

Re-Use – Die Wiederentdeckung der Wiederverwendung im Holzbau

Martin Weigl-Kuska
Holzforschung Austria
Wien, Österreich



Re-Use – Die Wiederentdeckung der Wiederverwendung im Holzbau

1. Abstract

Mit dem Forschungsprojekt TimberLoop wird eine Lücke zwischen Geschichte und Moderne geschlossen. Die Wiederverwendung von Materialien und Baustoffen ist historisch vielfach belegt. Auch im traditionellen Holzbau ist das Konzept im Grunde nicht neu. Sanierungen und Adaptierungen an geänderte Nutzung von Objekten oder Anpassungen an den Stand der Technik sind historisch nachweisbar. Aus diesen historischen Zugängen kann viel Wissen gewonnen und in die Moderne transferiert werden. Die Herausforderung ist jedoch dem heutigen Stand der Technik gerecht zu werden, und Rechtsicherheit zu wahren.

Unterschiedliche Treiber wie politische Rahmenbedingungen (z.B. EU-Green Deal, Waldfonds) aber auch wirtschaftliche oder ideelle Zugänge haben zuletzt das Interesse an «Altholz» in all seinen Ausprägungsformen deutlich erhöht. Der etablierte kaskadische Nutzungsweg von Altholz, welcher zumeist auf der Basis starker Zerkleinerung zu einer Nutzung in Holzwerkstoffen oder als Energieträger führt, ist hierbei jedoch nicht im politischen Fokus. Ziel ist eine Wiederverwendung von Holz und Holzbauprodukten unter minimal prozesstechnischem Aufwand, und die Materialstruktur hierbei zu erhalten. Im Fokus steht somit entsprechend der Abfallhierarchie der Re-Use, sprich die Wiederverwendung in der bestehenden Form, gleich unter Reduce (Vermeidung). Österreich hat sich das Ziel gesetzt den Prokopfverbrauch an Ressourcen von aktuell 19 auf 14t p.a. bis 2030 zu senken. Während Reduce oft als primär gesellschaftliche Herausforderung gesehen wird, bedeutet dies jedoch auch für den Holzbau, dass sich zukünftig in der Planung Prioritäten ändern müssen. Als einfacher Indikator für einen reduzierten Ressourceneinsatz kann z.B. m²/Kopf angesehen werden. Um Reduce-Ziele zu erreichen ist es erforderlich, dass entsprechende politische Anreize geschaffen werden. Etwas anders verhält es sich im Bereich Re-Use.

Re-Use-Holzbauprodukte sind aktuell weitestgehend unreguliert. Re-Use kann bedeuten, dass Holzbauprodukte wie Bauholz oder BSH (Brettschichtholz) rückgebaut und wieder ihrem ursprünglichen Zweck entsprechend neuerlich eingesetzt werden. Selbiges kann auch für ganze Bauteile oder gar Objekte gelten. Hierbei dem aktuellen Stand der Technik zu entsprechen ist eine zentrale, jedoch nicht die einzige Herausforderung. Die Recyclingholzverordnung (AT) bzw. Altholzverordnung (DE) bieten Indizien für diese Herausforderungen und sind an dieser Stelle hinderlich zugleich.

Zusätzlich zu den Anforderungen an Bauprodukte und Bauteile, welche aus primären Ressourcen hergestellt werden, muss im Fall des Re-Use sichergestellt werden, dass es durch eine Vornutzung, Alterungsprozesse oder Umwelteinflüsse dennoch klar definierte Produkteigenschaften gibt. Etwaige Kontaminationen durch Holz- oder Flammschutzmittel sind hierbei gleichermaßen relevant, wie Festigkeitsänderungen oder Einträge durch die Vornutzung.

Aktuell kann man allen Anforderungen nur mit überproportionalem Aufwand gerecht werden. Zudem ist das Rohstoffpotential weder im Sinne von Menge noch Qualität aktuell bekannt und kann auch aus der Abfallstatistik nur ungenügend beschreiben werden. Im Abbruch fehlen etablierte Wirtschaftsleistungen, welche auf großvolumigen Re-Use von Holz- und Holzbauprodukten ausgelegt sind und für die Planung fehlen Informationen zu Verfügbarkeit und Qualität. Darüber hinaus gibt es allgemein zu wenig dokumentiertes Wissen hinsichtlich der Materialqualität. Vor diesem Hintergrund leitet die Holzforschung Austria das Grundlagen-Forschungsprojekt TimberLoop (<https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/timberloop/>) und schafft in Kooperation mit 14 Partnern wesentliche Grundlagen für den Re-Use von Holz im Bauwesen. Der Vortrag zeigt aktuelle Ergebnisse hinsichtlich Umweltchemie und präsentiert einen ersten Vorschlag für einen praxisnahen Umgang im Bereich Objektansprache, Analytik und Sortierung.

2. Einleitung

Das Forschungsprojekt TimberLoop [1, 2] schließt eine Lücke zwischen Frischholz und Altholz. Es grenzt nahtlos an das Projekt Bau-Cycle [3, 4] an, greift auf Jahrzehnte der Kooperation zwischen Unternehmen und der Holzforschung Austria zurück und ebnet den Weg für hoch moderne Holzbaulösungen. Der gemeinsame Nenner ist die Kreislaufführung von Massivholz. Das Ziel ist nichts Geringeres als die Holzbranche ins Kreislaufzeitalter zu führen.

In nicht allzu ferner Zukunft ist Europa «fertig gebaut». So sieht stark vereinfacht gesagt die Vision der Europäischen Kommission im Baubereich für das Jahr 2050 aus. Grundlage dafür ist die Zielvorgabe, zu diesem Zeitpunkt klimaneutral zu sein. Bis dahin bestehen diverse Nullemissions-Ziele als Teilschritte. Als Grundlage für diese Politische Entwicklung gilt der EU-Green Deal [5]. Diese Ziele sind jedoch auch im Kontext der UN-Nachhaltigkeitsziele, konkret der Agenda 2030 mit den dort formulierten 17 Zielen für eine nachhaltige Entwicklung zu sehen [6]. Für das Bauwesen gilt es daher Wege zu finden, Ressourcen zu schonen und klimafreundliche Konzepte zu entwickeln. Der Holzbau hat hierbei ein gewaltiges Potential aber auch einige Hürden zu nehmen.

3. Vision für die Zukunft

Holz ist für dieses Ziel der Massenbaustoff schlechthin, vor allem wegen der CO₂-Fixierung im Baum während des Wachstums und der weiteren Speicherung im Produkt über einen langen Lebenszeitraum. Allerdings zeigen unter anderem der Klimawandel, wie auch wirtschaftliche und humanitäre Krisen, dass die Rohstoffversorgung eine Herausforderung ist. Es macht daher auch aus unternehmerischer Sicht Sinn, Wege zu finden wie sowohl Frischholz als auch Holz aus Vornutzung ideal eingesetzt werden kann.

Diesen gemeinsamen Nenner gilt es zu finden. Auf der Suche danach kommt man nicht umhin, sich mit drei unterschiedlichen Themenfeldern zu befassen. Übertragen in die Praxis bedeutet dies zu klären:

- Wie plant man kreislaufgerecht?
- Welche Übergangswege können im Produktdesign eingeschlagen werden?
- Wie sieht die optimale Nutzung von Altholz aus?

4. Altholz gestern, heute, morgen

Die Wiederverwendung von Materialien und Baustoffen ist historisch vielfach belegt. Gerade für nicht natürlich abbaubare Materialien wie Stein, Keramik oder Metalle war es früh nötig Lösungen zum Recycling oder gar Re-Use zu finden, siehe z.B. [7, 8]. Archäologisch ist dies bis in die Frühgeschichte nachweisbar.

Auch im traditionellen Holzbau ist das Konzept im Grunde nicht neu. Sanierungen und Adaptierungen an geänderte Nutzung von Objekten oder Anpassungen an den Stand der Technik sind historisch nachweisbar (Abbildung 1).



Abbildung 1: Historische Anpassung an den Stand der Technik als Herausforderung im heutigen Re-Use: Im Zweiten Weltkrieg aus Brandschutzgründen gekalkter Dachstuhl, © Holzforschung Austria

Aufgrund des Potentials zur Umgestaltung und letztlich der Abbaubarkeit von Holz ist die historische Evidenz jedoch geringer als für andere Materialien. Unter speziellen Bedingungen, die einen Holzabbau verhindern, kann jedoch auch hier weit in die Frühgeschichte und die Holznutzung geblickt werden. Das Salzbergwerk in Hallstatt mit seiner durchgehenden Nutzung seit der Bronzezeit ist hierfür ein beeindruckendes Beispiel, wobei die Dendrochronologie bei Holz sogar die Möglichkeit der exakten Datierung bietet, siehe z.B. [9, 10]. Aus den historischen Zugängen kann viel Wissen gewonnen und in die Moderne transferiert werden. Die Herausforderung ist jedoch, dem heutigen Stand der Technik gerecht zu werden, und Rechtsicherheit zu wahren.

Für Altholz gilt in Österreich die Recyclingholzverordnung [11]. In Deutschland existiert die in vielen Details unterschiedliche Altholzverordnung [12]. Beide schlagen jedoch in dieselbe Kerbe. Diese Verordnungen sind die Grundlage für den Einsatz von Altholz in Holzwerkstoffen bzw. für die kaskadische Weiterführung hin zur energetischen Nutzung. Darüber hinaus gibt es beispielsweise das österreichische Umweltzeichen [13] oder den Blauen Engel [14], die ähnliche Zugänge beim Altholzeinsatz finden. Kern dieser Regulative ist zu vermeiden, dass Altlasten verschleppt werden. Dabei wurden vielfach in unterschiedlichen Regulativen unterschiedliche Zugänge gewählt, es ist jedoch eine tendenzielle Annäherung im Laufe von Überarbeitungen zu beobachten. Sie sind nach wie vor inhaltlich nicht in Deckung zu bringen und eine Harmonisierung ist aus Sicht des Autors lediglich durch den Antrieb der agierenden Personen und Institutionen zu erzielen. Der pragmatische Zugang in Österreich wird im Umgang mit Altholz durch die Quellensortierung gefunden. Diese sieht allem voran eine Entscheidung basierend auf der Altholzansprache vor, ob es sich um «Altholz stofflich» oder «Altholz thermisch» handelt. Zusätzlich existieren auch die Klassen «Altholz gefährlich» bzw. «Fraktionen die kein Altholz sind» [15].

Um Verschleppungen zu vermeiden wurden Grenzwerte für ausgewählte chemische Parameter definiert. Diese umfassen unter anderem Schwermetalle, ausgewählte chemische Elemente wie Fluor, Chlor und Zink, sowie organische Substanzen. Es gibt hier jedoch wie gesagt keinen harmonisierten Zugang. Je nach Regulativ sind es teilweise unterschiedliche Parameter, abweichende Grenzwerte, unterschiedliche Probenahmestrategien und statistische Zugänge. Besonders der letzte Parameter macht eine Übertragung vom etablierten Stand der Technik im Bereich der homogenisierten Altholzströme auf eine moderne Kreislaufwirtschaft ohne Stoffaufschluss nahezu unmöglich. Der statistische Zugang sieht vor, dass kontinuierlich Lose gezogen werden und diese analysiert werden. Es ist hierbei nicht die Überschreitung von Grenzwerten durch Einzelproben, sondern die statistische Variation dieser Parameter das Entscheidungskriterium. Dieses Konzept lässt sich nicht realistisch auf stückiges Altholz übertragen.

In der Realität stellen die Vielzahl und Heterogenität der Regulative für die Praxis ein unnötiges Hemmnis dar. Mit dem Fokus auf die kaskadische Holznutzung, wo Altholz gegebenenfalls noch als Massivholz anfällt, in weiterer Folge jedoch zerkleinert und somit homogenisiert wird funktionieren diese Zugänge. Soll jedoch die Holzstruktur im Sinne einer kreislauforientierten Nutzung erhalten bleiben, zeigt sich, dass andere Wege eingeschlagen werden müssen. Jedes Stück Altholz ist einzigartig, und doch gibt es Gemeinsamkeiten. Es braucht Klarheit, welche Parameter an welchen Stichprobengrößen und in Abhängigkeit von der Vorgeschichte und dem Re-Use-Szenario gemessen werden müssen. Diese rechtliche Grauzone macht aktuell die Entfaltung einer Holzkreislaufwirtschaft sehr herausfordernd.

5. Nische als Ausgangspunkt der Transformation

Und dennoch ist es möglich. Es gibt einige Unternehmen, die auf die strukturerhaltende Gewinnung von Altholz spezialisiert sind. In der gängigen Praxis ist jedoch Holz im Abbruch oder Rückbau ein Störstoff, der grundsätzlich entfernt werden muss, um die mineralischen Komponenten rückzugewinnen zu können. Dass mit diesem etablierten Zugang ein Strukturerhalt des Holzes kaum vereinbar ist liegt auf der Hand.

Dabei sind Abbruchobjekte faktisch Goldminen, aus denen Altholz in bester Qualität und beeindruckenden Dimensionen gewonnen werden können. Große Volumina werden vielfach aus Dachstühlen oder Geschoßdecken gewonnen (Abbildung 2), aber auch kleinvolumige Althölzer wie Massivholzparkett werden immer häufiger schonend entnommen und einem nächsten Lebenszyklus zugeführt.



Abbildung 2: Die Ausformung von historischen Bauprodukten bietet viele Gestaltungsmöglichkeiten bei der Produktgestaltung im Re-Use, © Holzforschung Austria

Alte Bearbeitungsspuren, charakteristische Rissbilder, Abbau durch Licht und Wetter und gelegentlich sogar eingerostete Nägel sind begehrte Charakteristika vom DIY-Markt bis hin zur Ausstattung im Luxusbereich.

Die Holzforschung Austria arbeitet in diesem Bereich seit Jahren kooperativ mit unterschiedlichen Unternehmen. Diese Pionier:innen lassen sich in diesem Altholzsegment überwachen und ergänzen ihre eigene Qualitätssicherung durch unabhängige Probenahmen und Sonderanalysen in Verdachtsfällen. In Forschungsarbeiten wurden zum Beispiel kooperativ innovative Wege gefunden, die Qualitätssicherung automatisiert mit Sensoren durchzuführen, oder Altholzsortimente einem Upgrade zu unterziehen und hochwertigste Nutzungen zu schaffen.

Diese Aktivitäten mündeten unter anderem auch im Projekt Bau-Cycle, welches von 2020 bis 2023 an der Holzforschung Austria gelaufen ist. Durch umfangreiche Infrastrukturaufstockung ist seither im Chemielabor Altholz alltäglich.

6. Parkett aus Fenstern?

Nicht alltäglich ist jedoch im Industriemaßstab Altholz und Frischholz gemeinsam zu nutzen. Das soll sich ändern. Wie dies funktioniert, welche Anforderungen an die eingesetzten Rohstoffe gestellt werden und welche Produkteigenschaften damit realisiert werden können ist auf jeden Fall von der Produktdimension abhängig. TimberLoop setzt im kleinteiligen Bereich beim hochwertigen Produkt Parkett an.

Altholz als Massivholzboden oder als Decklage von Mehrschichtparkett ist aufgrund des Erscheinungsbildes von der Kund:innen-Entscheidung und von der Gebrauchstauglichkeit abhängig. Mehrschichtparkett bietet aufgrund der Dimensionen der Mittellagenstäbe die Möglichkeit, Altholz mit schlechter optischer Qualität einzusetzen. Der Rohstoff muss für diese Verwendung hinsichtlich Schad- und Störstofffreiheit aber auch Holzqualität geeignet sein. Altholz kann auch veränderte Verklebungseigenschaften aufweisen. Die Nutzung von gebrauchtem Brettschichtholz bis zum ausgedienten Holzfenster sind dafür angedacht.

7. Leimholz und Holzbau

Die Dringlichkeit der Weiterentwicklung des Holzbaus in Richtung Kreislaufwirtschaft ist in der Branche angekommen. Dass sich ein stoffersparender Rückbau auszahlen kann zeigt unter anderem Abbildung 3.



Abbildung 3: In TimberLoop werden gebrauchte BSH-Träger nach dem Rückbau begutachtet und Szenarien für den Re-Use entwickelt, © Holzforschung Austria

Um weiterhin gegenüber den anderen Baumaterialien konkurrenzfähig zu sein, ist es notwendig Konzepte für die technische Umsetzung zur Kreislaufführung tragender, verklebter Holzbauprodukte zu erarbeiten.

Hierbei werden drei Ansätze, nämlich Re-Use, Repair und Remanufacture verfolgt. Der für die Holzindustrie vielversprechendste Ansatz ist sicherlich der Einsatz von aufgetrennten Altholzlamellen bei der Erzeugung neuer Holzbauprodukte. Hierzu werden in einem weiterführenden Projekt die Grundlagen für die normative Umsetzung geschaffen.

8. Holzschutzmittelfreie Kreislaufführung

Mit Holzschutzmitteln behandelte Hölzer sind am End of Life von einer Wiederverwendung ausgeschlossen. Grundlagen, wie ein Verzicht auf Holzschutzmittel nicht zu einer Gefährdung der Holzprodukte führt, werden im Rahmen des Projektes TimberLoop unter anderem am Beispiel Holzfenster erarbeitet. Aufbauend auf einer Risikobewertung mit Identifikation von Schwachstellen, werden Konzepte zur Befallsvermeidung erstellt, holzspezifische Eigenschaften wie Wasseraufnahmefähigkeit und Dauerhaftigkeit werden mit technischen Parametern wie Feuchteschutz durch Beschichtungen und Abdichtung von Holzverbindungen korreliert.

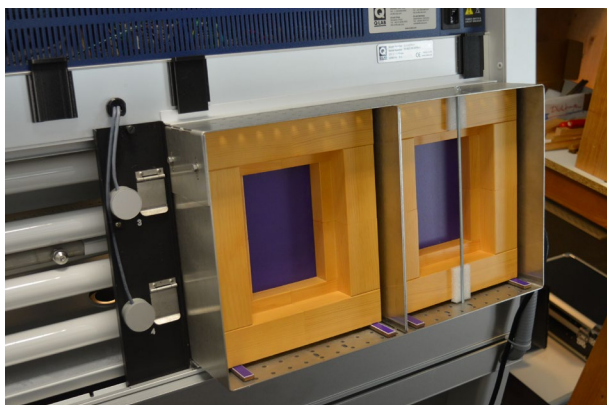


Abbildung 4: Abdichtung als Schutz vor Aufweichung – Künstliche Bewitterung im Vorfeld von biologischen Versuchen an Rahmen im Labormaßstab, © Holzforschung Austria

Ohne Holzschutzmittel werden derzeit übliche Sicherheitskonzepte verlassen, was ein Risiko für derartige Holzprodukte sein kann. Die erarbeiteten generellen Lösungskonzepte sind daher in der Folge einer praktischen Belastungsprobe zu unterziehen.

9. Die neue Altholznutzung

Das Projekt schafft somit durch breit angesetzte Grundlagenforschung einen Rahmen für Unternehmen, die neuen Wege selbst zu beschreiten. Handlungsempfehlungen werden entwickelt und richten sich an die gesamte Branche und die Politik. Unter anderem wurde eine Adaptierung von [17] als Ergänzung zur Beurteilung der Holzfraktion vor dem Rückbau im Sinne eines Pre-Demolition-Audits etabliert und befindet sich aktuell in der versuchs-technischen Begutachtung.

Klar angewandte Forschungsfragen werden aktuell in Studien und weiteren Projekten verfolgt. Zwar ist bekannt wieviel Altholz laufend anfällt, aber das Potential für die Kreislauf-führung kann derzeit noch nicht beschrieben werden. Wenn es anfällt stellt sich die Frage der Trennbarkeit. Und wenn man damit arbeiten will, muss man auch wissen, was wann wo und in welcher Qualität verfügbar ist.

Die Anpassung an diese zukünftige Wirtschaftsweise hat in einigen Bereichen der Holzindustrie bereits jetzt volle Fahrt aufgenommen. Die Zukunft der zirkulären Holznutzung wird schematisch in Abbildung 5 dargestellt. Re-Use ist und bleibt ein Begriff mit Interpretationsspielraum. Zumindest wenn die gesamte Objektstruktur wie auch die Bauteilstruktur erhalten bleibt und einer neuerlichen Nutzung im selben Sinne erfolgt macht es aus Sicht des Autors Sinn von Re-Use zu sprechen, da gerade in diesen Szenarien der Anteil grauer Energie am Gesamtwerk im Regelfall gering bleibt.

Die sortenreine Trennung benötigt mehr Energie, bietet dabei jedoch auch wieder mehr Gestaltungsmöglichkeit. Aber selbst beim Übergang einzelner Stofffraktionen in die kaskadische Nutzung ist wichtig festzuhalten, dass all diese Prozesse erstens komplementär zu sehen sind, und zweitens in allen Szenarien im Regelfall weniger Energie aufgewendet werden muss als beim Einsatz von Frischholz. Wenngleich das Abfallrecht ungeeignet scheint um den Rahmen für den modernen zirkulären Holzeinsatz zu gestalten hilft die Einordnung der möglichen Verwertungswege im Kontext der Abfallhierarchie (Abbildung 6).

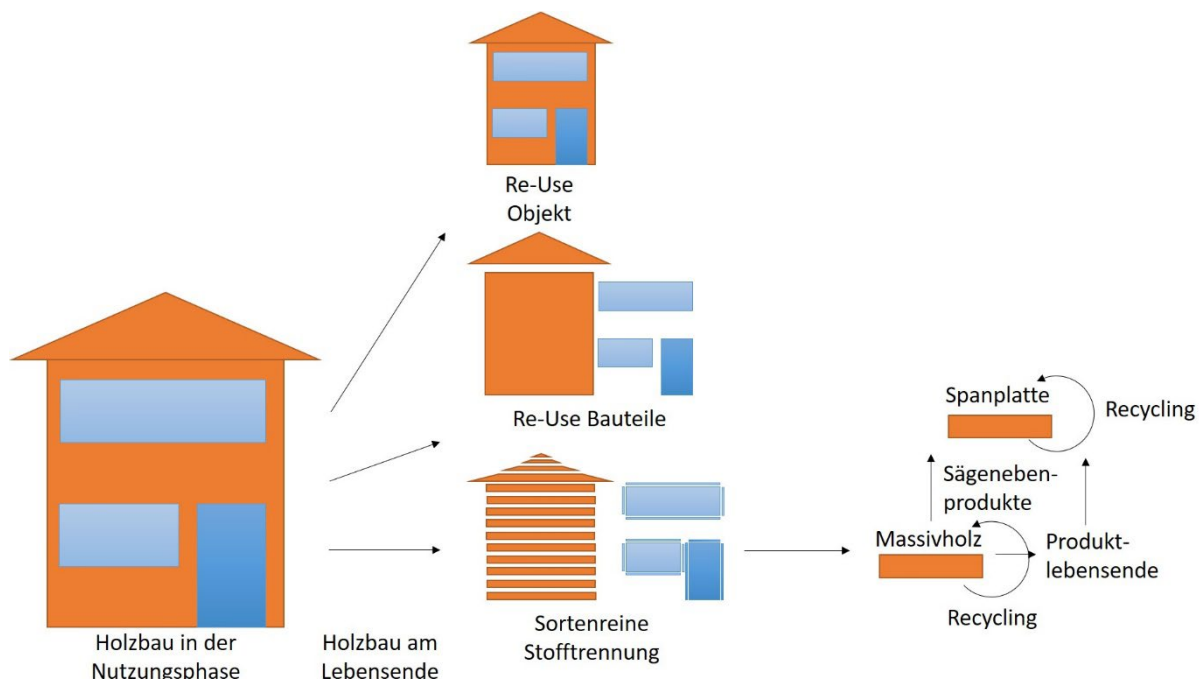


Abbildung 5: Mögliche Verwertungswege von Holzgebäuden und Bauprodukten am Lebensende, aus dem Englischen übersetzt [16]

Während die beiden obersten Szenarien der Abfallhierarchie Vermeidung und Reduzierung für die Wirtschaft kaum bis keine Betätigung zulassen, bieten die Ebenen Re-Use und Reparatur neue spannende Betätigungsfelder. Mit Etablierung dieser Wirtschaftszweige wird es voraussichtlich auch zukünftig zu veränderten Altholzsortimenten in den Bereichen Recycling und Rückgewinnung kommen. Eine theoretische Betrachtung der möglichen Verschiebungen in diesem Stoffstrom wurde in TimberLoop aufbereitet und zeigt auch, dass diese etablierten Wirtschaftszweige sich auf Veränderungen einstellen müssen.

Abfallhierarchie - Verwertungswege im Holzbau am Lebensende:

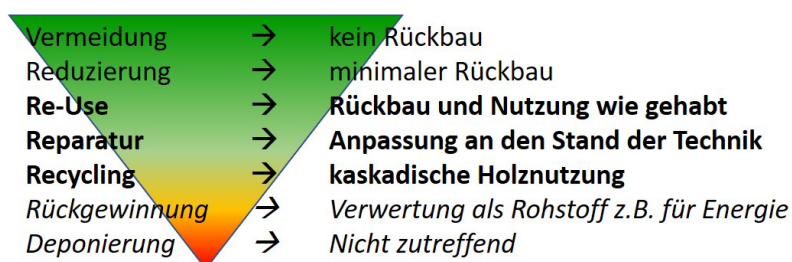


Abbildung 6: Einordnung der Verwertungswege von rückgebauten Holzbauten und Bauelementen entsprechend Abfallhierarchie, aus dem Englischen übersetzt [16]

Es ergeben sich oberhalb der kaskadischen Holznutzung neue Wirtschaftsszenarien, die nicht ohne Folgen auf diversen Ebenen bleiben werden. Wie diese bedient werden hängt sehr stark von den Akteur:innen, der Nachfrage aber vor allem von der Rechtslage ab.

10. Danksagung

«Dieses Projekt wird aus Mitteln des Waldfonds, einer Initiative des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft gefördert und im Rahmen des Programms Think.Wood der Österreichischen Holzinitiative durchgeführt.» Wir danken dem Fachverband der Holzindustrie Österreichs für die Unterstützung und den beteiligten Unternehmen für den hohen und wertvollen Einsatz.

Teile des Textes basieren auf [18]. Vielen Dank für die Genehmigung zur Verwertung und Umgestaltung des Textes.

11. Referenzen

- [1] TimberLoop: <https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/timberloop/>
- [2] TimberLoop: <https://projekte.ffg.at/projekt/4695470>
- [3] Bau-Cycle: <https://www.holzforschung.at/forschung-entwicklung/projektliste/details/bau-cycle-178/>
- [4] ACR- Austrian Cooperative Research (2020) Baustoff im Kreislauf <https://www.acr.ac.at/science-story/baucycle-baustoff-im-kreislauf/>
- [5] Europäische Kommission (2019) Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Der europäische Grüne Deal https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF
- [6] UNRIC – Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen, <https://unric.org/de/17ziele/>
- [7] Schindler Kaudelka, E. (2007) Deponierung und Recycling. Erste Gedanken zur Abfall- und Müllwirtschaft auf dem Magdalensberg, Rudolfinum- Jahrbuch des Landesmuseums für Kärnten, 119-129
- [8] Furger, A.R. (2013) Knochen, Altglas und Metallschrott: Recycling vor 1800 Jahren im römischen August Raurica, Ferrum 85, 15-26
- [9] Grabner, M.; Klein, A.; Geihofer, D.; Reschreiter, H.; Barth, F. E.; Wimmer, R. (2007), Bronze Age dating of timber from the salt-mine at Hallstatt, Austria. Dendrochronologia 24: 61-68.
- [10] Kowarik, K.; Reschreiter, H.; Wurzer, G.; Totschnig, R.; Rausch, A. (2008) Agenten im Hallstätter Salzbergwerk. Agentenbasierte Simulation für den bronzezeitlichen Salzbergbau in Hallstatt/OÖ, In (Eds.: Karl, R.; Leskovar, J): Studien zur Kulturgeschichte von Oberösterreich 22, 429-440

- [11] Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (Recyclingholzverordnung – RHV) <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007830>
- [12] Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung – AltholzV) <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/AltholzV.pdf>
- [13] Öhler, C.; Stark, S. (2019) Österreichisches Umweltzeichen, Richtlinie UZ 07, Holz, Holzwerkstoffe und Fußbodenbeläge aus Holz, Version 9.0 https://www.umweltzeichen.at/file/Richtlinie/UZ%2007/Long/UZ07_R9.0a_Holzwerkstoffe%20und%20Holzfu%C3%9Fb%C3%B6den_2019.pdf
- [14] RAL gGmbH (2016) BLAUER ENGEL Das Umweltzeichen, Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau, DE-UZ 76, Vergabekriterien Version 10 <https://produktinfo.blauer-engel.de/uploads/criteriafile/de/DE-UZ%20076-201602-de-Kriterien-V10.pdf>
- [15] Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV), (2018), Altholzsortierung, Quellensortierung am Anfallort (z. B. Altstoffsammelzentren, Baustellen) und bei Sortieranlagen <https://www.oewav.at/Kontext/WebService/SecureFileAccess.aspx?file-guid=%7B5e2e1d8d-03ac-4a9a-a592-b5612be8f089%7D>
- [16] Weigl-Kuska, M.; Fühapper, C. (2023) THE TIMBERLOOP-PROJECT: CHEMICAL CONTAMINATION AS AN OBSTACLE FOR TIMBER RE-USE, In (Eds.: Young, T.M.; Petutschnigg, A.): 7th International Conference on Process Technologies for the Forest and Biobased Products Industries, PTF BPI 2023, October 30 – November 1, 2023, St. Simons Island, Georgia, USA, page 46
- [17] DIN SPEC 91484 (2023) Verfahren zur Erfassung von Bauprodukten als Grundlage für Bewertungen des Anschlussnutzungspotentials vor Abbruch- und Renovierungsarbeiten (Pre-Demolition-Audit)
- [18] Weigl-Kuska, M. (2023) Kreislaufwirtschaft im Holzbau, Innovative Forschung in drei Epochen – von Altholz bis TimberLoop, Holzforschung Austria, Magazin für den Holzbereich 4, Seite 3-5 https://www.holzforschung.at/fileadmin/user_upload/Downloads/HFA-Magazin/HFA-Magazin-2023-04.pdf