

Facharbeit

Moderner Holzbau ohne Leim

Abschlussarbeit zur Eidg. Berufsprüfung Baubiologin/ Baubiologe

Verfasser

Urs Etzensperger

Expertinnen / Experten

Ania Kurowska

Daniel Miesch

Winterthur, 20.09.2021



„Wir leben besser, indem wir die Rhythmen und Kreisläufe der Natur nutzen und uns von den Kräften der Wälder tragen lassen.“

Erwin Thoma, 2019

(Quelle Titelbild: Archiv Zehnder Holz und Bau 2020)

1. Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis	3
2. Vorwort	4
3. Einleitung	5
4. Ziel der Arbeit	5
5. Adressat	5
6. Kurze Geschichte des Holzbaus	5
7. Leim im Holzbau	7
8. Verleimte Produkte	7
8.1. Brettschichtholz	8
8.2. Brettsperrholz	8
8.3. OSB	9
8.4. Furnierschichtholz	9
8.5. Bewertung	9
9. Positive Eigenschaften von Holz	11
10. Holzbausysteme ohne Leim	12
10.1. Appenzellerholz und Holz100	12
10.2. Brettstapel	13
10.3. Blockbau/ Strickbau	14
10.4. Rahmenbau	15
10.5. Bewertung	16
11. Umbauten und Renovationen	16
12. Vergleich von Holz100, Rahmenbau nach gnB und konventionellem Rahmenbau	17
12.1. Bewertungssystem	18
12.2. Aufbau 1 - Holz100	19
12.3. Aufbau 2 - Rahmenbau nach gesundem und nachhaltigem Bauen	20
12.4. Aufbau 3 - Konventioneller Rahmenbau	21
12.5. Bewertung	22
12.6. Fazit der Bewertung	25
13. Schlusswort	26
14. Abstract/Kurzfassung	26
15. Begriffserklärung und Abkürzungen	27
16. Literaturverzeichnis/ Quellenangaben	29
17. Autorenschaft/ Urhebererklärung	31
18. Anhang	32

2. Vorwort – oder das gelbe Wundermittel

Vor zwanzig Jahren schloss ich meine Lehre als Zimmermann ab. Seither arbeite ich mit kleinen Unterbrüchen in der Holzbaubranche. In dieser Zeit bildete ich mich zum Holzbautechniker weiter und arbeitete anschliessend einige Jahre als Projektleiter. Dabei fehlte mir aber die handwerkliche Tätigkeit. Vor acht Jahren beschloss ich deshalb wieder auf der Baustelle zu agieren. Seither bekleide ich eine Stelle als Holzbaupolier in einer innovativen Holzbauunternehmung in Winterthur. In den letzten 23 Jahren durfte ich viele Entwicklungen im Holzbau miterleben. In meiner Lehre beispielsweise banden wir sägefrisches, tropfnasses Bauholz ab. Anschliessend legten wir die fertigen Sparren, Pfetten und Pfosten auf Zimmermannsböcke und spritzten sie mit einer Motorspritze ringsum mit einer gelben, übelriechenden Flüssigkeit ein. Dies sollte das Bauholz vor holzschädigendem Pilz- und Insektenbefall schützen und sei dringendst nötig, hiess es. Ein Teil des Holzschutzmittels landete natürlich immer auf dem Abbundplatz am Boden und wurde vom nächsten Regen in die Kanalisation gespült. Aber dies war normal und kümmerte niemanden. Besser eingerichtete Zimmereien verfügten für diesen Vorgang über ein Tauchbecken. Heute stehen mir bei meinen Erinnerungen und den damals begangenen Umweltsünden die Nackenhaare zu Berge. Unterdessen kommen solche Szenarien zum Glück, zumindest soweit mir bekannt ist, nicht mehr vor. Das gelbe Wundermittel, die Motorspritze und die Tauchbecken sind aus den Zimmereien verschwunden. Schon seit einiger Zeit wissen wir, dass wir das Bauholz bloss trocknen müssen. Trockenes Holz wird nämlich weder von Pilzen noch von Insekten befallen. Vieles veränderte sich in den letzten zwanzig Jahren. Meistens in eine gute Richtung. Trotzdem gibt es auch heute noch einige Fragezeichen.

Wir bauen beispielsweise fast ausschliesslich mit mittels komplexen, chemischen Verbindungen verleimten Holzwerkstoffen. Dass Formaldehyd, welches im Leim steckt, schädlich sein kann, wissen wir. Bei vielen neuen Stoffen und Methoden wissen wir aber nicht so genau, was sie oder deren Abbauprodukte auslösen können. Es ist noch nicht abschliessend erforscht.

In zwanzig Jahren werden wir mit Sicherheit mehr wissen. Vielleicht werden sich dann aktuelle Produkte, die heute ohne Bedenken verbaut werden, zum gelben Wundermittel und zum Kopfschütteln dazu gesellen. Wichtig ist also, dass wir wachsam bleiben und unsere Arbeitsweise, Bauweise und unsere Produkte bezüglich gesundem und nachhaltigem Bauen fortwährend überprüfen und weiter entwickeln.

Während meiner Ausbildung zum Holzbautechniker lernte ich:

„So viel Holzschutzmittel wie nötig, so wenig wie möglich!“

In dieser Arbeit möchte ich die obige Aussage in Bezug auf das Verleimen von Holzwerkstoffen folgendermassen umwandeln:

„So viel Leim wie nötig, so wenig wie möglich!“

3. Einleitung

In dieser Arbeit beschäftige ich mich mit pragmatischen Lösungsansätzen für möglichst leimfreie Holzbaukonstruktionen. Wobei ich mir bewusst bin, dass der Holzbau nur unter Ausnützung aller technischen Errungenschaften, mehrgeschossige oder weit gespannte Objekte realisieren kann. Bei kleineren Objekten können wir aber mit etwas gutem Willen mehrheitlich auf verleimte Bauteile verzichten.

Im Zweifelsfall bin ich immer für eine Brettsperrholzplatte oder einen Brettschichtholzträger, wenn diese eine Betonwand oder einen Stahlträger ersetzen können. Ein Holzbau ist immer, wenn möglich, einem Stahlbetonbau vorzuziehen.

In dieser Arbeit befasse ich mich nur mit der Holzkonstruktion bis und mit innerer Verkleidung. Schreinereinbauten wie Küchen und Einbauschränke, Bodenbeläge, Anstrichstoffe, usw. werden nicht behandelt. Diese sollten natürlich ebenfalls auf das baubiologische Konzept abgestimmt sein.

4. Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist einerseits die Problematik von verleimten Holzprodukten zu untersuchen und andererseits leimfreie Elementkonstruktionen vorzustellen und gemäss den Kriterien des gesunden und nachhaltigen Bauens miteinander zu vergleichen.

5. Adressat

Das Zielpublikum dieser Arbeit sind in erster Linie Planer und Bauherren, welche sich für nachhaltiges Bauen mit Holz interessieren.

Dem ausführenden Holzbauer kann diese Arbeit helfen, auf die Wünsche des Bauherrn einzugehen und diese umzusetzen.

6. Kurze Geschichte des Holzbaus

Holz ist eines der ältesten Baumaterialien der Menschheit. Aus der Jungsteinzeit bis in die Bronzezeit sind Überreste von Pfahlbauten erhalten, die eine frühe Holzbaukultur der Bodenseeregion und der Ostschweiz dokumentieren. Dabei handelt es sich meist um Skelettbauten mit in den Boden gerammten Pfosten. Zwischen den Pfosten wurde mit Lehm, Lehmsteinen oder lehmverputztem Flechtwerk ausgefacht. Diese Bauweise beanspruchte relativ wenige hochwertige Baumstämme. Im Vergleich dazu benötigte der ebenfalls sehr alte Blockbau enorme Mengen Holz. Die Lebensdauer von Pfostenbauten war jedoch auf 20 bis 30 Jahre begrenzt,



Riegelhaus aus dem 16. Jahrhundert
Trottenstrasse 5, Winterthur
(Quelle Foto: UE 2021)

denn die in den Boden gerammten Hauptstützen waren dauerhafter Feuchtigkeit ausgesetzt und als primäres Tragwerksteil konnten sie nicht ausgewechselt werden, ohne die gesamte Konstruktion in Frage zu stellen.

Ab dem 12. Jahrhundert revolutionierten die Fachwerkstrukturen den Holzbau. Nach und nach entwickelte sich der Fachwerkbau, der bei uns besser bekannt ist als Riegelbau, zur mit Abstand am häufigsten eingesetzten Bauweise. Die Wände des Fachwerkbaus bestehen aus Pfosten und diagonalen Streben, die zusammen mit Schwelle und Einbindern Wandscheiben ausbilden, auf denen die Deckenbalken aufgelegt werden. Im Gegensatz zum früheren Pfostenbau ist die Konstruktion vom Fachwerkbau nicht mehr auf die Einspannung der Pfosten im Boden angewiesen. Die Holzkonstruktion wurde neu auf steinerne Fundamente gebaut und so von der Erdfeuchte und Spritzwasser entfernt. Dies bewirkte, dass die Gebäude viel länger bestanden und immer noch bestehen. Mit dem Fachwerkbau etablierte sich folglich sehr viel Wissen um den konstruktiven Holzschutz, das bis heute angewandt wird. Der Fachwerkbau veränderte die Arbeitsweise der Zimmerleute. Erstmals mussten Objekte genau geplant werden, damit die Holzbauteile vorgefertigt werden konnten.

In den holzreichen Bergregionen, wie beispielsweise dem Berner Oberland oder dem Wallis, entwickelte sich der Blockbau weiter.

Ab dem 19. Jahrhundert wurden Holzbauten vor allem in den Städten durch Mauerwerksbauten ersetzt, wobei aber die Geschossdecken, die Dachkonstruktion, sowie die Treppenanlagen nach wie vor aus Holz erstellt wurden. Holz war immer noch eines der am besten verfügbaren stabförmigen Bauteile. Dies änderte sich als Stahl und Beton mit der Industrialisierung zum Massenprodukt wurden. Bis Mitte des 20. Jahrhunderts war Holz in Mitteleuropa weitgehend aus modernen Gebäudeträgwerken verschwunden.

In vielen Bergregionen und in der Landwirtschaft wurde natürlich weiterhin viel Holz verbaut.



Löchlgaist Vereinshaus, Eschenz
(Quelle Foto: Archiv Zehnder Holz und Bau 2019)



Historischer Boden/Wandanschluss im Blockbau, Ballenberg
(Quelle Foto: UE 2021)

Bis anhin verwendete der Holzbau als Verbindungsmittel Holz / Holzverbindungen, wie Zapfen und Zapfenloch, Holznägel, Metallnägel oder Schrauben.

Um 1900 erfand der deutsche Zimmermeister Otto Hetzer Tragwerke aus verleimten Brettlamellen. Daraus entstanden zahlreiche Hallenkonstruktionen und Perron-Überdachungen. Der Hetzer-Träger ist der Vorläufer des heutigen weit verbreiteten Brettschichtholzes.

Seit den 1970 Jahren begann sich der Holzbau stetig weiter zu entwickeln. Aus den USA wurden Holzwerkstoffe wie OSB-Platten eingeführt oder

Konstruktionen, wie beispielsweise der standardisierte Ständerbau übernommen und zum Tafel- oder Rahmenbau weiterentwickelt. Dadurch entstand der eigentliche Holzelementbau.

In den letzten Jahren wurde der Holzbau durch die Einführung von Furnierschichtholz und Brettspertholz nochmals revolutioniert. Brettspertholz wurde in Deutschland und Österreich 1998 bauaufsichtlich zugelassen. Im Jahr 2000 schrieb Andrea Deplazes (2000, S.23): „Das Grundelement des aktuellen Holzbaus ist konsequenterweise nicht mehr der Stab, sondern die Platte.“

Aktuell sind Hybridkonstruktionen sehr im Trend. Zum Beispiel Stahlbetonbauten mit Fassaden in Holzbau-elementen oder Holz-Beton Verbunddecken.

(nach Stefan Krötsch, www.baunetzwissen.de)

7. Leim im Holzbau

Ursprünglich wurde verleimtes Brettschichtholz eingesetzt, wenn die Dimensionen eines Balkens zu gross waren, so dass er nicht aus einem Baum gesägt werden konnte. Mit dieser Technik konnten massivere Querschnitte hergestellt und damit grössere Spannweiten überbrückt werden. Verleimte Platten wurden dort eingesetzt, wo die gesägten Bretter zu schmal waren. Heute werden jedoch für fast alles verleimte Holzwerkstoffe eingesetzt, auch wenn dies gar nicht unbedingt nötig wäre. Sogar Rostlatten (30mm / 60mm) sind oftmals keilgezinkt. Viele Bauteile liessen sich problemlos aus Massivholz sägen. Massivholz hat aber den Ruf, sich sehr stark zu verziehen. Deshalb wird fast immer verleimtes Holz bevorzugt. Schlägt man aber die Bäume zur richtigen Jahreszeit (Winter), wenn möglich bei abnehmendem Mond (Mondholz) und lässt das Holz mindestens ein Jahr lufttrocknen, verzieht sich das Holz viel weniger. Die Holzindustrie will aber möglichst das ganze Jahr Holz verarbeiten und sofort technisch trocknen.



PUR-Verleimung, Mirapur
(Quelle Bild: Debrunner Acifer, 2021)

(nach Thoma 2019)

8. Verleimte Produkte

Im konventionellen modernen Holzbau wird heute eigentlich ausschliesslich mit verleimten Holzwerkstoffen gebaut. Als konventionellen Holzbau bezeichne ich Holzbauobjekte, die nicht spezifisch nach den Grundsätzen des gesunden und nachhaltigen Bauens erstellt werden.

Für Tragwerke wird meistens Brettschichtholz verwendet. Brettspertholzplatten oder Furnierschichtholz werden als aussteifende Wände oder als tragende Decken und Dächer eingesetzt. Mit OSB-Platten wird alles Mögliche verkleidet, unter anderem werden damit Rahmenbauelemente ausgesteift oder Böden beplankt.

Für die Analyse des konventionellen Holzbaus möchte ich mich mit den vier gängigsten und vor allem innenseitig montierten Produkten befassen, da sie für das Innenraumklima eine zentrale Rolle

spielen können. Bei allen vieren handelt es sich um verleimte Produkte. Ich beschränke mich auf konstruktive Materialien und nicht auf Verkleidungen, die im Innenausbau verwendet werden.

- Brettschichtholz
- Brettsperrholz
- OSB-Platten
- Furnierschichtholz

8.1 Brettschichtholz

Als Brettschichtholz bezeichnet man aus Holzlamellen verleimtes Konstruktionsholz. Die Lamellen sind in der Regel 40mm stark und in der Länge keilgezinkt. Verwendung finden vor allem Fichte, Tanne und Lärche. Zu Spezialzwecken wird auch Brettschichtholz aus Laubholz wie Esche und Buche verwendet.

Verwendung:

Pfosten, Unterzüge, Ständer, Elementrippen, Sparren, Balkenlagen

Verleimung:

Polyurethan-Klebstoffe PU/ PUR, Phenol-Formaldehyd-Harze PF

Leimanteil: 3%

Graue Energie: 4145 MJ/m³

Emissionen:

PUR-Klebstoffe im Bereich von naturbelassenem Holz.

PF-Klebstoffe geringe Neigung zur Abgabe von Formaldehyd.



Unterzug und Balkenlage in Brettschichtholz, Bruderhaus Winterthur

(Quelle Foto: UE 2021)

8.2 Brettsperrholz

Als Brettsperrholz bezeichnet man kreuzweise verlegte und flächig miteinander zu Platten verleimte Bretter. Verwendung finden vor allem Fichte, Tanne und Lärche.

Verwendung:

Tragende Decken/Dächer, tragende/ aussteifende Wände

Verleimung:

Polyurethan-Klebstoffe PU/ PUR, Melamin - Harnstoff-Formaldehyd-Klebstoffe MUF, Emulsion-Polymer-Isocyanat-Klebstoffe EPI

Leimanteil: 3%

Graue Energie: 5059 MJ/m³

Emissionen:

PUR- und EPI-Klebstoffen im Bereich von naturbelassenem Holz.

MUF-Klebstoffen nachträgliche Abgabe von kleinen Mengen Formaldehyd.



Brettsperrholz

(Quelle Foto: www.dataholz.eu)

8.3 OSB (Oriented Strand Board)

Als OSB bezeichnet man Grobspanplatten. Als Rohstoff dienen hochwertige Fichtenspäne aus Rundholz.

Verwendung:

Beklankung zur Aussteifung und als luftdichte Schicht

Verleimung:

Melamin-Harnstoff-Phenol-Formaldehyd MUPF aussen und Polymeres Diphenylmethandiisocyanat PMDI innen

Leimanteil: 8%

Graue Energie: 6011 MJ/m³

Emissionen:

Erhöhtes VOC-Emissionspotenzial, hauptsächlich Aldehyde.



OSB als Elementbeplankung
(Quelle Foto: UE 2021)

8.4 Furnierschichtholz (z.B. Kerto)

Als Furnierschichtholz bezeichnet man kreuzweise zu Platten verklebte Fichten- oder Kieferschäl furniere.

Verwendung:

Tragende Decken/Dächer, tragende/aussteifende Wände

Verleimung:

Phenol-Formaldehyd-Harze PF

Leimanteil: 8%

Graue Energie: 13014 MJ/m³

Emissionen:

PF-Klebstoffe geringe Neigung zur Abgabe von Formaldehyd.



Furnierschichtholz
(Quelle Foto: UE 2021)

(Angaben zu allen Baustoffen:

- nach Linden, 2018
- nach „KBOB – Empfehlung, Ökobilanz im Baubereich“, 2016)

8.5 Bewertung

Die vier oben genannten analysierten Materialien verbrauchen verglichen mit Fichtenholz (lufttrocken, gehobelt: 1359 MJ/m³) alle relativ viel graue Energie, wobei die Herkunft und die damit verbundenen Transportwege auch zu berücksichtigen sind. Alle vorgestellten Materialien ausser dem Furnierschichtholz sind aus lokalem Schweizerholz erhältlich. Furnierschichtholz, meistens Kerto, wird in Finnland produziert, wobei die finnische Forstwirtschaft, aus eigener Erfahrung, nicht über

alle Zweifel erhoben ist. Der naturnahe Nutzwald, in dem systematisch reife Bäume geschlagen werden und gleichzeitig junge Bäume gefördert werden, ist in Finnland nach Aussage eines lokalen Blockbauers eigentlich nicht vorhanden. Föhren werden grossflächig kahlgeschlagen und als Monokultur wieder aufgeforstet.

Die vier oben genannten Baustoffe sind entweder formaldehydfrei verleimt oder relativ emissionsarm. Mit geeigneten Massnahmen im Innenbereich lassen sich problemlos Objekte mit einem hochwertigen, emissionsarmen Innenraumklima bauen. Dabei werden die Baustoffe nicht direkt als sichtbare Oberfläche verbaut, sondern verkleidet. Ein mit Schafwolle gedämmter Installationsrost hinter der Verkleidung, bindet sehr effizient Formaldehyd. Schafwolle hat nämlich die Eigenschaft Formaldehyd anzulagern und diese irreversibel chemisch zu binden. Als Verkleidung können zum Beispiel mittels Weissleim natürlich verleimte Holzwerkstoffplatten, Täferungen oder Lehmbauplatten dienen.

Von 2006 bis 2008 erstellte beispielsweise die Firma Zehnder Holz und Bau AG aus Winterthur, zusammen mit den Architekten Spörri & Schmitter aus Rapperswil, für die Schulgemeinde Wallisellen die Tagesbetreuungsstätte „Arche“. Dabei handelt es sich um einen zweigeschossigen konventionellen Holzrahmenbau. Für die konstruktiven Bauteile wurde OSB, Brettschichtholz und Dreischichtplatten verwendet. Der Innenausbau ist aber komplett schadstofffrei. Nach den oben genannten Prinzipien wurden die Installationsebenen mit Schafwolle bestückt. Die „Arche Wallisellen“ ist der erste Holzbau in der Schweiz, der mit dem Gütesiegel „GI Gutes Innenraumklima“ ausgezeichnete wurde.

Im Jahr 2016, nachdem die Arche aus allen Nähten platzte, wurde sie um ein weiteres Geschoss erhöht.



Arche Wallisellen mit Aufstockung
(Quelle Foto: Archiv Zehnder Holz und Bau 2016)



Arche Wallisellen Innenausbau mit
Dreischichtplatten
(Quelle Foto: Archiv Zehnder Holz und Bau 2016)

Von den Herstellern werden Polyurethan-Klebstoffe (PU-Leime), die beispielsweise bei Brettschichtholz und Brettsperrholz verwendet werden, als völlig unbedenklich und sehr umweltverträglich angepriesen. Diese Verleimungen sind zwar formaldehydfrei, aber trotzdem nicht unbedenklich. PU-Klebstoffe stehen unter dem Verdacht krebserzeugend zu sein. Dämpfe beim Aushärten des Leims können Augen und Schleimhäute reizen. Ausgehärtete PU-Leime sollen keine toxischen Eigenschaften mehr haben. Was aber mit dem Abrieb des Leims durch den täglichen Gebrauch passiert, weiss niemand so genau und noch viel weniger, wo er wieder auftauchen wird.

Laut Erwin Thoma (2016) könnten Bestandteile der Molekülstrukturen des Leims nach langen Zeiträumen im biologischen Kreislauf beispielsweise im Trinkwasser als Giftstoffe wieder auftauchen. Erwiesen ist auf jeden Fall, dass PU-Leim biologisch sehr schwer abbaubar ist. Zudem ist Polyurethan einer der giftigsten Kunststoffe, fast so giftig wie PVC. Polyurethan gehört wie PVC zu den Chlor-Kunststoffen. Die Herstellung von PU verschlingt ca. 11% des weltweit produzierten Chlors. Selbst die Entsorgung ist problematisch. Bei der Verbrennung werden unter anderem Dioxine, Blausäure und Isocyanate freigesetzt. Sogar in der Deponie zersetzt sich PU in klimaschädliche Stoffe.

Grundsätzlich verzichten wir deshalb besser auf das Verbauen von Polyurethan verleimten Holzwerkstoffen.

Vielleicht sollte man bei verleimten Bauteilen, falls diese unbedingt nötig sind, besser auf eine nicht formaldehydfreie, aber emissionsarme Verleimung zurückgreifen.

(nach Thoma, 2016, S. 108)

(nach Linden, 2018)

9. Positive Eigenschaften von Holz

Auf die folgenden allgemein bekannten positiven Eigenschaften von Holz werde ich nicht weiter eingehen. In der Fachliteratur oder in älteren Abschlussarbeiten wird darüber ausführlich berichtet und es würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

- nachwachsender Rohstoff
- einheimischer Rohstoff
- CO₂-Speicher
- Schallschutz
- Brandverhalten
- sommerlicher Wärmeschutz durch Masse
- Wärmedämmung
- Statik
- Feuchtigkeitsaufnahme und -Abgabe
- Schutz vor elektrischer Strahlung

Holz hat aber auch noch ganz andere, weniger bekannte positive Eigenschaften.

Schon lange wurde vermutet, dass Arvenholz eine entspannende Wirkung auf uns Menschen hat. In den letzten Jahren wurden dazu verschiedene Studien durchgeführt, wobei unter anderem die Herzfrequenz von Testpersonen in Massivholzräumen und Spanplattenräumen untersucht und verglichen wurden. Es wurden Schlafzimmer, Büros und Schulräume getestet. Bei allen Studien kam heraus, dass die Herzfrequenz der Testpersonen in den Massivholzräumen deutlich abnahm. Aber nicht nur bei Arvenholz, sondern auch bei Fichtenholz. Wahrscheinlich sogar bei allen Nadelbäumen mit ätherischen Ölen: Fichte, Tanne, Föhre/ Kiefer, Lärche, Arve. Unter anderem wurden bei Testpersonen in Massivholzräumen pro Nacht durchschnittlich 3500 Herzschläge weniger gemessen als in Spanplattenräumen. Auch die subjektiven Wahrnehmungen ergaben, dass sich die

Versuchspersonen entspannter, besser ausgeschlafen und teilweise auch geselliger oder weniger gehemmt fühlten.

Holzoberflächen sind, entgegen der allgemeinen Volksmeinung, überhaupt nicht unhygienisch, sondern hoch antibakteriell. Auf Holz überleben Bakterien viel weniger lang als auf Glas, Metall oder Kunststoff. Das Holz entzieht den Bakterien das Wasser und somit die wichtigste Lebensgrundlage. Auch chemische Inhaltsstoffe des Holzes können aktiv Bakterien, Pilze und Viren bekämpfen. Besonders herausragend sind dabei Kiefer/ Föhre und Lärche mit ihren Tanninen und Eiche mit der Gerbsäure. Dies ist auch für unseren Alltag interessant. Kunststoffschnidbretter sind beispielsweise in der Küche viel unhygienischer als Holzbretter, da sich besonders in den Schneidkerben Bakterien sehr wohl fühlen.

(nach Thoma, 2016)

10. Holzbausysteme ohne Leim

Im folgenden Abschnitt stelle ich verschiedene Holzbausysteme, welche ohne Verleimungen auskommen, vor. Bei allen Systemen handelt es sich um Konstruktionen für tragende Wände und Decken/ Dächer.

Den Beschreibungen ist zu entnehmen, ob die Konstruktionen im Normalfall innen über sichtbare Oberflächen verfügen oder ob diese verkleidet werden.

Grundsätzlich sind die äusseren Verkleidungen individuell. In meinem Beispiel werden alle Konstruktionen mit einem Windpapier, Rostlattung und Holzschalung bestückt.

10.1 Appenzellerholz und Holz100

Die verdübelten Vollholzplatten von Appenzellerholz und Holz100 sind sicher der Rolls-Royce unter den leimfreien Holzkonstruktionen. Die Vollholzplatten werden als Wände, Decken oder Dächer eingesetzt. Je nach Einsatz variiert der Aufbau der Vollholzplatten. Beide Fabrikate verwenden rohe Bretter, welche horizontal, vertikal und diagonal verlegt und mittels eingepressten Hartholzdübeln verbunden werden. Zwischen den Brettlagen wird als luftdichte Schicht ein Windpapier verlegt. Mittels CNC Portalen werden die Platten zugeschnitten.

Je nach Hersteller können die einzelnen Scheiben 3.2m breit und 25.0m lang sein. Die Stärke beträgt 120mm bis 400mm.

Die Oberfläche wird häufig sichtbar verbaut um die positiven Eigenschaften des Holzes zu nutzen, wie beispielsweise Feuchtigkeit aufzunehmen und wieder abzugeben.

Die verdübelten Platten bewähren sich durch ihre Duktilität. Sie sind sehr effizient als statische Scheiben.

Die Vollholzwände erreichen sehr hohe Brandschutzanforderungen. Dies ohne zusätzliche Brandschutzverkleidungen.

Eine reine Vollholzwand von 360mm Stärke erreicht einen statischen U-Wert von 0.23W/m²K. Je nach gefordertem U-Wert wird aussenseitig eine zusätzliche Holzfaserverplatte montiert.



Appenzellerholz
(Quelle Foto: www.lignum.ch)



Appenzellerholz
(Quelle Foto: www.naegeli-holzbau.ch)

Dank ihrer grossen Masse erreichen die Vollholzelemente sowohl einen hervorragenden sommerlichen Wärmeschutz wie auch ein angenehmes Innenraumklima.

Eine Gebäudehülle aus Vollholz schützt ausserdem vor Elektrosmog und hochfrequenten Strahlen.

Beide Hersteller preisen ihre Produkte als leim- und metallfrei an. Für die statischen Verbindungen der einzelnen Elemente werden jedoch herkömmliche Stahlteile und Schrauben oder Nägel verwendet.

Appenzellerholz besteht aus Schweizer Holz aus der Region Appenzell. Es ist auf Wunsch in Mondholz erhältlich.

Holz100 garantiert Mondholz aus Österreichischen oder Schweizer Wäldern.

Appenzellerholz wird von der Firma Nägeli AG in Gais, Appenzell produziert.

www.naegeli-holz.ch

Holz100 kommt von der Thoma-Holz GmbH aus Goldegg in Österreich. Für den Schweizer Markt wird Holz100 im Schwarzwald produziert und von der Holz100 Schweiz AG aus Steinen importiert.

www.holz100.ch

(nach Koller, 2011)

10.2 Brettstapel

Brettstapelemente sind flächige Bauteile und bestehen aus massiven, hochkant nebeneinanderstehenden Brettern, welche mittels Hartholzdübeln oder Nägeln miteinander verbunden sind. Brettstapelemente werden als Wände, Decken oder Dächer eingesetzt. Zur Aussteifung können falls nötig Brettstapelemente mit einer Platte oder aus baubiologischer Sicht besser mit einer Diagonalschalung beplankt werden.



Brettstapel von Bresta
(Quelle Foto: www.tschopp-holzbau.ch)

In der Gebäudehülle eingesetzt werden die Brettstapelelemente aussen mit einer luftdichten Schicht und zusätzlicher Dämmung versehen.

Brettstapelelemente werden sehr häufig als einachsig gespannte Decken eingesetzt. Diese werden häufig in Sichtqualität oder mit Akustikfräsungen verbaut. Sie können problemlos mit verschiedenen Holzbausystemen kombiniert werden. In den letzten Jahren werden Brettstapeldecken häufig als Holz-Betonverbunddecken eingesetzt.

Brettstapelelemente haben dank ihrer grossen Masse hervorragende Eigenschaften im Schallschutz, Brandschutz und dem sommerlichen Wärmeschutz.

Unterdessen sind Brettstapelelemente mit Hartholzdübelverbindungen bei verschiedenen Anbietern erhältlich. Nicht alle angebotenen Produkte sind jedoch aus Schweizer Holz und in der Schweiz hergestellt. Die Herkunft und der Herstellungsort des Holzes sind folglich genau zu prüfen.

Genagelte Brettstapelelemente können grundsätzlich von jedem Holzbauer hergestellt werden, sind aber nicht sehr verbreitet.

Mögliche Lieferanten für Brettstapelelemente:

- BRESTA, Tschopp Holzbau AG
www.tschopp-holzbau.ch
- Optiholz, Kaufmann Oberholzer AG
www.kaufmann-oberholzer.ch
- Sidler Holz AG, Oberlunkhofen
www.sidlerholz.ch

(nach Müller, 2000)

10.3 Blockbau/ Strickbau

Blockbauten sind die ursprünglichen Vollholzkonstruktionen.

Die Wände von Blockhäusern bestehen aus waagrecht, aufeinanderliegenden Baumstämmen oder Balken. An den Gebäudeecken sind diese überblattet.

Beim klassischen Rundholzblockbau, wie er in Kanada häufig praktiziert wird, zeigt man die Form des Baumstammes aussen und innen. In Finnland sieht man häufig seitlich sägegestreifte Balken, Pelka genannt.

Während eines dreimonatigen Praktikums in Finnland durfte ich beim Bau eines Blockhauses mitwirken. Dabei lernte ich ganz neue Eigenschaften und Eigenheiten des Holzes kennen und schätzen.



Moderner Blockbau, Norrklubi, Finnland
(Quelle Foto: UE 2017)

Das Einhalten von Wärmedämmvorschriften und der Luftdichtigkeit nach SIA sind im Rundholzblockbau problematisch. An abgelegenen Orten, wo die Bäume direkt vom Bauplatz verwendet werden, ist es aber nach wie vor eine sinnvolle Bauweise.

In manchen Bergregionen im Alpenraum ist der Blockbau mit gesägten und profilierten Balken (Strickbau) die traditionelle Bauweise. Sie wird auch heute noch fleissig praktiziert. Die Hauptproblematik von Blockbauten ist das grosse Setzmass. Dies ist in der Planung und der Ausführung zu berücksichtigen. Da in unserer Region der Blockbau nicht sehr verbreitet ist, werde ich in dieser Arbeit nicht weiter darauf eingehen.

10.4 Rahmenbau

Der Rahmenbau ist im Vergleich zu den oben genannten Konstruktionen kein Vollholzsystem.

Beim Rahmenbau besteht die Tragkonstruktion aus Schwelle, Einbinder und den dazwischenstehenden Ständern, alles aus Massivholz. Beplankt und dadurch ausgesteift werden die Elemente innenseitig mittels einer Diagonalschalung. Als äussere Beplankung bietet sich eine Holzfaserplatte an.

Der Hohlraum zwischen den Ständern wird ausgedämmt. Dafür eignen sich vor allem Cellulose Fasern, Holzfasern, Schafwolle oder Stroh. Es können aber auch fast alle anderen nachhaltigen, natürlichen Dämmstoffe eingesetzt werden. Innenseitig wird als luftdichte Schicht ein Kraftpapier oder eine Dampfbremse auf die Diagonalschalung montiert. Danach folgt der Installationsrost, welcher zusätzlich gedämmt werden kann. Als innere Verkleidung dienen Leimbau-



Nachhaltiger Rahmenbau, Winterthur
(Quelle Foto: Archiv Zehnder Holz und Bau 2020)

platten, naturbelassenes Täfer oder ein anderes nachhaltiges Material, das die Bauherrschaft wünscht. In der Installationsebene lassen sich die Leitungen der Hausinstallationen sehr einfach führen.

Als Decken- und Dachelemente eignen sich sichtbare oder verkleidete Balken- oder Sparrenlagen. Die beste Lösung allerdings sind Vollholzbalkendecken mit Nut und Kamm. Diese können ebenfalls schon im Werk zu Elementen verschraubt werden. Eine sinnvolle Kombination ergibt sich aus Rahmenbauwänden und Decken aus Brettstapelelementen.

Das Konstruktionsholz, sowie die Holzschalung werden bei den lokalen Sägereien bezogen. Diese verarbeiten im Idealfall Bäume aus den umliegenden Wäldern.

Elemente im Rahmenbausystem kann jede lokale Zimmerei herstellen und montieren. Allenfalls können sich auch zwei kleinere Betriebe zu einer Arbeitsgemeinschaft verbinden.

Einzigartig am Rahmenbau ist die Möglichkeit recycelte Materialien einzusetzen. Bodenriemen aus einem Abbruchhaus können beispielsweise als aussteifende Diagonalschalung in einem Neubau wiederverwendet werden.

10.5 Bewertung

Mit dieser Bewertung will ich auf keinen Fall nachhaltige Holzbausysteme gegeneinander ausspielen. Jedes System hat seine Stärken und Schwächen. Wichtig ist nur, dass sie reflektiert und bewusst eingesetzt werden.

Eigentlich erfüllen die beiden Massivholzkonstruktionen Appenzellerholz und Holz100 die meisten baubiologischen Ansprüche. Sie bestechen durch reine, tragende und aussteifende Vollholzbauteile, ein perfektes Innenraumklima, hervorragender sommerlicher, wie auch winterlicher Wärmeschutz, Schutz vor elektrischen Strahlungen, usw. Was will man mehr? Daher ist es auch nicht erstaunlich, dass bei Gesprächen mit Baubiologen über nachhaltigen Holzbau sofort diese beiden Produktnamen fallen.

Bei genauer Betrachtung gehen aber folgende zwei wichtige Punkte verloren: die ästhetischen Ansprüche und die lokale Wertschöpfung. Nicht jeder Bauherr, der ein nachhaltiges Holzhaus baut, will auch sichtbare Holzoberflächen. Vielleicht bevorzugt ein Bauherr verputzte Lehmwände oder einen mineralischen Aufbau. Natürlich lassen sich Holz100 Wände mit Lehmbauplatten verkleiden. In diesem Fall sollte aber dringendst die Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Nur weil ein Bau nachhaltig sein soll, muss er nicht mit übermässigen Investitionskosten verbunden sein. Nachhaltiges Bauen soll kein Privileg für Reiche sein.

Falls das Verbauen von Appenzellerholz oder Holz100 die einzige baubiologische Massnahme ist, ist dadurch zwar schon viel Positives erreicht, es entsteht aber noch lange kein nachhaltiges Gebäude. Vielmehr sollte das ganze Objekt nach den Grundsätzen des gesunden und nachhaltigen Bauens geplant und erstellt werden.

Wird Appenzellerholz beispielsweise regional verbaut, ist dies natürlich optimal. Wird es aber durch die halbe Schweiz geführt, lässt sich darüber streiten, wie sinnvoll dies ist.

Lokale Holzbauunternehmungen sollen meiner Meinung nach die Chance erhalten nachhaltige Holzrahmenbauten zu erstellen. Nur schon durch die regionale Wertschöpfung ist dies gerechtfertigt und sinnvoll. Forstbetriebe, Sägereien und Holzbauunternehmer schaffen oder erhalten wichtige Arbeitsplätze. Durch die Nutzung von Holz aus den umliegenden Wäldern und die kurzen Distanzen zwischen den Verarbeitern, entfallen lange Transportwege.

Nachteile des Rahmenbaus können durch geeignete Massnahmen kompensiert werden. Fehlende Masse beim Rahmenbau kann beispielsweise mit massiven Innenwänden aus Lehm kompensiert werden. Diese Massnahme wirkt sich auch positiv auf das Innenraumklima aus.

Erstrebenswert sind auch Lösungen, bei welchen die Elemente zum Beispiel von Appenzellerholz kommen, aber die weiteren Arbeiten, wie innere Verkleidungen, Böden und Fassadenverkleidungen von einem lokalen Unternehmer ausgeführt werden.

11. Umbauten und Renovationen

Die Baulandreserven in der Schweiz gehen zur Neige. In städtischen Regionen lässt sich kaum mehr ein Neubau erstellen, ohne dass ein bestehendes Gebäude rückgebaut wird. Wenn verdichtet gebaut werden kann, wenn also auf derselben Grundfläche mehr Wohnraum geschaffen wird, macht dies sicher Sinn. Andernfalls lohnt es sich den Bestand aufzuwerten. Bei denkmalgeschützten Objekten steht ein Neubau natürlich ebenfalls nicht zur Diskussion.

Ein wichtiger Bestandteil der Holzbauprojekte sind daher Umbauten, Renovationen, Anbauten und Aufstockungen. Gemäss Angaben von Markus Zehnder, Inhaber und Geschäftsführer der Zehnder Holz und Bau AG in Winterthur, einer mittelgrossen Holzbauunternehmung, macht schon heute Bauen am Bestand, also Umbauten, Aufstockungen und Anbauten etwa 60 – 65% aller Aufträge aus.

Die oben genannten Holzbausysteme kommen vor allem bei Neubauten vor. Sie können sich

aber je nach dem auch für Aufstockungen oder Anbauten eignen, wobei sich der Rahmenbau dank seiner Flexibilität häufig am besten eignet.

Auch bei Umbauten ist eine gründliche Material- und Unternehmerwahl nach den Kriterien des gesunden und nachhaltigen Bauens notwendig.



Anbau in Rahmenbauweise, Effretikon
(Quelle Foto: UE 2016)

12. Vergleich von Holz100, Rahmenbau nach gesundem und nachhaltigem Bauen und konventionellem Rahmenbau

Holz100 und der Rahmenbau nach den Grundsätzen des gesunden und nachhaltigen Bauens werde ich einem Vergleich unterziehen. Als Referenz ziehe ich zusätzlich einen konventionellen Rahmenbau bei. Ich beschränke mich auf diese drei Systeme. Holz100 steht stellvertretend für die Massivholzsysteme, denn die Unterschiede von Holz100 zu Appenzellerholz sind baubiologisch betrachtet marginal. Der Rahmenbau nach gnB steht für nachhaltige Lösungen, welche jede Holzbauunternehmung anbieten kann. Der konventionelle Rahmenbau dient als Vergleichsreferenz. Verglichen werden drei Aussenwände. Die Aussenwände sollen den U-Wert von $0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Grenzwert für Neubauten mit Wärmebrückennachweis) nicht überschreiten. Innen und aussen sollen sie sichtbare, unbehandelte Holzoberflächen aufweisen.

Als Standort wird Winterthur angenommen.

Es wird angenommen, dass immer wenn möglich mit regionalen Holzbauern gebaut wird und diese möglichst lokale Materialien verwenden.

Die bauphysikalischen Werte sind mit www.ubakus.de berechnet.

Die Werte für die Graue Energie stammen ebenfalls von www.ubakus.de. Sie können von den Werten der „KBOB – Empfehlung, Ökobilanz im Baubereich 20009/1:2016“ leicht abweichen.

12.1 Bewertungssystem

Die Bewertungskriterien entnehme ich den Grundsätzen des gesunden und nachhaltigen Bauens.
Folgende Bewertungskriterien werden miteinander verglichen:

Wohlbefinden des Menschen

- a) Wärmedämmung
- b) Wärmespeicherung/ sommerlicher Wärmeschutz
- c) Raumklima/ Luftfeuchte
- d) Emissionen/ Innenraumluft
- e) Schutz vor elektrischer Strahlung

Umwelt/ Ressourcen

- f) Einsatzmöglichkeit recycelter Materialien
- g) Recyclbarkeit/ Entsorgung
- h) CO₂- Speicher
- i) Regionale Materialien/ kurze Transportwege
- j) Nicht erneuerbare Graue Energie

Wirtschaft

- k) Regionale Wertschöpfung
- l) Investitionskosten

Pro Kriterium werden null bis drei Punkte vergeben.

0 = gar nicht erfüllt

1 = genügend

2 = gut

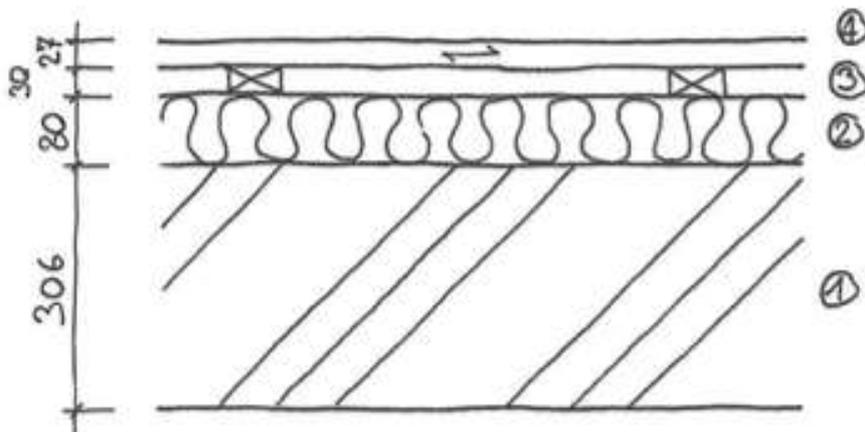
3 = sehr gut

12.2 Aufbau 1 - Holz100

Aufbau von innen nach aussen

Nr.		Stärke mm	Gewicht kg/m ²	Graue Energie MJ/m ²
1.	Holz100	306	137.7	409.8
2.	Weichfaserplatte	80	16.0	192.3
3.	Hinterlüftungslattung	30	1.2	3.6
4.	Stülpchalung	27	7.7	22.5
		443	162.6	628.2

U-Wert: 0.20 W/m²K
 S_d-Wert: 11.6m
 Phasenverschiebung: 24h
 Amplitutendämpfung: grösser 100
 Speicherkapazität innen: 157 kJ/m²K
 Wandstärke: 460mm
 Gewicht: 162.6 kg/m²
 Graue Energie: 628.2 MJ/m²
 Investitionskosten: 637.- Fr/m²

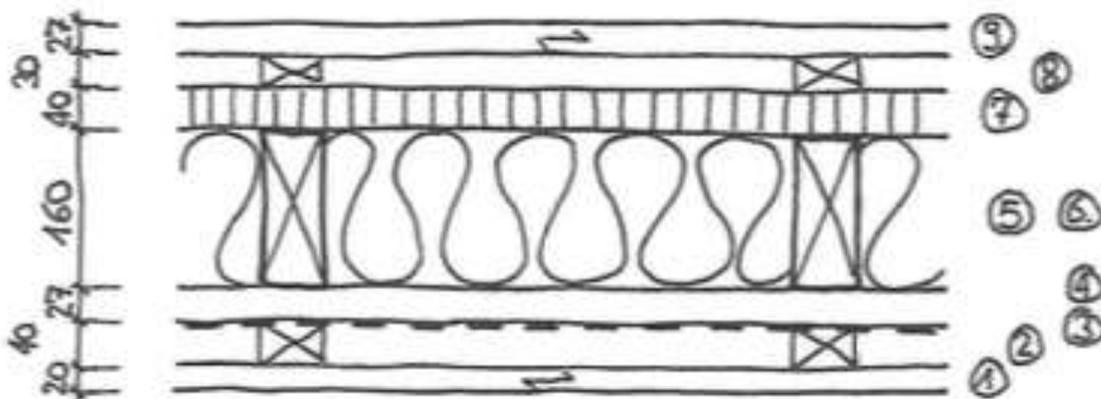


12.3 Aufbau 2 - Rahmenbau nach gesundem und nachhaltigem Bauen

Aufbau von innen nach aussen

Nr.		Stärke mm	Gewicht kg/m ²	Graue Energie MJ/m ²
1.	Täfer Fi/Ta	20	9.0	26.8
2.	Installationslattung	40	1.6	4.8
3.	Intello plus	0.5	0.1	18.3
4.	Diagonalschalung	27	12.8	38.1
5.	Ständer	160	6.5	19.3
6.	Cellulose	160	7.3	13.0
7.	Weichfaserplatte	40	8	96.1
8.	Hinterlüftungslattung	30	1.2	3.6
9.	Stülpchalung	27	7.7	22.5
		366	54.2	242.5

U-Wert: 0.19 W/m²K
 S_d-Wert: 9.7m
 Phasenverschiebung: 12h
 Amplitutendämpfung: 22.5
 Speicherfähigkeit innen: 50 kJ/m²K
 Wandstärke: 366mm
 Gewicht: 54.2 kg/m²
 Graue Energie: 242.5 MJ/m²
 Investitionskosten: 359.- Fr/m²

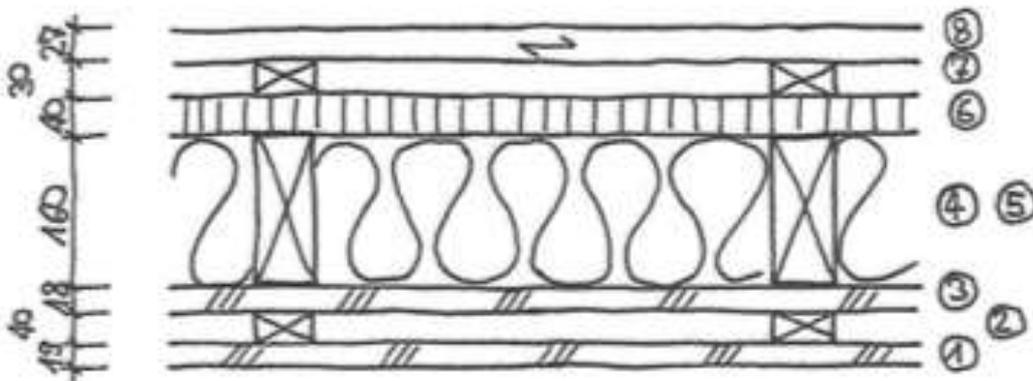


12.4 Aufbau 3 - Konventioneller Rahmenbau

Aufbau von innen nach aussen

Nr.		Stärke mm	Gewicht kg/m ²	Graue Energie MJ/m ²
1.	Dreischichtplatte Fi	19	8.9	95.8
2.	Installationslattung	40	1.6	4.8
3.	OSB	18	10.8	148.1
4.	Ständer KVH	160	6.5	19.3
5.	Mineralwolle	160	2.9	55.3
6.	Weichfaserplatte	40	8	96.1
7.	Hinterlüftungslattung	30	1.2	3.6
8.	Stülpchalung	27	7.7	22.5
		351	47.6	445.5

U-Wert: 0.18 W/m²K
 S_d-Wert: 4.5m
 Phasenverschiebung: 9.2h
 Amplitudendämpfung: 15.1
 Speicherkapazität innen: 41 kJ/m²K
 Wandstärke: 351mm
 Gewicht: 47.6 kg/m²
 Graue Energie: 445.5 MJ/m²
 Investitionskosten: 325.- Fr/m²



12.5 Bewertung

	Aufbau 1 Holz100	Aufbau 2 Rahmenbau nach gnB	Aufbau 3 Rahmenbau konventionell
a) Wärmedämmung	2	3	3
b) Wärmespeicherung/ sommerlicher Wärmeschutz	3	2	1
c) Raumklima/ Luftfeuchte	3	1	1
d) Emissionen/ Innenraumlufte	3	3	1
e) Schutz vor elektrischer Strahlung	3	0	0
f) Einsatzmöglichkeit recycelter Materialien	(2)	2	2
g) Recyclbarkeit/ Entsorgung	2	2	2
h) CO ₂ -Speicher	3	2	2
i) Regionale Materialien/ kurze Transportwege	1	3	1
j) Nicht erneuerbare Graue Energie	1	3	1
k) Regionale Wertschöpfung	1	3	2
l) Investitionskosten	1	2	3

a) Wärmedämmung

Beim winterlichen Wärmeschutz schneiden die beiden Rahmenkonstruktionen dank den leistungsfähigen Dämmmaterialien wie Cellulose oder Mineralwolle deutlich besser ab. Bei beiden Rahmenkonstruktionen ist die Installationsebene nicht gedämmt. Würde man diesen zusätzlich ausdämmen, würde sich der U-Wert nochmals verbessern. Holz100 braucht für denselben U-Wert rund einen Viertel mehr Wandstärke. In unserem Fall also ca. 100mm. Dies kann sich bei Umbauten mit knappen Platzverhältnissen als Nachteil erweisen.

b) Wärmespeicherung/ sommerlicher Wärmeschutz

Bei der Wärmespeicherfähigkeit und dem sommerlichen Wärmeschutz schneidet Holz100 hervorragend ab. Dies ist auf die grosse Masse zurückzuführen, welche sich auch auf das Quadratmetergewicht niederschlägt. Ein Quadratmeter unserer Holz100 Wand ist aber mit 162.2 Kilogramm mehr als drei Mal so schwer wie die beiden Rahmenkonstruktionen.

Das grosse Gewicht kann sich bei Aufstockungen als nachteilig erweisen. Allenfalls erfordert dies zusätzliche statische Ertüchtigungen des Bestandes.

Bei der Wahl des Hebeegerätes für die Montage ist dies ebenfalls zu berücksichtigen. Eine Holz100 Wand wiegt relativ schnell zwei Tonnen.

Wie bei allen anderen Konstruktionsarten ist auch bei Holz100 ein ganzheitliches Konzept für den sommerlichen Wärmeschutz erforderlich (Beschattung, Begrünung, ...).

Mit geeigneten Massnahmen lassen sich die Nachteile der leichten Rahmenkonstruktionen aber teilweise kompensieren. Zum Beispiel mit Lehmbauplatten als Verkleidungen der Aussenwände oder

mit massiven Lehmkonstruktionen für die Innenwände. Mit massiven Deckenkonstruktionen, wie beispielsweise Brett- oder Balkenstapel, lässt sich ebenfalls Masse ins Gebäude bringen.

c) Raumklima/ Luftfeuchte

Die grosse Masse des Holzes bei Holz100 nimmt Feuchtigkeit auf und kann diese wieder abgeben. Dadurch entsteht eine sehr ausgeglichene Luftfeuchtigkeit. Die inneren Verkleidungen der Rahmenbaukonstruktionen (Dreischichtplatte, Täfer) können dies nur sehr beschränkt. Lehmbauplatten als Verkleidung oder Innenwände aus Lehm verbessern das Raumklima bei diesen beiden Konstruktionen wesentlich.

d) Emissionen/ Innenraumluft

Holz100 und der Rahmenbau nach gnB schneiden hier natürlich hervorragend ab. Beide Konstruktionen bestehen nämlich aus reinem, unverleimtem Fichtenholz. Beim konventionellen Rahmenbau mit Dreischichtplatte als Verkleidung und OSB zur Aussteifung können unerwünschte Emissionen auftreten. Dies kann aber mit geeigneten Massnahmen in der Regel einfach behoben werden. Die Installationsebene kann mit Schafwolle, welche die Formaldehydemissionen des OSB bindet, gedämmt werden. Für die Verkleidung kann eine mit Weissleim verleimte Dreischichtplatte verwendet werden (siehe Arche Wallisellen). Ob eine Diagonalschalung zur Aussteifung und eine Folie als Dampfbremse, wie beim Rahmenbau nach gnB sinnvoller ist als eine OSB Platte, welche gleichzeitig beide Aufgaben erfüllt, wie beim konventionellen Rahmenbau, darüber lässt sich streiten. Immerhin besteht die gewählte Folie „Intello plus“ von proclima aus Polyethylen-Copolymer, Vlies und Armierung aus Polypropylen, welche sich problemlos recyceln lassen.

e) Schutz vor elektrischer Strahlung

Holz100 hat eine hervorragende Schirmwirkung gegenüber hochfrequenter Strahlung (Mobilfunk GSM und UMTS). In der Praxis werden Schirmwirkungen von ca. 95% gemessen. Rahmenbauten können mit verschiedenen Abschirmmaterialien bestückt werden. Dafür sollte sinnvollerweise ein Elektrobiologe beigezogen werden.

f) Einsatzmöglichkeit recycelten Materialien

Der Einsatz von recycelten Materialien erfordert sehr viel guten Willen. Die Planung und Durchführung sind aufwändig und nicht immer erweist sich der Einsatz recycelter Materialien als wirtschaftlich. In Anbetracht, dass Holzwerkstoffe im Moment und möglicherweise auch in Zukunft teilweise schlecht verfügbar sind, kann es aber durchaus eine sinnvolle Option sein. Der Rahmenbau bietet sich dafür gut an.

Leider ist der Einsatz recycelter Baumaterialien heute noch nicht weit verbreitet und auch nicht jedermanns Geschmack. Es lassen sich aber durchaus schöne Objekte im Industrielook oder Vintage-Style bauen. Die Firma Zehnder Holz und Bau in Winterthur hat für die Aufstockung der „Halle 118“ gebrauchte Dreischichtplatten vom Messebau zur Beplankung von Wänden verwendet. Dieses Objekt vom Baubüro In Situ ist ein gelungenes Beispiel für einen Recyclingbau.

Momentan werden Holz100 Elemente immer aus neuen Brettern produziert. Gemäss dem Holz100 Planungshandbuch lassen sich in Zukunft die Elemente auf der Baustelle demontieren, zurück ins

Werk transportieren und anschliessend in einer rückwärts gefahrenen Produktionskette wieder in die einzelnen Bretter zerlegen. Die einzelnen Bretter können dadurch wieder für neue Elemente verwendet werden.

Da man Holz100 erst seit ca. 20 Jahren und für eine langfristige Nutzung verbaut, wird sich in Zukunft zeigen, ob und wie diese Wertstoffe recycelt werden.

(nach Thoma, 2019)

g) Recyclbarkeit/ Entsorgung

Die Recyclbarkeit ist, wie oben beschrieben, bei allen Konstruktionen stark vom guten Willen abhängig. Holz100 Bauteile liessen sich aber sehr gut rückbauen und weiterverarbeiten. Bei den Rahmenkonstruktionen wird dies teilweise bereits gemacht. Das Potential dafür ist riesig.

Holz100 lässt sich, da es ausschliesslich aus Holz besteht, problemlos entsorgen. Die Rahmenkonstruktionen mit mechanischen Verbindungen lassen sich zur Entsorgung relativ einfach trennen.

h) CO₂– Speicher

„Die Leistung des Waldes als ‹Treibhausgasschlucker› ist eindrücklich: Der Wald produziert mit einer Tonne Kohlendioxid einen Kubikmeter Holz und speichert darin zusätzlich gegen 2800 kWh Sonnenenergie. Unser Wald absorbiert Jahr für Jahr etwa zehn Millionen Tonnen atmosphärisches CO₂.“ (Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, www.lignum.ch)

Holz100 ist ein unglaublicher CO₂-Speicher. Die beiden Rahmenbaukonstruktionen schaffen es nur auf knapp einen Drittel von Holz100.

i) Regionale Materialien/ kurze Transportwege

Für den Rahmenbau nach gnB lässt sich problemlos Holz aus den umliegenden Wäldern nutzen. Die lokale Sägerei produziert Konstruktionsholz, Schalung und Täfer. Die lokale Zimmerei produziert die Elemente und montiert diese.

Holz100 verwendet auf Wunsch Schweizer Holz. Dieses wird jedoch nach Deutschland in den Schwarzwald transportiert und dort zu Massivholzwänden verarbeitet. Diese werden in unserem Fall wieder in die Schweiz zurücktransportiert.

OSB, Brettschichtholz und Dreischichtplatten vom konventionellen Rahmenbau sind aus Schweizer Holz und von Schweizer Produzenten erhältlich. Bei den Weichfaserplatten für alle drei Systeme ist darauf zu achten, dass diese nicht von allzu weit herkommen.

j) Nicht erneuerbare Graue Energie

Auf den ersten Blick sieht es so aus, als ob Holz100 aufgrund seines Gewichts enorm viel Graue Energie verbrauchen würde. Hier bezahlt diese Konstruktion für die grosse Masse und deren positiven Eigenschaften. Rechnet man aber die Graue Energie pro Kilogramm Aussenwand, sieht es ganz anders aus:

Holz100	3.9 MJ/kg
Rahmenbau nach gnB	4.5 MJ/kg
Rahmenbau konventionell	9.4 MJ/kg

Der relativ leichte konventionelle Rahmenbau schlägt mit den stark bearbeiteten Materialien wie OSB und Dreischichtplatte zu Buche.

Die Weichfaserplatte schenkt bei allen drei ein.

k) Regionale Wertschöpfung

Beim Rahmenbau nach gnB ist die ganze Wertschöpfungskette regional.

Beim konventionellen Rahmenbau liegt immerhin ab der Elementproduktion die Wertschöpfung beim regionalen Holzbauer.

Dadurch, dass die ganzen Massivholzplatten von Holz100 aus dem Schwarzwald kommen und vom Holz100 Partner nur noch montiert werden, hält sich die regionale Wertschöpfung in Grenzen. Holz100 Elemente können aber bei einem Holz100 Partner bestellt und von diesem montiert werden. Alle weiteren Arbeiten können von einem lokalen Holzbauunternehmer ausgeführt werden.

l) Investitionskosten

Holz100 Konstruktionen sind sehr teuer, fast doppelt so teuer wie die beiden Rahmenbaukonstruktionen. Wer sich ein Holz100 Haus bauen möchte, tut dies bewusst und ist im Normalfall auch bereit die sehr hohen Investitionskosten auf sich zu nehmen.

Der Unterschied der Investitionskosten zwischen dem konventionellen Rahmenbau und dem Rahmenbau nach den Grundsätzen des gesunden und nachhaltigen Bauens sind marginal.

12.6 Fazit der Bewertung

Schlussendlich schliessen die beiden nachhaltigen Konstruktionen fast gleich ab. Würde man die einzelnen Kriterien unterschiedlich gewichten, könnte man dem einen oder anderen zu Vorteilen verhelfen.

Holz100 ist überall dort stark, wo sich die grosse Masse des Holzes und deren Gewicht positiv auswirken.

Der Rahmenbau nach gesundem und nachhaltigem Bauen weist seine Stärken bei allen Kriterien, welche die regionalen Themen betreffen, aus. Durch die leichte Bauweise und geringe Masse hinkt er jedoch beim sommerlichen Wärmeschutz und der Raumluftqualität hinter dem Massivholz her. Dieser Nachteil lässt sich aber durch den Einsatz von Lehmprodukten und deren Masse grösstenteils beheben.

Dass der konventionelle Rahmenbau bezüglich der Kriterien des gesunden und nachhaltigen Bauens nicht besonders gut abschneidet, war von Anfang an klar. Bemerkenswert ist aber, dass er nicht leer ausging. Sehr häufig konnte man den konventionellen Rahmenbau mit „genügend“ oder sogar „gut“ bewerten. Dies zusammen mit ein paar Modifikationen in der Materialwahl, kann ganz anständige Bauten nach den Grundsätzen vom gesunden und nachhaltigen Bauen ergeben.

13. Schlusswort

Nun stehe ich also am Ende dieser Arbeit. Es ist über ein halbes Jahr her, seit ich mein Thema gewählt und in Angriff genommen habe. Am Anfang dachte ich, dass das Thema moderner Holzbau ohne Leim kaum „Fleisch am Knochen“ hat. Aus der Sicht des Holzbauers, der ich nun mal bin, mag dies stimmen. Aus der Sicht des Baubiologen, in den ich langsam hineinwachse, erkenne ich jedoch, dass beim gesunden und nachhaltigen Bauen viele verschiedene Faktoren zusammenspielen und wichtig sind. Der Leim in den Holzwerkstoffen und die damit verbundenen Folgen für das Innenraumklima ist einer davon.

Gesunder und nachhaltiger Holzbau sollte jetzt – nach Abschluss dieser Arbeit – meiner Meinung nach nicht einfach auf leimfrei oder verleimt reduziert werden. Je länger ich mich mit dem Thema befasste, desto wichtiger wurden für mich Kriterien wie regionale Wertschöpfung und Materialien oder der Einsatz recycelter Materialien.

Egal ob Holz100/ Appenzellerholz oder Rahmenbau nach gesundem und nachhaltigen Bauen, Hauptsache wir bauen mit Holz. Jedes System hat seine Stärken und Schwächen. Am richtigen Ort eingesetzt, macht jedes einzelne Sinn. Es darf auch mal ein bisschen Brettschichtholz, Brettspertholz, Furnierschichtholz oder OSB sein, falls diese nötig sind. Auch vereinzelt Stahlträger sind nicht zu verachten. Meiner Meinung nach sind dies Details, welche man aber unbedingt bei der Planung berücksichtigen sollte. Wirklich wichtig ist nur, dass wir unsere Häuser hauptsächlich aus Holz oder anderen nachhaltigen Baustoffen bauen.

Als Baubiologe, welcher über den hölzernen Tellerrand hinaus schaut, weiss ich, dass mit einem nachhaltigen Holzbau, welcher die Anforderungen des gesunden und nachhaltigen Bauens erfüllt, noch lange kein nachhaltiges Haus entsteht. Dazu braucht es ein komplettes Konzept.

An dieser Stelle bedanke ich mich ganz herzlich bei all jenen, die mir geholfen und mich unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Besonders danken möchte ich Markus Zehnder, Thomas Rohner, Peter Rüegg, Simone Züllig, Michi Künzler, Damaris Hardmeier, Simon Riediker und Judith Züllig.

14. Abstract/ Kurzfassung

Nach einem kurzen Einblick in die Geschichte des Holzbaus, befasst sich diese Arbeit in einem ersten Teil mit verleimten Holzwerkstoffen und deren Auswirkungen auf die Umwelt. Anschliessend werden folgende Holzelementbausysteme ohne Verleimungen vorgestellt:

- Appenzellerholz und Holz100
- Brettstapel
- Blockbau/ Strickbau
- Rahmenbau

Holz100, Rahmenbau nach gesundem und nachhaltigem Bauen und der konventionelle Rahmenbau werden einem Vergleich unterzogen. Nach zwölf Kriterien aus dem gesunden und nachhaltigen Bauen, aus den Sparten „Wohlbefinden des Menschen“, „Umwelt/Ressourcen“ und „Wirtschaft“ werden diese beurteilt und miteinander verglichen.

15. Begriffserklärung und Abkürzungen

Begriffserklärung

U-Wert:

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ist die Masseinheit zur Ermittlung des Wärmeverlustes eines Bauteils. Der U-Wert gibt die Wärmemenge an, die pro Zeiteinheit durch 1m^2 eines Bauteils bei einem Temperaturunterschied von 1K (Kelvin) hindurchgeht. Grundsätzlich gilt: je kleiner der U-Wert, desto besser die Wärmedämmung.

(nach www.ubakus.de)

S_d -Wert:

Der S_d -Wert ist die Kenngrösse, welche die Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke angibt. Der S_d -Wert gibt an, wie die Fähigkeit eines Baustoffs, Bauteils oder einer Beschichtung zur Durchlässigkeit von Wasserdampf im Vergleich zu einer äquivalenten Luftschichtdicke ist.

(nach www.ubakus.de)

Phasenverschiebung:

Die Phasenverschiebung gibt in Stunden an, mit welcher Verzögerung das Hitzemaximum die Innenseite des Bauteils erreicht. Idealerweise erreicht die Temperaturwelle in den kalten Nachtstunden die Bauteilinnenseite. Phasenverschiebungen um 12 Stunden sind daher ideal.

(nach www.ubakus.de)

Amplitudendämpfung:

Die Amplitudendämpfung beschreibt die Abschwächung der Temperaturwelle beim Durchgang durch das Bauteil. Ein Wert von 10 bedeutet, dass die Temperatur auf der Außenseite 10x stärker variiert als auf der Innenseite, z.B. aussen $15\text{-}35^\circ\text{C}$, innen $24\text{-}26^\circ\text{C}$.

(nach www.ubakus.de)

Speicherfähigkeit innen:

Die Wärmespeicherfähigkeit (innen) gibt an, wie viel Wärme das Bauteil aufnimmt, wenn die Raumtemperatur um 1°C erhöht wird und die Aussentemperatur unverändert bleibt. Ein grosser Wert bedeutet langsames Aufheizen, vor allem im Winter mit der Heizung, aber auch im Sommer beispielsweise durch Sonneneinstrahlung durch Glasflächen. Andererseits verzögert ein hoher Wert auch das Auskühlen.

(nach www.ubakus.de)

Graue Energie:

Die nicht erneuerbare Primärenergie (Graue Energie) quantifiziert den kumulierten Energieaufwand der fossilen und nuklearen Energieträger sowie Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern.

(nach „KBOB – Empfehlung, Ökobilanz im Baubereich“)

Abkürzungen

gnB	=	gesundes und nachhaltiges Bauen
OSB	=	Oriented Strand Board (Grobspanplatte)
PU/ PUR	=	Polyurethan

16. Literaturverzeichnis/ Quellenangaben

Bücher und Magazine

Deplazes, Andrea (2000) „Holz indifferent, synthetisch“, DETAIL 1/2000

Koller, Clemens (2011). „Faszination Appenzellerholz – Strahlenschirmung im Massivholzbau“, Abschlussarbeit 280, Fachkurs Baubiologie, Bildungszentrum Baubiologie, Zürich.

Linden, Wolfgang; Marquart, Iris (2018) „Ökologisches Baustofflexikon. Bauprodukte – Chemikalien – Schadstoffe – Ökologie -Innenraum“, VDE Verlag GMBH, Berlin

Müller, Michael; Rüegegger, Enrico (2000). „Konzeptvergleich Einfamilienhaus in Brettstapelbauweise mit Atelierhaus in Riegelbauweise“, Abschlussarbeit 125, Fachkurs Baubiologie, Bildungszentrum Baubiologie, Zürich

Thoma, Erwin; Moser, Maximilian (2016) „Die sanfte Medizin der Bäume. Gesund leben mit altem und neuem Wissen“, Servus Verlag, Salzburg

Thoma, Erwin (2019) „Dich sah ich wachsen. Was der Grossvater noch über Bäume wusste“, Fischer Taschenbuch, Frankfurt am Main

Thoma, Erwin; Thoma, Florian (2019) „Thoma Holz100 Bauteilkatalog“, Herausgeber: Ing. Erwin Thoma Holz GmbH, Goldegg

„KBOB – Empfehlung, Ökobilanz im Baubereich“, 2009/1:2016, Herausgeber: KBOB c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, 3003 Bern

Digitale Quellen

Krötsch, Stefan (2021), „Geschichte des Holzbaus“, www.baunetzwissen.de

U-Wert-Rechner, www.ubakus.com

Appenzellerholz, www.naegeli-holzbau.ch

Holz100, Planungshandbuch, www.holz100.ch

Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, www.lignum.ch

BRESTA, Tschopp Holzbau AG, www.tschopp-holzbau.ch

Optiholz, Kaufmann Oberholzer AG, www.kaufmann-oberholzer.ch

Sidler Holz AG, Oberlunkhofen, www.sidlerholz.ch

Debrunner Acifer, www.d-a.ch

Bildquellen

Eigene Fotos Urs Etzensperger (UE) von 2016 bis 2021

Archiv Zehnder Holz und Bau, Winterthur, www.zehnder-holz.ch

dataholz.eu - Katalog bauphysikalisch und ökologisch geprüfter und/oder zugelassener Holz- und Holzwerkstoffe, www.dataholz.eu

Appenzellerholz, www.naegeli-holzbau.ch

Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, www.lignum.ch

BRESTA, Tschopp Holzbau AG, www.tschopp-holzbau.ch

Quellen für Preise

Anobia Holzbau GmbH, Thomas Rohner, Märwil

Zehnder Holz und Bau AG, Markus Zehnder, Winterthur

17. Autorenschaft/ Urhebererklärung

Vorname: Urs

Name: Etzensperger

Wohnadresse: Bachtelstrasse 46
8400 Winterthur

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 :

Datum:

Unterschrift:

18. Anhang

- U-Wert Berechnungen nach www.ubakus.de