 3 mal weniger vom schädlichen Treibhausgas CO₂ als das Zementssystem.

- Wie unterscheiden sich die Systeme bezüglich Aufbau, Rückbau und Recycling?

Die beiden Systeme unterscheiden sich im Aufbau deutlich (siehe Punkt 5.4.3). Der Zeitaufwand auf der Baustelle für das Zement-System ist viel geringer. Das Eingiessen ist schnell und unkompliziert. Der Einbau der Holzvariante erfordert hingegen mehr Einbauzeit durch das genaue Einpassen der Holzteile. Berücksichtigt man allerdings auch die zwingende Austrocknungszeit des Zement-Unterlagsboden im Anschluss an das Eingiessen, macht dies die längere Montagezeit des LIGNOTHERM wieder wett. Zudem besteht beim Holzboden System kein Risiko Feuchtigkeit ins Objekt einzubringen.

Im Rückbau ist der zeitliche Unterschied der beiden Systeme gemäss meiner Einschätzung minimal. Ich möchte erwähnen, der Vergleich ist auch schwierig vorzunehmen, da die meisten Zement-Unterlagsböden nicht demontiert, sondern im Rahmen von Komplettabrissen von Objekten radikal entsorgt werden. Beim Rückbau von Holzbodensystemen gibt es noch nicht sehr viele Erfahrungswerte, da das System erst seit drei Jahren auf dem Markt ist. Anhand des systematischen Aufbaus bei der Holzbauplanung wird aber auch der Rückbau schnell und unkompliziert sein. Ziel und Voraussetzung ist es beim Holzbodensystem zudem, dass dieses nicht einfach rausgerissen wird, sondern systematisch demontiert und weiterverwertet werden soll. Dies hat auch auf die Rezyklierbarkeit eine positive Auswirkung. Anders als beim Zementssystem entsteht bei LIGNOTHERM kein Sondermüll. Wie unter Punkt 5.4.4 beschrieben, können die Holzteile beim LIGNOTHERM Holzsystem wieder verwendet werden, da diese nicht verleimt sind.

- Welche Kriterien decken die Bodenheizsysteme im Vergleich nach den Grundsätzen des GNB ab?

Wie unter Punkt 5.4.5 ausführlich beschrieben, deckt das Holzsystem sehr viele Punkte bei den Grundsätzen für das gesunde und nachhaltige Bauen GNB ab. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, bindet CO₂, ist wiederverwendbar oder einfach zu rezyklieren, es ist ein regionales Produkt, wodurch auch die einheimische Industrie eingebunden wird.

Untersucht man das Zementssystem anhand der GNB-Grundsätze, sieht es deutlich anders aus. Gemäss meiner Einschätzung kann die schweizerische Zementindustrie im Moment lediglich den Punkt der Regionalökonomie (Marktpreis, regionale Wertschöpfungskette und Arbeitsmarkt) abdecken. Dies ist jedoch kein Vorteil für das Zementssystem, denn auch LIGNOTHERM erfüllt die Aspekte für die Regionalökonomie bestens.

Für mich persönlich einer der wichtigsten Faktoren des GNB ist jedoch das individuelle Wohlbefinden / Ethik. Das Produkt LIGNOTHERM erfüllt ethisch hohe Ansprüche, es ist ein Produkt welches weitsichtig, nachhaltig und umweltorientiert produziert wird. Dies hat auch einen positiven Einfluss auf das individuelle Wohlbefinden. Zudem ist erwiesen, dass Holz als Naturprodukt auch viele positive Einflüsse auf den menschlichen Körper hat.

- Wie beeinflussen wärmetechnisch optimierte Neubauten die Dimensionierung von Heizungsanlagen und welche Verbesserungsmöglichkeiten gibt es?

Politisch ist Nachhaltigkeit und Klimawandel sehr aktuell. Die Energiekrise wird auch medial stark thematisiert. Der richtige Zeitpunkt sich zu überlegen, wo jeder einzelne einen Beitrag leisten kann. Ich bin der Meinung, dass unsere Gesellschaft mit wenig Verzicht massiv an Ressourcen einsparen könnte. In diesem Zusammenhang ist auch, wie unter Punkt 5.4.6 beschrieben, das Beheizen von Wohnobjekten einzubeziehen. Der erste und sehr einfach vorzunehmende Schritt ist, sich selbst zu fragen: «Wie warm muss mein Wohnobjekt wirklich sein, damit ich mich wohlfühle? Braucht es wirklich konstante 23° in einer Wohnung?» Ohne Initialaufwand könnten hier ganz einfach positive Effekte für unsere Umwelt erzielt werden.

In einem weiteren Schritt besteht eine der grössten Verbesserungsmöglichkeiten aus meiner Sicht darin ökologische Sanierungen an bestehenden, sanierungsbedürftigen Gebäudehüllen vorzunehmen. Gerade bei den Gebäudehüllen hat es enorm viel Potenzial, um Heizenergie einsparen zu können. Kombiniert man all diese Möglichkeiten optimal, könnten Heizsysteme deutlich redimensioniert werden. Hier besteht ein grosses Handlungsfeld, welches bei der Bauplanung mehr berücksichtigt werden sollte. LIGNOTHERM passt ideal in diesen Zusammenhang, Wohnräume ökologisch und sinnvoll zu beheizen. Die Philosophie von LIGNOTHERM ist auch, dass dieser Unterlagsboden in ein nachhaltiges Heizsystem integriert werden soll.

7 Persönliches Fazit / Empfehlung

Ich bin der festen Überzeugung, dass wir mit dem LIGNOTHERM-System ein sehr ökologisches und nachhaltiges Bodenheizungssystem entwickelt haben. Der Aufbau ohne chemische Verbindungen, alles lose verlegt oder geschraubt, lässt sich ohne weiteres wieder retourbauen und recyceln. Die einzelnen Bauteile lassen sich separat entsorgen oder wieder weiterverbauen. Das Ganze ergibt einen sinnvollen Zyklus, was elementar ist beim nachhaltigen Bauen. Die Berechnungen unter Punkt 5.4.2 zeigen zudem deutlich, dass LIGNOTHERM auch ganzheitlich betrachtet viele Vorteile bietet und für die Zukunft ein bemerkenswertes System ist, um einen effektiven Nachhaltigkeitsbeitrag im Wohnungsbau leisten zu können. Auch wenn die Datenlage noch jung ist, zeigt die Arbeit auf, dass es Sinn macht in diesem Bereich weitere Untersuchungen vorzunehmen.

Eine grosse Herausforderung während der Arbeit war es, bei den Berechnungen möglichst viele Kriterien zu berücksichtigen. Es gibt immer Unklarheiten, die schwer einzukalkulieren sind. Es mussten bei den Berechnungen auch Annahmen getroffen und gewisse Felder abgegrenzt werden. Ökologische Berechnungen können nahezu nicht abschliessend gemacht werden. Es war beeindruckend bei den Recherchen zu sehen, dass auch die Grossindustrie im Zementbereich engagiert ist, ökologischer und nachhaltiger zu produzieren. Auch in diesem Bereich gibt es Bestrebungen sich zu verbessern, ein richtiger und wichtiger Ansatz. Zement gilt nicht per se als schlecht. Jedoch sollen Zementprodukte dort eingesetzt werden, wo es sinnvoll ist und andere Materialien, wie zum Beispiel Holz, an ihre Grenzen stossen. Im Umkehrschluss soll auf Zementbauteile verzichtet werden, wenn nachhaltige Materialien gleichwertig eingesetzt werden können. Gesunder Menschenverstand und Verhältnismässigkeit sollen Bauprojekte begleiten.

Es ist mir bewusst, betrachtet auf das gesamte Bauwesen sind Bodenheizsysteme nur ein kleiner Baustein unter vielen. Es ist aber wichtig, dass alle Handlungsschritte betreffend Nachhaltigkeit überdenkt werden, auch die Kleinen. Nur so ist es langfristig möglich, Verbesserungen in diesem Bereich zu erzielen.

Ich wünsche mir für die Zukunft, dass in der Holzindustrie und im Bauwesen allgemein Nachhaltigkeit selbstverständlicher wird. So sollen es noch weitere Systeme wie LIGNOTHERM schaffen, sich in der Bauindustrie zu etablieren.

8 Verzeichnisse

8.1 Fachgespräch

Stefan Küng, Geschäftsführer Küng Holzbau AG, 31.10.2023

Ernst Zurfluh, Geschäftsführer Ernst Zurfluh AG, 28.10.2023

8.2 Bücher

Thoma, Erwin (2003), Für lange Zeit, ISBN 3-85498-297-6

8.3 Quellenverzeichnis

bba. (2019). *www.bba-online.de*. Abgerufen am 20. 09 2023 von *www.bba-online.de*:

<https://www.bba-online.de/boden/estriche-unterkonstruktionen/oekologische-ausgleichsschuettungen/>

Bundesamt für Statistik. (2022). *BFS*. Abgerufen am 09. 09 2023 von BFS:

<https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/wohnungen.html>

Christen, S. (eigene Darstellung, 2023). Querschnitt Bodenaufbauten.

Dünki Wärmetechnik GmbH. (2021). *www.duenki-waermetechnik.ch*. Abgerufen am 27. 10 2023 von

www.duenki-waermetechnik.ch: <https://duenki-waermetechnik.ch/bodenheizung-einbauen/>

Gabanyi, P. (2016). *Heizungsjournal*. Abgerufen am 07. 09 2023 von Heizungsjournal:

https://www.heizungsjournal.de/print/fussbodenheizung-besitzt-entwicklungspotential-ein-appell_145

Holidaycheck. (2014). *Holidaycheck*. Abgerufen am 16. 10 2023 von Holidaycheck:

<https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=u06gwnVr&id=A36E2DE2F2EA60FDD89E91CCF65465992B3229AD&thid=OIP.u06gwnVrGCqOCUWHzdQDegHaE7&mediaurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fR.bb4ea0c2756b182a8e094587cdd4037a%3frik%3drSkyK5llVPbMkQ%26riu%3>

Houzy AG. (2020). *www.houzy.ch*. Abgerufen am 09. 09 2023 von *www.houzy.ch*:

<https://www.houzy.ch/post/bodenheizung-sanieren>

KBOB. (2023). *KBOB*. Abgerufen am 28. 09 2023 von <https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home.html>

Küng Holzbau AG. (2021). *Küng Holzbau AG*. Abgerufen am 03. 11 2023 von Küng Holzbau AG:

https://www.kueng-holz.ch/media/archive1/Broschuere_Lignotherm_2021_web.pdf

LFI. (2023). *www.lfi.ch*. Abgerufen am 20. 09 2023 von *www.lfi.ch*: <https://www.lfi.ch/>

Oeko-Architektenhaus. (2023). <https://www.oeko-architektenhaus.de/Haus03-QU.html>. Abgerufen am

20. 10 2023 von <https://www.oeko-architektenhaus.de/Haus03-QU.html>: <https://www.oeko-architektenhaus.de/Haus03-QU.html>

Rauch-Schwegler, D. T. (2023). <https://rauchconsulting.org/lehrebildung/>. Abgerufen am 01. 11 2023

swisstopo. (2020). *www.neros.ch*. Abgerufen am 05. 10 2023 von *www.neros.ch*:
https://neros.ch/upload/projects/64560_ZementRohstoffeSchweiz.pdf

Tessloff. (2023). *www.tessloff.com*. Abgerufen am 13. 11 2023 von *www.tessloff.com*:
<https://www.tessloff.com/was-ist-was/geschichte/das-alte-rom/haben-die-roemer-die-fussbodenheizung-erfunden.html#:~:text=Vergessene%20Haustechnik,neuer%20H%C3%A4user%20oft%20wieder%20nachgeahmt.>

Wikipedia, F. (2023). *Wikipedia*. Abgerufen am 07. 09 2023 von Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Fußbodenheizung>

Wikipedia, H. (2023). *Wikipedia*. Abgerufen am 20. 10 2023 von Wikipedia:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hypokaustum>

Wikipedia, Z. (2019). *www.wikipedia.org*. Abgerufen am 03. 11 2023 von *www.wikipedia.org*:
https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_großten_Zementhersteller

Witsch, K. (2020). *www.handelsblatt.com*. Abgerufen am 19. 09 2023 von *www.handelsblatt.com*:
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/klimaschutz-klimakiller-beton-so-will-die-deutsche-zementindustrie-co2-neutral-werden-/26652040.html>

Zimmerei & Holzbau Franz Wegmann GmbH. (2022). *www.zimmerei-fw.de*. Abgerufen am 27. 10 2023 von *www.zimmerei-fw.de*: <https://www.zimmerei-fw.de/LEISTUNGEN-PROJEKTE/Innenausbau>

8.4 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lithotherm; Niedertemperatur Raum-Klima-System aus Basalt-Lava Stein (bba, 2019)	5
Abb. 2: LIGNOTHERM: Bodenheizsystem aus Buchenholzbrettern (Küng Holzbau AG, 2021)	5
Abb. 3: LIGNOTHERM: Bodenheizsystem aus Buchenholzbrettern, Querschnitt (Küng Holzbau AG, 2021)	5
Abb. 4: Abgrenzung Analysebereich (Oeko-Architekturhaus, 2023).....	8
Abb. 5: Hypokaustum, Schema (Wikipedia H. , 2023).....	9
Abb. 6; Hypokaustum, Bild (Holidaycheck, 2014)	9
Abb. 7: Trockenbausystem mit Holzfaserplatte und Aluminium (Zimmerei & Holzbau Franz Wegmann GmbH, 2022).....	11
Abb. 8: Trockenbausystem mit EPS und Aluminium (Dünki Wärmetechnik GmbH, 2021)	11
Abb. 9: Schadenbild zu Feuchtigkeit (Küng Holzbau AG, 2021)	12
Abb. 10: Querschnitt Bodenaufbauten (Christen, eigene Darstellung, 2023).....	13
Abb. 11: Grafik Grauenergie	16
Abb. 12: Grafik Umweltbelastungspunkte	17
Abb. 13: Grafik kg CO ₂ eq.....	19
Abb. 14: Vergleich Zeitaufwand in Stunden für Aufbau.....	20
Abb. 15: Vergleich Zeitaufwand in Stunden für Rückbau.....	22
Abb. 16: Baubiologie = gesund + nachhaltig Bauen (Rauch-Schwegler, 2023)	23

8.5 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich Bodenaufbau, Schichten	14
Tab. 2: Vergleich Grauenenergie	17
Tab. 3: Vergleich UBP.....	18
Tab. 4: Vergleich Treibhausgasemissionen	19
Tab. 5: Vergleich Zeitaufwand Aufbau in Stunden.....	21
Tab. 6: Vergleich Zeitaufwand in Stunden für Rückbau	22

9 Eigenständigkeit und Autorenschaft / Urhebererklärung

Vorname: Stefan Name: Christen

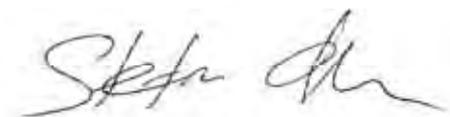
Wohnadresse: Büntenstrasse 18

PLZ: 6060 Ort: Sarnen

Die / der Unterzeichnende bestätigt hiermit, die Arbeit selber ausgeführt zu haben. Zudem bestätigt sie / er, die Richtlinie von 20 bis 25 A4-Textseiten, für den selbst erfassten Text der Projektarbeit, eingehalten zu haben:

Ort: Sarnen Datum: 14.11.2023

Unterschrift



10 Anhang

Anhang 1 – Broschüre Holzpur

Anhang 2 – Schallschutzmessung Lignotherm, Zimmer 203

Anhang 3 – Schallschutzmessung Lignotherm, Zimmer 204

Anhang 4 – Broschüre Lignotherm

Anhang 5 – Bemessungstool Lignotherm (nur elektronisch)

Anhang 6 – Prüfbericht HSLU Lignotherm

Anhang 7 – Oekobilanz holzpur

Anhang 8 – Oekobilanzdaten Zement vs. Holz (nur elektronisch)

Anhang 9 – Grundsätze GNB 2022

Anhang 1 – Broschüre Holzpur

—
K Ü N G
H O L Z
B A U



H O L Z P U R

—

EIN ZUHAUSE OHNE METALL,
OHNE LEIM UND OHNE
CHEMISCHE BAUSTOFFE.
NUR DAS REINE,
MASSIVE MONDHOLZ.
DAS IST HOLZPUR.

—
Eine konsequente, natürliche und nachhaltige
Vollholz-Systembauweise. Für gesundes,
behagliches und lebendiges Wohnen.

Mit Jahrhunderte altem Wissen, modernster
Technik und viel Erfahrung zu einzigartigen
Vollholzhäusern gefertigt.

REGIONAL



— Wir sind tief in der Region verankert. Unser Holz stammt hauptsächlich aus dem Kanton Obwalden. Hiesige Förster ernten und verlesen die Bäume, lokale Transporter führen die Stämme. Zentralschweizer Sägereien schneiden sie nach Mass ein, trocknen die Hölzer und bringen sie schliesslich zu unserem Produktionsbetrieb in Alpnach.

Damit verbrauchen wir nur die Hälfte an grauer Energie im Vergleich zur konventionellen Holzwirtschaft. Regionalität und Nachhaltigkeit sind Teil der Holzpur-Philosophie

MONDHOZ

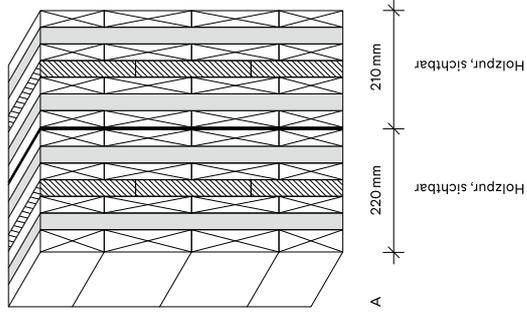


— Wir beziehen unser Holz aus Hochwäldern mit Plenterbetrieb: Nur die grossen und kräftigen Bäume werden ausgewählt. Der Jungwuchs erhält Licht und Platz, das Ökosystem Wald kann sich naturgerecht entfalten.

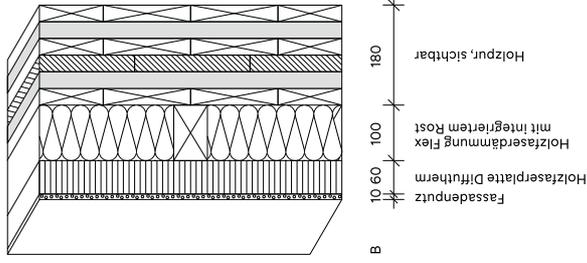
Unser Holz wird im Dezember und Januar geschlagen. Dann enthalten die Bäume am wenigsten Saft, und sowohl Pilze als auch Schädlinge halten sich fern. Durch langes Ruhenlassen wird das Holz noch trockener. Das ermöglicht eine präzisere Verarbeitung.

Speziell das Mondholz, das um Weihnachten kurz vor Neumond geschlagen wird, steht im Ruf, besonders hart, stabil, haltbar und resistent gegen Schädlinge zu sein.

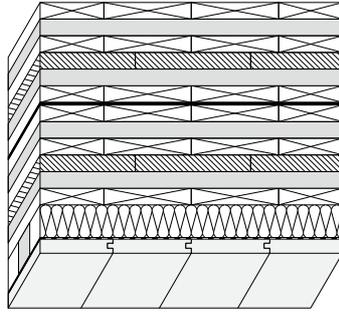




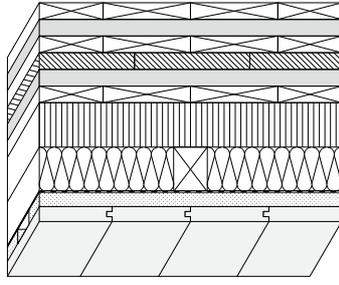
A
Fassadenputz
10 60
Holzfaserplatte Diffuherm
100
Holzfaserdämmung Flex
mit integriertem Rost
180
Holzpur, sichtbar



B
Fassadenputz
10 60
Holzfaserplatte Diffuherm
80
Holzfaserdämmung Flex
mit integriertem Rost
80
Holzpur, sichtbar



C
Fassadenanschälung
27 60
Windpapier
180
Hinterlüftungsrast
180
Holzfaserdämmung Flex
mit integriertem Rost
180
Holzfaserdämmung
Therm
180
Holzpur, sichtbar



D
Fassadenanschälung
27 27
Windpapier
80
Hinterlüftungsrast
80
Holzfaserdämmung Flex
mit integriertem Rost
80
Holzfaserdämmung
Therm
180
Holzpur, sichtbar

Wärmedurchgangskoeffizient	U	A	0.19 W/m ² K
Belastbarkeit	q ₀	B	130 kN/m ²
Eigengewicht	g	B	99 kg/m ²

Wärmedurchgangskoeffizient	U	C	0.16 W/m ² K
Belastbarkeit	q ₀	C	130 kN/m ²
Eigengewicht	g	C	178 kg/m ²

Wärmedurchgangskoeffizient	U	D	0.16 W/m ² K
Belastbarkeit	q ₀	D	130 kN/m ²
Eigengewicht	g	D	111 kg/m ²



Fichte A / Astarm



Fichte N1



Fichte N1/N2



Tanne A / Astarm



Tanne N1



Tanne N1/N2

Das Holzpur-System ist ausgesprochen variabel. Es ermöglicht die Auswahl verschiedener Holzarten und erfüllt persönliche Wünsche.

Schnitt A zeigt die reine Vollholzvariante, sie bleibt auf der Innen- und Aussenseite sichtbar. Die Schnitte B und C zeigen zwei kompakte Wandaufbauten, also ohne Hinterlüftungsebene. Schnitt B mit verputzter Fassade, Schnitt C mit Holzfassade. Schnitt D zeigt einen hinterlüfteten Wandaufbau mit Holzschalung.

A und C zeigen zweischalige, B und D einschaligen Aussenwandkonstruktionen. Bei sämtlichen Wandaufbauten ist die innere Holzoberfläche sichtbar.

Selbst die innere Oberflächenstruktur kann nach persönlichem Geschmack in Holzart und Astigkeit definiert werden – feingeschliffen oder gebürstet für eine strukturierte Oberfläche.

Übrigens: Schon eine 180 Millimeter dicke Holzpur-Wandschale hat einen geprüften Feuerwiderstand von 90 Minuten.

PRODUKTION



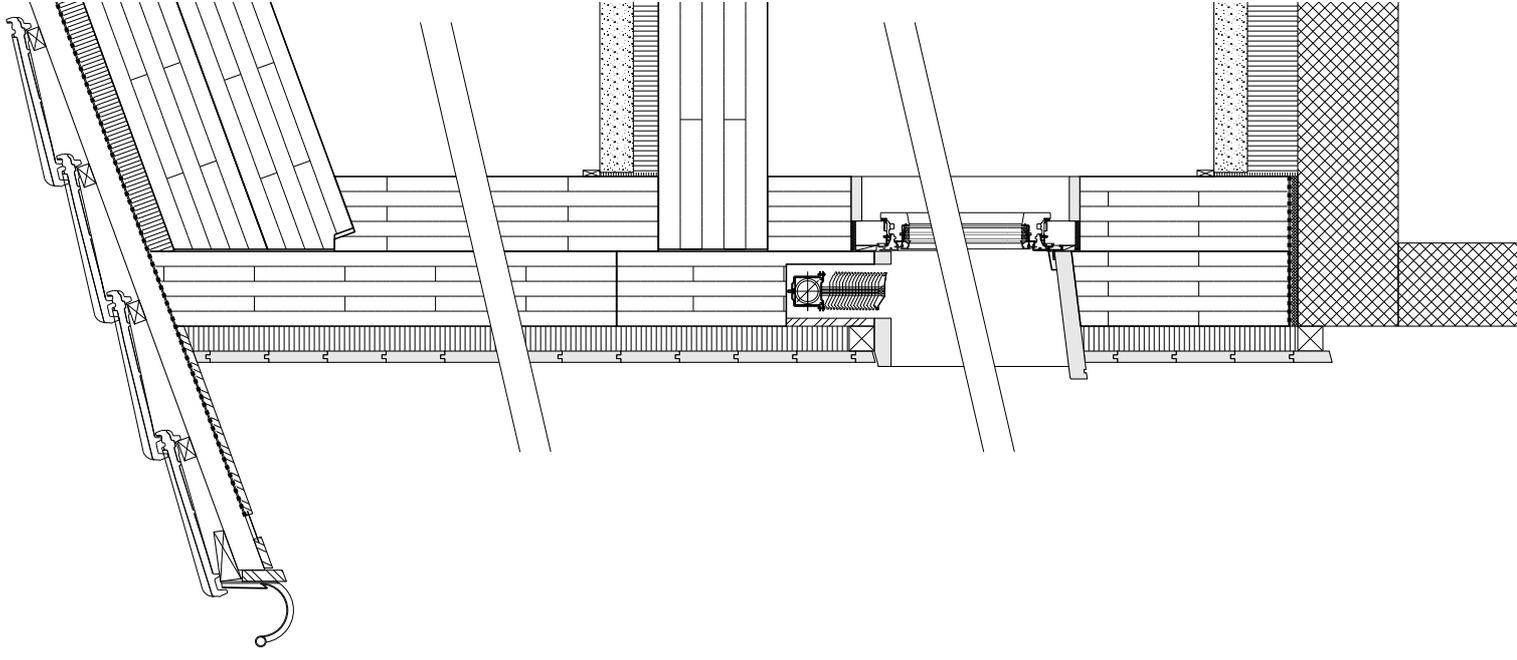
Die 2013 gebaute Holzpur-Werkhalle ist ein Bekenntnis zum Standort Obwalden und zu unserer Philosophie des regionalen Wirkens. In der 40 mal 80 Meter grossen, architektonisch anspruchsvollen Werkhalle stehen modernste Maschinen, die allesamt in der Schweiz für Holzpur entwickelt, hergestellt und teilweise patentiert wurden.

Besonders stolz sind wir auf die 54 Meter lange, mit 3 Portalen und 26 Achsen gesteuerte Produktionsanlage. Zuerst schichten Greifer die verschieden langen Bretter kreuzweise auf den Produktionstisch. Dabei werden grössere Öffnungen wie Türen und Fenster bereits ausgespart. Im CNC-gesteuerten Dübelportal werden bei den Kreuzungspunkten der Bretterlagen die Dübellöcher gebohrt und Dübel aus Buchenholz präzise eingepresst. Das vollautomatische Bearbeitungszentrum fräst die Konturen, bohrt die Steckdosen, kehrt die Verbindungsnuten und kalibriert die Elemente.

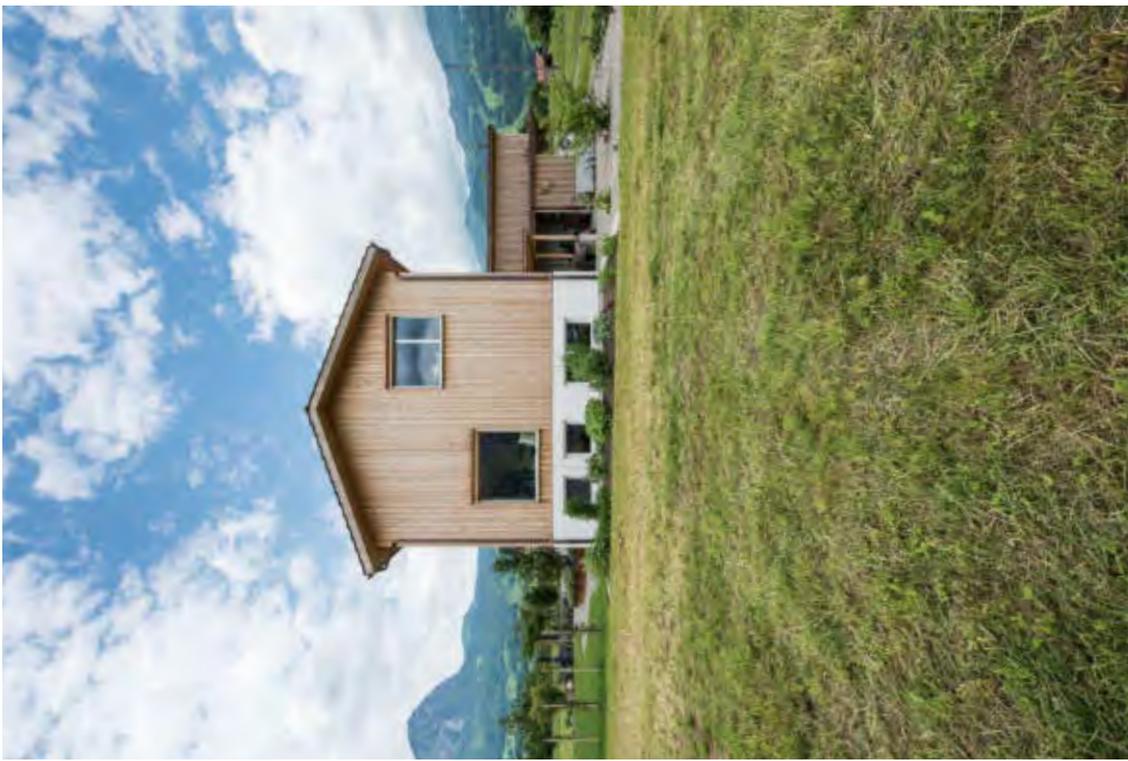
Die so entstehenden Elemente sind Gitterträger. Sie verfügen über eine äusserst hohe Steifheit. Schiffs- und Brückenbauer wissen das seit Jahrhunderten. Dank unserer neuen Produktionsweise eröffnen sich mit Holzpur bisher ungeahnte Möglichkeiten in der Architektur der bis zu fünf Stockwerke hohen Häuser – auch in den Innenräumen. Und das bei unschlagbar kurzer Rohbauzeit und verlässlicher Planungssicherheit.



DETAILS



— Erfahrene Konstrukteure entwerfen und bemessen Bauteilanschlüsse, die sogenannten Details, je nach Wandaufbau und speziellen Anforderungen. Sämtliche Installationen wie Elektroanschlüsse oder Abwasserleitungen werden vorgängig eingeplant und bereits in der Produktion mit dem CNC-Abundportal ausgefräst. So garantieren wir Präzision, Langlebigkeit und höchste Qualität.



EFH Britschgi
Giswil
Atelier Herber



EFH Brunner
Emmenbrücke
Ella Malevez



MFH Wallmann
Alpnach
Seiler Linhart Architekten



EFH Küng
Schoried, Alpnach
Seiler Linhart Architekten



EFH NOAH7
Pfaffhausen
AmreinHerzig Architekten



EFH Müller
Hünenberg
Andreas Müller Architekten



EFH Emmenegger
Schüpfheim
Küng Holzbau



EFH Burch
Stalden
Burch und Partner Architekten

ARCHITEKT

SPÄTESTENS, SEIT SEILER LINHART ARCHITEKTEN 2015 FÜR DEN BAU DER HOLZPUR-WERKHALLE IN ALPNACH MIT DEM PRIX LIGNUM FÜR DIE REGION ZENTRUM AUSGEZEICHNET WURDEN, SIND SIE EIN SPEZIALIST IN SACHEN BAUEN MIT HOLZ. WAS IST FÜR SIE ALS ARCHITEKT AN HOLZPUR ANDERS ALS IM NORMALEN HOLZBAU?

Holzpur-Bauelemente sind nahezu Natur pur, mit allen dem Holz immanenten Vorteilen. Beispielsweise besitzen die Wand- und Deckenelemente eine höhere Eigenmasse und haben somit bauklimatisch gesehen grosse Vorteile im Vergleich zum konventionellen Holzbau.

WAS IST DAS SCHÖNE AN HOLZPUR? Für uns Architekten ist Holzpur eine Rückkehr zur Einfachheit des Bauens. Im zeitgenössischen, konventionellen Hausbau setzen sich Wand- und Deckenelemente aus diversen Schichten mit verschiedenen, oftmals ökologischen Baustoffen zusammen. Das ist technisch kompliziert, kann zu konstruktiven Problemen führen und ist auf Dauer nicht nachhaltig. Bei Holzpur gibt es keinen diffizilen Bauteilaufbau und es wird ausschliesslich unbehandeltes Holz verwendet. Zudem wird das Holz für die Elemente praktisch zu hundert Prozent aus den lokalen Wäldern gewonnen.

KÖNNEN SIE ETWAS ZUR WOHNQUALITÄT DIESER HÄUSER SAGEN? Holzpur-Bauelemente beinhalten keinen Leim, keine Metalle und keinerlei andere chemischen Zusatzstoffe. Dadurch ermöglichen sie den Bewohnern dieser Räume und im Besonderen auf Schadstoffe empfindlichen Personen ein emissionsfreies Wohnen. Die wärmedynamischen Qualitäten der Aussenwand erlauben im Sommer wie im Winter stabile und angenehme Raumtemperaturen. Die dampfdiffusionsoffenen Wände und die sehr gute Raumakustik der Holzpur-Elemente komplettieren das behagliche Wohnklima.

WIE SCHÄTZEN SIE DIE ZUKUNFT VON HOLZPUR EIN?

Grundsätzlich bin ich sehr optimistisch, was die Zukunft von Holzpur betrifft. Einerseits hat die Nachfrage und damit das Bauen mit Holz in den letzten Jahren merklich zugenommen. Immer mehr und vor allem jüngere Bauherren möchten nachhaltig und ökologisch bauen. Andererseits ergeben sich durch die stetige Weiterentwicklung der Holzbautechnologie immer effizientere und spannendere Möglichkeiten. Und Holzpur ist technologisch gesehen definitiv mit an der Spitze dieser Entwicklung.

Sören Linhart, dipl. Architekt SIA BSA SWB, ist Partner des Architekturbüros Seiler Linhart Architekten in Luzern und Sarnen.

Auszug Werkliste:

Lido, Sarnen
Kollegiärgärtnerei Rütimattli, Sarnen
Haus Küng, Schorfid
Werk 3 Küng Holzbau, Alpnach
Haus Kast, Rifferswil
Forstwerkhof, Alpnach
MFH Wallimann, Alpnach
Bürogebäude Küng Holzbau, Alpnach



BEWÖHNER



Daniel Albrecht
Bauherr und Eigentümer

Architekt:
Architektur Schaltegger, Mosnang

Küng Holzbau:
Holzbauplanung
Produktion Holzpur-Elemente
Aufbau- und Montagearbeiten vor Ort

Realisierung:
November 2016 bis April 2017

UND WIE WOHNTE SICH JETZT IM HAUS? Gut, sehr gut sogar! Umso mehr, als meine Ansprüche sehr hoch waren und allesamt übertroffen wurden. Ich bin beruflich viel unterwegs und übermüht auch in Hotels, in denen es sehr angenehm ist. Aber jedes Mal, wenn ich nach Hause komme, denke ich: Die Atmosphäre in einem Holzhaus ist wirklich einmalig.

INWIEFERN?

Zum Beispiel wirkt die Temperatur ganz anders als in einem Betonhaus. Holz fühlt sich auch bei etwas tieferen Innenraumtemperaturen beaglich an. So spare ich nebenbei Heizenergie. Das Holz wirkt beruhigend und entspannend, es ist ein richtiges Zuhause-Gefühl. Ausserdem freue ich mich jeden Tag darüber, dass meine Tochter in einem Daheim aufwächst, das praktisch schadstofffrei ist. Keine Bauchemie, keine künstlichen Materialien – nur unbehandeltes Holz aus meiner Heimat.

WIE STEHT'S MIT DEM UNTERHALT?

Im Vergleich zu konventionellen Häusern ist der Aufwand sehr gering. Wälliser Häuser waren früher schon aus Holz gebaut. Das waren einfache, aufs Wesentliche reduzierte Bauten. Das ist im Grunde auch mein Holzpur-Haus. Bloss: Holzpur vereint das uralte Wissen um den Holzbau mit topmoderner Technologie. Das schafft einen riesigen Mehrwert, ohne dieses angenehme Wohngefühl zu schmälern. Und sollte das Haus dereinst abgerissen werden, entsteht dabei kein problematischer Sondermüll, sondern einfach Brennholz.

SIE WOHNEN IN FIESCH IN EINEM DREI-GESCHOSSIGEN HOLZPUR-EIGENHEIM AUS MONDHOLZ. WARUM HABEN SIE SICH FÜR DIESES HAUS ENTSCHEIDEN?

Als ich mich mit den verschiedenen Baustystemen auseinandersetzte, merkte ich, dass in dieser Branche viel falschläuft. Überall sonst spricht man von Regionalität und Nachhaltigkeit, nur beim Eigenheim fragt kaum einer, woher das Rohmaterial kommt und was wir zukünftigen Generationen damit hinterlassen. Als ich bei meinen Recherchen auf Holzpur stiess, war mir sofort klar: Holz – das ist es!

WIE SIND SIE VORGEANGEN?

Ich war schon von Anfang an intensiv in den Prozess involviert: Wir haben gemeinsam die Fichten und Lärchen im Oberwallis ausgewählt, ich war sogar beim Fällen dabei. Das schafft eine starke emotionale Bindung zum späteren Eigenheim. Die Bauphase war kurz und problemlos.

Die 80 Mitarbeitenden der Küng Holzbau AG verstehen sich als dynamische, eingeschworene Gemeinschaft. Weil sie alle dieselbe Philosophie teilen und jeden Tag aufs Neue die besten Resultate anstreben. Sie geben dem Arbeiten mit Holz den höchsten Wert.

Küng Holzbau AG
041 672 76 76
www.kueng-holz.ch

Chilcherlistrasse 4
6055 Alpnach Dorf
Schweiz

Wir Holzpur-Spezialisten beraten Sie gerne:



Stephan Küng
Geschäftsführer
041 672 76 66
sk@kueng-holz.ch



Roland Barmettler
Leiter Holzbau teknik/GL
041 672 76 68
rb@kueng-holz.ch

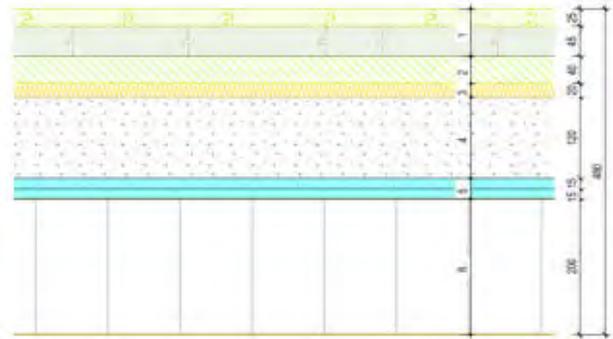


Peter Odermatt
Leiter Abbundtechnik/GL
041 672 76 61
po@kueng-holz.ch

Anhang 2 – Schallschutzmessung Lignotherm, Zimmer 203

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden

Auftraggeber: Küng Holzbau AG
 Prüfdatum: 15.06.2020
 Prüfstelle: Schoriederstrasse 30, 6055 Alpnach
 Projekt: Alpnach Sagi Haus A
 Prüfbauteil: **Geschossdecke Lignotherm**
 Aufbau: 25 + 45 mm Lignotherm mit Eschenriemen
 40 mm Pavaboard
 20/17 mm Trittschalldämmung Isover PS81
 120 mm Kalksplitt
 2x 15 mm Gipsfaser
 200 mm Brettstapel



Senderraum: **Zimmer 303**

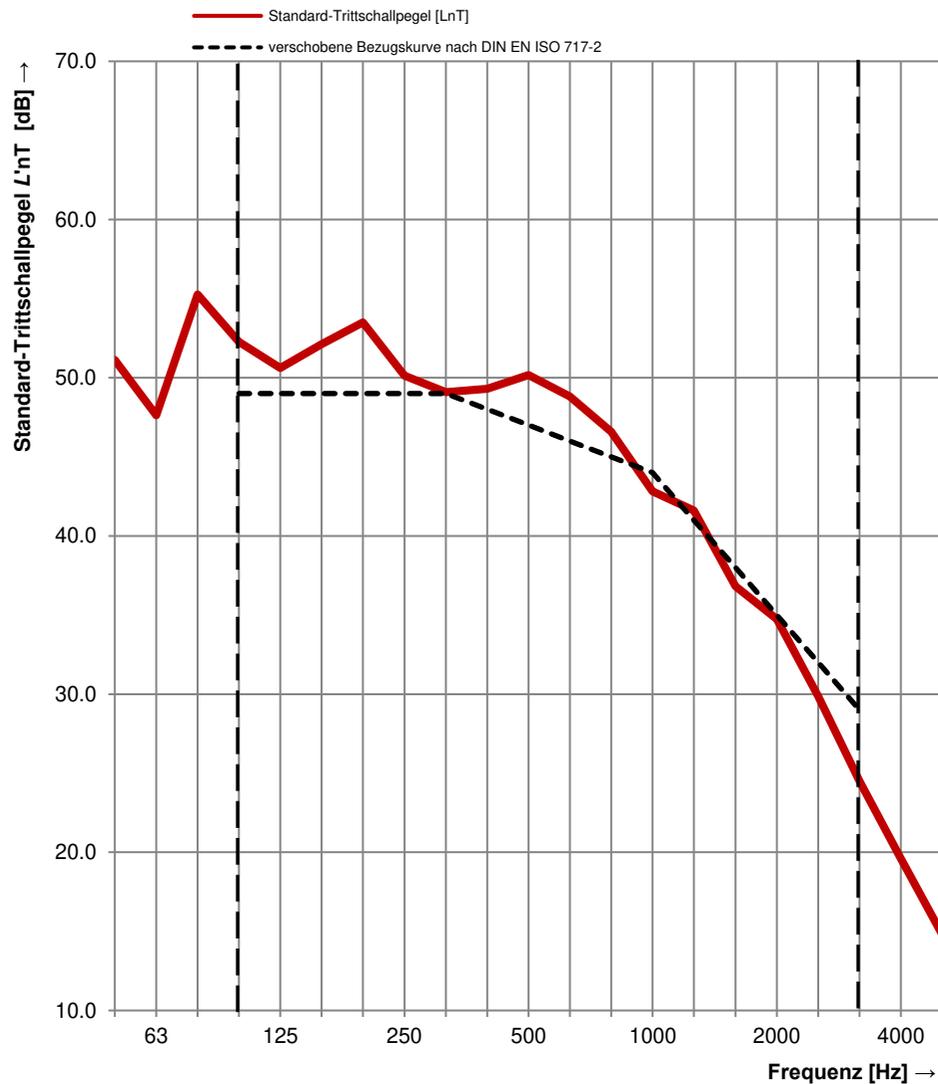
Volumen: - m³

Bauteilfläche: 12.9 m²

Empfangsraum: **Zimmer 202**

Volumen: 31.2 m³

Frequenz [Hz]	L' nT Terz [dB]
50	51.1
63	47.6
80	55.3
100	52.3
125	50.6
160	52.1
200	53.5
250	50.1
315	49.1
400	49.3
500	50.2
630	48.8
800	46.6
1000	42.8
1250	41.6
1600	36.8
2000	34.7
2500	29.9
3150	24.5
4000	19.6
* 5000	14.8



Bewertung nach ISO 717-2:

$$L'_{nT,w} (C_1 ; C_{150-2500} ; C_v) = 47 (-1 ; 0 ; 0) \text{ dB}$$

$$L'_{tot} = 47 \text{ dB}$$

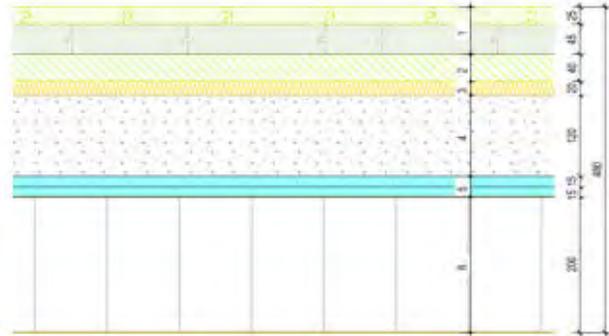
Die Ermittlung basiert auf Gebäude-Messungen, die in Terzbändern gewonnen wurden.
Bei den mit * gekennzeichneten Messergebnissen wurden die Messgrenzen erreicht

Anhang 3 – Schallschutzmessung Lignotherm, Zimmer 204

Schallschutzmessung nach SIA 181 (2006)

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden

Auftraggeber: Küng Holzbau AG
 Prüfdatum: 15.06.2020
 Prüfstelle: Schoriederstrasse 30, 6055 Alpnach
 Projekt: Alpnach Sagi Haus A
 Prüfbauteil: **Geschossdecke Lignotherm**
 Aufbau: 25 + 45 mm Lignotherm mit Eschenriemen
 40 mm Pavaboard
 20/17 mm Trittschalldämmung Isover PS81
 120 mm Kalksplitt
 2x 15 mm Gipsfaser
 200 mm Brettstapel



Senderraum: **Zimmer 304**

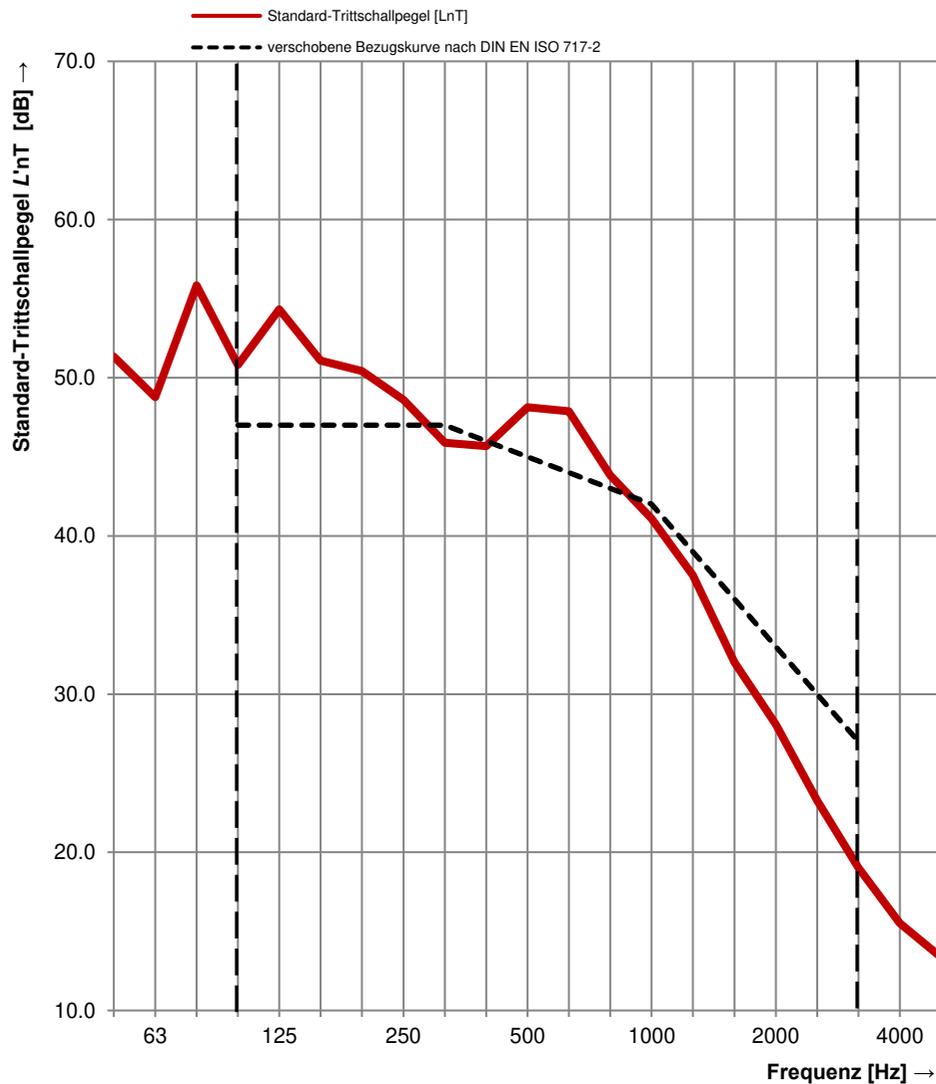
Volumen: - m³

Empfangsraum: **Zimmer 204**

Volumen: 38.0 m³

Bauteilfläche: 15.7 m²

Frequenz [Hz]	L' nT Terz [dB]
* 50	51.3
* 63	48.8
* 80	55.8
* 100	50.8
* 125	54.3
* 160	51.1
* 200	50.4
* 250	48.6
* 315	45.9
* 400	45.7
* 500	48.1
* 630	47.9
* 800	43.8
* 1000	41.1
* 1250	37.5
* 1600	32.0
* 2000	28.1
* 2500	23.3
* 3150	19.0
* 4000	15.5
* 5000	13.4



Bewertung nach ISO 717-2:

$$L'_{nT,w} (C_1 ; C_{150-2500} ; C_v) = 45 (0 ; 2 ; 0) \text{ dB}$$

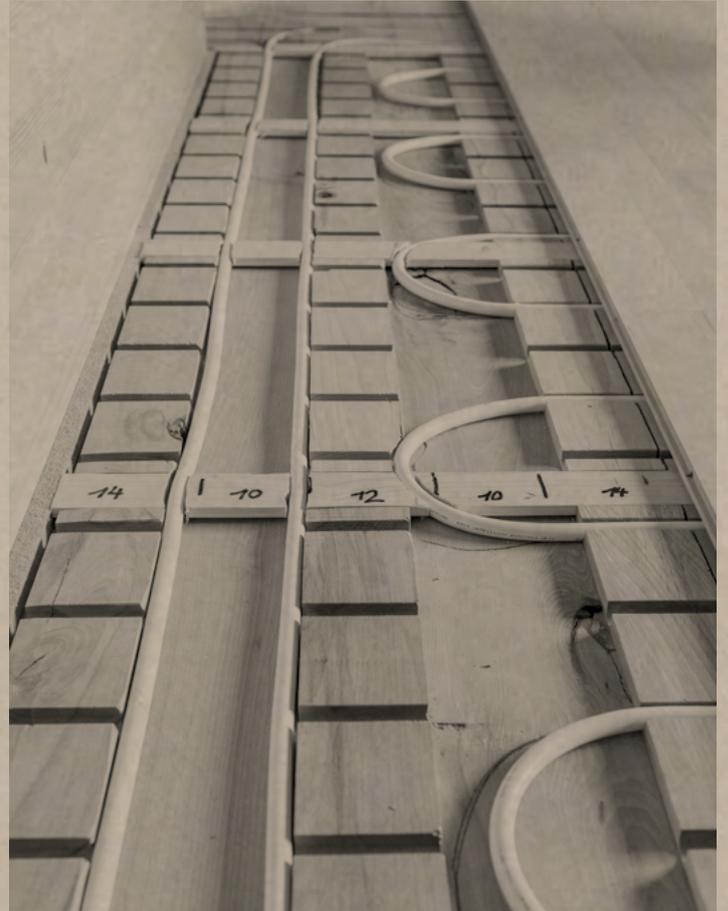
$$L'_{tot} = 45 \text{ dB}$$

Die Ermittlung basiert auf Gebäude-Messungen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

Bei den mit * gekennzeichneten Messergebnissen wurden die Messgrenzen erreicht

Anhang 4 – Broschüre Lignotherm

—
K Ü N G
H O L Z
B A U



L I G N O T H E R M

Holzboden Heizsystem

—

«WIR SIND HOLZBAUER UND HOLZ-
BAUERINNEN AUS PASSION.
FÜR UNS IST ES SELBSTVERSTÄNDLICH,
DASS WIR IMMER WIEDER EIGENE
INNOVATIONEN ENTWICKELN.
ZUM BEISPIEL LIGNOTHERM.»

ROHSTOFF



Die Buche ist der am weitesten verbreitete Laubbaum der Schweiz. Sie hat wenig Ansprüche an den Boden, auf dem sie gedeiht, wächst aber schnell, kräftig und bis zu 45 Meter hoch. Sie setzt sich gut gegen andere Baumarten durch und trägt gleichzeitig einen wichtigen Teil zur Ökologie des Waldes bei.

Wie das Wesen des Baumes ist das Holz der Buche langfaserig, dicht und hart. Deshalb ist es ein beliebtes Brennholz, gilt jedoch in der Verarbeitung als sperrig und anspruchsvoll. Rund die Hälfte des geernteten Buchenholzes wird darum zu Spanplatten, Papier und Brennholz verarbeitet. Die gleichen Eigenschaften machen Buchenholz aber auch zu einem fantastischen Wärmespeicher. Das brachte uns Holzbauer auf die Idee, diesen Umstand zu unserem Vorteil zu nutzen.

LIGNOTHERM



Wie alles Holz, das wir verarbeiten, beziehen wir auch das Buchenholz hauptsächlich aus der Region und immer aus der Schweiz. Dabei arbeiten wir nachhaltig und eng mit unseren Partnern zusammen: Das Holz wird von örtlichen Förstern geerntet, von kantonalen Firmen transportiert, von regionalen Sägereien eingeschnitten und in unserem Produktionsbetrieb in Alpnach verarbeitet.

Wir denken ökologisch, arbeiten modern und bauen Holz pur: Ein Zuhause gänzlich ohne Metall, ohne Leim und ohne Chemikalien, eben nur mit Holz. Das gilt natürlich auch für unsere Lignotherm-Bodenheizung und für das massive Parkett, das wir darüber verlegen.

BODENHEIZUNG



—
Wir haben den ersten und einzigen Unterlagsboden für Bodenheizungen nur aus Holz entwickelt, ganz ohne Beton oder andere Materialien – ein System nur aus Buchenholz, das zwischen Fichtenleisten eingeschoben wird. Wir nennen es Lignotherm. Das hat viele Vorteile:

- Lignotherm hält im Vergleich zu konventionellen Systemen in nahezu allen bauphysikalischen Disziplinen mühelos mit.
- Es ist komplett frei von Leim und Chemikalien. Das sorgt für ein behagliches Wohnklima ohne Verdampfung in der Luft.
- Auch die Trittschalldämpfung und der Schallschutz sind hervorragend.
- Weil Holz den Unterlagsboden in Beton ersetzt, ist die Konstruktion wesentlich leichter.
- Die Montage erfolgt im Trockenbau und erfordert deshalb keine Trockenzeit, was die Bauzeit verkürzt.
- Lignotherm ist ein getrenntes Bausystem, ist einzeln zerlegbar und erfüllt alle Standards für nachhaltiges Bauen Schweiz SNBS.
- Die Standard-Heizungsrohre (Verbundrohre 16 × 2 mm) passen in die normgerechten Buchenbretter und werden mit 12 oder 24 cm Abstand eingelegt.
- Dank der aussergewöhnlichen Wärmekapazität von Buchenholz wird die langanhaltende Wärme gleichmässig verteilt.
- Mit unseren eigens entwickelten Tools kann die Wärmeabgabe im Zusammenspiel mit dem Rohrabstand und dem jeweils darüber verlegten Parkett präzise berechnet werden.
- Und zu guter Letzt: Das Lignotherm-System kann dereinst beim Abriss des Hauses problemlos und umweltfreundlich rückgebaut werden.

PRODUKTION



—
Sämtliche Bauteile des Lignotherm-Systems werden bei uns in der Produktionsstätte in Alpnach zuerst gehobelt, wobei gleichzeitig an den Längsseiten die Nut beziehungsweise der Kamm eingefräst werden. Die braucht es zum Verlegen der Bretter. Danach wird jedes einzelne Brett gekappt, sprich millimetergenau auf die jeweils erforderliche Länge zugeschnitten. Schliesslich werden die Bretter mit der Bodenfräsmaschine profiliert, das heisst, es werden die Rillen gefräst, in welche später die Heizungsrohre gelegt werden. Diese Maschine haben wir eigens für Lignotherm entwickelt.

Bestandteile und Dimensionen

	Holzart	Dicke [mm]	Breite [mm]	Länge [mm]
Systembrett	Buche	45	80-240	566
Endbrett	Buche	27	80-240	566
Traglatte	Fichte	45	60	5000

Technische Daten

Bezeichnung	Lignotherm
Holzherkunft	Schweiz
Holzart	Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)
Rohdichte	780 kg/m ³
Eigenlast	0.34 kN/m ²
Wärmeleitfähigkeit	0.16 W/(mK)
Spezifische Wärmekapazität	1300 J/(kg K)
Brandverhalten	D _{f1} -s1

Liefergrösse

Lignotherm Fläche netto pro Palette	ca. 18.5 m ²
Palette Dimension	120 × 80 × 115 cm
Palette Gewicht	ca. 600 kg

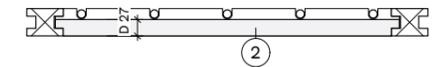
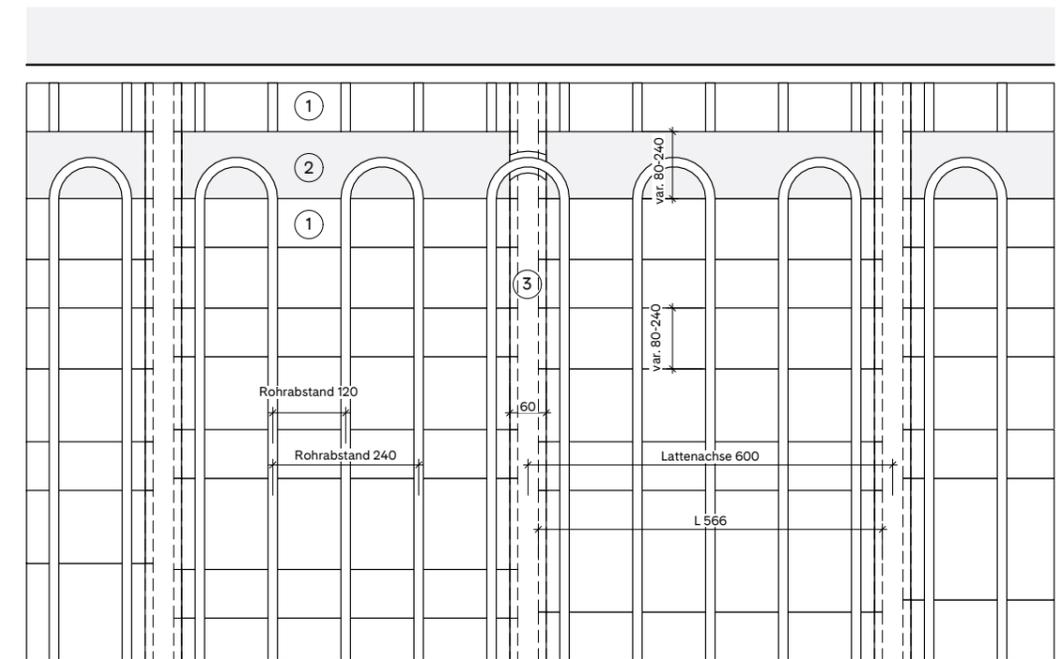
Lagerung

Holzfeuchte 8-10% entspricht einer relativen Luftfeuchtigkeit von ca. 50% bei 20°C Raumtemperatur. Küng Holzbau AG haftet nicht für eine mangelhafte Lagerung nach der Lieferung.

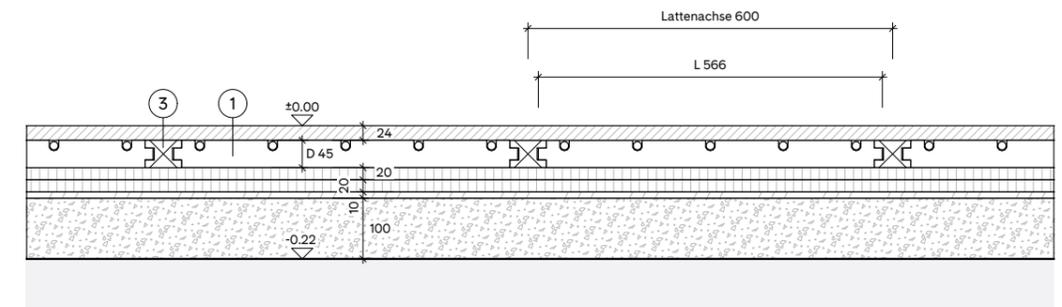
Errechnung Bestellmenge

Systemlatte = Grundrissfläche × 2 lm/m²
 Endbrett = Laufmeter Wand × 0.25 m = Endbrettfläche
 Systembrett = Grundrissfläche - Endbrettfläche

Grundriss



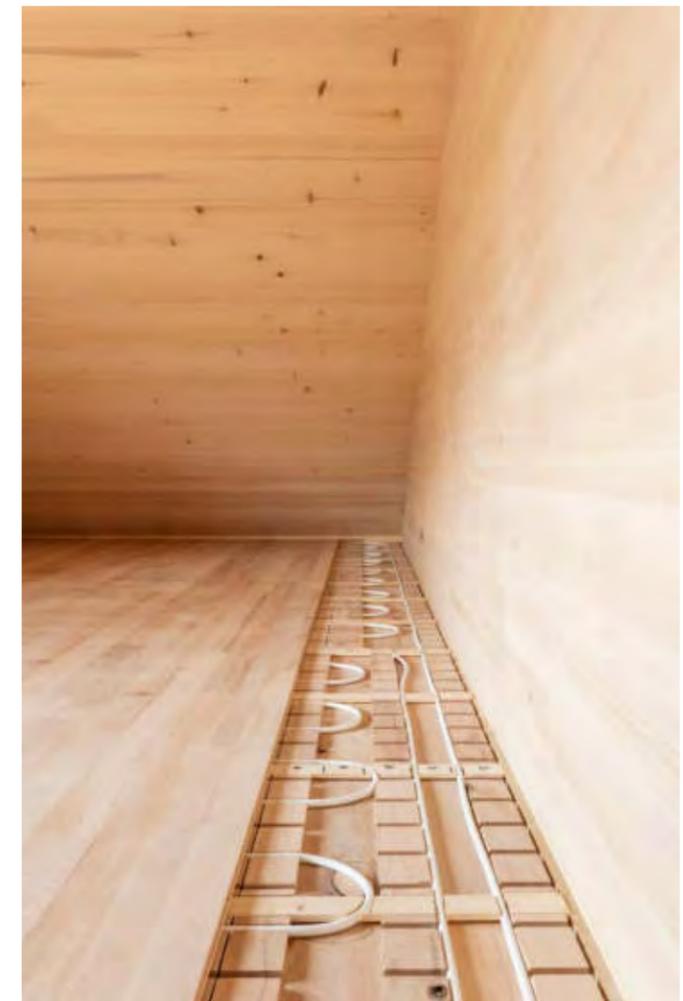
Querschnitt



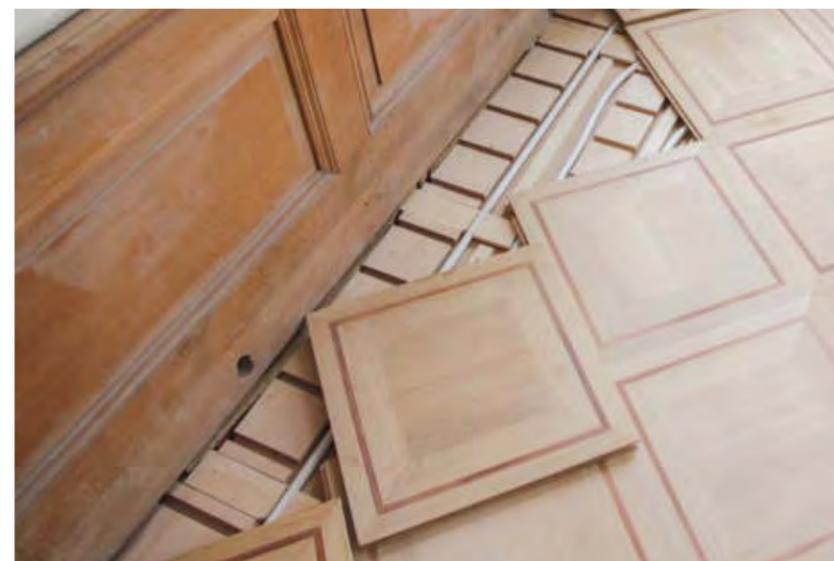
—	Massivholz Bodenriemen	24 mm
	Bodenheizelement Lignotherm	45 mm
①	Systembrett	
②	Endbrett	
③	Traglatte	
	Holzfaserdämmplatte	20 mm
	Trittschalldämmung	20 mm
	Holzfaserplatte	10 mm
	Kalksandschüttung	100 mm
	Tragkonstruktion	



EFH Kottmann
Oberkirch
Daniel Baebi
Buche Bodendielen auf Lignotherm



EFH Kottmann
Oberkirch
Daniel Baebi
Buche Bodendielen auf Lignotherm



Privater Umbau
Privat
Schärli Architektur
Tafelparkett auf Lignotherm

REFERENZEN



An- und Umbau Bienz-Käslin
Ermensee
Roman Hutter Architektur
Buche Bodendielen

EFH Schwarzenbach
Hirzel
pool Architekten
Eiche Bodendielen



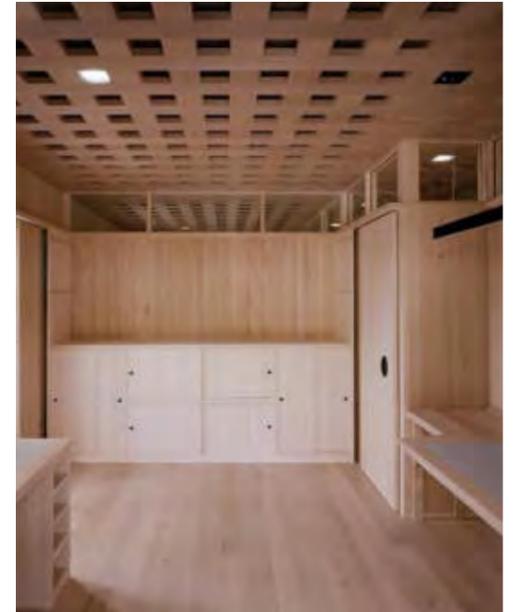
EFH Küng
Schoried
Seiler Linhart Architekten
Kastanie Bodendielen auf Lignotherm



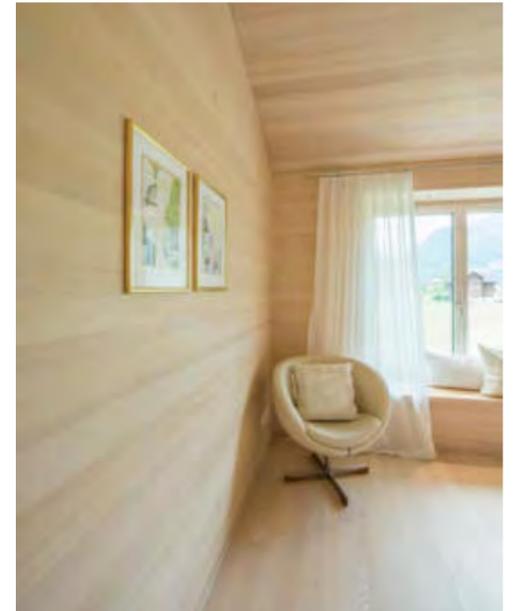
EFH Lingg
Schüpheim
Elia Malevez
Ulme Bodendielen



Bürohaus Küng
Alpnach Dorf
Seiler Linhart Architekten
Buche Bodendielen auf Lignotherm



EFH Britschgi
Giswil
Atelier Herber
Esche Bodendielen



—

Die 80 Mitarbeitenden der Küng Holzbau AG verstehen sich als dynamische, eingeschworene Gemeinschaft. Weil sie alle dieselbe Philosophie teilen und jeden Tag aufs Neue die besten Resultate anstreben. Sie geben dem Arbeiten mit Holz den höchsten Wert.

Wir Lignotherm-Spezialisten beraten Sie gerne:



Stephan Küng
Geschäftsführer
041 672 76 66
sk@kueng-holz.ch



Roland Barmettler
Leiter Holzbautechnik / GL
041 672 76 68
rb@kueng-holz.ch



Peter Odermatt
Leiter Abbundtechnik / GL
041 672 76 61
po@kueng-holz.ch

Küng Holzbau AG

041 672 76 76

www.kueng-holz.ch

Chilcherlistrasse 4

6055 Alpnach Dorf

Schweiz

Anhang 6 – Prüfbericht HSLU Lignotherm



Prüfstelle Gebäudetechnik

Prüfbericht Nr.: HP-202036

Leistungsmessungen an der Fussbodenheizung «LignoTherm»

Prüfobjekt: Fussbodenheizung «LignoTherm»

Auftraggeber: Küng Holzbau AG

Ort, Datum: Horw, 2020-07-10

Ersteller:



Jasin Jasari, dipl. Masch. Ing. FH
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Freigabe:



Frank Gubser, dipl. HLKS Ing. FH
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Senior

Dieser Bericht umfasst 24 Seiten und darf ohne die schriftliche Genehmigung der Prüfstelle Gebäudetechnik nur in ungekürzter Form vervielfältigt werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	3
2. Adresse des Prüflabors.....	3
3. Auftraggeber	3
4. Auftrag.....	3
5. Prüfobjekt, Eingangsdatum, Datum der Prüfung.....	4
6. Prüfverfahren.....	5
7. Messresultate.....	10
7.1. Messresultate vom Bodenbelag Buchenholz mit 15 mm Dicke, nach unten isoliert	10
7.2. Messresultate vom Bodenbelag Buchenholz mit 15 mm Dicke	10
7.3. Messresultate vom Bodenbelag Eichenholz mit 23 mm Dicke	11
7.4. Messresultate vom Bodenbelag Eichenholz mit 23 mm Dicke und 240er Heizrohrabstand.....	11
7.5. Messresultate vom Bodenbelag Tannenholz mit 24 mm Dicke	11
8. Schlussbemerkung	12
9. Anhang 1, Prüfeinrichtung.....	13
9.1. Indexes.....	14
10. Anhang 2, Fotos, Skizzen und Diagramme	15
10.1. Fotos Aufbau Prüfobjekt.....	15
10.2. Fotos Aufbau Messeinrichtung.....	16
10.3. Fotos Bodenbeläge	17
10.4. Wärmebildaufnahmen	18
10.5. Skizze Prüfling	19
10.6. Grafiken zu den Messresultaten	21
11. Anhang 3, Spezifikationen Messgeräte.....	23
12. Anhang 4, Messunsicherheit	24
13. Anhang 5, Literaturhinweise.....	24

1. Zusammenfassung

An der Fussbodenheizung «LignoTherm» wird die Heizleistung ermittelt. Dazu werden die Eintritts- und Austrittstemperaturen sowie der Volumenstrom bei stationärem Zustand messtechnisch erfasst. Es werden unterschiedliche Betriebstemperaturen, verschiedenen Bodenbeläge (Material und Stärke), sowie der Einfluss des Rohrabstands der Heizungsrohre untersucht.

2. Adresse des Prüflabors

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Prüfstelle Gebäudetechnik
Technikumstrasse 21
CH-6048 Horw

3. Auftraggeber

Küng Holzbau AG
Herr Stephan Küng
Chilcherlistrasse 4
CH-6055 Alpnach Dorf

4. Auftrag

Für die Realisation der Villa Altstadt in Meggen soll der Einsatz des FBH Systems «LignoTherm» für «höhere» Systemtemperaturen getestet werden. Ebenfalls sollen Standard-Aufbauten für übrige Anwendungen gemessen werden. In der Klimakammer der Prüfstelle IGE an der HSLU T&A werden die Leistungsmessungen durchgeführt und dokumentiert. Der Auf- und Abbau der Bodenkonstruktion sowie für den Belagswechsel wird jeweils von der Firma Küng Holzbau AG durchgeführt.

Es werden drei verschiedene Bodenbeläge geprüft:

Messungen 1-6:	Bodenbelag aus Buchenholz mit einer Dicke von 15 mm
Messungen 7-10:	Bodenbelag aus Eichenholz mit einer Dicke von 23 mm
Messungen 11-12:	Bodenbelag aus Tannenholz mit einer Dicke von 24 mm

Bei den Messungen 1-3 wird die Wärmeabgabe nach unten mit 160 mm dicken Styroporplatten sowie mit 320 mm dicken Styroporplatten die Wärmeabgabe seitlich in den Aussenbereich thermisch isoliert.

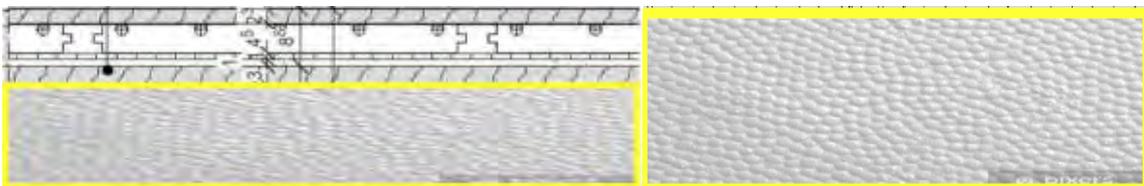


Abbildung 1: Bodenkonstruktion mit Isolation nach unten und seitlich

Bei den Messungen 4-12 wird die Wärmeabgabe seitlich in den Aussenbereich mit 160 mm Styroporplatten thermisch isoliert dabei wird die Bodenkonstruktion auf Holzlatten mit einer Höhe von 30 mm auf den Boden der Klimakammer gestellt.



Abbildung 2: Bodenkonstruktion mit Isolation seitlich

Grundabstand der Heizungsrohre ist 120 mm je Achse. Der Boden wird hydraulisch in 2 Ringen geteilt mit jeweils einem Überspringen einer 120er Achse – dh bei jedem Endbogen 180° kreuzen sich die zwei Ringe (vgl. Abbildung 3). Um den Unterschieden zwischen einem 120er und 240er Rohrabstand zu überprüfen werden die Messungen 9 und 10 mit einem 240er Rohrabstand gemessen. Die Vor- und Rücklaufemperatur wird gleich eingestellt wie bei den Messungen 7 und 8.

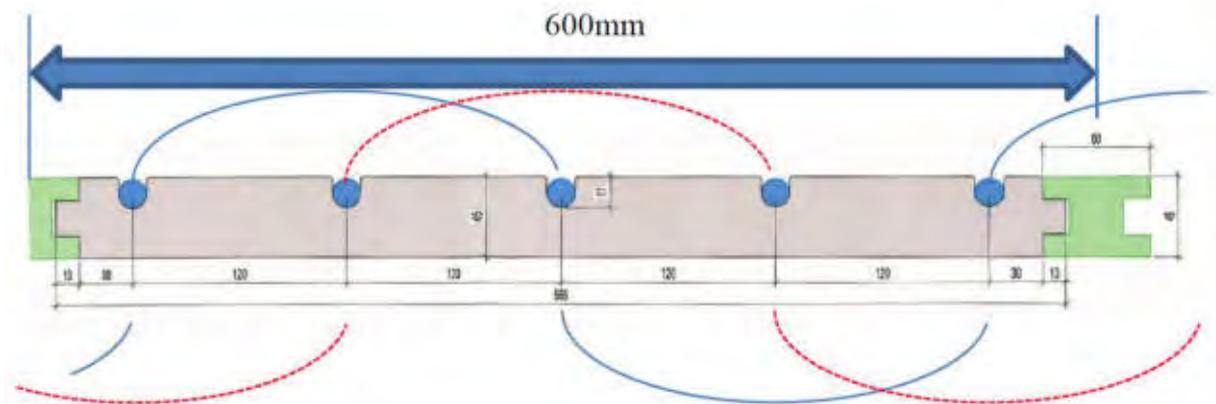


Abbildung 3: Schnitt mit Andeutung des Übersprunges der 180° Bogen beim Kopfteil; mit 2 Ringen (rot und blau)

5. Prüfbjekt, Eingangsdatum, Datum der Prüfung

Prüfbjekt: Fussbodenheizung «LignoTherm» mit unterschiedlichen Bodenbelägen

Eingangsdatum: 2020-06-15

Datum der Prüfung: 2020-06-17 bis 2020-06-29

Abmessungen: 2.46 m x 5 m = 12.3 m²

6. Prüfverfahren

Mit einer Vergleichsmessung wird die Wärmeabgabe der Fussbodenheizung in Anlehnung an die SIA 384/1 bzw. analog zur SIA 381.410 bestimmt. Die Raumluft wird durch die Fussbodenheizung geheizt und durch die Wände gekühlt, sodass ein thermisches Gleichgewicht sich bei der Referenztemperatur einstellen kann. Wenn diese Beharrung eintritt, können die thermischen Leistungen bestimmt werden. Das Medium bei allen Prüfungen ist Wasser.

Messpunkt	Bezeichnung	Sollwert		Bemerkung
		Wert	Einheit	
M1 bis M12	Raumtemperatur Globe Klimakammer	21	°C	gemessen bei 1.1 m Raumhöhe
	Boden- und Deckentemperatur Klimakammer	21	°C	wird konstant gehalten
	Bezugsfläche	12.3	m ²	

Tabelle 1: Referenzwerte für die Prüfung

Die Sollwerte für die jeweiligen Messpunkte sind in den Tabelle 2 bis Tabelle 5 tabellarisch aufgelistet.

Der Aufbau der Prüfeinrichtung kann im Anhang 1: Prüfeinrichtung eingesehen werden.

Messpunkt	Bezeichnung	Sollwert		Bemerkung
		Wert	Einheit	
M1	Bodenbelagdicke	15	mm	Material: Buchenholz; Bodenkonstruktion mit 160 mm Styropor gegen Klimakammerboden isoliert
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	45	°C	
	Rücklauftemperatur	35	°C	
	Volumenstrom	...	l/h	Wird so angepasst das die Temperaturspreizung 10 K entspricht
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M2	Bodenbelagdicke	15	mm	Material: Buchenholz ; Bodenkonstruktion mit 160 mm Styropor gegen Klimakammerboden isoliert
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	40	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M1
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M3	Bodenbelagdicke	15	mm	Material: Buchenholz; Bodenkonstruktion mit 160 mm Styropor gegen Klimakammerboden isoliert
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	35	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M1
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse

Tabelle 2: Sollwerte für die Messpunkte 1 bis 3

Messpunkt	Bezeichnung	Sollwert		Bemerkung
		Wert	Einheit	
M4	Bodenbelagdicke	15	mm	Material: Buchenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	45	°C	
	Rücklauftemperatur	35	°C	
	Volumenstrom	...	l/h	Wird so angepasst das die Temperaturspreizung 10 K entspricht
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M5	Bodenbelagdicke	15	mm	Material: Buchenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	40	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M4
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M6	Bodenbelagdicke	15	mm	Material: Buchenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	35	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M4
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse

Tabelle 3: Sollwerte für die Messpunkte 4 bis 6

Messpunkt	Bezeichnung	Sollwert		Bemerkung
		Wert	Einheit	
M7	Bodenbelagdicke	23	mm	Material: Eichenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	40	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M5
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M8	Bodenbelagdicke	23	mm	Material: Eichenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	35	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M5
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M9	Bodenbelagdicke	23	mm	Material: Eichenholz
	Rohrabstand	24	cm	
	Vorlauftemperatur	40	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	Gleich wie bei Messpunkt M7
	Volumenstrom	...	l/h	so das Temperaturspreizung gleich wie bei M7
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M10	Bodenbelagdicke	23	mm	Material: Eichenholz
	Rohrabstand	24	cm	
	Vorlauftemperatur	35	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	Gleich wie bei Messpunkt M8
	Volumenstrom	...	l/h	so das Temperaturspreizung gleich wie bei M8
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse

Tabelle 4: Sollwerte für die Messpunkte 7 bis 10

Messpunkt	Bezeichnung	Sollwert		Bemerkung
		Wert	Einheit	
M11	Bodenbelagdicke	24	mm	Material: Tannenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	40	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	Gleich wie bei Messpunkt M7
	Volumenstrom	...	l/h	so das Temperaturspreizung gleich wie bei M7
	Wärmeabgabe	...	W	Gesuchte Grösse
M12	Bodenbelagdicke	24	mm	Material: Tannenholz
	Rohrabstand	12	cm	
	Vorlauftemperatur	35	°C	
	Rücklauftemperatur	...	°C	stellt sich ein
	Volumenstrom	...	l/h	Gleich wie bei Messpunkt M11
	Wärmeabgabe	..	W	Gesuchte Grösse

Tabelle 5: Sollwert für die Messpunkte 11 und 12

7. Messresultate

Nach Erreichen des stationären Zustands wurde über mindesten einer Stunde Messdauer der Mittelwert der gemessenen Werte gebildet und rechnerisch die Heizleistung bestimmt. In den Kapiteln 7.1 bis 7.5 sind der Resultate der einzelnen Messungen aufgelistet.

Die Oberflächentemperaturen wurden punktuell, für alle Messpunkte am gleichen Ort (ca. Prüflingmitte) gemessen – vergleiche dazu die Abbildung 14 im Anhang.

7.1. Messresultate vom Bodenbelag Buchenholz mit 15 mm Dicke, nach unten isoliert

Messpunkt	Vorlauf- temperatur	Rücklauf- temperatur	Übertemperatur logarithmisch	Oberflächen- temperatur	Volumenstrom	Leistung	Spezifische Leistung
	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[l/h]	[W]	[W/m ²]
M1.1	45.0	38.2	20.4	29.2	84.6	668	54.3
M1.0	45.0	35.0	18.5	28.3	52.3	602	49.0
M2	40.0	32.3	14.8	27.1	51.6	461	37.5
M3	35.1	29.2	11.0	25.4	50.0	340	27.7

Tabelle 6: Messresultate vom Bodenbelag Buchenholz mit 15 mm Dicke, nach unten isoliert

7.2. Messresultate vom Bodenbelag Buchenholz mit 15 mm Dicke

Messpunkt	Vorlauf Temperatur	Rücklauf Temperatur	Übertemperatur logarithmisch	Oberflächen- temperatur	Volumenstrom	Leistung	Spezifische Leistung
	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[l/h]	[W]	[W/m ²]
M4	45.0	35.4	18.8	28.3	60.6	673	54.7
M5	40.0	32.6	15.1	27.0	60.0	513	41.7
M6	35.0	29.5	11.2	25.4	57.7	369	30.0

Tabelle 7: Messresultate vom Bodenbelag Buchenholz mit 15 mm Dicke

7.3. Messresultate vom Bodenbelag Eichenholz mit 23 mm Dicke

Messpunkt	Vorlauf Temperatur	Rücklauf Temperatur	Übertemperatur logarithmisch	Oberflächen-temperatur	Volumenstrom	Leistung	Spezifische Leistung
	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[l/h]	[W]	[W/m ²]
M7	40.0	33.0	15.3	25.9	59.7	485	39.4
M8	35.0	30.0	11.3	24.7	60.4	351	28.5

Tabelle 8: Messresultate vom Bodenbelag Eichenholz mit 23 mm Dicke

7.4. Messresultate vom Bodenbelag Eichenholz mit 23 mm Dicke und 240er Heizrohrabstand

Messpunkt	Vorlauf Temperatur	Rücklauf Temperatur	Übertemperatur logarithmisch	Oberflächen-temperatur	Volumenstrom	Leistung	Spezifische Leistung
	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[l/h]	[W]	[W/m ²]
M9	40.1	33.2	15.4	23.8	38.7	307	25.0
M10	35.0	30.0	11.4	23.1	39.0	225	18.3

Tabelle 9: Messresultate vom Bodenbelag Eichenholz mit 23 mm Dicke und 240er Heizrohrabstand

7.5. Messresultate vom Bodenbelag Tannenholz mit 24 mm Dicke

Messpunkt	Vorlauf Temperatur	Rücklauf Temperatur	Übertemperatur logarithmisch	Oberflächen-temperatur	Volumenstrom	Leistung	Spezifische Leistung
	[°C]	[°C]	[K]	[°C]	[l/h]	[W]	[W/m ²]
M11	40.0	33.0	15.4	25.4	50.8	410	33.3
M12	35.0	29.9	11.2	24.3	50.5	297	24.1

Tabelle 10: Messresultate vom Bodenbelag Tannenholz mit 24 mm Dicke

8. Schlussbemerkung

Es wurden alle Anforderungen des Messumfanges des Kunden erfüllt.

Weiterführend zu diesem Prüfbericht wurde aus den Messresultaten eine Berechnungshilfe für die Praxis erstellt. Mit dieser Excel-Berechnung können Zwischenwerte der Messung interpoliert werden.

Die Messresultate gelten ausschliesslich für das gemessene Prüfobjekt. Die Auswahl des Prüfobjektes war nicht Teil des Auftrages.

Der Prüfbericht und die zugehörigen Dokumente werden während 10 Jahren archiviert.

Der Auftraggeber kann, während dieser Zeit, die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

9. Anhang 1, Prüfeinrichtung

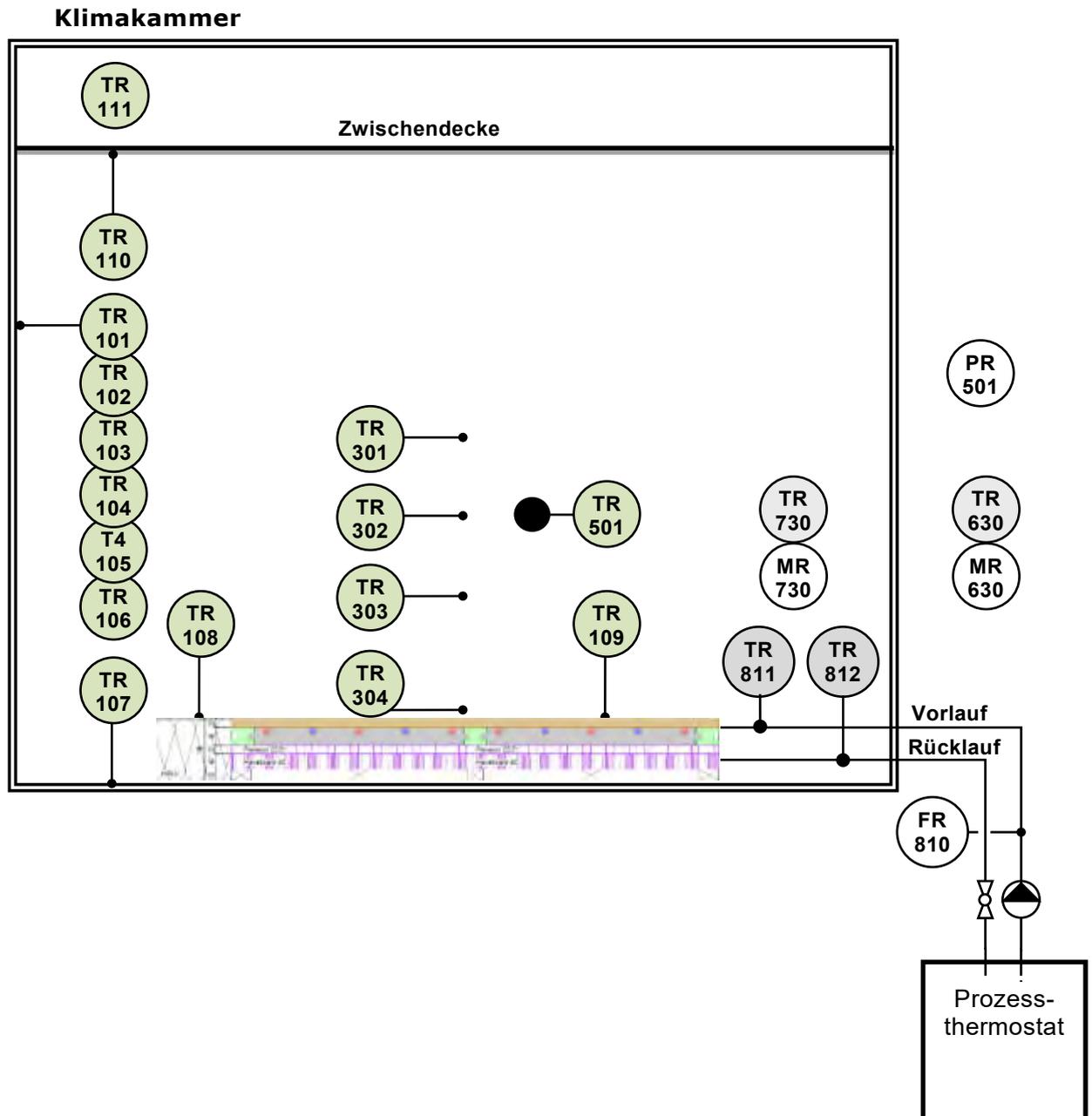


Abbildung 4: Prüfmodelskizze

Legende:

Erstbuchstabe	Folgebuchstabe	Ergänzungsbuchstabe
F	Durchfluss	D
P	Druck	Differenz
M	Feuchte	R
T	Temperatur	Registrierung

Tabelle 11: Gemessene Werte

Position	Symbol	Einheit	Beschreibung
FR810	q_v	l/h	Volumenstrom
TR811	t_{VL}	°C	Wassertemperatur Prüflingseintritt
TR812	t_{RL}	°C	Wassertemperatur Prüflingseintritt
TR101	t_{101}	°C	Oberflächentemperatur Wand Nord Klimakammer
TR102	t_{102}	°C	Oberflächentemperatur Fenster Nord Klimakammer
TR103	t_{103}	°C	Oberflächentemperatur Wand West Klimakammer
TR104	t_{104}	°C	Oberflächentemperatur Fenster West Klimakammer
TR105	t_{105}	°C	Oberflächentemperatur Wand Süd Klimakammer
TR106	t_{106}	°C	Oberflächentemperatur Wand Ost Klimakammer
TR107	t_{107}	°C	Oberflächentemperatur Boden Klimakammer
TR108	t_{108}	°C	Oberflächentemperatur auf Isolation neben Prüfling
TR109	t_{109}	°C	Oberflächentemperatur auf Prüfling
TR110	t_{110}	°C	Oberflächentemperatur Decke Klimakammer
TR111	t_{111}	°C	Oberflächentemperatur Zwischendecke Klimakammer
TR304	t_{304}	°C	Raumlufttemperatur bei H=0.1 m in Klimakammer
TR303	t_{303}	°C	Raumlufttemperatur bei H=0.6 m in Klimakammer
TR302	t_{302}	°C	Raumlufttemperatur bei H=1.1 m in Klimakammer
TR301	t_{301}	°C	Raumlufttemperatur bei H=1.7 m in Klimakammer
TR501	t_{501}	°C	Raumlufttemperatur Globe bei H=1.1 m in Klimakammer
TR730	t_{730}	°C	Raumlufttemperatur bei H=1.1 m in Klimakammer
MR730	Φ_{730}	%	Raumluftfeuchte bei H=1.1 m in Klimakammer
TR630	t_{630}	°C	Raumlufttemperatur bei H=1.1 m im Labor
MR630	Φ_{630}	%	Raumluftfeuchte bei H=1.1 m im Labor
PR501	p_{baro}	Pa	Barometerdruck Labor

Tabelle 12: Berechnete Werte

Symbol	Einheit	Beschreibung	Formel
q_m	kg/s	Massenstrom	$q_m = q_{v,meas} \cdot \rho$
ρ	kg/m ³	Dichte Wasser	$\rho = f(t)$
P	W	Wärmeleistung	$P = q_m \cdot c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})$
c_p	J/kg K	Spezifische Wärmekapazität	$c_p = f(t)$
$\Delta\theta_H$	K	Übertemperatur (logarithmisch)	$\Delta\theta_H = \frac{t_{VL} - t_{RL}}{\ln\left(\frac{t_{VL} - t_{Raum}}{t_{RL} - t_{Raum}}\right)}$

9.1. Indexes

t_{VL} Eintrittstemperatur Prüfling
 t_{RL} Austrittstemperatur Prüfling

10. Anhang 2, Fotos, Skizzen und Diagramme

10.1. Fotos Aufbau Prüfobjekt



Abbildung 5: Aufbau Unterkonstruktion



Abbildung 6: Aufbau Bodenkonstruktion



Abbildung 7: Verlegung Heizungsrohr



Abbildung 8: Verlegung Bodenbelag mit Schüttisolation

10.2. Fotos Aufbau Messeinrichtung



Abbildung 9: Isolation unter und seitlich vom Prüfobjekt



Abbildung 10: Prüfaufbau mit Messeinrichtung

10.3. Fotos Bodenbeläge



Abbildung 11: Bodenbelag aus 15 mm Buchenholz



Abbildung 12: Bodenbelag aus 23 mm Eichenholz



Abbildung 13: Bodenbelag aus 24 mm Tannenholz

10.4. Wärmebildaufnahmen

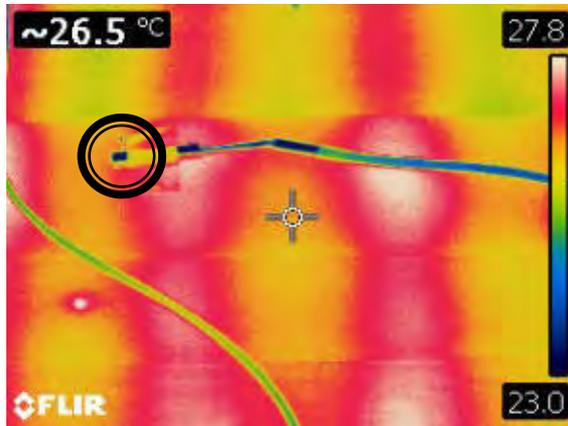


Abbildung 14: Oberflächentemperaturfühler

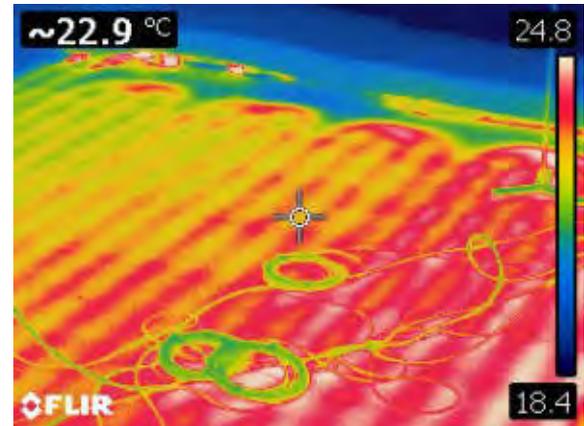


Abbildung 15: Heizungsrohre mit 120er Rohrabstand

Die Position des Oberflächen-Temperaturfühlers (aktives Spitze) in Abbildung 14 liegt auf $\frac{1}{4}$ des Abstandes von 2 Heizleitungen.



Abbildung 16: Heizungsrohre mit 240er Rohrabstand

10.5. Skizze Prüfling

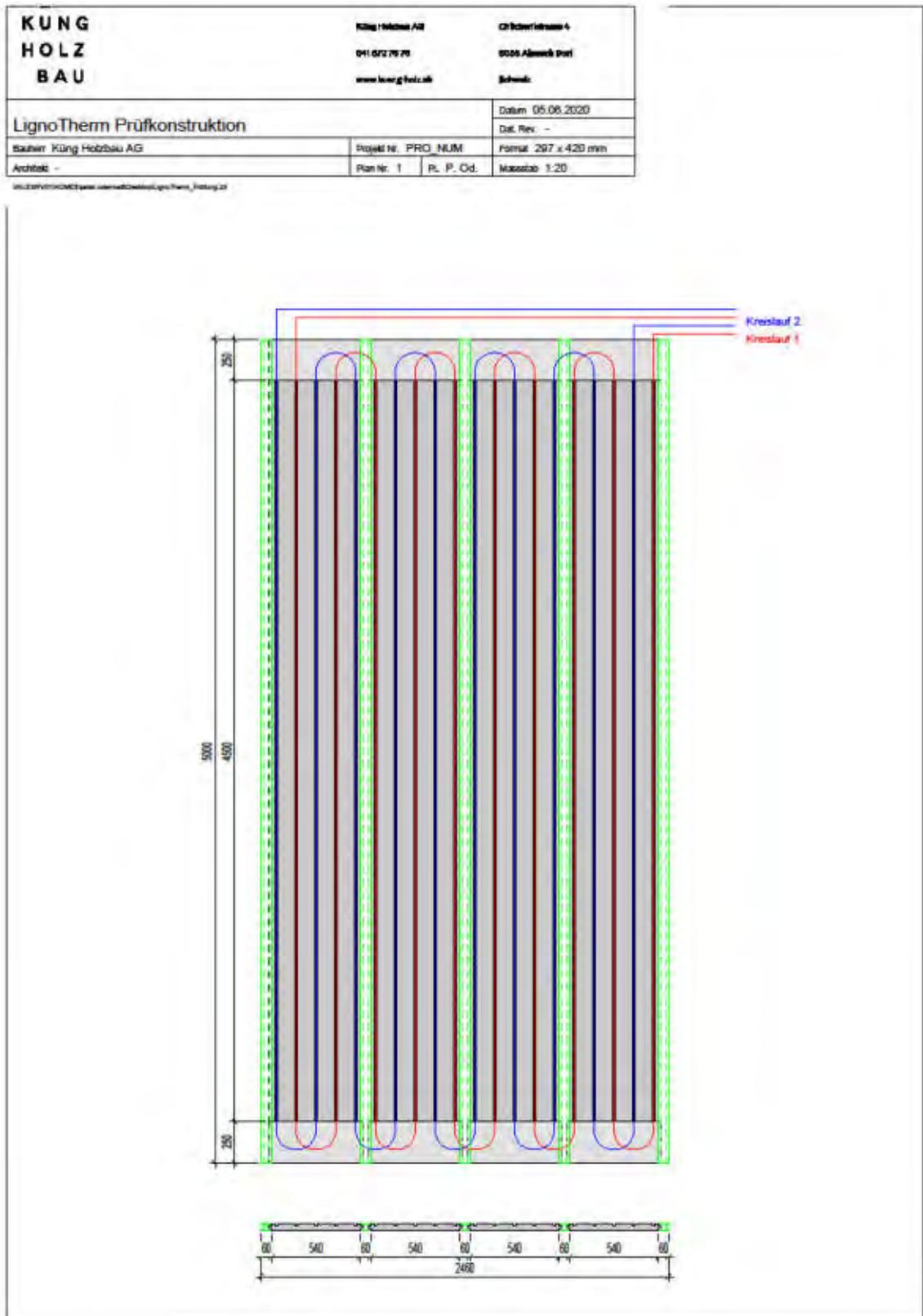


Abbildung 17: Skizze Heizungsrohrverlegung

10.6. Grafiken zu den Messresultaten

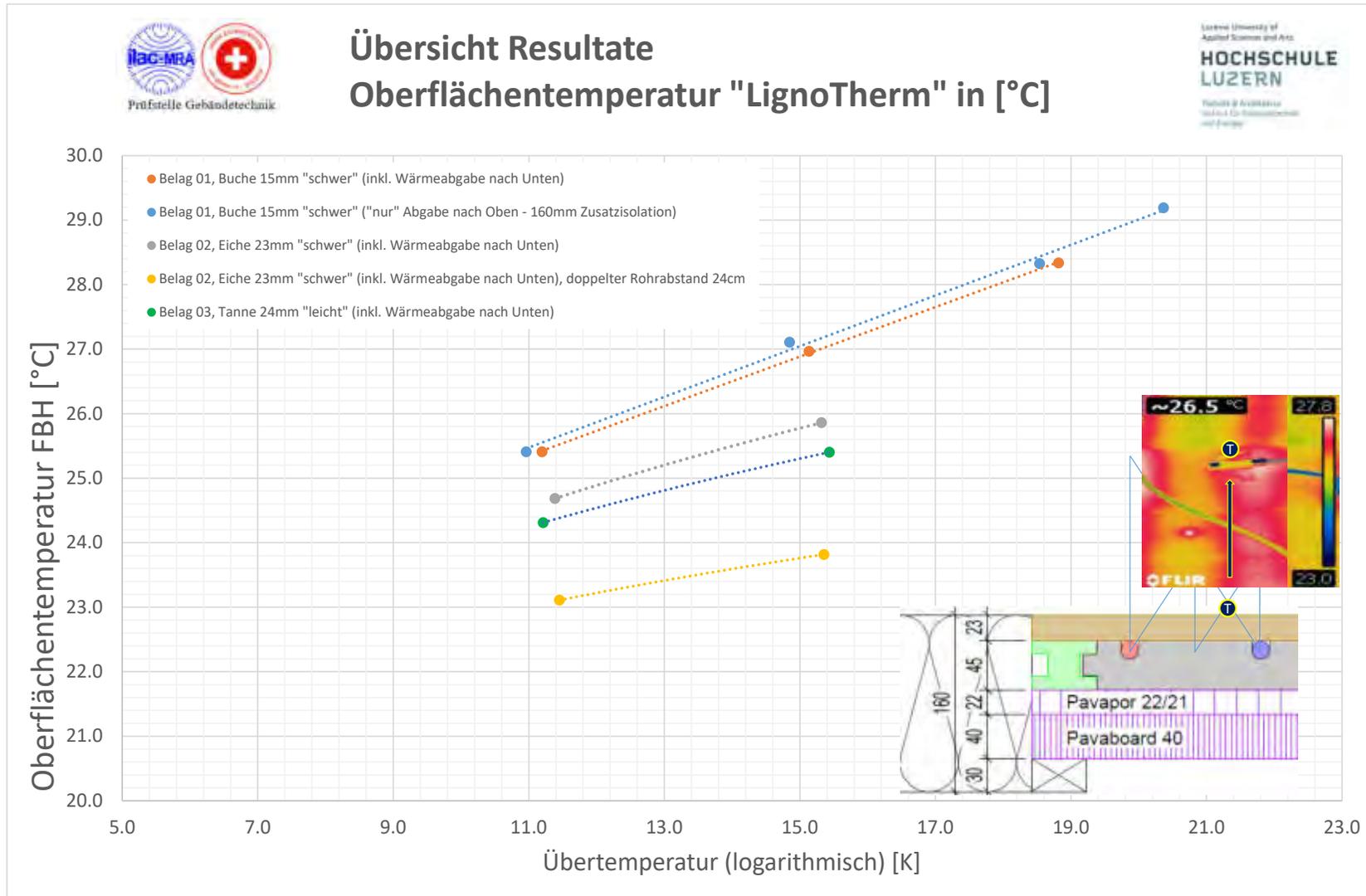


Diagramm 1: Übersicht Resultate Oberflächentemperatur

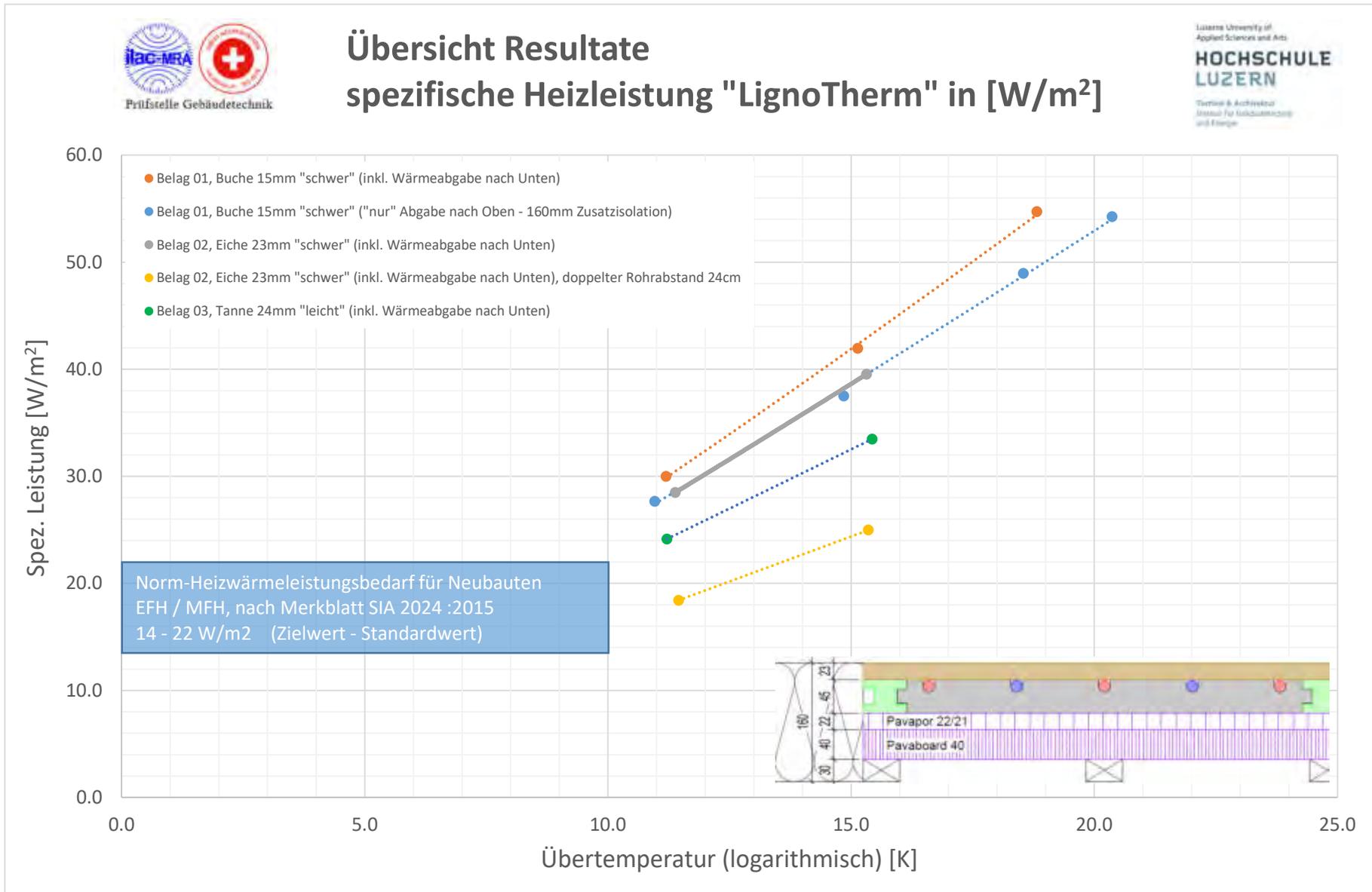


Diagramm 2: Übersicht Resultate spezifische Heizleistung

11. Anhang 3, Spezifikationen Messgeräte

Die Messunsicherheiten beziehen sich auf Vertrauensniveau von 95% bei einem Erweiterungsfaktor von $k=2$.

Position	Messmittel	Messunsicherheit P = 95 %	Datum der Kalibration	Messgerät Bezeichnung	Bemerkung
FR801	1.08HP397 K121	0.45 % v. MW	13.06.2018	Durchfluss-Messaufnehmer Siemens MAG1100 DN6	
TR811	1.16HP115 K209	0.053 K	19.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR812	1.16HP115 K210	0.053 K	19.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR101	1.16HP115 K101	0.465 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Oberfläche Pt100	
TR102	1.16HP115 K102	0.489 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Oberfläche Pt100	
TR103	1.16HP115 K103	0.494 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Oberfläche Pt100	
TR104	1.16HP115 K104	0,475 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Oberfläche Pt100	
TR105	1.16HP115 K105	0,457 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Oberfläche Pt100	
TR106	1.16HP115 K106	0,430 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Oberfläche Pt100	
TR107	1.16HP115 K107	0,06 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR108	1.16HP115 K108	0,055 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR109	1.16HP115 K202	0,061 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR110	1.16HP115 K110	0,06 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR111	1.16HP115 K204	0,061 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR304	1.16HP115 K207	0,062 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR303	1.16HP115 K109	-- K		Widerstandsthermometer Pt100	Nicht Kalibriert
TR302	1.16HP115 K208	0,054 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR301	1.16HP115 K206	-- K		Widerstandsthermometer Pt100	Nicht Kalibriert
TR501	1.16HP115 K205	0,06 K	13.09.2017	Widerstandsthermometer Pt100	
TR730	1.09HP083 K201	-- % v. MW		Rotronic	Nicht Kalibriert
MR730	1.09HP083 K211	-- % v. MW		Rotronic	Nicht Kalibriert
TR630	1.09HP083 K203	2.64 % v. MW	18.01.2016	Rotronic	

MR630	1.09HP083 K213	2.64 % v. MW	18.01.2016	Rotronic	
PR501	1.07HP201 HART1	106 Pa	07.02.2019	Differenzdruck-Transmitter Endress&Hauser	
PDR801	1.07HP147 HART2	4.67 Pa	30.08.2019	Differenzdruck-Transmitter Rosemont 3051 CD	
Dantec	1.18HP024	0,02 m/s 5 % DR 0,2 °C	18.10.2019	Dantec Comfort Sense	
Laudabad	2.03HP008			Prozessthermostat Lauda UKS 3000	

12. Anhang 4, Messunsicherheit

Siehe Genauigkeitsangaben in Anhang 3, Spezifikationen Messgeräte.

13. Anhang 5, Literaturhinweise

SIA 384/1 : 2013 Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen

SN EN 1264 : 2011 Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung

Anhang 7 – Oekobilanz holzpur

Ökobilanz Vollholzsystem holzpur

Autoren

Philippe Stolz, Rolf Frischknecht

Kunde

Walter Küng AG

Uster, 30. April 2015

Impressum

Titel	Ökobilanz Vollholzsystem holzpur
Autoren	Philippe Stolz;Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.treeze.ch Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Walter Küng AG
Copyright	All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of treeze Ltd. or the customer. A provision of this report or of files and information from this report on other websites is not permitted. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification.
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	527-Oekobilanz-holzpur-v1.1, 30.04.2015 14:42:00

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
CH	Schweiz
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
RER	Europa
UBP	Umweltbelastungspunkte

Zusammenfassung

Die Holzbauunternehmung Walter Küng AG produziert in Alpnach-Dorf das Vollholzsystem holzpur. Dieses Produkt zeichnet sich durch den vollständigen Verzicht auf Metallteile, Klebstoffe und Holzschutzmittel sowie durch das Nutzen regionalen Holzes aus. In der vorliegenden Studie wurde eine Ökobilanz gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich erstellt.

Die Herstellung wird in verschiedene Prozessschritte unterteilt: Produktion von Rundholz im Forst Giswil, Herstellung und Trocknung von Schnittholz in der Lang-Sägewerk AG und Fertigung des Vollholzsystems holzpur in der Walter Küng AG. Es wurden spezifische Daten für die einzelnen Schritte in der Lieferkette erhoben, um die Herstellung des Vollholzsystems holzpur der Firma Walter Küng AG ganzheitlich abzubilden. Bei Datenlücken wurde auf vergleichbare Prozesse aus dem ecoinvent-Datenbestand v2.2+ zurückgegriffen oder es wurden realistische Annahmen getroffen. Die Entsorgung des Vollholzsystems holzpur wurde analog zur Entsorgung anderer Holzwerkstoffen modelliert. Dabei wurde angenommen, dass 50 % des Holzes recycelt und die restlichen 50 % der Verbrennung zugeführt werden.

Zur Wirkungsabschätzung wurden gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013, der kumulierte Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) sowie die Treibhausgasemissionen ausgewertet (Frischknecht 2013). Die Ergebnisse sind in Tab. Z. 1 aufgelistet.

Die Gesamtumweltbelastung beträgt 539 UBP/kg holzpur, wobei 512 UBP/kg auf die Herstellung und 27 UBP/kg auf die Entsorgung entfallen. Für die Gesamtumweltbelastung sind vor allem die Wirkungskategorien Landnutzung, die Emissionen von Schadstoffen und Partikeln in die Luft, Treibhausgasemissionen sowie Energieressourcen von Bedeutung. Knapp 80 % der Gesamtumweltbelastung werden durch die Ernte von Rundholz im Forst Giswil und die Produktion von Schnittholz in der Lang-Sägewerk AG verursacht.

Der Primärenergiebedarf wird zum überwiegenden Teil aus erneuerbaren Quellen gedeckt. Hauptverantwortlich für den gesamten Primärenergiebedarf von 37.7 MJ/kg ist die im Holz gespeicherte Energie, die in den Endprodukten enthalten ist oder bei der Wärmeversorgung aus Holzfeuerungen eingesetzt wird. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf von 1.67 MJ/kg wird vor allem durch die Nutzung fossiler Energieträger bei Transporten verursacht.

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen betragen 95 gCO₂-eq/kg respektive 10 gCO₂-eq/kg. Die Anteile der Produktion von Rundholz, von Schnittholz und von holzpur betragen 15.8 %, 46.2 % und 24.7 %. Die Holztrocknung ist mit einem Anteil von 3.6 % an den totalen Treibhausgasemissionen von untergeordneter Bedeutung.

Tab. Z. 1 Ergebnisse der Wirkungsabschätzung der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen nach den Umweltindikatoren Gesamtumweltbelastung, Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) und Treibhausgasemissionen.

Indikator	Einheit	holzpur		
		Total	Herstellung	Entsorgung
Gesamtumweltbelastung	UBP/kg	539	512	26.9
Primärenergiebedarf gesamt	MJ oil-eq	37.7	37.6	0.125
Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	MJ oil-eq	1.67	1.54	0.123
Treibhausgasemissionen	kg CO ₂ -eq	0.105	0.095	0.010

Inhalt

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	1
2	UNTERSUCHUNGSUMFANG	2
2.1	Bezugsgrösse	2
2.2	Systemumfang	2
2.3	Allokation	2
2.4	Datengrundlage	3
2.5	Bewertungsmethoden	3
3	SACHBILANZ	4
3.1	Überblick	4
3.2	Forst	4
3.3	Sägerei	7
3.4	Holzbau	11
3.5	Entsorgung	13
4	WIRKUNGSABSCHÄTZUNG	14
4.1	Überblick	14
4.2	Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013	14
4.3	Kumulierter Primärenergiebedarf	16
4.4	Treibhausgasemissionen	17
4.5	Vergleich mit anderen Holzwerkstoffen	18
5	DATENQUALITÄT	20
	REFERENZEN	21

1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Holzbauunternehmung Walter Küng AG produziert in Alpnach-Dorf das Vollholzsystem holzpur. Dieses Produkt zeichnet sich durch den vollständigen Verzicht auf Metallteile, Klebstoffe und Holzschutzmittel sowie durch das Nutzen regionalen Holzes aus. Im Rahmen einer Diplomarbeit hat Herr Patrick Stalder eine Primärenergie-Bilanz des Produktes holzpur erstellt (Stalder 2013). Hierbei hat sich gezeigt, dass die heute in der KBOB-Empfehlung 2009/1:2014 (KBOB et al. 2014a) verfügbaren Ökobilanzdaten zur Holzgewinnung die spezifische Situation des Vollholzsystems holzpur nicht angemessen widerspiegeln.

In der vorliegenden Studie wird die Primärenergie-Bilanz ausgebaut und eine Ökobilanz gemäss den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich erstellt. Es werden zusätzliche Daten für die einzelnen Prozessschritte erhoben, um die Herstellung des Vollholzsystems holzpur der Firma Walter Küng AG ganzheitlich abzubilden. Das Ziel ist die Aufnahme der ermittelten Umweltkennwerte als herstellereigene Daten in die KBOB-Empfehlung 2009/1 bei der nächsten Aktualisierung.

2 Untersuchungsumfang

2.1 Bezugsgrösse

Die Ökobilanz des Vollholzsystems holzpur bezieht sich auf einen Kubikmeter (m^3) eines Vollholz-Elements, das verladefertig in der Produktionshalle der Walter Küng AG steht. Mit der Rohdichte der holzpur Bretter von $420 \text{ kg}/m^3$ (Stalder 2013) kann die Bezugsgrösse in Kilogramm umgerechnet werden.

2.2 Systemumfang

Die Ökobilanz des Vollholzsystems holzpur umfasst

- den Forstbetrieb der Korporation Giswil als hauptsächlicher Holzlieferant der Walter Küng AG mit der benötigten Infrastruktur und den Energie- und Materialaufwänden zur Bewirtschaftung des Waldes sowie den dabei entstehenden Emissionen;
- die Lang-Sägewerk AG mit allen Prozessen zur Herstellung von rohen Brettern aus Rundholz inklusive der benötigten Infrastruktur und den Energie- und Materialaufwänden sowie den dabei entstehenden Emissionen;
- die Produktion des Vollholzsystems holzpur in der Produktionshalle der Walter Küng AG inklusive der benötigten Infrastruktur und den Energie- und Materialaufwänden sowie den dabei entstehenden Emissionen;
- sämtliche Transportaufwendungen für Bau- und Betriebsstoffe sowie für Abfälle;
- jegliche Umweltauswirkungen der Gewinnung von Ressourcen und der Herstellung von Maschinen und Infrastruktur;
- die Entsorgung des Vollholzsystems holzpur am Ende seiner Nutzungsdauer.

2.3 Allokation

Bei Prozessen mit mehreren Produkten (Multi-Output Prozessen) müssen die Aufwendungen für Infrastruktur, Energie und Materialien sowie die Emissionen von Schadstoffen den einzelnen Produkten zugeordnet werden. In der vorliegenden Studie wird dafür der Ansatz der ökonomischen Allokation angewendet, wobei die Umweltauswirkungen entsprechend dem Herstellungspreis und dem jeweiligen Volumenanteil eines Produktes aufgeteilt werden. Der Allokationsfaktor eines Produkts (das heisst sein Anteil an den Umweltauswirkungen des betrachteten Prozesses) ist grösser, je höher der Herstellungspreis und je höher der Volumenanteil des Produkts im Vergleich zu den Koprodukten ist.

2.4 Datengrundlage

Für die Primärenergie-Bilanz wurden bereits etliche Daten beim Holzbauunternehmen Walter Küng AG und bei Lieferanten erhoben (Stalder 2013). Die für eine Ökobilanz erforderlichen weiteren Daten werden ergänzend beim Forstbetrieb der Korporation Giswil, bei der Sägerei Lang AG sowie bei der Walter Küng AG erhoben.

Prozesse, für die keine spezifischen Daten des Vollholzsystems holzpur verfügbar sind, werden auf Basis des ecoinvent Datenbestandes v2.2+ modelliert (KBOB et al. 2014b).

2.5 Bewertungsmethoden

Die Umweltauswirkungen der Herstellung des Vollholzsystems holzpur der Walter Küng AG werden mit drei Indikatoren bewertet:

- Gesamtumweltbelastung in Umweltbelastungspunkten (UBP) nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013).
- Kumulierter Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) in MJ Öl-eq (Frischknecht et al. 2007).
- Treibhausgasemissionen in t CO₂-eq nach IPCC (2013, Tab. 8.A.1).

Die Angabe dieser drei Umweltkennwerte entspricht den Anforderungen der Plattform Ökobilanzdaten im Baubereich (Frischknecht 2013).

3 Sachbilanz

3.1 Überblick

Die Sachbilanz wird unterteilt in die drei Schritte der Holzproduktion im Forst (Kapitel 3.2), der Holzverarbeitung in der Sägerei (Kapitel 3.3) und der Produktion des Vollholzsystems holzpur im Holzbauunternehmen Walter Küng AG (Kapitel 3.4). Die Entsorgung des Vollholzsystems holzpur am Ende des Lebenszyklus wird in Kapitel 3.5 beschrieben.

3.2 Forst

Zur Herstellung des Vollholzsystems holzpur wird regionales Fichten- und Weisstannenholz von der Korporation Giswil verwendet (Stalder 2013). Die Prozesse der Holzproduktion und der Waldbewirtschaftung werden mit den ecoinvent-Datensätzen für „Softwood“ (Nadelholz) modelliert (Werner et al. 2007).

Die Kohlenstoff- und Energiespeicherung in Bäumen wird mit Hilfe der Trockendichte des Holzes berechnet. Das für holzpur-Elemente verwendete Nadelholz hat eine Trockendichte von 400 kg/m^3 (Stalder 2013). Der Kohlenstoffanteil im Holz (49.4 %) sowie der Brennwert (20.4 MJ/kg) werden mangels spezifischer Daten aus ecoinvent übernommen (Werner et al. 2007).

Die Landnutzung von Wald und Waldstrassen pro Kubikmeter geerntetes Holz wird gemäss dem Betriebsbeschrieb des Forsts Giswil an die örtlichen Bedingungen angepasst (Korporation Giswil 2014). Der Kiesbedarf für die Waldstrassen wird aus ecoinvent entnommen und auf die Strassenfläche des Forsts Giswil skaliert (Werner et al. 2007; Korporation Giswil 2014). Die verwendeten Parameterwerte zur Bestimmung der Landnutzung sind in Tab. 3.1 zusammengestellt.

Tab. 3.1 Landnutzung von Wald und Waldstrassen bezogen auf die Produktion von 1 m³ Nadelholz (ohne Rinde).

Parameter	Einheit	Wert	Referenz
Produktive Waldfläche	ha	2'588	Korporation Giswil 2014
Holznutzung	m ³ /a	14'500 (14'000–15'000)	Korporation Giswil 2014 (Annahme)
Lebensdauer Wald	a	1'000	Werner et al. 2007 (Annahme)
Landnutzung Wald	m ² ·a/m ³	1'780	Berechnung
Landtransformation Wald	m ² /m ³	1.78	Berechnung
Erschliessung durch Waldstrassen	m/ha	15	Korporation Giswil 2014
Strassenbreite	m	2	Werner et al. 2007 (Annahme)
Strassenfläche	ha	7.76	Berechnung
Landnutzung Waldstrassen	m ² ·a/m ³	5.35	Berechnung
Landtransformation Waldstrassen	m ² /m ³	0.00535	Berechnung
Kiesbedarf Waldstrassen	kg/m ³	34.3	Werner et al. 2007 (skaliert auf Strassenfläche)

Die Bestimmung des Dieserverbrauchs von Baumaschinen und der Nutzung von Motorsägen für die Bewirtschaftung (Bestandesgründung, Kulturpflege, Läuterung) des Waldes ist schwierig zu bestimmen, weil die Korporation Giswil neben der Holzproduktion für diverse weitere Arbeiten zuständig ist.¹ Aus diesem Grund werden Werte aus ecoinvent für die Nutzung von Baumaschinen und Motorsägen in der Waldbewirtschaftung verwendet (Werner et al. 2007).

Stalder (2013) hat den Dieserverbrauch von Baumaschinen (1.25 L/m³ geerntetes Holz) und die Aufwendungen zum Transport des Forstpersonals für die Korporation Giswil erfasst. Die Transportdistanz beträgt 5 km und die durchschnittliche Fällleistung von vier Personen ist 120 m³/d. Für den Benzin- und Schmierölverbrauch von Motorsägen werden zusätzliche Daten erhoben. Pro Tag ist eine Motorsäge im Durchschnitt während 7.5 Stunden in Betrieb und braucht 5 L Benzin und 2.5 L biogenes Schmieröl.² Während dieser Zeit werden ungefähr 30 m³ Holz gefällt und entastet. Der ecoinvent-Datensatz für die Nutzung einer Motorsäge ohne Katalysator wird entsprechend den spezifischen Benzin- und Ölverbräuchen angepasst, während der Einsatz der Motorsäge sowie der Verbrauch von Sägeketten unverändert bleiben. Die Schadstoffemissionen,

¹ Persönliche Mitteilung André Halter, Revierförster der Korporation Giswil, vom 16.12.2014.

² Persönliche Mitteilung André Halter, Revierförster der Korporation Giswil, vom 16.12.2014 und 17.12.2014.

die durch die Verbrennung von Benzin und den Austritt von Schmieröl verursacht werden, werden gemäss dem Verbrauch von Benzin und Schmieröl skaliert.

Neben Rundholz entstehen beim Fällen von Bäumen zusätzlich Industrieholz, das zu Papier verarbeitet wird, und Brenn- oder Schnitzelholz.³ Die Aufwendungen für die Maschinen sowie für das Wachstum und die Bewirtschaftung des Waldes müssen somit auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt werden. Die Aufwendungen zur Holzproduktion werden gemäss einem ökonomischen Allokationsfaktor unter den Produkten aufgeteilt (Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Allokationsfaktoren für die Koprodukte Rundholz, Industrieholz und Brennholz basierend auf Angaben von André Halter, Revierförster der Korporation Giswil (persönliche Mitteilung vom 16.12.2014).

Produkt	Allokationsfaktor (%)
Rundholz	75.7
Industrieholz	8.5
Brenn-/Schnitzelholz	15.8

Die Eingangsgrössen für das Wachstum und die Bewirtschaftung des Waldes sowie die Ernte von Holzprodukten aus dem Wald in Giswil sind in Tab. 3.3 bis Tab. 3.5 aufgelistet.

Tab. 3.3 Sachbilanzdaten für das Wachstum von Nadelbäumen im Forst Giswil.

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	softwood, standing, under bark, holzpur, in forest	UncertaintyType	StandardDeviations5%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				m3			
product	softwood, standing, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1			
resource, land	Occupation, forest, intensive, normal	-	-	m2a	1.96E+3	1	1.56	(2,1,1,1,1,5,BU:1.5); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, from forest, extensive	-	-	m2	1.96E+0	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, to forest, intensive, normal	-	-	m2	1.96E+0	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
resource, biotic	Wood, soft, standing	-	-	m3	1.10E+0	1	1.30	(4,1,1,1,3,1,BU:1.05); including bark (10 %); ecoinvent report 9
	Energy, gross calorific value, in biomass	-	-	MJ	8.98E+3	1	1.30	(4,1,1,1,3,1,BU:1.05); Density (dry) = 400 kg/m3, Gross calorific value = 20.4 MJ/kg; ecoinvent report 9, Stalder 2013
resource, in air	Carbon dioxide, in air	-	-	kg	7.97E+2	1	1.30	(4,1,1,1,3,1,BU:1.05); Density (dry) = 400 kg/m3, C-content = 49.4 %; ecoinvent report 9, Stalder 2013

³ Persönliche Mitteilung André Halter, Revierförster der Korporation Giswil, vom 16.12.2014.

Tab. 3.4 Sachbilanzdaten für die Bewirtschaftung des Forsts Giswil.

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	softwood, stand establishment / tending / site development, under bark, holzpur, in forest	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH			
	InfrastructureProcess				0			
	Unit				m3			
product	softwood, stand establishment / tending / site development, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1			
resource, land	Occupation, traffic area, road embankment	-	-	m2a	5.35E+0	1	1.56	(2,1,1,1,1,5,BU:1.5); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, from forest, extensive	-	-	m2	5.35E-3	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	Transformation, to traffic area, road embankment	-	-	m2	5.35E-3	1	2.05	(2,1,1,1,1,5,BU:2); ; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
technosphere	diesel, burned in building machine, with particle filter	GLO	0	MJ	2.06E+0	1	1.13	(1,3,3,2,1,1,BU:1.05); ; ecoinvent report 9
	gravel, crushed, at mine	CH	0	kg	3.43E+1	1	1.15	(1,4,3,2,1,1,BU:1.05); Scaled to land occupation by road; Forstbetrieb Giswil 2014, ecoinvent report 9
	power sawing, without catalytic converter, holzpur	CH	0	h	2.01E-2	1	1.13	(1,3,3,2,1,1,BU:1.05); Forest cultivation; ecoinvent report 9
	transport, lorry 3.5-20t, fleet average	CH	0	tkm	6.86E-1	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Standard distance for gravel (20 km); ecoinvent report 1

Tab. 3.5 Sachbilanzdaten für die Produktion von Rundholz, Industrieholz und Brennholz aus dem Forst Giswil. Die Aufwendungen des Multi-Output Prozesses werden den drei Koprodukten gemäss ökonomischen Allokationsfaktoren angerechnet.

	Name	Location	InfrastructureProcess	Unit	round wood, softwood, under bark, u=70%, holzpur, at forest road	industrial wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	residual wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	UncertaintyType	StandardDeviation95%	GeneralComment
	Location				CH	CH	CH			
	InfrastructureProcess				0	0	0			
	Unit				m3	m3	m3			
product	round wood, softwood, under bark, u=70%, holzpur, at forest road	CH	0	m3	1	0	0			
product	industrial wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	CH	0	m3	0	1	0			
product	residual wood, softwood, under bark, u=140%, holzpur, at forest road	CH	0	m3	0	0	1			
technosphere	softwood, standing, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); ;
	softwood, stand establishment / tending / site development, under bark, holzpur, in forest	CH	0	m3	1.26E+0	5.68E-1	6.31E-1	1	1.05	(1,1,1,1,1,1,BU:1.05); ; André Halter, personal communication 16.12.2014
	diesel, burned in building machine, with particle filter	GLO	0	MJ	5.67E+1	2.55E+1	2.84E+1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5,BU:1.05); Converted to MJ using values from ecoinvent report 1 (1.25l diesel), economic allocation; Stalder 2013
	transport, van <3.5t	CH	0	tkm	1.42E-2	6.39E-3	7.10E-3	1	2.09	(4,5,na,na,na,na,BU:2); Transport of people to the forest converted to MJ using values from ecoinvent report 14 (10km transport), economic allocation; Stalder 2013, Forstbetrieb Giswil 2014
	power sawing, without catalytic converter, holzpur	CH	0	h	3.15E-1	1.42E-1	1.58E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5,BU:1.05); Cutting down of trees; converted to h using values from ecoinvent reports 1 and 7 (0.02 petrol), economic allocation; Stalder 2013

3.3 Sägerei

Im Prozessschritt Sägerei sind der Transport des Rundholzes vom Wald zur Sägerei, die Entrindung, das Aufschneiden des Baumstamms zur Produktion von Holzbrettern sowie deren Trocknung enthalten. Die Infrastruktur der Sägerei wird mit dem entsprechenden ecoinvent-Datensatz modelliert (Werner et al. 2007).

Die geschätzte Transportdistanz von Rundholz vom Wald in Giswil zur Lang-Sägewerk AG in Hochdorf-Ligschwil (50.5 km) wird von Stalder (2013) übernommen. Die Transporte mit einem Seitenstapler zwischen den verschiedenen Prozessschritten der Sägerei werden mit einem geschätzten Dieserverbrauch von 1.5 L pro Stunde Schnittholzproduktion angenähert (Stalder 2013).

Für den Betrieb der benötigten Maschinen wird die elektrische Leistung gemäss Aufstellung von Stalder (2013) auf 385 kW geschätzt. Die Lang-Sägewerk AG bezieht Strom aus Wasserkraftwerken vom Wasserwerk Zug.⁴ Pro Stunde werden in der Sägerei 14.6 m³ Rundholz verarbeitet (Stalder 2013).

Neben Schnittholz werden beim Einsägen von Rundholz auch Lattenware, Industrierestholz (Sägemehl) sowie Rindenschnitzel produziert. Die Aufwendungen für die Verarbeitung von Rundholz werden gemäss einem ökonomischen Allokationsfaktor, der über den Volumenanteil und den Preis jedes Koprodukts berechnet wird, unter den Produkten aufgeteilt. Die verwendeten Allokationsfaktoren sind in Tab. 3.6 zusammengefasst.

Tab. 3.6 Allokationsfaktoren für die Koprodukte Schnittholz, Lattenware, Industrierestholz (Sägemehl) und Rindenschnitzeln basierend auf Angaben von Peter Lang, Geschäftsführer des Lang-Sägewerks (persönlichen Mitteilung vom 13.01.2015).

Produkt	Allokationsfaktor (%)
Schnittholz	84.7
Lattenware	8.4
Industrierestholz	1.6
Rindenschnitzel	5.3

Die rohen Holzbretter haben eine Feuchtigkeit von 70 % und müssen nach der Produktion getrocknet werden. Bis zu einer Feuchtigkeit von 18–20 % wird das Schnittholz für ungefähr acht Monate im Freien gelagert.⁵ Die Parameter für die Bestimmung der für die Freilufttrocknung genutzten Landfläche sind in Tab. 3.7 aufgelistet.

⁴ Persönliche Mitteilung Peter Lang, Geschäftsführer der Lang-Sägewerk AG, vom 23.02.2015.

⁵ Persönliche Mitteilung Peter Lang, Geschäftsführer des Lang-Sägewerks, vom 20.01.2015.

Tab. 3.7 Landnutzung zur Trocknung von Schnittholz in der freien Luft.

Parameter	Einheit	Wert	Referenz
Landfläche für Freilufttrocknung	m ²	700	Persönliche Mitteilung Peter Lang, 13.01.2015
Gelagerte Menge Schnittholz	m ³	650	Persönliche Mitteilung Peter Lang, 13.01.2015
Dauer Holz-trocknung	a	0.67	Persönliche Mitteilung Peter Lang, 20.01.2015
Nutzungsdauer Lagerfläche	a	100	Werner et al. 2007 (Annahme)
Landnutzung Lagerfläche	m ² ·a/m ³	0.72	Berechnung
Landtransformation Lagerfläche	m ² /m ³	0.0072	Berechnung

Nachdem das Schnittholz eine Feuchtigkeit von ungefähr 20 % erreicht hat, wird es mit dem Seitenstapler in eine beheizte und belüftete Trocknungskammer transportiert. Die Infrastruktur für die technische Holz-trocknung wird mit dem entsprechenden ecoinvent-Prozess modelliert (Werner et al. 2007). Die luft-trockenen holzpur Bretter werden für 7 Tage in der Kammer getrocknet bis sie eine Feuchtigkeit von 6 % erreicht haben. Im Verlauf der Trocknung nimmt das Volumen des Holzes um 5 % ab (Stalder 2013). Der Stromverbrauch der 9 Ventilatoren in der Trocknungskammer wird mit deren elektrischer Leistung von je 0.75 kW berechnet. Die Heizung der Sägerei wird mit Rindenschnitzeln aus eigener Produktion betrieben. Dabei wird angenommen, dass sich die saisonalen Schwankungen (Verkauf von Rindenschnitzeln im Sommer, Zukauf im Winter) im Jahresverlauf ausgleichen. Der Energieverbrauch für die Kammertrocknung wird mit Hilfe des Wasserentzugs der Bretter von 56 kg/m³ berechnet. Mit einem angenommenen Energiebedarf von 4.6 MJ/kg entzogener Wassermenge (Stalder 2013) beträgt der totale Heizenergiebedarf für die technische Holz-trocknung 271 MJ/m³ getrocknetes Schnittholz.

Neben der Trocknungskammer werden auch die Werkstatt und Büros der Sägerei Lang sowie 11 Wohneinheiten mit Wärme aus der Holzfeuerung der Sägerei versorgt. Zur Bestimmung des Wärmebedarfs der einzelnen Verbraucher müssen Standardwerte herangezogen werden, weil der Energieverbrauch nicht gemessen wird. Die Daten zur Erzeugung und zum Verbrauch von Wärme aus der Holzfeuerung der Sägerei sind in Tab. 3.8 zusammengefasst. Es wird angenommen, dass die Wärmeenergie, die nicht für die Versorgung der Trocknungskammer und der 11 Wohneinheiten aufgewendet wird, für die Beheizung der Gebäude der Lang-Sägewerk AG verbraucht wird. Dies entspricht einem Heizenergiebedarf von 870 MJ/m³ verarbeitetes Rundholz.

Die Holz-schnitzelheizung wird mit dem entsprechenden ecoinvent-Datensatz modelliert (Werner et al. 2003), wobei als Brennstoff die Rindenschnitzel aus dem Sägeprozess eingesetzt werden.

holzpur eingesetzt. Der totale Strombedarf beträgt 44.9 kWh/m^3 zu holzpur verarbeitetes Schnittholz. Die ermittelten Energieverbräuche zur Beheizung der Produktionshalle (Fernwärme) und der Büros (Holzschnitzelheizung) bezogen auf das zu holzpur verarbeitete Schnittholz sind 97.5 MJ/m^3 respektive 9.5 MJ/m^3 .

Bei der Herstellung von holzpur-Elementen aus getrocknetem Schnittholz fällt Holzschnitzel als Nebenprodukt an. Es werden ökonomische Allokationsfaktoren bestimmt, um die Umweltauswirkungen des Multi-Output Prozesses den beiden Produkten zuzuordnen (Tab. 3.11).

Tab. 3.11 Allokationsfaktoren für die Koprodukte holzpur und Restholz bei der Herstellung von holzpur-Elementen basierend auf Angaben von Patrick Stalder und Stephan Küng, Walter Küng AG (persönliche Mitteilungen vom 02.02.2015 und 26.02.2015).

Produkt	Allokationsfaktor (%)
holzpur	99.3
Restholz	0.7

Buchendübel werden verwendet, um die einzelnen Holzbretter zu einem holzpur-Element zusammen zu halten. Das Volumen von Buchendübeln beträgt $0.006 \text{ m}^3/\text{m}^3$ holzpur. Die Buchendübel werden näherungsweise mit dem ecoinvent-Datensatz für getrocknetes und gehobeltes Schnittholz aus Laubbäumen modelliert. Um die Winddichtigkeit von holzpur zu gewährleisten, wird ein Windpapier aus 100 % Zellulosefasern zwischen die geschichteten Holzbretter gelegt. Pro Kubikmeter holzpur werden 1.05 kg Windpapier eingesetzt.⁷ Das Windpapier wird mit dem ecoinvent-Datensatz für gebleichtes Kraftpapier modelliert. Die Umweltauswirkungen der Buchendübel und des Windpapiers werden nur dem Produkt holzpur angerechnet.

Die Sachbilanzdaten für die Herstellung von holzpur-Elementen sind in Tab. 3.12 aufgelistet.

⁷ Persönliche Mitteilung Patrick Stalder, Walter Küng AG, vom 26.02.2015.

4 Wirkungsabschätzung

4.1 Überblick

Die Umweltauswirkungen der Herstellung von holzpur-Elementen werden mit den Indikatoren Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Kapitel 4.2), Kumulierter Primärenergiebedarf gesamt und nicht erneuerbar (Kapitel 4.3) sowie Treibhausgasemissionen (Kapitel 4.4) bewertet. Die drei Umweltkennwerte werden dann mit jenen anderer Holzwerkstoffe verglichen (Kapitel 4.5). Da sich die in der KBOB-Empfehlung aufgeführten Umweltkennwerte jeweils auf das Gewicht eines bestimmten Produkts beziehen, werden die Indikatoren in Bezug auf 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur ausgedrückt. Die Umrechnung von Kubikmeter in Kilogramm geschieht durch Division durch die Rohdichte eines holzpur-Elements, die 420 kg/m^3 beträgt (Stalder 2013).

4.2 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013

Der Indikator Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) berücksichtigt alle politisch regulierten Schadstoffemissionen und Ressourcenverbräuche und wird in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt.

Die Gesamtumweltbelastung der Herstellung von holzpur-Elementen ist in Fig. 4.1 dargestellt und beträgt 539 UBP/kg , wobei 512 UBP/kg auf die Herstellung und 27 UBP/kg auf die Entsorgung entfallen. Bei der Herstellung wird zusätzlich unterschieden zwischen den verschiedenen Prozessschritten zur Produktion von Rundholz im Forst Giswil, zur Herstellung und Trocknung von Schnittholz in der Lang-Sägewerk AG sowie zur Fertigung des Vollholzsystems holzpur in der Walter Küng AG. Die Ernte und das Aufschneiden von Holz tragen mit 38.2% und 40.4% die grössten Anteile zur Gesamtumweltbelastung von holzpur bei. Die Beiträge der Holz Trocknung und der Herstellung von holzpur im Holzbauunternehmen entsprechen 6.3% und 11.2% . Der Anteil der Entsorgung an der Gesamtumweltbelastung von holzpur beträgt 4.0% .

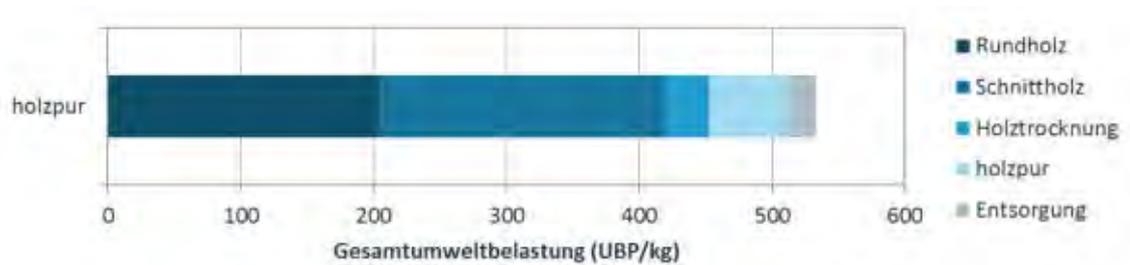


Fig. 4.1 Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

Bei der Betrachtung der einzelnen Wirkungskategorien der Methode der ökologischen Knappheit 2013 wird deutlich, dass die Landnutzung das Gesamtergebn mit 43.8 % mit Abstand am stärksten bestimmt (Fig. 4.2). Diese Umweltauswirkung wird fast ausschließlich (94.8%) durch die Nutzung des Waldes zur Produktion von Holz verursacht.

An zweiter Stelle folgt die Wirkungskategorie der Luftschadstoff- und Partikelemissionen, die für 17.2 % der Gesamtumweltbelastung verantwortlich ist. Mehr als die Hälfte dieser Emissionen (53.4 %) wird durch die Holzfeuerung in der Sägerei verursacht. Es fällt auf, dass nur 17.0 % der Emissionen von Luftschadstoffen und Partikeln in der Holzfeuerung dem Prozess der Holz Trocknung zugeschrieben werden kann, während die restlichen 83.0 % auf die Beheizung der Gebäude der Sägerei zurück zu führen sind.

Die dritt wichtigste Wirkungskategorie umfasst die Emission von Treibhausgasen mit einem Anteil von 9.0 % an der Gesamtumweltbelastung. Treibhausgasemissionen entstehen bei allen Prozessschritten.

Die Nutzung von Energieressourcen trägt weitere 8.4 % zur Gesamtumweltbelastung der Produktion von holzpur bei. Das natürliche Wachstum der Bäume im Wald verursacht durch die Absorption von Sonnenstrahlung 82.8 % der Umweltbelastung in dieser Wirkungskategorie.

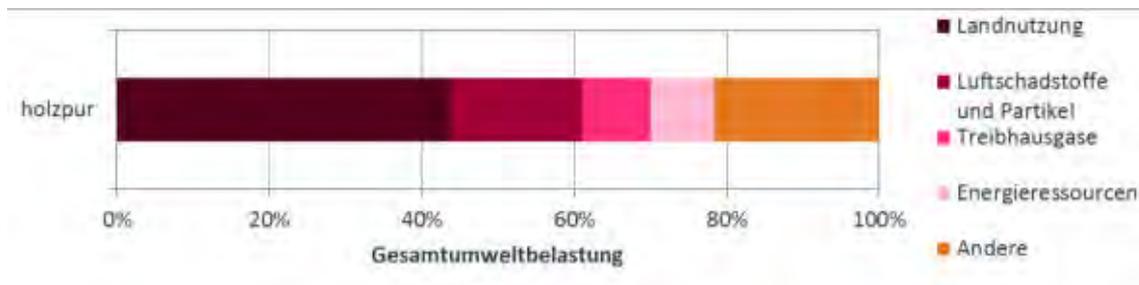


Fig. 4.2 Anteile der vier wichtigsten Wirkungskategorien an der Gesamtumweltbelastung der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

4.3 Kumulierter Primärenergiebedarf

Der kumulierte Primärenergiebedarf wird nach der Methode von Frischknecht et al. (2007) bestimmt. Die Anteile der einzelnen Prozessschritte am gesamten und am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf der Herstellung und Entsorgung von holzpur sind in Fig. 4.3 und Fig. 4.4 dargestellt.

Der gesamte Primärenergiebedarf beträgt 37.6 MJ/kg. Ein Anteil von 60.7 % wird dabei durch die Produktion von Rundholz verursacht. Die Herstellung von Schnittholz trägt 28.5 % zum gesamten Primärenergiebedarf bei, während die Holz Trocknung und die Fertigung von holzpur-Elementen für Anteile von 5.7 % respektive 5.1 % verantwortlich ist. Der Primärenergiebedarf der Entsorgung von holzpur ist vernachlässigbar.

Der überwiegende Teil des Primärenergiebedarfs stammt aus erneuerbaren Quellen in Form von im Holz gespeicherter Energie, die in den Endprodukten enthalten ist oder bei der Wärmeversorgung aus Holzfeuerungen eingesetzt wird. Dies wird deutlich bei der Betrachtung des nicht erneuerbaren Anteils am kumulierten Primärenergiebedarf der Herstellung von holzpur, der 1.67 MJ/kg beträgt. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf wird hauptsächlich mit fossilen Energieträgern gedeckt und durch Transporte verursacht, die bei jedem Prozessschritt benötigt werden. Neben den Transporten trägt auch die Infrastruktur zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf bei.

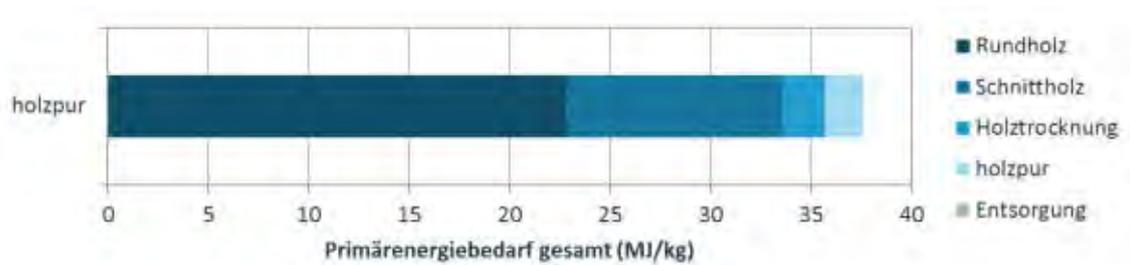


Fig. 4.3 Gesamter kumulierter Primärenergiebedarf der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

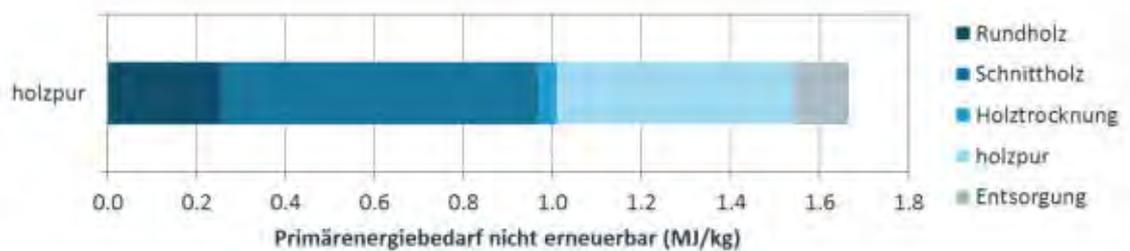


Fig. 4.4 Nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

4.4 Treibhausgasemissionen

Zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen, die bei der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen verursacht werden, werden die aktuellsten Treibhauspotenziale gemäss IPCC (2013) angewandt. Die Emissionen der unter dem Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase werden mit dem Treibhauspotenzial (global warming potential, GWP) über einen Zeitraum von 100 Jahren gewichtet und summiert.

Die Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von holzpur-Elementen betragen 95 gCO₂-eq/kg respektive 10 gCO₂-eq/kg. In Fig. 4.5 Beiträge der einzelnen Prozessschritte zu den totalen Treibhausgasemissionen von 1 Kilogramm holzpur dargestellt. Die Anteile der Produktion von Rundholz, von Schnittholz und von holzpur betragen 15.8 %, 46.2 % und 24.7 %. Bei der Trocknung von Schnittholz entstehen 3.6 % der totalen Treibhausgasemissionen. Die Entsorgung von holzpur-Elementen trägt 9.7 % zu den totalen Treibhausgasemissionen bei. Die Treibhausgasemissionen entstehen vor allem durch den Verbrauch fossiler Energieträger und werden somit hauptsächlich durch Transporte und die Bereitstellung der Infrastruktur verursacht. Daneben trägt das Windpapier im holzpur-Element gemessen an seinem Gewichtsanteil (0.3 %) mit 3.9 % stark zu den Treibhausgasemissionen bei.

Das mit einem Anteil von 87.0 % mit Abstand wichtigste Treibhausgas ist Kohlendioxid (CO₂). Die Treibhausgase Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) tragen 4.4 % und 7.7 % zum Treibhauspotenzial der Herstellung und Entsorgung von holzpur bei. Während Methan vor allem durch die Verbrennung fossiler Energieträger entsteht,

liegen die wichtigsten Emissionsquellen von Lachgas bei den Holzfeuerungen, die die Sägerei und das Holzbauunternehmen mit Wärme versorgen.

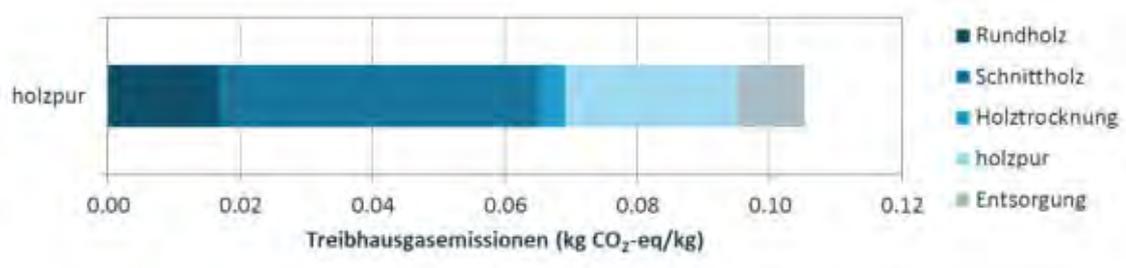


Fig. 4.5 Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

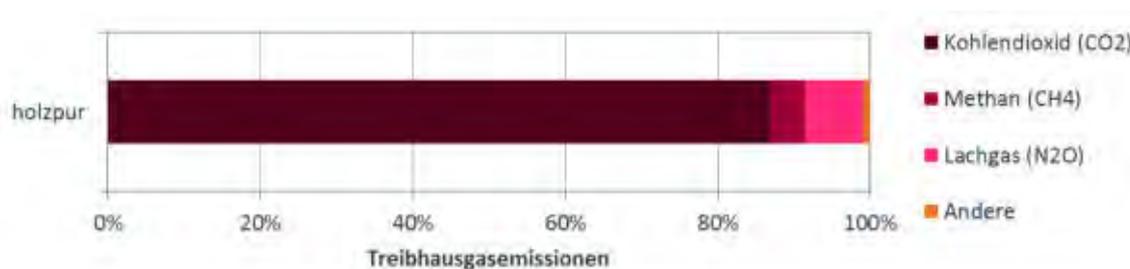


Fig. 4.6 Anteile der einzelnen Substanzen an den Treibhausgasemissionen der Herstellung und Entsorgung von 1 Kilogramm des Vollholzsystems holzpur.

4.5 Vergleich mit anderen Holzwerkstoffen

In der KBOB-Empfehlung werden die Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung verschiedener Baumaterialien zusammengefasst und publiziert (KBOB et al. 2014a). Diese Daten erlauben einen Vergleich der Umweltkennwerte von holzpur mit jenen anderer Baumaterialien aus Holz. Die Materialien „Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich“ (ID-Nummer 07.002) und „Brettschichtholz, MF-gebunden, Feuchtbereich“ (ID-Nummer 07.003) sind besonders geeignet für einen Vergleich mit dem Vollholzsystem holzpur. Letzteres besteht auch aus einer Schicht von Holzbrettern, die aber durch Holzdübel zusammen gehalten werden anstatt durch Formaldehydbasierte Kunstharze. Zusätzlich wird das Baumaterial „Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt“ (ID-Nummer 07.011) für einen Vergleich mit holzpur herangezogen.

Die Kennwerte Umweltbelastungspunkte, Primärenergiebedarf gesamt und nicht erneuerbar sowie Treibhausgasemissionen der erwähnten Baumaterialien sind in Tab. 4.1 aufgelistet. holzpur wird nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 deutlich besser bewertet als UF- oder MF-gebundenes Brettschichtholz. Die Gesamtumweltbelastung liegt aber leicht höher als jene von getrocknetem und gehobeltem Massivholz, was vor allem auf die Wirkungskategorie Landnutzung zurück zu führen ist. Der Wald in Giswil wird weniger intensiv bewirtschaftet als der in

ecoinvent modellierte Wald, wodurch eine grössere Fläche pro Kubikmeter geerntetes Holz benötigt wird.

Der gesamte Primärenergiebedarf von holzpur übersteigt jenen der vergleichbaren Baumaterialien. Der Grund für diese Abweichung liegt im hohen Primärenergiebedarf der Produktion von Schnittholz. Beim nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sowie bei den Treibhausgasemissionen wird holzpur besser bewertet als die anderen Baumaterialien aus Holz, was mit dem hohen Anteil erneuerbarer Energien im eingesetzten Strommix begründet werden kann.

Die Treibhausgasemissionen von holzpur-Elementen sind tiefer als jene von vergleichbaren Holzwerkstoffen. Der Grund dafür liegt in der Nutzung von stark auf Wasserkraft basierendem Strom sowie von biogenen Energieträgern für die Wärmebereitstellung. Im Vergleich zu Formaldehyd-gebundenem Brettschichtholz wird zudem die Herstellung des Kunstharzes eingespart.

Tab. 4.1 Vergleich der Umweltkennwerte der Herstellung und Entsorgung von holzpur mit den KBOB-Kennwerten anderer Holzwerkstoffe (KBOB et al. 2014a).

Baumaterialien	Bezug	UBP13			Primärenergiebedarf ges.			Primärenergiebedarf n.e.			Treibhausgasemissionen		
		Total	Herst.	Ents.	Total	Herst.	Ents.	Total	Herst.	Ents.	Total	Herst.	Ents.
		UBP	UBP	UBP	MJ _{oil} _{eq}	kgCO ₂ -eq	kgCO ₂ -eq	kgCO ₂ -eq					
holzpur	kg	539	512	26.9	37.7	37.6	0.125	1.67	1.54	0.123	0.105	0.095	0.010
Brettschichtholz, UF-gebunden, Trockenbereich	kg	950	863	86.8	34.4	34.2	0.212	8.13	7.92	0.208	0.545	0.424	0.121
Brettschichtholz, MF-gebunden, Feuchtbereich	kg	995	908	86.8	35.1	34.9	0.212	8.86	8.65	0.208	0.584	0.463	0.121
Massivholz Fichte / Tanne / Lärche, kammergetr., gehobelt	kg	496	469	26.9	25.0	24.9	0.125	3.61	3.49	0.123	0.138	0.128	0.010

5 Datenqualität

Die vorliegende Ökobilanz beruht weitgehend auf belastbaren Informationen, die spezifisch für die Lieferkette der Walter Küng AG und die Herstellung des Vollholzsystems holzpur erhoben wurden. Die Eingangsdaten für die meisten Prozesse konnten mit zufrieden stellender Genauigkeit ermittelt werden.

Unsicherheiten bestehen vor allem bei der Holzfeuerung, die von der Lang-Sägewerk AG betrieben wird. Die in der Holzfeuerung erzeugte Energie wurde mit Hilfe des Volumens der eingesetzten Rindenschnitzel geschätzt. Zudem sind keine Daten zur bezogenen Wärmemenge der einzelnen Verbraucher verfügbar. Da der Energieverbrauch der Wohneinheiten und der Trocknungskammer mit Standardwerten abgeschätzt werden konnte, wurde die restliche Energiemenge der Beheizung der Gebäude der Sägerei angerechnet.

Für die Aufteilung des Wärme- und Stromverbrauchs der neuen Produktionshalle und der Büros der Walter Küng AG wurde der Anteil der holzpur-Herstellung abgeschätzt, da keine genaueren Daten verfügbar sind.

Referenzen

- Frischknecht et al. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht 2013 Frischknecht R. (2013) Memo: Regeln für Ökobilanzdaten im Baubereich gemäss der KBOB-Liste. Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich", KBOB, eco-bau, IPB, Uster, retrieved from: http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Produktspezifische_Regeln.pdf.
- Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013 Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.
- IPCC 2013 IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- KBOB et al. 2014a KBOB, eco-bau and IPB (2014a) KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: <http://www.bbl.admin.ch/kbob/00493/00495/index.html?lang=de>.
- KBOB et al. 2014b KBOB, eco-bau and IPB (2014b) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- Korporation Giswil 2014 Korporation Giswil (2014) Betriebsbeschreibung Forst Giswil. Korporation Giswil, Giswil, CH, retrieved from: <http://www.korporation-giswil.ch/assets/files/betriebsbeschreibung.pdf>.
- Stalder 2013 Stalder P. (2013) Primärenergie des Vollholzsystems "holzpur". Höhere Fachschule Holz Biel, Biel CH.
- Werner et al. 2003 Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K. and Jungbluth N. (2003) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. Final report ecoinvent 2000 No. 9. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

- Werner et al. 2007
Werner F., Althaus H.-J., Künniger T., Richter K. and Jungbluth N. (2007) Life Cycle Inventories of Wood as Fuel and Construction Material. ecoinvent report No. 9, v2.0. EMPA Dübendorf, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Wyss et al. 2014
Wyss F., Frischknecht R. and Itten R. (2014) Hintergrundbericht zur Aktualisierung der Materialdaten der KBOB-Liste, v2.2+ Stand 2014. Bundesamt für Umwelt BAFU, Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB

Anhang 9 – Grundsätze GNB 2022

GRUNDSÄTZE GESUNDES UND NACHHALTIGES BAUEN	SNBS Themen	SNBS Nr.
Umwelt: Ressourcen, Biodiversität		
Umweltschonende Erstellung und Betrieb Baustelle (Schutz von Boden, Wasser, Luft, Lärmvermeidung), Abfallvermeidung, Entsorgungskonzept, Anlieferungsbedingungen (Mobilität), Energiemonitoring	Umweltschonende Erstellung (Baustelle, Ressourcenschonung und Verfügbarkeit), Umwelt-, entsorgungs- und gesundheitsrelevante Bestandteile); Umweltschonender Betrieb (systematische Inbetriebnahme, Energiemonitoring, Abfallentsorgung und Anlieferungsbedingungen)	303, 304
Bausubstanz Nachwachsende Rohstoffe, Mineralische Rohstoffe, Stoffkreisläufe, trenn- und rezyklierbare Baustoffe	Bausubstanz (Bauweise, Bauteile, Bausubstanz)	202
Energie und Klima Erneuerbare Energien, Treibhausgasemissionen (Erstellung, Betrieb, Mobilität)	Energie: Energiebedarf (Erstellung, Betrieb, Mobilität); Klima: Treibhausgasemissionen (Erstellung, Betrieb, Mobilität)	301, 302
Nutzbarkeit des Grundstücks geologische Randbedingungen, Altlasten, Naturgefahren, Erdbebensicherheit, technische Erschliessung, Bodeneinflüsse (Radon, Erdmagnetfelder)	Nutzbarkeit des Grundstücks (geologische Randbedingungen, Altlasten, Naturgefahren, Erdbebensicherheit, technische Erschliessung)	204
Aussenraum Lebensräume und Artenvielfalt (Biodiversität), Erholungsqualität, Versickerung, Retention, Siedlungsentwicklung (bauliche Verdichtung)	Umgebung (Flora und Fauna) (Versickerung und Retention); Siedlungsentwicklung (Bauliche Verdichtung)	306, 307
Gesellschaft		
Diversität Sozial durchmischte Wohnformen, Siedlungen und Quartiere, Nutzungsdichte, Angebot im Quartierumfeld, Hindernisfreies Bauen	Diversität (Nutzungsdichte, Angebot im Quartierumfeld, Hindernisfreies Bauen)	103
Soziale Siedlungsaspekte Inklusion, Austausch, Partizipation, Verbindung Wohnen-Arbeiten, Städtebau und Architektur	Planungsverfahren (Partizipation); Nutzung und Raumgestaltung: Halböffentliche Innen- und Aussenräume; Gebrauchsqualität privater Innen- und Aussenräume	102, 104, 105
Erreichbarkeit Erreichbarkeit, Zugang, verkehrstechnische Erschliessung, umweltschonende und gesellschaftsverträgliche Mobilität (Mobilitätskonzept)	Erreichbarkeit (Erreichbarkeit, Zugang, verkehrstechnische Erschliessung); Umweltschonende Mobilität (Mobilitätskonzept)	205, 305
Baukultur Kulturelle Errungenschaften, Denkmalpflege, traditionelles Handwerk, Innovationen	Städtebau und Architektur	102
Individuelles Wohlbefinden / Ethik		
Raumgestaltung Raumqualität (harmonische, auf die menschliche Physiologie und Psyche abgestimmte Raumgestaltung bezüglich Proportionen), visueller Komfort (Tageslicht), Sicherheit	Nutzung und Raumgestaltung: Halböffentliche Innen- und Aussenräume, Sicherheit	104
Thermischer Komfort Gebäudetechnik Raumklima (Raumluft, hygroskopische und dampfdiffusionsfähige Baustoffe), Oberflächen- und Raumtemperatur (Dämmung, Speicherung, sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz)	Gesundheit (Raumluftqualität, ionisierende Strahlung); Thermischer Komfort (sommerlicher, winterlicher Wärmeschutz)	107, 108
Luftqualität Gebäudetechnik (Luftqualität innen und aussen) elektromagnetische Felder, ionisierende Strahlung	Gesundheit (Raumluftqualität, ionisierende Strahlung)	107
Wasserqualität Gebäudetechnik (sanitäre Anlagen, Wasserkreislauf, Trinkwasser, Abwasser)	Regenwassernutzung (Umgebung)	306
Akustischer Komfort Schallschutz (Schall- und Vibrationsschutz) und Akustik	Visueller und akustischer Komfort (Tageslicht, Schallschutz)	106
Normen und Werte Rechtliche Normen und Labels, Werthaltungen		
Wirtschaft		
Unternehmensführung Arbeitsbedingungen, Arbeitsethik, Transportwege		
Eigentumsverhältnisse Entscheidungsfindung, Planungsverfahren (Partizipation)	Eigentumsverhältnisse (Entscheidungsfindung); Leitfragen/Ziele; Planungsverfahren (Partizipation)	203, 101, 102
Lebenszyklusbetrachtung Investitions-, Lebenszyklus-, Unterhalts-, Betriebs- und Entsorgungskosten	Lebenszyklusbetrachtung (Lebenszykluskosten, Betriebskonzept)	201
Nutzung und Raumgestaltung Raumnutzungsflexibilität, langfristige Planung	Nutzung und Raumgestaltung: Private Räume (Nutzungsflexibilität Gebrauchsqualität privater Innen- und Aussenräume)	105
Regionalökonomie Bevölkerung und Arbeitsmarkt (Nachfrage, Nutzungsangebot), Regionales ökonomisches Potential (Regionale Wertschöpfungskette), Marktpreise	Regionalökonomie: Bevölkerung und Arbeitsmarkt (Nachfrage, Nutzungsangebot); Regionales ökonomisches Potential (Regionale Wertschöpfungskette); Marktpreise (Miet- und Verkaufspreis)	207, 208, 206