

Holz – ein zirkulärer Baustoff

Andrea Klinge
ZRS Architekten Ingenieure
Berlin, Deutschland



Eike Roswag-Klinge
Natural Building Lab, Technische Universität Berlin
ZRS Architekten Ingenieure
Berlin, Deutschland



Holz – ein zirkulärer Baustoff

1. Einleitung

2014 trug der Bausektor mit ca. 750 Millionen Tonnen Bau- und Abbruchabfällen (Construction and Demolition Waste (CDW)) erheblich zum Abfallaufkommen in Europa bei [1]. Recyclingraten von ca. 50% sind als relativ niedrig zu bewerten, insbesondere da rezyklierte Materialien hauptsächlich in minderwertigen Anwendungen Einsatz finden (Straßenbau, Verfüllung von Baugruben) oder thermisch verwertet werden [2]. Beträchtliche Mengen von Gebäudeabriss werden nach wie vor deponiert, da die Demontage von Gebäuden bei deren Planung nicht berücksichtigt wurde. Der Rückbau von Holzelementen (Stützen, Balken, Holzböden etc.) aus Bestandsgebäuden zeigt deutlich, wie wenig nachhaltig die Baubranche nach wie vor mit Ressourcen umgeht. Um zeitaufwändige Untersuchungen bezüglich des Einsatzes von Holzschutzmitteln zu vermeiden, werden Holzelemente in den meisten Fällen in die Altholzkategorie AIV eingeordnet. Dies impliziert die Entsorgung in Müllverbrennungsanlagen als übliche «Verwertungsmethode». In der Folge geht nicht nur hochwertiges Holz für zukünftige Anwendungen im Baubereich und anderen Sektoren verloren, auch das im Bauteil gespeicherte CO₂ wird frühzeitig wieder freigesetzt. Angesichts der anstehenden gesetzlichen Änderungen, die eine Reduzierung von Abfällen aus Gebäudeabbruch um 70% nach Gewicht bis 2020 vorsehen (Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG), benötigt die Baubranche dringend innovative Konzepte um das zirkuläre Bauen zu stärken und um die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen und High-Tech-Lösungen zu minimieren um diese ehrgeizigen Ziele der Europäischen Union zu erreichen [3].

2. Anforderungen

2.1. Voraussetzungen

Wenngleich Holz neben Lehm einer der wenigen Baustoffe ist, der einzigartige Möglichkeiten für eine direkte Wieder- oder Weiterverwendung ohne großen Energieeinsatz bietet, wird Altholz nicht als Ressource gesehen, sondern hauptsächlich auf Deponien entsorgt oder der energetischen Verwertung zugeführt (Abbildung 1 – Abbildung 2).

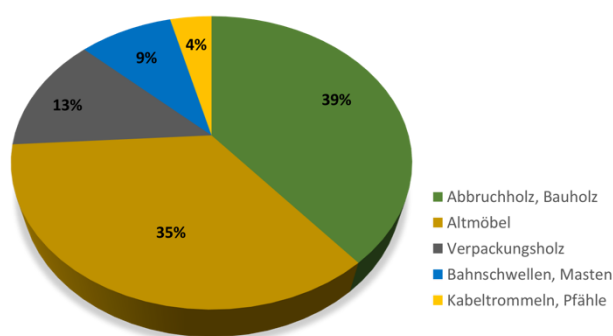


Abbildung 1: Herkunft Gebrauchtholz [4]

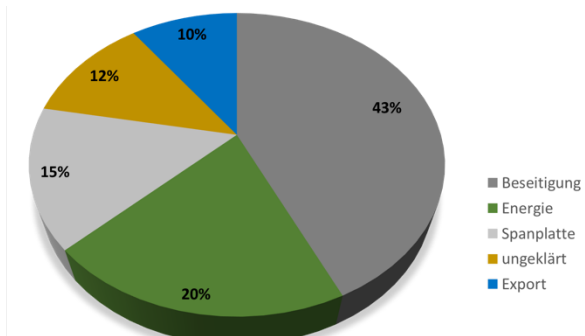


Abbildung 2: Entsorgungswege Altholz [4]

Der Zugang zu günstigem Frischholz, geringe Entsorgungskosten und zeitaufwändige Nachweismethoden für die Anwendung von Holzschutzmitteln sind derzeit die Hauptgründe warum im Holzbau der zirkuläre Ansatz aktuell so wenig verfolgt wird. Soll Altholz für Bauzwecke wiederverwendet oder rezykliert werden, so müssen die folgenden Voraussetzungen erfüllt sein. Wiedergewonnene Hölzer müssen frei sein von:

- Holzschutzmitteln;
- anderen Schadstoffe, die aus früheren Nutzungen stammen und möglicherweise in das Holz eingedrungen sind;
- holzerstörenden Pilzen und Insekten;
- Metallverunreinigungen, die Maschinen zur Wiederaufbereitung beschädigen könnten

Zudem müssen die gewonnenen Elemente eine ausreichende Festigkeit sowie ausreichend große Querschnitte und Längen aufweisen.

2.1.1 Holzschutzmittel

Die Altholzverordnung regelt den fachgerechten Umgang mit Altholz und sieht den Nachweis der Schadstofffreiheit von verbotenen Substanzen vor, um eine Wiederverwendung oder Wiederverwertung zu ermöglichen [5]. Da es am Markt bislang keine Baustellentests gibt, werden Materialproben an Bauteilen entnommen (Abbildung 3) und von einem zertifizierten Labor untersucht. In den Fällen, in denen Holzschutzmittel nachgewiesen werden, wird anhand der Eindringtiefe definiert werden, wieviel vom Holzquerschnitt durch Sägen oder Hobeln entfernt werden muss, um das Altholz nicht der thermischen Verwertung zuführen zu müssen.

2.1.2 Schadstoffe und Störstoffe aus früheren Nutzungen

Wurden in einem zu demontierenden Gebäude Schadstoffe eingebracht, müssen geeignete Untersuchungen nachweisen, dass das Holz, welches zur Wiederverwendung oder zum Recycling bestimmt ist, davon nicht verunreinigt ist.

2.1.3 Metallische Verunreinigungen

Metallische Verunreinigungen sind eine der Hauptgründe warum die Wiederverwendung und das Recycling von Altholz nur schleppend vorangeht. Bleiben solche Einschlüsse unentdeckt, können sie Holzbearbeitungsmaschinen erheblich beschädigen. Im Rahmen des Projektes wurden daher sämtliche Altholzabschnitte mit einfachen Metalldetektoren auf Metallverunreinigungen untersucht, die anschließend mit Handwerkzeugen entfernt wurden (Abbildung 4).

2.1.4 Festigkeitssortierung

Altholz, das für tragende Bauteile verwendet werden soll, muss nach harmonisierten Normen [6], [7], 0 und nationalen Regeln in Bezug auf seine Festigkeit sortiert werden. Vor-Ort-Inspektionen wurden von einem Experten durchgeführt, um das Holz zu kategorisieren, verfügbare Abschnitte in Bezug auf seine Abmessungen aufzunehmen sowie das Ausmaß des Verfalls, sonstige Mängel und Schäden festzuhalten. Basierend auf diesen Ergebnissen wurden die Hölzer vor Ort sortiert und für die weitere Aufbereitung und Festigkeitsklassifizierung getrennt. Sämtliche Verunreinigungen (Farben, Beschichtungen usw.) wurden entfernt, um sauberes Rohmaterial zu erhalten, das in rechteckige Querschnitte geschnitten und gehobelt wurde. Da der Zugang zu einer Trockenkammer nicht gegeben war, konnte das Holz nicht technisch getrocknet werden. Der durchschnittliche Feuchtigkeitsgehalt von 20%, der für die Festigkeitsklassifizierung erforderlich ist, wurde somit nicht immer erreicht.



Abbildung 3:
Timber for recycling



Abbildung 4:
Metall Detektor



Abbildung 5: Festigkeitsklassifizierung: Beurteilung von Fehlstellen, Zerfall, Rissen, Aufnahme Abmessungen, Lage + Ausrichtung von Ästen



Die eigentliche Festigkeitssortierung wurde an abgerichteten und gehobelten Holzlamellen durchgeführt, die hinsichtlich Abmessungen und Lage von Rissen, Ästen und Zerfall bewertet wurden (Abbildung 5). Die Einteilung nach DIN 4074-1: 2012 0 in die jeweiligen Sortierklassen ergab wiederum die jeweilige Festigkeitsklasse nach EN 338: 2016 0. Zusätzliche Anforderungen an Lamellen, die für Brettschichtholz bestimmt und in übergeordneten Normen geregelt sind, wurden bei der Herstellung angewendet 0. Aus den einzelnen Lamellen wurden wiederum Holzbalken und -stützen sowie Schwelle, Rähm und Ständer für ein nicht-tragendes Fassadenelemente gefertigt.

3. Entwurfskonzepte

3.1. Tragende Holzbalken und -stützen

Die allgemeine Konzeption für tragende Holzelemente für die Tragkonstruktion von Holzbauwerken entspricht der Norm EN 14080: 2013 0 und folgt dem Prinzip von Brettschichtholz, bei dem einzelne Lamellen miteinander verbunden werden. Leimfreie Verbindungen einzelner Lamellen die im Rahmen des Projektes ebenfalls untersucht wurden, werden in dieser Studie nicht näher erläutert. Das Entwurfskonzept für die Bauteile verfolgt die Idee der Maximierung und Optimierung von Nutzabschnitten aus Altholz (Abbildung 6).

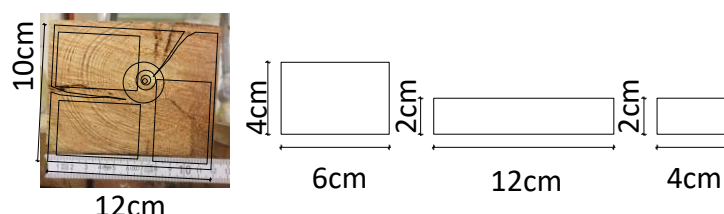


Abbildung 6: Materialeffiziente Aufteilung des gewonnenen Altholzes

Für den Bau der Elemente wurden Risse aus den gewonnenen Lamellen herausgeschnitten und die sich ergebenden Abmessungen für den Einsatz in Trägern und Stützen bewertet. Lamellen mit den Abmessungen 4/6/12 cm x 4 cm wurden in vertikaler und horizontaler Richtung verleimt. (Abbildung 7 - Abbildung 9).

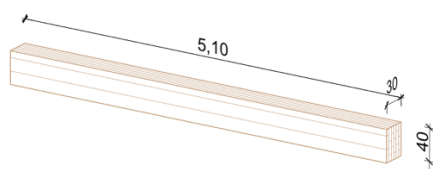


Abbildung 7: Designkonzept für Brettschichtholzbalken aus Altholz



Abbildung 8: Brettschichtholzbalken



Abbildung 9: Brettschichtholzbalken, Lamellen-verbund in vertikaler und horizontaler Richtung

3.2. Nicht lastabtragendes, vorgefertigtes Fassadenelement aus Altholz

Das Konzept für ein vorgefertigtes, reversibles, hinterlüftetes Fassadenelement aus Altholz sieht eine nichttragende Holzrahmenkonstruktion vor. Ein selbsttragendes Holzständersystem ist beidseitig mit aussteifenden Holzfaserplatten verkleidet. In bestimmten Lastfällen kann aus statischen Gründen eine andersartige Platte als Bekleidung wie z.B. Diagonalschalung erforderlich sein, die die innenseitige Holzfaserplatte ersetzt. Das Element ist mit einer Einblasdämmung ausgedämmt, die auf rezyklierten Holzfasern basiert. Die Wetterschale wird mit Schrauben an einer Unterkonstruktion aus Latten befestigt, um eine spätere Demontage zwecks Wartung oder Reparatur zu ermöglichen. Ein Lehmputz auf Basis von rezyklierten Zuschlagstoffen wird als Endbeschichtung innen-seitig verwendet, um ein gesundes und angenehmes Raumklima zu erzeugen. Sämtliche Verbindungen sind entweder verschraubt oder als Zimmermannsverbindungen gesteckt. Abbildung 10 zeigt das Gestaltungskonzept für das vorgefertigte Holzfassadenelement sowie die einzelnen Komponenten.

Ähnlich wie bei den Trägern und Stützen zielt die Konstruktion darauf ab, den Materialverbrauch für das Bauteil zu minimieren. Darüber hinaus verfolgt das Konzept den Ansatz einer Kaskadennutzung und untersucht Möglichkeiten zur Verwendung von Holzabschnitten aus der Aufbereitung und Fertigung für die Herstellung anderer Bauteilkomponenten. Exemplarische Untersuchungen zum Ausgangsmaterial (Abbildung 11) und zum möglichen nutzbaren Abschnitten (Abbildung 12) nach dem Zuschnitt wurden an Bohlen aus dem Rückbau einer Binderkonstruktion durchgeführt, die die Hauptquelle für die Herstellung des Fassadenelements darstellten. Zunächst wurden die Bohlen von metallischen Einschlüssen gereinigt, abgerichtet und gehobelt. In einem zweiten Schritt wurden die

benötigten Profile für die Bauteile zugeschnitten. Im Ergebnis entstanden verschiedene nutzbare Querschnitte, Abschnitte, Sägespäne und auch Sägemehl. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Abschnitte sowie Einzelheiten zu Abmessungen und Mengen. Für die statisch wirksamen Komponenten des Bauteils (Schwelle, Rähm, Ständer) wurden größere Abschnitte verwendet, während kleinere Abschnitte als Wetterschale zum Einsatz kamen. Es ist vorgesehen, bei der Herstellung der aussteifenden Ebene (Holz-, Hartfaser-, oder OSB-Platten) Holzspäne oder Sägemehl und für die Dämmebene Hobel-späne oder Holzfasern (Holzweichfaserdämmatten) zu verwenden. Kleinere Abschnitte können für die Herstellung von Holzweichfaserplatten genutzt werden. Da die Produktion von aussteifenden Platten nicht im Projekt vorgesehen war, wurden für diese Komponenten vorerst handelsübliche Produkte eingesetzt.



Abbildung 10: Design Konzept für Fassadenelement, Model: M. 1:20



Abbildung 11: Ausgangsmaterial (Bohle)



Abbildung 12: Mengen an nutzbarem und nicht nutzbarem Material

Wenn das Fassadenelement das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat, können einzelne Komponenten erneut genutzt oder recycelt werden. Die Wetterschale kann beispielsweise demontiert und abgerichtet werden, um verwitterte Schichten zu entfernen. Diese Resthölzer können dann weiter aufgespant und für die Produktion von Grobspan-, Holzweichfaserplatten oder -matten recycelt werden. Die statisch wirksamen Komponenten bieten ein ähnliches Potenzial für eine solche Holzkaskade.

Tabelle 1: Mengen des verwendbaren Materials nach dem Reinigen und Besäumen

Abschnitt	Länge in dm	Breite in dm	Höhe in dm	Vol. in dm ³³	Vol. in %
Gesamt	32.9	2.35	0.558	43.14	100
Nutzbares Holz 1 (UW 1)	22.5	1	0.5	11.25	26
Nutzbares Holz 2 (UW 2)	19.73	0.92	0.55	9.98	23
Nutzbares Holz 3 (UW 3)	26	0.48	0.18	2.25	5
Restholz (Metall) (OC 1)	6.35	2.35	0.58	8.66	20
Restholz 2 (Metall) (OC 2)	6	0.95	0.58	3.31	8
Restholz 3 (Querschnitt) (OC 3)	4.1	1	0.5	2.05	5
Restholz 4 (Längsschnitt) (OC 4)	27.2	0.05	0.53	0.72	2
Restholz 5 (Querschnitt) (OC 5)	0.25	0.48	0.18	0.02	0.5
Restholz 6 (Längsschnitt) (OC 6)	26.7	0.05	0.22	0.29	0.5
SUMME				38.53	90
Sägemehl	25 Liter / 1.74 kg			4.61	10

Für die Produktion von materialeffizienten Ständern wurden verschiedene Designkonzepte entwickelt (Abbildung 14 - Abbildung 16). Ein Fachwerkständer ermöglicht die optimierte

Nutzung verschiedener Holzquerschnitte aus der Bearbeitung von Altholz. Die Abmessungen und Anordnung der einzelnen Stäbe und Bretter werden nach statischen Berechnungen festgelegt, wobei die Größe der gewonnenen Querschnitte und die mögliche Unterteilung berücksichtigt werden (Abbildung 13). Für Schwelle und Rähm wurden massive Profile hergestellt.

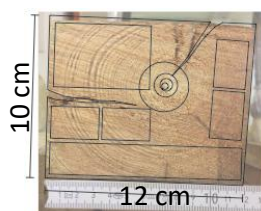


Abbildung 13: Rückgebaute Holzstütze, Unterteilung für materialoptimierte Ständer



Abbildung 14: Modelle M 1:20 für materialeffiziente Ständer



Abbildung 15: Fachwerkständer, Stäbe mit unterschiedlichen oder gleichen Querschnitten, exzentrisch montiert



Abbildung 16: Fachwerkständer, Stäbe mit unterschiedlichen Querschnitten, zentrisch montiert

Für die endgültige Fertigung des Fassadenpanels wurden die statisch wirksamen Komponenten (Schwelle, Rähm, Ständer) auf Basis üblicher Holzbauraster zu einem Rahmen zusammengefügt. Der Rahmen wurde außenseitig mit einer Holzfaser- bzw. innenseitig mit einer Hartfaserplatte beplankt, um die erforderliche Steifigkeit für das Element zu gewährleisten. Im nächsten Schritt wurde die Einblasdämmung eingebracht und eine finale Holzfaserplatte als Putzträger innenseitig auf die Hartfaserplatte aufgebracht (Abbildung 17 - Abbildung 18). Als finaler Schritt wurde die Wetterschale an einer Tragkonstruktion aus Latten und Konterlatten befestigt (Abbildung 19). Der rezyklierte Lehmputz wird auf der Baustelle aufgetragen. Reversible Verbindungen wurden mit Hilfe von Schrauben hergestellt. Um zukünftig die Anzahl der Metallbefestigungen zu minimieren sollen in einem nächsten Schritt Zimmermannsverbindungen zum Einsatz kommen.



Abbildung 17: Holzrahmen mit Ständern, Einbringen der Einblasdämmung



Abbildung 18: Befestigung der Holzweichfaserplatten (außenseitig)



Abbildung 19: Wetterschale

3.3. Reversible Verbindungen

Reversible Verbindungen auf Komponenten- und Elementebene sind von zentraler Bedeutung, wenn es um die Wiederverwendung und das Recycling von Bauteilen geht. Im Rahmen des Projektes wurden dazu verschiedene Untersuchungen auf Komponenten- und Elementebene durchgeführt. Es wurden verschiedene Holzverbindungen (Zimmermannsverbindungen) oder Metallverbindungen getestet. Für Eckverbindungen des Rahmens (Fassadenelement) wurden erste Versuche mittels Schwalbenschwanzverbindungen durchgeführt (Bild 20 - Bild 21). Für die Verbindung von tragenden Elementen wurden am Markt verfügbare Verbindungen in Betracht gezogen, die praktikable Optionen bieten (Abbildung 22 - Abbildung 23).

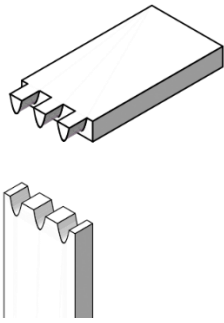


Abbildung 26: Adaptierbare Grundrisse bieten ein hohes Maß an Flexibilität

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Voraussetzungen

Inspektionen vor Ort haben sich als geeignete Strategie erwiesen, um festzustellen, ob vorhandene Holzkonstruktionen für eine direkte Wiederverwendung oder ein Recycling geeignet sind. Obwohl bei gereinigten Holzteilen standardmäßig eine Festigkeitsbewertung durchgeführt wird, lieferten erste Beurteilungen vor Ort zuverlässige Ergebnisse hinsichtlich der allgemeinen Tragfähigkeit der verbauten Holzbauteile und -elemente. Darüber hinaus konnte durch Labortests festgestellt werden, dass nicht alle Konstruktionen mit Holzschutzmitteln behandelt wurden, so dass das Altholz direkt wiederverwendet werden konnte. Vor-Ort-Untersuchungen waren auch zur Beurteilung von Insekten- und Pilzbefall geeignet. Weiterhin konnten mittels einfacher Metalldetektoren alle Metallverunreinigungen identifiziert werden. Die endgültige Festigkeitsklasse des bewerteten Holzes erreichte entweder C16 oder C24, was für die Entwicklung von Konstruktionsholzelementen geeignet ist.

4.2. Material- und Entwurfskonzept für lastabtragende Holzelemente

Das Material- und Gestaltungskonzept für tragende Holzbalken und -stützen konnte erfolgreich umgesetzt werden. Eine materialeffiziente Konstruktion könnte durch die Anwendung standardisierter Größen für Lamellen erreicht werden. Risse und Äste wurden ohne größere Materialverluste entfernt. Industriell gefertigte Keilzinkenverbindungen sind zwar nicht getestet worden, es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese die Aufnahme kürzerer Abschnitte ermöglichen. Die Verwendung von Leim zum Verbinden von Einzellamellen hat sich als sehr zeit- und kosteneffizient erwiesen und liefert auch für Altholz kraftschlüssige Verbindungen. Da gefertigte Elemente nach DIN 68800 der Verwendungsklasse 0 zugeordnet werden können, ist der Einsatz von Holzschutzmitteln nicht erforderlich [9].

4.3. Material- und Entwurfskonzept für ein nicht-lastabtragendes, vorgefertigtes Holzfassadenelement

Das Konzept der Kaskadennutzung von Holz für das Fassadenelement erscheint sehr vielversprechend. Das Gesamtmaterial, das aus verarbeiteten Brettern rezykliert werden konnte, summierte sich auf rd. 90%. Nagelplattenbinder mussten entfernt werden, um die mit Metall überzogenen Abschnitte wieder in den Materialkreislauf zu bringen. Obwohl bisher nur Vollprofile hergestellt wurden, scheint die Verwendung von Abschnitten für die Herstellung anderer Bauteile eine praktikable Lösung zu sein. Die Industrie folgt diesem Konzept bereits, allerdings mit Frischholz. Das Konzept für materialeffiziente Ständer lieferte ebenfalls vielversprechende Ergebnisse. Dieser Ansatz war jedoch zeitaufwendiger als die Herstellung von massiven Alternativen. Erfreulicherweise wurde die Herstellung des finalen Elements vollständig mit Handmaschinen durchgeführt. Ähnlich wie Balken und Stützen kann das Fassadenelement aufgrund besonderer konstruktiver Maßnahmen gemäß [9] nach DIN 68800 in die Nutzungsklasse 0 eingestuft werden. Daher ist der Einsatz von Holzschutzmitteln nicht erforderlich. Der Nutzen für die Umwelt hinsichtlich der Verringerung der Umweltbelastung durch Wiederverwendung und Recycling wird derzeit untersucht.

4.4. Reversible Verbindungen

Erste Studien wurden bislang nur im Labor durchgeführt. Beide Konzepte, Holz in Holz aber auch Metallverbindungen, sind jedoch geeignet, um reversible Verbindungen auf Bauteil- aber auch Elementebene zu ermöglichen. Zimmermannsverbindungen waren aufgrund des Mangels an geeigneten Maschinen zeitaufwändiger. Zusätzliche Studien und Tests sind erforderlich, um Lösungen für die verschiedenen Anwendungen zu untersuchen und bereitzustellen. Die bisherigen Ergebnisse ermöglichten jedoch die vollständige Demontage von Elementen und Bauteilen.

4.5. Entwurfskonzept für ein reversibles Gebäude

Obwohl sich das Konzept in der Praxis bewähren muss, zeichnet sich die Skelettbauweise durch ein höheres Maß an Flexibilität aus. Auch die Möglichkeit der Trennung der unterschiedlichen Elemente nach ihrer Lebensdauer scheint die Lebensdauer von Gebäuden zu verlängern. Die Verwendung von Holz im Bauwesen bietet im Allgemeinen ein deutlich höheres Potenzial für zirkuläre Gebäude im Vergleich zu massiven Konstruktionen. Zum einen ist der Baustoff Holz sehr viel leichter und ermöglicht zudem trockene Verbindungen. Darüber hinaus ist das Konzept der Materialreinheit für tragende Bauteile sehr viel einfacher zu erreichen, da Holz Druck-, Zug- und Scherbelastungen aufnehmen kann.

In Bezug auf die Lebensdauer der entwickelten Einzelelemente wird erwartet, dass die Verwendung von Altholz, das im Vergleich zu heutigem Holz unter weniger Umweltbelastungen gewachsen ist, die Lebensdauer der einzelnen Elemente und damit des gesamten Gebäudes verlängert. Diese These muss jedoch durch weitere Untersuchungen überprüft werden.

5. Praxisbeispiele

5.1. Wohnen und arbeiten in der Torfremise

Das Projekt Torfremise zeigt beispielhaft wie wertvoll in der Vergangenheit Rohstoffe und Bauelemente waren und wie diese immer wieder verwendet wurden. In diesem Fall handelt es sich um mehrfache Translozierung und Weiternutzung des Gebäudes in seiner weitgehend ursprünglichen Form. Anhand einer dendrochronologischen Untersuchung wurden nachgewiesen, dass die verwendeten Hölzer um 1810 eingeschlagen wurden. Über die an den Hölzern vorgefundenen Zimmermannszeichen und der Holzverbindungen konnte nachgewiesen werden, dass das Gebäude voraussichtlich schon zweimal wieder aufgebaut und voraussichtlich auch versetzt wurde, da es ursprünglich länger und voraussichtlich auch zweigeschossig war.

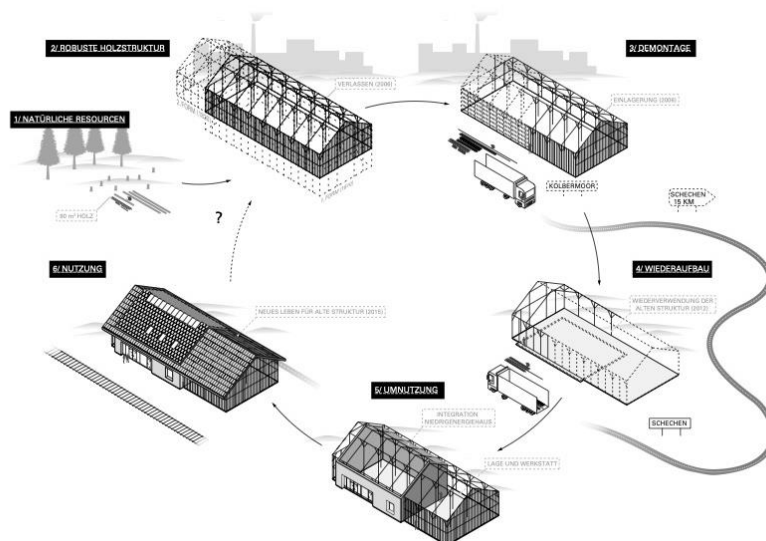


Abbildung 27. Lebenszyklusdiagramm Torfremise

Die Bauherren haben das Gebäude 2005 vor der Zerstörung und thermischen «Verwertung» gerettet, es am ehemaligen Standort Kolbermoor rückgebaut eingelagert und später in Schechen nördlich von Rosenheim wieder errichtet.

Bis 2005 wurde das ursprünglich als Torftrockenremise errichtete Gebäude als Lager-schuppen genutzt, in dem unter anderem der jetzige Besitzer, der Korbflechter Emmanuel Heringer seine Weiden eingelagert hatte. Ziel der Translozierung war die Integration eines Wohn- und Werkstattgebäudes für den Korbflechter und seine Frau eine Schmidemeisterin. Die Neue Nutzung wurde als reversible Holz-Lehm Konstruktion zu den Tragachsen des historischen Gebäudes versetzt um das historisch Tragwerk möglichst weitgehend zu

erhalten. So entstand ein westlicher Umgang in dem man trockenen Fußes zwischen Wohnen und Werkstatt wechseln kann. Der verbliebene Kaltbereich der Remise wird wie ursprünglich als Lagerraum, aber auch überdachter Arbeitsplatz genutzt.

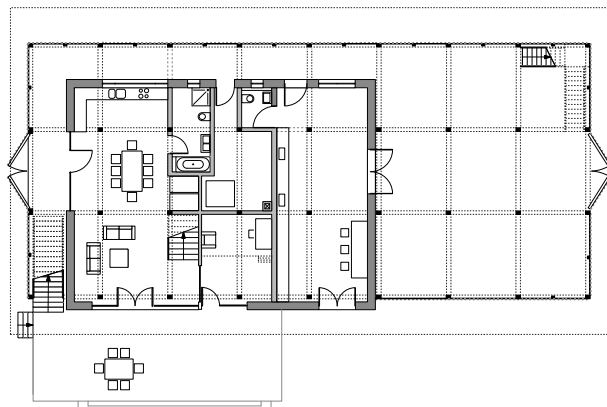


Abbildung 28: Grundriss EG Torfremise

Das historische Tragwerk wurde im Rahmen einer Master Thesis an der FH Potsdam statisch neu berechnet und trägt auch heute die vertikalen Lasten der neuen Nutzung und des neu eingefügten dämmenden Dachaufbaues. Die Außenwände sind nichttragende Außenwände die nur die Eigen- und Windlasten tragen.

Konstruktiv wurde das Gebäude auf eine neue Bodenplatte gestellt die auch die ganzjährige Nutzung zu Wohn- und Arbeitszwecken ermöglicht.

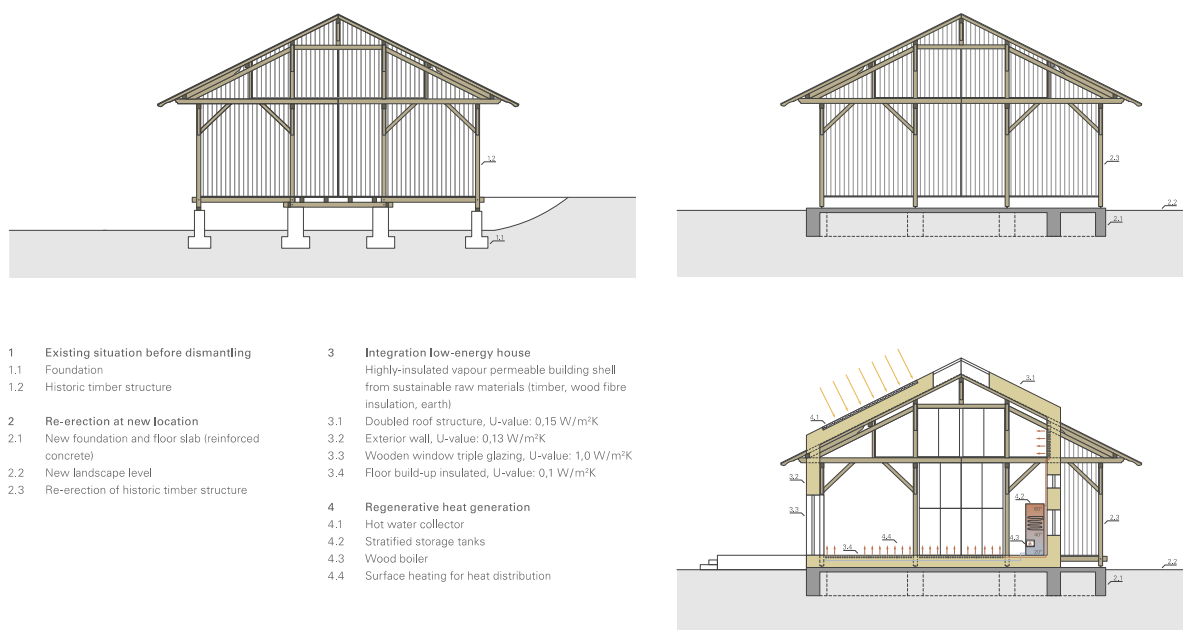


Abbildung 29: Gebäudesystemschnitt Torfremise

In einer zweiten Bauphase wurde der historische Stadel mit größter Sorgfalt durchrepariert, auf der Bodenplatte wiedererrichtet und neu mit Tonziegeln eingedeckt. In einem letzten Schritt wurde die neue, «Warme» Nutzung über hochdämmende Holz-Lehm-Wände integriert. Hierzu wurden Holzständerwände eingefügt, beidseitig mit Holzfaserplatten bekleidet und mit Lehm verputzt. Als Dämmung kam eine Holzfaser-Einblasdämmung zum Einsatz. Die Bodenplatte wurde im warmen Bereich mit Glasschotter gedämmt. Die Innenwände wurden als Holzständer errichtet, mit Lehmsteinen ausgefacht und mit Lehm verputzt. In Teilen der Innenputze wurde ein Wandheizsystem integriert, das über einen Stückgutkessel versorgt wird.



Abbildung 30: Bauprozess Innenwände mit Lehmsteinen und Lehmputzen

Auch wenn die neuen Wände nicht voll reversibel geplant wurden sind sie aufgrund der Lehmputze und der Holzkonstruktion im Wesentlichen reversibel und nachnutzbar ausgeführt. Die Oberflächen sind weitgehend aus Naturbaustoffen errichtet. Die Lehmoberflächen sind weiße Lehmmedelputze die aus weißen Sanden und weißen Tonmerialien gemischt wurden, aber die lehmübliche Feuchteperformance aufweisen. Die Böden sind Tannendielen aus einem nahegelegenen Wald die weiß geseift wurden und auch feuchtesteuernd, also klimaaktiv wirken. Aufgrund der sorptionsfähigen Oberflächen und diffusionsoffenen Wandaufbauten pegelt sich das Haus in Bereich einer gesunden Innenraumluftfeuchte zwischen 40 bis 60% relative Luftfeuchte ein und kann so bei zweimaligem Stoßlüften pro Tag auf Lüftungsanlagen verzichten, also als robustes LowTech Gebäude eingestuft werden



Abbildung 30: Umgang EG

Abbildung 31: Innenraum EG, Oberflächen aus Naturbaustoffen

5.2. Experimentalgebäude Infozentrale auf dem Rollberg

Das von Studierenden am Natural Building Lab der TU Berlin 2017/ 18 entwickelte Gebäude basiert auf den Ergebnissen des oben beschriebenen Forschungsvorhabens RE4. Die Studierenden haben in ihrem Entwurfsstudio mit der Suche nach Abfallmaterialien und der Nutzungen für diese begonnen, also Bauelemente aus Abfall entwickelt bevor sie begonnen haben für diese Elemente ein prototypisches Gebäude zu entwerfen. Das Dachtragwerk ist analog der RE4 Forschung aus dem Abbruch verschiedener Holzkonstruktionen entstanden. Da dies eher kurz Stäbe mit geringen Querschnitten waren basiert das Konzept auf einem Holzquerschnitt von 6 auf 11 cm. Aufgrund der kurzen Lamellen wurde ein Trägerrost konzipiert der vielfach gestoßen werden konnte, 8 x 10 Meter überspannt und auf vier eingespannten Kreuzstützen auflagert. Im inneren Bereich des Daches, zwischen den Stützen, wurden zur Ermöglichung einer ganzjährigen Nutzung Kästen mit Zellulosedämmung

aufgesetzt. Da das Gebäude auf einer bestehenden Kellerdecke der ehemaligen Kindl Brauerei errichtet wurde sind die Stützenfüße durch die Decke verschraubt. Die Wände zur ganzjährigen Nutzung des Gebäudes wurden aus Gemüseboxen gebaut, die von den Studierenden als urbane Stohballen bezeichnet und über einen längeren Zeitraum in der Stadt gesammelt wurden. In die Pappboxen wurde geschreddertes Papier als Dämmstoff eingefüllt. Die Boxen wurden mit selber «geernteten» und angeweichten Werbeplakaten zu geschosshohen Wandelementen zusammengefügt. Die Wandelemente wurden von den Studierenden während der «Entwicklungsphase» in Bezug auf Entflammbarkeit und die Aufnahme von Windlasten getestet.

Ebenfalls aus Holzabfällen, gefundenem Glas und Fahrradschläuchen als Dichtung wurden Fenster und Türen hergestellt. Die Dachabdichtung ist aus neuem Material hergestellt das aber reversibel über Klettbänder an der Konstruktion befestigt und nicht mit der Holzkonstruktion wie üblich verschweißt wurde.

Das Gebäude, insbesondere die Außenwände aus Pappe und Papier haben die mindestens einjährig geplante Nutzung bislang erstaunlich gut überstanden. Die Notfalloption einer zusätzlichen Wetterbekleidung wurde bislang nicht notwendig.

Das Gebäude dient heute als Nachbarschaftstreff für diverse soziale Gruppen im Umfeld des Rollberggeländes.



Abbildung 31: Trägerrost aus Altholz



Abbildung 32: Rohbau Holztragwerk aus Altholz

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

6.1. Voraussetzungen

Bei der Untersuchung von Altholz müssen verschiedene Faktoren berücksichtigt werden. Der Erhaltungszustand, Schäden durch den Rückbau und der vorherige Lastfall können die Tragfähigkeit des Holzes beeinflussen. In verschiedenen Forschungsprojekten wurde seit den 1950er Jahren festgestellt, dass der Einfluss des Alters vernachlässigt werden kann, wenn der Erhaltungszustand und andere Verunreinigungen sorgfältig untersucht werden [10].

Die Verwendung standardisierter Querschnitte kann dazu beitragen, Lagerkosten zu reduzieren und die Marktakzeptanz für Altholz zu erhöhen. Keilzinken machen das Recycling von Altholz sehr attraktiv, da Fehlstellen herausgeschnitten werden können und kürzere Stücke zu einer Endloslamelle verbunden werden können, die wiederum auf die erforderliche Länge zugeschnitten werden kann.

Die visuelle Festigkeitsbewertung kann heute maschinell unterstützt werden, was in höheren Festigkeitsklassen zu einer besseren Ausbeute führen kann. Üblicherweise arbeiten Sortiermaschinen damit, das Holz zu biegen und die Steifigkeit zu bewerten. Heutzutage umfasst die Maschinensortierung auch Technologien wie Biegeresonanzfrequenz, Röntgenmessungen und Ultraschallwellengeschwindigkeit.

Um das Problem der Holzschutzmittel aufzugreifen, wäre eine Art Schnelltest für die Baustelle wünschenswert, da Probenahme und Laboranalyse teuer und zeitintensiv sind. Das Fraunhofer-Institut entwickelte im Rahmen des EU finanzierten CaReWood Projektes einen Prototyp für ein Vor-Ort-Messgerät, mit dem die Klassifizierung von Altholz aus dem Rückbau von Gebäuden verbessert werden könnte [11].

6.2. Material- und Entwurfskonzept für lastabtragende und nicht-lastabtragende Elemente aus Altholz

Der hohe Anteil an Altholz, der in alle Komponenten und Elementen integriert werden konnte, zeigt das enorme Potenzial dieses Ansatzes zur Minimierung sowohl in Bezug auf die Abfallerzeugung als auch den Ressourcenverbrauch. Solange jedoch keine ganzheitlichen Kostenermittlungen für die Errichtung und den Rückbau von Gebäuden angesetzt werden oder Anreize für nachhaltigere Lösungen geschaffen werden, werden solche Lösungen Schwierigkeiten haben, in den stark wirtschaftlich getriebenen Markt Einzug zu nehmen.

6.3. Reversible Verbindungen

Reversible Verbindungen auf Basis von Metallbeschlägen sind im modernen Holzbau bisher nicht üblich. Tischleranschlüsse sind ohne moderne Industrie-Abgratmaschinen wirtschaftlich nicht realisierbar. Wenn jedoch eine kreisförmige Konstruktion obligatorisch wird, soll eine geeignete Lösung relativ einfach implementiert werden können.

6.4. Entwurfskonzept für reversible Gebäude

Neue Material- und Konstruktionskonzepte müssen entwickelt werden, um die Anpassung von Gebäuden an sich verändernde Lebensbedingungen zu ermöglichen. Darüber hinaus muss der heutige Planungsprozess für Holzbauten eine zukünftige Demontage und Wiederverwendung berücksichtigen. Reversible Verbindungen, die meistens teurer sind, sind der Schlüssel zum Erfolg solcher Konzepte. Die zunehmende Digitalisierung und der verstärkte Einsatz von Building Information Modeling (BIM) im Bauwesen können die Implementierung des zirkulären Bauens unterstützen. Insbesondere im Holzbau ist die 3D-Modellierung ein gängiger Ansatz. Engagierte Komponentenhersteller und -lieferanten bieten für Produkte Rücknahmesysteme für Baureste und möglicherweise nicht mehr benötigte Produkte an. Ohne staatliche Vorgaben werden Versuche zum zirkulären Bauen jedoch auf Pilotenebene verbleiben.

7. References

- [1] EUROPEAN COMMISSION ENV.A.2/ETU/2014/0049 - Resource Efficient Use of Mixed Wastes
- [2] Implementing EU waste legislation for green growth, DG ENV (2011)
- [3] <https://www.bmu.de/en/law/abfallrahmenrichtlinie/>, zuletzt besucht am 23.03.19 um 18:29
- [4] Thienel, Karl Christian, BNaustoffe aus Recyclaten und Nebenprodukten Holz, Universität München
- [5] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz sowie des Bundesamts für Justiz (2003) *Altholzverordnung – AltholzV, Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz*
- [6] DIN EN 14081-1:2016. Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Deutsches Institut für Normung, Berlin.
- [7] DIN EN 14081-2:2018. Holzbauwerke - Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt - Teil 2: Maschinelle Sortierung; zusätzliche Anforderungen an die Erstprüfung, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2018.
EN14080:2013. Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz – Anforderungen, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2018. DIN 4074-1:2012. Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit - Teil 1: Nadelschnittholz, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2012. EN 338:2016. Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen, Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2016.
- [8] Weimann, K.; et al.: Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung, Umweltbundesamt (Federal Environment Agency), 2013, <http://www.uba.de/uba-info-medien/4430.html>
- [9] DIN 68800-2019. Holzschutz. Deutsches Institut für Normung, Berlin. 2019.
- [10] Cavalli A, Cibeccchini D, Togni M, Sousa HS. 2016: A review on the mechanical properties of aged wood and salvaged timber.
- [11] <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2017/oktober/altholz-neues-leben-als-sekundaer-rohstoff.html>, zuletzt besucht am 23.03.19 um 18:20