



BBSR-  
Online-Publikation  
15/2023

# **circularWOOD**

## Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau

von

**Dr. Sandra Schuster**  
**Dr. Sonja Geier**

circular  
**WOOD**

# circularWOOD

Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.14

Projektlaufzeit: 03.2021 bis 02.2023

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“  
Daniel Wöffen  
daniel.woeffen@bbr.bund.de

### Autorinnen

Technische Universität München  
School of Engineering and Design  
Lehrstuhl für Architektur und Holzbau  
Dr. Sandra Schuster  
sandra.schuster@tum.de

Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
Kompetenzzentrum Typologie & Planung  
in Architektur (CCTP)  
Dr. Sonja Geier  
sonja.geier@hslu.ch

### Redaktion

Technische Universität München  
School of Engineering and Design  
Lehrstuhl für Architektur und Holzbau

Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
Kompetenzzentrum Typologie & Planung  
in Architektur (CCTP)

### Stand

Februar 2023

### Gestaltung

Studio Dirk Wagner, Stutensee  
Dirk Wagner  
Gundula Rexin

### Bildnachweis

Titelbild: TUM.wood  
Weitere Nachweise siehe Seite 118 (Abbildungsverzeichnis)

### Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

### Zitierweise

Schuster, Sandra; Geier, Sonja, 2023: circularWOOD: Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau. BBSR-Online-Publikation 15/2023, Bonn.

# Inhalt

|   |    |
|---|----|
| Kurzfassung   | 7  |
| Abstract  | 8  |
| Einleitung  | 9  |
| Einführung  | 9  |
| Themenfeld  | 9  |
| Problemstellung   | 9  |
| Stand der Forschung und der Baupraxis                               | 10 |
| Forschungslücken und Entwicklungsbedarf                             | 10 |
| Zielstellung  | 11 |
| Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu               | 11 |
| Konkrete Projektziele   | 12 |
| Abgrenzung und weitere Themen                                       | 13 |
| Forschungsdesign  | 13 |
| Methodischer Ansatz   | 13 |
| Projektteam und Organisation, Kooperationspartnerinnen              | 15 |
| Arbeitspakete   | 15 |
| Themen- und Stakeholderanalyse                                      | 16 |
| Begriffsverständnis   | 16 |
| Theoretische Grundlagen zum Begriffsverständnis                     | 16 |
| Differenzierung der Qualitätsstufen der Nachnutzung                 | 19 |
| Erkenntnisse  | 20 |
| Analyse nationaler und internationaler Forschungsergebnisse         | 20 |
| Vorgehen und methodische Ansätze                                    | 20 |
| Erkenntnisse  | 27 |
| Vertiefte Analyse zu Re-use Konzepten                               | 27 |
| Vorgehen und methodische Ansätze                                    | 27 |
| Erkenntnisse  | 29 |
| Umsetzungspraktiken   | 31 |
| Stakeholderanalyse  | 31 |
| Vorgehen und methodische Ansätze                                    | 32 |
| Erkenntnisse  | 34 |
| Vertiefte Analyse zu Rahmenbedingungen für kreislauffähigen Holzbau | 42 |
| Vorgehen und methodische Ansätze                                    | 42 |
| Erkenntnisse  | 42 |
| Vertiefte Analyse von Geschäftsmodellen                             | 43 |
| Vorgehen und methodische Ansätze                                    | 43 |
| Erkenntnisse  | 44 |
| Identifikation Wechselwirkungen                                     | 50 |
| Mapping Themen zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau                   | 52 |
| Rahmenbedingungen   | 52 |
| Technologie   | 54 |
| Planung und Umsetzung   | 54 |



|  |            |
|--|------------|
| Material und Konstruktion  | 55         |
| Bewertung  | 56         |
| Wirtschaft   | 56         |
| Synthese Definition Kreislaufwirtschaft im Holzbau                     | 57         |
| <b>Design for Disassembly</b>  | <b>58</b>  |
| Begriffsverständnis  | 58         |
| Aspekte der Rückbaubarkeit   | 58         |
| Begriffsdefinition   | 58         |
| Einordnung für den Holzbau   | 59         |
| Schichtenmodell von Brand  | 60         |
| Hierarchieebenen im Holzbau  | 62         |
| Bauliche Umsetzung   | 63         |
| Bauelemente  | 63         |
| Wand- und Deckensysteme im Holzbau                                     | 64         |
| Fügung und Verbindung  | 66         |
| Einzelkomponente und Material  | 67         |
| Exkurs Abfallrichtlinie  | 69         |
| Erkenntnis   | 70         |
| <b>Fallstudien</b>   | <b>71</b>  |
| Empirische Untersuchungen mittels Fallstudien                          | 71         |
| Methodischer Hintergrund   | 71         |
| Ziel des Modellansatzes  | 72         |
| Fallstudien kreislauffähig geplanter Holzbauprojekte                   | 72         |
| Projektübersicht allgemein   | 73         |
| The Cradle, Düsseldorf, 2023, Deutschland                              | 74         |
| Triodos Bankgebäude, Zeist, 2019, Niederlande                          | 77         |
| Feuerwehrhaus Straubenhardt, Gemeinde Straubenhardt, 2022, Deutschland | 80         |
| Haus des Holzes, Sursee, 2022, Schweiz                                 | 82         |
| Zusammenfassung und Fazit  | 86         |
| <b>Zukunftsszenarien</b>   | <b>89</b>  |
| Vorgehen und methodische Ansätze                                       | 89         |
| Ableitung von Konsequenzen   | 89         |
| Zukunftsszenarien  | 90         |
| Rahmenbedingungen  | 90         |
| Material und Konstruktion  | 91         |
| Planung und Umsetzung  | 93         |
| Technologie  | 96         |
| Wirtschaft   | 98         |
| Bewertung  | 99         |
| Zusammenfassung  | 100        |
| <b>Ergebnisse</b>  | <b>102</b> |
| Synthese, Diskussion und Bewertung der Erkenntnisse                    | 102        |
| Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und Abgrenzung                    | 105        |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Danksagung            | 107 |
| Mitwirkende           | 109 |
| Literaturverzeichnis  | 110 |
| Abbildungsverzeichnis | 118 |
| Tabellenverzeichnis   | 121 |
| Glossar               | 122 |
| Anlagen               | 125 |

## Kurzfassung

Die Bauindustrie hat einen erheblichen Einfluss auf die Umwelt. Sie ist nach Angaben der Vereinten Nationen für etwa 40 Prozent der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen und mehr als die Hälfte des weltweiten Ressourcenverbrauchs verantwortlich. Um diese Emissionen zu reduzieren und die planetaren Grenzen zu beachten, sind nachhaltige Ressourcennutzung, der Einsatz erneuerbarer Ressourcen und der möglichst lange Verbleib von Baustoffen im Stoffkreislauf notwendig. Die Umsetzung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft im Holzbau wird umfassend diskutiert. Bislang fehlen notwendige Grundlagen für das Verständnis von Begriffen und Konzepten für eine holzbaugerechte Übertragung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft auf den modernen Holzbau. Theoretische Explikationen umfassen eine große Bandbreite an Perspektiven, jedoch fehlt eine Übersicht zu relevanten Themenfeldern für die Branche. Erste Erfahrungen zeigen, dass technische, konstruktive und logistische Herausforderungen zu bewältigen sind.

Das Forschungsprojekt circularWOOD greift relevante Fragestellungen zur Übertragung zirkulärer Prinzipien auf den modernen Holzbau auf. Der Bericht liefert einen Überblick zu den Erkenntnissen in der Literatur, analysiert Hemmnisse und Potenziale aus Sicht der Holzbaubranche, fasst Erfahrungen aus ersten Umsetzungsprojekten zusammen und skizziert Elemente für ein zukünftiges Bild der Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Im Fokus des Projekts steht eine hochwertige stoffliche Nachnutzung. Die Methode beinhaltet eine umfassende Literaturrecherche gefolgt von einer empirischen Untersuchung, die sich auf eine Stakeholderanalyse, Umsetzungspraktiken in Fallstudien und Expert:inneninterviews konzentriert. Die gewonnenen Erkenntnisse werden iterativ verknüpft, Zukunftsszenarien abgeleitet und Handlungsempfehlungen formuliert.

Die Ergebnisse dienen der Einordnung und Synthese theoretischer Erkenntnisse und praktischer Erfahrungen zur Kreislauffähigkeit von Holzbauten und beschreiben mit Hilfe von Zukunftsszenarien lösungsorientierte Optionen. Zudem wird konkreter Forschungsbedarf und Handlungsempfehlungen für die Umsetzungspraxis formuliert. Die Ergebnisse tragen dazu bei, Entscheidungsträger:innen und Akteur:innen in der Bau- und Planungspraxis zu unterstützen und den Schritt zur Skalierung der Kreislauffähigkeit im modernen Holzbau zu leisten.

---

## Abstract

The construction industry has a significant impact on the environment. According to the United Nations, it is responsible for about 40 percent of energy-related CO<sub>2</sub> emissions and more than half of global resource consumption. In order to reduce these emissions and respect planetary boundaries, sustainable use of (natural) resources, the use of renewable resources and keeping building materials in the material cycle for as long as possible are a must. The implementation of circular economy principles in timber construction is being widely discussed. To date, there is a general lack of understanding of the terms and concepts necessary for the appropriate transfer of the principles of circular economy to modern timber construction. Theoretical explications cover a broad spectrum of viewpoints, however, an overview of relevant topics for the industry is not yet available. First experiences show that technical, constructional and logistical challenges need to be overcome.

The circularWOOD research project addresses relevant questions on the transfer of circular principles to modern timber construction. The report provides an overview of the findings in relevant literature, analyses obstacles and potentials from the perspective of the timber construction industry, summarises experiences from initial implementation projects and outlines elements for a future vision of circular economy in timber construction. The focus of the project is on high-quality material reuse. The method includes a comprehensive review of available literature followed by an empirical investigation focusing on a stakeholder analysis, implementation practices in case studies and expert interviews. The findings are iteratively linked, future scenarios derived and recommendations for action formulated.

The results serve to classify and synthesise theoretical findings and practical experience on the circularity of timber buildings and describe solution-oriented options by presenting future scenarios. They formulate concrete research needs and recommendations for practical implementation. The results contribute to supporting decision-makers and stakeholders in building and planning practice and to taking the step towards upscaling circularity in modern timber construction.

# Einleitung

## Einführung

In keiner anderen Industrie sind der Energie- und Rohstoffverbrauch so hoch wie in der Bauindustrie. Das führt zu einer enormen Belastung der Umwelt. Schätzungen der UN zufolge gingen 2020 weltweit rund 40 Prozent der energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und mehr als die Hälfte des Ressourcenverbrauchs auf die Baubranche zurück (EASAC (2021)). In Deutschland verursachen Herstellung und Betrieb von Gebäuden fast 41 Prozent der Treibhausgasemissionen (BBSR, 2020, S. 17; vbw, 2021). Treibhausgase im Bausektor einzusparen, bedeutet allerdings nicht nur Gebäude energieeffizient herzustellen und zu bewirtschaften. Es bedeutet auch, Treibhausgase durch die Konstruktions- und Materialwahl in der Herstellungs-, Nutzungs-, sowie Entsorgungsphase zu reduzieren. Parallel dazu verschieben sich die Lagerstätten des weltweiten Rohstoffvorkommens in die anthropogenen Reserven, den Gebäudebestand. Aber nach wie vor fallen in Deutschland 55,4 Prozent der Abfälle durch das Baugewerbe an (Statistisches Bundesamt, 2021). In der Schweiz verursacht die Bautätigkeit den größten Anteil am Abfallaufkommen (Bundesamt für Umwelt [BAFU], 2022). Der Circularity Gap Report zeigt die exponentiell anwachsende Kurve der globalen Primärrohstoffentnahme von 100 Milliarden Tonnen, wovon weltweit jährlich nur 8,6 Prozent einem Recycling zugeführt werden (Haigh et al., 2021, S. 12). In Anbetracht der planetaren Grenzen sind eine nachhaltige Ressourcennutzung und die Senkung des primären Ressourcenverbrauches ein dringendes Erfordernis. Für die Zukunft der Baubranche wird in der aktuellen politischen Diskussion die Umsetzung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft als eine der zentralen Herausforderungen diskutiert. Als Lösungsansätze spielen ressourcenschonendes Bauen, das Schließen von Materialkreisläufen und nachwachsende Rohstoffe eine Rolle.

## Themenfeld

Holz ist ein nachwachsender Rohstoff und zählt daher zu den erneuerbaren Ressourcen. Je länger Holz stofflich im Materialkreislauf gehalten werden kann, desto länger dient es als klimastabilisierender Kohlenstoffspeicher. Zudem leistet Holz als Baustoff einen Beitrag, fossile und mineralische, energie- und emissionsintensive Baustoffe zu substituieren. In den vergangenen Jahren wurde die kaskadische Nutzung von Holz postuliert (Risse et al., 2017). Dabei wird die sukzessive Nutzung des Materials über mehrere Stufen in verschiedenen stofflichen Anwendungen gefordert. Die energetische Nutzung, also die thermische Verwertung, steht erst am Ende der Nutzungskaskade. Die Kaskadennutzung steigert die Ressourceneffizienz, verlängert die Kohlenstoffspeicherung und erhöht damit die Wertschöpfung des Materials. Über die kaskadische Nutzung kann das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP) um bis zu 10% reduziert werden (Höglmeier et al., 2015). Größere Vorteile liegen in der Einsparung von Primärrohstoffen, die durch die Verwendung von Gebrauchtholz substituiert werden. Ferner kann die Mobilisierung von Gebrauchtholzsortimenten für die stoffliche Nutzung zur Substitution fossil basierter Produkte führen. Der Rohstoff Holz kann ohne aufwändige Wiederaufbereitungsprozesse in einer mehrfach hintereinandergeschalteten Nutzung eingesetzt werden. Der vorgefertigte Holzbau ist durch seine Elementierung und der damit verbundenen Logik der Fügung von großformatigen Bauteilen charakterisiert. Dies sind gute Voraussetzungen, sowohl ganze Bauteile und Bauelemente als auch Einzelkomponenten jenseits thermischer Verwertung oder Kaskadennutzung einer tatsächlichen Wiederverwendung zuzuführen.

## Problemstellung

Das Potenzial der Kaskadennutzung in Holz wird derzeit aber kaum genutzt. Nur ein Drittel des Altholzaufkommens wird in Deutschland stofflich in Spanplatten verwendet (Mantau et al., 2018). Aktuell liegt der Anteil des deutschen Holzaufkommens, das direkt in die thermische Verwertung fließt, bei ca. 50

Prozent (ebd.). Trotz des vielfach hervorgehobenen Potenzials des Holzbaus zu kreislauffähigen Konstruktionen und der Dringlichkeit der Ressourcen- und CO<sub>2</sub>-Frage, sowie der Fülle an theoretischen Ausgangslagen in der Literatur, finden zirkuläre Ansätze im Allgemeinen und im Holzbau im Besonderen wenig Eingang in die bauliche Praxis. Eine Umsetzung findet bestenfalls im Rahmen von Pilotprojekten statt. Kreislaufwirtschaft im Holzbau, das Wiederverwenden von Bauteilen aus Holz oder das Nutzen von Gebrauchtholz ist auch in der politischen Agenda wenig prominent vertreten. Vielmehr wird Holz als „nachhaltiges“ Baumaterial und erneuerbare Ressource gesehen. Damit wird Holz noch vielfach von der Notwendigkeit des schonenden Umganges und der möglichst hochwertigen Nachnutzung ausgeklammert.

## Stand der Forschung und der Baupraxis

In der Literatur und akademischen Diskussion etablieren sich Begriffe und Konzepte zur Kreislaufwirtschaft, insbesondere im Bauwesen exponentiell. Dem Themenfeld der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen fehlen neben der begrifflichen Einordnung und Abgrenzung konsistente Regeln sowie Verfahren, welche die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes bewerten (Hillebrandt & Rosen, 2022). Zum kreislauffähigen Bauen mit Holz fehlen notwendige Grundlagen für das Verständnis von Begriffen und Konzepten für eine holzbaugerechte Übertragung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft auf den modernen Holzbau. Theoretische Explikationen decken eine große Bandbreite an Perspektiven ab, jedoch fehlt eine Übersicht zu relevanten Themenfeldern für die Branche. Es gibt kaum Aussagen zur Motivation von Stakeholdern. Auch die Bedeutung von Regularien und Anreizen ist nicht geklärt. Für die politische Ebene fehlt die Übersicht zum aktuellen Handlungs- und Anpassungsbedarf. Die Frage welche Impulse im Bereich Forschung und Entwicklung gesetzt werden müssen, ist wenig konkret formuliert.

Parallel zur wissenschaftlichen Diskussion werden in Pilotprojekten und ersten Realisierungen kreislauffähiger Holzbauten Erfahrungen gesammelt. Akteur:innen aus der Holzbaubranche haben ein hohes Fachwissen hinsichtlich der technisch-konstruktiven Möglichkeiten im Holzbau und bringen sich in Diskussionen zu Weiterentwicklungen der Kreislaufwirtschaft ein. Dabei müssen sie im gegenwärtigen System traditioneller Planungs- und Bauprozesse, aber auch konventioneller Geschäftsmodelle operieren. Die Umsetzung kreislaufgerechter Holzbauten beruht auf Initiativen mit einem hohen Eigenengagement. Akteur:innen müssen nicht nur Barrieren im Bereich der Transformation in Richtung einer zirkulären Bauwirtschaft, sondern auch konkrete holzbauspezifische Hemmnisse überwinden. Dazu zählen neben technisch-konstruktiven Aspekten im Bereich von Fügetechniken, Aufbauten und Materialentscheidungen auch Dokumentation, Qualitätssicherung oder logistische Lösungen. Ihre Partikularerfahrungen sind noch nicht umfassend dokumentiert und für die Branche als Grundlage für weitere Entwicklungen und Umsetzungen aufbereitet. Übergeordnet ist eine Skalierung von Pilotprojekten hin zu einer breiten Umsetzung von zirkulären Ansätzen in der Holzbauwirtschaft offen.

## Forschungslücken und Entwicklungsbedarf

Bislang fehlen notwendige konzeptionelle Grundlagen für das Verständnis von Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Für die breite Umsetzung und Skalierbarkeit ist das Wissen um die geeigneten Anknüpfungspunkte für Anpassungen und Entwicklungen im Bereich von Regularien und Rahmenbedingungen noch vage. Darüber hinaus ist Know-how aus der Umsetzung von Pilotprojekten nicht strukturiert verfügbar. Daher kann bislang kaum praxisgestützt abgeleitet werden, welche technisch-konstruktiven Entwicklungen und Innovationen notwendig sind. Der übergeordnete Forschungs- und Entwicklungsbedarf adressiert die zukünftig breite Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Dazu gilt es folgende Forschungsfragen zu beantworten:



### **Forschungslücke 1:** Übersicht zu relevanten Erkenntnissen aus der Forschung

- Wie kann der Holzbau in den Kontext von Erkenntnissen aus der aktuellen Forschung zur Kreislaufwirtschaft eingeordnet werden? Wie kann darauf aufgebaut werden?
- In welchen Themenfeldern bestehen Forschungsdesiderate?

### **Forschungslücke 2:** Übersicht zur Umsetzung von Kreislaufwirtschaft im modernen Holzbau

- Welche Referenzprojekte existieren und welche Erfahrungen sind daraus abzuleiten?
- Welche Fragestellungen sind für die Skalierbarkeit des kreislauffähigen Planens und Bauens mit Holz relevant?
- Welche Empfehlungen für notwendige Änderungsbedarfe durch den Gesetzgeber und durch die Umsetzungspraxis können abgeleitet werden?

## Zielstellung

Die Forschung zeigt, dass das Bauen mit Holz das Potenzial besitzt, einen bedeutenden Beitrag zur Klimastabilisierung zu leisten: Einerseits kann Holz fossile Baustoffe in vielen Bereichen substituieren, andererseits werden Holzgebäude zu einem temporären Kohlenstoffspeicher. Beides kann einen relevanten Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels leisten (Churkina et al., 2020). Studien weisen darauf hin, dass die erforderliche Menge an Holz zwar theoretisch verfügbar ist. Die Entwicklungen des Waldes und die damit verbundene Rohstoffverfügbarkeit nach 2050 ist derzeit nicht verbindlich gewährleistet (Polley & Kroiher, 2006; Purkus et al., 2020). Umso wichtiger ist es das Potenzial von Holz auszuschöpfen und das Material und den gespeicherten Kohlenstoff möglichst lange im Stoffkreislauf zu halten. Das Ziel von circularWOOD ist es die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft für den modernen Holzbau vorzubereiten. circularWOOD führt dazu theoretisches Wissen zur Kreislaufwirtschaft und verschiedene Erfahrungen in Pilotprojekten für kreislauffähiges Bauen mit Holz zusammen und leitet mögliche Szenarien für ein zukünftiges Bild eines kreislaufgerechten Holzbaus ab.

## Übergeordnete Ziele und der Beitrag des Projekts dazu

Der Bauwirtschaft als der Verursacher der größten Abfallströme kann einen wichtigen Impuls Richtung Kreislaufwirtschaft setzen. Auf europäischer Ebene wird längst eine Transformation der Bauwirtschaft eingefordert:

- Die Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 19. November 2008 fordert unter Artikel 11(2) b bis 2020 die Recyclingquote von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen auf 70 Prozent zu erhöhen. Aktuelle Zahlen zeigen, dass die Quote mit vier Prozent weit von den geforderten Mengen entfernt ist.
- Die 2016 in Kraft getretene (und von Deutschland mitbeschlossene) Agenda 2030 mit ihren 17 Entwicklungszielen (Sustainable Development Goals, SDGs) der Vereinten Nationen (Generalversammlung der Vereinten Nationen, 2015) sind essenzieller Bestandteil der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. In diesen Zielen wird unter anderem auch der Einstieg in die Kreislaufwirtschaft gefordert. Ziel 12 adressiert die Sicherstellung nachhaltiger Konsum- und Produktionsmuster (Generalversammlung der Vereinten Nationen, 2015, 15; 24). Damit soll durch Vermeidung, Verminderung und Wiederverwertung das Abfallaufkommen bis 2030 reduziert werden.
- Mit dem European Green Deal haben sich die europäischen Staaten verpflichtet, bis 2050 klimaneutral zu werden. Eines der sechs deklarierten Umweltziele ist der Übergang zur Kreislaufwirtschaft. Mit dem Circular Economy Action Plan soll der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft eingeleitet werden (European Commission, 2020).

Der Bauwirtschaft kommt innerhalb der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie auf den Ebenen Klima-, Energie- und Ressourcenschutz eine besondere Verantwortung zu. Die folgenden Punkte zeigen das Interesse für die Bundesrepublik Deutschland auf:

- Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft setzt in der Charta für Holz 2.0 im Handlungsfeld Material und Energieeffizienz explizit Schwerpunkte auf eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft und Rohstoff-, Materialproduktivität und Stoffstrommanagement in der Holzbaubranche (<https://www.charta-fuer-holz.de/charta-handlungsfelder/material-und-energieeffizienz>).
- Der Thünen-Report 78 attestiert dem Holzbau ein hohes Potenzial für die mehrfach stoffliche Wirkung und verweist dabei auf die Voraussetzungen: „Rückbaubarkeit und Recyclingfähigkeit müssen bei der Bauteilherstellung sowie der Gebäudeplanung berücksichtigt werden. [...] ein selektiver Rückbau und eine sortenreine Erfassung von Altholz müssen sichergestellt werden.“ (Purkus et al., 2020).
- Das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung sieht eine Reihe an Maßnahmen vor, unter anderem die verstärkte Förderung von Forschung und Entwicklung, um im Bereich des Bauens mit Holz, sowie der Kreislaufwirtschaft zum klimaneutralen Bauen beizutragen (Deutscher Bundestag, 2019, S. 106–107).
- In mehreren Bundesländern, aber auch durch einzelne Kommunen wurden Fördermöglichkeiten geschaffen, die das Bauen mit Holz unterstützen (z.B. BayFHolz, Holzbau-Offensive BW, Berlin baut mit Holz etc. (BayFHolz, 2022, geändert 2022/BayMBI. Nr. 335, BayMBI. Nr. 532; Holzbau-Offensive Baden-Württemberg, 2018)

In der Schweiz ist die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Bausektor Teil der politischen Agenda. Der Gebäudesektor verursacht fast 24% Prozent der Treibhausgasemissionen. Fast zwei Drittel des Abfallaufkommens werden durch die Bautätigkeit generiert (BAFU, 2022). Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) beschreibt die Kreislaufwirtschaft als das Erhalten von Produkten und Materialien im Umlauf. Damit sollen weniger Primärrohstoffe verbraucht und das Abfallaufkommen reduziert werden. Kreislaufwirtschaft ist gemäß BAFU „ein ganzheitlicher Ansatz, der den gesamten Kreislauf betrachtet: Von der Rohstoffgewinnung, über das Design, die Produktion und die Distribution eines Produkts bis zu seiner möglichst langen Nutzungsphase und zum Recycling.“

- Die Bauprodukteverordnung BauPV 2014 schreibt im Anhang 1 unter Artikel 7, dass Bauwerke derart entworfen, errichtet und abgerissen werden sollen, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt und die Wiederverwendbarkeit und Rezyklierbarkeit des Bauwerks, seiner Baustoffe und Teile nach dem Abriss sichergestellt werden (Schweizerischer Bundesrat, 2022).
- Am 15. Februar 2023 hat der schweizerische Bundesrat eine Stellungnahme zum Entwurf der UREK-N zur parlamentarischen Initiative 20.433 „Schweizer Kreislaufwirtschaft stärken“ verabschiedet. Im Zentrum der Revision steht die Schaffung neuer Bestimmungen im Umweltschutzgesetz (USG). Der Bundesrat unterstützt die Vorlage der UREK-N, mit der Stoffkreisläufe künftig konsequenter geschlossen werden sollen (Schweizerischer Bundesrat, 2023).

Die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft steht damit auf der politischen Agenda in Deutschland und der Schweiz. circularWOOD greift diesen Bedarf auf und adressiert das Potenzial des industrialisierten Holzbaus, um einen Beitrag zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft zu leisten.

## Konkrete Projektziele

Konkretes Projektziel von circularWOOD ist es, einen Beitrag zur Skalierbarkeit der Kreislauffähigkeit von Holzbauten in Deutschland zu leisten. Dazu müssen zwei Ebenen adressiert werden. Die Ebene der theoretischen Erkenntnisse aus der aktuellen Forschung sowie die Ebene der Erfahrungen aus der Umsetzungspraxis. Daraus werden konkrete Projektziele abgeleitet:

- Einordnung des kreislaufgerechten Bauens mit Holz und damit verbundenen Themen in den übergeordneten Forschungsstand zur Kreislaufwirtschaft und den zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau.
- Synthese der Erfahrungen aus der Umsetzung von Pilotprojekten im Kontext des Potenzials des industrialisierten, modernen Holzbaus.
- Ableitung von Empfehlungen für (politische) Entscheidungstragende und Akteur:innen in der Planungs- und Umsetzungspraxis.

Der Fokus von circularWOOD liegt auf der kreislaufgerechten Umsetzung von Holzbauten in Deutschland. Damit soll eine Bestimmung der Rahmenbedingungen für Planungs- und Bauprozesse und Regularien, die auf Landesebene unterschiedlich sind, ermöglicht werden. Allerdings ist der moderne Holzbau in seiner Entwicklung in den Ländern des D-A-CH-Raumes übergreifend verknüpft. Durch die Kooperation der Technischen Universität München mit der Hochschule in Luzern werden die Erfahrungen aus der Umsetzungspraxis in Deutschland durch solche in der Schweiz angereichert. Dadurch ist die Überprüfbarkeit gewährleistet, inwiefern national unterschiedlicher Rahmenbedingungen die Skalierbarkeit beeinflussen.

#### Abgrenzung und weitere Themen

CircularWOOD fokussiert den Aspekt, dass Stakeholder, in der Holzbaubranche Tätige und die politischen Entscheidungstragenden fundierte Grundlagen für ihre Entscheidungen erhalten, um über das Stadium der Pilotprojekte hinweg zu einer breiten Umsetzung zu gelangen. Die Grundlagen umfassen allgemeine Themen wie Rahmenbedingungen, Anreize, Regularien und auch holzbauspezifische Themen wie Bauteilaufbauten, Konstruktion und Bauweise, Verbindungsmittel und Fügetechnik. Zudem wird die wirtschaftliche Seite zu möglichen neuen Geschäftsmodellen für die Umsetzung betrachtet.

Die Fokussierung der Fragestellung führt dazu, dass andere relevante Themen nicht behandelt werden können. Dazu zählt die Akzeptanz aus Sicht der Gesellschaft und der Nutzenden und auch Fragestellungen zur Ökobilanzierung oder Lebenszyklusbetrachtung. Hierfür sind eingehende, weitere Untersuchungen notwendig. Diese Fragen werden vom Projektteam als wichtig eingestuft, können aber aufgrund der notwendigen Begrenzung des Projektrahmens nicht behandelt werden. Mit Blick auf die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit wird auf diesen weiteren Untersuchungsbedarf hingewiesen.

#### Forschungsdesign

Das Forschungsdesign basiert auf einer Kombination unterschiedlicher Methoden, die nachfolgend übergeordnet beschrieben werden. Die Erläuterung der methodischen Vorgehensweise wird detailliert in den einzelnen Kapiteln beschrieben.

#### Methodischer Ansatz

Es gibt bereits umfassende Literatur zum Feld der Kreislaufwirtschaft. Im Vergleich dazu lässt sich wenig spezifisches Wissen im Themenfeld des kreislaufgerechten Bauens mit Holz identifizieren. Einige Grundsätze können aus den übergeordneten Bereichen „Kreislaufwirtschaft“ und „Erkenntnisse des Holzbaus“, sowie durch dokumentiertes, praktisches Erfahrungswissen abgeleitet werden. Ebendarum wird zu Beginn des Forschungsprojekts und projektbegleitend, eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt. Die Untersuchungsmethodik folgt einem offenen, explorativen Vorgehen, mit dem Ziel aus einem bis jetzt noch weitgehend unerforschten Feld neues theoretisches Wissen zu erlangen (Flick et al., 2019). Der Anspruch an das explorative Vorgehen ist ein ergebnisoffener Erkenntnisgewinn und eine Theorieentwicklung anhand der durch den Forschungsprozess gewonnenen Erkenntnisse. Diese Erkenntnisse basieren auf empirischen Daten, die in einem qualitativen Verfahren mittels einer Kombination aus verschiedenen Methoden (Stakeholderanalyse und Expert:inneninterviews, Fallstudien

und teilstrukturierte Befragung) gewonnen werden. Die Ergebnisse aus den jeweiligen Methoden werden in einem iterativen Verfahren verknüpft, abgeglichen, allenfalls korrigiert und ergänzt. Die daraus entstehenden Erkenntnisse werden durch die Auseinandersetzung mit dem Untersuchungsgegenstand gewonnen und als Ergebnis formuliert (ebd.).

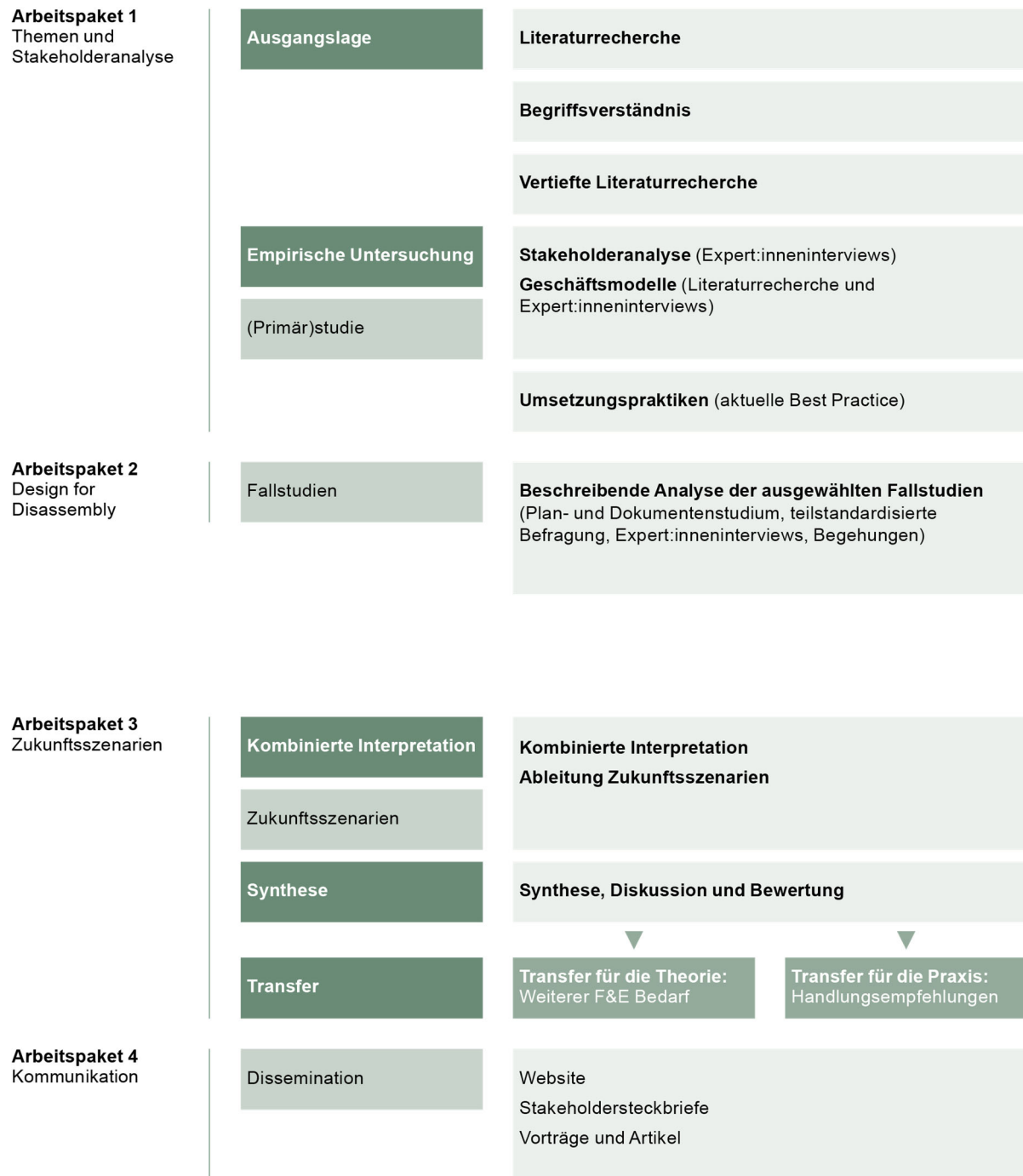


Abbildung 1: Darstellung des übergeordneten methodischen Forschungsansatzes von circularWOOD. Eigene Darstellung.

Abbildung 1 illustriert den methodischen Forschungsansatz von circularWOOD. Auf Basis der Literaturrecherche in verschiedenen Themenfeldern werden Themen präzisiert, vertieft und die weitere explorative Vorgehensweise festgelegt. Die empirische Untersuchung konzentriert sich in einem ersten Schritt

auf die Stakeholderanalyse, die Umsetzungspraktiken und Expert:inneninterviews. Auf den gewonnenen Erkenntnissen aufbauend, werden im nächsten Schritt Fallstudien ausgewählt, die analysiert und detailliert beschrieben werden. Inhaltliche Ergänzungen erfolgen durch eine qualitative Befragung der beteiligten Stakeholder. Mittels iterativer Verfahren werden gewonnene Erkenntnisse immer wieder mit Daten aus den verschiedenen Methoden (auch der Literaturrecherche) abgeglichen und angereichert. Daraus folgt eine kombinierte Interpretation, auf deren Basis eine Synthese der Erkenntnisse in Zukunftsszenarien abgeleitet wird. Darüber hinaus erfolgt ein Transfer für die Praxis, indem relevante Ergebnisse als Handlungsempfehlungen formuliert werden. Die Verbreitung der Ergebnisse erfolgt durch Vorträge, über Weiterbildungsformate, über die Projektwebsite, sowie über die Verteilung eines Stakeholdersteckbriefes.

#### Projektteam und Organisation, Kooperationspartnerinnen

Das Projekt wird von zwei Forschungspartnerinnen, die eine langjährige Forschungszusammenarbeit über zahlreiche Projekte aufgebaut haben, durchgeführt:

- Technische Universität München (TUM), School of Engineering and Design, Lehrstuhl für Architektur und Holzbau
- Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Institut für Architektur (IAR), Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)

#### Arbeitspakete

Für die Beantwortung der Forschungsfragen ist das Projekt in folgende Arbeitspakete gegliedert:

- Themen- und Stakeholderanalyse
- Design for Disassembly (DfD)
- Zukunftsszenarien
- Kommunikation (siehe Anlage III)

## Themen- und Stakeholderanalyse

Die Themen- und Stakeholderanalyse zielt darauf ab, einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung und der Umsetzungspraxis aus der Perspektive des Holzbaus zu erhalten. Um in der Analyse für die Kreislaufwirtschaft im Holz auf ein eindeutiges Verständnis aufzubauen, gilt es zuvor das Begriffsverständnis und Konzepte zur Kreislaufwirtschaft einzuordnen. Der methodische Ansatz für die Themen- und Stakeholderanalyse basiert auf einer Literatur- und Desktoprecherche, sowie Expert:inneninterviews. Nachfolgend werden der methodische Ansatz und das Vorgehen zu den einzelnen Unterthemen im Detail sowie die daraus gewonnenen Erkenntnisse erläutert.

### Begriffsverständnis

#### Theoretische Grundlagen zum Begriffsverständnis

Der Begriff Kreislaufwirtschaft, im englischen Circular Economy (CE) genannt, findet erstmals in den 70-er Jahren Erwähnung, wobei sich verschiedene Ansätze und Auslegungen unter diesem Begriffskonzept zusammenfinden. Zu Beginn stehen „3R“: 2004 haben sich die Premierminister der G8-Staaten auf die 3R-Initiative geeinigt, die für „Reduce, Re-use, Recycle“ stand. Erweitert wurde es zuerst mit „Renew“ zu den 4R, mit „Repair, Re-gift, Recover“ zu den 7R, bis Vermeulen et al. mit der 9R-Strategy bzw. der 10R-Hierarchie die Begriffsverwirrung beenden und das 3R-Konzept reorganisieren wollte. Mit der Strukturierung von R0-R2 „Refuse, Reduce, Re-use“, R3-R5 „Repair, Refurbisch, Remanufacture“, R6-R9 „Repurpose, Recycle, Recover, Remine“ erfolgt eine Hierarchisierung nach den Qualitätsstufen in der Nachnutzung. Dahinter steht auch ein Wandel vom Verständnis eines Abfallmanagements und dem Schließen von Materialkreisläufen hin zu einem systemischen Ansatz (Alvarez-Risco et al., 2022).

Das heutige Begriffsverständnis von „Kreislaufwirtschaft“ ist nicht eindeutig definiert. So wurden allein im Bausektor zum Thema Kreislaufwirtschaft in den vergangenen Jahren von 2005 bis 2020, 7.005 Artikel publiziert (Norouzi et al., 2021). Jaeger-Erben und Hofmann (2019) unterscheiden zwischen dem deutschen Begriff Kreislaufwirtschaft und dem englischen Begriff Circular Economy dahingehend, dass Kreislaufwirtschaft vor allem mit neuen Methoden und Technologien des Recyclings verknüpft sei. Circular Economy hingegen gehe darüber hinaus, indem es versucht, die Wertschöpfung insgesamt zu verändern (Jaeger-Erben & Hofmann, 2019).

Kirchherr et al. (2017) identifizieren 114 Definitionen für das Konzept Kreislaufwirtschaft, die nach 17 Dimensionen kodiert wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass das Konzept der Kreislaufwirtschaft am häufigsten als eine Kombination aus Reduzieren, Wiederverwenden und Recyceln dargestellt wird, während vielfach vernachlässigt wird, dass Kreislaufwirtschaft einen systemischen Wandel erfordert (Kirchherr et al., 2017). Zudem kommen die Autor:innen zur Erkenntnis, dass nur wenige Definitionen ausdrückliche Verbindungen zwischen dem Konzept der Kreislaufwirtschaft und einer nachhaltigen Entwicklung schaffen. Wirtschaftlicher Wohlstand wird dabei als zentrales Ziel der Kreislaufwirtschaft angesehen, gefolgt von Umweltqualität (ebd.). Auswirkungen auf die soziale Gerechtigkeit und künftige Generationen werden hingegen kaum erwähnt. Außerdem werden weder Geschäftsmodelle noch Verbraucher:innen als Befähiger:innen der Kreislaufwirtschaft dargestellt. In ihrer Arbeit verfolgen Kirchherr et al. das Ziel, zu einem einheitlicheren Verständnis von Kreislaufwirtschaft beizutragen. Sie schlagen folgende Definition vor: „A circular economy describes an economic system that is based on business models which replace the ‘end-of-life’ concept with reducing, alternatively reusing, recycling and recovering materials in production/distribution and consumption processes, thus operating at the micro level (products, companies, consumers), meso level (eco-industrial parks) and macro level (city, region, nation and beyond), with the aim to accomplish sustainable development, which implies creating environmental quality, economic prosperity and social equity, to the benefit of current and future generations“ (Kirchherr et al., 2017, S. 224–225). Geissdoerfer et al. analysieren die unterschiedlichen Definitionen und Konzepte von



Circular Economy im wissenschaftlichen Diskurs auch im Kontext der Nachhaltigkeit. Im Zuge der Durchsicht unterschiedlicher Konzepte stellen die Autor:innen fest, dass sich das heutige Verständnis der Kreislaufwirtschaft und ihrer praktischen Anwendung auf Wirtschaftssysteme und industrielle Prozesse weiterentwickelt hat und verschiedene Merkmale und Beiträge aus einer Vielzahl von Konzepten, welche die Idee von geschlossenen Kreisläufen teilen umfasst. Die Autor:innen verweisen für das Begriffsverständnis auf die Schwerpunktsetzung im Bereich Ökonomie mit ökologischen Aspekten und identifizieren die für die Nachhaltigkeit fehlende soziale Dimension (Geissdoerfer et al., 2017, S. 765). Sie schlagen folgende Definition einer Kreislaufwirtschaft vor: „Based on these different contributions, we define the Circular Economy as a regenerative system in which resource input and waste, emission, and energy leakage are minimised by slowing, closing, and narrowing material and energy loops. This can be achieved through long-lasting design, maintenance, repair, re-use, remanufacturing, refurbishing, and recycling“ (Geissdoerfer et al., 2017, S. 759). Mit der Publikation „A new Circular Economy Action Plan“ der Europäischen Kommission im März 2020 wird ebenfalls einer wirtschaftlich ausgerichteten Begriffsbestimmung politisches Gewicht verliehen.

Die Forestry and Timber Section der Vereinten Nationen hat in einer Studie 2021 eine Einordnung der Kreislaufwirtschaft für den Wald- und Holzsektor vorgenommen (FAO & Vereinte Nationen, 2021, S. 9–12). Sie beziehen sich auf eine Definition der European Environment Agency und die übergeordnete Haltung der EU, dass Zirkularität durch Ressourceneffizienz und technologischen Wandel erreicht werden soll. Ihr Begriffsverständnis von Kreislaufwirtschaft lehnt sich an die Definition von Potting et al. (2017) an, die sich ihrerseits auf die bereits erwähnte 9R-Strategie zur Reduktion des Ressourcenverbrauches bezieht.

Das Begriffsverständnis ist oftmals mit Denkschulen verknüpft, die eine eigene wissenschaftliche Entstehungsgeschichte und disziplinäre Ansiedelung haben. Beispiele dafür sind Cradle-to-Cradle (C2C), Performance Economy, Urban Mining, Donut Economy, Blue Economy, Biomimikry, Industrial Ecology sowie Natural Capitalism. Einen Überblick über weitere Denkschulen liefert die Arbeit von Jaeger-Erben und Hofmann (Jaeger-Erben & Hofmann, 2019, S. 22–23). Für eine thematische Zuordnung und Orientierung der Arbeiten in circularWOOD wird auf ausgewählte Denkschulen und Modelle zur Kreislaufwirtschaft überblickhaft eingegangen. Die Liste ist vor dem Hintergrund der Vielzahl an Konzepten nicht abschließend.

Der erste Bericht von der Ellen MacArthur Foundation über Circular Economy wurde im Jahr 2012 veröffentlicht (Ellen MacArthur Foundation, 2012). In diesem Bericht wird Circular Economy wie folgt definiert: „Circular Economy is an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design. It replaces the ‘end-of-life’ concept with restoration, shifts towards the use of renewable energy, eliminates the use of toxic chemicals, which impair re-use, and aims for the elimination of waste through the superior design of materials, products, systems, and, within this, business models.“ Gemäß der Analyse von Kirchherr et al. (2017) wird diese Definition zwar am häufigsten verwendet, jedoch von den 114 Definitionen nur elfmal. Dies zeigt die enorme Bandbreite an Definitionen.

Das von der Ellen MacArthur Foundation vertretene Konzept basiert unter anderem auf dem Cradle-to-Cradle-Konzept von Braungart und McDonough und der Performance Economy von Walter Stahel. Verfolgt wird ein Prinzip „vom Ursprung zum Ursprung“ bzw. „von der Wiege zur Wiege“. Wobei die Rückführung in biologische Kreisläufe oder das „Halten“ in technischen Kreisläufen zentrale Ziele sind. Es unterscheidet generell zwischen „biotischen (=erneuerbaren) Rohstoffen“ sowie „technischen (=nicht-erneuerbaren) Rohstoffen“.

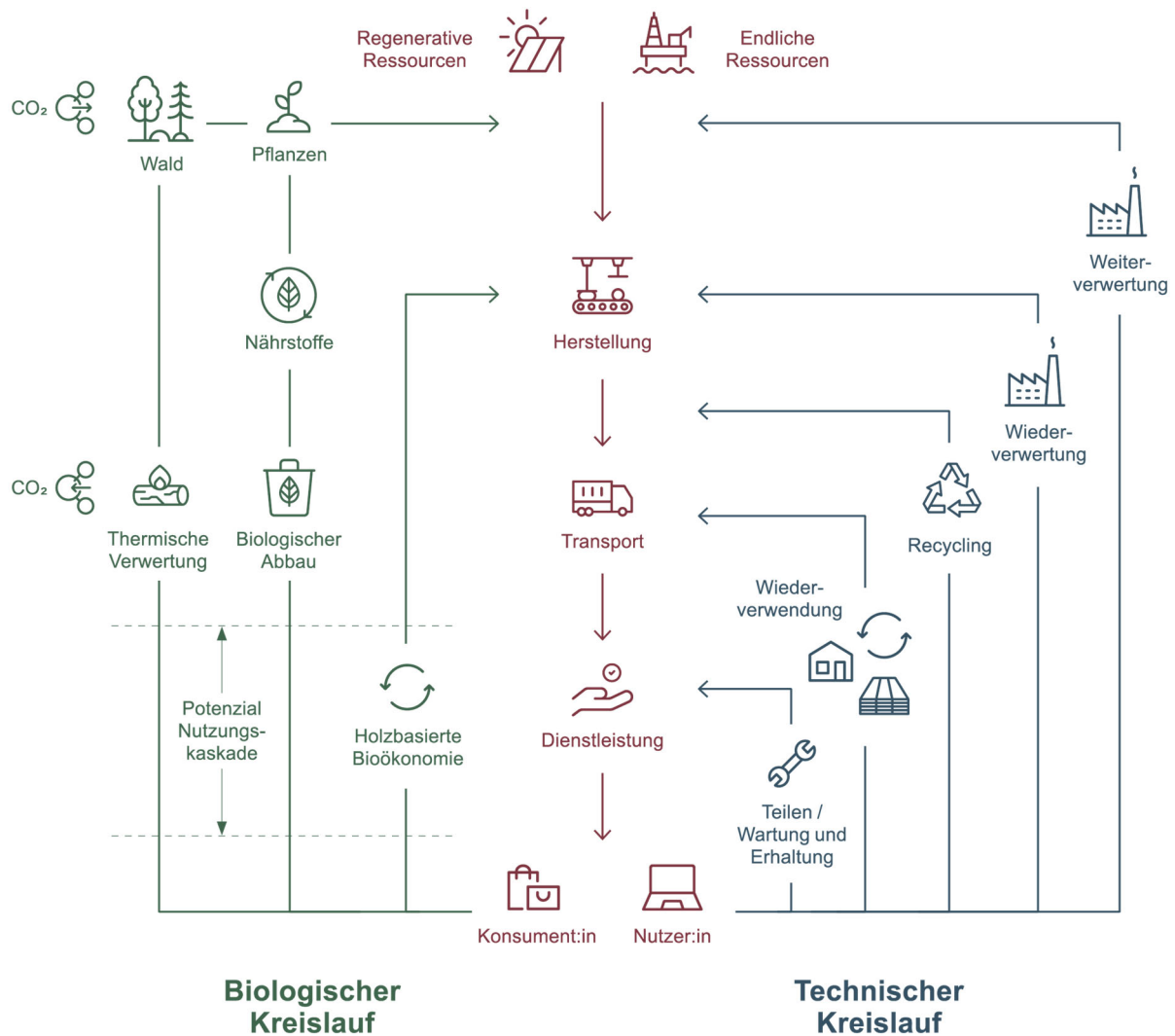


Abbildung 2: Systemdiagramm Wertekreislauf. Eigene Darstellung mit Spezifizierung des biologischen Kreislaufes für Holz nach der Konzeption des biologischen Kreislaufes für erneuerbare Ressourcen nach der Ellen Mac Arthur Foundation (2019).

Abbildung 2 zeigt, wie die Kreisläufe der unterschiedlichen auf technischen und biotischen Rohstoffen basierenden Produkte und Materialien kontinuierlich innerhalb eines Wirtschaftssystems fließen können. Ziel einer Kreislaufwirtschaft ist es dabei, über die zeitliche Entwicklung eine immer größere Anzahl von Produkten und Materialien biotischen Ursprungs zu verwenden und somit Rohstoffe technischen Ursprungs (wie metallische, mineralische Rohstoffe, etc.) zunehmend zu substituieren. Dabei sollen die Rohstoffe in einer kaskadischen Nutzung so hintereinandergeschaltet werden, dass der Zugriff auf Primärrohstoffe möglichst reduziert wird.

Wie bereits beschrieben, basiert dieser Wertekreislauf der Ellen MacArthur Foundation auf dem „Cradle to Cradle (C2C) -Konzept“. Dieses Konzept wurde Ende der 90er-Jahre vom deutschen Chemiker Braungart und dem amerikanischen Architekten McDonough eingeführt (Braungart & McDonough, 2013; Braungart et al., 2007; McDonough & Braungart, 2002; McDonough et al., 2003). C2C stellt eine neue Systemkonzeption vor, um Konflikte zwischen Wirtschaftswachstum und Umweltgesundheit zu lösen, die eine Folge der schlechten Gestaltung der Marktstruktur sind. Aus diesem Cradle-to-Cradle-Konzept etablierte sich eine „C2C-Zertifizierung“ (Cradle-to-Cradle-Certified-Produktstandard), welche seit 2010 vom Non-Profit-Institut Cradle-to-Cradle-Products Innovation Institute mit Sitz in San Francisco (USA) verliehen wird. Im deutschsprachigen Raum agiert auch eine Cradle-to-Cradle-NGO, die als eine Austauschplattform und im Bereich der Wissensvermittlung und Vernetzung tätig ist.

Für die Umsetzung in der Bauwirtschaft taucht in der öffentlichen Kommunikation von Unternehmen und bei Pilotprojekten vielfach das Cradle-to-Cradle-Prinzip (C2C) auf. Um dieses Phänomen zu verdeutlichen, sollen einige exemplarisch genannt werden:

- Gründerplattform; <https://gruenderplattform.de/green-economy/cradle-to-cradle>; abgerufen am 16.01.2023, 9:08
- Produktzertifizierungen von Schüco; <https://www.schueco.com/de-ch/unternehmen/nachhaltigkeit/zertifizierungen/cradle-to-cradle>; Abgerufen am 16.01.2023, 9:09
- Topthemen bei Drees & Sommer; <https://www.dreso.com/ch/top-themen/cradle-to-cradle>; Abgerufen am 16.01.2023, 9:10

Die von Stahel entwickelte Performance Economy kann als zweite Basis des von der Ellen Mac Arthur Foundation vorgeschlagenen Konzeptes genannt werden. Mit dem Hinweis auf ein Zitat von Aristoteles „Wahrer Reichtum liegt im Nutzen und nicht im Eigentum der Güter“, entwickelt Stahel ein neues Konzept, indem er nicht den Besitz des Produkts, sondern dessen Nutzung und Nutzbarkeit ins Zentrum stellt: „Unternehmen, die anstatt ihrer Produkte lediglich deren Nutzen oder Leistung verkaufen, bleiben dabei die Eigentümer der Güter, Materialien und eingeschlossenen Ressourcen und haften für alle Risiken und Abfälle, die daraus entstehen“ (Stahel, 2021, S. 38). Dies beinhaltet auch den Einschluss immaterieller Faktoren wie die Herstellerhaftung für hergestellte Materialien. Das Modell verlangt eine Buchhaltung der Güterfertigung von der Mine zum Verkaufspunkt. Ziel ist die Etablierung eines ressourcenschonenden und zirkulär ausgerichteten Wirtschaftens (Stahel, 2021). Dabei sollen auch die global vernetzten Großindustrien durch regionale Wertschöpfungsketten sowie dezentrale Technologien ersetzt werden (Stahel, 2006).

Eine weitere im Baubereich relevante Begrifflichkeit ist das Urban Mining. Diese stammt hingegen nicht von einer Denkschule ab. Vielmehr entstand der Begriff aus der Übertragung des Kreislaufgedankens auf den Bausektor mit der Idee der Stadt als Rohstofflager“ (Xavier et al., 2021). Im Bericht Urban Mining im Auftrag des Umweltbundesamts wird das Konzept als „wichtige Strategie für den Weg zu einer ressourcenschonenden Kreislaufwirtschaft betrachtet“ (F. Müller et al., 2017, S. 6). Gemäß Anja Rosen (Rosen, 2021, S. 5) bildet Urban Mining eine zirkuläre Wirtschaftsweise bezogen auf das Bauen ab und beschreibt die Städte, Siedlungen sowie darin enthaltenen Güter als anthropogenes Rohstofflager. Müller et al. definieren Urban Mining als „integrale Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers mit dem Ziel, aus langlebigen Produkten, Gebäuden, Infrastrukturen und Ablagerungen Sekundärrohstoffe zu gewinnen“ (F. Müller et al., 2017, S. 17). Die langfristige strategische Ausrichtung von Urban Mining ist nicht gänzlich von der Abfallwirtschaft entkoppelt, unterscheidet sich jedoch in Bezug auf die systemischen Betrachtungsgrenzen, da „Urban Mining den Gesamtbestand an langlebigen Gütern einbezieht“. Das Ziel ist es, Stoffströme so früh wie möglich zu prognostizieren, damit die Verwertungswege optimiert werden können, bevor die Materialien als Abfall anfallen“ (F. Müller et al., 2017, S. 17). Prominente Vertreter:innen von Urban Mining sind Anja Rosen (Rosen, 2021), Felix Heisel und Dirk Hebel (F. Heisel & Hebel, 2021) sowie Annette Hillebrandt (Hillebrandt, 2021; Hillebrandt et al., 2018a, 2018b).

#### Differenzierung der Qualitätsstufen der Nachnutzung

Während das Begriffsverständnis der Kreislaufwirtschaft unterschiedlich ausfällt, ist im wissenschaftlichen Diskurs zur Kreislauffähigkeit von Gebäuden bereits eine klare Unterscheidung der verschiedenen Kategorien der Nachnutzung, wie zum Beispiel Wiederverwenden (Re-use), Weiterverwenden (recycling/reutilization), Wiederverwerten (recycling/reutilization) und Weiterverwerten (reprocessing), Downcycling, etc. etabliert. Beispielsweise geben Hebel et al., 2022; Heisel & Hebel, 2021b; Hillebrandt et al., 2018a dazu einen Überblick. Diese Nomenklatur lässt sich auf Definitionen in der Richtlinie 2008/98/EG zurückführen (Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union, 2008). In der Dissertation zum Urban Mining Index (UMI) definiert Anja Rosen das Kreislaufpotenzial und adressiert damit den Anteil an Materialien und Baustoffen einer Konstruktion, die unter Berücksichtigung definierter Kriterien

in mehr oder weniger geschlossenen Materialkreisläufen geführt werden können Rosen (2021). Sie definiert einen Materialkreislauf als geschlossen, wenn durch Wiederverwendung oder Wiederverwertung kein Qualitätsverlust entsteht. Ein offener Kreislauf hingegen ist durch Weiterverwendung oder Weiterverwertung gekennzeichnet, womit in der Regel ein Qualitätsverlust einhergeht. In Deutschland ist diese Differenzierung noch nicht in das Kreislaufwirtschaftsgesetz eingeflossen (Hillebrandt & Rosen, 2022, S. 26). Vor dem Hintergrund einer unpräzisen Begriffsbestimmung kann bislang ein erheblicher Anteil von Bauschutt als Rezyklat bezeichnet werden. Auch in der baulichen Umsetzungspraxis ist das Begriffsverständnis oftmals noch pauschal und ungenau und in Konsequenz wird das Qualitätsniveau in der Umsetzung noch nicht ausgenutzt (Rosen, 2018, S. 16).

### Erkenntnisse

Trotz der unterschiedlichen Begriffsverständnisse zur Kreislaufwirtschaft beginnen sich einige Modelle in der Umsetzungsdiskussion stärker zu etablieren als andere. Die circularWOOD Expert:inneninterviews (ab Seite 3132) untermauern, dass sich das Cradle-to-Cradle-Prinzip als ein Begriff in der Wirtschaft und öffentlichen Wahrnehmung zu festigen beginnt. Der Begriff wird auch teilweise umgangssprachlich als Synonym für Kreislaufwirtschaft verwendet. Zudem scheint trotz fehlender, allgemein akzeptierter Definition der Kreislaufwirtschaft ein Konsens dahingehend zu bestehen, dass Kreislaufwirtschaft den Lebenszyklus von Bauteilen, Materialien und Produkten durch Wiederverwendung, Reparatur, Recycling, Wiederaufbereitung und Aufarbeitung verlängert und dies positive Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Systeme hat. Das Konzept der Kreislaufwirtschaft verfolgt somit das Ziel eine nachhaltige Welt zu gestalten.

### Analyse nationaler und internationaler Forschungsergebnisse

Das Ziel der Synthese nationaler und internationaler Forschungsergebnisse ist es, einen Überblick über die behandelten Themenfelder in Bezug auf kreislaufgerechten Holzbau zu erhalten, die eine Relevanz, bezogen auf den geografischen Perimeter Deutschland und der Schweiz haben können. Daraus abgeleitet, gibt die Recherche einen Hinweis auf zukünftigen Handlungs- und Forschungsbedarf. Dabei ist nicht Ziel, einzelne Themen vertieft zu behandeln und konkrete Forschungslücken zu spezifischen Forschungsthemen aufzuzeigen. Vielmehr soll eine „Landkarte“ erarbeitet werden, welche die relevanten Themen strukturiert erfasst und einordnet.

### Vorgehen und methodische Ansätze

Für die Recherche wird in drei aufeinander aufbauenden Schritten vorgegangen:

- Schritt 1: Die Durchsicht bereits bekannter Basiswerke, die das Thema kreislaufgerechtes Bauen im Allgemeinen behandeln, hinsichtlich Relevanz zum Thema Holzbau und die Identifikation relevanter Stichworte.
- Schritt 2: Die Recherche nach Literatur im Web of Science, relevanten Datenbanken und in weiteren Quellen wie Forschungsprojektplattformen, Bibliotheksregister oder dergleichen (beispielsweise [baufachinformation.de](http://baufachinformation.de), TIB Leibniz Informationszentrum Technik und Naturwissenschaften, Projekte Zukunft Bau etc.) aufgrund der im vorhergehenden Schritt identifizierter Suchstichworte.
- Schritt 3: Auf Basis dieser Literaturquellen werden mittels Schneeballverfahren weitere relevante Autor:innen und Werke identifiziert.

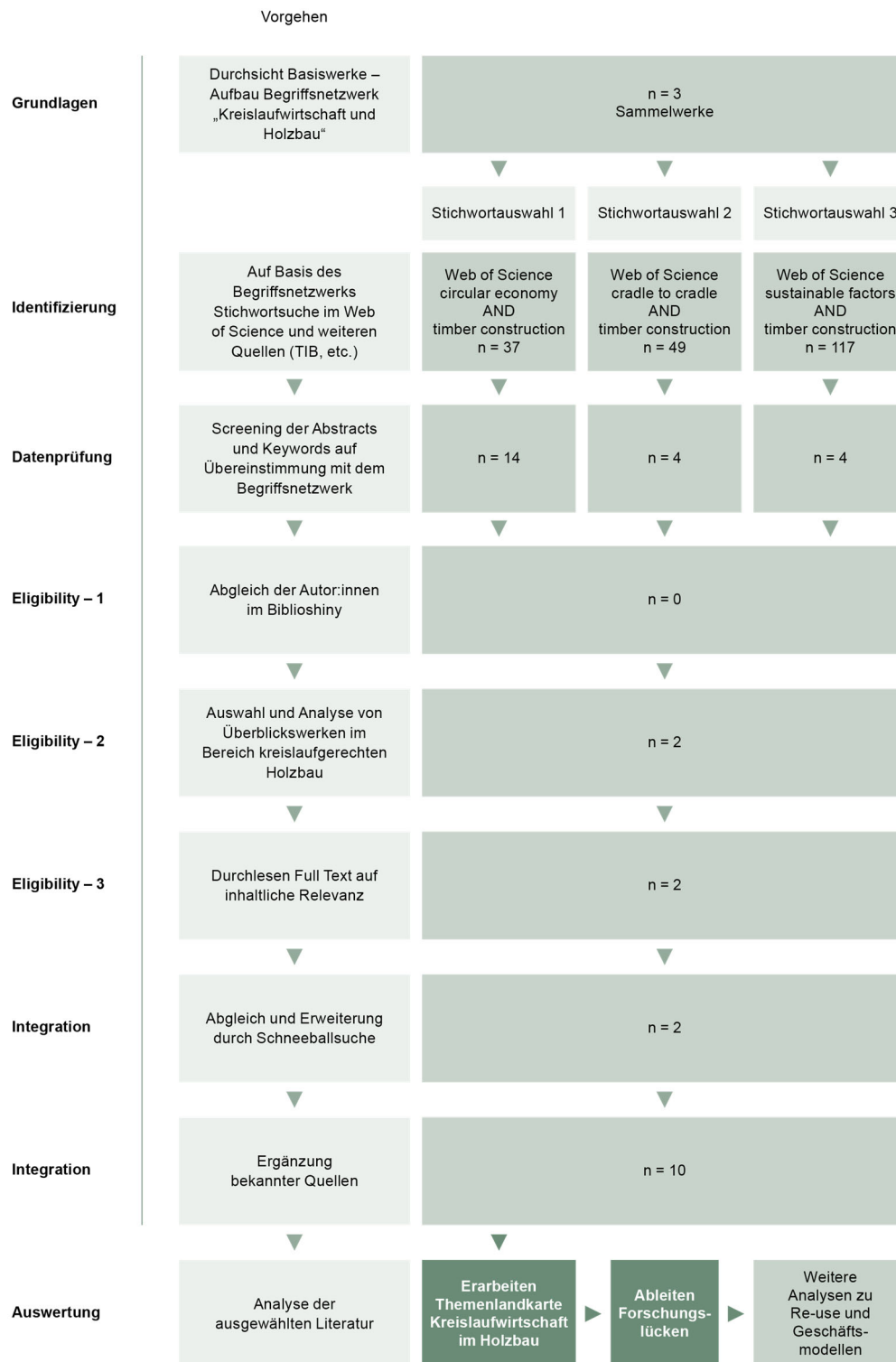


Abbildung 3: Überblick zum methodischen Vorgehen in der Literaturrecherche zu Themen, die für die Kreislaufwirtschaft im Holzbau Relevanz haben. Eigene Darstellung.

Abbildung 3 gibt einen Überblick zu den jeweiligen Schritten und zugehörigen Teilschritten in der Literaturrecherche, welche im Folgenden beschrieben werden:

Für den ersten Schritt werden neben der Durchsicht der bereits im Antrag erwähnten Literatur drei Basiswerke ausgewählt, die aus vorherigen Forschungsarbeiten der Technischen Universität München und

der Hochschule Luzern als zentrale Werke bekannt sind und die sich mit dem Thema kreislaufgerechtes Bauen im Allgemeinen beschäftigen:

- Heisel, Felix; Hebel, Dirk (2021b). Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Die Stadt als Rohstofflager. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Hillebrandt, Annette; Riegler-Floors, Petra; Rosen, Anja; Seggewies, Johanna-Katharina (2018a). Atlas Recycling. Gebäude als Materialressource. Edition Detail, München.
- Stricker, Eva; Brandi, Guido; Sonderegger, Andreas; Angst, Marc; Buser, Barbara; Massmünster, Michel (2021). Bauteile wiederverwenden. Ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Park Books, Zürich.

Dieser erste Rechenschritt ermöglicht einerseits einen strukturierten Überblick zu relevanten Themenschwerpunkten im Themenbereich Kreislaufwirtschaft im Bauwesen allgemein (siehe Abbildung 4 Begriffsnetzwerk). Andererseits werden damit zentrale Autor:innen in der Basisliteratur sowie über das weiterführende Schneeballsystem für Schritt 3 identifiziert. Die Zuteilung bereits bekannter Quellen zu diesen Begriffen in Kategorien und Unterkategorien, welche jedoch nicht trennscharf sind, kann als ein weiterer Hilsschritt für einen Überblick über bestehende Literatur und der anschließenden Strukturierung einer Themenlandkarte dienen. In Abbildung 4 ist zudem dargestellt, in welchen Themenbereichen zusätzlich Treffer mit dem Fokus Holz in der Literaturrecherche gefunden werden.

Wie bereits erwähnt, behandeln die Basiswerke das Thema kreislaufgerechtes Bauen im Bausektor allgemein. Zu den Unterkategorien, unter anderem Material und Sortenreinheit, 3D-Planungsverfahren, ist Literatur im Kontext des Holzbaus bereits bekannt. Nicht bekannt sind Werke, die das Thema des kreislaufgerechten Holzbaus in einem Gesamtüberblick darstellen. Deswegen wird entschieden, für die weiterführende Suche im Rechenschritt 2 Suchstichworte auszuwählen, die das gesamte Themenfeld umfassen, nämlich kreislaufgerechtes Bauen im Holzbau. Zuerst werden die Begriffe „circular economy AND timber construction“ gesucht. Aus den 37 Resultaten werden durch das inhaltliche Sichten der Abstracts 14 Literaturquellen ausgewählt, die sich entweder mit dem Thema Kreislaufwirtschaft im Holzbau insgesamt oder mit einer der im vorigen Schritt festgelegten Kategorien befassen. Aufgrund der geringen Anzahl an Literatur, die sich mit beiden Themenfeldern überblicksartig (Kreislaufwirtschaft und Holzbau) befassen, wurde die Suche ausgeweitet auf allgemeine („sustainable factors“) und alternative („cradle-to-cradle“) Begriffe. Auch hier werden die Abstracts gesichtet und insgesamt acht weitere Texte herausgefiltert. Insgesamt wurden 21 Texte ausgewählt, welche beide Themenfelder behandeln. Ergänzend werden die Trefferlisten aus den Stichwortsuchen in das Tool Biblioshiny eingelesen, welches die Treffer analysiert und dadurch viel zitierte Autor:innen, sowie Verknüpfungen zwischen Autor:innen grafisch aufbereitet. Anschliessend können die identifizierten Autor:innen mit jenen Autor:innen der auf Basis des Abstract-Screenings verglichen werden. Auffällig ist, dass die dort gefundenen Autor:innen nicht mit denjenigen übereinstimmen, die aufgrund der Abstracts als inhaltlich passend ausgewählt werden.



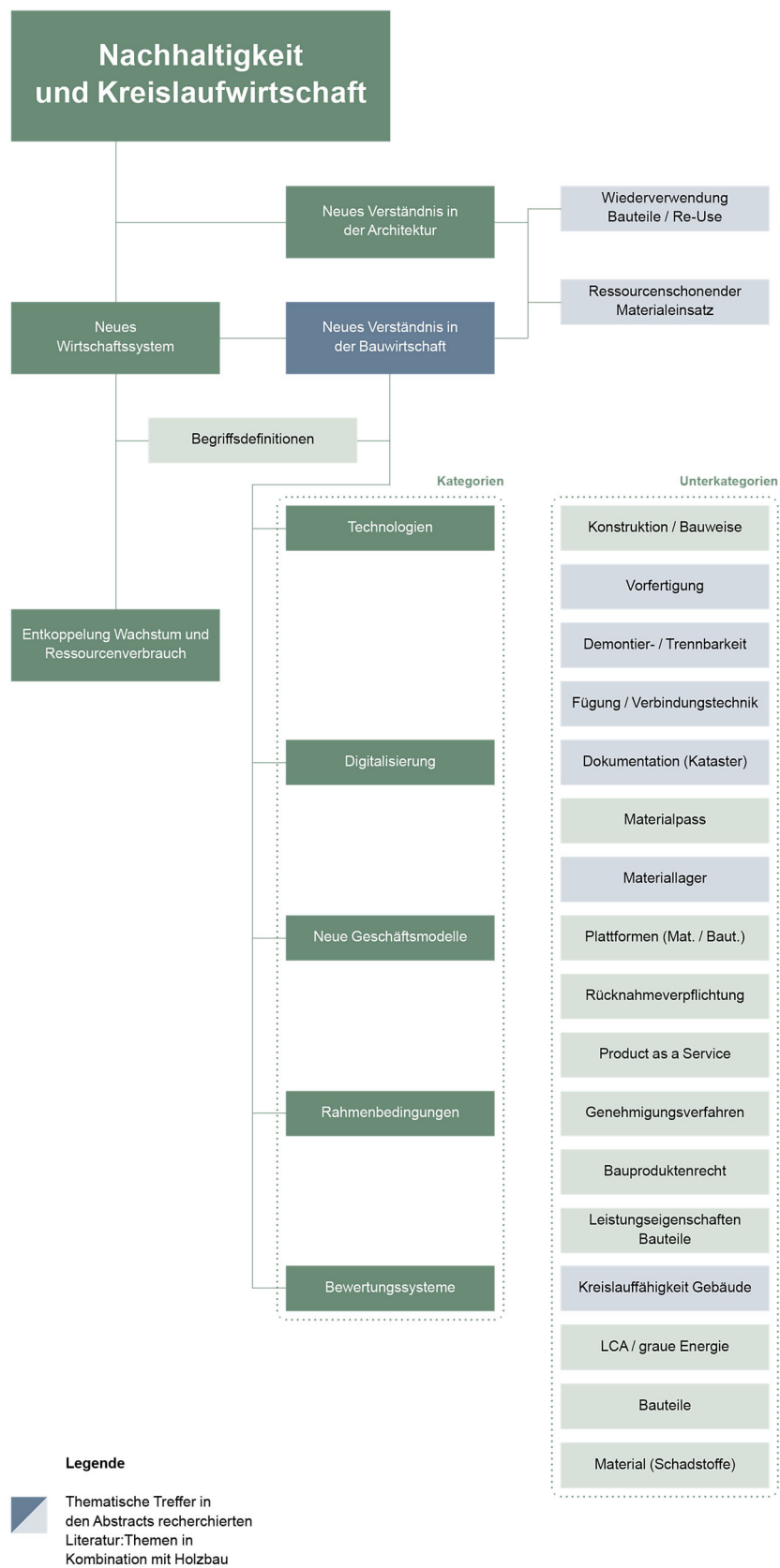


Abbildung 4: Begriffsnetzwerk abgeleitet aus den Basiswerken als Grundlage für die Literaturrecherche zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Eigene Darstellung.

Bei der Suche im Rechenschritt 2 werden zwei Quellen (n=2) identifiziert, die als einzige in den Suchresultaten das Thema Kreislaufwirtschaft im Holzbau überblicksartig behandeln, allerdings dabei auf unterschiedlichen Ansätzen aufbauen:

- Anh et al. (2022). Circular economy in mass timber construction: State-of-the-art, gaps and pressing research needs. *Journal of Building Engineering* Vol. 53-2022, 104562. Dieser Ansatz verfolgt eine breit gefächerte Analyse hauptsächlich basierend auf einer Web of Science Recherche mit dem Ziel, gängige Praktiken, vorhandene Literatur sowie Forschungslücken bezogen auf Massivholz aufzuzeigen.
- Graf, Jürgen (2020): Entflechtung von Wachstum und Ressourcenverbrauch. In: *Bautechnik* 97 (S2), S. 108–115. Dieser Ansatz stellt eine inhaltlich thematisch beschreibende Abhandlung dar, die das Ziel verfolgt, das Potenzial und die Machbarkeit eines kreislaufgerechten Holzbaus anhand von Beispielen aufzuzeigen.

Da diese beiden Quellen als einzige einen strukturierten Überblick zum Thema Kreislaufwirtschaft im Holzbau anbieten, werden diese in weiterer Folge vertieft analysiert. Die jeweiligen Schlussfolgerungen sowie die jeweils aufgezeigten Forschungslücken werden gegenübergestellt.

Im ersten Paper wird der Status quo in der Forschung in Bezug auf Massivholzbau („Mass Timber“) analysiert und kategorisiert. Der Betrachtungswinkel der Analysen liegt bei englischsprachigen Publikationen der Jahre 2010-2021. Zudem werden Empfehlungen für eine Umsetzung von zirkulären Prinzipien im Massivholzbau abgeleitet. Die inhaltliche Kategorisierung der recherchierten Studien von Anh et al. zum Massivholzbau und die identifizierten Forschungslücken sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht Kategorisierung nach Anh et al. (2022) und abgeleitete Defizite und Forschungslücken für „Mass Timber“

| Kategorie         | Erläuterung  | Defizite, Lücken   |
|-------------------|--|--|
| Assessment        | Indikatoren und Methoden zur Bewertung der Kreislauffähigkeit, wie der Zirkularitätsindex, erweiterte LCA, Werterhalt von Materialien.                             | Grundsätzliches Defizit an geeigneten Pilotprojekten für Studien. Studien, die das Wiederverwertungspotenzial von Holz abzuschätzen versuchen, beruhen auf geringen Fallzahlen oder haben keinen systemischen Ansatz.  |
| Material          | Materialwahl und Stoffströme in Kombination mit der Bauweise sowie Standards in der Wiederverwendung   | Fehlende Standards bzw. Kennwerte für Holz in der Wiederverwendung. Es fehlen auch Erfahrungen über Auswirkungen von aktuellen Entwicklungen bei Oberflächenbehandlungen auf die Raumluftqualität und das Recyclingpotenzial.  |
| Planning & Design | Abläufe mit Bezug zu Rückbau, Wiederverwendung und End-of-Life Szenarien in Kombination Aspekten der Bauweise, Modularisierung und Zugänglichkeit für den Rückbau. | Fehlende Untersuchungen zu den Auswirkungen der Kombination unterschiedlicher Verbindungssysteme aber auch Größe und Gewicht von Komponenten und Bauteilen auf den Rückbau.  |
| Technology        | Technologien für den Rückbau und die Wiederverwendung, insbesondere auch Datenmanagement und Embedded Technologies.  | Kein Nachweis der Eignung von BIM im Kontext der Bewertung der Kreislauffähigkeit. Der Einsatz von bereits eingeführten Technologien wie Virtual und Augmented Reality (AR & VR), RFID (automatisiertes Identifikationsverfahren) und Blockchain ist noch immer sehr begrenzt. |

|           |   |  |
|-----------|---|--|
| Economics | Geschäftsmodelle, Reverse Logistics und kurz- sowie langfristige Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen betreffend Rückbau, Wiederverwendung aber auch die Lieferketten betreffend. | Grundsätzliches Defizit an Studien zu Geschäftsmodellen für den Mass Timber Bereich. Reverse Logistics sind weder in der Literatur noch in der Umsetzungspraxis ein Thema.                       |
| Framework | Rahmenbedingungen, die Verpflichtungen oder Anreize die Kreislaufwirtschaft beeinflussen. Öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanz.  | Grundsätzliches Defizit an Studien über die Effektivität von Anreizsystemen oder gesetzlichen Verpflichtungen. Öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanz als Themen werden ebenfalls vernachlässigt. |

Auf Grundlage dieser Analyse formulieren die Autor:innen zehn Empfehlungen (mit dem Fokus auf den Massivholzbereich):

- Systematischer Ansatz zur quantitativen Datenerfassung und -analyse für eine Bewertung der Kreislauffähigkeit von Gebäuden.
- Änderungen in Design und Herstellung von Komponenten für einen kreislaufoptimierten Einsatz, wie beispielsweise alternative Deckschichten, Klebstoffe sowie die Integration von Aspekten der Materialgesundheit.
- Bewusstseinsbildung in der öffentlichen Wahrnehmung in Bezug auf Kreislaufpotenzial
- Entwicklung und Harmonisierung von DfMA+D-Ansätzen (Design for Manufacturing, Assembly and Deconstruction), wie Verbindungssysteme und die Optimierung von Montage und Demontagevorgängen.
- Integrative Planungsansätze inklusive Rückbauplanung.
- Breite Umsetzung und Anwendung der BIM-Methode. Weiterentwicklung für beispielsweise eine Integration eines Rückbau-Informationsmodells („Deconstruction-Modell“).
- Anwendung neuer Technologien wie Virtual und Augmented Reality (AR & VR), RFID (automatisiertes Identifikationsverfahren) und Blockchain für den Rückbau.
- Entwicklung der Rückbaulogistik und Entwicklung von Datenbanken für die Wiederverwendung in Kombination mit Kostenschätzungen und Variantenstudien.
- Entwicklung von Lehr- und Schulungsmaterial.
- Integration des Kreislaufansatzes in Gebäude- und Produktzertifizierungen.

Der zweite Artikel „Entflechtung von Wachstum und Ressourcenverbrauch“ (Graf, 2020) stellt eine Vorabveröffentlichung von Zwischenergebnissen aus dem Verbundvorhaben „Wandelbarer Holzhybrid“ dar. Die Ergebnisse der insgesamt vier Teilvorhaben sind in einem Schlussbericht zusammengefasst (Graf, Birk et al. 2022b). Die Vorabveröffentlichung zeigt anhand von Beispielen jene fertigungstechnischen Möglichkeiten auf, die über das Potenzial für eine kreislaufgerechte Wertschöpfung verfügen. Folgende Aspekte für einen kreislaufgerechten Holzbau lassen sich darin identifizieren (siehe Graf, 2020, S. 109–112).

- Effizienz: Effizientes Konstruieren bedeutet einen geringen Energie- und Ressourcenverbrauch.
- Konsistenz: Konsistentes Bauen ist Abfallvermeidung durch die Verwendung natürlicher Ressourcen wie Holz und Bauweisen mit zirkulärer Wertschöpfung.
- Suffizienz: Suffizientes Denken in der Planung setzt sich mit grundlegend neuen Lösungsansätzen auseinander und geht der Frage nach, wie man mit dem „Ausreichenden“ auskommt.

Ein wesentlicher Fokus des Verbundprojektes „Wandelbarer Holzhybrid“ ist die Konzeption nutzungsflexibler Gebäude. Wie dies in unterschiedlichen Ausbaustufen im Detail geplant werden kann, wird im Schlussbericht ausführlich beschrieben. Die Forschungsarbeit zeigt exemplarisch Handlungsfelder und Strategien für die Implementierung des Prinzips der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen auf. Unter anderem können genannt werden:

- Nutzungsflexible Strukturen sind im Neubau monofunktionalen, konfektionierten Lösungen vorzuziehen (Birk et al., 2022, S. 242)
- Elementierung und Standardisierung sind Voraussetzung für nutzungsflexible Strukturen. Beides führt zum seriellen Bauen und kann daher mit einem hohen Vorfertigungsgrad und einer hohen Qualität produziert werden (ebd.)

Im dritten Schritt wurden mittels Schneeballsystem weitere Autor:innen und Werke gesichtet. Folgende wurden dabei identifiziert:

- Graf, Jürgen; Birk, Stephan; Shi, Wenchang (2022): Kreislaueffektives Potenzial von Holz im Hallenbau. In: Bautechnik 99 (S1), S. 2–12. DOI: 10.1002/bate.202100105.
- John, Viola; Stark, Thomas (2021): Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (Re-use). Potenzial zur systematischen Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten im regionalen Kontext und Realisierung eines Pilotprojektes. 27/2021. BBSR-Online-Publikation. Bonn.
- Whittaker, Mark James; Grigoriadis, Konstantinos; Soutsos, Marios; Sha, Wei; Klinge, Andrea; Paganoni, Sara; Casado, Maria; Brander, Linus; Mousavi, Marjan; Scullin, Michael; Correia: Novel construction and demolition waste (CDW) treatment and uses to maximize Re-use and recycling. In: Advances in Building Energy Research 15/2021. 253-269.

Der Bericht von Graf, Birk & Shi fasst die Erkenntnisse aus einem umfangreichen Forschungs- und Umsetzungsprojekt eines Hallenbaus zusammen. Dabei werden zentrale Forderungen für Neu- und Umbauten, Aufstockungen und Bestandsbauten formuliert: diese sind Abfallvermeidung, Wiederverwendung und Nutzungsflexibilität (Graf, Birk & Shi, 2022). Diese Forderungen ließen sich in dem Projekt durch Maßnahmen wie eine Elementierung, Standardisierung und Reversibilität der Bauteile realisieren. Dafür wären in der Holzbaupraxis Planungsprozesse zu verändern und Wiederverwendung müsste durch die Realisierung von elementierten und standardisierten Bauteilen gewährleistet sein. Holz als nachwachsender Rohstoff, der Kohlenstoff speichert, ist aus Sicht der Autoren für diesen Zweck besonders geeignet. Als Umsetzungshürden lokalisieren die Autoren Motive auf Seiten der Politik und Wirtschaft; der Erkenntnisstand in der Wissenschaft in Bezug auf kreislaufgerechtes Bauen ist vorhanden.

Der Bericht von John und Stark fasst die Ergebnisse des BBSR-Projektes Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (Re-use) zusammen. Dabei wurde die Planung und die bauliche Umsetzung eines Pilotgebäudes aus Rückbaukomponenten im Landkreis Konstanz wissenschaftlich begleitet. Es wurden Grundlagen zur regionalen Etablierung einer geeigneten Organisationsstruktur für eine Wieder- und Weiterverwendung im Hochbau geschaffen und dokumentiert. Zudem erfolgte die Analyse des baulichen Bestandes in Konstanz sowie der Hemmnisse, die gegenwärtig die Wiederverwendung von Bauteilen erschweren. Das Projekt hat keinen holzbauspezifischen Bezug, jedoch fließen die Erkenntnisse hinsichtlich Bauteilbörsen in das Kapitel „Geschäftsmodelle“ des vorliegenden Berichts mit ein.

Der Artikel von Whittaker et al. (2021) ist eine Veröffentlichung aus dem Projekt RE4, das im europäischen Forschungsprogramm „Horizon2020“ durchgeführt wurde. Details zum Projekt sind unter <http://www.re4.eu> verfügbar. Durch den spezifischen Fokus auf die Wiederverwendung werden die Erkenntnisse in der vertieften Analyse zu den Re-use Konzepten erläutert.

## Erkenntnisse

Es gibt bislang kein Basiswerk, das sich mit zirkulären Prinzipien im Holzbau spezifisch auseinandersetzt und das Thema umfassend beleuchtet. Die Literaturrecherche zeigt die Fülle an wissenschaftlichen Auseinandersetzungen mit dem Thema Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Es gibt jedoch weder im Bauwesen allgemein, noch spezifisch für den Holzbau konkrete Ansätze, die die relevanten Themen strukturieren und einordnen. Die Studie der Vereinten Nationen (FAO und Vereinte Nationen, (2021) nimmt sich dem Thema Kreislaufwirtschaft im Kontext von Holz an, adressiert aber die gesamte Wertschöpfungskette Wald und Holz. Die Literaturrecherche von Ahn et al. bietet eine Grundstruktur nach sechs Prinzipien, allerdings fokussiert die Studie den Mass Timber Sector im nordamerikanischen Raum. Mass Timber hat im Holzbau im D-A-CH-Raum ebenfalls einen Stellenwert, Holztafelbau ist jedoch in Deutschland am meisten verbreitet. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse mit den Erkenntnissen der zweiten Literaturquelle, dem Verbundvorhaben des Wandelbaren Holzhybrides, zusammengeführt. Diese Zusammenführung erfolgt im Kapitel Mapping Themen und Stakeholder in der grafischen Umsetzung der Themenlandkarte.

## Vertiefte Analyse zu Re-use Konzepten

### Vorgehen und methodische Ansätze

Wie in der Zielsetzung erläutert, fokussiert circularWOOD eine hochwertige Wiederverwendung von Holzbauteilen. Als Ergänzung der Literaturrecherche zur Themenlandkarte wurde eine vertiefte Literaturrecherche im Themenfeld Wiederverwendung im Holzbau durchgeführt.

Abbildung 5 stellt das Vorgehen der vertieften Literaturrecherche mit den jeweiligen Schritten dar. Analog zur vorangegangenen Recherche „Kreislaufwirtschaft im Holzbau“ werden auch in der Vertiefung „Re-use im Holzbau“ vorab Basiswerke erfasst. Dabei werden ein im vorhergehenden Kapitel angeführtes Basiswerk und weitere ergänzende Texte gesichtet:

- Stricker, Eva; Brandi, Guido; Sonderegger, Andreas; Angst, Marc; Buser, Barbara; Massmünster, Michel (2021). Bauteile wiederverwenden. Ein Kompendium zum zirkulären Bauen. Park Books, Zürich.
- Gutzwiller, Isabel (2019): Gebrauchte Teile für neue Bauten. „Re-use“ am Bau. In: TEC 21 Gebrauchte Teile für neue Bauten (35), S. 30–36.
- Fischer, Danielle: Gebrauchte Teile für neue Bauten. Re-use: Taktiken des Umdenkens. In: TEC 21 Gebrauchte Teile für neue Bauten 35/2019, S. 37–41.
- Bertin, Ingrid; Lebrun, F.; Braham, N., Le Roy, Robert: Construction, deconstruction, Re-use of the structural elements: the circular economy to reach zero carbon. In: SBE19 Graz. Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2019. Transition towards a net zero carbon built environment.
- Isopp, Anne (2019). Recycling ist nicht nur ein Thema, es ist eine absolute Notwendigkeit. Ein Gespräch über das Wieder- und Weiterverwenden von Baustoffen. In: Zuschnitt 75 (75), S. 16–17.

Diese Texte beziehen sich nicht ausdrücklich auf den Holzbau. Die Beiträge widmen sich der Frage, inwiefern eine Umsetzung der Wiederverwendung von Bauteilen bei den aktuellen Rahmenbedingungen realisierbar ist (Fischer, 2019; Gutzwiller, 2019; Isopp, 2019; Stricker et al., 2021) oder legen den Fokus auf Re-use Konzepte bei strukturellen Elementen wie Tragwerk und Fundament (Bertin et al., 2019; Gutzwiller, 2019). Mittels der Analyse eines Fallballbeispiels, nämlich dem Kopfbau k.118 in Winterthur der vom Baubüro in-situ realisiert wurde, zeigt das Buch „Bauteile Wiederverwenden“ zentrale Themenfelder in Bezug auf Re-use auf (Stricker et al., 2021).

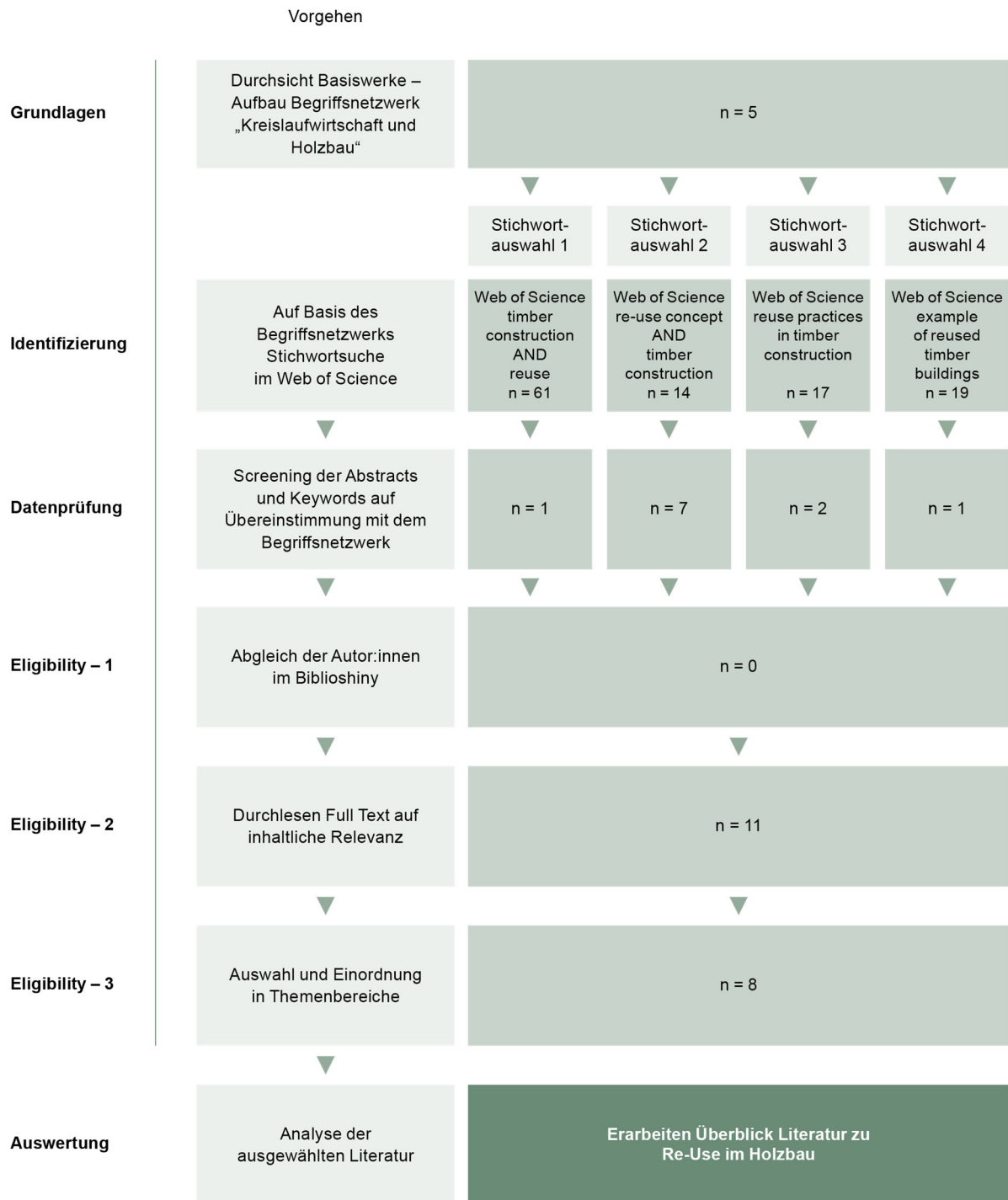


Abbildung 5: Überblick zum methodischen Vorgehen in der vertieften Literaturrecherche zum Thema „Re-use im Holzbau“. Eigene Darstellung.

Anschließend erfolgt eine weiterführende Recherche im Web of Science. Durch die Eingabe verschiedener Kombinationen von Suchstichworten („timber construction AND re-use“ – 61 Suchresultate; „re-use concept AND timber construction“ – 14 Suchresultate; „Re-use practices in timber construction“ – 17 Suchresultate; „example of re-used timber building“ – 19 Suchresultate) werden insgesamt 111 Artikel gefunden. Die Abstracts werden hinsichtlich ihrer thematischen Relevanz durchgelesen. Dies führt zu einer abschließenden Auswahl von elf Artikeln, die sich spezifisch mit dem Thema Re-use im Holzbau befassen. Vier der Artikel finden sich als Resultate in der vorher erläuterten



Literaturrecherche zur allgemeinen Strukturierung (Camia et al., 2021; Campbell, 2019; Minunno et al., 2020; Niu et al., 2021; Pronk et al., 2022).

## Erkenntnisse

Die Themen der jeweiligen Artikel lassen sich vier übergeordneten inhaltlichen Bereichen zuordnen:

- Gebrauchtholz-Analyse
- Entwicklung neuer Materialien zum Beispiel aus Sperrholz oder Massivholz
- Dokumentation der Realisierung eines Baus aus wiederverwendeten Bauteilen
- Überblick der Wiederverwendungspraktiken im Holzbau

Zum Thema Gebrauchtholz-Analyse finden sich in den Artikeln Überlegungen zu Analyseverfahren des technischen Zustands von Gebäuden mit Holzbauteilen, um die Lebensdauer dieser Gebäude ohne zusätzliche Verstärkungen oder Ersatz sicher zu prognostizieren (Bajno et al., 2021). Zudem werden systematische Analyseverfahren zur Ermittlung des Potenzials für eine Wiederverwendung beschrieben (Bajno et al., 2021; Hafner et al., 2014). Eine weitere Arbeit eruiert Schwachstellen einer Holzhybridkonstruktion, deutet auf Probleme beim Revitalisierungsprozess hin und zeigt durch einen Vergleich von Umnutzungen ähnlicher Gebäude Umnutzungspotenziale auf, mit dem Ziel, die Lebensdauer zu verlängern (Grothues & Fioriti, 2010).

Die Entwicklung neuer Materialien, zum Beispiel aus Sperrholz oder Massivholz, wird in dem europäischen Horizon2020-Projekt „RE4“ beschrieben ([www.re4.eu](http://www.re4.eu)). Zu diesem Projekt finden sich weitere Veröffentlichungen (Klinge et al., 2019; Whittaker et al., 2021). Ziele dieses Projekts waren unter anderem, neue Materialien mit hohem CDW-Anteil (Construction and Demolition Waste) zu entwickeln, ein Prüfverfahren zur Sicherstellung der Qualität der Materialien zu konzipieren und Auswirkungen, Kosten und Einsparungen durch eine Verwendung von Bauteilen mit hohem Anteil an wiederverwendeten Materialien auf die Umwelt darzustellen. Abschließend findet eine Bewertung statt, die mittels einer ökologischen Lebenszyklusanalyse (E-LCA) und der Lebenszykluskosten (LCC) vorgenommen wird. In den Demonstrationsgebäuden wurden vorgefertigte strukturelle und nicht strukturelle Elemente und Bauteile, die zu mindestens 65 Prozent aus CDW-Materialien bestehen, entwickelt. Dazu zählen beispielsweise rezyklierte Zuschlagstoffe, große Holzstücke und leichte Partikel (d. h. Holzspäne und gemischte Holz-/Kunststoffpartikel). Die entwickelten Elemente und Komponenten wurden modular aufgebaut und mit reversiblen Verbindungen versehen. Dies gewährleistet eine einfache Wiederverwendung am Ende der Nutzungsdauer (Whittaker et al., 2021). Zudem wurde ein umfassendes Prüfverfahren konzipiert, anhand dessen sichergestellt wurde, dass CDW-Materialien hinsichtlich ihrer physikalischen, chemischen, mechanischen und dauerhaften Eigenschaften den geltenden nationalen Bauvorschriften und europäischen Konstruktionsnormen entsprechen. Ferner wurden im Zuge des Projekts neue Technologien zur Verbesserung des Behandlungsprozesses von CDW-Rohstoffen und damit die Qualität der aus CDW gewonnenen Materialien entwickelt (Whittaker et al., 2021).

Zwei der recherchierten Werke beschreiben Realisierungen von Holzhybridgebäuden. Sie verfolgen das Ziel, Gebäude mit wiederverwendeten Bauteilen mit Gebäuden die einen hohen Recyclinganteil haben, zu vergleichen (Minunno et al., 2020). Weitere Zielsetzung war es, die Herausforderungen für die Wiederverwendung von Materialien allgemein zu untersuchen (Pronk et al., 2022). Im Zuge der Realisierung einer Wohnvilla in Amsterdam stellen die Autor:innen fest, dass sich neue Planungsansätze und Kooperationen etablieren müssen, damit Wiederverwendung zu einer gängigen Praxis wird. Sie schlagen Design- und Bewertungsstrategien vor, die eine mehrfache Wiederverwendung von Holzschalungen ermöglichen (Pronk et al., 2022). Anhand des Entwurfs und Baus eines modularen Gebäudes in einem Industriekonsortium nach den Prinzipien der Circular Economy und Cradle-to-Cradle werden die Vorteile eines prototypischen Gebäudes durch eine Lebenszyklusanalyse aufgezeigt und mit

Gebäuden mit hohem Anteil an recycelten Produkten verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass Entwerfen und Bauen für die Wiederverwendung von Komponenten - im Vergleich zum Recycling - die Treibhausgasemissionen um 88 Prozent kompensieren und gleichzeitig weitere Umweltindikatoren verbessert werden können (Minunno et al., 2020).

Drei weitere Werke beschreiben überblickhaft Wiederverwendungspraktiken im Holzbau in Finnland, Neuseeland und England (Campbell, 2019; Finch et al., 2021; Niu et al., 2021). Niu et al. (2021) analysieren zwei Holzhallen in Finnland. Mit dem Fokus auf die Brettschichtholzträger in der Dachkonstruktion versuchen sie das Potenzial der Wiederverwendung von Holz zu quantifizieren. Sie stellen fest, dass die Wiederverwendung von Bauholz technisch möglich ist, dafür allerdings effiziente und standardisierte Bewertungskriterien notwendig sind, um die mechanischen Eigenschaften des Holzes und damit die Sicherheit von Gebäuden zu gewährleisten. Sie schlagen ein Modell vor, das mit Unterstützung von Materialmakler:innen funktioniert. Das Modell kann den Materialwert von Holz deutlich aufwerten (Niu et al., 2021). Die Autor:innen identifizieren darüber hinaus folgende Barrieren (Niu et al., 2021):

- Die im Bauwesen verwendeten Holzkomponenten werden nur für eine einmalige Verwendung konzipiert und hergestellt.
- In der Baubranche bestehen Zweifel an der langfristigen Qualität von und der konstanten Versorgung mit Bau- und Konstruktionsholz.
- Aktuell besteht keine Motivation zur Wiederverwendung und zum Recycling von Bau- und Konstruktionsholz, da es gegenwärtig nach der Nutzung primär und effizient der energetischen Verwertung zugeführt wird.
- Es fehlen sowohl Akteur:innen als auch Ziele für eine höhere Wertschöpfung durch Wiederverwendung oder Recycling von Holz.
- Es fehlen standardisierte Verfahren für die Wiederverwendung von C&D-Holz (Construction & Demolition).
- Bau- und Abbruchholz hat einen geringeren Wert im Vergleich zu anderen Bau- und Abbruchabfällen, wie beispielsweise Metalle.

Finch et al. (2021) machen bei ihrer Darstellung des Wiederverwendungspotenzials durch Rückbautests der äußeren Umhüllungsschichten von Gebäuden in Holztafelbauweise in Neuseeland zwei weitere Barrieren aus, die übertragbar scheinen:

- Befestigungen (für die Gebäudehülle) beschädigen Bauteile beim Ausbau irreversibel.
- Die Verwendung chemisch modifizierter Materialien (d.h. behandeltes und/oder technisiertes Holz) erschwert eine Wiederverwendung.

Die Autor:innen weisen darauf hin, dass angesichts der weiten Verbreitung der Holztafelbauweise in Neuseeland, Australien und Nordamerika ein deutlicher Bedarf an Forschung zur Befestigungs- und Materialtechnologien für Gebäudehüllen besteht (Finch et al., 2021).

In England adaptiert Adrian Campbell (2019) den Kreislaufansatz auf den Holzbau. Er deutet auf die bereits vorhandene gesetzliche Verankerung von Wiederverwendung im Holzbau hin und zeigt auf, dass die Nationale Spezifikation für Bauholz (TRADA, 2017) bereits die Wiederverwendung am Ende der Lebensdauer vorschlägt. Außerdem wird die Möglichkeit der Wiederverwendung von Materialien „frei von beschädigten oder fehlerhaften Teilen“ beschrieben. Zudem fordert Campbell eine Überprüfungsmethode von Massivholzbauten hinsichtlich ihres Wiederverwendungspotenzials. Folgende Schritte erachtet der Autor als notwendige Schritte/ Maßnahmen, damit sich kreislaufgerechter Holzbau in England etablieren kann:

- Anpassung der Spezifikationen zur Förderung der Wiederverwendung.

- Alternative Methoden zur Bewertung oder Neueinstufung in Bezug auf Sicherheitsfaktoren für die verwendeten Bauprodukte, wenn die Informationen der ETA (Europäisch Technische Bewertung) als unzureichend erachtet werden.
- Design für Montage und Demontage.

Die Autor:innen des europäischen Forschungsprojekts InFutUReWood stellen die Frage, wie heute gebaut werden muss, damit eine zirkuläre Verwendung in Zukunft möglich ist (Sandberg et al., 2022). Im Fokus der Untersuchung lagen dabei sowohl das Design und die Konzeption von neuen Gebäuden als auch das Wiederverwendungspotenzial von Holz aus Gebäuden am Ende ihres Lebenszyklus. Die Ergebnisse machen deutlich, dass der Entwurf des Rückbaus und die Wiederverwendung (DfDR) dazu beitragen kann, die Umweltauswirkungen von Holzrahmenkonstruktionen für Wohngebäude zu verringern. Daneben fand eine Entwicklung von Massivholzprodukten (Brettsperrholz) aus wiedergewonnenem Holz statt. An dieser Stelle wird deutlich, dass durch die Verwendung von wiedergewonnenem Massivholz in hochwertigen CLT-Platten ökologische Vorteile erzielt werden können. Ein weiterer Bestandteil des Projekts war die Erforschung von Methoden zur vor-Ort-Bewertung und Zuweisung von Bemessungswerten von verbautem Holz. Zudem wurden mögliche Methoden zur Rückverfolgbarkeit von Materialien identifiziert und Schlüsselfaktoren beim Abriss von Gebäuden, die sich auf das Rückgewinnungspotenzial auswirken, ermittelt. Es wurde ein Bestands- und Flussmodell entwickelt, das eine Vorhersage der künftigen Mengen an wiedergewonnenem Holz ermöglicht. Eine Datenbank mit den Eigenschaften von wiedergewonnenen Holzprodukten, einschließlich der Einbettungsfestigkeit wurde erstellt sowie ein neuer Orientierungsrahmen für die Festigkeitssortierung entwickelt mit dem Ziel, den vorhandenen Rahmen zu ergänzen. Das Projekt weist Parallelen zum Forschungsprojekt Re4 auf.

#### Fazit

Die vertiefte Literaturrecherche zum Themenfeld Re-use-Konzepte mit Fokus auf Holzbau identifizierte wissenschaftliche Artikel, die sich zwar nicht mit Umsetzungen in den geografischen Grenzen des D-A-CH-Raumes beschäftigen, deren Erkenntnisse aber für den Re-use im Holzbau in Deutschland übertragbar sind. Wesentlich ist, dass an dieser Stelle der Fokus über den Mass Timber-Sektor hinausgeht und sich teilweise Erkenntnisse zu formulierten Defiziten und Lücken überlappen. Die Recherche liefert zudem Erkenntnisse zur wissenschaftlichen Begleitung von Umsetzungspraktiken.

## Umsetzungspraktiken

Zur Einordnung aktueller Umsetzungspraktiken wurde eine Desktoprecherche zu Umsetzungsbeispielen durchgeführt, die während des gesamten Projekts als Überblick verwendet und fortlaufend aktualisiert wurde. Diese Liste befindet sich in Anlage I. Die Recherche umfasst verschiedene Aspekte der Kreislauffähigkeit im Bauwesen und geht über den mehrgeschossigen Holzbau hinaus, indem sie zusätzlich Umsetzungsbeispiele für Hybridbauten, Stahlbauten, Bestandsbauten und mehr erfasst. Sie beinhaltet verschiedene Anwendungsszenarien wie Neubauprojekte, die die Verwendung gebrauchter Materialien betonen, Bestandsgebäude, bei denen der Einsatz recycelter Materialien im Fokus steht, und Neubauten, die auf späteren Rückbau ausgelegt sind. Die verfügbare Detailtiefe der recherchierten Projekte ist sehr unterschiedlich. Hinzu kommt eine inkonsistente Verwendung von Begriffen, welche die eindeutige Einordnung der Umsetzungsbeispiele teilweise erschwert. Diese Grundlage dient im nächsten Schritt der Auswahl der Fallstudien (siehe Kapitel Fallstudien).

## Stakeholderanalyse

Das Ziel der Stakeholderanalyse in circularWOOD ist es, das spezifische Umfeld in der Umsetzungspraxis besser zu verstehen. Damit sollen die Grundlagen für die Ableitung des Handlungsbedarfes und der Entwicklungsschritte für die skalierbare Umsetzung von kreislauffähigen Gebäuden in Holz geschaffen

werden. Herausforderungen, Motivation, Relevanz und Einfluss von Stakeholdergruppen, Einschätzungen zum Anpassungs- und Handlungsbedarf bzw. dem Forschungs- und Entwicklungsbedarf aus Sicht der Praxis sind dabei die zentralen Themen. Die gesammelten Daten dienen als Grundlage für ein besseres Verständnis, das den Brückenschlag zwischen Theorie und Praxis adressiert

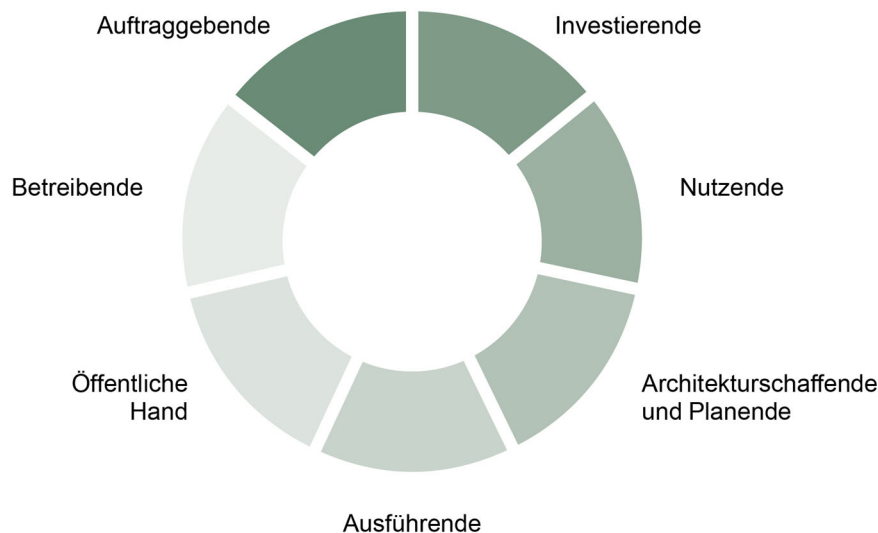


Abbildung 6: Stakeholder im Lebenszyklus eines Gebäudes. Eigene Darstellung.

### Vorgehen und methodische Ansätze

Für die Stakeholderanalyse werden Expert:inneninterviews (1) und eine teilstandardisierte Befragung der Akteur:innen der Fallstudien (2) durchgeführt. Für beide Methoden gilt es, die Zielgruppen zu identifizieren. Die Grundgesamtheit der im Lebenszyklus von Gebäuden involvierten Stakeholder umfasst ein sehr breites Spektrum an Akteur:innen. Der Baukulturbericht 2022/23 zeigt ausgewählte Beschäftigungsgruppen in Deutschland (Bundesstiftung Baukultur & Nagel, 2023, S. 12). Dazu muss die öffentliche Hand als Behörde wie auch Betreibende und Nutzende ergänzt werden. Übergeordnet werden daraus die in Abbildung 6 aufgezeigten Gruppen identifiziert.

Wie die Literaturrecherche gezeigt hat, ist die Kreislaufwirtschaft im Bausektor im Allgemeinen ein umfassender Themenbereich. Erfahrungen und Expertise in der Umsetzung sind in der Praxis noch wenig diffundiert. Eine umfassende Analyse aller in den Lebenszyklus involvierten Stakeholder würde die notwendige thematische Tiefe für die holzbauspezifischen Fragestellungen verwässern. Fragen zur Umsetzung von Kreislaufwirtschaft im Bausektor im Allgemeinen oder beispielsweise auch Akzeptanzfragen und damit Perspektiven der Nutzenden oder Betreibende sind grundsätzlich von Bedeutung, müssen an anderer Stelle beantwortet werden. Daher wird für die Stakeholderanalyse in circularWOOD eine Abgrenzung vorgenommen.

#### Expert:inneninterviews (ad 1)

Die Kriterien für das selektive Sampling der Expert:inneninterviews sind:

- Stakeholder, die eine maßgebliche Rolle in der Umsetzungspraxis von kreislauffähigen Holzbauten innehaben: Bauherrenvertreter:innen, Architekturschaffende und Planende, Ausführende.
- Vertreter:innen der angeführten Stakeholdergruppen, die Erfahrungen in Zusammenhang mit mehrgeschossigem Holzbau und/oder Kreislaufwirtschaft haben.

Mit dieser Fokussierung werden die Grundlagen für eine fachliche Tiefe in Bezug auf Kreislaufwirtschaft und Holzbau gelegt. Der methodische Ansatz beruht auf Expert:inneninterviews. Die für die Expert:inneninterviews ausgewählten Interviewpartner:innen werden als Sachverständige ihres spezifischen Themenkomplexes angesehen. Die Auswahl der Interviewpartner:innen erfolgt auf Basis des durch jahrelange Forschungstätigkeit etablierten Netzwerkes und Branchen-Know-hows des Projektteams. Im Zeitraum vom 23.08.2021 bis zum 28.11.2022 wurden insgesamt 20 Interviews durchgeführt. Das Feld der Befragten setzt sich wie folgt zusammen:

- Sieben Vertreter von Holzbauunternehmen: davon fünf Personen aus der Geschäftsleitung, dem Vertrieb oder der Innovationsabteilung und zwei Personen aus der operativen Ebene (Planung und Projektleitung)
- Vier Vertreter aus der Holzbauplanung und dem Holzbauingenieurwesen
- Drei Architekten, die sich mit der Umsetzung von kreislauffähigen Gebäuden beschäftigen
- Vier Expert:innen, die sich mit Dienstleistungen wie Beratung oder Plattformen in der Planung und Umsetzung von kreislauffähigen Gebäuden beschäftigen
- Eine Forscherin, die zum Themenfeld Urban Mining promoviert hat
- Ein technischer Experte aus einem Holzwerkstoffindustrieunternehmen, das in Deutschland und der Schweiz tätig ist

Die Expertise der Interviewpartner:innen und deren fachlicher Hintergrund sind in Anlage II nachzulesen. Diese Interviews verschaffen dem Forschungsteam Einblicke in die jeweilige Anwendungspraxis. Die Fragestellung im Interview folgte einem Interviewleitfaden (siehe Anlage V), der auf Grund der unterschiedlichen Fachgebiete spezifisch adaptiert wurde.

Durch die Interviews werden Zusammenhänge, Praktiken, sowie Motivation und Interessen dargestellt. In diesem Kontext werden auch Impulse und mögliche bzw. notwendige Anreize betrachtet, die zu einer Veränderung des gegenwärtigen Systems führen (können). Damit werden anhand von Schlagworten inhaltliche Schwerpunkte herausgearbeitet. In einem weiteren Schritt werden die Schwerpunkte mit jenen aus der Literaturrecherche verglichen.

Zur Prüfung spezifischer Fragestellungen und/ oder zur Verifizierung spezifischer Erkenntnisse wurde im Zeitraum vom 17.01.2023 bis zum 27.03.2023 weitere sechs Expert:innen befragt. Deren Expertise umfasste die Qualitätsprüfung und -bewertung in der Holzforschung, rechtliche Fragestellungen in Bezug auf Normen und Zulassungsverfahren, Holzbaukonstruktion, Waldwirtschaft und Architekturinformatik. Alle Interviewpartner:innen und deren fachlicher Hintergrund werden in Anlage II detailliert dargestellt.

#### Teilstandardisierte Befragung (ad 2)

Die Auswahl der Teilnehmenden an der teilstandardisierten Befragung wurden wegen deren Beteiligung an der Umsetzung an den Fallstudien getroffen. Mittels eines Fragebogens (siehe Anlage VI) konnte einerseits Erfahrungswissen und inhaltliche Schwerpunkte der Akteur:innen erfragt werden (standardisierter Teil). Andererseits ermöglichten es die zusätzlichen offenen Fragen, Themen zu vertiefen. Das gab den beteiligten Akteur:innen die Möglichkeit, sich spezifisch zu äußern (unstandardisierter Teil). Ziel der Befragung war es ergänzendes Wissen, der an den Fallstudien beteiligten Akteur:innen zu erfragen. In dieser teilstandardisierten Befragung gab es von 20 Aussendungen 18 Rückmeldungen, zwei Fragebögen wurden nicht zurückgesendet. Zu den Rücksender:innen zählten vier Architekt:innen, drei Bauherrenvertreter:innen, zwei Beratende zu Kreislaufwirtschaftsthemen, drei Holzbauingenieur:innen, eine/n Tragwerksplaner:in sowie sechs Vertreter:innen von Holzbauunternehmen. Die Befragung wurde anonymisiert. Die Mehrheit der Befragten hatte bereits vor der Umsetzung der konkreten Fallstudie Erfahrungen in einem oder mehreren Bauten im mehrgeschossigen Holzbau. Nur vier (je zwei Architekt:innen und zwei

Bauherrenvertreter:innen hatten zuvor noch keine Erfahrungen im Holzbau gesammelt. Weitaus weniger Akteur:innen brachten Erfahrungen hinsichtlich des kreislaufgerechten Bauens mit. Weniger als die Hälfte der Befragten (sieben von 18) hatten zuvor bereits Projekte umgesetzt, in denen Kreislauffähigkeit oder Rückbaubarkeit eine zentrale Rolle spielten.

## Erkenntnisse

### Stand des Wissens und der Umsetzung

Die Expert:innen und auch die Befragten der teilstandardisierten Umfrage sehen die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Holzbausektor erst in den Kinderschuhen und dass sich der Know-how-Zuwachs bei den Akteur:innen im Aufbau befindet. Die Holzbauunternehmen sehen sich aber in der ressourcenschonenden Produktion als Vorreiter. Dass Abfall oder Verschnitt in der Produktion vermieden werden, ist schon lange Standard, erläutern einige Holzbauunternehmen im Interview.

Die Literaturrecherche zur Kreislauffähigkeit von Gebäuden zeigt klare Unterscheidungen der verschiedenen Kategorien der Nachnutzung (Re-use, Re-processing, Recycling, Downcycling, etc. (siehe Kapitel Begriffsverständnis). Dies ist auch bei den Interviewpartner:innen zu beobachten. Es gibt ein differenziertes Verständnis hinsichtlich der fachgerechten Verwendung dieser Begriffe.

### Motivation

Die zentrale Motivation der in den Expert:inneninterviews befragten Holzbauunternehmen, Holzbauplanenden und Architekturschaffenden ist der Wunsch, ökologisch zu bauen. Die Kreislaufwirtschaft wird vor allem als ein weiteres Werkzeug gesehen, nachhaltiges Bauen mit Holz zu realisieren. Drei Expert:innen beschreiben dies in den Interviews übereinstimmend, aber unabhängig voneinander. Ein Holzbauingenieur ergänzt, dass es noch Erfahrungswerte benötigt, inwiefern Konzepte etc. sich in der Zukunft tatsächlich realisieren lassen. Dies spiegelt sich auch in einem weiteren genannten Motiv zum kreislauffähigen Bauen wider: Das Innovationspotenzial auszunutzen (Interview Pius Renggli, Gerd Prause). Weitere zentrale Motive, die von unterschiedlichen Akteur:innen genannt wurden, sind die persönliche Überzeugung und der Imagegewinn sowie die Vorbildwirkung. Nicht außer Acht zu lassen ist der Aspekt des Wettbewerbsvorteils, welcher durch die Realisierung innovativer Projekte entsteht (Interview Andreas Dengl). Holzbauingenieur Pius Renggli resümiert: Zwei Intentionen sind dabei aktuelle Treiber für alle Stakeholdergruppen: Einerseits sind es Ideologie und Überzeugung, andererseits handelt es sich um Marketing- und Imageüberlegungen.

In der teilstandardisierten Befragung der Akteur:innen der Fallstudien wird die entscheidende Motivation, die jeweilige Fallstudie rückbaubar zu planen und/oder umzusetzen, mit dem „Wissenszuwachs“ begründet, dem „Ausnutzen des Innovationspotenzials“ und dem „Sammeln von Erfahrungen“. Auffallend ist, dass nur bei einer befragten Person die Vorgabe der Auftraggeberschaft als Anlass genannt wurde. Die übrigen Befragten hingegen nannten wirtschaftliche, ökologische oder weitere Gründe. Explizit wurden in den Freitextantworten auch die Vorbildfunktion und die Verantwortung gegenüber kommenden Generationen genannt. Dies korreliert mit den Erläuterungen, der Expert:innen in den Interviews zur Begründung der Motivation ökologisch bauen zu wollen. In der teilstandardisierten Befragung werden zudem Imagegewinn, Wettbewerbsvorteil oder neue Businessmodelle als Motive genannt, aber nur in Einzelaussagen.

### Einschätzung des Potenzials des Holzbaus zum kreislauffähigen Bauen

Das Potenzial zum kreislauffähigen Bauen wird in den Charakteristika des modernen Holzbaus und der daraus resultierenden vereinfachten Rückbaubarkeit und Wiederverwendung gesehen. Weiteres Potenzial wird in der Kohlenstoffspeicherung des Materials Holz verortet. Die Vorteile des modernen Holzbaus, die genannt werden, sind die Vorfertigung und die Erfahrung im Umgang mit großformatigen Elementen und dem modularen Bauen. Mit dem Modulbau hat der Holzbau, aus Sicht der Interviewten, früh erste Umsetzungen kreislauffähiger Bauten aufgezeigt. Temporäre Modulbauten haben die Kreislauffähigkeit

bereits impliziert (Interview Gerd Prause und Alexander Leib). Zellen und Module aus Holz sind aufgrund des Gewichtsvorteils ideal für Logistik und Transport, so Franz Hauzenberger von Künzli Holz AG. Mit Modulen kreislauffähig zu bauen, macht für Bereiche mit einem hohen technischen Aufwand Sinn. Dabei sollte der Modulbau mit dem Elementbau kombiniert werden, so Architekt Thomas Rau. Auch die langjährige Erfahrung des Holzbaus in der Systemtrennung wird von den meisten Befragten sehr ausführlich erläutert. Weiter wird auch auf das geringe Gewicht und den Charakter der Verbindungsmittel eingegangen. „Trockene“ Verbindungen, wie mechanisch lösbare Verbindungen, geschraubte Verbindungen und Stecksysteme bieten das Potenzial, im Gegensatz zu anderen Bauweisen, Bauteile leichter und ohne Werteverlust wieder auseinanderzunehmen. Daraus resultiert eine Rückbaufähigkeit, die einen geringen Rückbauaufwand und auch die sortenreine Trennung unterstützen kann. Laut Anja Rosen schneiden aus Sicht der Bewertung nach dem Urban Mining Index, also der Nutzung des anthropogenen Rohstofflagers, Holzkonstruktionen in der Regel sehr gut ab. Die Voraussetzungen dafür sind allerdings, dass man Holz so „natürlich“ als möglich belässt. Das heißt Verunreinigungen, die stoffliches Recycling beeinträchtigen, werden vermieden und es gibt saubere Oberflächen mit wenig bis keine Oberflächenbehandlungen. In Bezug auf die Qualitätsstufen der Nachnutzung<sup>1</sup> ist Holz, gemäß Anja Rosen, prädestiniert für die Wiederverwendung. Auch Architekt Thomas Rau sieht Holz als einen Baustoff, der sich von Natur aus gut eignet, die Werte der Kreislaufwirtschaft einfach zu bedienen.

Die temporäre Kohlenstoffspeicherung wird von den meisten Interviewten als wesentliches Argument für die Verwendung von Holz beim Bauen und speziell im zirkulären Bauen gesehen. Schweizer Architekturschaffende mit Erfahrung im kreislauffähigen Bauen sehen aber in der Praxis der Wiederverwendung von Holzbauteilen gegenwärtig noch große Hürden. Die Begründung hierfür wird ebenfalls über die CO<sub>2</sub>-Bilanz geführt. Laut deren bisheriger Erfahrung weist Gebrauchtholz in der Wieder- oder Weiterverwendung eine weniger umfangreiche CO<sub>2</sub>-Reduktion in der Bilanzierung auf als andere emissionsintensive Sekundärrohstoffe, wie zum Beispiel Metall. Aus dieser Perspektive lässt sich, gemäß ihrer Aussage, die Wiederverwendung von Gebrauchtholzbauteilen gegenüber Bauherr:innen schwerer als bei Bauteilen aus anderen, nicht erneuerbaren Rohstoffen argumentieren.

#### Herausforderungen im Holzbau

Verbindungsmitteltechnologien und Fügechnik, Unsicherheiten in der Wiederverwendung, die Vielfalt im Holzbau, Lager- und Logistikfragen, aber auch Versäumnisse in den bisherigen Entwicklungen werden als die Herausforderungen für die Umsetzung von kreislauffähigen Holzbauten genannt. Holzbauunternehmen, Holzbauingenieure und -planende messen der Verbindungsmitteltechnologie und der Fügechnik eine hohe Bedeutung für die Umsetzung kreislauffähiger Gebäude bei. Sie sehen an dieser Stelle noch viele Herausforderungen. Aktuell verursacht die Wiederverwendung, vor allem die ganzer Holzbauteile, noch erheblichen Aufwand (Interview Franz Hauzenberger). Entscheidend ist vor allem der Aufwand für den zerstörungsfreien Rückbau (Interview Anja Rosen). Für die Wiederverwendung ganzer Holzelemente wäre eine geeignete Verbindungstechnik notwendig. Doch in Bezug auf die Lösbarkeit der heute üblichen Verbindungstechniken gibt es noch Lücken (Interview Anja Rosen).

Unsicherheiten sehen die Expert:innen u. a. darin, dass sich Normen und Regularien vom Zeitpunkt der Errichtung bis hin zum Rückbau und der Wiederverwendung ändern. Die Beurteilung der technischen Eigenschaften gebrauchter Bauteile liegt in der Schweiz zu einem großen Teil in der Verantwortung der/s Ingenieur:in. In Deutschland bedarf es einer Zustimmung im Einzelfall. Holzbauunternehmen in Deutschland können nach entsprechenden Untersuchungen die Gewährleistung für die Funktionsfähigkeit gebrauchter Bauteile übernehmen und könnten dann unter gewissen Umständen auf eine Genehmigung im Einzelfall verzichten, ein standardisiertes Verfahren für die Wiederverwendung von Bauteilen existiert nämlich noch nicht (Interview Markus Stepler). Wenn dabei der Handlungsspielraum über die Grenze

---

<sup>1</sup> Qualitätsstufen der Nachnutzung: Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwendung, Weiterverwertung, Energetische Nutzung (Rosen (2021, S. 23–24)

geöffnet wird, sehen Unternehmen das Potenzial der Wiederverwendung in anderen Märkten (Niederlande, etc.).

Die große Varianten- und Materialvielfalt als holzbauspezifisches Charakteristikum, ergibt für die Wiederverwendung im Rückbau im Bereich der Lagerhaltung ein Problem, so Franz Hauzenberger von Künzli Holz AG. Der Aufbau von Flächen für Lagerung oder Zwischenlagerung wird von den Akteurinnen und Akteuren unterschiedlich bewertet. Architekt Pascal Angehrn vom Baubüro In situ sieht die Notwendigkeit zum Aufbau von umfangreichen Lagerflächen, damit die Wiederverwendung gesteigert werden kann. Die Überlegungen, dies „Just-in-time“ zu lösen, beurteilt er kritisch. Schweizer Holzbauunternehmen hingegen sehen große Lagerflächen als zu teuer und aufgrund der großen Vielfalt im Holzbau als nicht oder schwer umsetzbar an. Die große Vielfalt kann auch als Grund für eine erhöhte Komplexität gesehen werden. Betrachtet man aber die Aussagen der Akteur:innen der Fallstudien, sieht ein Drittel der Befragten der Umsetzungspraxis keine erhöhte Komplexität. Bei ihnen handelt sich um Akteur:innen mit jahrelanger Erfahrung im mehrgeschossigen Holzbau, wie z. B. Holzbauingenieur:innen oder Vertreter:innen eines Holzbauunternehmens. Nur eine Person hatte zuvor schon Erfahrungen in der Umsetzung kreislauffähiger Gebäude. Die Antworten der übrigen zwei Drittel der Befragten decken sich mit den bereits erläuterten Herausforderungen, die auch in den Expert:inneninterviews formuliert wurden. Vor allem durch die Herausforderungen im Bereich der Verbindungen, neue Fachplanende (für Re-use) wie auch die Materialauswahl bzw. den Verzicht auf gewohnte Oberflächenbehandlungen wird eine erhöhte Komplexität generiert. Planungsprozess, Ausschreibung und Abstimmungen können nicht wie gewohnt durchgeführt werden. Die Dokumentation wird durch unterschiedliche Anforderungen, wie z.B. den Materialpass und zusätzliche Vor-Ort-Begehungen aufwändiger und es gilt mehr Einflüsse zu berücksichtigen.

Die befragten Holzbauunternehmer, Holzbauplanenden und Holzbauingenieure sehen auch selbstkritisch Versäumnisse. Generell wurde die Materialwirtschaft zugunsten der Energieeffizienz von Gebäuden sehr lange vernachlässigt, erläutert Gerd Prause von Prause Holzbauplanung. Der Holzbau hat sein Potenzial hin zu nachhaltigen, kreislauffähigen Konstruktionen bislang zu wenig genutzt. Die Akteur:innen müssen eingestehen, dass es noch „Hausaufgaben“ gibt, die erledigt werden müssen. Die Entwicklungen im Holzbau haben sich in den letzten Jahren auf Verbesserungen bei Verbundquerschnitten konzentriert, erläutert Oliver Bopp von Pirmin Jung Schweiz. Jetzt soll aufgrund der Trennbarkeit von Baustoffen auf Verbundquerschnitte verzichtet werden. Oliver Bopp sieht hier eine Gratwanderung zwischen dem effizienten Materialeinsatz und der Trennbarkeit von Baustoffen: „Ist eine einfach wiederverwendbare, massive Brettstapeldecke im Sinne einer ressourcenschonenden Bauweise? Oder setzt man besser eine effiziente, aber nur schwer trennbare Hohlkastendecke ein?“ Kritisch sehen die Holzbauakteur:innen in den Expert:inneninterviews auch die Holzbetonverbunddecken. Hier ist die Umsetzung in der Praxis noch nicht kreislauffähig, da diese nach dem aktuellen Stand der Technik auf Vergießen beruht (Interviews Michael Schär, Pius Renggli, Anja Rosen).

#### Einfluss und Relevanz von Stakeholdergruppen

Nach Meinung der Befragten haben zwei Gruppen den größten Einfluss auf die Umsetzung der Kreislauffähigkeit in einem Projekt: Das sind die Auftraggebenden und die Architekturschaffenden. Die Auftraggebenden werden mit einer Vorbildrolle verbunden, welche die Überzeugung zur Umsetzung eines kreislauffähigen Gebäudes vorgeben. Die Auftraggebenden bzw. Bauherrenvertreter:innen sind auch dafür verantwortlich, die übergeordnete Zielsetzung, klare Zielvorgaben und die Definition der Kreislauffähigkeit in den Projektzielen vorzunehmen. Wird diese strategische Verantwortung vor allem in den frühen Projektphasen nicht wahrgenommen, so wird das Prinzip der Kreislauffähigkeit verwässert und spätere Korrekturen sind nahezu nicht mehr möglich. Die Architekturschaffenden haben innerhalb des Planungsteams eine Vermittlungsrolle. Alle Beteiligten in einem Projekt müssen von der entsprechenden Zielsetzung zur Kreislauffähigkeit überzeugt sein. Dieses gemeinsame „Big Picture“ muss von den Architekturschaffenden vermittelt werden. Weniger Einfluss auf die Umsetzung der Kreislauffähigkeit wird

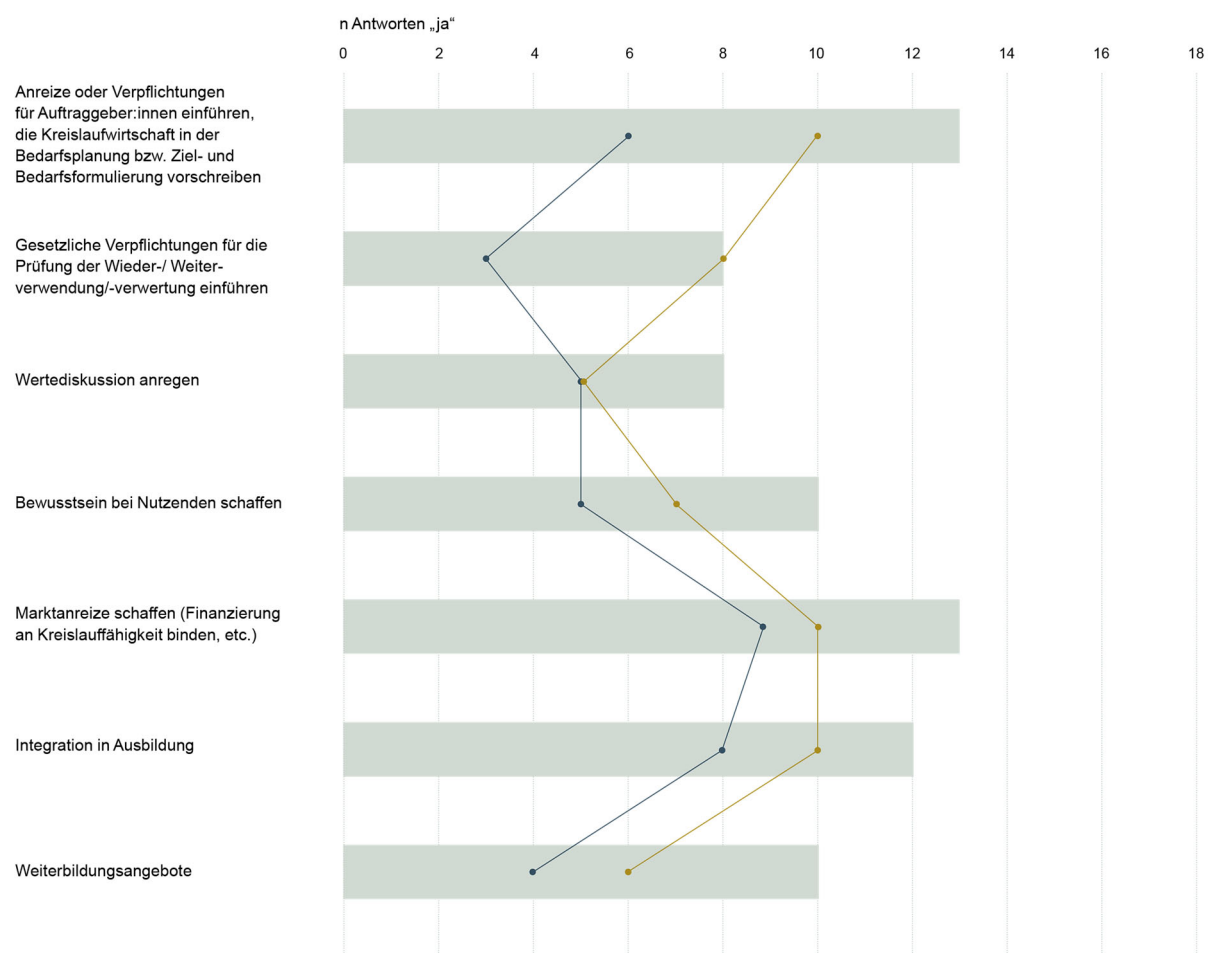


Akteur:innen im Bereich der Fertigung und Montage, Beratungsinstituten oder weiteren Planenden zu-  
geschrieben.

### Skalierung der Umsetzung von kreislauffähigem Holzbau

Die Zustimmung zu der Feststellung, dass ein Handlungsbedarf gegeben ist, um künftig die Umsetzung kreislauffähiger Holzbauprojekte zu skalieren, ist groß. Inwieweit Verpflichtungen, Anreizsysteme oder die Integration in Aus- und Weiterbildung notwendig sind, wird vielfältig diskutiert.

In der teilstandardisierten Befragung wurde die Frage gestellt: „Wo sehen Sie aktuell den größten Bedarf für Anpassungen, um kreislauffähige Holzbauprojekte künftig besser umsetzen zu können?“ Dazu wurden Auswahlmöglichkeiten angeboten, die einen Handlungsbedarf für politische Akteur:innen in Bezug auf Rahmenbedingungen ergeben (siehe Abbildung 7), um die Skalierbarkeit zu erreichen. Andererseits wurden Auswahlmöglichkeiten aufgelistet, die einen Entwicklungsbedarf in der Branche aufzeigen (siehe Abbildung 8).



Teilstandardisierte Befragung unter 20 an den Fallstudien beteiligten Akteur:innen.  
Befragungszeitraum von Oktober 2022–Januar 2023. Insgesamt wurden 18 Fragebögen zurückgesendet.

#### Legende

- davon Erfahrung in der Kreislaufwirtschaft
- davon Erfahrung im Holzbau

Abbildung 7: Handlungsbedarf zur Skalierung der Umsetzung von kreislauffähigem Holzbau. Ergebnisse der teilstandardisierten Befragung unter den Akteur:innen der Fallstudien zur Frage „Wo sehen Sie aktuell den größten Bedarf für Anpassungen, um kreislauffähige Holzbauprojekte künftig besser umsetzen zu können?“. Auswahlmöglichkeiten zum Handlungsbedarf in Bezug auf Rahmenbedingungen zur zukünftigen Skalierbarkeit der Umsetzungen. Eigene Darstellung.

Abbildung 7 zeigt, dass Verpflichtungen und Anreize zur Kreislaufwirtschaft für Auftraggebende in der Bedarfsplanung sowie Ziel- und Bedarfsformulierung die größte Zustimmung haben. Das Schaffen von Marktanreizen, wie das Binden einer Finanzierung an die Kreislauffähigkeit, hat ebenfalls eine große Bedeutung für die Befragten. Die Bewusstseinsbildung bei Nutzenden wird ebenfalls Bedeutung zuge-messen, aber in geringerem Ausmaß. In einem Freitextfeld wird gesagt, dass bislang „schlechte“ Bauweisen zu umfangreich gefördert wurden. Darüber hinaus wird an die Verantwortung der Gesellschaft ap-pelliert. Auch die Einführung eines CO<sub>2</sub>-Gesetzes wird gefordert und knapp die Hälfte der Befragten erachtet eine gesetzliche Verpflichtung zur Prüfung von Wieder-, Weiterverwendung/-verwertung für sinnvoll. Im Rahmen der Expert:inneninterviews werden diese Punkte näher betrachtet. Eine Frage lautet, welche Anreize für die Gruppe der Auftraggebenden und Planenden aus Sicht der Befragten als wirksam eingestuft werden. Grundsätzlich werden Aufklärung und positive Vorbilder als wesentlich erachtet (In-terviews Andreas Dengl, Pascal Angehrn, Pascal Hentschel). Eine Vorbildwirkung wird von Seiten der öffentlichen Hand erwartet (Gemeinden, Bundesländern; in der Schweiz den Kantonen). Umsetzungsbei-spiele mit Vorbild- oder Signalwirkung können auch von Akteur:innen mit klaren ökonomischen Interes-sen initiiert werden. Unternehmen sehen beispielsweise mit schnell wechselnden Standortstrategien, wie z. B. Supermarktketten oder Logistikhallenbetreibende, nach Auskunft von Holzbauunternehmen, bereits Vorteile von zirkulären Systemen (Interview Markus Steppeler). Weitere Vorbilder können auch private, „grün“ ausgerichtete Investor:innen sein. Den Erfahrungen von Architekt Jörg Finkbeiner zufolge, ist es oft schwer, Auftraggebende oder Investor:innen davon zu überzeugen, bei einem Neubau einen zukünf-tigen Um- oder Rückbau mitzudenken, weil die Handlungshorizonte sehr weit in die Zukunft reichen. Rückbau und die Wieder-/Weiterverwendung von Bauteilen in einer Planung zu berücksichtigen, ver-komplizieren aus der Sicht von Auftraggebenden den Zeitplan eines Projektes.

In den Expert:inneninterviews wird auch die Notwendigkeit gesetzlicher Verordnungen vertieft diskutiert. Architekt Thomas Rau meint, dass moralische Notwendigkeit oder wünschenswerte Verhaltensweisen durch den Staat durchgesetzt werden müssen. Ohne Zwang wird es nicht gehen (Interviews Andreas Dengl, Gerd Prause) und auch Markus Steppeler von der Derix-Gruppe sieht die Notwendigkeit von Ver-ordnungen. Er bezieht sich auf den bereits erwähnten langen Handlungszeitraum, der sich über Gene-rationen spannt und damit schwer fassbar für den Entscheidungshorizont des Einzelnen ist. Vor dieser Ausgangssituation ist das politische System in der Verantwortung, die Rahmenbedingungen zu definie-ren. Konkret könnte das beinhalten, dass nicht demontierbare Konstruktionen oder nicht trennbare Bau-teile nicht mehr verbaut werden dürfen, so Michael Schär von Schaerholzbau im Interview. Ob die Ge-setzgebung allerdings in einem der Dringlichkeit entsprechenden Zeitraum den erforderlichen Rahmen etablieren kann (Interview Daniel Müller) oder die gewünschten Effekte auch tatsächlich erzielt werden können (Interview Andreas Dengl), wird angezweifelt. Finanzielle Anreize hingegen sind aus Sicht von Architekt Thomas Rau eher geeignet, um „Early Adopters“ zu aktivieren. Sie können ein schnell wirksamer Hebel sein, aber sie bedeuten auch Eingriffe in das System. Eine nachhaltige Transformation auf rein monetärer Basis wird daher kritisch gesehen (Interview Pius Renggli). Die Expert:innen betonen die Wich-tigkeit, die finanziellen Vorteile aus einem anderen Handeln aufzuzeigen. Hier sehen sie einen Hebel, vor allem, wenn nicht kreislauffähigen Gebäuden ein Wertverlust droht (Interviews Thomas Rau, Gerd Prause).

In den Expert:inneninterviews wird zudem Veränderungspotenzial im Bereich CO<sub>2</sub> gesehen (Interviews Andreas Dengl, Pius Renggli, Gerd Prause). Langfristig sehen sich institutionelle Projektentwickler:innen mit Herausforderungen einer möglichen CO<sub>2</sub>-Bepreisung und weiteren ESG-Kriterien<sup>2</sup> konfrontiert.<sup>3</sup> An-lanß dafür ist die EU-Taxonomie, die für den Real Estate Sektor eine sukzessive Verschärfung hin zur CO<sub>2</sub>-Bilanz für Gebäude und „Green Investments“ bedeutet. Architekt Jörg Finkbeiner bringt dies auf den Punkt: „Welchen Wert haben „fossile Monster“ in Zukunft und wie müssten wir heute schon bauen, damit

---

<sup>2</sup> ESG Environmental Social Governance

<sup>3</sup> Heuer Dialog Cradle to Cradle "Wie kommen wir im Gebäudebereich zur echten Kreislaufwirtschaft?", 11.-12.05.2022, Hamburg.

der Werterhalt von Gebäuden im Zuge der Klima-Diskussion möglich wird?“. Die Berücksichtigung des Gesamtlebenszyklus in Bezug auf graue Energie und nicht nur die isolierte Energieperspektive wären ein erster Schritt, meint ein Großteil der Befragten. Für den Einsatz gebrauchter Komponenten oder Bauteile (die allenfalls höhere Lambda-Werte<sup>4</sup> haben) bräuchte es aber mehr Handlungsspielraum, wenn damit graue Energie oder CO<sub>2</sub> eingespart werden soll (Interview Daniel Müller).

Um diesen Handlungsspielraum auch nutzen zu können, braucht es Wissen und Know-how bei den Akteur:innen in der Planung und Umsetzung. In der teilstandardisierten Befragung wird der Handlungsbedarf im Bereich Aus- und Weiterbildung gesehen (siehe Abbildung 7). Die Ausbildung wird dabei aber etwas höher gewichtet als die Weiterbildung. Auch in den Expert:inneninterviews wird geäußert, dass Themen der Kreislaufwirtschaft in die Ausbildung integriert werden müssen.

### Entwicklungsbedarf

Wie einleitend im vorgehenden Punkt „Skalierbarkeit“ erläutert, zeigt Abbildung 8 die Verteilung der Antworten in den 18 zurückgesendeten Fragebögen zu den Auswahlmöglichkeiten, die einen Entwicklungsbedarf in der Branche aufzeigen. Dieser Entwicklungsbedarf wird aus Sicht der Befragten, in Analogie zu den identifizierten Herausforderungen, vor allem in der Verbindungsmitteltechnologie und der Fügetechnik gesehen. Diese sind laut den Expert:innen entscheidend für Rückbau und sortenreine Trennung. Holzbauingenieur Alexander Leib nennt Holz-Holzverbindungen, Schubverbindungen, eingelegte Dübel oder Bretter als Beispiele für zukunftsfähige Verbindungen. Dass dabei gleichzeitig ein grosser Bedarf entsteht, dass Technologien für den Rückbau entwickelt werden, zeigt Abbildung 8.

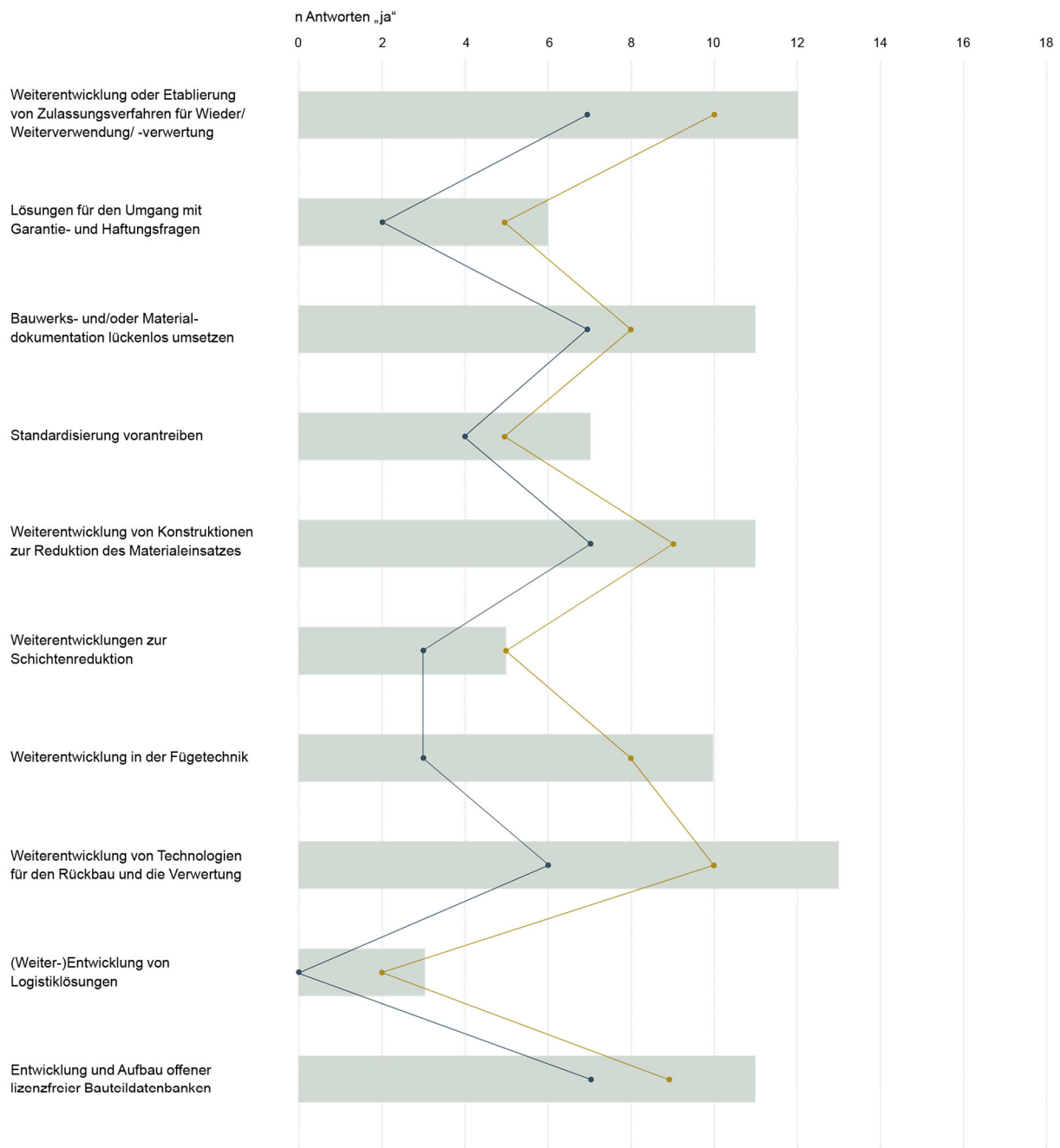
Ebenso wird gemäß Abbildung 8 die Weiterentwicklung von Konstruktionen zur Reduktion des Materialeinsatzes als wichtig eingestuft. Der Materialeinsatz muss dabei im Kontext mit der Schichtenreduktion betrachtet werden. Je weniger Schichten, desto weniger muss man anschließen, so Holzbauplaner Gerd Prause im Interview. Er plädiert, ebenso wie Michael Schär dafür, dass einfacher gebaut werden muss, um zurückbauen und sortenrein trennen zu können. Grundsätzlich wäre daher ein sortenreiner Holztafelbau (mit Diagonalschalung ohne Holzwerkstoffe)<sup>5</sup> besser, da im Gegensatz zu Brettschichtholz, keine Verunreinigung mit Leim vorliegt. Es sei denn, die Schichthölzer werden leimfrei verbunden, beispielsweise mit Holzdübeln (Interview Anja Rosen). Die Option der Zerkleinerung und Herstellung neuer Produkte aus Gebrauchtholz würde einen größeren Gestaltungsspielraum in der Zukunft bieten, so Franz Hauzenberger von Künzli Holz AG. Er erläutert im Interview, dass er einen Forschungsbedarf in der Materialentwicklung sieht. Dabei geht es nach seiner Meinung aber nicht um Verbesserungen oder Anpassungen bestehender Produkte oder Komponenten. Vielmehr müssten radikale Produktinnovationen das zirkuläre Bauen mit Holz revolutionieren, in Analogie zum Entwicklungssprung durch das Brettspertholz.

Weiterer Entwicklungsbedarf wird bei den Themen Dokumentation, Zulassungsverfahren, aber auch bei Standardisierung und Planungsprozessen identifiziert. Abbildung 8 zeigt den hohen Stellenwert einer lückenlosen Bauwerks- und/oder Materialdokumentation. Für die Dokumentation ist die Entwicklung und der Ausbau offener, lizenzfreier Bauteildatenbanken von ähnlicher Bedeutung wie die technisch-konstruktiven Aspekte. Ferner ist die Fügetechnik in der Dokumentation eine große Herausforderung, so Patrick Bergmann von Madaster Deutschland. Ansätze, wie der „Demontierbarkeitsindex“ werden von Madaster bereits verfolgt, jedoch muss der geeignete Detaillierungsgrad noch ausgelotet werden. Fehlende Erfahrungswerte gibt es zudem zum tatsächlichen Aufwand bei der Demontage im Rückbau (Interview Anja Rosen).

---

<sup>4</sup> Der Lambda-Wert ( $\lambda$ ) drückt die Wärmeleitfähigkeit eines Baustoffes in Watt pro Meter mal Kelvin (W/mK) aus und beschreibt damit das Vermögen eines Baustoffes, thermische Energie mittels Wärmeleitung zu transportieren.

<sup>5</sup> Anmerkung der Verfasserinnen: als Aussteifung



Teilstandardisierte Befragung unter 20 an den Fallstudien beteiligten Akteur:innen.  
Befragungszeitraum von Oktober 2022–Januar 2023. Insgesamt wurden 18 Fragebögen zurückgesendet.

#### Legende

- davon Erfahrung in der Kreislaufwirtschaft
- davon Erfahrung im Holzbau

Abbildung 8: Entwicklungsbedarf für die Umsetzung von kreislauffähigem Holzbau. Ergebnisse der teilstandardisierten Befragung unter den Akteur:innen der Fallstudien zur Frage „Wo sehen Sie aktuell den größten Bedarf für Anpassungen, um kreislauffähige Holzbauprojekte künftig besser umsetzen zu können?“ Auswahlmöglichkeiten zum Entwicklungsbedarf. Eigene Darstellung.

Diese Erfahrungslücken setzen sich in der Wiederverwendung von Bauteilen nach dem Rückbau fort. In den Expert:inneninterviews drehen sich viele offene Fragen um den Einsatz gebrauchter Bauteile. „Wer

liefert die CE-Zulassung, wie wird dokumentiert, wie wird geprüft, wer liefert den Verwendbarkeitsnachweis?“ (Interview Andreas Dengl). In den Freitextfeldern der teilstandardisierten Befragung wird auf die bauaufsichtliche Zulassung für gebrauchte Elemente bzw. einfachere Genehmigungsverfahren hingewiesen. Diese Aufzählungen subsumieren die Meinungen weiterer Befragter. Gewährleistungs- und Haftungsfragen bei wiederverwendeten Bauteilen müssen geklärt werden, betont Franz Hauzenberger. Damit im großen Maßstab die Verantwortung beim Rückbau und der Wiederverwendung von Bauteilen wahrgenommen werden kann, müssen die erforderlichen Daten bekannt sein, schließt Pius Renggli den Kreis zur Dokumentation. Im Gegensatz zu diesen Wortmeldungen findet in der teilstandardisierten Befragung (siehe Abbildung 8) die Aussage, dass Lösungen für den Umgang mit Garantie- und Haftungsfragen entwickelt werden müssen, hingegen wenig Zustimmung.

In der teilstandardisierten Befragung erfährt die Weiterentwicklung von Logistiklösungen geringe Zustimmung: nur drei der Befragten haben Weiterentwicklung in diesem Bereich Bedeutung zugemessen, wobei zwei der Befragten bereits Erfahrungen mit kreislauffähigen Gebäuden gemacht haben. Dieses niedrige Ergebnis muss im Kontext des Charakters der Fallbeispiele gesehen werden: Da es sich bei den Fallstudien allesamt um Neubauten handelt, waren die Akteur:innen nicht mit Herausforderungen hinsichtlich der Logistik im Rückbau konfrontiert.

Auch die geringe Zustimmung in der teilstandardisierten Befragung (Abbildung 8) in Bezug auf Entwicklungen in der Standardisierung steht im Widerspruch zum Wunsch nach Standardisierung im Holzbau, wie er in den Expert:inneninterviews vielfach genannt wird. Standardisierung im Holzbau wird dabei in Bezug auf Bauteile, Elemente und/oder Module geäußert. Die Holzbauingenieur:innen beziehen sich dabei auf die Standardisierung der Anschlüsse, eine Reduktion der Schichten und eine Vereinfachung der Bauteilaufbauten sowie auf eine Typisierung der statischen Strukturen. Bei den Holzbauunternehmen wird die Standardisierung der Bauteilaufbauten und eine Reduktion der Aufbauenvielfalt gefordert, die zu schlankeren Bauteilkatalogen führt. Architekt Thomas Rau erläutert die Standardisierung als eine Reduktion der Typen innerhalb eines Gebäudes. Bei der Umsetzung des Bankgebäudes Triodos wurde das zentrale statische Stützen-Träger-Element 365-mal gleich ausgeführt (siehe Kapitel Fallstudien). Mit einer steigenden Anzahl gleicher Teile innerhalb eines Bauprojektes erhöht sich die Wiederverwendbarkeit. Standardisierung wird vielfach mit Vereinfachung verbunden. Das umfasst nicht nur Aufbauten, sondern auch einfachere statische Strukturen. Die Standardisierung im Bereich der Fügung wird ebenfalls thematisiert. Eine herstellerübergreifende Standardisierung hinsichtlich Aufbauten oder Fügung wird aufgrund individueller Ansprüche aus Sicht von Daniel Müller, Pirmin Jung Schweiz als nicht realisierbar erachtet. Markus Steppeler von der Derix-Gruppe sieht auch im Bereich des Wohnungsbaus den Einsatz standardisierter Bauteile als wenig realistisch. Nach seiner Meinung müsste vielmehr eine Standardisierung des Prozesses und der Dokumentation erfolgen.

Mit dem Thema der Standardisierung der Prozesse wird die Unzufriedenheit der Holzbaubranche mit den gegenwärtigen Prozessen deutlich. Dieses Thema ist im modernen Holzbau seit Jahren evident (leanWOOD, 2017) und setzt sich nun bei der Implementierung der Kreislaufwirtschaft fort. Die frühe Integration aller relevanten Fachplanenden und vor allem der Werkplanenden und Arbeitsvorbereitenden ist ein vielfach geforderter Wunsch. Die Unternehmen weisen auf die Bedeutung einer holzbaugerechten Planung hin und fordern, dass ein materialgerechtes Planen erreicht werden sollte. Die Erfahrungsberichte von Unternehmen, die auch in den Niederlanden tätig sind, untermauern dies.<sup>6</sup> Ein Schlüs-

---

<sup>6</sup> In den Niederlanden ist das Bowteam (niederländisch für Bauteam) eine gängige Kooperationsform. In einem Bowteam arbeitet ein ganzes Projektteam sehr früh zusammen. Seitens der Autorinnen wird dazu angemerkt, dass die Planungs- und Baukultur in den Niederlanden von Generalunternehmensmodellen geprägt ist und die Architekturbüros (i. A.) nur bis Genehmigungsplanung in ein Projekt involviert sind.

sel zum Erfolg ist gemäß Daniel Müller, dass in der Wahl der Projektteammitglieder Qualitäts- und Kompetenzfragen höher als die Preisfrage gewertet werden. Die Architekturschaffenden wünschen ebenfalls eine Optimierung des Prozesses. Darüber hinaus reklamieren sie mehr Sicherheit in Bezug auf Details.

### Nutzungsflexibilität

Wie die Nutzungsdauer von Gebäuden verlängert werden kann, beschäftigt die Akteur:innen in der Holzbaubranche intensiv. Architekt Jörg Finkbeiner von Partner & Partner Architekten schlägt eine einfache, flexible und damit resiliente Primärkonstruktion vor, die möglichst lange genutzt und umgenutzt werden kann. Wände und Decken sollten im Idealfall als Ganzes, das heißt auf der höchsten Qualitätsstufe der Nachnutzung, wiederverwendet werden können. Für Jan Wenker, Leiter Forschungsabteilung Brüninghoff ist der Schlüssel die Verbindung der Elemente untereinander. Die Möglichkeit Gebäude aufzustocken bzw. zu erweitern, ist für Daniel Müller ein wichtiger Aspekt für die Flexibilität eines Gebäudes. Dabei sind auch die Aussteifung und die Erdbbensicherheit (in gefährdeten Gebieten) zu berücksichtigen. Denn mit der Wahl, welche Wände statisch tragend oder relevant sind, entscheidet sich auch welche anderen Wände zukünftig wieder herausgenommen werden können, so der Holzbauingenieur. Ähnlich schildert dies Architekt Jörg Finkbeiner. Sogenannte „Sollbruchstellen“ wurden im Projekt „Woodscaper“ sorgfältig eingeplant und ermöglichen zukünftig Änderungen in der Erschließung der Wohnungen. Jörg Finkbeiner weist zudem auf die Bedeutung der Raumhöhen für zukünftige Umnutzungen hin. Dieser Aspekt fällt jedoch meist Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zum Opfer. Thomas Rau macht in Bezug auf die Nutzungsflexibilität auf ein Missverständnis aufmerksam: „Wir müssen nicht für die Ewigkeit bauen. Wir müssen für die Zeitlichkeit bauen, weil die Bedürfnisse sich eben sehr schnell ändern“.

## Vertiefte Analyse zu Rahmenbedingungen für kreislauffähigen Holzbau

### Vorgehen und methodische Ansätze

Die Eingrenzung des Betrachtungsrahmens des Forschungsprojekts circularWOOD auf Deutschland und die Schweiz ermöglicht eine vertiefte Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen hinsichtlich eines kreislauffähigen Holzbaus. Die Fragestellung lautet, ob und in welchem Umfang unterschiedliche Rahmenbedingungen die Akteur:innen in der Planung und Umsetzung von kreislauffähigen Holzbauten beeinflussen. Durch den Vergleich im Rahmen der Fallstudien und Expert:inneninterviews in Deutschland und der Schweiz konnte diese Frage konkreter untersucht werden. Die Analyse basiert auf dem vorliegenden Interviewmaterial. Darüber hinaus wurde der Sachverhalt in den Interviews mit Expert:innen, die in der Schweiz und in Deutschland tätig sind, thematisiert.

Die Auswertung führte zu weiteren Fragestellungen zum aktuellen Stand der Normung. Dafür wurden zwei ausgewiesene Experten (Technische Universität München, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW) gezielt angefragt. Für den Stand der Normung in der Schweiz wurde der Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA um Stellungnahme gebeten.

### Erkenntnisse

Grundsätzlich haben in allen Ländern die gültigen Regelwerke eine große Bedeutung für die Wiederverwendung von Holzbauteilen. In Deutschland ist für Bauprodukte - ob neu oder gebraucht - entweder eine technische Regel, die in den Technischen Baubestimmungen zitiert wird oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich. Eine Europäische Technische Zulassung (ETA) auf Basis eines Europäischen Assessment Dokuments (EAD) ist theoretisch möglich, bislang jedoch nicht verfügbar. Bisher fehlt in vielen Fällen eine technisch und wissenschaftlich basierte Bewertungsgrundlage. Eine weitere Möglichkeit ist es, eine Zustimmung im Einzelfall für die Verwendung eines Bauproduktes anzustreben. Hierfür ist ein Gutachten einer dafür durch die erteilende Stelle benannten Einrichtung erforderlich. Die

Aussagen gelten für die Verwendung von Bauprodukten in tragenden, aussteifenden, brandschutztechnisch oder in anderer Form bauaufsichtlich relevanten Bauteilen (Wärmeschutz, Schallschutz). Eine untergeordnete, nicht sicherheitsrelevante Verwendung (z. B. einer Zimmertür innerhalb einer Wohnung) ist unabhängig von den bauaufsichtlichen Regelungen möglich. Für den Einsatz und die (Wieder-)Verwendung gebrauchter Bauteile muss der Nachweis der Eignung und Funktionsfähigkeit erbracht werden. Die Leistungseigenschaften der Bauteile, z. B. die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften und z. B. die Schadstofffreiheit müssen für den Nachweis der Stand- und Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit bekannt sein. Es muss wie bei Neuprodukten sichergestellt werden, dass das, was geplant ist, auch gebaut wird („ensure what is designed is build“). Allgemeingültige Regelungen zur Feststellung und Festlegung der Leistungseigenschaften gebrauchter Bauteile sind in den Technischen Baubestimmungen aber noch nicht verfügbar, teilweise ist der Stand von Wissenschaft und Forschung erst in Erarbeitung.

In der Schweiz gibt es keinen einheitlichen Katalog von technischen Bestimmungen, der mit den deutschen Listen der technischen Baubestimmungen vergleichbar ist, so Oliver Streiff von der ZHAW. Einige Kantone erklären bestimmte SIA-Normen, so auch die Holzbaunorm SIA 265, als mit dem Stand der Technik und der Baukunde übereinstimmend. Kreislaufspezifische Vorgaben existieren, gemäß Oliver Streiff, dabei noch nicht. Er führt aus, dass die technischen Normen in der Schweiz unabhängig davon eine entscheidende Rolle spielen, insbesondere bei der Bestimmung der technischen Mängelfreiheit, der haftpflichtrechtlichen Sorgfalt und bei der Auslegung von unbestimmten Rechtsbegriffen. Für ein Bauvorhaben in der Schweiz ist grundsätzlich ein rechnerischer Nachweis einer/s Expert:in aus dem jeweiligen Fachgebiet erforderlich. Schallschutz, Tragfähigkeit und Brandschutz werden dabei für die projektspezifischen Aufbauten nachgewiesen. Im Brandschutz gewährleisten die sogenannten Qualitätssicherungsstufen (QSS), dass je nach Gebäudenutzung und Gebäudehöhenkategorie (in Deutschland Gebäudeklasse) nur entsprechend Qualifizierte die Verantwortlichkeiten für die Erstellung des Brandschutznachweises übernehmen dürfen. Dies betrifft nicht nur das Bauen mit Holz, sondern das Bauen mit allen Baustoffen und Materialien. In Bezug auf die (Wieder-)Verwendung im Holzbau bedeutet dies, dass in der Schweiz der rechnerische Nachweis für die Wiederverwendung eines Bauteils oder Bauelements grundsätzlich in der Verantwortung einer/s Holzbauingenieur:in liegt. Holzbauingenieur:innen in der Schweiz übernehmen damit eine Mitverantwortung für die Eignung und die Nachweise in der Wiederverwendung und können damit einen gewissen Handlungsspielraum nutzen. Einzig die Zeitkomponente spielt eine Rolle. Es können Zielkonflikte entstehen, wenn sich die Normgebung, die Vorgaben zu Prüfsituationen oder auch die zu berücksichtigenden Energiegesetze ändern und Produkte oder Komponenten nicht mehr den gültigen Vorgaben entsprechen. Auf der rechtlichen Seite ist, wie zum Beispiel bei Anforderungen aus der Energiegesetzgebung, die Einhaltung dieser Vorgaben verpflichtend. Bei Normen hingegen kann ein Abweichen zwar in Abstimmung mit Auftraggebenden diskutiert werden. Dabei handelt es sich aber um gesonderte Vereinbarungen, die für den Einzelfall ausgehandelt werden müssen.

## Vertiefte Analyse von Geschäftsmodellen

Die Kreislaufwirtschaft im Holzbau zu etablieren, bedeutet nicht nur kreislauffähige Konstruktionen zu entwickeln. Es bedeutet auch, ein lineares Denk- und Wirtschaftsmodell zu verändern und in geplanten Materialkreisläufen zu agieren. Daher wird in einem weiteren Schritt, eine vertiefte Analyse zu aktuellen und möglichen zukünftigen Geschäftsmodellen durchgeführt.

## Vorgehen und methodische Ansätze

Die Transformation hin zum zirkulären Denkmodell ist nicht holzbauspezifisch. Daher wird zu Beginn eine Einordnung von Geschäftsmodellen im Allgemeinen vorgenommen. Darauf aufbauend wird die spezifische Situation im Holzbau untersucht. Die Grundlagen für diese Untersuchung werden im Rahmen der Literaturrecherchen im Kapitel „Analyse nationaler und internationaler Forschungsergebnisse“ (ab



Seite 2020), der teilstandardisierten Befragung unter den Akteur:innen der Fallstudien und den Expert:inneninterviews (ab Seite 31) geschaffen.

### Erkenntnisse

Dass mit der Transformation eines linearen zu einem zirkulären Wirtschaftssystem neue Geschäftsmodelle und Jobprofile entstehen oder sich entwickeln, ist keine Besonderheit des zirkulären Bauens mit Holz. Die Dichte der anbietenden Firmen in der Kreislaufwirtschaft ist in Belgien ungemein höher als im restlichen Europa. Als Grund wird dafür das „wohlstands- und ordnungsbedingte Misstrauen“ gegenüber gebrauchten Gütern gesehen (Oefner, 2021, S. 269). Dennoch entstehen auch in den übrigen Ländern immer mehr neue zirkulär orientierte Geschäftsmodelle, die das Schließen von Materialkreisläufen, die Steigerung der Produktausnutzung oder das Verlängern von Produktlebenszyklen fokussieren. Jaeger-Erben und Hofmann (2019) entwickeln dazu eine Typologie von Geschäftsmodellstrategien in der Kreislaufwirtschaft. Diese Typologie von Jaeger-Erben und Hofmann (2019) ist nicht spezifisch auf den Bau- oder Holzbausektor zugeschnitten. Sie umfasst sechs Modelle. Die bereits erwähnte Studie FAO und Vereinte Nationen (2021) zu „Circularity concepts in the forest based industries“ verweist auf fünf Business Modelle, die von der OECD formuliert wurden. Diese weisen eine hohe Kongruenz mit den Modellen von Jaeger-Erben und Hofmann auf. Die Gegenüberstellung ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Geschäftsmodelltypologie nach Jaeger-Erben und Hofmann 2019 und der Studie der FAO und Vereinten Nationen 2021

| Typologie nach Jaeger-Erben und Hofmann 2019 | Erläuterung  | Typologie nach FAO und Vereinte Nationen 2021 | Erläuterung  |
|--|--|---|--|
| Versorgungsmodelle                           | Schöpfung, Umwandlung und Bereitstellung von erneuerbaren oder recycelten Rohstoffen für die stoffliche, aber auch energetische Nutzung.   | Circular Supply Model                         | Einsatz von erneuerbaren und bio-basierten Rohstoffen, Etablieren von Materialkreisläufen und schonender Einsatz von Ressourcen.       |
| Bereitstellungsmodelle                       | Produkte werden zeitlich begrenzt im Rahmen von Miet- oder Leasingverträgen zur Verfügung gestellt.  | Sharing Model                                 | Erhöhen der (Aus-)nutzung von Produkten durch Teilen oder andere Eigentums- und Nutzungsmodelle; inkl. Einsatz von Online-Plattformen. |
| Performancemodelle                           | Erbringung ganzheitlicher Dienstleistungen inklusive der Betriebs-, Wartungs- u. Reparaturarbeiten, um die Nutzungsdauer eines Produktes zu erhöhen.                                       | Product Life Extension Model                  | Verlängern der Produktnutzungsdauer durch langlebiges Produktdesign, aber auch Reparatur, Sanierung, Re-manufacturing.                 |
| Aufbereitungsmodelle                         | Qualitätsgesicherte Wiederaufbereitung von nicht funktionierenden oder benötigten Produkten zum Zwecke der Wiedervermarktung und Überführung in einen neuen Lebenszyklus (Re-manufacture). | Resource Recovery Model                       | Gewinnung von Sekundärrohstoffen und Wertschöpfung aus Abfällen.   |

|                       |   |                              |  |
|-----------------------|---|------------------------------|--|
| Beständigkeitsmodelle | Qualitativ hochwertige Wertangebote, die leichte Pflege, Wartung, oder auch nachträgliche Wertsteigerung ermöglichen. | Product Service System Model | Kombination von Produkten mit Serviceangeboten, der Anbietende behält das Produkt im Eigentum, übernimmt aber Wartung des Produktes. |
| Plattformmodelle      | Verknüpfen von Anbietenden nicht benötigter Produkte und Nachfrager:innen auf einer Online-Plattform.                 |                              |  |

In vielen weiteren Publikationen wird auch auf zirkuläre Geschäftsmodelle im Bausektor eingegangen, jedoch ohne eine typologische Einordnung wie Jaeger-Erben und Hofmann (2019), vorzunehmen: John & Stark (2021b, S. 29–37), Brandi und Hentschel (2021), Stahel (2021, S. 41–42), Asche (2021), Heisel & Hebel (2021a, S. 170), RepaNet – Re-Use- und Reparaturnetzwerk Österreich (2022), etc.

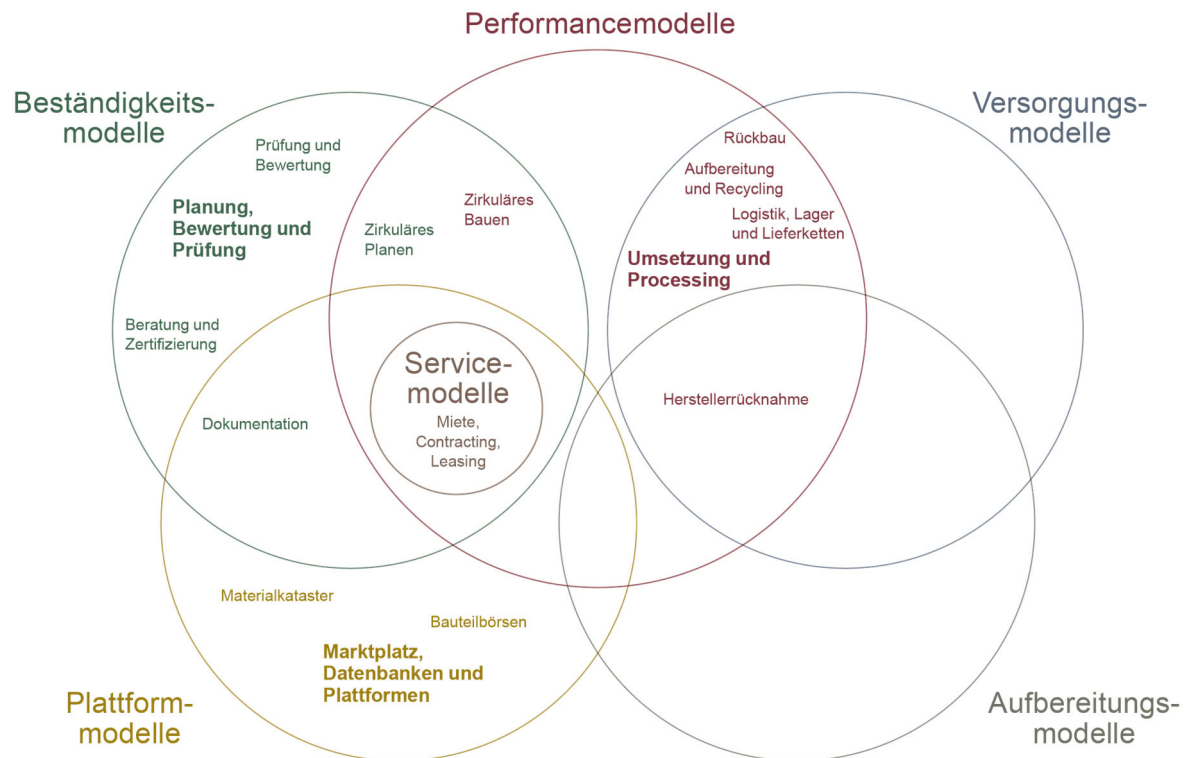
Deshalb werden an dieser Stelle die aktuell für den Holzbausektor relevanten neuen Geschäftsfelder mit der typologischen Struktur nach Jaeger-Erben und Hofmann (2019) strukturiert (siehe Abbildung 9). Aus Sicht des Planungs- und Bausektors sind dabei die drei folgenden thematischen Geschäftsfelder identifizierbar:

- **Planung, Bewertung und Prüfung:** In diesem Bereich ist das zirkuläre Planen verortet, aber auch die Beratung im kreislaufgerechten Bauen, die Zertifizierung kreislaufgerechter Gebäude sowie die Prüfung und Bewertung im Bauteil-, Komponenten- und Materialsektor. Die Dokumentation der Materialien von Bauteilen (Bauteilpässe, aber auch Rückbaubarkeit oder Demontage) wird diesem Geschäftsfeld zugeordnet, überlappt aber mit dem Marktplatz, Datenbanken und Plattformen. Die Dokumentation erfolgt immer mehr mittels Datenbanken und Plattformlösungen und kann dann auch im Sinne eines Marktplatzes genutzt werden.
- **Umsetzung und Processing:** In diesen Geschäftsfeldbereich werden alle baulichen Tätigkeiten vom zirkulären Bauen, dem Rückbau über die Aufbereitung (in allen Qualitätsstufen der Nachnutzung) hin zu Logistik- und Lager sowie Lieferketten verortet. Die Herstellerrücknahme wird ebenfalls dem Geschäftsfeld der Umsetzung zugeordnet, ist aber in der Schnittmenge zum Marktplatz aufgrund des Handels mit möglichen wiederverwendeten Bauteilen oder Sekundärrohstoffen
- **Marktplatz, Datenbanken und Plattformen:** In diesem Bereich sind Datenbanken und Plattformlösungen oder dgl. angesiedelt, die Bauteile, Komponenten oder Materialien für die Wieder- oder Weiterverwendung anbieten.

Einige Geschäftsmodelle können nicht eindeutig nur einem thematischen Feld zugeordnet werden. Daher werden an den Schnittstellen zwischen den thematischen Feldern die Herstellerrücknahme, zirkuläres Planen und Bauen als systemischer Ansatz sowie die Dokumentation verortet. Bei der Herstellerrücknahme werden Ressourcen und Produkte direkt vom Produzenten oder dem Unternehmen wieder zurückgenommen, qualitätsgesichert aufbereitet (Re-Manufacturing) oder in dem eignen oder externen Produktionsprozess (stoffliche Aufbereitung und Nutzung als Sekundärrohstoffe) eingespeist. Daher gibt es eine Überschneidung mit dem Marktplatz. Die Dokumentation von Materialien und Gebäuden liegt an der Schnittstelle von Planung und Marktplatz. Dies nimmt Bezug auf eine Dokumentation, die nahezu ausschliesslich in digitaler Form erfolgt (mit Ausnahme der Recherchen von nicht oder nur analog dokumentierten Bestandsgebäuden). Die Rolle von Plattformen unterschiedlicher Zweckausrichtung nimmt dabei zu.

circularWOOD fokussiert die Betrachtung der Skalierbarkeit von Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Daher erfolgt eine Abgrenzung, bei der nur auf Geschäftsmodelle mit Relevanz für die Umsetzung Holzbau

eingegangen wird. Die Struktur folgt dabei den drei thematischen Geschäftsfeldern. Einzig die Servicemodelle (Bereitstellungsmodelle), die in der Schnittstelle aller drei Felder stehen, werden als separater Punkt zusätzlich behandelt. Eine Zuordnung zu einem der drei Felder würde eine einseitige strategische Ausrichtung implizieren.



#### ● Beständigkeitsmodelle

Qualitativ hochwertige Wertangebote, die Langlebigkeit und nachträgliche Wertsteigerung ermöglichen.

#### ● Servicemodelle

Zeitlich begrenzte zur Verfügungstellung im Rahmen von Miet- oder Leasingverträgen.

#### ● Performancemodelle

Ganzheitliche Dienstleistungen inkl. Wartungs- und Reparaturarbeiten um die Nutzungsdauer zu erhöhen

#### ● Plattformmodelle

Online-Verknüpfung von Angebot und Nachfrage

#### ● Versorgungsmodelle

Schöpfung, Umwandlung und Bereitstellung von erneuerbaren oder recycelten Rohstoffen für stoffliche und energetische Nutzung

#### ● Aufbereitungsmodelle

Qualitätsgesicherte Wiederaufbereitung

Abbildung 9: Typologisierung der Geschäftsmodelle für kreislauffähiges Bauen mit Holz. Eigene Darstellung basierend auf Jaeger-Erben & Hofmann (2019).

## Marktplatz, Datenbanken und Plattformen

Bauteilbörsen basieren im Grundsatz aus einer Datenbank für die Bauteilvermittlung, die es ermöglicht im Internet Bauteile zum Verkauf anzubieten (Buser, 2021, S. 11–12). Im Bereich historischer Bauteile gab es vor Einführung digitaler Datenbanken oder Plattformen länger einen Nischenmarkt, der hauptsächlich hochwertige Ein- und Ausbauelemente fokussierte (John & Stark, 2021a, S. 29). 2005 wurde in Brüssel der Verein Rotor gegründet, der als Erster in mehreren Ländern Europas mit Plattformen für den Bauteilverkauf aktiv wurde. Rotor zeichnet verantwortlich für die Plattform Opalis (<https://opalis.eu>), die in den Niederlanden, Frankreich, Belgien und Luxemburg verbreitet ist. 2016 hat Rotor den Spin-off

Rotor Deconstruction gegründet (<https://rotordc.com>), dessen Geschäftsmodell auf Rückbau und dem Wiederverkauf der gewonnenen Bauteile basiert und dabei auch Bauherr:innen Unterstützung anbietet. Mittlerweile gibt es eine fast unübersichtliche Anzahl an Bauteilplattformen. Die BBSR-Publikation „Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (Re-use)“ gibt einen guten Überblick über die Vielzahl an Bauteilbörsen (John & Stark, 2021a, S. 29–36). Die Entstehung von Bauteilbörsen ist teilweise auf die Initiativen von Architekturbüros zurückzuführen, die sich oft auch als „Werkstatt“ mit den Themen Erhalt, Reparatur und Wiederverwendung beschäftigen. In einem Kapitel des Basiswerkes „Bauteile wiederverwenden“ (Buser, 2021, S. 13) gibt die Autorin in einer Landkarte einen Überblick zu den europäischen Akteur:innen und den entstandenen Plattformen. So ist Salza ([www.salza.ch](http://www.salza.ch)) beispielsweise eine Bauteilplattform, die in der Schweiz auf langjährige Initiativen von engagierten Architekt:innen, Vereinen, kantonalen Umweltämtern und auch dem Bundesämtern hervorgegangen ist. Für die Wiederverwendung von Bauteilen müssen bei Salza Rückbau und Logistik selbst organisiert werden. In Deutschland existiert eine Vielzahl von Plattformen. Concular bezeichnet sich aktuell als Deutschlands größten Shop für zirkuläre Baumaterialien ([www.concular.de](http://www.concular.de)). Concular sieht im Einsatz digitaler Tools ein Schlüsselement zur Ressourcenwiederverwendung und stellt dafür eine eigene Software zur Verfügung. Das Team von Concular ist darüber hinaus mit der Aufnahme der Bauteile oder Materialien vor Ort beschäftigt. Aus diesen Bestandsaufnahmen werden Materialpässe erstellt und ganze Gebäude als digitale Zwillinge verwaltet (Hebel et al., 2022, S. 113–116). Concular fokussiert die Wiederverwendung und -verwertung im großen Stil. Beispielsweise wurde in der Ausschreibung zum Umbau und der Aufstockung des 66.500 Quadratmeter umfassenden Bestands des Galeria Karstadt Kaufhof-Komplexes am Alexanderplatz in Berlin den teilnehmenden Architekturbüros ein detaillierter Bauteilkatalog von Concular zur Verfügung gestellt. Die bestehenden Materialien sollten beim Neubau von Büros und Gewerbeflächen wiederverwendet werden (Rada, 2022). Auch in der Quartiersentwicklung auf dem Kasernenareal in Bielefeld sollte Rückbaumaterial für die Wieder- oder Weiterverwendung auf dem Grundstück vor Ort gelagert werden. Für diesen Wettbewerb wurde ebenfalls Concular beigezogen (BauNetz, 2022).

Bei allen Bauteilbörsen sind die Zeitkomponente und die Verfügbarkeiten kritische Punkte. Bei Salza gibt es die Möglichkeit den Bedarf anzumelden. Bei Concular wird circa ein Jahr vor dem Abbruch ein Materialpass erstellt. So kann ein Rückbau eingeplant werden und dann nach dem tatsächlichen Bedarf auch selektiv erfolgen (John & Stark, 2021a, S. 36). Die Finanzierung der Bauteilbörsen erfolgt in unterschiedlicher Form. Grundsätzlich erfolgt eine Vergütung für die Erfassung oder Nutzung der Plattform bezogen auf das Objekt mit wahlweisen Provisionen für die Vermittlung.

Testsuchen auf stichprobenartig ausgewählten Bauteilbörsen zum Thema Holz im Rahmen von circularWOOD ergeben keine zufriedenstellenden Resultate. Die Testsuchen wurden am 22.12.2022 durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt sind auf Concular zum Stichwort Holz lediglich 20 verschiedene Innen- und eine Brandschutztüre auffindbar. Auf Salza werden zum Stichwort Holz 14 Treffer erzielt. Diese umfassen Holzläden, Außen- und Innentüren, Fenster, Küchen und 60 Holzbalken mit 12x18 Zentimeter mit bis zu 5 Meter Länge. Die Beschreibung als Bauholz aus dem Abbruch eines 100-jährigen Hauses ist nicht kongruent mit der Abbildung neuer Holz-Kehlbalken. Die Suche auf Restado (<https://restado.de>) ergibt 476 Treffer. Darunter befinden sich 69 Türen, 56 Außenfenster, 21 Wohnungseingangstüren, etc. Vier Treffer zur Fassadenverkleidung beinhalten zwei unterschiedliche Bretterschalungen, die stückweise zum Kauf angeboten wurden. Unter acht gefundenen Treffern in der Kategorie „Konstruktiver Holzbau“ werden vor allem Konstruktionsholz aus Dachstühlen, Scheunen und dgl. angeboten. Diese werden je nach „historischem“ Wert zu unterschiedlichen Stückpreisen angeboten. Die Oogstkaart (<https://www.oogstkaart.nl/>), die auf einer Landkarte das verfügbare Material oder verfügbare Bauteil in den Niederlanden anzeigt, lieferte für das Stichwort „Wand“ in der Kategorie „Holz“ 21 Treffer in Rotterdam. Dies sind vor allem Wandmöbel und Schränke. Unter „Decke“, „Balken“ und „Konstruktion“ in der Kategorie Holz gibt es keine Treffer. Auf Opalis (<https://opalis.eu/en/materials/structural-timber>) finden sich unter der Kategorie „Structural timber“ in den Subkategorien „Trusses, beams, rafters,etc.“, „Glued laminated timber“ und „Antique oak beams“ Vorlagen für Architekt:innen und Bauherr:innen zum Download, die die Do-

kumentation unterstützen, aber keine Produkte. Unter „See Dealers“ können auf dieser Plattform zahlreiche Händler:innen gefunden werden. 117 Händler:innen bieten Produktsortimente zu „Structural Timber“ an. Es befinden sich keine grossformatigen Holzbauteile darunter. Unter „See Projects“ sind fertiggestellte Projekte (aktuell sechs Projekte mit „Structural timber“) erfasst. Diese Testsuchen zeigen exemplarisch, dass auf den erwähnten Plattformen das Material Holz bislang für kleinere Teile (Türen, Fenster) oder Inneneinrichtung und vorwiegend historisches Konstruktionsholz eine Rolle spielt. Eine Verwendung von rückgebautem Wand- oder Deckenbauteilen, -elementen oder -komponenten aus Holz im skalierbaren Maßstab lässt sich noch wenig konkret ableiten.

Die beschriebenen Bauteilbörsen fokussieren alle auf die Bauteilebene bzw. die Vermittlung von Materialien und Bauteilen aus dem Bestand. Im Gegensatz dazu adressiert die Plattform Madaster (<https://madaster.nl/>) Materialien mit dem Ziel Gebäude, vor allem Neubauten, zu dokumentieren. Mittels eines sogenannten Zirkularitätsindex wird aus den verfügbaren Daten der Rohstoffrestwert auf Basis tagesaktueller Marktpreise ermittelt. Außerdem ist die graue Energie des Gebäudes (Phase A-C, Basis Ökobaudat) der Materialien auf Madaster hinterlegt. Mit diesen können (nach Auskunft von Madaster) Variantenstudien zur Optimierung der CO<sub>2</sub>-Bilanz durchgeführt werden. Außerdem wird mit der Ermittlung des Rohstoffrestwertes die Basis für mögliche neue Finanzierungsstrategien geschaffen, wie z. B. bessere Kreditkonditionen oder Berücksichtigung des Restwertes bei der Abschreibung. Die Nutzung von Madaster erfolgt über unterschiedliche Lizenzmodelle, die Zugang zu den Daten auf der Plattform ermöglichen (John & Stark, 2021a, S. 34–35). Die Immobilienbesitzenden sind die Eigentümer:innen der Daten. Die Erfassung der notwendigen Daten erfolgt mittels digitaler Bauwerksmodelle, die über eine IFC-Schnittstelle in die Datenbank übernommen werden. Auch Madaster erstellt und verwaltet Materialpässe (Hebel et al., 2022, S. 117–121). Zudem können Daten in Excel oder als zusätzliches Dossier (pdf) objektbezogen erfasst werden. Madaster tritt mittlerweile in mehreren europäischen Ländern auf. Im Expert:inneninterview mit dem Geschäftsführer von Madaster Deutschland, Patrick Bergmann, wurde das Potenzial für den vorgefertigten Holzbau diskutiert. Aus Bergmanns Sicht ist grundsätzlich jede serielle Vorfertigung ideal für die Erfassung in Madaster. Mittlerweile gibt es bereits Holzbauunternehmen in Deutschland, die ihre vorgefertigten Bauteile direkt mit Madaster verknüpfen. Die produktspezifischen Material- und CO<sub>2</sub>-Informationen sind somit automatisch in der Datenbank hinterlegt. Die Füge-technik der Bauteile kann mittels Demontageplan im Dossier hinterlegt werden. Neu ist auch der Demontierbarkeitsindex, der in einem eigenen Property Set hinterlegt werden kann. Der Demontierbarkeitsindex wurde nach den Richtlinien des Dutch Green Building Councils (van Vliet et al., 2019) übernommen. Da der Materialwert oft in engem Zusammenhang mit der Demontierbarkeit und der Recyclingfähigkeit steht, ist der Demontierbarkeitsindex wesentlich für die Ermittlung des Rohstoffrestwertes. Die Herausforderungen für den Holzbau sieht Patrick Bergmann in zwei Bereichen: Die erste liegt in der Ermittlung des Marktwertes von Holz. Metalle werden zum Beispiel an der London Metal Exchange (<https://www.lme.com>) gehandelt. Damit ist der Wert von Metall in Madaster an den tagesaktuellen Marktwert gebunden. Für Holz gibt es diese Bindung noch nicht. Ferner ist es schwierig, Leimholz in diesem Sinne zu bewerten. Verklebte Materialien haben keinen Wert, weil sie aktuell einer thermischen Verwertung zugeführt werden. Die zweite Herausforderung für Holz ist die Detailtiefe zur Erfassung der Füge-technik und der Verbindungen. Für einen Rückbau ist eine detaillierte Erfassung aller Verbindungen erforderlich. Diese Detailtiefe generiert gegenwärtig grosse Datenmengen und bedarf neuer Strukturen.

In den Interviews und Befragungen zeigt sich, dass bei den Akteur:innen Madaster weitgehend bekannt ist. Die Relevanz der grundsätzlichen Integration von Projekten in einen Gebäudematerialkataster wird auch von denjenigen Teilnehmenden der Befragung, die Erfahrungen im kreislauffähigen Bauen haben, als sehr hoch eingestuft. Auch in den Expert:inneninterviews erachten Architekturschaffende, Bauherr:innen und Holzbauunternehmen mit Erfahrung in der Kreislaufwirtschaft ein Gebäudematerialkataster als wichtig. Die Holzbauunternehmen öffnen aber den Betrachtungswinkel auf den europaweiten Kontext und warnen, dass nicht auf Grund unzähliger Einzelinitiativen viele isolierte Insellösungen entstehen. Architekturschaffende berichten aus ihren Projekten, dass auch Bauherr:innen Interesse haben, mit Ma-

daster zusammenzuarbeiten. Kritisch wird aber der aktuelle Umgang mit den Eigentumsrechten der Daten in Anbetracht des Lock-in-Effektes durch die Lizenzgebühren für den Datenbankzugang gesehen. Sowohl bei der Befragung der Akteur:innen der Fallstudien, als auch in den Expert:inneninterviews wird auf die Notwendigkeit eines offenen, neutralen und lizenzfreien Materialkatasters hingewiesen. Würde mit einem Gebäudematerialkataster der komplette Gebäudebestand aufgenommen werden, stünde ein umfassender Materialkataster zur Verfügung, mit dessen Hilfe Materialflüsse auf breiter Basis geschlossen werden können. Daten zu verfügbaren Materialien stünden dann anonymisiert wie in einem Marktplatz zur Verfügung. Ein solcher Gebäudematerialkataster wird dabei als öffentliche und nicht als (privat-)wirtschaftliche Aufgabe gesehen. Die kritische Haltung von Akteur:innen zum lizenzgebundenen Zugang wird auch mit Patrick Bergmann von Madaster Deutschland diskutiert. Er stimmt der Notwendigkeit eines öffentlichen Charakters zu und erläutert die Historie des Aufbaus der Plattform: Da zu Beginn der Initiative keine gemeinsame Lösung mit der öffentlichen Hand erreicht werden konnte, die Dringlichkeit der Ressourcenfrage aber evident ist, wurden die Entwicklung und der Aufbau von Madaster über Europäische Förderungen und ein sogenanntes Kennedy-Programm für Anschubfinanzierungen (John & Stark, 2021a, S. 34–35) finanziert. Der Betrieb von Madaster wird gegenwärtig über eine gemeinnützige Stiftung organisiert. Mittlerweile laufen aber bereits Gespräche zu Kooperationen mit Regierungen einzelner europäischer Länder.

### Umsetzung und Processing

Aktuell gibt es zwei Strömungen in der Umsetzung: ein Neubau nach zirkulären Prinzipien (1) und die Gewinnung von Materialressourcen aus dem Gebäudebestand (2).

In den Interviews wird ein Neubau nach zirkulären Prinzipien meist mit dem „Cradle-to-Cradle“ Ansatz verbunden, die Gewinnung von Materialressourcen mit dem Begriff „Urban Mining“. Die meisten ausführenden Holzbauunternehmen sehen in den Expert:inneninterviews den „Cradle-to-Cradle“-Ansatz als einen Weg, der zu wenig auf die aktuellen Herausforderungen eingeht. Einerseits, weil er den aktuellen Gebäudebestand ignoriert und damit reale Taten durch theoretische Ziele ersetzt. Vielmehr, so die Holzbauunternehmen, müsste man auf Urban Mining und die Wiederverwendung vorhandener Materialien aus dem Bestand für aktuelle Bauvorhaben setzen und bereits heute damit beginnen. Gleichzeitig wird der zusätzliche bürokratische Aufwand einer Cradle-to-Cradle-Zertifizierung kritisch hinsichtlich des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses gesehen. Kriterien, die die Prinzipien des kreislauffähigen Bauens unterstützen, sind bereits in der DGNB-Zertifizierung impliziert, so ein Holzbauunternehmer. Im zirkulären Neubau sind auf der Ausführungsseite im Holzbau auch noch wenig neue Geschäftsmodelle erkennbar. Die Umsetzung kreislauffähiger Gebäude erfolgt im Rahmen der klassischen Geschäftsmodelle des Bau-sektors. Bei deutschen Holzbauunternehmen ist die Auseinandersetzung mit dem Rückbau und Rücknahme-Szenarien prominenter in den Medien als beispielsweise in der Schweiz. Die deutsche Derix-Gruppe kündigte im Juni 2021 an, die Rücknahme gebrauchter Bauteile zum Standard zu machen (<https://klimaforum-bau.de/news/derix-gruppe-macht-ruecknahme-gebrauchter-bauteile-zum-standard/>). Diese Entscheidung begründet Markus Steppeler, Vertriebsleiter der Derix-Gruppe, im Interview mit der Sicherung der Rohstoffquelle sowie der damit möglichen Unabhängigkeit von Sägewerken. Für den Rückbau selbst konzentrieren sich die Holzbauunternehmen auf ihr eigenes Gewerk und betonen die Notwendigkeit, dass im Falle eines Rückbaues die weiteren beteiligten Gewerke mitziehen müssen. Analog zu Auf- und Ausbausequenzen ist der Rückbau in umgekehrter Reihenfolge abzuhandeln. Aktivitäten, die das Ziel verfolgen, dass Holzbauunternehmen dabei eine koordinierende Rolle im Rückbau übernehmen können,<sup>7</sup> werden nicht formuliert.

Verknüpft man die erwähnte Herausforderung in Bezug Lagerflächen (siehe Seite 36) und das Potenzial der Herstellerrücknahme, könnte ein Lösungsansatz sein, dass viele kleine dezentrale Lager virtuell verknüpfen und eine Logistik zentral etabliert werden, in Analogie zum Amazon-Geschäftsmodell. Im Holzbau sind auch neue Geschäftsfelder für die Aufbereitung und das Recycling noch wenig thematisiert. Die

---

<sup>7</sup> Im Sinne eines „Holzbau-GU“

Wiederverwendung von Altholz im Falle von Konstruktionsholz ist, wie bei den Bauteilbörsen bereits erwähnt, im Falle von historischem Betrachtungspunkten, ein bestehendes Geschäftsfeld. In der Holzwerkstoffindustrie ist die Nutzung von Altholz als Sekundärrohstoff möglich.

### Planung, Bewertung und Prüfung

Für die Umsetzung der Wieder- und Weiterverwendung von Bauteilen haben sich im Architekturbereich in den letzten Jahren Spezialist:innen etabliert, die über die reinen Planungsaufgaben hinweg mit dem Urban Mining Ansatz ihre Geschäftsfelder erweitert haben. Damit verschmelzen die beiden Bereiche „Planung und Umsetzung“ und können schwer getrennt voneinander betrachtet werden. Auf die Initiativen aus dem Architekturbereich wurde im Kontext der Entwicklung der Bauteilbörsen bereits hingewiesen (siehe Seite 46). Aus den Initiativen der Bauteilvermittlung von Akteur:innen aus der Architektur haben sich neue Beschäftigungsprogramme etabliert. Für die Demontage, Aufbereitung und Dokumentation werden schwer vermittelbare Personen reintegriert. Der Dachverband Bauteilnetz Schweiz entwickelte solche Ansätze (Buser, 2021) und auch das Baukarussell in Österreich setzt auch auf ein sozialökonomisches Geschäftsmodell (Hochreiter, 2018). Pascal Angehrn vom Baubüro In situ in Zürich erläutert die Aktivitäten ihres Büros zur Verbesserung der Material- und Bauteilsuche. Wichtig ist die möglichst einfache Erfassung und Dokumentation vor Ort. Dazu denkt man über ein sogenanntes „Bauteil-Tinder“ und ein neues Jobprofil, die „Bauteiljäger:innen“ nach. Aber, so Pascal Angehrn, das Thema Wiederverwendung von Bauteilen aus Holz oder vorgefertigten Elementen ist bislang nicht weit verbreitet. Grund dafür ist nach seiner Ansicht, dass die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung von Gebrauchtholz im Vergleich zu anderen Materialien weniger signifikante Einsparungen verglichen mit dem Einsatz des Primärrohstoffes ermöglicht. Das Baubüro In situ hat langjährige Erfahrung im Ablauf von Bewertung und Prüfung von Bauteilen und Konstruktionselementen. Die große Herausforderung sieht Pascal Angehrn besonders in der Qualitätssicherung. Die Bewertung des Zustands muss mit der Einschätzung der Eignung für die Art der Wiederverwendung zusammengeführt werden.

Das in der Baubranche wenig diffundierte Know-how zur Planung und Errichtung kreislauffähiger Gebäude evoziert neue Geschäftsfelder in der Beratungsdienstleistung. Ein international tätiges Unternehmen ist dabei Epea, das neben der Beratung auch die Zertifizierung nach dem „Cradle-to-Cradle“-Ansatz anbietet. Die dahinterliegenden Kriterien der Beurteilung wurden dem circularWOOD Team trotz mehrmaliger Anfrage nicht zur Verfügung gestellt.

### Servicemodelle

Wie einleitend erläutert, wird die Geschäftsmodelltypologie der Bereitstellungsmodelle nach Jaeger-Erben und Hofmann (2019) unter dem Titel Servicemodelle gesondert erläutert. Im Buch „Material matters“ beschreibt Architekt Thomas Rau die Idee des Materials als eine Dienstleistung „Material as a Service“ (Rau & Oberhuber, 2018, S. 161–174). Dass dies im Holzbau im Angesicht der Ressourcenfrage ein möglicher Ansatz sein könnte, wird von Jan Wenker von der Unternehmensgruppe Brüninghoff erläutert: Mit kreislaufgerechten Konstruieren sichert man sich langfristig „hochwertige Recyclingmaterialien“. Aber, einen Schritt weitergedacht, werden Wände oder Bauteile zukünftig vielleicht nicht mehr verkauft, sondern möglicherweise nur vermietet: „Material as a Service“ als Sicherung der Verfügbarkeit von Ressourcen im Holzbau der Zukunft. Leasing- oder Contracting-Modelle für Holztragwerke sind auch Grundlage der Überlegungen von Markus Stepler, Vertriebsleiter der Derix-Gruppe. Wie die Finanzierungsmodelle dazu aussehen können, ist eine Frage, die gemeinsam mit Banken geklärt werden muss. Deren zeitlicher Horizont ist noch nicht kongruent mit den Nutzungszeiträumen von Primärkonstruktionen im Gebäudebereich.

### Identifikation Wechselwirkungen

Die Recherchen von circularWOOD zeigen, dass sowohl in der Literatur als auch in der Praxis Einigkeit herrscht, dass kreislauffähiges Bauen ein Standard werden muss. Die Realität in der Umsetzung steht



dabei vor der Frage, wie die Argumentation gegenüber Entscheidungstragenden aufgebaut werden kann und wie groß der Handlungsdruck aus Rahmenbedingungen sein wird. Die Ressourcenverfügbarkeit, wirtschaftliche Überlegungen und Regularien spielen dabei eine Rolle. Wenngleich es eine Vielfalt an Konzepten zur Kreislaufwirtschaft gibt, spielt in den meisten Definitionen die Verwendung nachwachsender Rohstoffe zur Schonung nicht regenerierbarer Rohstoffe eine zentrale Rolle. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, der in Abhängigkeit von der Zeit, die er im Materialkreislauf gehalten wird als temporärer Kohlenstoffspeicher dient. Damit hat Holz ein entscheidendes Argument im Karussell der Baustoffe. Zudem leistet Holz als Baustoff einen Beitrag, fossile und mineralische Baustoffe zu substituieren (Schulze et al., 2021). Bei Holz handelt es sich um ein biotisches Material, das einem im Ursprung geschlossenen Stoffkreislauf entstammt. Unbehandeltes Holz verrottet nach seiner Nutzung und setzt das CO<sub>2</sub>, das es im Laufe seines Wachstums bindet, wieder frei. Somit repräsentiert Holz einen CO<sub>2</sub>-neutralen Kreislauf. Darüber hinaus zählt Holz als nachwachsender Rohstoff zu den erneuerbaren Energieträgern. Doch die Verwendung von Holz zur Wärmeerzeugung ist in der Fachwelt nicht unumstritten (Camia et al., 2021). Ein Argument für Holzenergie ist, dass Holz im Vergleich zu fossilen Materialien bei der Verbrennung nur das CO<sub>2</sub> freisetzt, das es in einer vergleichsweise kurzen Wachstumsphase (im Vergleich zu Kohle, etc.) speichert. Gegner:innen sehen langfristige Nutzungskonflikte in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen von Holz und sprechen sich für möglichst lange Werterhaltung in der stofflichen Nutzung aus (Ludwig et al., 2022).

Mit der vielfachen Nutzungsmöglichkeit von Holz steigt der Anforderungsdruck auf den Rohstofflieferanten Wald: Der Wald ist Schlüssel zur Kohlenstoffspeicherung und dient dem Erhalt der biologischen Vielfalt. Gleichzeitig dient er dem Menschen als Erholungsraum, reguliert das Mikroklima und liefert neben Sauerstoff sauberes Wasser. Die Multifunktionalität von Wäldern und der damit verbundene Anpassungsbedarf des Ökosystems Wald sind Grundlage des Europäischen Green Deal und haben Eingang in die Koalitionsvereinbarungen der deutschen Bundesregierung gefunden. Die damit einhergehenden Anpassungen werden zu einer Veränderung der biobasierten Stoffströme führen. Sie erfordern eine Maximierung der Ausbeute an Biomaterialien, was unter anderem zu einer Mehrfachnutzung des Materials Holz führen wird: „Die Strategie fördert die klima- und biodiversitätsfreundlichsten Waldbewirtschaftungsmethoden, betont die Notwendigkeit, die Nutzung von Holzbiomasse im Rahmen der Nachhaltigkeit zu halten, und fördert eine ressourcenschonende Holznutzung im Einklang mit dem Kaskadenprinzip“ (Wittpahl, 2020) .

Zunehmender Bedarf, Rohstoffmangel sowie die Verfügbarkeit am Markt führen zunehmend zu ökonomischen Risiken. Der Baustoff Holz wird international gehandelt. Die Verknappung des Rund- und Schnittholzes am europäischen Markt im Frühjahr 2021, verursacht durch hohe Nachfragen auf dem internationalen Markt, hat zu erheblichen Preissteigerungen und Lieferengpässen geführt (Breitkopf, 2022). Vor dem Hintergrund politischer Forderungen nach einem vermehrten Einsatz nachwachsender Rohstoffe im Baugewerbe steigt der Druck auf die Ressource Holz (SPD, Die Grünen, FDP, 2021). Die aktuelle Energiekrise und die zunehmende Nachfrage nach dem Rohstoff Holz als Baumaterial macht die Relevanz einer langfristigen Ressourcenverfügbarkeit deutlich. Im Ländervergleich zwischen Deutschland und der Schweiz zeigt sich dabei auch die Perspektive zur Ressourcenverfügbarkeit als Entscheidungsargument in der Motivation zum Umstieg auf Kreislaufwirtschaft im Holzbau.

In der Schweiz stehen die Holznutzung und Waldpflege in einem wirtschaftlichen Abhängigkeitsverhältnis (HSLU, 2021-2023). Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) definiert das oberste Ziel der Ressourcenpolitik 2030 im Ausnutzen des nachhaltigen Holznutzungspotenzials (Schneeberger, 2022). Die Versorgungssicherheit wird zwar als Herausforderung gesehen, aber die Praxis ist in vielen Regionen vor allem mit einer erschwerten Zugänglichkeit, wie z. B. in Gebirgslagen, und damit höheren Kosten für die Holzernte konfrontiert. Das Thema der Kreislaufwirtschaft wird im Holzbausektor und in der Forstwirtschaft von einigen Vordenkern bereits aufgenommen. Der Maßnahmenplan „Offensive Holz“ des Kantons Luzern inkludiert das Handlungsfeld Kreislaufwirtschaft in der Holzbranche. „Die Herausforderungen auch zukünftig bei steigender Nachfrage nur die nachhaltig verträgliche Menge zu ernten, werden gesehen“,

so Michiel Fehr, Fachbereichsleiter Waldnutzung im Kanton Luzern. Aktuell ist die Verfügbarkeit von Energieholz ein Problem in der Schweiz. Die Kreislaufwirtschaft in der Holzbranche ist aber noch kein breit diskutiertes Thema. Es gilt die Ressource schonend zu nutzen und die Holzbranche für die Notwendigkeit der Kreislaufwirtschaft zu sensibilisieren, so Michiel Fehr.

In Deutschland ist der Kausalzusammenhang zwischen Waldumbau und Holznutzung vor dem Hintergrund der Klimakrise sowohl im wissenschaftlichen Diskurs präsent und auch in der gesellschaftlichen Diskussion angekommen. Unterschiedliche Studien, die teilweise konträre Aussagen beinhalten, was unter anderem auf verschiedene Methodenansätze zurückzuführen ist, führen zu Verunsicherung (Beck-O'Brien et al., 2022; Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik WBW, 2018). Auf nationaler Ebene hat die Bundesregierung im Juni 2020 das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm III verabschiedet. Darin werden wichtige Ziele festgelegt, die auch für die Forst- und Holzwirtschaft von hoher Relevanz sind. Die Ressourceneffizienz im Rahmen des nachhaltigen Bauens (Beck-O'Brien et al., 2022; Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V [FNR], 2021) spielt für den Holzbau dabei eine wichtige Rolle. Gemäss Anja Rosen können Materialkreisläufe mit Holz zu 100 Prozent geschlossen werden (man spricht von einem „Closed Loop“), wenn eine nachhaltige Waldwirtschaft garantiert, dass nicht mehr Holz geschlagen wird, als nachwachsen kann und die Anbauflächen (Wald) nachhaltig erhalten bleiben (Rosen, 2021b, S. 169).

## Mapping Themen zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau

Wenige Überlegungen zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau können als konkret holzbauspezifisch bezeichnet werden. Vor allem die Klärung des Begriffsverständnisses und die konzeptionelle Einordnung im Bausektor müssen für den Bausektor im Allgemeinen geklärt werden. Der Übergang zur Kreislaufwirtschaft, das heißt von einem linearen zu einem zirkulären Denkmodell, überschreitet die heute übliche Handlungszeiträume und fordert auch im Denken und damit auch in der Planung neue Dimensionen von zeitlichen Horizonten. Diese Fragen mit der Systemgrenze Holzbau zu beantworten, trägt nicht zu einer Verbesserung der aktuellen Situation der Konzeptvielfalt bei. Vielmehr gilt es die Themen, die für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau spezifisch geklärt werden müssen, aufzuzeigen.


Die Literaturrecherche und Stakeholderanalyse hat Aspekte aus der wissenschaftlichen Perspektive und der Sicht der aktuellen Umsetzungsperspektive eingeordnet. Ahn et al. (2022) haben eine strukturelle Gliederung der Prinzipien für eine Kreislaufwirtschaft im Mass Timber Sektor vorgeschlagen. Diese hat sich im Zuge der Recherchen und empirischen Untersuchungen von circularWOOD als geeignete Ausgangslage erwiesen. Allerdings versteht circularWOOD die Prinzipien vielmehr als eine Strukturierung der Themen in der Kreislaufwirtschaft und nicht als eine Grundlage für eine Handlung. Während die von Ahn et al. (2022) vorgeschlagenen Themen spezifisch auf den Mass Timber Sektor fokussieren, leitet circularWOOD eine auf die Situation des Holzbaus in D-A-CH-Raum angepasste bzw. präzierte Themenauswahl ab. Abbildung 10 zeigt die daraus entwickelte circularWOOD-Themenlandkarte.

## Rahmenbedingungen

Mit dem Green Deal und der EU-Taxonomie, den damit festgelegten Umweltzielen und die für jede Branche angekündigten, sich verschärfenden Kennziffern werden Wirtschaft und Finanzmarkt zu nachhaltigem Handeln und nachhaltigen Innovationen verpflichtet. In den Recherchen und Interviews wird deutlich, dass vorausschauende Unternehmen sich bereits seit Längerem damit auseinandersetzen, wie bei der Planung von Gebäuden auf diese Forderungen reagiert werden muss. Kreislaufgerechtes Bauen ist dabei ein Lösungsansatz. In der Holzbaubranche überwiegt eine hohe intrinsische Motivation sich mit der Weiterentwicklung des ökologischen Bauens ganzheitlich auseinanderzusetzen. Die Kreislaufwirtschaft wird als ein Baustein dabei gesehen. Diese Motivation kann, aufgrund der selektiven Auswahl der Befragten in circularWOOD, nur bedingt für die gesamte Holzbaubranche skaliert werden. Vielmehr liefern die Überlegungen der befragten Akteur:innen als Brancheninsider zu Anreizsystemen und Verpflichtungen Hinweise zum Handlungsbedarf. Dabei herrscht eine große Übereinstimmung, dass der Weg

über gesetzliche Verpflichtungen notwendig sein wird. Einerseits wird dabei der Weg über eine CO<sub>2</sub>-Bilanzierung ins Auge gefasst. Wie diese aber aus Sicht von Holz und Gebrauchtholz, als Argument in der Wiederverwendung genutzt werden kann, muss noch einfach verständlich aufgezeigt werden. Andererseits wird auf der Bauteilebene der Nachweis der Wiederverwendbarkeit im Zuge von Genehmigungsverfahren als Umsetzungsbarriere angesprochen. Dem Argument, dass Holz ein erneuerbarer und kohlenstoffspeichernder Werkstoff ist, stehen die Unsicherheiten und administrativen Hürden bei Zulassungsverfahren und auch bei Garantie- und Haftungsfragen, insbesondere in Deutschland gegenüber. Die Schweizer Rahmenbedingungen beinhalten diese Hürden nicht in dem Ausmaß wie in Deutschland. Dennoch gilt es für die Genehmigungs- und Zulassungsverfahren sowie für die Qualitätssicherung belastbare Grundlagen und klare Abläufe zu schaffen. Finanzielle Anreize erscheinen im Rahmen der circularWOOD Recherchen eher weniger geeignet, den erforderlichen Wandel zu erreichen. Vielmehr stehen langfristige Perspektiven im Blickfeld. Bei den Entscheidungstragenden sind es der Werterhalt von Immobilien und die damit langfristig verbundenen finanziellen Vorteile. Bei den Holzbauunternehmen ist es die Frage der langfristigen Ressourcenverfügbarkeit der Ressource Holz.



 Grundprinzipien für die Kreislaufwirtschaft im Holzbau (Abgeleitet aus den Circular Economy Principles nach N. Ahn et al. 2022)

 Zugeordnete Themenfelder mit Relevanz für den vorgefertigten Holzbau

Abbildung 10: circularWOOD Themenlandkarte. Eigene Darstellung, strukturiert nach Ahn et al. (2022)

## Technologie

Im Bereich der Technologie reicht das Spektrum von konstruktiven, holzbauspezifischen Themen bis hin zum Einsatz digitaler Technologien, die für den Bausektor im Allgemeinen Relevanz haben. Zu den holzbauspezifischen konstruktiven Themen zählen Technologien für den Rückbau und dabei zuvorderst Fügungen und Verbindungsmittel. Diskussionen und Ausführungen zum Entwicklungsbedarf adressieren die Demontier- bzw. Trennbarkeit. Für eine Skalierbarkeit der Kreislaufwirtschaft im Holzbau fordern Expert:innen Entwicklungen im Bereich von Verbindungen, Bauelementen und Bauteilen, die den Architekturschaffenden und Planenden in Bauteilkatalogen zur Verfügung gestellt werden müssen. Damit steht dieses Thema in enger mit der Planung (wie in Abbildung 10 dargestellt). In der Literatur wird auch festgestellt, dass es zu wenig Studien bzw. Praxisbeispiele gibt, die die Auswirkungen von unterschiedlichen Füge-techniken untersuchen.

Im Bereich der digitalen Technologien werden in der Literatur Forderungen formuliert, zur Ausweitung des Einsatzes digitaler Technologien. In der Praxis hingegen ist die Einführung mit weitaus vielschichtigeren Herausforderungen konfrontiert. Im Bereich Plattformen und Datenbanken haben sich Bauteilbörsen schon länger etabliert. Sie sind zwar keine technische Herausforderung mehr, haben aber für den Holzbau gegenwärtig keine wirtschaftliche Bedeutung. Plattformen für die digital basierte Dokumentation von Gebäuden oder die eines Gebäudekatasters (wie Madaster) sind im Einsatz oder befinden sich im Aufbau. In der Anwendung ist die Herausforderung im Bereich der Schnittstellen noch groß. Das ist ebenfalls kein holzbauspezifisches Thema, sondern ist mit der Diffusion der BIM-Methode (Building Information Modeling) in der Umsetzungspraxis verknüpft. Ausführende Unternehmen im Holzbau bringen sich bereits ein – wie beispielsweise eine Holzbaugruppe aus Deutschland, deren Aufbauten schon in Madaster hinterlegt sind. Die Dokumentation wird von vielen Befragten als das entscheidende Moment hinsichtlich einer zukünftigen Wiederverwendung angesehen. Literatur und Praxis stimmen darin überein. Die offenen Fragen sind dabei nicht technischer Natur, sondern verweisen vielmehr auf die Spezifikation der Dokumentation: Welches sind die entscheidenden Parameter? Welcher Detaillierungsgrad ist anzustreben? Mit Blick auf die sortenreine Trennung müsste die Dokumentation auf das Detail jeder Verbindung eingehen können. Dabei stellt sich erneut die Frage nach den Datenmengen, die dann gehandhabt werden müssen.

## Planung und Umsetzung

Die Holzbaubranche ist seit Langem von der Diskussion um holzbaugerechte Planungsprozesse bzw. der Forderung des frühzeitigen Einbeziehens relevanter Disziplinen in den Planungsprozess geprägt. Weitere holzbauspezifische Themen wie Standardisierung, Vorfertigung, Modularisierung, Systemtrennung und Festlegung von Parametern sind auch keine neuen Themen der Branche. Diese werden im Kontext ihres Einflusses auf die Kreislauffähigkeit jedoch neu diskutiert. Ein hinzukommendes Thema ist Lager und Logistik. Die Diskussion in Bezug auf Nutzungsdauer ist keine holzbauspezifische Diskussion, beschäftigt die Branche aber ebenso. In der Debatte zur Veränderung der Planungsprozesse, wird mit der Berücksichtigung der Kreislauffähigkeit von Bauteilen und Elementen und der Rückbaubarkeit, ein weiteres Argument für das frühzeitige Einbeziehen von Kompetenzen in Produktion, Montage und Logistik eingebracht. Insgesamt wird die Bedeutung des material- und speziell holzbaugerechten Entwerfens und Planens für kreislaufgerechte Konstruktionen unterstrichen. Dies wird als ein Schlüssel gesehen, um Ressourcen effizient einzusetzen. Im Kontext neuer Prozessabläufe ist auch die Diskussion zur Standardisierung einzuordnen. Von Holzbaupersonen wird eine zukünftige Etablierung einer herstellerübergreifenden Standardisierung von Bauteilen oder Fügungen als eher unwahrscheinlich bzw. unrealistisch beurteilt. Vielmehr sollte eine Standardisierung im Prozess-, Ablauf- und Dokumentationsbereich angestrebt werden. Die Standardisierung von Bauteilen bezieht sich auf eine Vereinfachung. Es geht um Reduktion von Schichten und der Vielzahl von Bauteilaufbauten und damit um eine Verschlinkung von Bauteilkatalogen. Standardisierung wird demnach mehr auf das einzelne Objekt bezogen und nicht herstellerübergreifend verortet. Mithilfe von Wiederholung (also steigender Anzahl gleicher Teile) in einem

Bauvorhaben kann eine zukünftige Wiederverwendung unterstützt werden. Auch eine Typisierung von statischen Strukturen wird vor dem Hintergrund einer Parametrisierung in der Planung unter dem Begriff der Standardisierung im Sinne einer Vereinfachung diskutiert. Anders ist die Sicht auf die Standardisierung von externen Expert:innen. Sie sehen die Standardisierung, wie auch Modularisierung von Bauteilen als einen wichtigen Schritt. Vorfertigung, Modularisierung und Systemtrennung sind für die Befragten Themenfelder, in denen der Holzbau bereits langjährige Erfahrungswerte besitzt. Man verweist auf die Erfahrung im Umgang mit großformatigen Elementen und deren Fügung. Raummodule für den temporären Einsatz sind aus Sicht einiger Akteur:innen mittlerweile Usus und werden von ihnen als kreislauffähig bezeichnet. Ebenso wird die Systemtrennung als dem Holzbau inhärent beschrieben. Modulbauweise muss vor dem Hintergrund der Reduktion von transportiertem Volumen, sinnvoll mit anderen Holzbauweisen kombiniert werden – eine Abwägung, die in frühen Planungsphasen erfolgen muss, so die Expert:innen.

Welche Parameter bei der Planung von kreislauffähigen Bauteilen relevant sind und erfasst und dokumentiert werden müssen, ist eine der neuen, großen Fragestellungen für den Holzbau in der Kreislaufwirtschaft. Grundsätzlich ist die Identifikation der relevanten Parameter für die End-of-Life-Szenarien und die Wiederverwendung nicht holzbauspezifisch. Vor dem Hintergrund der Vielschichtigkeit der Aufbauten und der Fügung im Holzbau muss diese für den Holzbau vertieft behandelt werden. Lager und Logistikthemen beschäftigen die befragten Akteur:innen. Die weitere Entwicklung wird aber kontrovers gesehen. Während Pioniere in der aktuellen Wiederverwendung den Aufbau von Lagerflächen als essenziell betrachten, gibt es in der Holzbaubranche Stimmen, die weniger auf Lager als auf „Just-in-Time“ oder vorausschauende Planung setzen. Die vorausschauende Planung des Rückbaus und der Wiederverwendung wird von Seiten der Vertreter:innen des Geschäftsmodells einer Herstellerrücknahme propagiert. Auch bei öffentlich zugänglichen Bauteilbörsen wird immer mehr auf die vorhergehende Ankündigung des Abbruchs und damit das Ausschöpfen der Möglichkeiten eines selektiven Rückbaus gesetzt.

Eine möglichst lange Nutzungsdauer dem Rückbau und der Wiederverwendung vorzuziehen, ist ein weiteres Thema in der Planungsbranche. Unter der Prämisse des sparsamen Umgangs mit Ressourcen ist die nutzungszeitverlängernde Verwendung von Gebäuden eine wesentliche Richtung im kreislauffähigen Bauen mit Holz. „Flexibilität in der Architektur bezeichnet [...] die Fähigkeit eines Gebäudes, in kurzer Zeit, mit angemessenem Aufwand und zu vertretbaren Kosten auf neue Gegebenheiten reagieren zu können“ (Plagaro Cowee und Schwehr, 2008). Primär- und Sekundärkonstruktion, Fassaden, [...] sind dabei zentrale Elemente, um einen langfristigen Werterhalt und geringe Lebenszykluskosten zu ermöglichen (Keikut & Geier, 2019).

## Material und Konstruktion

Holzkonstruktionen schneiden bei der Bewertung nach dem Urban Mining Index sehr gut ab. Doch Bauweise, Konstruktion und Materialwahl gemeinsam entscheiden über die tatsächliche Kreislauffähigkeit. Dabei sind ein schonender Umgang mit der Ressource Holz (Materialreduktion), eine Schichtenreduktion, die Demontier- und Trennbarkeit wesentliche Aspekte. Sortenreine Aufbauten bieten Vorteile im tatsächlichen Rückbau. Weitere Produktentwicklungen und -innovationen sind eine Forderung der Branche. Fragestellungen zur Bauweise und Konstruktion werden in der Analyse der Fallstudien vertieft behandelt. Aus Sicht des Urban Mining Index sind sortenreine Holztafelbauten im Vergleich zu Brettschichtholz besser zu bewerten, da keine Verunreinigungen durch Leim vorliegen. Aus Sicht von Madaster fehlen gegenwärtig Marktwerte für Holz. Aber auch hier sind verleimte Konstruktionen benachteiligt, weil es in der Logik der derzeitigen Praxis nur die thermische Verwertung gibt. Bei der Materialwahl ist essenziell, dass Holz möglichst ohne Verunreinigungen oder Oberflächenbehandlungen eingesetzt wird. Chemisch modifizierte Materialien erschweren die Wiederverwendung und das Recycling. In der Diskussion zur Materialreduktion wird der Einsatz von Brettschichtholz unter die Lupe genommen. Vereinfachung und der vermehrte Einsatz von Holztafelbau

ist eine Forderung. An dieser Stelle stellen sich die Ingenieur:innen die Frage, ob einer massiven Brettstapeldecke im Sinne der Wiederverwendung oder einer Hohlkastendecke im Sinne der Materialreduktion der Vorzug gegeben werden soll. Unbestritten ist, dass mit der Reduktion von Schichten auch die Demontier- und Trennbarkeit erhöht wird. Für den Rückbau sind die Aspekte Demontier- und Trennbarkeit ein wichtiges Thema. Dies wird in den Fallstudien vertieft behandelt. Werden sortenreine Aufbauten aus Holz realisiert, wird das Schließen von Materialkreisläufen unterstützt. Wärmedämmung, wie beispielsweise Mineralwolle, kann im Verbund mit Bauteilen aus Holz nicht recycelt werden. Hierfür ist eine Trennung der einzelnen Komponenten notwendig. Diese Trennung ist im Rückbau noch nicht wirtschaftlich darstellbar. In Folge werden solche Bauteile in der Regel der thermischen Verwertung zugeführt. Mit Dämmungen aus holzbasierten Materialien, wie Holzweichfaserdämmung, ist eine stoffliche Verwertung möglich. Parallel dazu sind auch Produktinnovationen zur zukünftig vermehrten Verwertung von Gebrauchtholz notwendig. Diese werden von der Praxis hinsichtlich einer vereinfachten Logistik, aber auch vor dem Hintergrund des Gestaltungsspielraums für zukünftige Generationen gefordert.

### Bewertung

Die Bewertung der Kreislauffähigkeit bezogen auf den Neubau umfasst zwei große Themenfelder: einerseits die Entwicklung von Methoden und Indikatoren zur Bewertung auf konzeptioneller Ebene, andererseits die Validierung der Indikatoren in geeigneten Studien im Kontext der Umsetzungspraxis. Als Bewertungen dienen dabei Lebenszyklusanalysen und zudem neu entwickelte, spezifische Indikatoren, wie der Zirkularitätsindex oder der Demontierbarkeitsindex. An dieser Stelle fehlen einerseits transparente Bewertungsgrundlagen. Andererseits fehlen vor allem Erfahrungswerte zum tatsächlichen Aufwand in der Rückbaupraxis. Für die Wiederverwendung hingegen ist die Qualitätssicherung ein wesentlicher Punkt. Es gibt bereits erste Maßnahmen auf Normungsebene, jedoch fehlen aktuell geeignete Bewertungsverfahren für gebrauchte Materialien und Bauteile hinsichtlich Zustand und Eignung. Ferner ist die Erstellung eines Materialpasses oder Gebäuderessourcenpasses eng mit der Dokumentation der Planung und künftig möglichen Forderungen im Rahmen des Genehmigungsverfahrens verknüpft. Mit Einführung der EU-Taxonomie zeigt sich eine Entwicklung in Richtung eines verpflichtenden Gebäuderessourcenpasses (möglicherweise vergleichbar mit dem Energieausweis) oder vergleichbarem. Im wissenschaftlichen Diskurs werden aktuell Fragestellungen zu einem einheitlichen Regelwerk und zu den Inhalten, Methoden und Art der Dokumentation intensiv diskutiert.

### Wirtschaft

Zwei übergeordnete Themen sind im Themenfeld der Wirtschaft für den Holzbau relevant: Das sind die Wirtschaftlichkeit und zukünftige Geschäftsmodelle für das Schließen von Materialströmen. Beide sind eng mit der Ressourcenverfügbarkeit und dem Marktwert von Holz verknüpft. Wie zukünftig im Holzbau Bauteile oder Komponenten wiederverwendet oder -verwertet werden können, stellt eine Herausforderung dar. Holzbauunternehmen testen erste Modelle, wie zum Beispiel die Herstellerrücknahme. Die Wiederverwendung von Bauteilen (Re-Use) aus Holz ist aktuell wirtschaftlich nicht darstellbar. Der hohe Arbeitsaufwand für den Rückbau kombiniert mit Informationslücken zum Bestand durch fehlende Dokumentation von Materialien und Aufbauten, aber auch und die steigende Nachfrage an Holz sowohl für die thermische als auch andere stoffliche Verwertung (z. B. Papierindustrie) erschweren die Wirtschaftlichkeit von stofflichem Recycling für das Bauwesen. Zudem fehlen die dafür notwendigen Logistikprozesse. Neue Geschäftsmodelle, wie Bauteilbörsen, sind für den Holzbausektor noch nicht relevant. Die Umsetzung von kreislauffähigen Holzbauten findet noch in den klassischen Geschäftsmodellen des Bausektors und überwiegend im Neubau statt. Die Auswahl an verfügbaren Bauteilen oder Komponenten für eine effektive Wiederverwendung ist noch überschaubar. Holzbauteile sind in den Bauteilbörsen und -plattformen wenig repräsentiert. Sie dominieren im Anwendungsbereich des Innenausbaus und im Bereich von Ein- und Ausbauteile aus Holz, vor allem Holzwerkstoffe. Der moderne Holzbau blickt auf eine kurze Zeitspanne zurück. Es gibt bislang wenig Gebäude, die am Ende des Lebenszyklus

angelangt sind. Damit sind Bauteile oder Komponenten, die für die Wiederverwendung geeignet sind, nicht in ausreichender Menge verfügbar. Mittel- bis langfristig wird sich die Etablierung neuer Geschäftsmodelle dem Druck der Ressourcenverfügbarkeit und dem Marktwert für Holz fügen (vgl. Abhängigkeit vom Themenbereich Material, Abbildung 10). Der Druck der Ressourcenverfügbarkeit ist dabei länder-spezifisch unterschiedlich. In der Schweiz ist die Diskussion zum Ausschöpfen des nachhaltigen Nutzungspotenzials noch im Vordergrund. In Deutschland sorgt die Unsicherheit hinsichtlich der langfristigen Verfügbarkeit der Ressource für die Auseinandersetzung von Holzbauunternehmen mit Möglichkeiten zur langfristigen Sicherung des Materials. Wie die tatsächliche Wiederverwendung in 20 bis 30 Jahren in Gänze umgesetzt wird, dazu gibt es bislang wenig konkrete Vorstellungen. Der Marktwert für Gebrauchtholz ist, im Gegensatz zu anderen Materialien, noch nicht international als Börsenwert etabliert. Eine Nutzungskonkurrenz der Holzbauwirtschaft mit thermischer Verwertung und der Nutzung in der holzbasierten Bioökonomie ist bereits deutlich spürbar. Die Tatsache, dass die Kreislaufwirtschaft eine Möglichkeit zur Ressourcenschonung anbietet, ist eine theoretische Erkenntnis. Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft oder auch die Nutzung in der Kaskade zwischen dem Holzbau und der thermischen Verwertung sind in der Schweiz in der Praxis jedoch wenig etabliert (BAFU et al., 2021, S. 48). Während die Klimaschutzwirkung stofflicher Holznutzung im Bauwesen unumstritten ist (Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik WBW, 2018), schränken Energiekrise und steigende Nachfrage aus anderen Industrien die aktive Umsetzung kreislauffähiger und kaskadischer Nutzung von Holz ein (Düngefeld, 2022).

### Synthese Definition Kreislaufwirtschaft im Holzbau

Für die weitere Analyse wird an dieser Stelle das Begriffsverständnis für Kreislaufwirtschaft im Holzbau aus Sicht des circularWOOD Projektteams erläutert. Dafür werden die in der Literatur vertretenen Entwicklungen zur Kreislaufwirtschaft aufgenommen. Diese umfassen die Forderung zur Ressourcenschonung und nachhaltigen Ressourcennutzung. Ferner beinhalten sie das Postulat des notwendigen Systemwechsels hin zu einem neuen Wirtschaftsverständnis, das auf Material- und Produktionskreisläufen basiert. Ziel ist eine nachhaltige Entwicklung zugunsten kommender Generationen zu erreichen. Obwohl Holz ein nachwachsender Rohstoff ist, gelten die planetaren Grenzen auch für die Ressource Holz. Demnach gilt es Holz ressourcenschonend und gemäß den Prinzipien des technischen Kreislaufes in hochwertigen Nachnutzungsszenarien einzusetzen. Ein Qualitätsverlust darf nur im Rahmen einer mehrstufigen Kaskadennutzung erfolgen. Der Konkurrenz unterschiedlicher stofflicher Nutzungen von Holz muss auf durch die Prämisse der Ressourcenschonung über Suffizienzstrategien vorgebeugt werden. Mit Blick auf den Erhalt der Wälder und mit Blick auf die gesamte Wertschöpfungskette Holz muss gewährleistet sein, dass Holz aus einer nachhaltigen Waldwirtschaft stammt. Auf eine explizite Erläuterung von sozialen Aspekten wird verzichtet, da diese in der nachhaltigen Entwicklung als inkludiert erachtet werden. Dennoch wird unterstrichen, dass für den Paradigmenwechsel hin zur Kreislaufwirtschaft eine tiefgreifende gesellschaftliche Änderung hinsichtlich bestehender Konsum- und Nutzungsmuster erfolgen muss.



# Design for Disassembly

## Begriffsverständnis

Der Begriff Design for Disassembly (DfD) steht für ein Entwurfs- und Planungsprinzip mit der Zielsetzung, Gebäude so zu planen und zu bauen, dass sie einfach und möglichst zerstörungsfrei demontiert, sortenrein getrennt und recycelt werden können. Damit soll ein möglichst großer Anteil an Materialien und Baustoffen in eine hochwertige stoffliche Nachnutzung überführt, anstatt wie bislang in einem linearen Prozess am End of Life (EoL) als Abfall zu enden. Die Möglichkeit, einzelne Bauteile und Komponenten einfach zu trennen und dabei die Zerstörung weitestgehend zu vermeiden, birgt einen weiteren Vorteil: Einzelne Komponenten können bei Bedarf ausgetauscht werden, ohne das gesamte Gebäude abzureißen. Die Nutzungsdauer und damit der Lebenszyklus werden damit verlängert. Für den vorgefertigten Holzbau können diese Bedingungen vollumfänglich übernommen werden. Da sich Konstruktionen und Bauweisen im Holzbau vom Bauen mit anderen Baustoffen durch die Vorfertigung, die Fügung großformatiger Bauteile und die mehrschichtige Anordnung von Komponenten unterscheidet, muss die Anwendung der Prinzipien den Charakteristika des Holzbaus entsprechend übertragen werden.

## Aspekte der Rückbaubarkeit

### Begriffsdefinition

Die Rückbaubarkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, ein Gebäude am Ende seiner Lebensdauer zu demontieren, die Trennbarkeit in Einzelkomponenten zu gewährleisten und die Materialien zu recyceln oder wiederzuverwenden. Neben grundsätzlichen Entscheidungen hinsichtlich Materialwahl und Konstruktionsmethode, sind folgende Aspekte ebenfalls entscheidend für die Rückbaubarkeit eines Bauwerks:

### Zugänglichkeit

Die Zugänglichkeit bedingt, wie einfach es ist, funktionale Einzelsysteme eines Gebäudes oder Komponenten eines Bauteils zu erreichen. Die Zugänglichkeit ist eine Voraussetzung dafür, dass Komponenten leicht getrennt und ausgetauscht werden können oder ganze Bauteile demontiert werden können. Durch die Gewährleistung einer guten Zugänglichkeit zu funktionalen Einzelheiten und Komponenten wird deren Rückbaubarkeit vereinfacht und eine weitere stoffliche Nutzung ermöglicht.

### Demontierbarkeit

Die Demontierbarkeit auf Bauteilebene beeinflusst den Rückbau und die Wiederverwendung. Unter Wiederverwendung eines Bauteils wird dabei der Einsatz im gleichen Verwendungszweck nach dem Rückbau verstanden. Die Demontierbarkeit wird auf konstruktiver Ebene beeinflusst und beschreibt einen möglichst zerstörungsfreien Abbau von Bauteilen.

### Trennbarkeit

Die Trennbarkeit beschreibt die Möglichkeit, einzelne Komponenten zerstörungsfrei zu separieren. Bei der Trennung auf Materialebene ist die Sortenreinheit ein wichtiger Faktor. Sortenreine Materialien sind nicht gemischt, legiert oder beschichtet, sondern sie liegen in ihrer ursprünglichen Grundfiguration vor (Heisel & Hebel, 2021b, S. 20). Damit einher geht nicht nur die Wahl geeigneter Verbindungsmittel und der Verzicht auf Verklebungen, sondern auch die Wahl geeigneter Materialien von Beginn an.

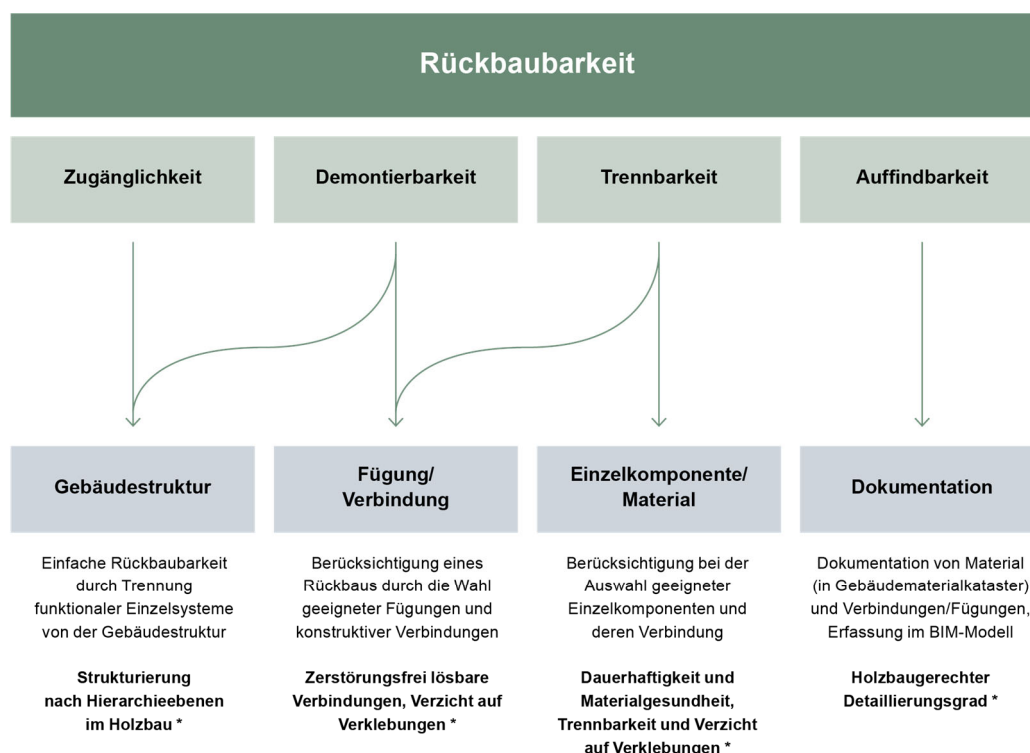
### Auffindbarkeit

Die Auffindbarkeit bezieht sich auf die Möglichkeit, konstruktive Verbindungen im Bereich der Fügungen von Bauteilen und Verbindungsmittel einzelner Komponenten zu identifizieren und damit eine Rückbaubarkeit zu gewährleisten. Dies kann beispielsweise durch die Verwendung von standardisierten Verbindungen erreicht werden, die eine einfache Identifikation und Demontage begünstigen. Eine gute

Auffindbarkeit ist wichtig, um die Effizienz und Sicherheit des Rückbauprozesses zu gewährleisten und um die Wiederverwendung und das Recycling von Materialien zu erleichtern. Besondere Bedeutung kommt dabei der langfristig verfügbaren und nachvollziehbaren Dokumentation der Fügungen von Bauteilen und Verbindungen einzelner Komponenten zu.

## Einordnung für den Holzbau

Die oben beschriebenen Aspekte der Rückbaubarkeit von Gebäuden gehen mit spezifischen Anforderungen im Kontext der verschiedenen funktionalen und technischen Einzelsysteme eines vorgefertigten Holzbaus einher. Eine konsequente Strukturierung gemäß verschiedener Hierarchieebenen (s. u.) ist Grundlage für die Zugänglichkeit zu den Einzelsystemen. Ferner gewährleistet diese Struktur die Möglichkeit der Demontierbarkeit auf konstruktiver Ebene. Geeignete Fügungen und lösbare Verbindungen ermöglichen die Weiterverwendung ganzer Bauteile. Ferner ermöglichen sie im weiteren Schritt die Separierbarkeit auf Materialebene. Wichtig ist dabei die Auswahl geeigneter Materialien unter der Berücksichtigung von Materialgesundheit und Lebensdauer. Mit Blick auf deren weitere stoffliche Verwertung ist zudem die Wahl geeigneter Verbindungsmittel und der Verzicht auf Verklebungen zu berücksichtigen. Grundlage für die Rückbaubarkeit von Gebäuden ist eine umfassende Dokumentation, die neben eingesetzten Materialien und konkrete Angaben zu Verbindungen, Fügungen und deren Auffindbarkeit beinhaltet.



\* Verweise auf Kapitel/Seiten in der Bildbeschreibung

Abbildung 11: Aspekte der Rückbaubarkeit kreislaufgerechter Holzbauten. Eigene Darstellung.

## Gebäudestruktur

### Schichtenmodell von Brand

Zu den Grundsätzen kreislaufgerechter Gebäude zählt neben deren Rückbaubarkeit, mit Blick auf Wiederverwendung, auch deren Anpassungsfähigkeit. Die Anpassungsfähigkeit ist einerseits im Sinne der Unabhängigkeit von Einzelsystemen und andererseits in der kompatiblen Lebensdauer von Materialien und Systemen zu verstehen. In diesem Zusammenhang schuf John Habraken bereits in den 1960er Jahren durch sein Prinzip des offenen Gebäudes einen wertvollen Beitrag zum Übergang in eine nachhaltige und kreislauforientierte Bauweise: Habraken unterscheidet zwischen dem Tragwerk und der Füllung eines Gebäudes. Dabei betrachtet er das Tragwerk als dauerhaft und öffentlich und die Füllungen als vorübergehend, persönlich und veränderbar (Habraken, 1998, S. 56). Das Konzept der „shearing layers“ (deutsch: Scherschichten, Schichten, die sich gegeneinander verschieben) prägte der Architekt Frank Duffy. Dieses Konzept wurde 1994 von Stewart Brand in seinem Buch „How Buildings Learn“ übernommen und weiter ausgearbeitet (Brand, 1994, S. 12–23). Es beschreibt die Idee, dass Gebäude aus verschiedenen Schichten bestehen, die sich in unterschiedlichen Zeiträumen verändern. Das Ziel ist, dass das Gebäude sich anpassen und mit den sich ändernden Bedürfnissen und Anforderungen der Nutzenden mithalten kann. Brand bezieht seine Grundsätze auf unterschiedliche Elemente und Produkte bei Gebäuden. Die sechs Scherschichten umfassen „Site“, „Structure“, „Skin“, „Services“, „Space Plan“ und „Stuff“. Ein wichtiger Aspekt in der Differenzierung ist dabei die unterschiedliche Lebensdauer dieser Scherschichten.

Das Prinzip der Scherschichten in der Gebäudekonzeption zu berücksichtigen, bedeutet die Rückbaubarkeit zu verbessern. Schichten können einfacher zerstörungsfrei ausgebaut und wiederverwendet oder recycelt werden. Daher sollten die unterschiedlichen Schichten so gestaltet werden, dass sie sich leicht voneinander trennen und demontieren lassen. In der Studie Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten, das im Auftrag des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU) 2022 erstellt und veröffentlicht wurde, werden die unterschiedlichen Einflussfaktoren der Scherschichten im Holzbau beschrieben (Müller & Moser, 2022).

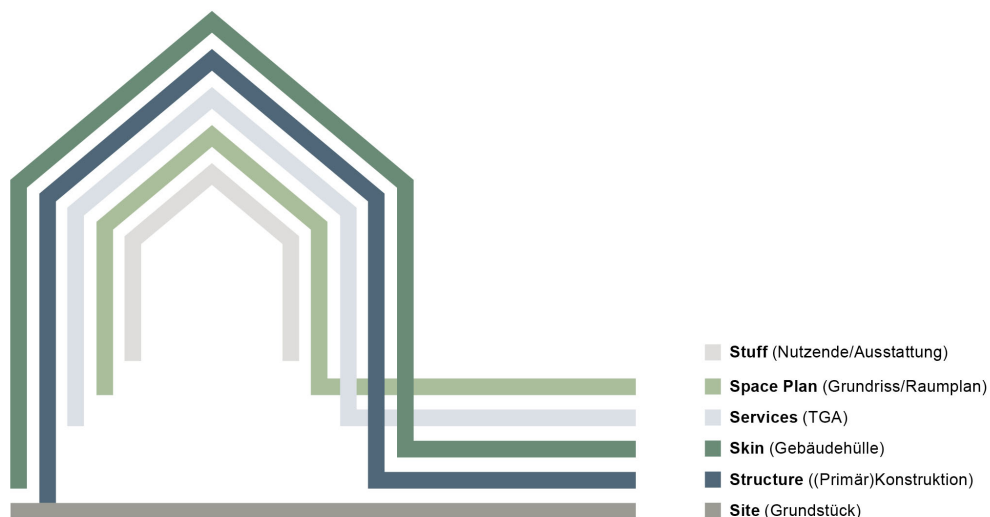


Abbildung 12: Konzept der Scherschichten in Anlehnung an Brand, Shearing layers of change, 1994. Eigene Darstellung nach Brand (1994).

In Abbildung 12 wird das Konzept der Scherschichten grafisch dargestellt. Der Begriff Site steht für das Grundstück, bzw. die geografische Lage. Dieses bleibt statisch und hat damit eine unendliche Lebensdauer. Der Begriff Structure beschreibt die (Primär-) Struktur, also die Primärkonstruktion eines Gebäu-

des. Diese stellt das wichtigste Element eines Gebäudes dar. Die Gebäudehülle (Skin) bildet die physikalische Trennung der Innenräume nach außen und umfasst Bauteile wie Wände, Fassade und Dachflächen. Neben der Schutzfunktion gegen äußere Einflüsse erfüllen diese Bauteile insbesondere gestalterische, aber auch regulatorische Funktionen zwischen innen und außen. Die Services umfassen alle Themen der technischen Gebäudeausrüstung (TGA). Neben der Leitungsführung, Energieversorgung, Heizung und Lüftung etc., gehören diese Systemlösungen vielfach zu denen, die einem schnellen Wandel unterliegen. Neue Entwicklungen, Verschleiß oder Anpassung an Neuerungen im Bereich der Kommunikationstechnologie erfordern eine kontinuierliche Adaption an den Stand der Technik. Der Begriff Space, als Raum, Raumplan oder auch Grundriss umfasst neben der Aufteilung und der Nutzung der Räume eines Gebäudes auch die damit in Verbindung stehenden Oberflächen. Stuff beschreibt neben den Nutzenden selbst die Ausstattung, welche mobil, nicht fest verbaut und stetig veränderbar ist. Die Erneuerungszyklen sind für diese Schichten oftmals kurz. Für Produkte oder Komponenten der Ausstattung entstehen zunehmend Geschäftsmodelle, sogenannte Product-as-a-Service Modellen (Tabelle 2, Seite 44). Bei diesen Geschäftsmodellen geht ein Produkt nicht in den Besitz der Nutzenden über, sondern diese nutzen das Produkt gegen eine Gebühr. Der Anbietende bleibt Eigentümer des Produkts und nimmt es am Ende der Laufzeit wieder (Rau & Oberhuber, 2018, S. 161–174).

Das beschriebene Konzept der Scherschichten beinhaltet die konsequente Trennung von Schichten bzw. Systemen, mit dem Ziel eine möglichst lange Lebensdauer der funktionalen Einzelsysteme und eine unabhängige Anpassung dieser Einheiten gemäß ihrer Lebensdauer zu ermöglichen. Die Trennung von Systemen mit unterschiedlicher Nutzungsdauer spielt für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden und Bauteilen eine wesentliche Rolle; funktionieren sie unabhängig voneinander und lassen sich leichter trennen und können entsprechend ihrer jeweiligen Lebensdauer ausgetauscht oder repariert werden. Die TGA und die damit verbundenen Schächte und Trassenführungen beeinflussen die Konstruktion eines Gebäudes. Die konsequente Trennung dieser Schicht ist bei der Planung kreislauffähiger Gebäude unumgänglich (Müller & Moser, 2022, S. 25). Ein übergeordnetes Ziel kreislauffähiger Gebäude ist eine variable Nutzbarkeit bzw. Mehrfachnutzung von Räumen und eine leichte Anpassbarkeit an sich verändernde Nutzungsszenarien, die Raumplan und Ausstattung betreffen. Dabei ist der Verschleiß von Oberflächen (Decken, Wände, Bodenbelag) und von Einbauteilen (z. B. Türen) auf Raumebene zu berücksichtigen. Eine leichte Anpassung bzw. Austauschbarkeit im Rahmen von Veränderungen sollte gewährleistet sein. Während die genannten Schichten nicht in besonderer Weise durch die Spezifika des Holzbaus beeinflusst werden, sind die Struktur (Primärkonstruktion) und die Gebäudehülle unter holzbauspezifischen Aspekten zu betrachten.

Die Struktur ist Grundlage für die Abmessungen und die Lebensdauer eines Gebäudes (Müller & Moser, 2022, S. 25). Sie ist aufwändig in der Errichtung und eine Änderung geht mit erheblichem finanziellem Aufwand einher. Eine Änderung ist in der Regel nicht ohne eine Demontage weiterer Bereiche wie der Gebäudehülle oder dem Ausbau möglich. Lässt die gewählte Struktur verschiedene Nutzungsszenarien zu, kann sich das positiv auf längere Nutzungsdauern auswirken. Die gewählten mechanischen Verbindungen und Fügungen sind ausschlaggebend für eine Wiederverwendung am Ende des Lebenszyklus. Grundsätzlich bietet die Skelettbauweise dabei eine größere Variabilität, da die Gebäudehülle und die innere Bekleidung unabhängig von der Tragstruktur ist (Kaufmann et al., 2021). Die Lebensdauer der Gebäudehülle ist deutlich geringer als die der Struktur. Gründe hierfür sind neben dem Verschleiß (z. B. Verwitterung) die Anpassung an den technologischen Fortschritt (z. B. bessere Luftdichtheit) oder an die Weiterentwicklung von Regularien (z. B. steigende Anforderungen an U-Wert/ Wärmedämmung). Um bei Bedarf oder technischen Weiterentwicklungen Verbesserungen oder Reparaturen zu ermöglichen, ist eine einfache Rückbaubarkeit und die Austauschbarkeit von Komponenten der Gebäudehülle sinnvoll. Dabei ist die möglichst zerstörungsfreie Trennbarkeit der einzelnen Komponenten und die Zugänglichkeit zu denselben für Veränderungsmaßnahmen entscheidend für die Umsetzung. Im Begriffsverständnis der vorliegenden Arbeit bezeichnet Demontierbarkeit die Verbindungselemente auf konstruktiver Ebene im Bereich der vorgefertigten Bauteile. Trennbarkeit beschreibt die Möglichkeit, Komponenten voneinander zu separieren und Bausysteme in ihre Einzelkomponenten zu zerlegen (siehe Glossar).

## Hierarchieebenen im Holzbau

Für die Übertragung der oben beschriebenen funktionalen, technischen und konstruktiven Einzelsysteme auf das vorgefertigte Bauen mit Holz ist eine Identifikation bzw. eine Übertragung der Scherschichten im Kontext der spezifischen Charakteristika des modernen Holzbaus notwendig. Darauf aufbauend können für jede einzelne Schicht die geeigneten Maßnahmen hinsichtlich ihrer Kreislauffähigkeit beziehungsweise Rückbaubarkeit bestimmt werden.

Eine geeignete Übertragung kann anhand der Hierarchieebenen, die Graf et al. entwickelt haben, stattfinden. Graf et al. haben die Kreislauffähigkeit von Neubauten aus Holz in fünf Hierarchieebenen gegliedert, die Bezug auf sinnvolle Einheiten im Holzbau nehmen (Birk et al., 2022). Nach der Gebäudeebene erfolgt eine Gliederung in die Bauteilebene (Wandelemente, Deckenelemente, etc.), die Bauelementebene und die Komponentenebene. Diese Hierarchisierung wird in der folgenden Erläuterung des Begriffsverständnisses für circularWOOD durch die Begriffsdefinitionen im ATLAS mehrgeschossiger Holzbau erweitert (Kaufmann et al., 2021).

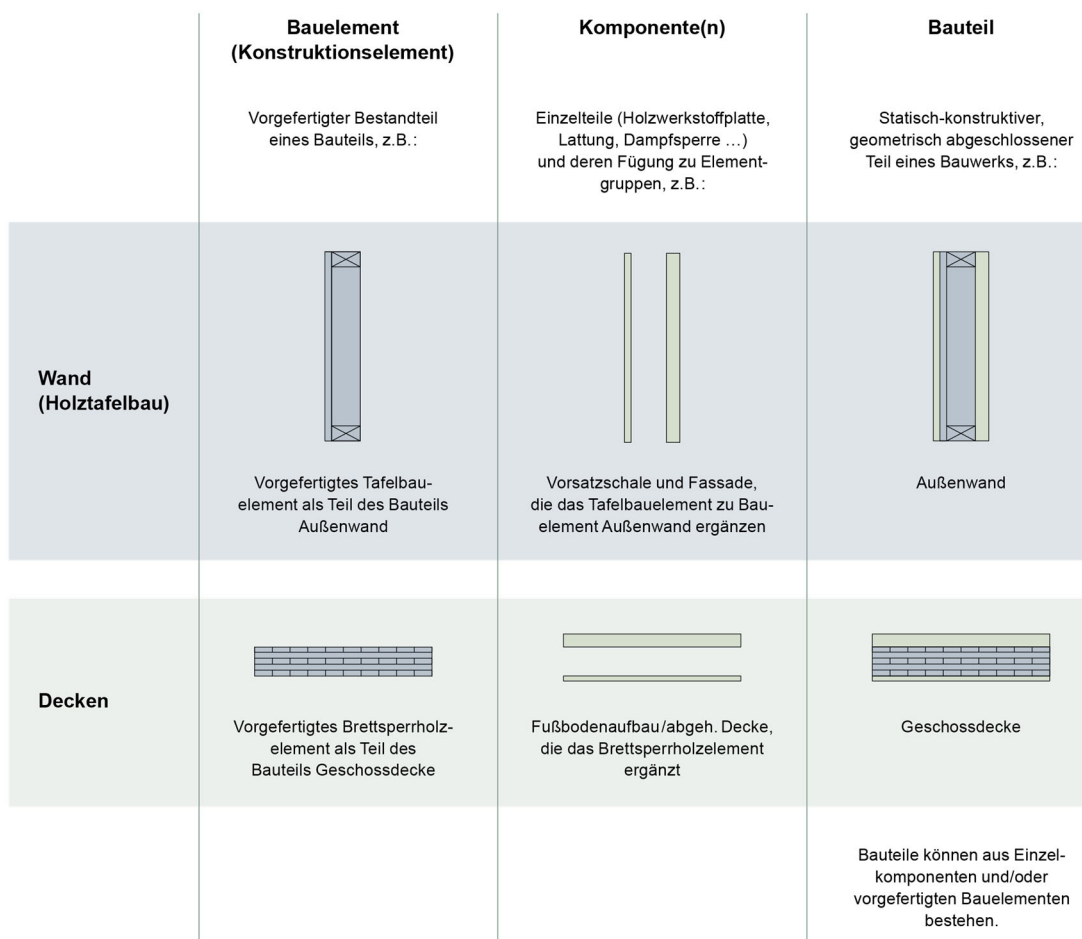


Abbildung 13: Hierarchieebenen im Holzbau im Kontext von Anpassbarkeit und Rückbaubarkeit. Eigene Darstellung in Anlehnung an Graf, Birk, Blaß et al., 2022; Kaufmann et al., 2021, 2021.

## Gebäudeebene

Die Gebäudeebene umfasst das Potenzial die Lebensdauer eines Bauwerks zu erhöhen und damit für einen Ressourcenerhalt zu sorgen. „Flexibilität (...) bezeichnet [...] die Fähigkeit eines Gebäudes, in kurzer Zeit, mit angemessenem Aufwand und zu vertretbaren Kosten auf neue Gegebenheiten reagieren zu können“ (Plagaro Cowee & Schwehr, 2008, S. 14).

### Bauteilebene

Ein Bauteil beschreibt einen statisch-konstruktiv und geometrisch abgeschlossenen Teil eines Bauwerks, z. B. einer Außenwand, einer Geschossdecke o. ä. Bauteile können aus Einzelkomponenten oder vorgefertigten Bauelementen (Konstruktionselementen) bestehen (vgl. Abbildung 13). Ein zerstörungsfreier Rück-, bzw. Ausbau eines gesamten Bauteils ermöglicht dessen Wiederverwendung an anderer Stelle, wie beispielsweise in anderen Bauwerken. Grundvoraussetzung dafür ist die entsprechende Passung ohne große Anpassungen, z. B. hinsichtlich der Abmessungen des jeweiligen Bauteils. Grundlage hierfür ist die zerstörungsfreie Lösbarkeit konstruktiver Verbindungen.

### Bauelementebene

Ein Bauelement beschreibt den vorgefertigten Bestandteil eines Bauteils: So ist etwa ein vorgefertigtes Holztafelbauelement (konstruktiver) Teil des Bauteils Außenwand oder ein vorgefertigtes Brettstapeldeckenelement (konstruktiver) Teil des Bauteils Geschossdecke. Die dem modernen Holzbau zugrundeliegende Elementierung gliedert die einzelnen Bauteile systematisch und bietet damit eine solide Grundlage hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit. Lösbare, leicht austauschbare Elementgruppen (z. B. außen- und raumseitige Bekleidung des Bauteils Außenwand) optimieren die Austauschzyklen und erhöhen die Lebensdauer der (konstruktiven) Bauelemente. Grundlage hierfür ist die zerstörungsfreie Trennbarkeit einzelner Elementgruppen oder Komponenten, die mit der Auswahl geeigneter Verbindungsmittel und dem Verzicht auf Verklebungen einhergeht.

### Komponentenebene

Komponenten beschreiben Einzelteile (Holzwerkstoffplatte, Lattung, Dampfsperre, etc.) deren Verbindung Bauelemente und Bauteile bilden. Neben den konstruktiven Bauelementen (Holztafelbauelement, Brettstapeldeckenelement, vgl. oben), bilden die Komponenten auch solche Elementgruppen (z. B. Fassade = außenseitige Bekleidung des Bauteils Außenwand), die einem regelmäßigen Austauschzyklus unterliegen können. Auf Komponentenebene sind reversible Verbindungen und eine möglichst zerstörungsfreie Trennbarkeit Voraussetzung für die Weiterverwendung. Um eine Wiederverwertung (Recycling) zu gewährleisten, ist neben der Sortenreinheit des Materials (s. u.) auch der Ausbau der einzelnen Komponenten ohne Verunreinigungen und Rückstände notwendig. Reversible Verbindungen garantieren den Austausch von Verschleißschichten auf Bauteilebene und erhöhen damit den Erhalt und die Lebensdauer konstruktiver Bauelemente.

### Materialebene

Die Materialebene beschreibt den für die Herstellung eines Gebäudes benötigten Rohstoff oder Werkstoff (vgl. Material und Konstruktion, Seite 55). Um eine Wiederverwertung (Recycling) zu gewährleisten, ist die Sortenreinheit des Materials notwendig. Das bedeutet, es handelt sich um Stoffe mit gleichen Werkstoffeigenschaften. Im Holzbau vielfach verwendete Holzwerkstoffe wie Spanwerkstoffe (OSB, Spanplatte) oder Faserwerkstoffe (wie MDF-Platte) sind nicht sortenrein, da sie Leim als zusätzlichen Werkstoff beinhalten. Dennoch beinhalten diese nicht sortenreinen Werkstoffe das Potenzial einer Wiederverwendung oder einer stofflichen Nutzungskaskade. Notwendig ist auch an dieser Stelle die Auswahl geeigneter Verbindungsmittel und der Verzicht auf Verklebungen.

## Bauliche Umsetzung

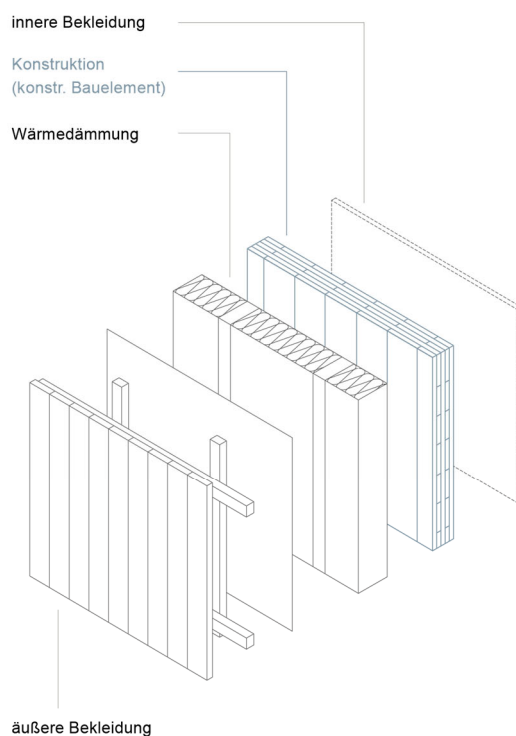
### Bauelemente

Ein Charakteristikum des Holzbaus ist das Bauen mit linearen Bauelementen. Weitere, meist konstruktiv verwendete Bauelemente entstehen durch die Verleimung unterschiedlicher Schichten, woraus flächige, meist baukonstruktiv wirksame Lagenwerkstoffe entstehen (Brettschichtholz und Brettspertholz). In der Literatur wird aufgezeigt, dass Brettschichtholzdecken oder Brettschichtholzwänden als große Elemente

einfacher rückbaubar sind. Das liegt an deren Großformatigkeit und der damit verbundenen relativ zerstörungsfreien Demontierbarkeit der Elemente (Ebert et al., 2020). Der (Schichten-)Aufbau der einzelnen Komponenten bei solchen Konstruktionen bedeutet einen weiteren Vorteil (Hillebrandt et al., 2018a, S. 12).

Die Demontage konstruktiv verbundener, linearer Elemente (Brettschichtholzträger) führt vielfach zu größeren Eingriffen in das Material, was allein die Abmessung von Trägern und Stützen mit sich bringt. Der Aufbau von Holztafelbaukonstruktionen stellt eine besondere Herausforderung hinsichtlich der Demontier- und Trennbarkeit der Konstruktion dar: Das tragende Element eines Holztafelbauteils stellt in der Regel ein genagelter oder geschraubter Rahmen aus Vollholz- oder anderen Holzprodukten dar, welcher durch eine flächige Beplankung aus Holz, Holzwerkstoffen oder anderen Plattenwerkstoffen ausgesteift wird. Die vorgefertigten Holztafelbauelemente können sowohl einseitig als auch beidseitig geschlossen sein. Die Platten werden dabei je nach Werkstoff geheftet, genagelt oder auch verschraubt. Die Gefache des Rahmentragwerks werden in der Regel vollständig mit Dämmstoffen ausgefüllt. Nach außen kann das Bauteil durch eine vorgehängte Fassade in den unterschiedlichsten Ausführungen, von der hinterlüfteten Holzfassade bis zum Wärmedämmverbundsystem, abgeschlossen werden (Informationsdienst Holz, 2015). Bei Außenwand-Bauteilen ist die Schicht des Konstruktionselements nicht von der Gebäudehülle zu trennen, da die Tragstruktur Teil der Gebäudehülle ist.

#### Bauteilschichten Aussenwand, Holzmassivbauweise



#### Bauteilschichten Aussenwand, Holztafelbauweise

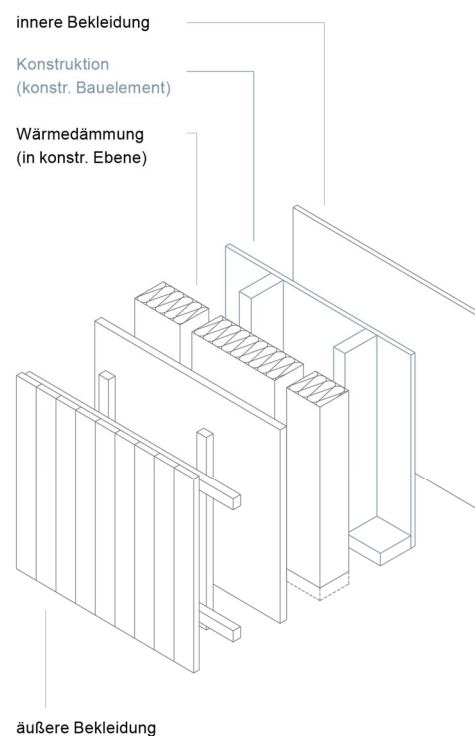


Abbildung 14: Schichtenaufbauten der Gebäudehülle im Holzbau. Eigene Darstellung nach Kaufmann et al., 2021, S. 100.

### Wand- und Deckensysteme im Holzbau

Die Wiederverwendung von Bauteilen (Wand, Decke, etc.) ist mit unterschiedlichen Annahmen verbunden. Es sollte die Möglichkeit bestehen, das Bauteil aktuellen Anforderungen anzupassen. Voraussetzungen für eine Nachrüstung oder Erneuerung sind die leichte Zugänglichkeit und Austauschbarkeit

oder auch die einfache Trennbarkeit von Verschleißschichten wie Fassadenbekleidungen, Innenverkleidungen etc. Die Wiederverwendung eines Bauteils mit Einsatz im gleichen Verwendungszweck nach dem Rückbau setzt eine Passung in einem anderen Gebäude voraus. Die Möglichkeit ist dann gegeben, wenn auf Grundlage der zukünftigen Verfügbarkeit das Bauteil in einem anderen Gebäude konkret eingeplant wird. Eine andere Möglichkeit ist ein Systembaukasten, der eine Passung von Bauteilen berücksichtigt. In der Forschung wurden solche Baukastensysteme bereits untersucht (Winter et al., 2019). Sie zeigen, dass unterschiedliche baurechtliche Anforderungen und die Anpassungen an individuelle Vorgaben und Wünsche eine Hürde darstellen. Eine Untersuchung dieser Ansätze im Bereich der Wiederverwendung von Bauteilen ist bislang nicht erfolgt. Eine solche Untersuchung wird vermutlich zusätzlich die Entwicklung einer neuen Logistikkette im Bereich Rückbau erfordern. Die im vorgefertigten Holzbau bestehenden Logistikprozesse für den Neubau dienen dafür als Grundlage.

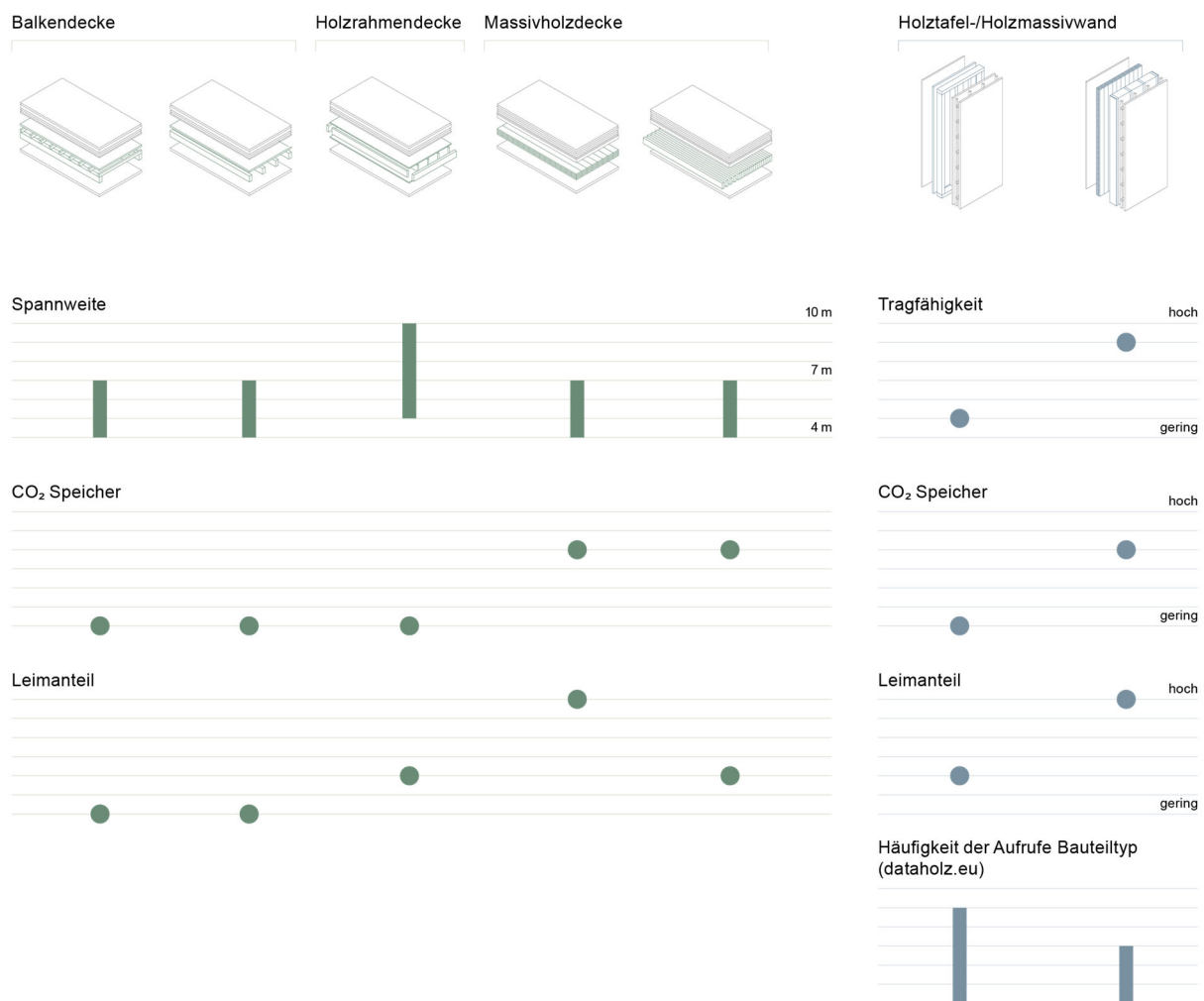


Abbildung 15: Relevante Wand- und Deckensysteme im Holzbau. Eigene Darstellung.

Im Sinne einer Gesamtübersicht werden an dieser Stelle die relevanten Wand- und Deckensysteme im Holzbau aufgeführt. In der Literatur bestehen bereits Zusammenstellungen, die eine Einordnung der Systeme hinsichtlich bestimmter Kriterien, die für die Betrachtung der Kreislaufgerechtigkeit von Interesse sind. Eine differenzierte und umfängliche Einordnung der einzelnen Materialien bieten Plattformen wie z. B. die Ökobaudat, die als Grundlage für die Gebäudeökobilanzierung dient. Die genannten Übersichten beschreiben unter anderem den CO<sub>2</sub>-Speicher und den Leimanteil verbreiteter Konstruktion und dienen einer ersten Einordnung (Kaufmann et al., 2021). Tragfähigkeit und Spannweiten lassen Rück-



schlüsse hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit und Nutzungsflexibilität der Systeme zu. Über eine Abfrage bei der Plattform dataholz ([www.dataholz.eu](http://www.dataholz.eu)) wurden diejenigen Bauteile identifiziert, die auf der digitalen Plattform in Deutschland in den Jahren 2019 und 2020 am häufigsten abgerufen werden (Seitenzugriffe 2019: 1.100.000 /2020: 1.400.000). Diese Angaben lassen Vermutungen hinsichtlich der Häufigkeit der Verwendung bzw. Rückschlüsse darauf zu, welche Bauteile im Interesse der Planenden stehen. (Quelle: dataholz, HFA, 2022). Bei den Wandaufbauten sind dabei zwei Holzmassivbauelemente und drei Holztafelbauwandelemente besonders gefragt. Das spiegelt die Tatsache wider, dass der Holztafelbau den höchsten Marktanteil in Deutschland besitzt (BDZ, 2020). Bei den Deckenelementen liegen die höchsten Abrufzahlen bei den Brettspertholzdecken.

### Fügung und Verbindung

Voraussetzung für eine sortenreine Trennung sind neben der geeigneteren Materialwahl, zerstörungsfrei lösbare Verbindungen und der Verzicht auf Verklebungen der einzelnen Komponenten. Mit Blick auf lösbare Verbindungen bei Holzbauten wird in der Regel auf den Verzicht von Nagel- oder Klammerverbindungen verwiesen (Hebel et al., 2022; Hillebrandt et al., 2018a). Ein Großteil der statisch wirksamen Verbindungen erfolgt über Verschraubungen. Ob und wie diese konstruktiven wirksamen Schrauben unter Voraussetzung einer maximal langen Lebensdauer eines Gebäudes lösbar sind, ist bislang nicht umfassend erforscht.

Im Rahmen des Verbundforschungsprojekts „Wandelbarer Holzhybrid“ (Graf, Birk, Blaß et al., 2022) erfolgte eine Vorstudie zur Lösbarkeit von Schrauben am Institut von Professor Blaß. Hierfür wurden unterschiedliche Schraubentypen (Durchmesser 8 Millimeter) mit verschiedenen Einbindelängen sowohl in Buchen-Furnierschichtholz als auch in Fichtenholz eingebracht und für eine Dauer von bis zu sechs Monate in einer Umgebung von 20 Prozent Luftfeuchtigkeit gelagert. In dem Buchen-Furnierschichtholz konnten Schrauben ohne Vorbohrung nur bis zu einer Länge von 80 Millimeter wieder ausgeschraubt werden. In Fichtenholz waren Vollgewindeschrauben ab einer Länge von 380 Millimeter nicht mehr lösbar. Voraussetzungen für die Lösbarkeit der Schrauben, so die Ergebnisse, waren kurze Einbindelängen der Schrauben und ein Vorbohren. Da Schrauben in vorgebohrten Löchern und kurzen Einbindelängen lösbar sind, wurde jedoch auch der Einfluss auf die Ausziehtragfähigkeit bei mehrfacher Verwendung von Schraubenkanälen versuchsstechnisch untersucht. Dabei wurde eine Reduzierung der Tragfähigkeit festgestellt. Diese Untersuchungen zeigen, dass Schrauben nur als bedingt lösbar betrachtet werden können. Im Rahmen der Untersuchung wurde keine Wechselbeanspruchung durch klimatische Veränderung oder einer Belastung berücksichtigt, welche die Lösbarkeit von Schrauben erwartungsgemäß zusätzlich negativ beeinflussen könnte (Blaß, 2022). Mit Blick auf die Zugänglichkeit und Auffindbarkeit von (statisch wirksamen) Verbindungen und deren Lösbarkeit ist die Dokumentation der Position und Anzahl von Bedeutung. Strukturen hinsichtlich der Dokumentation sind an dieser Stelle bislang nicht etabliert. Im Bereich der statisch wirksamen Verbindungen und deren zerstörungsfreie Rückbaubarkeit gibt es vielversprechende Ansätze, wie beispielsweise der Einsatz formschlüssiger Verbindungen oder der Entwicklung spezieller Konus-Adapter (Konus-Dübel). Solche Verbinder, die durch ihre größere Lastübernahme in geringerer Anzahl eingesetzt werden und in der Fertigung genau definiert sein müssen, beinhalten ein großes Potenzial und bedürfen weiterer Forschung.

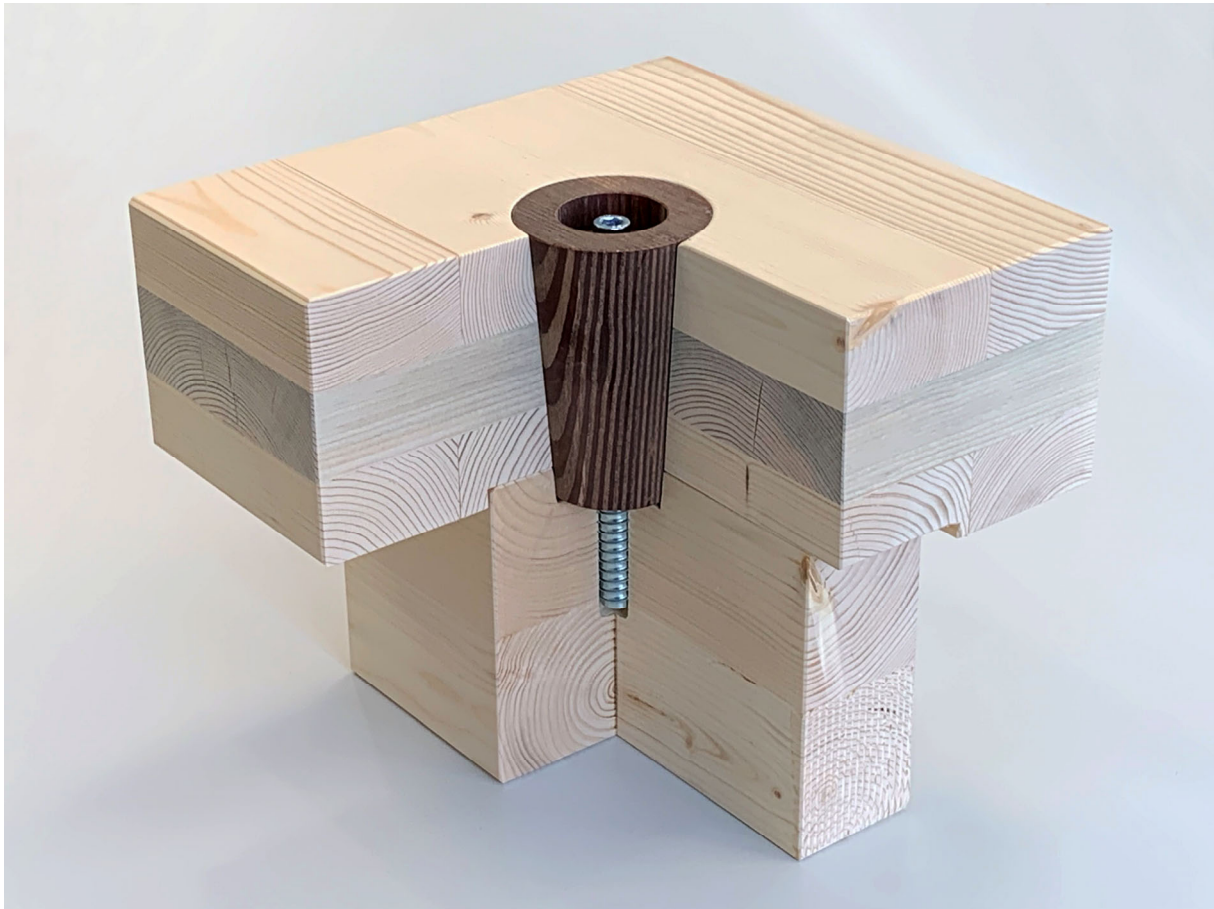


Abbildung 16: Lösbare Konus-Verbindung. © t-lab, Holzarchitektur und Holzwerkstoffe

Die Herausforderungen hinsichtlich der Lösbarkeit von Schraubverbindungen zeigt sich auch im Bereich der Trennbarkeiten einzelner Komponenten. Die Montage von Plattenwerkstoffen, Lattungen und Fassadenbekleidung mittels Schrauben wird in der Literatur als Grundlage für deren Rückbaubarkeit beschrieben (Hebel et al., 2022; Hillebrandt et al., 2018a). Dabei werden die Parameter einer wirtschaftlich darstellbaren Rückbaubarkeit oftmals außer Acht gelassen. Bei Versuchsanordnungen zur Rückbaubarkeit einer Holzbekleidung an einer Außenwand in Holzständerbauweise zeigte sich insbesondere das Lösen vieler Verschraubungen als zeitaufwendig. Hinzu kommt, dass die eingeschränkte Lösbarkeit von Schrauben durch Verwitterung in diesem Fall nicht berücksichtigt werden konnte (Rosen, 2021, S. 121). Klemm- oder Einhängesysteme aus dem Bereich der Fassadentechnik können hier Hinweise für die Fertigung größerer und damit wirtschaftlich besser darstellbare Systeme aufzeigen. Die Beschreibungen machen deutlich, dass im Bereich der Verbindungs- und Befestigungsmittel ein großes Forschungsdesiderat im Holzbau zu verzeichnen ist.

#### Einzelkomponente und Material

Bei der Wahl geeigneter Materialien für die Erstellung eines Holzbaus spielt neben den konstruktiven Bauelementen die Auswahl der Einzelkomponenten für die Schichtenaufbauten eine Rolle. Der Kreislauf-fähigkeit von Holzbauten entsprechend müssen dabei verschiedenen Aspekte berücksichtigt werden:

Zum einen muss die Dauerhaftigkeit der verwendeten Materialien für den Nutzungszeitraum, der in Zusammenhang mit ihrem Funktionszeitraum steht, berücksichtigt werden. Die Planung von Dauerhaftigkeit bedeutet, Entscheidungen über die Beschaffenheit und den Aufbau von Materialien zu treffen, die ein dynamisches Gleichgewicht zwischen allmählichen und schnellen Veränderungen, zwischen von außen und von innen gesteuerten Kräften ermöglichen. Die Lebensdauer von Baumaterialien und der

Grad ihrer Verwendung in Bauteilen bestimmen die Einfachheit oder Komplexität ihrer Reparatur oder ihrer Wiederverwendung. Materialien, die zerlegbar und anpassungsfähig sind, erlauben langfristig eine Wiederverwendung und dienen dem dauerhaften Einsatz. Weiter sind die Materialgesundheit und die Zusammensetzung der verwendeten Materialien zu dokumentieren und transparent darzustellen. Grundsätzlich muss es sich um ungiftige und nicht gefährliche Materialien handeln. Bei der Materialauswahl sollten wiederverwendbare und recyclebare Materialien bevorzugt werden. Unter Berücksichtigung von der Lösbarkeit der Verbindungen ist zu gewährleisten, dass sich die einzelnen Schichten sortenrein und unter Berücksichtigung des damit verbundenen ökonomischen Aufwands voneinander trennen lassen. Der moderne Holzbau hat sich bei seiner Baustoffverwendung zunehmend in Richtung des Einsatzes von Plattenwerkstoffen entwickelt. Diese Plattenwerkstoffe (Spanwerkstoffe, Faserwerkstoffe oder Lagenwerkstoffe) Holzwerkstoffplatten verfügen über einen Bindemittelanteil von 3 bis 15 Prozent. Deswegen ist hier neben der Nachhaltigkeitsbewertung der Holzbezugsquelle auch die Qualität der Bindemittel von erheblicher Bedeutung (Hillebrandt et al., 2018a, S. 80).

Als umweltfreundliche und gesundheitsverträgliche Alternative gelten Produkte, die Lignin (ein Bestandteil von Holz) als Bindemittel einsetzen. Die Auseinandersetzung mit Plattenwerkstoffen zeigt, dass umwelt- und gesundheitsschonende Produkte zwar verfügbar sind, allerdings betrifft das nicht das Gros der angebotenen Produkte. Es bedarf auf Seiten der Planenden einer genauen Kenntnis und Beschäftigung mit dem Material, um zu gewährleisten, dass die gewünschten Produkte zur Anwendung kommen und verbaut werden. Hinsichtlich der Transparenz bei der Nachvollziehbarkeit verwendeter Inhalte sind die Herstellenden aufgefordert, mehr und konkrete Informationen zur Verfügung zu stellen. Zwar berufen sich die Herstellenden auf unterschiedliche RAL-Gütekriterien<sup>8</sup> und die Auflagen sind hoch. Eine schnelle, für die Planenden einfache Nachvollziehbarkeit und Transparenz, welche Materialien bei der Herstellung zum Einsatz kommen, ist jedoch derzeit nicht gegeben (Hillebrandt et al., 2018a; Rosen, 2021). So lässt sich beispielsweise nicht konkret nachvollziehen, wie viele Anteile Altholz in ein konkretes Spanplattenprodukt fließen. Zwar zeigt die Verfolgung der Stoffströme, dass insgesamt ca. 30 Prozent des Altholzaufkommens in die Spanplattenproduktion fließen (Mantau et al., 2018). Die Recherche bei verschiedenen Herstellerfirmen im Rahmen dieser Forschungsarbeit liefert allerdings keine konkreten Angaben zum verwendeten Altholzanteil in den angebotenen Produkten.

Im Bereich des Holzbaus werden häufig Holzwerkstoffplatten und Verbundwerkstoffe eingesetzt. Neben Vollholzprodukten haben Plattenwerkstoffe ebenfalls das Potenzial zur kaskadischen Nutzung (Bauholz > OSB-Platte > Spanplatte). Sie wirken sich dadurch positiv auf die Ökobilanzierung aus. Darüber hinaus eignen sie sich durch ihre Abmessung und bei entsprechender Trennbarkeit zur Verwendung im Sinne einer Wiederverwendung nach dem Rückbau. Schraubverbindungen (s. o.) werden oft als lösbare Befestigungsart präferiert (Hillebrandt et al., 2018a, S. 64). Die Trennbarkeit verlangt jedoch einerseits die Zugänglichkeit und andererseits steht der erhöhte zeitliche Aufwand zur Lösung einer Vielzahl von Schrauben im Widerspruch zu einer wirtschaftlichen Wiederverwendung. Damit besteht auch im Bereich der Verwendung von Plattenmaterialien Optimierungsbedarf hinsichtlich Lösungen, nicht zuletzt im Sinne einer ökonomischen Wiederverwendung. Ebenso sieht sich der Holzbau im Kontext der Sortenreinheit gebrauchter Materialien mit weiteren Fragestellungen konfrontiert: Bei Anwendung des Cradle-to-Cradle-Prinzips ist eine der Voraussetzungen die Sortenreinheit der einzelnen verwendeten Materialien. Rund um den Holzbau gab es in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Materialentwicklungen. So haben sich beispielsweise feuchtevariable Bahnen als Ersatz für die Verwendung von PE-Folien etabliert. Mit der Einführung der feuchtevariablen/ feuchteadaptiven Dampfbremsen hat sich das Bauschadensfreiheitspotenzial im Holzbau erheblich erhöht. Bei diesen Folien handelt es sich im Gegensatz zur klas-

---

<sup>8</sup> RAL-Gütezeichen sind sichtbare, interessenneutrale und objektive Ausweise der Güte von Produkten. Sie stehen für besondere Qualität, Sicherheit und Zuverlässigkeit und gelten aufgrund ihrer Neutralität als sehr vertrauenswürdig. RAL-Gütezeichen sind durch das System der RAL-Gütesicherung mit objektiv überprüfbaren Gütekriterien, die stetig überwacht werden, transparent und sicher.

sischen Dampfsperre, der PE-Folie um kein sortenreines Produkt, sondern um eine Verbindung verschiedener Systemkomponenten. Die Abstimmung dieser technischen Entwicklungen mit den Anforderungen an die Sortenreinheit zeigt den Bedarf einer vertieften Auseinandersetzung des Holzbaus mit seinen Einzelkomponenten.

## Exkurs Abfallrichtlinie

Wie bereits beschrieben, spielt die Verwendung von Holzwerkstoffplatten im modernen Holzbau, insbesondere beim Holztafelbau, eine bedeutende Rolle. Aus diesem Grund findet ein Exkurs zur Einordnung der Altholzverwertung bei deren Produktion statt:

Altholz kann im Sinne der kaskadischen Nutzung des Primärrohstoffs Holz als Ausgangsmaterial für die Holzwerkstoffplattenherstellung verwendet werden. Der Altholzmarkt ist jedoch seit mehreren Jahren von einer sehr starken Nachfrage geprägt. Diese ist auf die Schwankungen in der Verfügbarkeit von Altholz, auf die gestiegenen Preise des Primärmaterials Holz und nicht zuletzt auf die Konkurrenzsituation zur energetischen Verwertung zurückzuführen. Ein Vorrang der stofflichen Verwertung von Altholz oder die Pflicht zur mehrfachen, kaskadischen Nutzung vor der energetischen Verwertung sind bislang durch Rechtsverordnungen nicht festgelegt. Die Altholzverordnung (AltholzV) in Deutschland stuft die stoffliche ebenso wie die energetische Verwertung als hochwertig ein, obwohl in der fünfstufigen Abfallhierarchie des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG) die stoffliche Verwertung der energetischen übergeordnet ist: Mit der Einführung der Abfallhierarchie durch die europäische Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL Amtsblatt EG L 312 S. 3, 2018) und deren Umsetzung im Kreislaufwirtschaftsgesetz Bundesregierung (KrWG, 2018) haben die Abfallvermeidung und die Vorbereitung zur Wiederverwendung Vorrang vor dem Recycling und der energetischen Verwertung. Dabei liegt die Abfallvermeidung außerhalb der Regelungen der AltholzV, da diese ansetzt, bevor ein Stoff zu einem Abfall geworden ist. Die stoffliche Verwertung von Altholz findet fast ausschließlich in der Holzwerkstoffindustrie zur Herstellung von Spanplatten statt. Ein Altholzeinsatz bei der Produktion von OSB-Platten ist bislang aufgrund von Produktanforderungen eher limitiert, jedoch wird an dieser Stelle bereits geforscht (Strohmeier, 2019). Bei MDF-Platten bleibt der Einsatz aufgrund des anfälligen Produktionsprozesses eher begrenzt.

Der Altholzanteil bei in Deutschland produzierten Spanplatten betrug 2016 ca. 27 Prozent; das entspricht einer Menge von 1,5 Millionen Tonnen pro Jahr (Döring et al., 2018). Diesem standen ca. 9 Mio. t/a an A I- und A II-Altholz<sup>9</sup> gegenüber. Da es keine generellen technischen Beschränkungen des Altholzanteils in Spanplatten gibt, wäre es möglich den Einsatz von Altholz in der Spanplattenindustrie zu steigern. Der Verband der deutschen Holzwerkstoffindustrie (VHI) spricht von einem möglichen Einsatz eines Altholzanteils von nahezu 40 Prozent in der Spanplatte. Der Anteil der Altholzverwendung, z. B. bei der Spanplattenproduktion differiert in Europa sehr stark. Während in Dänemark bis zu 61 Prozent Altholz verwendet werden, betragen die Altholzanteile in Italien bis zu 90 Prozent (Strohmeier, 2019). Im Rahmen einer Evaluierung, die durch das Deutsche Umweltbundesamt beauftragt wurde, erfolgte 2020 eine Überprüfung, inwieweit die bestehende Altholzverordnung an die rechtlichen Änderungen sowie technischen und analytischen Fortschritte anzupassen ist und welche Defizite und Hemmnisse diese beinhaltet (Flamme et al., 2019). Zentrales Ergebnis ist, dass sich die grundsätzliche Struktur und die Ziele in der Praxis bewährt haben. Jedoch müssen diese Ziele an den aktuellen technischen Fortschritt angepasst werden. Hierzu wurden insgesamt 28 Änderungsvorschläge erarbeitet und bewertet. Festzuhalten ist, dass der Stoffstrom Altholz derzeit einem komplexen Regelungssystem unterliegt. Das betrifft insbesondere die Einstufung der Gefährlichkeit von Altholz, da an dieser Stelle in verschiedenen Regelungswerken unterschiedliche Methoden angewendet werden (Glitzka, 2021). Gleichzeitig hat das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) 2015 im Rahmen einer Untersuchung handelsüblicher

---

<sup>9</sup> Die Altholzverordnung unterteilt Altholz je nach Schadstoffbelastung in die vier Kategorien A I bis A IV und in PCB-Altholz: Für die Herstellung von Holzwerkstoffen sind die Altholzkategorien A I und A II zulässig (eingeschränkt A III)

Spanplatten festgestellt, dass bei heute hergestellten und in Verkehr gebrachten Spanplatten nicht in allen Fällen von einer stofflichen Nutzung des Plattenmaterials gemäß den Anforderungen der AltholzV ausgegangen werden kann (Bayerisches Landesamt für Umwelt [LfU], 2015). Inwiefern die Novelle der Altholzverordnung hier eine positive Veränderung, hin zu einer größeren kaskadischen Nutzung bringt, bleibt abzuwarten. Vor dem Hintergrund der aktuellen Energiekrise bleibt die Frage, inwiefern die stoffliche Mehrfachnutzung der thermischen Verwertung voranzustellen vorangetrieben wird ebenfalls offen. Studien belegen zudem, dass sich heute bereits 75 Prozent aller im Bauwesen verwendeten Hölzer einer kaskadischen Nutzung zuführen ließen, da sie die Schadstoffgrenzwerte einhalten (Hillebrandt et al., 2018a, S. 65). Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde nachgewiesen, dass die kaskadische Nutzung von Holz mit einer Quote von 46 Prozent deutlich effizienter ist, als die bei der einfachen Nutzung; hier beträgt die Quote 21 Prozent (Risse et al., 2017). Bei genanntem Forschungsprojekt wurde mittels eines ganzheitlichen Lebenszyklus-Ansatzes, der die Energie sämtlicher verwendeter Materialien, der internen Recyclingprozesse und den Verbrauch weiterer primärer Ressourcen (wie etwa der beanspruchten Flächen) berücksichtigte, der Weg einer Tonne Altholz mit der Bereitstellung derselben Funktionen aus Frischholz verglichen. Im ersten Szenario wurde das Altholz in einem Kaskadensystem, zunächst zu Schnittholz und danach noch zwei weitere Mal zu Spanplatten verarbeitet. Im Referenzszenario wurden dieselben Produkte hergestellt, allerdings jeweils aus Frischholz. Hier zeigt sich der Wirkungsgrad der kaskadischen Nutzung. Eine weitere, zu bevorzugende Möglichkeit, die direkte thermische Verwertung zu verhindern, besteht darin, das im Holzbau verwendete Material wiederzuverwenden. Planen und Bauen im Sinne einer Wiederverwendbarkeit verhindert, dass gebrauchtes Material in den Abfallkreislauf gelangt.

## Erkenntnis

Obwohl das Material Holz bzw. der Holz(hybrid)bau in zahlreichen Studien diskutiert wird (Cristescu, C., Honfi, D., et al., 2020; Guldager Jensen & Sommer, 2019; Hillebrandt et al., 2018a; Hradil et al., 2014), fehlen grundlegende Arbeiten mit einem praxis- und anwendungsnahen Fokus auf den kreislauffähigen Holzbau. Hillebrandt et al. (2018a) geben in einer Übersicht zu Füge- und Holzbautechniken erste Hinweise auf Potenziale, aber auch die Herausforderungen für ein umfassendes Verständnis von recyclinggerechten Holzbautechniken. Trotz zahlreicher Konzeptgebäude und Studien fehlen vollständige technische Entwürfe für recyclinggerechte Holzgebäude, die sich technisch, ökologisch und ökonomisch realisieren lassen.

## Fallstudien

### Empirische Untersuchungen mittels Fallstudien

Im folgenden Teil der Forschungsarbeit werden, die in den vorausgehenden Kapiteln gewonnenen Erkenntnisse anhand einer Fallstudienanalyse ergänzt. Diese Methode wurde gewählt, weil sich anhand konkreter Umsetzungsprojekte relevante Aspekte genau und detailliert beschreiben lassen. Dabei werden nicht nur Aussagen über einen konkreten Fall getroffen, sondern das Gebäude und der Erstellungskontext als Gegenstand der Untersuchung, liefern Erkenntnisse basierend auf den formulierten Fragestellungen und Annahmen. Dies erlaubt eine Ableitung von Erkenntnissen, die über das konkrete Projekt hinausgehen. (Flick, 2011, S. 177–178).

### Methodischer Hintergrund

Die Anzahl mehrgeschossiger Holzbauten, die kreislauffähig geplant und/ oder gebaut werden, ist bislang sehr gering (siehe Liste der Umsetzungsbeispiele in Anlage I). Vor diesem Hintergrund entspricht die Untersuchung der Definition der Fallstudie dem Verständnis von Blatter (Blatter & Haverland, 2012, S. 18–19; Blatter et al., 2018, S. 173–174). Die Definition einer Fallstudie legt zugrunde, dass es sich um eine geringe Anzahl von Fällen handelt (small-N studies), die keine statistischen Analysen zulässt, mit Hilfe derer vielfach große Fallzahlen analysiert und ausgewertet werden. Die Fallstudien finden in der realen Welt statt, so dass von Seiten der Untersuchenden oder Forschenden kein Einfluss auf Abläufe genommen werden kann. Darüber hinaus entfällt der wertend-vergleichende Ansatz, der meist bei einer mittleren Anzahl von Fällen Anwendung findet. Weitere Charakteristika sind unterschiedliche, meist nicht-standardisierte Beobachtungen und eine iterative Reflexion hinsichtlich der konkreten Beobachtungen im Kontext abstrakter Erkenntnisse.

Der Fallstudie dieses Forschungsprojekts ging eine intensive Desktoprecherche zu Umsetzungsbeispielen voraus, die über die gesamte Projektlaufzeit als Übersichtsarbeit durchgeführt und aktualisiert wird (siehe Anlage I). Diese Desktoprecherche beinhaltet unterschiedliche Aspekte der Kreislauffähigkeit und geht über den mehrgeschossigen Holzbau hinaus. Neben Holzbauten in unterschiedlicher Bauweise werden auch Umsetzungsbeispiele im Bereich der Hybridbauten, Stahlbauten, Bestandsbauten usw. aufgenommen. Außerdem sind unterschiedliche Anwendungsszenarien abgebildet: So finden sich in der Liste beispielsweise Neubauprojekte, bei denen die Verwendung gebrauchter Materialien im Fokus steht, Bestandgebäude, die mit Hilfe recycelter Materialien ertüchtigt werden, bis hin zu Neubauten, die den Ansatz der späteren Rückbaubarkeit verfolgen. Die zur Verfügung stehende Informationstiefe zu den recherchierten Projekten ist sehr unterschiedlich. Hinzu kommt die nicht konsistente Verwendung unterschiedlicher Begriffe. Beides erschwert oftmals die eindeutige Ein- und Zuordnung der Umsetzungsbeispiele oder macht diese unmöglich.

Die Auswahl der Fallstudien begründet sich zunächst in der Annahme, dass es sich um Projekte handelt, die kreislaufgerechtes Bauen erfolgreich planen und umsetzen. Um eine klare Abgrenzung zu erreichen, liegt der Fokus auf Gebäuden, deren Primärkonstruktion vorwiegend in Holz geplant und ausgeführt wird. Bei den zum Einsatz kommenden Baustoffen handelt es sich ausschließlich um aus Primärrohstoffen gewonnene Produkte. Ebenfalls unberücksichtigt bleiben Gebäude, bei denen der Einsatz gebrauchter Materialien im Sinne einer Wieder- oder Weiterverwendung fokussiert wird. Der Einsatz von Sekundärrohstoffen, beispielsweise bei der Erstellung von Sperrholz wird vorausgesetzt, da diese Verwendung im Holzbau bereits etabliert ist. Im Sinne der Gesamtausrichtung des Forschungsprojekts werden bei der Auswahl der Fallbeispiele vorwiegend diejenigen Aspekte ausschlaggebend, die im Kontext eines zukünftigen Einsatzes von Materialien, Bauelementen oder Bauteilen in der Weiterverwendung stehen.

Die Daten, die aus der Fallstudienanalyse gewonnen werden, gliedern sich in Materialsichtung, Feldbeobachtung und werden durch Interviews und eine fallstudienorientierte Befragung mittels Fragebogen erweitert:

- **Materialsichtung:** Als Informationsquellen dienen neben allgemeinen Projektdaten und Planunterlagen, die durch Projektbeteiligte zur Verfügung gestellt werden, Materialpässe sowie Darstellungen in der Fachpresse.
- **Feldbeobachtung:** Eine umfangreiche Feldbeobachtung wird nicht als zielführend erachtet, da ein Teil der Fallstudien bereits fertiggestellt ist. Der Ortsbesuch fertiggestellter Projekte birgt nach Einschätzung der Forschungsgruppe keine Erkenntnis. Zwei Projekte befinden sich in der Bauphase bzw. wurden während des Forschungsverlaufs fertiggestellt. Hier trug ein Vor-Ort-Besuch dazu bei, weitere interessante Fragen aufzudecken. Diese Besuche haben die Forschung ergänzt.
- **Interviews:** Die durchgeführten Interviews (siehe Seite 32) dienen dazu, projektspezifische Parameter für die Kreislauffähigkeit der jeweiligen Fallstudie näher zu beleuchten.
- **Befragung:** eine durchgeführte, teilstrukturierte Befragung dient dazu, Detailwissen von unterschiedlichen Stakeholdern einzuholen. Die Expert:innen werden dabei nicht als Einzelfall, sondern als Spezialist:innen für ein bestimmtes Handlungsfeld, also als Repräsentanten einer bestimmten Gruppe gesehen (Flick, 2011, S. 215).

### Ziel des Modellansatzes

Mit Hilfe von Fallstudien werden Umsetzungsbeispiele aufgezeigt, die unter verschiedenen Voraussetzungen unterschiedliche Ansätze und Schwerpunkte verfolgen. Ziel ist es, anhand der Analyse des Planungs- und Erstellungsprozesses, der technischen Umsetzung und unter Einbeziehen des Kontexts, relevante Parameter für die kreislauffähige Umsetzung von Holzbauwerken zu identifizieren. Mit Hilfe der Beschreibung der Fallstudien kann im Rahmen des Forschungsprojekts aufgezeigt werden, wie die kreislauffähige Umsetzung im Bereich des Holzbaus in der aktuellen Praxis erfolgt. Planenden und Auftraggebenden werden Herausforderungen sowie Chancen und Lösungsansätze für die Planung kreislauffähiger Holzbauprojekte beispielhaft gezeigt. Darüber hinaus zeigt sich, inwiefern sich die Umsetzung an kreislaufgerechte Prinzipien anlehnt, wo die aktuellen Herausforderungen für den Holzbau liegen und wie diese im Zusammenhang mit dem jeweiligen (prozessualen, technischen, wirtschaftlichen) Kontext einzuordnen sind. Eine direkte Vergleichbarkeit der Projekte ist wegen der unterschiedlichen Ansätze und dem Pilotprojektcharakter der Projekte nicht möglich. Die Analyse erfolgt auf der Betrachtung der verschiedenen Handlungsfelder und fokussierte projekttypische Aspekte, die für das kreislauffähige Bauen mit Holz Relevanz haben.

### Fallstudien kreislauffähig geplanter Holzbauprojekte

Die Auswahl derjenigen Best-Practice-Projekte, die in der Fallstudie untersucht werden, erfolgt unter Berücksichtigung der folgenden Kriterien:

- Die Projekte sollten sich mindestens in der Umsetzungsphase befinden oder bereits fertiggestellt sein.
- Die Projekte sollten eine gewisse Varianz an Holzbauweisen aufweisen.
- Weiteres Ziel war es über Deutschland hinauszublicken, um den Vergleich zu Umsetzungsstrategien in anderen Ländern zu erhalten.

Keine Auswahlkriterien waren die Nutzung und die Größe des Gebäudes. Erwähnenswert ist, dass teilweise einzelne Akteur:innen bei mehreren Projekten eingebunden waren, was insbesondere hinsichtlich der länderspezifischen Unterschiede zu einem Erkenntnisgewinn führte. Nicht zuletzt war die Bereitschaft aller Beteiligten zur Teilnahme am Forschungsprojekt eine grundlegende Voraussetzung, da die Forschenden auf die zur Verfügungsstellung von Unterlagen, Befragungsbereitschaft und den damit verbundenen zeitlichen Aufwand der Projektbeteiligten angewiesen sind. Die Tatsache, dass es sich bei allen Projekten um Pilotprojekte handelt und solche Projekte immer mit einer Lernkurve und teilweise schwierigen Erfahrungen einhergehen, führte zu einer geringeren Teilnahmebereitschaft als erwartet.



## Projektübersicht allgemein



The Cradle, 2023, Düsseldorf, Deutschland  
Interboden/ HPP Architekten  
Visualisierungen © Bloomimages



Triodos Bank, 2019, Zeist, Niederlande  
Bildquelle © Rau Architects



Haus des Holzes, Sursee, Schweiz  
Bildquelle © Pirmin Jung Schweiz AG



Feuerwehrhaus, Straubenhardt, 2022, Deutschland  
Bildquelle © Brigida González für Wulf Architekten

Abbildung 17: Übersicht Fallstudien (siehe Anlage IV).

Ziel der erstellten Projektblätter (Fact Sheets), die sich in Anlage IV finden, ist es, trotz der unterschiedlichen Analyseschwerpunkte, ein steckbriefartiges Projektlayout zu schaffen, das einen schnellen Überblick zu den Projektkenndaten liefert. In den Projektdarstellungen werden vergleichbare Teilaspekte aufgeführt, jedoch wurde keine gleiche Inhaltsstruktur angestrebt. Der Leser soll durch drei Darstellungsebenen durch die Projekte geführt werden:

- Grafische und fotografische Darstellung
- Textteil
- Kurzinformation Steckbrief



## The Cradle, Düsseldorf, 2023, Deutschland

Bei „The Cradle“ handelt es sich um ein siebengeschossiges Bürogebäude, das im Düsseldorfer Medien Hafen entsteht. Die Gebäudekonstruktion im Erdgeschoss sowie der Erschließungskern bestehen aus Stahlbeton. Ab dem ersten Obergeschoss bestehen die Deckenkonstruktionen aus Brettsperrholz-Elementen, die Stützen bestehen aus Brettschichtholz. Der Neubau wird geprägt durch die fachwerkartige und außenliegende Fassadenkonstruktion aus Holz. „The Cradle“ ist ein Leuchtturmprojekt, mit dem der Immobilien-Projektentwickler Interboden als Auftraggeber erstmals ein kreislauffähiges Gebäude umgesetzt hat.

### Auftraggebende

Interboden hat den Anspruch mit „The Cradle“ ein Pionierprojekt zu schaffen, das den Cradle-to-Cradle-Prinzipien folgt. Es bestand der Wille ein Gebäude zu schaffen, das während und am Ende seiner Lebensdauer als Materiallager dient und damit kaum Müll verursacht. Eine weitere Zielsetzung des Unternehmens bestand darin, eine Vorreiterrolle für die gesamte Branche zu übernehmen. Die Immobilienbranche steht vor wachsenden Herausforderungen hinsichtlich der Forderungen der EU-Taxonomie (siehe Seite 52). Interboden erwartet durch den erworbenen Wissenszuwachs die Möglichkeit ein Innovationspotenzial zu etablieren, das für das Erreichen einer wettbewerbsfähigen Position in Zukunft erforderlich ist.

### Prozess | Planung

Anspruch und Vorgabe war es, die Prinzipien für die Kreislauffähigkeit des Gebäudes bei der Planung und Umsetzung konsequent anzuwenden und umzusetzen. Um diesem Anspruch zu genügen, wurde das Beratungsunternehmen Epea mit der Begleitung des Projekts beauftragt. In diesem Kontext erfolgte die Umsetzung des Cradle-to-Cradle Ansatzes (siehe Seite 18). Weiterhin wurde ein digitaler Materialpass erstellt, der die verbauten Materialien, die Informationen zu deren Eigenschaften, Einsatzort und Lebensdauer enthält. Die enthaltenen Daten und Informationen stehen für einen möglichen späteren Rückbau zur Verfügung. Außerdem hat das für den Holzbau verantwortliche, ausführende Ingenieurholzbauunternehmen Derix bereits heute eine Rückbauanleitung für das Gebäude, den Holzbau betreffend, erstellt. Das Projekt „The Cradle“ wurde auf der Madaster Plattform (siehe Seite 48) hinterlegt, um die verschiedenen Aspekte der Kreislauffähigkeit des Gebäudes langfristig digital zugänglich zu machen. Hierzu gehört auch, dass langfristig die Rohstoffrestwerte ermittelt werden können. Diese finanzielle Betrachtung ist für die Investor:innen von großer Bedeutung. Darüber hinaus bietet die Hinterlegung auf Madaster die Möglichkeit über den Madaster Circularity Index und das Ergebnis des Materialpasses eine Bewertung des Gebäudes zu ermitteln, die in die Bilanzierung eingreift und somit das Gebäude nicht vollständig abgeschrieben werden muss.

### Prozess | Umsetzung

Die tragende Holzkonstruktion kommt nicht nur dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Bürogebäudes zugute, sondern trägt auch zu seiner Wiederverwendbarkeit bei, da die Fassadenkonstruktion für die Demontage ausgelegt ist. Für den Holzbau beauftragte Interboden das Ingenieurholzbauunternehmen Derix. Das Unternehmen gehört in Deutschland zu den ersten Herstellern, die eine Rücknahmeverpflichtung für ihre Baustoffe vertraglich vereinbaren (siehe auch Seite 49). Markus Steppeler, Vertriebsleiter bei der Derix-Gruppe, sagt: „Wir sind kontinuierlich auf der Suche nach neuen Möglichkeiten, das Bauen mit Holz noch nachhaltiger und ressourcenschonender zu gestalten, als es ohnehin schon ist. Als erstes Unternehmen unserer Branche haben wir die Rücknahme gebrauchter Holzbauteile für unsere Kund:innen zum Standard gemacht“ (www.interboden.de, 2022). Erste Erfahrungen hat die Derix-Gruppe bereits 2017 mit dem Projekt Triodos Bank in den Niederlanden gemacht (siehe Seite 77).

### Technik

Die konstruktive Besonderheit bei dem Projekt ist, dass die fachwerkartigen Fassadenelemente mit leim- und schraubenfreien Steckverbindungen zusammengesetzt sind. Dieser Bauteilanschluss funktioniert über das Eigengewicht der einzelnen Bauelemente. Dieses Konstruktionsprinzip folgt dem Gedanken

des einfachen Rückbaus und der späteren Wieder- bzw. Weiterverwendung vor dem Hintergrund der Demontierbarkeit und Trennbarkeit. Grundlage für diese Konstruktion ist ein aus Brett-schichtholz (BSH) gefrästes 3D-Element, das mittels CNC-Technologie gefertigt, als Steckverbinder dient:



Abbildung 18: Gefräste Schubverbindung, © Derix-Gruppe



Abbildung 19: Buchenfurnierschichtholz Knagge, © Derix-Gruppe

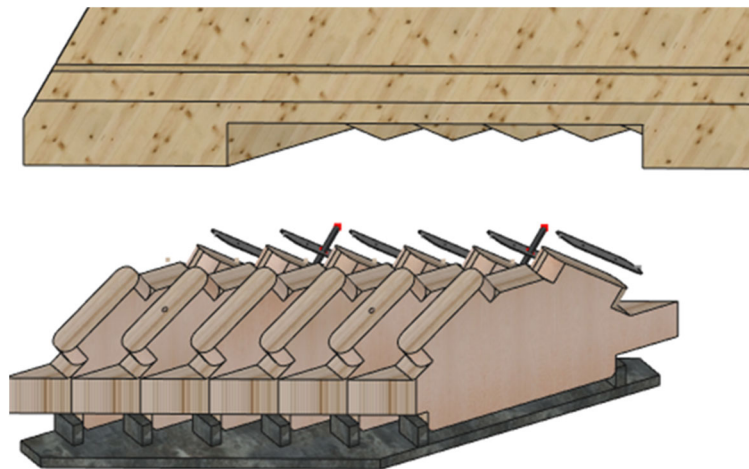


Abbildung 20: 3D-Darstellung der Steckverbindung, © Derix-Gruppe

Der daraus entwickelte eigentliche Steckverbinder besteht aus einer geschweißten Stahlplatte, auf die in vorbereitete Aussparungen eine Knagge aus Buchen-Furnierschichtholz (Buchen-FSH) gestellt wird – ohne jegliche Klebe- oder Schraubverbindung. Die Steckverbindungsanschlüsse der Knagge sind mit Kopfplatten aus Stahl versehen. Darauf werden dann die BSH-Elemente gesteckt, die ebenfalls über entsprechende Aussparungen verfügen.

Um auch an dieser Stelle die Kohlenstoffspeicher durch Holz zu gewährleisten, wurde Stahl durch (Buchen-FSH) ersetzt. Buchen-FSH bietet durch seine geprüften Qualitäten in Bezug auf Tragfähigkeit und Festigkeit einen sehr guten Ersatz für Stahl. Die Steckverbinder mit den beschriebenen Buchen-FSH-

Knaggen befinden sich jeweils an den unteren und oberen Verbindungspunkten der Fachwerk-Fassadenträger.

#### Wirtschaftliche Besonderheiten

Der Projektentwickler Interboden hat den Zuschlag für das städtische Grundstück in bevorzugter Lage aufgrund des ambitioniertesten ökologischen Konzepts erhalten. Gleichzeitig kann der Wissenszuwachs mittel- bis langfristig einen Wettbewerbsvorteil für das Unternehmen darstellen. Allerdings bedeutet die Planung eines kreislauffähigen Gebäudes neben einem erhöhten Aufwand in der Projektvorbereitung (Bedarfsplanung) einen zusätzlichen Planungsaufwand für alle Beteiligten. Hinzu kommen in der beschriebenen Fallstudie die Mehrkosten für weitere Planungsbeteiligte:

„Der Planungsprozess ist bei Projekten, die der C2C-Philosophie folgen, aufwendiger als bei herkömmlichen Planungsprozessen, sofern man ein Projekt wirklich hinsichtlich aller denkbaren Möglichkeiten durchspielt. (...) Aber über den gesamten Lebenszyklus gesehen, dürfte sich der Aufwand auch ökonomisch schließlich auszahlen“ so Gerhard Feldmeyer, geschäftsführender Gesellschafter bei HPP (Maier-Soljk, 2020). Die gelieferten Holzbauelemente werden am Ende des Lebenszyklus vom Ingenieurholzbauunternehmen Derix zurückgenommen. Das erklärte Ziel besteht darin, die zurückgenommenen Elemente für neue Konstruktionen und Bauvorhaben wieder- und /oder weiterzuverwenden. Beim Rückbau des Gebäudes muss dafür eine Sortierung in Bauteilqualitäten, Maße und Einsatzbereiche erfolgen. Anschließend erfolgt die Dokumentation in einer Datenbank. Auf Grundlage der zum Zeitpunkt der Demontage geltenden Rohstoff-, Markt- und Lohnkostensituation können zu dem jeweiligen Zeitpunkt entsprechend Preise kalkuliert werden. Grundlage für diese Vorgehensweise ist neben der notwendigen Datenverfügbarkeit und der Berücksichtigung prozessspezifischer Aspekte (BIM, Verbindungsmittel, Demontageanleitung) auch eine gut geplante und konzipierte Organisation des Rückbaus (Demontage, Logistik, etc.).

#### Fazit

Das Projekt „The Cradle“ ist ein gutes Beispiel für den kreislauffähigen Holzbau in Deutschland und wurde mit zahlreichen Auszeichnungen gewürdigt. Die Interboden GmbH & Co. KG, als verantwortlicher Projektentwickler, hat es sich zum Ziel gesetzt, möglichst viele Cradle-to-Cradle Aspekte zu integrieren. Ausschlaggebend für die konsequente Umsetzung des Kreislaufgedankens auf unterschiedlichen Ebenen ist zunächst der Wille und die hohe Motivation der Auftraggebenden, die weder Aufwand noch wirtschaftliche Zusatzleistungen scheuen, um den Prozess eines kreislauffähigen Gebäudes durchzuspielen und damit langfristig einen Mehrwert im Sinne eines Wissensvorsprungs für das Unternehmen zu generieren. Im Planungsverlauf waren die Beteiligten immer wieder mit Herausforderungen konfrontiert, die meist zu einem Mehraufwand geführt haben. Grund hierfür ist, dass planerische und kommunikative Abläufe für das kreislauffähige Bauen bislang nicht etabliert sind und die Akteur:innen im Rahmen solcher Projekte Pionierarbeit leisten, die vielfach mit einem „learning by doing“ verbunden ist. Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Projekt können als substanzieller Beitrag für zukünftige Planende dienen.

## Triodos Bankgebäude, Zeist, 2019, Niederlande

Bereits 2019 wurde in den Niederlanden ein rückbaubares Bürogebäude aus Holz entworfen. Das Projekt war zu diesem Zeitpunkt hinsichtlich der Umsetzung von Anforderungen bezüglich Zirkularität und Nachhaltigkeit einzigartig. Das Gebäude diente als erste temporäre Materialbank und der gesamte CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist minimal.

### Auftraggebende

Die Triodos Bank ist eines der europäischen Kreditinstitute mit starker nachhaltig-ökologischen Orientierung. So investiert das Kreditinstitut nur in Projekte mit sozialem, ökologischem und kulturellem Mehrwert. Der Neubau sollte die Werte und Prinzipien des Unternehmens widerspiegeln. Die Integration des Gebäudes in einem landschaftlichen geschützten Gebiet, der Anspruch Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und Impulse für das kreislauffähige Bauen zu geben, waren die Voraussetzungen für den zukunftsweisenden Neubau. Das Gebäude sollte eine positive Wirkung auf Mensch, Natur und Umwelt haben. Deswegen wurden die Bereiche Energie, Wasser, Biodiversität und soziale Wirksamkeit ebenso berücksichtigt wie die planungsrelevanten Aspekte.

### Prozess | Planung

Rau Architekten, die mit der Planung des Gebäudes beauftragt wurden, verstehen ein zirkuläres Gebäude als temporäre Kombination von Produkten, Bauteilen und Materialien mit dokumentierter Identität. Die Herkunft und die geplante Wiederverwendung aller Produkte, Bauteile und Materialien werden sorgfältig dokumentiert, um sie in der Zukunft problemlos einer neuen Nutzung zuführen zu können. Bei der Planung von Gebäuden ist es den Architekt:innen wichtig, mögliche Änderungen aufgrund veränderter Nutzeranforderungen, unterschiedlicher Nutzungsdauer von Bauteilen oder äußerer Einflüsse wie veränderte Vorschriften oder Klimawandel so weit wie möglich vorwegzunehmen. Die Erleichterung der dauerhaften Folgen der Vergänglichkeit ist daher charakteristisch für den Entwurf: Vor dem Hintergrund dieses Anspruchs wurde ein offener Grundriss geplant. Die geschickte Anordnung um die Erschließungskern erlaubte langfristig eine flexible Anpassung an sich ändernde Raumbedarfe oder neue Nutzungsszenarien.

### Prozess | Umsetzung

Neben der Konzeption des Gebäudes als Materiallager für die Zukunft kamen bei dem Gebäude auch die Materialien aus Abbruchprojekten zum Einsatz. Trockenbauwände aus einem Abbruchprojekt fanden in der Triodos Bank Verwendung und dienten der Erstellung der Trennwände. Die im Kantinenbereich verwendeten Holzbalken stammen ebenfalls aus einem Abbruchgebäude. Die ausgeführten Verbindungen sind durchgehend als trockene Verbindungen ausgeführt, damit alle verwendeten Bauelemente und Materialien im Nachgang demontierbar sind. Auch die Montage der Innenwände wurde – wie bereits erwähnt – so konzipiert, dass sie ohne erheblichen baulichen Aufwand ausgetauscht, verändert und entfernt werden können. Unterstützt wird dieses Prinzip von dem verwendeten Fußbodenaufbau. Er ist ebenfalls durchgängig als trockener Aufbau konzipiert, der einen weitestgehend zerstörungsfreien Ausbau und Wiedereinbau zulässt. Das für den Holzbau charakteristische Prinzip der Vorfertigung bot einen erheblichen Vorteil bei der Umsetzung der Triodos Bank: Durch in der Produktion vorbereitete Brettsperrholzelemente für die Decken und die Brettschichtholzelemente konnte eine just-in-time Anlieferung erfolgen. Diese führte zu einer Einsparung der kalkulierten Bauzeit. Innerhalb von zwei Wochen war der Gebäudekern mit Treppenhäusern, Liftschächten und Nasszellen fertig. Gleichzeitig erfolgte dadurch eine geringere Beeinträchtigung des Landschaftsschutzgebietes. Außerdem sind diese vorgefertigten Elemente als Ganzes demontierbar und sortenrein trennbar. Bei diesem Projekt hat Ingenieurholzbauunternehmen Derix, das alle Holzbauteile lieferte und montierte, erstmals eine Rücknahmeverpflichtung für die Holzbauelemente vertraglich zugesichert. Das erfolgte bereits einige Jahre bevor das Unternehmen die firmeninterne Entscheidung traf, eine allgemeine Rücknahmeverpflichtung auf dem deutschen Markt zu etablieren. Eine Besonderheit des Projekts Triodos ist, dass die im Konzept der Scherschichten beschriebenen einzelnen Schichten (siehe Abbildung 12, Seite 60) der Primärkonstruktion/ Fassade/ Aufbauten bei der Gesamtkonzeption berücksichtigt wurden, was zu einer leichteren Trennbarkeit und



Rückbaubarkeit der Einzelsysteme führt. Diese strikte Trennung vereinfacht einen systematischen Rückbau des Gebäudes in der Zukunft und ermöglicht gleichzeitig unabhängige Anpassungen während der Nutzungsphase.



Abbildung 21: Montage tragendes Stützensystem aus Brettschichtholz mit Brettsper Holzdecken, © Carel van Hees

### Technik

Das Gebäude besteht nach Angaben der Architekten aus 1.615 Kubikmeter Leimholz, mehr als 1.008 Kubikmeter Brettsper Holz (CLT) und fünf in ihrer Ursprungsform verwendeten Baumstämmen. Das Untergeschoss ist aus Gründen der Wasserbewirtschaftung in Beton ausgeführt. Mit Ausnahme des betonierten Kellergeschosses, der Aluminiumprofile und des stählernen Ringbalkens, der die Glasfassaden trägt, besteht das Gebäude aus Holz, das mittels dreifacher Keilzinkenverbindungen und 25–50 Zentimeter langer Schrauben trocken gefügt wurde. Insgesamt sind 2.632 Kubikmeter Holz verbaut, das größtenteils aus Deutschland stammt. Die Wände bestehen aus 200 mm dicken, kreuzweise verleimten Paneelen, die Bodenplatten aus 120–150 Millimeter dickem laminiertem Fichtenholz. Die CLT-Elemente wurden paarweise geliefert, vom Lkw an ihren Standort gehievt und dort verschraubt. Es ist ein Gebäude entstanden, das 1.633.052 Kilogramm CO<sub>2</sub> speichert. Das bedeutet, dass es CO<sub>2</sub>-negativ ist, da es mehr CO<sub>2</sub> speichert, als es produziert, sogar während des Baus. So liegt der Holzanteil in der Haupttragkonstruktion bei fast 100 Prozent, und im Innenbereich werden ausschließlich Naturtextilien verwendet. Das Gebäude ist mit 165.312 Schrauben zusammenschraubt. Das bedeutet gemäß der Verantwortlichen, dass beim Rückbau des Gebäudes das Kreislaufpotenzial zu 100 Prozent aktiviert werden kann, ohne dass Materialien, Komponenten und Produkte an Wert verlieren. Auch im Bereich des Innenausbaus wurde der zerstörungsfreie Rückbau berücksichtigt: Der Fußbodenaufbau ist durchgängig als trockener Aufbau konzipiert. Er besteht aus CLT-Platten, einer trockenen Schüttung, sowie Holzplatten, auf denen Teppichboden verlegt wurde.



Abbildung 22: kraftschlüssige Verbindung durch Verschraubung, © Rau Architekten

### Wirtschaftlichkeit

Das Gebäude diente als erste temporäre Materialbank. Für das Gebäude wurde ein digitaler Datensatz erstellt: Auch bei diesem Projekt wurden alle verwendeten Materialien in einem Materialpass dokumentiert. Dadurch existiert mit der Triodos Bank ein komplett digital erfasstes und transparent kommunizierbares Materiallager. Alle relevanten Projektdaten und Informationen sind auf der Madaster-Plattform hinterlegt. Der Materialpass weist den Wert aller Einzelteile nach Demontage aus. Die Angabe des Werts wird tagesaktuell angegeben, denn der Wert des Baus wird täglich auf Basis historischer und aktueller Börsendaten berechnet. Durch die Umwandlung von Immobilien in „lose Ware“ wurde ein Gebäude mit maximalem zirkulärem Potenzial realisiert: Wiederaufbau ohne Wertverlust. Das Gebäude wurde als „BREEAM Outstanding“ Gebäude zertifiziert. BREEAM steht für Building Research Establishment Environmental Assessment Method. Dabei handelt es sich um das älteste und meistverbreitete Zertifizierungssystem für nachhaltiges Bauen.

### Fazit

Das Gebäude zeigt auf verschiedenen Ebenen mögliche Umsetzungsmöglichkeiten einer kreislaufgerechten Holzbauweise. Darüber hinaus macht es den Vorsprung anderer europäischer Länder im Bereich des kreislaufgerechten Bauens als solches deutlich: Während das Cradle-to-Cradle-Prinzip (C2C) im baulichen Alltag in Deutschland nur langsam ankommt, sind in den Niederlanden bereits etwa 20 Projekte unter diesem Label gelistet. Die Niederlande haben bereits 2007 mit C2C auch durch entsprechende Initiativen der Regierung begonnen. Vorreiter hierfür war die Stadt Venlo, die das Prinzip beispielhaft umgesetzt hat und im Anschluss auch entsprechende Unternehmen bei sich ansiedelte. Das Venloer Rathaus (Büro Kraaijvanger Architects), das derzeit von Architekt:innen und Bauherr:innen aus dem In- und Ausland als Best-Practice Beispiel besichtigt wird, gilt als Beleg dafür, dass sich zirkuläres Wirtschaften lohnen kann, sofern der Restwert des Gebäudes bezüglich der Materialien in der Kalkulation berücksichtigt wird.

## Feuerwehrhaus Straubenhardt, Gemeinde Straubenhardt, 2022, Deutschland

2019 hat sich Straubenhardt zur ersten baden-württembergischen Cradle-to-Cradle-Modellgemeinde erklärt. Der Neubau des örtlichen Feuerwehrhauses in der Kommune Straubenhardt ist eines der ersten öffentlichen Gebäude bundesweit, die dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft folgen.



Abbildung 23: Feuerwehrhaus Straubenhardt, © Brigida González für Wulf Architekten

### Auftraggebende

Das Beispiel zeigt eindrücklich, wie es öffentlichen Auftraggebern gelingen kann, kreislauffähige Ansätze umzusetzen und damit eine Vorreiterrolle und gleichzeitig eine positive Vorbildrolle zu übernehmen. Das ist insbesondere wichtig, um die gesellschaftliche Wahrnehmung zu erhöhen. Dabei war das Feuerwehrhaus sowohl für die Auftraggebenden als auch für das gesamte Planungsteam das erste Projekt, bei dem Kreislauffähigkeit und Rückbaubarkeit eine zentrale Rolle spielte. Unterstützung erfolgte durch das Umweltberatungsinstitut Epea GmbH - Part of Drees & Sommer, die das Bauvorhaben beratend begleitet hat. Der politische Wille war Grundvoraussetzung für die Umsetzung des Gebäudes. Das Vorhandensein dieses Willens bestätigt die Aussage des Bürgermeisters der Gemeinde Straubenhardt in einem Interview mit seiner Antwort auf die Frage, weshalb das Feuerwehrhaus kreislauffähig geplant wurde:

„Weil wir Dinge anders denken wollen. Die Bauwirtschaft und herkömmliche Gebäude verursachen unheimliche Müllmengen. Dies wollen wir durchbrechen, indem wir mit Qualität gut bauen. Gebäude, die gesund sind und keine Giftstoffe in sich tragen. Nicht weniger schlecht sein, sondern gut. Das ist das Ziel.“ (Bürgermeister Helge Viehweg, Gemeinde Straubenhardt, 2019). Dieser Wille trägt Früchte: Das Feuerwehrhaus war das Pilotprojekt. Straubenhardt ist inzwischen C2C Modellgemeinde. So sollen auch „künftige Baugebiete nach dem C2C-Grundsatz entstehen“ so der Bürgermeister Helge Viehweg. Und weiter: „Wenn es uns gelingt, Bürger und Unternehmen zu begeistern, dann kann daraus etwas entstehen. Da bin ich mir sicher.“ (ebd.)



## Prozess | Planung

Auch dieses Beispiel zeigt, dass beim kreislauffähigen Bauen der Bedarfsplanung im Rahmen der Projektentwicklung eine große Bedeutung zukommt: Um kreislauffähig zu bauen, müssen im Rahmen der Bedarfsplanung entsprechende Ziele formuliert und im Vorfeld der darauffolgenden Planungsleistung mitgedacht werden. Diese Projektvorbereitung führt dazu, dass eine argumentierte Auswahl der richtigen Planenden mit der entsprechenden Sachkenntnis erfolgt. Anwendungsorientiertes Wissen und dessen Übertragung in die richtigen Phasen ist im Bereich der kreislauffähigen Planung vielfach noch Neuland. Die Gemeinde Straubenhardt hat sich hierzu die zusätzliche Kompetenz des Umweltberatungsinstituts Epea hinzugeholt.

Die Feuerwache wurde als nachhaltiges Rohstofflager geplant. Das Planungsteam hat dafür nach eigenen Angaben 248 Materialien und 79 Bauteile hinsichtlich Materialgesundheit, sortenreine Trennbarkeit sowie Energiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Herstellung geprüft. Hier spielte der Einsatz des Baustoffs Holz eine wichtige Rolle bei der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung im Vergleich zu Beton. Weitere Vorteile des Baustoffs waren der Einsatz standardisierter Bauteile und ein modularer Aufbau der Tragstruktur. Der Verzicht auf geklebte Verbindungen, Anstriche und Oberflächenbehandlungen gewährleistet die Sortenreinheit der verbauten Materialien und damit deren Kreislauffähigkeit. Die großformatigen Holzelemente sind verschraubt. Auch die Schichten der Außenwandelemente sind nach Angaben der Planenden sortenrein trennbar. Dafür wurden bereits in früher Entwurfsphase Materialien, Verbindungsmittel und Fügeverfahren geprüft und optimiert. Die optimierten Ergebnisse flossen im Rahmen der Entwurfsplanung (Deutschland: LP3), deren Ziel eine abgestimmte, genehmigungsfähige Planung ist, in die Erstellung des Building Circularity Passports ein. Darin sind alle wichtigen Informationen dokumentiert und können im Falle eines Rückbaus im Sinne des Urban Mining als Rohstoff wiederverwendet werden. Um das Gebäude langfristig zu erhalten, wurde bereits in der Planungsphase eine Nutzungsflexibilität geplant, die die Doppelnutzung eines Bereichs als Gemeindesaal zulässt. Den damit verbundenen planerischen Mehraufwand beschreibt der Projektarchitekt in einem Interview auf die Frage zu den Mehrkosten: „Der Mehraufwand des Projektes steckt vor allem in der Intelligenz der Planung. So lassen sich wertvolle Ressourcen einsparen und wir erzielen einen Gewinn, von dem die gesamte Gesellschaft profitiert“ (Ingmar Menzer, Gemeinde Straubenhardt, 2019).



Abbildung 24: Tragkonstruktion aus Brettschichtholzträgern inklusive geplanter Ausklinkungen, Vorbohrungen etc. © Wulf Architekten



Abbildung 25: Großflächige Wand- und Deckenelemente aus Brettspertholzelementen. © Wulf Architekten

Die Verwendung großformatiger flächigen Lagenwerkstoffe entsteht (Brettschichtholz und Brettspertholz) bedingen eine schnelle Montage. Die spätere Rückbaubarkeit als große bzw. großflächige Elemente bringen eine zerstörungsfreie Demontierbarkeit und ein großes Wiederverwendungspotenzial mit sich.



## Haus des Holzes, Sursee, 2022, Schweiz

Das Büro Pirmin Jung mit Hauptsitz in der Schweiz unterstützt Architekt:innen und Auftraggebende bei der Realisierung von Projektideen für Holzbauten. Das Büro bietet neben geeigneten Konstruktionslösungen in Holz auch Leistungen im Bereich Bauphysik, Brandschutz usw., die weit über eine klassische Tragwerksplanung hinausgehen. Der Bedarf an neuen Arbeitsplätzen und der Wunsch den Mitarbeitenden langfristig ein attraktives Arbeitsumfeld zu bieten, führte zur Realisierung eines zukunftsweisenden Dienstleistungs- und Wohngebäudes in Sursee in der Schweiz durch das Unternehmen Pirmin Jung Schweiz AG.

### Auftraggebende

Ziel und Anspruch der Auftraggebenden als Expert:innen im Bereich des vorgefertigten Holzbaus war es, ein Gebäude zu schaffen, das die Vorzüge des Materials durch den Einsatz innovativer Technik auf verschiedenen Ebenen nutzt. Zudem wurde das Gebäude nach den Vorgaben des Cradle-to-Cradle-Prinzipes umgesetzt.



Abbildung 26: Haus des Holzes in Sursee in der Schweiz, © Pirmin Jung Schweiz AG, Foto: Marco Leu

### Prozess | Planung

Das Gebäude wurde so konzipiert, dass Materialien mit möglichst geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen eingesetzt werden konnten. Das Gebäude wurde mit Schweizer Holz errichtet, ein Teil des verwendeten Holzes stammt aus der Region, sodass lange Transportwege verhindert wurden.

Bei der Planung wurde auf eine Trennbarkeit und Rückbaubarkeit geachtet. Dafür kamen, wo es möglich war, keine geklebten oder genagelten Verbindungen zum Einsatz. Teilweise mussten die einzelnen Bauteile dafür neu konzipiert und gedacht werden. Um die zukünftige Trennbarkeit zu gewährleisten, wurden Prüfkörper erstellt, an denen Rückbauszenarien ausprobiert wurden. Diese Untersuchungen zeigten auch, dass in einigen Bereichen der Aufwand für eine sortenreine Trennung sehr hoch oder gar zu hoch war.

Das Gebäude setzt sich aus drei Baukörpern zusammen. Das gesamte Untergeschoss ist aus Beton erstellt. Ab dem Erdgeschoss wurde eine reine Holzkonstruktion aufgesetzt. Bei der Tragstruktur handelt es sich in allen drei Gebäudetrakten um eine vergleichbare Skelettkonstruktion, die einerseits wenig materialintensiv ist und gleichzeitig eine flexible Gestaltung der Raumaufteilung ermöglicht. Bei den Wandelementen handelt es sich um Holztafelbauelemente. Haben diese eine tragende Funktion, sind sie mit flächigen Brettsperrholzscheiben ausgesteift. Im Bereich der Aussteifung wurden keine metallischen Verbindungen verwendet. Die Decken in den Büroräumen sind als Rippendecken konstruiert, in den Wohnbereichen kamen Brettstapeldecken zum Einsatz. Als Dämmung dient eine Holzfaserdämmung. Diese konnte im Bereich der Außenwände wegen der geltenden Brandschutzanforderungen nicht eingesetzt werden.

#### Prozess | Umsetzung

Bei dem Projekt wurde versucht, konventionelle Lösungen neu zu denken und entsprechend kreislaufgerecht umzusetzen. Mit der Holzbauerfahrung der beteiligten Akteure, wurden an dieser Stelle viele Möglichkeiten ausgelotet: So sind die verwendeten Deckenelemente hinsichtlich ihrer verschraubten Befestigung aber auch unter Verwendung (standardisierter) Bauteile so geplant und umgesetzt, dass sie als Deckenelemente wiederverwendet werden können. Die mit Brettstapeldecken umgesetzten Deckenscheiben wurden über ein liegendes Fachwerk mit vereinzelt Anschlüssen ausgeführt. Dies ist im Gegensatz zur gängigen Umsetzung, nämlich einer vollflächig verlegten und verklammerten Holzwerkstoffplatte, erfolgt. Auch im Bereich des Daches wurde, beispielsweise durch die Verschraubung der Dachrandelemente mittels in ihrer Lage definierter und dokumentierter Winkelverbinder, auf die Rückbaubarkeit geachtet. Die Flachdachabdichtung, die in der Regel mit Hilfe einer Bitumenbahn erfolgt, wurde bei dem Projekt mit einer lösbaren Abdichtungsfolie umgesetzt, die den Kriterien des kreislaufgerechten Bauens entspricht.



Abbildung 27: Holz-Holz-Verbindungen mit gefrästen Nocken, © Pirmin Jung Schweiz AG

Die Aussteifung im Bereich der Wand- und Deckenscheiben erfolgt nach Cradle-to-Cradle Kriterien. Schubkräfte werden von in die Brettsperrholzscheiben gefrästen Nocken aufgenommen. Die Fügung der Wand- und Deckenscheiben erfolgt mit sogenannten x-Fix Verbindern als Steckverbindung. Bei diesen Verbindungsmitteln handelt es sich um schwalbenschwanzförmige Koppelungsleisten, die eine belastbare, nachhaltige und rückbaubare Holz-Holz-Verbindung im Bereich Brettsperrholz ermöglichen. Auch



die Lasteinleitung der Deckenscheiben in die Wandscheiben erfolgt mit diesen x-Fix Verbindern. Das Gebäude ist als Minergie-P-Eco-Gebäude geplant und wurde nach Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz (SNBS) zertifiziert.

#### Projektspezifische Besonderheiten

Neben den bereits genannten Umsetzungsstrategien liegt der Fokus auf Flexibilität und Austauschbarkeit in der Nutzungsphase. So erlaubt die sichtbare Verschraubung definierter Fassadenschalungsbretter das Herausnehmen witterungsanfälliger Elemente, wie beispielsweise der Lisenen. Auch ein Austausch der „Verschleißschicht“ Fassadenbekleidung ist durch diese Detaillierung möglich, ohne das Bauteil Wand zu zerstören.



Abbildung 28: Verlegung des Buchenunterlagsbodens, © Pirmin Jung Schweiz AG, Fotografin Clementine Hegner-van Rooden

Bei der Innenraumaufteilung wurde die Reaktion auf sich verändernder Raumbedarfe berücksichtigt: Die nichttragenden Trennwände sind mittels gleitender Anschlüsse auf die Dreischichtplatte der Deckenkonstruktion gestellt. Der Bodenaufbau ist als trockener Aufbau konzipiert: Dafür werden Dämmplatten auf Kalksplittschüttung verlegt. Darüber liegen Holzfaserverplatten und darauf Buchenriemen, die zwischen Fichtenleisten eingeschoben werden und als Tragschicht für das Eschenholzparkett dienen. Die Konstruktion erlaubt, dass nichttragende Innenwände im Falle einer Umnutzung demontiert und der Buchenunterlagsboden sowie das Parkett lokal ergänzt werden können.

## Fazit

Die Auftraggebenden hatten bei der Konzeption und Umsetzung des Haus des Holzes nach eigenen Aussagen vor, mit diesem Forschungs- und Entwicklungsprojekt das vorgefertigte Bauen mit Holz zukunftsweisend voranzutreiben und weiterzuentwickeln. Das Thema kreislauffähiges Bauen ist damit nur ein Teilaspekt und nicht der Hauptfokus des Bauvorhabens. Das Projekt zeigt auf verschiedenen Ebenen Umsetzungsszenarien für das kreislauffähige Bauen mit Holz: dazu gehören neben einer konsequenten Systemtrennung, die Verwendung sortenreiner Materialien aus regionaler Wertschöpfung, der Einsatz lösbarer und Verbindungen bis hin zur Umsetzung von Holz-Holz-Verbindungen als Steck- und Schubverbindungen. Insbesondere die Erstellung von Prüfkörpern zur Gewährleistung der Trennbarkeit der Einzelkomponenten ist hervorzuheben. Solche Testkörper dienen nicht nur der Beurteilung der Trennbarkeit und möglichen Wiederverwendung der Einzelkomponenten, sondern sind hilfreich für die ökonomische Beurteilung hinsichtlich des Rückbaus (vgl. Rosen, 2021). Damit kommt ihnen eine besondere Bedeutung für die Bewertung kreislauffähiger Konstruktionen im Holzbau zu.

## Zusammenfassung und Fazit

Das Wissen um das vorgefertigte Bauen mit Holz und den damit einhergehenden anderen Abläufen und Prozessen in Planung und Ausführung ist sowohl auf Seiten der Auftraggebenden als auch bei Planenden - zumindest in Deutschland – bislang nicht vollumfänglich vorhanden. Zwar steigt die Umsetzung von Holzbauten in den vergangenen Jahren kontinuierlich, jedoch liegt der Anteil von Holzbauprojekten derzeit bei ca. 21 Prozent (Holzbau Deutschland, 2022) und konzentriert sich vorwiegend auf den süddeutschen Raum. Mit Hilfe verschiedene Bildungsoffensiven zur Ausbildung von Architekt:innen und Ingenieur:innen im Holzbau wird diese Thematik sowohl auf Hochschulebene als auch mit Hilfe von Weiterbildungsformaten offensiv angegangen. Dennoch hat das Wissen um das Bauen mit Holz noch Verbreitungsbedarf.

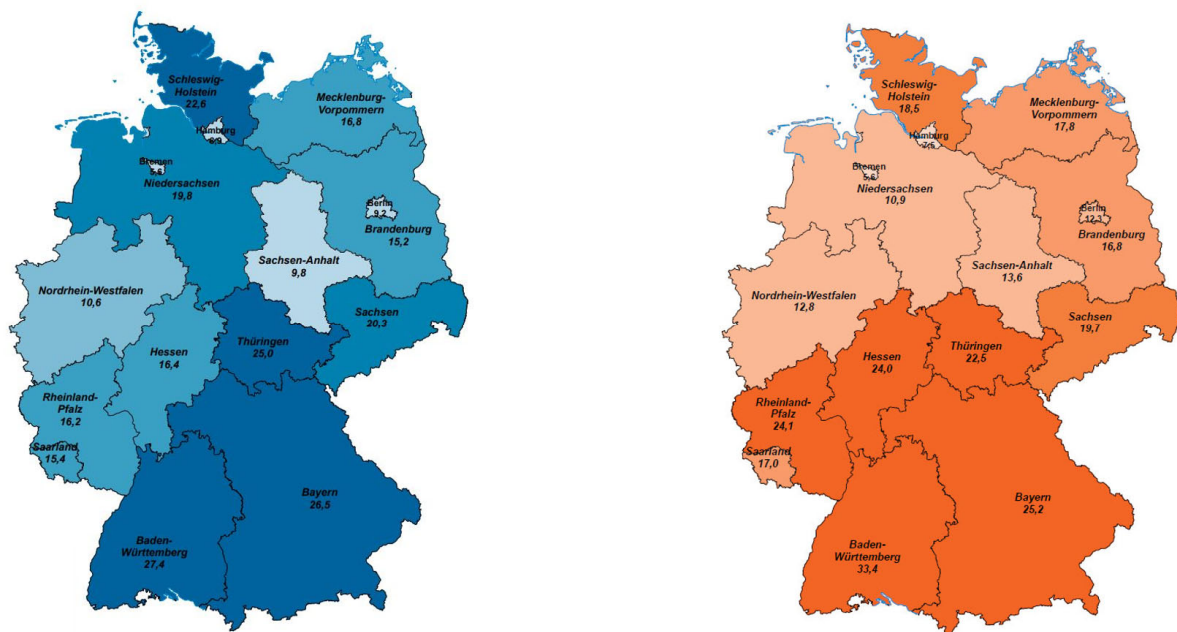


Abbildung 29: Steigerung der Quote von Holzbauprojekten in Deutschland (Projekte bei denen vorwiegend der Rohstoff Holz verwendet wurde): Wohnbau 20,4 (+1,7%), Nichtwohnbau 20,9% (+1,4%); Quelle: Lagebericht 2022 Holzbau Deutschland / Statistisches Bundesamt.

## Projektverlauf

Die Auseinandersetzung mit den vorliegenden Erkenntnissen und die Ergebnisse der Fallstudien zeigen, dass für die kreislauffähige Planung von Holzbauten notwendige (Planungs-) Prozesse bislang kaum bzw. überhaupt nicht etabliert sind. Auftraggebende sowie Planende leisten in diesem Zusammenhang derzeit Pionierarbeit und nehmen eine Vorreiterrolle ein. Grundvoraussetzung ist, dass alle Projektbeteiligten vom kreislaufgerechten Planungsziel überzeugt sind und das richtige „Mindset“ haben. Die Definition der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes im Rahmen der Festlegung der Projektziele (Projektvorbereitung), hat den großen Einfluss darauf, ob ein Gebäude kreislaufgerecht geplant und umgesetzt wird. Die Initiative liegt derzeit immer bei den Auftraggebenden. Die Planung eines kreislauffähigen Gebäudes ist aktuell mit einem erhöhten Planungsaufwand, meist mit zusätzlichen Projektbeteiligten und nicht zuletzt mit einem finanziellen Mehraufwand verbunden. Die Fallstudien machen jedoch deutlich, dass die beschriebene Vorreiterrolle für alle Beteiligten einen Mehrwert bedeutet. Neben der Vorbildrolle, die Auftraggebenden/ Investorinnen in der Branche übernehmen, ist für alle Beteiligten auch die gesellschaftliche Verantwortung von Bedeutung. Darüber hinaus geht mit der Planung kreislaufgerechter Holzbauten ein enormer Wissenszuwachs in dem Themenfeld einher, das für alle Beteiligten mit einem Geschäftsvorteil in der Zukunft in Verbindung gebracht wird. Auftraggebende und Eigentümer können

im Idealfall dauerhaft auf eine Rohstoffdatenbank zurückgreifen. Das birgt mittel- und langfristig Vorteile hinsichtlich der Anforderungen im Kontext der EU-Taxonomie und erlaubt die schnelle Erstellung eines Cashflow-Modells (CF-Modell), das sowohl als Ansprache für Investor:innen als auch für den Kontakt mit Finanzdienstleistern von Bedeutung ist. Um Gebäude langfristig als Materialminen zu nutzen, also die verbauten Materialien im Sinne des Kreislaufgedankens wieder – oder weiterzuverwenden, ist es notwendig, die Gebäudedaten langfristig verfügbar zu machen. Die Dokumentation, Registrierung und Archivierung von Materialien, die in Gebäuden verbaut sind, erleichtert deren Wiederverwendung und vermeidet Abfall.

Damit diese Informationen auf der Plattform eingefügt werden kann, müssen die Anforderungen der Madaster-Plattform mit den Anforderungen der Auftraggebenden an das BIM-Modell abgestimmt werden: Beispielsweise muss die übereinstimmende Bezeichnung der Materialnamen aller Planungsbeteiligten mit der Materialliste von Madaster übereinstimmen. Um eine finanzielle Bewertung der Materialien zu gewährleisten, müssen die sogenannten „Base Quantities“ (Geometrische Abmessungen) im IFC-Modell hinterlegt werden. Werden solche Vorgaben nicht von Beginn an in die Planung implementiert, sind aufwändige Nacharbeiten und Korrekturen die Folge. In Deutschland betrifft das die Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) und den BIM Abwicklungsplan (BAP) gemäß VDI Richtlinien VDI, 2552 Blatt 10; In der Schweiz sind dies die Organisatorische Informationsanforderungen (OIR) gemäß EN 19650-2:2018 und der BIM Execution Plan BEP).

Neben der grundsätzlich zu gewährleistenden Zugänglichkeit zu den Verbindungsmitteln, müssen sämtliche Information über die Herstellung, Position der Verbindungsmittel und deren Rückbaubarkeit, Rückbaureihenfolge, das dafür zu verwendende Werkzeug usw. dokumentiert sein. Um eine langfristige Nutzungsflexibilität und Austauschbarkeit zu gewährleisten, betrifft diese abgestimmte Verfügbarkeit von Informationen nicht allein den Holzbau, sondern die daran anschließenden Gewerke, wie beispielsweise Innenausbau, TGA etc. Wie im Kapitel „Gebäudestruktur“ beschrieben, kann dabei das Thema der Schichtenbetrachtung und Systemtrennung hilfreich sein. Dieser Ansatz wurde bei einem der untersuchten Gebäude konsequent umgesetzt. Die Umsetzung dieses Prinzips wurde frühzeitig mit allen Planungsbeteiligten besprochen und es wurden spezifische Datenstrukturen etabliert. Die im Bauprozess typische Datenhierarchie wurde durch ein Projektsystem ersetzt, bei dem beispielsweise Datencontainer (welche den an das Scherschichtensystem angelehnt sind) die Informationen auf Gebäudeebene, Raumebene, Bauteilebene etc. Solche innovativen und zukunftsweisenden Herangehensweisen dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung von Planungsprozessen, die das Prinzip des kreislaufgerechten Bauens mit Holz berücksichtigen.

### Ausführung

Die Fallstudien zeigen deutlich die große Relevanz und Wichtigkeit des ausführenden Unternehmens. Themen der Rückbaubarkeit werden vielfach erst im Kontext der (Vor-)Fertigung entwickelt oder entsprechend angepasst. Das fertigungsspezifische Know-how liegt auf Seiten der ausführenden Unternehmen. Konzepte und Ideen zur Rückbaubarkeit stehen in direkter Verbindung mit Transport- und Montage. Die Untersuchung der Fallbeispiele lässt hier auf eine deutliche Verschiebung der Planungsabläufe schließen. Die in Deutschland vorgegebene Trennung von Planung und Ausführung bedingt, dass Rückbaubare Konstruktionen und Aufbauten im Planungsteam konzipiert werden. Die Komplexität des Holzbaus an sich und die Herausforderungen, die mit einer möglichst zerstörungsfreien Rückbaubarkeit und der damit verbundenen Fügungen und Verbindungen einhergehen, erfordert ein explizites (Fertigungs-)Wissen, das insbesondere bei Sonderkonstruktionen im Planungsteam oft nicht vorhanden ist. Das zeigt sich besonders bei den Fallstudien, die mit einer besonderen architektonischen Sprache agieren, die teilweise eine Herausforderung für die Konstruktionsregeln des Holzbaus bedeuten.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Erkenntnisse aus der Analyse der Fallstudien

| Zuständigkeit      | Erläuterung  |
|--------------------|--|
| Herstellende       | Transparente Darstellung und Beschreibung von Produkten  |
|                    | Angabe zur Dauerhaftigkeit/ End of Life EoL-Szenarien  |
| Gesetzgebung       | Nachweisförderung/ Innovationsförderung kreislauffähiger Gebäudekonzepte   |
|                    | Förderung des selektiven Gebäuderückbaus durch strengere Trennvorschriften   |
|                    | Förderung der kaskadischen Nutzung   |
|                    | Schaffung einer (internationalen) kostenfreien Datenplattform (Gebäude-/ Materialkataster)   |
| F&E                | Definition konkreter Anforderungen an Rezyklate  |
|                    | Standardisierung im Holzbau  |
|                    | Entwicklung von Aufbauten, die unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten mit geringem Aufwand rückbaubar sind                                      |
|                    | Entwicklung im Bereich der Verbindungsmitteltechnologie für das Bauen mit Holz   |
|                    | (BIM) Tool zur Dokumentation, Identifikation und Bewertung von Materialien   |
|                    | Optimierung von Recyclingtechniken   |
| Projektentwicklung | Entwicklung von End of Life EoL-Szenarien für gängige Holzprodukte   |
|                    | Ausreichende Informationsgrundlage schaffen und konkrete Zielsetzung für das kreislaufgerechte Projekt definieren  |
|                    | Vertragliche Verpflichtung aller Planungsbeteiligten die geforderten Prinzipien des kreislaufgerechten Holzbaus zu berücksichtigen                           |
|                    | Notwendige Kompetenzen klären und von Beginn an beauftragen (Holzbaukompetenz, zusätzliche Planungsbeteiligte/ Beratende, BIM-Kompetenz)                     |
|                    | Definition von Daten/ Informationen, die im Planungs- und Fertigungsprozess zu erbringen sind. Frühe Abstimmung mit beteiligten Plattformen (Madaster o. ä.) |
|                    | Digitales Datenmodell über gesamten Lebenszyklus vorsehen  |
| Planung            | Materialwahl: nachwachsen, langlebig, schadstofffrei, rezykliert   |
|                    | Konzeption der Demontierbarkeit/Trennbarkeit in früher Planungsphase   |
|                    | Langlebigkeit auf Material- und Gebäudeebene sichern: Umnutzung, Umbau, Reparatur, Zugänglichkeit, Auffindbarkeit, Trennbarkeit/Demontierbarkeit             |
| Umsetzung          | Verzicht auf Holzschutz (Beschichtungen) > konstruktiver Holzschutz  |
|                    | Prüfung der Wiederverwendung   |
|                    | Dokumentation: Erstellen einer Rückbauanleitung  |
|                    | Umsetzung von Demontierbarkeit/ Trennbarkeit   |
|                    | Prüfung Rücknahmeverpflichtung   |



## Zukunftsszenarien

### Vorgehen und methodische Ansätze

Die methodische Grundlage für die Ableitung der Zukunftsszenarien basiert auf einer Szenarioanalyse mittels eines explorativ-normativen Vorgehens. Mit dieser Szenarioanalyse wird die Definition und Konkretisierung des Handlungsbedarfes für eine Skalierung des kreislaufgerechten Planens und Bauens im Holzbau vorgenommen. So werden zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten mit den entsprechenden Konsequenzen für Akteur:innen und Rahmenbedingungen einfacher nachvollziehbar dargestellt (Kosow & Gaßner, 2008). Der Anspruch ist dabei keine vollständige Beschreibung der zukünftigen Situation. Vielmehr beschreiben die Zukunftsszenarien bewusst gewählte Ausschnitte und damit verbundene zentrale Bausteine, die für die Skalierbarkeit des kreislaufgerechten Planens und Bauens mit Holz Relevanz haben.

Das allgemeine Vorgehen in der Szenariotechnik unterteilt sich in mehrere Phasen, die je nach Einsatzfeld variieren können. Das circularWOOD-Projektteam orientiert sich an einem idealtypischen Prozess mit fünf Phasen (ebd.):

- In Phase 1 „Szenariofeldbestimmung“ findet die Definition des Betrachtungswinkels und die Themenabgrenzung statt. Hierfür wird eine Beschränkung auf relevante Szenarioschwerpunkte vorgenommen. Die Basis für die Szenariofeldbestimmung sind die Erkenntnisse aus den Kapiteln Themen- und Stakeholderanalyse und den Fallstudienanalysen.
- In Phase 2 „Schlüsselfaktoridentifikation“ werden die Schlüsselfaktoren sowie zentrale Elemente wie Entwicklungen, Trends etc., basierend auf der empirischen und theoretischen Vorarbeit in den angeführten Kapiteln identifiziert.
- In Phase 3 „Schlüsselfaktoranalyse“ erfolgt die Auswahl spezifischer Elemente, die für das Szenario von Relevanz sind. Die Phase 3 wird an dieser Stelle mit der Phase 2 (Schlüsselfaktoridentifikation) zusammengeführt, da die Selektion hinsichtlich der holzbaurelevanten Elemente bereits in den Vorarbeiten in der Themen- und Stakeholderanalyse sowie in der Auswahl der Fallstudien durchgeführt wurde.
- In Phase 4 „Szenariogenerierung“ werden mögliche und gewünschte Zukunftsbilder entworfen. Es wird der Zielzustand (Idealbild) definiert, beschrieben und konkretisiert. Dabei steht die Frage „Wie soll es werden?“ im Mittelpunkt. Parallel dazu wird der Frage der Veränderungsnotwendigkeit nachgegangen: Welche Maßnahmen gilt es zu ergreifen, welche Entwicklungen sind notwendig oder welche Routinen müssen etabliert werden? Der Fokus liegt dabei auf einer zukünftigen Wiederverwendung, also ein Re-use von Bauteilen, Bauelementen und Komponenten. Weitere Qualitätsstufen der Nachnutzung werden im Sinne der projektspezifischen Zielsetzung nicht vertieft behandelt.
- In Phase 5 „Transfer“ wird die Bedeutung für die Akteur:innen in Bezug auf Handlungsempfehlungen dargestellt. Gleichzeitig wird der Forschungs- und Entwicklungsbedarf mit Blick auf die wissenschaftliche Anschlussfähigkeit skizziert.

Die circularWOOD Zukunftsszenarien beschreiben qualitative Szenarien, da die Forschungsfragen keine quantitativen Faktoren adressieren.

### Ableitung von Konsequenzen

Entlang der thematischen Struktur der Themen- und Stakeholderanalyse entstehen aus den gewonnenen Erkenntnissen des Forschungsprojekts folgenden relevante Fragestellungen für die breitere Umsetzung der Kreislaufwirtschaft im Holzbau:



- Rahmenbedingungen: Welche Rahmenbedingungen müssen für den Paradigmenwechsel zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau angepasst oder eingeführt werden?
- Material und Konstruktion: Welche Veränderungen und Weiterentwicklungen sind im Bereich Konstruktion und Fügung und hinsichtlich der eingesetzten Materialien notwendig, um Holzbauten kreislaufgerecht zu bauen?
- Planung: Welche Veränderungen sind im Planungs- und Umsetzungsprozess erforderlich?
- Technologie: Welche digitalen Methoden und Prozesse können genutzt werden, um das Potenzial im Sinne der kreislaufgerechten Nutzung von Holz besser auszuschöpfen?
- Wirtschaft: Welche Geschäftsmodelle sind für den Paradigmenwechsel zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau zukunftsfähig?
- Bewertung: Welche Weiterentwicklungen müssen aus Sicht des Holzbaus im Themenfeld Bewertung weiterverfolgt werden?

Die Fragestellungen müssen vor dem Hintergrund des klar abgegrenzten Forschungsdesigns von circularWOOD eingeordnet werden und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr gilt es eine Diskussion anzustoßen, den weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf zu identifizieren und Handlungsempfehlungen für die Akteur:innen abzuleiten.

## Zukunftsszenarien

Die Zukunftsszenarien sind entlang der thematischen Struktur der Themen- und Stakeholderanalyse aufgebaut.

### Rahmenbedingungen

#### Szenariofeldbestimmung

Die Erkenntnisse der Themen- und Stakeholderanalyse sowie der Fallstudien zeigen ein breites Spektrum hinsichtlich der Rahmenbedingungen. Einerseits handelt es sich um Anreize, die relevante Stakeholdergruppen zu zirkulärem Bauen motivieren oder verpflichten. Andererseits sind es Rahmenbedingungen, welche die Wiederverwendbarkeit auf Bauteil- und Komponentenebene rechtlich regeln. Forderungen, die Stakeholder zur Kreislaufwirtschaft im Bauwesen weisen, ergeben sich in den EU-Ländern unter anderem aus der sukzessiven Umsetzung der EU-Taxonomie. Die zunehmende Bedeutung der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung und eine bevorstehende Verpflichtung zur Erstellung eines Gebäuderessourcenpasses ist nicht holzbauspezifisch und wird nicht weiter vertieft. Zwar hat Holz als temporärer Kohlenstoffspeicher in diesem Kontext Vorteile, gleichzeitig besteht eine zunehmende Nutzungskonkurrenz zwischen der thermischen und der stofflichen Verwertung über das Bauwesen hinaus. Für die Skalierbarkeit der Umsetzung kreislauffähiger Holzbauten überwiegt in der Holzbaubranche die Meinung, dass diese nur mit Hilfe (gesetzlicher) Verpflichtungen umsetzbar ist. Für die Szenariogenerierung folgt die vorliegende Arbeit der Frage, welche Rahmenbedingungen eine breitere und einfachere Umsetzung von kreislauffähigen Holzbauten unterstützen.

#### Schlüsselfaktoren

Schlüsselfaktoren in Bezug auf die Rahmenbedingungen sind die Gestaltung einer Kombination aus Verpflichtung und generierten Mehrwerten, die das Bauen hin zur Kreislauffähigkeit lenken. Aus Sicht der konkreten Wiederverwendung von Bauteilen, Bauelementen und Komponenten ist entscheidend, wie groß Hemmnisse durch Genehmigungs- und Zulassungsverfahren sind. Während einfachere Abläufe Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unterstützen, muss die Rechtssicherheit in Gewährleistungs- und Haftungsfragen berücksichtigt werden.

## Szenariogenerierung

Ein wünschenswertes Szenario für die Planung kreislaufgerechter Holzbauten basiert auf folgenden Eckpunkten:

- Verpflichtungen zur CO<sub>2</sub>-Bilanzierung in Analogie zum Energieausweis für Gebäude
- Standards für Prüfverfahren zur Feststellung und Festlegung der Leistungseigenschaften gebrauchter Bauteile
- Angemessener Aufwand für die Zulassung von Bauteilen und/oder Bauprodukten in der Wiederverwendung

Die Stakeholderanalyse macht deutlich, dass Auftraggebende eine wesentliche Bedeutung für die breite Umsetzung von kreislauffähigen Gebäuden haben. Es bedarf Verpflichtungen, um die Rahmenbedingungen verbindlich zu gestalten. Diese Forderung ist unabhängig vom Holzbau. Mit Blick auf die EU-Taxonomie wird eine verpflichtende CO<sub>2</sub>-Bilanzierung (siehe Seite 52) als gemeinsame Zielvereinbarung für alle Baustoffe und -technologien in naher Zukunft umgesetzt. Die Expert:inneninterviews und Untersuchungen der Fallstudien haben verdeutlicht, dass Holz in diesem Kontext als erneuerbare Ressource grundsätzlich Vorteile in der Bilanzierung hat (siehe Seite 51). Allerdings müssen für die Kreislauffähigkeit im Neubau auch im Holzbereich Konstruktions- und Materialwahl, Verarbeitungsprozesse und Transportwege berücksichtigt werden. Holzbau ist noch nicht per se die kreislauffähig (siehe auch Material und Konstruktion).

Damit die Wiederverwendung von Gebrauchtholz umsetzbar und skalierbar wird, müssen Abläufe und Regelungen vereinheitlicht werden und die Rechtssicherheit muss gewährleistet sein. Damit Unternehmen dem Handlungsdruck aus Sicht der Ressourcenschonung nachkommen können, müssen in Deutschland verbindliche Grundlagen in die technischen Baubestimmungen aufgenommen werden und in der Schweiz muss eine entsprechende Grundlage in den SIA-Normen geschaffen werden. Wünschenswert wäre eine übergeordnet gültige Europäische Technische Zulassung (ETA).

Die vertiefte Analyse der Auswirkungen der unterschiedlichen Rahmenbedingungen in Deutschland und der Schweiz hat gezeigt, dass in der Schweiz die Wiederverwendung mit einem größeren Gestaltungsspielraum aus Sicht der Planenden möglich ist (siehe Seite 42). Bereits heute übernehmen Ingenieur:innen eine Mitverantwortung für die Eignung und die Nachweise in der Wiederverwendung, basierend auf ihrem Qualifikationsstatus. Stehen dabei in Zukunft auch Normen als Grundlage für den Stand der Technik und gleichzeitig standardisierte Abläufe zur Verfügung, können Verfahren einfacher und rechtssicher abgewickelt werden. Der Schritt zur breiten Umsetzung von Kreislaufwirtschaft im Holzbau ist unter anderem damit verknüpft, wie effektiv Umsetzungsbarrieren in den aktuellen Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Holzbauteilen und -komponenten abgebaut werden können.

## Transfer

- Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Etablierung von Prüfverfahren und Entwicklung von technischen Regeln.
- Prüfen und Anpassen von Rahmenbedingungen zum Abbau von Umsetzungsbarrieren
- Dokumentation und Verbreitung von Umsetzungs-Know-how mittels Pilotprojekten

## Material und Konstruktion

### Szenariofeldbestimmung

Die Wahl der Materialien und kreislaufgerechte Konstruktionsmethoden und Füge-techniken sind die wesentlichen Aspekte um Holzbauten als zukünftige Materiallager zu etablieren. Um zukünftig den Zugang zum gebauten Materiallager zu ermöglichen, ist die Demontierbarkeit auf Bauteilebene und die

Trennbarkeit auf Materialebene von Bedeutung. Neben der technischen Nutzungsdauer spielt die wirtschaftliche Nutzungsdauer eine entscheidende Rolle. Je länger ein Gebäude auf die Nutzerbedürfnisse reagieren kann und auf technischer Ebene den jeweils aktuellen Anforderungen standhält oder Ertüchtigungen wirtschaftlich darstellbar sind, desto größer sind Gesamt- und Restnutzungsdauer (Dederich et al., 2008). Demnach ist auch der Austausch von Komponenten im Sinne der Anpassbarkeit an sich verändernde Rahmenbedingungen oder Verschleiß zu berücksichtigen.

#### Schlüsselfaktoren

Schlüsselfaktoren auf Materialebene sind Materialgesundheit und der langfristige Einsatz nachwachsender Rohstoffe, sowie deren Lebensdauer im verbauten Zustand. Neben deren Langlebigkeit muss die Möglichkeit der Austauschbarkeit von Verschleißschichten bzw. die einfache Anpassung an verschiedene Anforderungen gegeben sein. Grundlage dafür ist neben der Zugänglichkeit die einfache, zerstörungsfreie Trennbarkeit (und Austauschbarkeit) der einzelnen Komponenten. Im Bereich der Konstruktion stehen geeignete Verbindungstechniken, die eine zerstörungsfreie Demontage ermöglichen, im Fokus. Neben der Dauerhaftigkeit ist die Wiederverwendung der Konstruktion ein wichtiger Schlüsselfaktor bei der Umsetzung kreislaufgerechter Holzbauten.

#### Szenariogenerierung

Im Idealbild eines kreislaufgerechten Holzbaus wird das Potenzial der lösbaren statischen Verbindungen genutzt. Die hohe Präzision in der Fertigung, die Vorfertigung und das Möglichkeitsspektrum an mechanischen Verbindungen begünstigen den Holzbau im Vergleich zu mineralischen Bauweisen. Die untersuchten Fallstudien machen deutlich, dass zerstörungsfrei lösbare statische Verbindungen mit einem erheblichen Planungs- und Entwicklungsaufwand einhergehen. Bislang existieren für solche Verbindungen keine Standard-Lösungen. Die im Holzbau eingesetzten statisch wirksamen Verklebungen oder Nagelplatten und Schraubverbindungen sind kein zukunftsfähiger Lösungsansatz, wie erste Voruntersuchungen in der Forschung zeigen (Blaß, 2022). Im Bereich der Verbindungsmittel gibt es vielversprechende Entwicklungen (vgl. Konus-Dübel, S. 67), die weiterentwickelt und marktfähig gemacht werden müssen. Das Potenzial von Holz-Holz-Verbindungen, insbesondere mit hochleistungsfähigem Laubholz, kommt in Pilotprojekten bereits zur Anwendung. In der gegenwärtigen Holzbaupraxis finden solche Verbindungen bislang zu wenig Anwendung. Dieses Potenzial im Kontext des kreislaufgerechten Bauens sollte als Standard etabliert werden und damit eine breite Umsetzung finden.

Technische Weiterentwicklungen, die im Bereich des vorgefertigten Holzbaus einen großen Entwicklungsschritt bedeuteten, wie die Fertigung großformatiger Brettsperrholzelemente wurden bislang im Wesentlichen auf konstruktiver Ebene betrachtet. Die Erkenntnisse aus den Fallstudien zeigen, dass im Bereich großformatiger (statisch wirksamer) Bauelemente erste Initiativen entstehen diese aus einem geplanten Rückbau gewonnenen Bauelemente zukünftig zurückzunehmen und wiederzuverwenden (Herstellerrücknahme, siehe Seite 49 und Szenario Wirtschaft Seite 98). Die Umsetzungsbeispiele (vgl. Triodos) zeigen, dass ein geringer Individualisierungsgrad der einzelnen Bauelemente einen erheblichen Vorteil bei der Wiederverwendung mit sich bringt. Repetition bei der Elementgestaltung bei der Fügung und auch bei den mechanischen Verbindungen, also die Erhöhung der Anzahl baugleicher Typen (vgl. Triodos-Bank) erleichtern die Demontage und den Einsatz für andere Zwecke in der Zukunft.

Die Trennbarkeit einzelner Komponenten ist ein wichtiger Faktor für kreislaufgerechte Holzbauten. Sind die Bauteile des Gebäudes so konstruiert, dass sie leicht zerlegt werden können, besteht die Möglichkeit die verschiedenen Materialien effektiv zu recyceln oder wiederzuverwenden. Das gilt sowohl für den Umbau, die Renovierung und die Umnutzung, als auch für den Rückbau eines Gebäudes. Eine einfache Trennung führt dazu, dass die einzelnen Komponenten getrennt und separat recycelt werden. Auch bei der Wiederverwendung ist die Trennung wichtig, da Komponenten möglicherweise an anderer Stelle verwendet werden können, jedoch nicht unbedingt in der ursprünglichen Konstellation. Bauteile vorgefertigter Holzbauten sind heute in der Regel nicht zerstörungsfrei in ihre Einzelkomponenten zerlegbar.

Die Umsetzungspraxis der Fallstudien zeigt Möglichkeiten, die Trennbarkeit der einzelnen Bauteilschichten zu erhöhen. Das betrifft die vollständige Trennung einzelner Funktionsschichten (z. B. Tragkonstruktion und Fassade, vgl. Fallstudie Triodos). Auch bei komplexen Außenwandkonstruktionen kann die Austauschbarkeit und damit die Verlängerung der Lebensdauer gewährleistet werden (vgl. Fallstudie Haus des Holzes). Die Fallstudien zeigen auch die Notwendigkeit alle Systeme (z. B. Deckenaufbau) von Beginn an mitzudenken, um die spätere Zugänglichkeit zu gewährleisten (Fallstudien Triodos und Haus des Holzes). Insgesamt ist es wichtig zu erkennen, dass es sich bei der Trennbarkeit von Holzbauteilen um ein komplexes Thema handelt. Dabei ist von Bedeutung, die verschiedenen Faktoren zu berücksichtigen und die Trennbarkeit der einzelnen Komponenten zu maximieren, um zukünftig einen idealen kreislaufgerechten Holzbau zu gewährleisten.

In einem zukünftig idealen Szenario sind Holzbauten Materiallager. Die Einzelkomponenten der Gebäude bestehen aus biologischen nachwachsenden Rohstoffen, die keine Schadstoffe enthalten, sortenrein trennbar sind und wiederverwendet werden können. Bei deren Herstellung kommen, neben zukünftig ausreichend verfügbarer Baumarten aus nachhaltiger Waldwirtschaft, auch geringe Holzqualitäten zum Einsatz. Die zerstörungsfreie Demontage ganzer Bauteile ist ebenso gewährleistet, wie die Trennbarkeit einzelner Komponenten. Die Trennbarkeit der Komponenten ist ökonomisch darstellbar und wird umgesetzt. Die einfache Trennbarkeit bedingt zudem, dass Gebäude einfach umgebaut und an aktuelle Anforderungen angepasst werden können: Verbindungen sind zugänglich und ein Austausch von Komponenten ist einfach möglich. Ein vorgefertigter Holzbau der Zukunft ist langlebig, dient als Materiallager und ist maximaler Kohlenstoffspeicher.

#### Transfer

Dieses Szenario fordert:

- Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Entwicklung marktfähiger, zerstörungsfrei lösbarer Verbindungsmittel, inkl. Anschlusslösungen der Bauteile.
- Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Entwicklung von Bauteilen, bestehend aus materialgesunden, zerstörungsfrei trennbaren Komponenten.
- F&E im Bereich der Materialentwicklung hinsichtlich der Entwicklung stofflich reiner, langlebiger Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen unter Berücksichtigung der Ausnutzung einer optimierten kaskadischen Nutzung.
- F&E im Bereich Materialentwicklung unter Berücksichtigung des Einsatzes von zukünftig verfügbaren Holzarten und bislang wenig genutzten Holzqualitäten.
- Neuansatz hinsichtlich der Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungsszenarien

#### Planung und Umsetzung

##### Szenariofeldbestimmung

Die Anpassung etablierter Planungs- und Umsetzungsprozesse an die Bedürfnisse des vorgefertigten Holzbaus wird seit Langem gefordert. Die dafür notwendigen Veränderungen werden in der Forschung zu holzbaugerechten Planungsprozessen beschrieben (leanWOOD, 2017). Anpassungen sind daher keine neuen Forderungen für das kreislaufgerechte Bauen mit Holz. Vielmehr untermauern die Erkenntnisse der Fallstudien und Interviews die Bedeutung holzbaugerechter Planungsprozesse auch für den Übergang zur Kreislaufwirtschaft. Der Schwerpunkt für das Zukunftsszenario in der Planung wird auf das materialgerechte Planen und Konstruieren mit Holz gelegt. Weitere Aspekte im Themenfeld der Planung sind nicht holzbauspezifisch und werden an dieser Stelle nicht behandelt. Einer dieser Aspekte ist die mit dem Urban Mining Ansatz einhergehende Transformation von Stoff- und Materialströmen, die sowohl Auswirkungen auf den Planungs- als auch auf den Fertigungsprozess hat. Ferner handelt es sich

um Entwurfs- und Gestaltungsaspekte, die in einem kreislauforientierten Planungsprozess zu berücksichtigen sind, wie Nutzungsflexibilität, Nutzungsdauer, Systemtrennung etc.

#### Schlüsselfaktoren

Im Rahmen der empirischen Untersuchung und der Analyse der Fallstudien wurden material- und prozessspezifische Kompetenzen in der Planung und Umsetzung kreislaufgerechter Gebäude als wichtiger Schlüsselfaktor für die Planung identifiziert. Ferner wurde die Notwendigkeit der Reduktion und Vereinheitlichung verfügbarer Aufbau- und Fügeverfahren und deren Erweiterung um kreislaufrelevante Daten und Informationen erkannt.

#### Szenariogenerierung

Ein wünschenswertes Szenario für die Planung kreislaufgerechter Holzbauten basiert auf folgenden Eckpunkten:

- Den projektspezifischen Anforderungen entsprechendes, terminlich geeignetes Einbeziehen von Know-how und/oder notwendiger Kompetenzen: Kompetenzen hinsichtlich des kreislaufgerechten Konstruierens mit Holz, sowie in Bezug auf Produktions-, Montage- und Logistikprozesse
- Standardisierung und Vereinfachung von Aufbauten und Fügungen
- Identifikation von relevanten Parametern für die Planung und für End-of-Life-Szenarien

Das Idealbild eines kreislaufgerechten Planungsablaufs eines Holzbaus beinhaltet die frühzeitige Integration aller, für die Planung eines kreislaufgerechten Holzbaus notwendigen Kompetenzen im Team. Die Expert:inneninterviews und Untersuchungen in den Fallstudien zeigen, dass das Wissen und die Erfahrungen um die Planung vorgefertigter Holzbauten für das kreislaufgerechte Entwerfen und Konstruieren eine wichtige Grundlage darstellt. Ferner wird deutlich, dass das Produktions-, Montage- und Logistik-Know-how eine wesentliche Rolle für die Rückbaubarkeit spielt. Die integrative Konzeption von Rückbauszenarien in die Planung bedarf eines umfassenden Erfahrungswissens aus der Fertigung und Montage. Das Einbeziehen des ausführenden Holzbauunternehmens als Know-how-Träger in den frühen Planungsprozess ist für öffentliche Auftraggebende durch die Rahmenbedingungen des Vergaberechts eingeschränkt. Lösungen wie Leistungsbeschreibungen mit Leistungsprogramm, die Integration von Beratungsleistungen (Schuster, 2017, S. 82–124) oder Kooperationsmodelle, wie der Gesamtleistungswettbewerb in der Schweiz (Geier et al., 2017, S. 33), bieten bereits umsetzbare Lösungen innerhalb der bestehenden Rahmenbedingungen. Der Leistungsumfang einer Holzbauplanung, die Inhalte der Arbeitsvorbereitung sowie Produktions- wie Montage Know-how integriert, ist nach wie vor ein Ausnahmefall. Welcher Lösungsansatz für die Integration idealerweise gewählt wird, muss projektspezifisch entschieden werden. Eine Anwendung des Instrumentes des „Wettbewerblichen Dialoges“<sup>10</sup> (Geier et al., 2017, S. 35) im Bauwesen, der eine frühe, gleichberechtigte Kooperation aller beteiligten Akteur:innen für öffentliche Auftraggebende ermöglicht, kann eine hilfreiche Anpassung im Rahmen der aktuellen Novellierung des Vergaberechts darstellen. Nicht zuletzt die umfangreiche Produkt- und Konstruktionsvielfalt im Holzbau hat dazu geführt, dass verschiedene Bauteilkataloge entwickelt wurden, die neben Informationen zu Konstruktions- und Aufbauvarianten auch Angaben zu unterschiedlichen Themen (z. B. Ökologische Bewertung, Bauphysik, Brandschutz, etc.) beinhalten. Idealerweise werden bereits bestehende Bauteilkataloge um Aufbauten und Fügungen ergänzt, die für die Umsetzung kreislaufgerechter Holzbauten geeignet sind und Themen der Demontierbarkeit und Trennbarkeit behandeln.

Das Idealbild des holzbaugerechten Planungs- und Umsetzungsprozesses kann nicht ohne die technologische Komponente des Building Information Modeling (BIM) gezeichnet werden. Einerseits wird damit die langfristige Dokumentation und Datenverfügbarkeit unterstützt, andererseits ermöglicht das „I

---

<sup>10</sup> Anmerkung Verfasserinnen: Der Wettbewerbliche Dialog wird im Bauwesen in Deutschland kaum bzw. nur bei großen Infrastrukturprojekten umgesetzt.

wie Information“ in BIM die eindeutige und logisch strukturierte Verwaltung von Informationen zu Materialien, deren Eigenschaften und Herkunft sowie die Dokumentation von Füge-techniken. Aus Sicht der Planung ist dafür der Schritt zur Standardisierung auf Ebene der Bauteilaufbauten und -fügungen und zugleich im Bereich der Prozesse notwendig. Eine herstellerübergreifende Standardisierung von Aufbauten oder Füge-techniken zeichnet sich gegenwärtig nicht ab.

Die Datenbank „dataholz.eu“ bietet eine Plattform für Holz- und Holzwerkstoffe, Baustoffe, Bauteile und Bauteilanschlüsse für den Holzbau. Sie zeigt in Deutschland baurechtlich verwendbare Bauteilaufbauten, die bauphysikalisch und ökologisch geprüft und/oder zugelassen sind. Gleichzeitig bildet der Katalog geprüfte Holzbauteile für Österreich ab. Für Deutschland ist der Katalog insofern wichtig, weil diese Nachweise als bauaufsichtliche Verwendbarkeitsnachweise im baurechtlichen Genehmigungsverfahren verwendet werden können ([www.dataholz.eu](http://www.dataholz.eu)). Damit wird eine gewisse Standardisierung erreicht, die zu einer größeren Übersichtlichkeit, Planungssicherung und Kalkulierbarkeit von Holzbauten führt. Eine Weiterentwicklung der Plattform, die Unterstützung hinsichtlich einer kreislaufgerechten Materialwahl und kreislauffähigen Bauteilen und Füge-techniken bietet, stellt eine wünschenswerte Unterstützung der Planung dar, die projektübergreifend ansetzen kann. Die Standardisierung im Sinne der Reduktion der Vielzahl von Aufbauten und der unterschiedlichen Fügungsmöglichkeiten bis hin zur Typisierung der statischen Strukturen und in Folge die Verschlinkung von Bauteilkatalogen, beschreiben ein weiteres ideales Bild. Das Beispiel der Triodos-Bank veranschaulicht, dass eine Erhöhung der Anzahl baugleicher Typen das Potenzial der zukünftigen Wiederverwendung unterstützt. Das Idealbild der Standardisierung der Prozesse und aktueller Umsetzungspraktiken kann idealerweise mit der bereits stattfindenden Transformation tradierter Planungsroutinen gekoppelt werden. Diese Art der Standardisierung sollte grundsätzlich für das Planungs- und Beschaffungswesen gleichermaßen in der Bauindustrie vorangetrieben werden.

Diese Ansätze benötigen auch ein gemeinsames Verständnis hinsichtlich der relevanten Parameter, die als Informationsgrundlage dienen und auch derjenigen, die in der digital basierten Planung integriert werden. Zusätzlich braucht es eine Verständigung auf relevante Parameter, die die Dokumentation von Lebenszyklusdaten und die Nachverfolgung von Baustoffen für Bauteile und Komponenten ermöglichen. Im Projekt „Wandelbarer Holzhybrid“ fand hierzu die Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Parametern statt (Graf, Birk, Blaß et al., 2022, 40; 99; 101).

#### Transfer

Die Szenarien bieten eine Unterstützung bei der Übertragung in die Praxis und bieten Anknüpfungsmöglichkeiten für weiterführende Forschung:

- Etablierung der Umsetzung eines holzbaugerechten, kreislauforientierten Planungsprozesses: „Planung der Planung“ durch die Projektleitung und den Auftraggebenden.
- Integration der notwendigen Informationsbereitstellung für kreislaufgerechte Konstruktionen, Produktion, Montage, Logistik in der kollaborativen Erarbeitung des BIM-Prozessplanes und der Verantwortlichkeitsmatrix.
- Forschungs- und Entwicklung zur Identifikation, Dokumentation und Vereinheitlichung relevanter Parameter für Holzbauteile
- Forschungs- und Entwicklung zur Standardisierung von Aufbauten und Fügungen kreislaufgerechter Holzbaukonstruktionen
- Forschungs- und Entwicklung zu Weiterentwicklungen von Bauteil-Datenbanken

## Technologie

### Szenariofeldbestimmung

Technologische Aspekte spielen für den Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau vielfältige Rollen. In der wissenschaftlichen Literatur wird auf den noch sehr begrenzten Einsatz von bereits verfügbaren Technologien wie Virtual oder Augmented Reality, Blockchain oder RFID hingewiesen (Seite 24). Um Gebäudedaten zu dokumentieren, Stoffströme zu verfolgen und Marktplätze für Baustoffe zu etablieren, sind unterschiedliche Datensätze notwendig. In Verbindung mit Geschäftsmodellen sind digitale Technologien wie Plattformen oder Datenbanken ein essenzieller Bestandteil und Grundlage für wichtige Instrumente, wie beispielsweise Gebäudematerialkataster oder Materialpässe. Die Aussagen in den Expert:inneninterviews sind geprägt von unterschiedlichen Aspekten zur Anwendung von Technologien in der Fertigung und Montage im Holzbau. Im Bereich der Logistik zeichnet sich eine Auseinandersetzung mit den notwendigen Technologien bereits ab. An dieser Stelle ist der Handlungsdruck aus der Umsetzungspraxis allerdings noch geringer als in der Planung und Umsetzung. Die fortschreitende Diffusion von Building Information Modeling (BIM) drängt die logistischen Fragestellungen aktuell in den Hintergrund. An dieser Stelle wird behandelt, wie bestehende, digitale Prozesse verbessert werden können, um das Potenzial von Holz in einer zirkulären Bauwirtschaft besser zu nutzen. Der Fokus liegt dabei auf notwendigen Grundlagen und Praktiken, um die Anschlussfähigkeit zu weiteren Entwicklungen bislang wenig etablierter Technologien zu ermöglichen.

### Schlüsselfaktoren

Im Rahmen der empirischen Untersuchung und der Analyse der verschiedenen Fallstudien wurden das Informationsmanagement in der (Gebäude-)Modellierung und die Datennachführung von Entwurf über Planung, Ausführung bis hin zur Fertigstellung als wichtige Schlüsselfaktoren für die Planung identifiziert. Ein weiterer Punkt ist noch die Abbildung bzw. Erfassung der Demontierbarkeit in der Modellierung, um die für den Rückbau relevanten Daten auch zur Verfügung zu haben.

### Szenariengenerierung

Für den Holzbau ist es wünschenswert, dass bereits bestehende digital basierte Technologien die breite Umsetzung kreislauffähiger Holzbauten optimal unterstützen. Dazu sind unter anderem folgende Eckpunkte wesentlich:

- Eindeutige Bezeichnung und Angaben zu Herkunft und Eigenschaften von Materialien und einheitlich strukturierter Aufbau in der Modellierung für die Übergabe an einen Gebäudematerialkataster
- Abbildung der Demontierbarkeit von Bauteilen mittels Hüllkörperstrukturen
- Angemessener holzbaugerechter Detaillierungsgrad
- Fälschungssichere langfristige Dokumentation

Im Idealbild der Planung (Seite 94) wird das notwendige gemeinsame und einheitliche Verständnis für relevante Daten skizziert. In der aktuellen Umsetzungspraxis der modellbasierten Kollaboration mit der BIM-Methode sind die Planenden bereits mit der Abstimmung hinsichtlich der Informationsbereitstellung gefordert.

In Deutschland entspricht das den Auftraggeberinformationsanforderungen (AIA) und dem BIM Abwicklungsplan (BAP) gemäß VDI Richtlinien (VDI, 2552 Blatt 10). In der Schweiz sind das die Organisatorische Informationsanforderungen (OIR) gemäß EN 19650-2:2018 und der BIM Execution Plan (BEP). In beiden Fällen handelt es sich um Anforderungen, die unabhängig von der Implementierung zirkulärer Prinzipien im Holzbau bestehen.



Das disziplinübergreifende Informationsmanagement erfährt im Schritt hin zu einer kreislauffähigen Planung eine weitere Dimension. Es betrifft unter anderem die Abstimmung hinsichtlich der Integration in Gebäudematerialkataster, wie beispielsweise Madaster. Eindeutige Informationen zu Materialien und Angaben zu deren Herkunft und Eigenschaften sind im interdisziplinären Planungsteam, mit der etablierten Bezeichnung in der Produktionsplanung und dem Gebäudematerialkataster abzustimmen. Damit wird die digitale Durchgängigkeit im Prozess unterstützt und manuelles Nacharbeiten oder Datenverlust verhindert. Für eine optimale Nutzung von Gebäudematerialkatalogen ist eine konsistente Erfassung der Base Quantities für Modellelemente erforderlich. Base Quantities sind die Masse oder Meßgrößen für Modellierungselemente, aus denen Informationen zu Fläche, Volumen, etc. abgeleitet werden. Neben deren Erfassung sind die Vorgaben des Austauschstandards IFC für die Übernahme in den Gebäudematerialkataster zu berücksichtigen. Ohne eine Verknüpfung der Modellierungselemente mit Base Quantities können keine Bewertungen (Kosten, CO<sub>2</sub>, etc.) im Gebäudematerialkataster vorgenommen werden. Um Holzbauten als Materiallager zu planen und zu bauen, müssen alle Informationen über das Gebäude und die darin verbauten Materialien dokumentiert werden. Nur so können am Ende des Lebenszyklus die Rohstoffe wiedergewonnen werden. Dafür eignen sich digitale Materialpässe. Wünschenswert ist eine harmonisierte, mit semantischen Daten angereicherte Materialdatenbank, die zu Beginn eines Planungsprozesses von allen übernommen wird, in die Fertigung überführt werden kann und die sich bestenfalls auf (inter)nationaler Ebene etabliert. Parallel dazu ist im Holzbau der Modelleraufbau mittels logisch strukturierter Hüllkörper wesentlich. Idealerweise sind die Hüllkörper insbesondere für Bauteile in Bezug auf deren Demontage und den Rückbau strukturiert. Die jeweiligen Hüllkörper zeigen die gefügten Bauteile, die Fügung wird in die entsprechenden Property Sets integriert. Entscheidend dafür ist die Wahl eines angemessenen Detaillierungsgrades. Das projektspezifische Abstimmen zwischen Hüllkörperstruktur und Detaillierungsgrad ist in der Etablierung der Modellierungsstruktur und den BIM-Modellplänen abzubilden und laufend im Projektfortschritt zu evaluieren. Im Bereich von Produkt- und Materialeigenschaften gilt grundsätzlich „weniger ist mehr“. In Bezug auf Bauteilverbindungen und Montagedetails ist eine detaillierte Information auch auf Ebene einzelner Verbindungsmittel essenziell. Das Management größerer Datenmengen in Datenbanken wie Madaster ist eine Herausforderung. Derzeit entstehen vielfach Verluste bei den Daten über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Das ist unter anderem auf fehlende Schnittstellen zurückzuführen. Idealerweise werden Lücken hinsichtlich relevanter Informationen eines Gebäudes überwunden. Ferner ist ein dauerhafter, fälschungssicherer und nachvollziehbarer Zugang zu Informationen ein wichtiger Bestandteil der weiteren Entwicklungen. Aktuell werden diese Daten vorwiegend zentral abgelegt (Cloud Computing, Speichermedien). Bei dieser Art der Datenablage besteht neben der Gefahr des hinreichenden Schutzes der Daten die Gefahr, dass Daten beschädigt werden, verloren gehen oder gefälscht werden. Darüber hinaus bietet diese Art der Informationszurverfügungstellung keine Möglichkeit in Echtzeit auf Daten zuzugreifen. Die dauerhafte und permanente Bereitstellung aller relevanten Daten kann dazu beitragen Ressourcen zu schonen und kreislauffähige Prozesse zu beschleunigen. Wenn Informationen jederzeit vorliegen, steigt das Potenzial des Neueinsatzes.

#### Transfer

- Thematisieren folgender Punkte in der projektspezifischen „Planung der Planung“: Erstellung einer harmonisierten Nomenklatur, Modellierungsstruktur, Detaillierungstiefe sowie die konsistente Erfassung von Base Quantities.
- Etablieren von Import-Export-Proben vor Modellierungsbeginn mit Gebäudematerialkataster
- Forschungs- und Entwicklung zur Vereinheitlichung von Schnittstellen
- Forschungs- und Entwicklung zur fälschungssicheren Dokumentation

## Wirtschaft

### Szenariofeldbestimmung

Das Themenfeld der Wirtschaft ist, wie in den Ausführungen zur Themenlandkarte gezeigt, sehr breit. Für den Holzbau lassen sich zwei übergeordnete Themen identifizieren: die Wirtschaftlichkeit und neue Geschäftsmodelle.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit taucht in den durchgeführten Erhebungen wiederholt die Frage nach der Wirtschaftlichkeit des Re-use von Bauteilen auf. Diese Frage ist mit dem Aufwand der Unternehmen im Rückbau verknüpft und wird im Unterkapitel „Bewertung“ vertieft betrachtet. In der Szenariengenerierung zur Wirtschaft erfolgt demnach die Betrachtung der Frage, welche neuen Geschäftsmodelle im Holzbau identifizierbar sind. Der Fokus liegt dabei auf Geschäftsmodellen, die sich im Neubaubereich mit der Planung und Umsetzung gemäß zirkulärer Prinzipien beschäftigen und den Weg zur Schließung von Materialkreisläufen in Zukunft vorbereiten. Urban Mining Ansätze in Bezug auf die gegenwärtige Wiederverwendung von Gebrauchtholz sind noch ein Nischensegment (siehe die Ausführungen auf Seite 46) und werden an dieser Stelle nicht betrachtet.

### Schlüsselfaktoren

Im Rahmen der Literaturrecherche, der Expert:inneninterviews und der Analyse der verschiedenen Fallstudien wurden unterschiedliche Geschäftsmodelle für die Umsetzung im Holzbau identifiziert. Daraus lassen sich zwei Schlüsselfaktoren ableiten: Vor dem Hintergrund der Aufbau- und Materialvielfalt sowie dem technologischen Stand in Produktion und Montage, ist ein hohes Maß an holzbauspezifischem Know-how erforderlich. Ein zweiter maßgebender Faktor für die Weiterentwicklung von Geschäftsmodellen, vor allem in der Weiterverwendung (Re-use), ist die zukünftige Entwicklung bezüglich der Ressourcenverfügbarkeit von Holz (siehe Seite 51).

### Szenariogenerierung

Der Schlüsselfaktor holzbauspezifisches Know-how beschränkt die Aktivitäten zum Aufbau neuer Geschäftsmodelle gegenwärtig auf Unternehmen mit langjähriger Erfahrung im modernen Holzbau. Zwar entwickeln sich Bauteilbörsen im Bausektor stark, jedoch sind diese in einem skalierbaren Maßstab für den Holzbau wenig geeignet. Unter der Prämisse des notwendigen Know-hows kann das Modell der Herstellerrücknahme für den Holzbau ein geeigneter Ansatz sein. Es entspricht in Teilen dem Prinzip der „Responsibility“ der Idee des Architekten Thomas Rau: „Der Bauherr gibt beim Abriss die Verantwortung zurück zum Produzenten. Der müsse dann garantieren, dass man den Materialwert zurückbekomme. Bei Re-Use dagegen liege die Verantwortung beim Bauherrn.“ (Rada, S. 55–56). Einen Schritt weiter geht das Modell „Material as a Service“ (Rau & Oberhuber, 2018, S. 161–174). Bei diesem Modell, das vorsieht Material zum Nutzungszweck zu vermieten, ist kein Eigentumswechsel vorgesehen. Bei der Herstellerrücknahme wird das Unternehmen, der Idee der Responsibility folgend, in die Verantwortung genommen. Die Rücknahme ist verpflichtend, so lange die vereinbarten Vertragsbedingungen eingehalten werden. Das Unternehmen sichert sich damit nicht nur die Materialressource, sondern generiert auch einen Vorteil hinsichtlich der Qualitätssicherung. Bei einer sorgfältigen internen Dokumentation werden Prüfung und Einschätzung in Bezug auf Eignung und Funktionsfähigkeit des gebrauchten Produkts erleichtert. Der Aufwand für die Qualitätssicherung verringert sich, die Nachnutzungswahrscheinlichkeit erhöht sich und die Wirtschaftlichkeit des Re-use wird verbessert. In diesem Szenario sind zudem Lager- und Logistikthemen zu berücksichtigen. Die großformatige Elementierung in der Vorfertigung führt zu Bauteilen, die umfangreiche Lager- und Logistikflächen benötigen. Auf Basis der vorliegenden Interviews mit Holzbauunternehmen ist eine länderspezifische Tendenz ablesbar: Lagerflächen werden in der Schweiz kritischer beurteilt als in Deutschland. Mit dem Modell der Herstellerrücknahme kann der Bedarf an Lagerflächen reduziert werden. Die Planung der Nachnutzung kann früher mit einem besseren Wissensstand aus der internen Dokumentation starten. Damit kann eine langfristige Lagerung verhindert werden.

Einige Bauteilbörsen bieten bereits die frühzeitige Ankündigung des Rückbaus an, um den selektiven Rückbau zu optimieren. In Anbetracht der Überlegungen zum Szenario der Herstellerrücknahme sind zwei mögliche Ansätze für den Holzbau denkbar:

- Spezifische Parameter von Bauteilen aus dem vorgefertigten Holzbau werden standardisiert in bestehende Plattformlösungen aufgenommen. Damit stehen erfahrenen Holzbauunternehmen für die weiteren Nachnutzungsszenarien die für den Holzbau relevanten Informationen zur Verfügung.
- Die Holzbauunternehmen organisieren sich kooperativ, in Analogie zum Amazon-Geschäftsmodell, auf einer virtuellen Plattform. Dieses Modell kann mittels dezentral durchgeführter Logistik und/oder Zwischenlagerflächen funktionieren und basiert auf einer vernetzten Koordination des Material- und Bauteilmanagements.

Nachnutzungsszenarios sind aus der aktuellen Perspektive bei Holzbauunternehmen wenig konkret. Es gibt kaum Erfahrungen mit dem Rückbau von Gebäuden, die mit den Technologien des modernen Holzbaus errichtet wurden. Die weitere Entwicklung wird mit dem Handlungsdruck hinsichtlich der künftigen Ressourcenverfügbarkeit und der Nachfrage weiterer stofflicher Verwertungsindustrien gekoppelt sein. Diese Faktoren haben direkten Einfluss auf die Nachfrage nach Alt- und Gebrauchtholz für den Verwendungszweck im Bausektor. Vor dem Hintergrund einer Ressourcenverknappung und dem steigenden Bedarf an Holz (siehe Seite 51) ist davon auszugehen, dass die Nachfrage nach Gebrauchtholz im Bausektor zukünftig steigt. Die Entwicklungen im Bausektor im Kontext der Kreislaufwirtschaft zeigen, dass die Organisation verfügbarer Materialressourcen in Gebäuden und das Management der aus dem Bestand gewonnenen Ressourcen ein Potenzial für zukünftige Jobprofile birgt. Die Demontage und Weiterverwendung wird die Nachfrage nach Material- und Bauteilsconts, die über Know-how aus dem modernen Holzbau und den Produktions- und Montageprozessen mitbringen, erhöhen. Ferner werden Personen mit Kenntnissen im Feld kaskadischer Prozesse zukünftig gefragt sein.

#### Transfer

- Forschungs- und Entwicklungsbedarf zur standardisierten Abbildung von Bauteilen aus dem modernen Holzbau in Bauteilbörsen
- Entwicklung von ökonomisch und ökologisch darstellbaren Geschäftsmodellen für den Holzbau
- Unternehmensübergreifende Initiativen zur Etablierung von Modellen zur Herstellerrücknahme
- Ausbildungsstrategien

#### Bewertung

##### Szenariofeldbestimmung

Die Aktivitäten und Diskussionen im Themenfeld der Bewertung in der Kreislauffähigkeit von Gebäuden zeigen, dass ein gemeinsames Verständnis für weitere Entwicklungen auf Expert:innenebene benötigt wird. Für einen Paradigmenwechsel im Holzbau sind diese Entwicklungen wichtig, sie sind jedoch nicht holzbauspezifisch. Die Analysen im Kontext der Arbeit verweisen auf einen Aspekt, an dem spezifischer Handlungsbedarf für den Holzbau besteht: Die Rückbaubarkeit eines Gebäudes ist abhängig von der Demontierbarkeit von Bauteilen und deren Trennbarkeit in Einzelkomponenten. Madaster hat mit der Integration des Demontierbarkeitsindex (siehe Seite 48) einen Schritt zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und zur Ermittlung des Rohstoffrestwertes getan. Die Recherchen zum Demontierbarkeitsindex von Madaster, der auf den Empfehlungen des Dutch Green Building Councils basiert, führen zur Dissertation „Transformable Building Structures“ von Durmisevic an der TU Delft. Die an dieser Dissertation entwickelte Klassifizierung der Verbindungs- und damit Lösbarkeitskriterien (Durmisevic 2006) ist theoretisch logisch, jedoch nicht mit dem tatsächlichen zeitlichen und damit ökonomischen Aufwand für die Demontage und den Rückbau verknüpft. Sie ist nicht holzbauspezifisch und daher wenig geeignet für die Umsetzungspraxis im vorgefertigten Holzbau.

## Schlüsselfaktoren

Die Bewertung der Demontierbarkeit ist mit dem tatsächlichen Rückbauaufwand verknüpft und beschreibt nicht allein die grundsätzliche Lösbarkeit, die in der Klassifizierung des Demontierbarkeitsindex abgebildet ist. Der Rückbauaufwand hängt vom jeweiligen Rückbauverfahren ab und setzt sich aus dem Arbeitsaufwand von Personen und dem Einsatz von Maschinen zusammen (Rosen, 2021, S. 54–55). Die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit ist gegenwärtig auf einen möglichst geringen Aufwand ausgerichtet und führt in der Umsetzungspraxis meist zum Abbruch. Die Umsetzung eines Rückbaus muss wirtschaftlich darstellbar sein, um alternative Entsorgungswege, wie die thermische Verwertung mittel- und langfristig zu verhindern.

## Szenariogenerierung

Im Bauwesen hat sich der Baukostenindex BKI ([www.bki.de](http://www.bki.de)) zur Planung von Neubaukosten etabliert. Bislang existieren noch keine öffentlich verfügbaren Daten zu den Rückbaukosten (Rosen, 2021, S. 54). Im zukünftigen Idealbild zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und des Rohstoffrestwertes für Gebäude steht ein Demontierbarkeitsindex zur Verfügung, der den tatsächlichen Aufwand beim Rückbau abbildet. Mit diesem Index steht den Planenden ein Werkzeug zur Umsetzung einer kreislaufgerechten Planung und Ausführung zur Verfügung. Ein einfacher Rückbau ist mit einem hohen Qualitätslevel in der Nachnutzung verknüpft. Dazu zählt die Wiederverwendung von Bauteilen, Bauelementen oder Komponenten oder die sortenreinen Trennung und Nutzung von Sekundärrohstoffen. Gleichzeitig wird mit einem Demontierbarkeitsindex die Grundlage für einen Rückbaukostenindex geschaffen. Dieser setzt Anreize für die Auftraggebenden und Investierenden, weil langfristige finanzielle Vorteile in der Beurteilung des Rohstoffrestwertes eines Gebäudes generiert werden können. Im idealen Szenario eines Demontierbarkeitsindex ist dieser nicht mit der theoretischen Lösbarkeit, sondern mit realen Erfahrungswerten verknüpft. Diese müssen material- und technologiespezifisch anhand mittels Prüfkörpern und Auswertungen ermittelt werden. Die Zugänglichkeit für alle Planenden kann über Bauteilkataloge gewährleistet werden. Der Demontierbarkeitsindex kann in Folge mit geprüften und verifizierten Aufbauten und Fügungen verknüpft werden.

## Transfer

Dieses Szenario fordert weiterführende Forschung in engem Austausch mit der Branche:

- Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Ermittlung des tatsächlichen Rückbauaufwandes von Bauteilen und Fügungen
- Integration der Ergebnisse in holzbauspezifische Bauteil-Datenbanken
- Forschungs- und Entwicklungsaufträge zur Evaluierung der Wirtschaftlichkeit des Rückbaus im Holzbau im Spannungsfeld des Materialwertes bei kaskadischer Nutzung und einem Re-use.

## Zusammenfassung

Der Forschungs- und Entwicklungsbedarf (F&E), der sich aus den Zukunftsszenarien ergibt, kann wie folgt zusammengefasst werden:

- F&E zur Feststellung und Festlegung von Leistungseigenschaften gebräuchter Bauteile
- F&E zur Entwicklung innovativer lösbarer Verbindungsmittel im Bereich konstruktiv wirksamer Verbindungen/ Fügungen
- F&E zur Entwicklung innovativer lösbarer Befestigungsmittel auf Komponentenebene
- F&E zur Weiterentwicklung von Bauteilaufbauten, die eine zerstörungsfreie Trennbarkeit in Einzelkomponenten gewährleisten

- 
- F&E zur Feststellung des ökonomischen Aufwandes des Rückbaus von Bauteilen, Fügungen und Komponenten
  - F&E für innovative Produktentwicklung: biobasierte, rückstandsfreie lösbare Klebstoffe
  - F&E im Bereich Material/ Produktentwicklung. Kriterien: nachwachsende Rohstoffe, Sortenreinheit, Materialgesundheit
  - F&E zur Entwicklung innovativer Materialien/ Produkte aus nicht oder wenig genutzten Holzqualitäten (Schadholz)
  - F&E im Bereich nachhaltiger Rohstoff- und Baustofflogistik (Gebrauchtholzlogistik)
  - F&E zur nachhaltigen Informations- und Prozessoptimierung durch Digitalisierung
  - F&E zur Entwicklung einer Methode für die zuverlässige und einfache Bewertung ökologischer, ökonomischer und ressourceneffizienter Parameter von (Gebraucht-)Holz über den gesamten Lebenszyklus

## Ergebnisse

Das Ziel von circularWOOD ist es, die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft für den modernen Holzbau vorzubereiten. Das Projekt führt dazu theoretisches Wissen zur Kreislaufwirtschaft und Erfahrungen in Pilotprojekten für kreislauffähiges Bauen mit Holz zusammen und leitet mögliche Szenarien für ein zukünftiges Bild eines kreislaufgerechten Holzbaus ab. Die Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse werden an dieser Stelle zusammengefasst, dargestellt und diskutiert.

### Synthese, Diskussion und Bewertung der Erkenntnisse

Das Thema der Kreislaufwirtschaft im Holzbau hat in den vergangenen Jahren an Bedeutung gewonnen. Holz ist ein nachwachsender Rohstoff und ermöglicht neben der temporären Kohlenstoffspeicherung die Substitution mineralischer Baustoffe. Mit der sukzessiven Einführung der EU-Taxonomie und einer möglichen verpflichtenden CO<sub>2</sub>-Bilanzierung für Gebäude wird Holz als Baustoff und das Prinzip des zirkulären Bauens weiter an Bedeutung gewinnen. Das Potenzial kreislaufgerechter Konstruktionen aus Holz wird von der Branche hoch eingeschätzt. Der Holzbau wird zudem als Vorreiter für demontierbare Konstruktionen betrachtet. Die Umsetzung kreislauffähiger Holzbauten ist gegenwärtig im Stadium der Pilotprojekte. Der Fokus von Investor:innen- oder Auftraggebern liegt bislang im Neubau von nachhaltigen, aber nicht zwangsläufig kreislauforientierten Gebäuden. Die Kaskadennutzung von Holz im Bauwesen ist wenig verbreitet. Neben der erhöhten Nachfrage nach Gebrauchtholz für die thermische Verwertung erschwert eine fehlende Wirtschaftlichkeit die Wiederverwendung gebrauchter Bauteile. Die Verfügbarkeit von Holz wird langfristig den Handlungsdruck hin zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau beeinflussen. Die vorliegende Forschungsarbeit beschreibt dabei länderspezifische Unterschiede. In Deutschland sind Konzepte zur Wiederverwendung oder -verwertung aufgrund von Unsicherheiten hinsichtlich der langfristigen Verfügbarkeit weiter fortgeschritten als in der Schweiz.

Die Diskussion in der Kreislaufwirtschaft ist von einer Konzeptvielfalt geprägt. In der Baubranche reduziert sich diese Konzeptvielfalt. Eine einheitliche Definition ist bislang ausstehend. Die durchgeführte Literaturrecherche hat überraschend umfangreiche Literaturquellen zum Thema Kreislaufwirtschaft im Holzbau identifiziert. Der Cradle-to-cradle-Ansatz genießt eine hohe Bekanntheit und dominiert die Diskussion. Die Erfahrungen in der Umsetzung von Holzbauten zeigen, dass ein Teil der Cradle-to-cradle-Prinzipien im Widerspruch zur aktuellen Umsetzungspraxis im Holzbau steht. Beispielsweise konterkariert der Einsatz von feuchtevariablen/ feuchteadaptiven Folien in Bauteilaufbauten (siehe Seite 68) die C2C-Prämisse der Sortenreinheit. Kreislaufgerechtes Bauen und konstruktionsgerechter Materialeinsatz dürfen sich nicht ausschließen. An dieser Stelle sind die Branche und die Forschung gefordert, holzbauspezifisches Know-how in der Umsetzung kreislaufgerechter Prinzipien zu berücksichtigen und dogmatische Prinzipien kritisch zu evaluieren.

circularWOOD untersucht die Frage, welche Stakeholder für die Umsetzung kreislaufgerechter Holzbauten relevant sind. Die empirischen Untersuchungen zeigen, dass Auftraggebende und Investor:innen sowie Planenden und Projektleitenden gleichermaßen wichtige Rollen zukommen. Konkrete Zielvorgaben und deren Kommunikation im Projektteam sind dabei wesentliche Aspekte. Konsens in den Erhebungen ist, dass gesetzliche Rahmenbedingungen hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Bilanzierung einen maßgeblichen Vorschub leisten werden oder sogar müssen. Die Vorbildwirkung der öffentlichen Hand ist dabei unbestritten und wird erwartet. „Grün orientierten“ Investor:innen wird eine Multiplikatorwirkung zugesprochen. Die Immobilienwirtschaft bereitet sich aktiv auf die sukzessiven Verschärfungen durch die EU-Taxonomie vor. Dabei ist die Motivation - ob Überzeugung oder Marketingüberlegung - grundsätzlich weniger entscheidend. Ein kritischer Blick auf aktuelle Umsetzungsbestrebungen verweist darauf, dass Marketing ein wichtiger Treiber ist und vielfach Handlungsweisen in der Jetztzeit durch Zielsetzungen in der Zukunft ersetzt werden. An dieser Stelle gilt es den Gestaltungsspielraum für zukünftige Generationen zu erhalten und offene Problemstellungen (z. B. hinsichtlich der

Wiederverwendung) nicht in die Zukunft zu verlagern. Die Motivationen von Planenden und Unternehmen aus der Holzbaubranche sich zu engagieren entsteht oftmals aus dem Wunsch, den Holzbau und ihren Berufsstand nachhaltig weiterzuentwickeln. Kreislauffähiges Bauen stellt dabei einen Aspekt dar. Finanzielle Anreize werden skeptisch beurteilt. Vielmehr soll ein finanzieller Mehrwert aus dem Paradigmenwechsel hin zu kreislauffähigem Bauen entstehen. Die Holzbaubranche, Planende und Unternehmen, sind vom Potenzial des modernen Holzbaus hin zu einer kreislaufgerechten Bauweise überzeugt. Gleichzeitig werden Entwicklungen der vergangenen Jahre, etwa die Entwicklung von Verbundwerkstoffen, selbstkritisch betrachtet.

Der moderne Holzbau hat in den vergangenen Jahren die Integration von holzbauspezifischem Know-how gefordert. Die gültigen Rahmenbedingungen stellen bis heute eine große Herausforderung dar. Die Möglichkeiten der bestehenden Vergabegesetzgebung sind vielfach nicht bekannt oder werden nicht genutzt. Im Kontext der Berücksichtigung und Planung von Demontierbarkeit und Trennbarkeit in frühen Planungsphasen, erlangt die Integration des notwendigen holzbauspezifischen Wissens im Planungsteam eine noch größere Bedeutung. Der Holzbau ist mit Herausforderungen im Bereich von Planungsprozessen konfrontiert, die sich entlang der mineralischen Bauweise etabliert haben. Eine Transformation von Kooperations- und Vergabemodellen sowie Planungsprozessen ist notwendig. Die Forderung von kollaborativen Modellen in der Planung und Umsetzung wird durch die Komplexität des Bauwesens, die vermehrte Umsetzung von Holzbau und die Implementierung von Building Information Modeling bereits an vielen Stellen gefordert. Kreislaufgerechtes Bauen wird dieser Forderung weiter Vorschub leisten.

Für die Umsetzung kreislaufgerechter Holzbauten spielen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle. circularWOOD hat die unterschiedlichen Rahmenbedingungen von Deutschland und der Schweiz betrachtet. Schweizer Akteur:innen haben in technisch-konstruktiven Fragen ein weitaus weniger starres Zulassungskorsett wie ihre deutschen Kolleg:innen. Sie haben einen größeren Gestaltungsspielraum und tragen aber auch einen größeren Teil der Verantwortung für die Prüfung und Beurteilung der Eignung und Funktionsfähigkeit. Die in Deutschland gültigen Regeln im Umgang mit Bauprodukten werden vielfach als Hemmnis wahrgenommen. Eine qualitativ hochwertige Nachnutzung im Sinne der Wiederverwendung von Bauteilen aus Holz ist zwar im Sinne der politischen Zielsetzung, jedoch faktisch für die Akteur:innen gegenwärtig nicht umsetzbar. Eine Europäische Technische Zulassung (ETA) auf Basis einer technisch und wissenschaftlich basierten Bewertungsgrundlage ist dringend notwendig.

Die technologischen Innovationen, die den modernen Holzbau prägen, blicken auf einen Zeitraum von circa 25 Jahren zurück. Die Entwicklungen im Bereich der großformatigen Vorfertigung sind in diesem Zeitraum stark vorangeschritten. Es gibt bislang wenig Erfahrungen aus dem Rückbau von Holzgebäuden und deren Bauteilen und Komponenten der jüngeren Vergangenheit. Solche Erfahrungen wären ein Mehrwert für die Konzeption kreislauffähiger Neubauten. Es gibt ambitionierte Pilotprojekte zur Wiederverwendung von Gebrauchtholz, jedoch beinhalten diese Erfahrungen zum Rückbau keine, die den modernen Holzbau betreffen. Dadurch besteht einerseits eine Lücke auf der Seite der Stoffströme: Wie funktionieren Logistikketten, werden Zwischenlager benötigt usw.? Andererseits gibt es keine Zahlen zum ökonomischen Aufwand beim Rückbau. Wie die Wirtschaftlichkeit beim Re-use von Bauteilen bewertet werden kann, ist noch offen. Erfahrungen beim Rückbau raumhaltiger Bauweisen sind bereits bekannt. Solche raumhaltige Bauweisen mit temporärem Charakter können als Umsetzungsbeispiele dienen. Eine einfache Übertragung auf den gesamten Holzbau ist aufgrund der konstruktiven Charakteristika nicht möglich. Weiterführende Erkenntnisse müssen aus aktuellen Forschungsprojekten abgeleitet, in künftigen Forschungsprojekten entwickelt und über den Erfahrungsaustausch im Rahmen von Pilotprojekten abgeleitet werden.

Klassische Geschäftsmodelle prägen nach wie vor die Holzbaupraxis. Dies ist unter anderem dem technologischen Stand im Holzbau geschuldet. Ausführungsplanung, Produktion, Montage und Logistik benötigen Infrastruktur und holzbauspezifisches Know-how. Diese Kompetenzen wurden in den vergangenen Jahren durch die Holzbauunternehmen auf- und ausgebaut. Neue Modelle in der Material-



oder Bauteilbeschaffung, wie Bauteilbörsen sind noch wenig spezifisch auf den Holzbau ausgerichtet und haben bislang keine Relevanz. Bestehende Unwägbarkeiten hinsichtlich der langfristigen Verfügbarkeit der Ressource Holz in einem zunehmend begehrten Markt führen zu Überlegungen in Unternehmen, wie die Ressourcensicherheit zukünftig gewährleistet werden kann. Herstellerrücknahmen, aber auch Leasing- oder Mietmodelle für Material und Konstruktionsteile sind Teil der Überlegungen. Das Potenzial der Wiederverwendung steigt mit der Anzahl gleicher oder standardisierter Teile. Eine herstellerübergreifende Standardisierung ist dabei oft ein Wunsch von Stakeholdern außerhalb der Branche. Plattformen, wie beispielsweise ein Gebäudematerialkataster erachten eine solche Standardisierung als wesentlichen Schritt. Bislang hat die Branche in der herstellerübergreifenden Standardisierung wenig Entwicklungen gezeigt. Die Plattform „dataholz.eu“ weist in Richtung einer Standardisierung. Angaben zur Demontierbarkeit und Kreislauffähigkeit der Aufbauten und Fügungen sind an dieser Stelle bislang nicht vorgesehen. Andere Brancheninsider bewerten vielmehr die Standardisierung von Prozessen und die projektspezifische Reduktion von Aufbauten als zielführend und sinnvoll. Zur weiteren Entwicklung von Geschäftsmodellen für die Skalierbarkeit der Kreislaufwirtschaft sind herstellerübergreifende Initiativen notwendig. Um das Feld nicht externen Protagonisten zu überlassen, müssen sich die unterschiedlichen Akteur:innen der Holzbaubranche aktiv einbringen: Themen sind die Festlegung von Parametern und die Entwicklung einer Systematik, die für die Hinterlegung von Holzbauteilen und Komponenten in Bauteilbörsen relevant sind. Alternativ sind holzbauspezifische, herstellerübergreifende Kooperationen und die virtuelle Vernetzung von Rückbauaktivitäten zu etablieren. Dabei ist die Schaffung und die Koordination von Lager- und/oder Logistikköglichkeiten Teil der Aufgabe.

Das Idealbild, in dem Gebäude zukünftig als Materiallager dienen, ist von der Wahl der Materialien und der kreislaufgerechten Gestaltung von Konstruktion und Füge-techniken abhängig. Gesundheitsschädlichen Materialien müssen ausgeschlossen werden oder Holz idealerweise sogar unbehandelt bleiben. Zudem kann der Materialkreislauf von Holz nur dann als geschlossen bezeichnet werden („Closed Loop“), wenn garantiert ist, dass Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft stammt. Die Auseinandersetzung mit dem Themenfeld Material zeigt, dass im Bereich des vorgefertigten Holzbaus viele Fragestellungen offen sind. Das betrifft die im Holzbau eingesetzten Materialien, die nicht eindeutig einem biologischen (oder technischen) Kreislauf zuzuordnen sind. Ferner birgt der Einsatz von Verbundwerkstoffen Herausforderungen, die bislang nicht gelöst sind. Das betrifft neben der Materialgesundheit von Verbundwerkstoffen sowohl deren Einsatz in weiteren Gebäudezyklen als auch deren kaskadisches Nutzungspotenzial. Das in vielen Konzepten (z. B. C2C) geforderte Prinzip der Sortenreinheit, ist bei Verbundwerkstoffen nicht gegeben. Die Forderung nach sortenreinen Materialien führt in Folge bei kreislaufgerechten Pilotprojekten zum Einsatz von PE-Folien. In der Weiterentwicklung des Holzbaus wurde der Einsatz von PE-Folien durch Konstruktionen mit Plattenmaterial (z.B. OSB) oder speziell für den Holzbau entwickelter feuchtevariabler/feuchteadaptiver Folien ersetzt. An dieser Stelle ist der Holzbau mit Fragestellungen zum Einsatz von Verbundwerkstoffen und/ oder der Entwicklung neuer sortenreiner Materialien konfrontiert. Zudem gibt es auf Materialebene kaum Erfahrungswerte hinsichtlich der Lebensdauer der verschiedenen Komponenten, die in einem Bauteil(-aufbau) enthalten sind. Dieser Umstand erschwert eine Beurteilung der Gesamtlebensdauer eines Bauteils, beispielsweise einer Holztafelbauaußenwand. In Anbetracht der längeren Nutzungszyklen von Gebäuden oder Bauteilen sind diese Aspekte zukünftig zu untersuchen und zu bewerten. Hinsichtlich der Konstruktion kreislauffähiger Gebäude sind lösbare statische Verbindungen, wie Holz-Holz-Verbindungen, ein ideales Szenario. Der moderne Holzbau bietet hierfür optimale Voraussetzungen durch die hohe Präzision in der computergesteuerten Vorfertigung. Langfristig zerstörungsfrei lösbare Verbindungen sind gegenwärtig kein Standard. Erste Erkenntnisse aus der Forschung zeigen vielversprechende Entwicklungsrichtungen. Der weiter notwendige Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird im Kapitel zur wissenschaftlichen Anschlussfähigkeit erläutert. Die zerstörungsfreie Trennbarkeit beim Rückbau ist in der Praxis ein Hemmnis. Das kann zukünftig durch eine frühzeitige Berücksichtigung in der Konzeption der Gebäudestruktur ausgeräumt werden. Auf struktureller Seite ist das Prinzip der Systemtrennung im Holzbau bereits weitgehend bekannt. Wird dieses Prinzip zukünftig konsequent weitergeführt und angewendet, sind fortan alle Funktionsschichten

(Scherschichten, siehe Seite 60) trennbar gestaltet. Holzbauten müssen konsequent in den Hierarchieebenen mit unterschiedlicher Lebensdauer gedacht werden. Der Austausch von Bauelementen und/oder Komponenten und die damit einhergehende Verlängerung der Lebensdauer von Gebäuden beschreibt den dabei erzielbaren Mehrwert.

Der moderne Holzbau bedeutet für die Planenden noch immer eine Herausforderung - auch ohne Berücksichtigung der Kreislauffähigkeit. Die Frage, ob und wann der zerstörungsfreie Rückbau von Holzbauten in der breiten Umsetzung in der Praxis erreicht werden kann, kann im Rahmen dieser Forschungsarbeit nicht beantwortet werden. Jedoch zeigt die Arbeit, dass das Potenzial einer Skalierbarkeit der Kreislaufwirtschaft im Holzbau grundsätzlich gegeben ist. Die Vorteile des Holzbaus liegen in der großformatigen Vorfertigung und in der industrialisierten Bauweise. Die Herausforderungen liegen in der Motivation und der Fähigkeit der Holzbaubranche sich den verschiedenen Herausforderungen zu stellen, bisherige Konventionen und Praktiken kritisch zu hinterfragen und Innovationen anzustoßen und umzusetzen.

## Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und Abgrenzung

Die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche in circularWOOD wurden durch die empirischen Erhebungen in weiten Teilen bestätigt und in die Entwicklung der Zukunftsszenarien aufgenommen. Der Transfer in den Zukunftsszenarien identifiziert unter anderem den Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Insgesamt lassen sich drei Bereiche hinsichtlich des Forschungs- und Entwicklungsbedarf für die Skalierbarkeit der Kreislaufwirtschaft im Holzbau beschreiben:

- Entwicklungen zum Design for Disassembly DfD im Holzbau
- Entwicklungen zum Informationsmanagement und der Dokumentation
- Entwicklungen zur verbesserten Nutzung digitaler Technologien im Planungsprozess

Die Erkenntnisse zum Design for Disassembly DfD in circularWOOD veranschaulichen den Bedarf, Erkenntnisse aus der Forschung und der Umsetzungspraxis mit kreislaufgerechten Aufbauten und Fügungen rückzukoppeln. Um Planenden die Möglichkeit zu geben, auf solche Grundlagen zurückzugreifen, stehen diese idealerweise standardisiert und geprüft zur Verfügung. Dafür eignet sich die Weiterentwicklung von Bauteilkatalogen oder Datenbanken. „dataholz.eu“ bietet beispielsweise eine Grundlage für solche Weiterentwicklungen. Damit einher geht die Entwicklung von Demontierbarkeitskriterien aus Sicht des Holzbaus und die Anpassung bestehender Aufbauten.

Für die Planung und Dokumentation fehlt eine gemeinsame Verständigung auf relevante Parameter in der Informationsbereitstellung im Planungsprozess und für die langfristige Dokumentation. Ziel ist es, Entscheidungen zum Zeitpunkt des End-of-Life (EoL) auf Grundlage fundierter Informationen ohne Rechercheaufwand treffen zu können. Die Festlegung solcher Parameter wird, mit Blick auf die notwendigen Entwicklungen der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, notwendig werden. Material und Herkunft, aber auch CO<sub>2</sub> sind dabei relevante Parameter. Die holzbauspezifische Interpretation solcher Parameter muss noch erfolgen.

Die Bauwirtschaft hat insgesamt Entwicklungsbedarf in der digital unterstützten und modellbasierten Kollaboration. Zahlreiche Projekte (BIMwood etc.) zeigen den Entwicklungsbedarf für die Planungs- und Umsetzungspraxis, aber auch im Bereich von Software und Schnittstellen. Hieraus ergibt sich für die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft weiterer Entwicklungsbedarf. Dabei muss die Strukturierung in der Modellierung nicht nur Planungsaspekte und Produktionsabläufe aufnehmen, sondern auch die Perspektive der Demontage aufgreifen. Der Modellaufbau mittels Hüllkörpermodellen, der Bezug auf den Rückbau nimmt, ermöglicht die Aufnahme der Demontierbarkeit als zugeordnete Eigenschaft eines Hüllkörpers. Für die technologische Umsetzung muss noch eine Reihe Fragen beantwortet werden. Ebenso muss die Thematik des Umfangs und der langfristigen Verfügbarkeit von Daten geklärt werden.

Für zukünftige Re-use Szenarien sind Gebäudematerialkataster eine wichtige Grundlage. Daran knüpft die Frage an, wie Bauteile und Komponenten des Holzbaus in Bauteilbörsen abgebildet werden können. Dafür sind F&E-Projekte zur Entwicklung kreislaufgerechter Plattformen, zum Ausbau dezentraler Rückbaustrategien bis hin zu Untersuchungen im Bereich Bauteilmanagement und Logistik notwendig.

Über den Fokus des Forschungsprojekts hinausgehende Entwicklungsschritte, um Ergebnisse für kreislaufgerechte Holzbauten zu erschließen, finden sich im Bereich der Materialwissenschaft. Sie betreffen innovative Holzverbundwerkstoffe, Klebstoffen mit verbesserten Eigenschaften oder die Entwicklung lösbarer Verbindungsmittel und Klebstoffe. Darüber hinaus die Untersuchung von Technologien, die das Recycling und die Wiederverwendung von Holzabfällen aus der Produktion und von Gebrauchtholz optimieren. Der Einsatz innovativer Technologien wie Virtual oder Augmented Reality, Blockchain oder RFID bieten ein großes Untersuchungspotenzial, werden an dieser Stelle jedoch nicht ausgeführt.

Die aufgeführten Grundlagen für die Umsetzung kreislaufgerechter Holzbauten müssen vorhanden sein, um eine dauerhafte Implikation für die Praxis zu gewährleisten. Dabei müssen neben der ökologischen und ökonomischen Perspektive, die derzeit das Verständnis prägt, auch die soziokulturellen Faktoren berücksichtigt werden. Gesellschaftliche Herausforderungen und Nutzer:innenakzeptanz, die mit der Abkehr vom linearen hin zum zirkulären Modell und dem Einsatz von Gebrauchtem einhergehen, müssen bewältigt werden. Das Verständnis der relevanten Mechanismen, gesellschaftliche und brancheninterne Akzeptanz und Motivation sind notwendige Grundlagen für einen Paradigmenwechsel im Holzbau.

## Danksagung

Diese Publikation ist die Schlussdokumentation der Forschungsergebnisse der Zukunft Bau-Forschungs-kooperation des Lehrstuhls für Architektur und Holzbau an der Technischen Universität München und dem Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP) der Hochschule Luzern – Technik & Architektur.

Der Dank des Projektteams gilt dem Innovationsprogramm Zukunft Bau für die Möglichkeit der länder-übergreifenden Forschungskooperation.

Der intensive Dialog zwischen Forschung und Praxis wurde durch viele Beiträge von externen Akteurinnen und Akteuren ermöglicht. Insbesondere möchte das Projektteam folgenden Unternehmen, Institutionen und Personen für ihre wertvollen Beiträge in Interviews und in der Analyse der Fallstudien danken:

- Baubüro In situ AG: Pascal Angehrn (Mitglied der Geschäftsleitung)
- Bergische Universität Wuppertal: Dr. Anja Rosen (Lehrstuhl für Baukonstruktion, Entwurf, Materialkunde)
- Brüninghoff GmbH & Co. KG: Dr. Jan Wencker (Abteilungsleiter Nachhaltigkeit und Innovation)
- Derix-Gruppe: Markus Stepler (Vertriebsleiter), Yannik Hauers (Bauingenieur)
- Die Holzbauingenieure GmbH: Alexander Leib (Geschäftsführender Gesellschafter)
- Epea: Matthias Heinrich (Teamleader), Dr. Tanja Scheelhaase (Senior Advisor), Andrea Heil (C2C-Beraterin), Daniela Schneider (C2C-Beraterin)
- Gemeinde Straubenhardt, Herr Kohle (Fachbereich Bauen und Wohnen)
- Gump & Maier GmbH: Andreas Dengl (Projektentwicklung und Vertrieb)
- Haupt AG - Holzbau und Fensterbau: Franz Küng (Projektleiter)
- Holzprojekt GmbH: Pius Renggli (Geschäftsleiter)
- Holzbau Schaible GmbH, Daniel Schaible (Geschäftsführer)
- HPP Architekten GmbH, Martin Nienhaus (Projektarchitekt)
- Interboden GmbH & Co KG: Christoph Steinkamp (Junior Projektmanager), Isabell Heier (Technische Projektleitung), Benjamin Rüter (Junior Projektentwickler)
- Knippershelbig, Juliane Deubel (Senior Associate)
- Küng Holz AG: Franz Hauenberger (Mitglied Geschäftsleitung)
- Madaster Germany GmbH: Dr. Patrick Bergmann (Geschäftsführer)
- Marc Syfrig Architekt: Tanja Schwarz (Architektin)
- Partner und Partner Architekten: Jörg Finkbeiner (Geschäftsführer)
- Pirmin Jung Schweiz AG: Pirmin Jung (Vorsitzender Geschäftsleitung), Daniel Müller (Mitglied der Geschäftsführung, Leiter Bauphysik), Oliver Bopp (Co-Bereichsleiter Tragwerksplanung), Jonas Muff (Projektleiter Bauphysik), Jasmin Christen (Leiterin Kommunikation und Marketing)
- Prause Holzbauplanung: Gerd Prause (Gesellschafter und Geschäftsführer)
- Rau Architekten: Thomas Rau (Geschäftsführer), Jasper van den Broek (Communication advisor)
- Schaerholzbau AG: Michael Schaer (Geschäftsführer)
- SJB Kempter Fitze AG, Franz Tschuemperlin (Stv. Bereichsleiter Holzbau)

- 
- Swiss Krono Deutschland: Stefan Gottfried (Anwendungstechniker)
  - Wulf Architekten GmbH: Annika Wulf (leitende Architektin)
  - Zirkular GmbH: Pascal Hentschel (Mitglied der Geschäftsführung)

Der Austausch mit einschlägigen Expert:innen ermöglichte die Präzisierung und Validierung von Explikationen spezifischer Themen. Das Projektteam bedankt sich für ihre fachliche Expertise bei:

- Univ. Prof. Stephan Birk, Architekt, BDA, TU München
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf, TU Kaiserslautern
- Univ. Prof. Dr. Klaus Richter, TU München
- Dr. Michael Risse, TU München
- Univ. Prof. Dr. Stefan Winter, TU München
- Univ. Prof. Dr. Frank Petzold, TU München
- PD Dr. Oliver Streif, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)
- Michiel Fehr, Kanton Luzern, Landwirtschaft und Wald, Fachbereich Waldnutzung
- Attilio Ferratello, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein

#### Danksagung an das Team

- Franziska Hansch, Stefan Bucher, Pascal Wacker (HSLU Luzern)
- Cathrin Schapfl, Maximilian Jost, JoAnn Umbach (TU München)
- Dirk Wagner und Gundula Rixin, Wagner/Rixin GbR
- Selina Gullery, Übersetzung

---

## Mitwirkende

### Autorinnen und Autoren

Schuster, Sandra, Dr.-Ing., Lehrstuhl für Architektur und Holzbau, Technische Universität München (TUM)

Geier, Sonja, Dr.-Ing., Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP), Hochschule Luzern – Technik & Architektur (HSLU-T&A)

### Weitere Mitwirkende

Jost, Maximilian, B. Sc., Lehrstuhl für Architektur und Holzbau, TUM

Schapfl, Cathrin, B. Sc., Lehrstuhl für Architektur und Holzbau, TUM

Umbach, JoAnn, B. Sc., Lehrstuhl für Architektur und Holzbau, TUM

Hansch, Franziska, M.A., Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur, HSLU-T&A

Wacker, Pascal, Dipl. Arch. B.A., Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur, HSLU-T&A

Bucher, Stefan, B.A., Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur, HSLU-T&A

### Fachliche Betreuung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“

Daniel Wöffen

## Literaturverzeichnis

- Ahn, N., Dodoo, A., Riggio, M., Muszynski, L., Schimleck, L. & Puettmann, M. (2022). Circular economy in mass timber construction: State-of-the-art, gaps and pressing research needs. *Journal of Building Engineering*, 53(104562). <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104562>
- Asche, P. van. (2021). Kreislaufdenken als neue Systemlogik. In F. Heisel & D. E. Hebel (Hrsg.), *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager* (S. 144–156). Fraunhofer IRB Verlag.
- BAFU et al. (2021). *Ressourcenpolitik Holz 2030. Strategie, Ziele und Aktionsplan Holz 2021–2026*. (Umwelt-Info Nr. 2103). <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wald/publikationen-studien/publikationen/ressourcenpolitik-holz.html>
- Bajno, D., Grzybowska, A. & Bednarz, L. (2021). Old and Modern Wooden Buildings in the Context of Sustainable Development. *Energies*, 14, 5975. <https://doi.org/10.3390/en14185975>
- BauNetz (Hrsg.). (2022, 8. Juli). *Quartiersentwicklung auf dem Kasernenareal: Wettbewerb in Bielefeld entschieden*. Berlin. [https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Wettbewerb\\_in\\_Bielefeld\\_entschieden\\_7975961.html](https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Wettbewerb_in_Bielefeld_entschieden_7975961.html)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (März 2015). *Untersuchung von Spanplatten vor dem Hintergrund der stofflichen Verwertung von Altholz*. Augsburg. <https://www.bestellen.bayern.de/>
- Bayerischen Holzbauförderprogramm, [https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVV\\_2330\\_B\\_13044](https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayVV_2330_B_13044) (2022, geändert 2022 & i.d.F.v. BayMBl. Nr. 335, BayMBl. Nr. 532).
- BBSR. (Dezember 2020). *Umweltfußabdruck von Gebäuden in Deutschland.: Kurzstudie zu sektorübergreifenden Wirkungen des Handlungsfelds „Errichtung und Nutzung von Hochbauten“ auf Klima und Umwelt*. (BBSR-Online-Publikation 17/2020). Bonn.
- Beck-O'Brien, M., Egenolf, V., Winter, S [Susanne] & Zahnen, J. (2022). *Everything from wood – The resource of the future or the next crisis? How footprints, benchmarks and targets can support a balanced bioeconomy transition*. Berlin.
- Bertin, I., Lebrun, F., Braham, N. & Le Roy, R. (2019). Construction, deconstruction, reuse of the structural elements: the circular economy to reach zero carbon. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 12020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012020>
- Birk, S., Ciesla, E.-M. & Jagsch, C. (2022). Teilvorhaben 1: Architektur, Tragwerk, BIM-Modell. In *Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. Schlussbericht interdisziplinäres Verbundvorhaben der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der Technischen Universität München (TUM)*. Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Umwelt.
- Blaß, H. J. (2022). Verbindungstechnik - Teilvorhaben 2. In *Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen. Schlussbericht interdisziplinäres Verbundvorhaben der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der Technischen Universität München (TUM)*. Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Umwelt.
- Blatter, J. & Haverland, M. (2012). *Designing case studies: Explanatory approaches in small-N research* (1. Aufl.). *Research methods series*. Palgrave Macmillan. <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10568393>



- Blatter, J., Langer, P. C. & Wagemann, C. (2018). *Qualitative Methoden in der Politikwissenschaft: Eine Einführung*. Lehrbuch. Springer VS. <http://www.springer.com/> <https://doi.org/10.1007/978-3-658-14955-0>
- Brand, S. (1994). *How buildings learn: What happens after they're built*. Viking.
- Brandi, G. & Hentschel, P. (2021). Neue Generalisten, neue Spezialisten: Rotor und die Praxis der Wiederverwertung in Belgien. In E. Stricker, G. Brandi, A. Sonderegger, M. Angst, B. Buser & M. Massmünster (Hrsg.), *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen* (S. 151–164). Park Books.
- Braungart, M. & McDonough, W. (2013). *Piper: Bd. 30467. Cradle to Cradle: Einfach intelligent produzieren* (U. Pesch, Übers.) (K. Schuler, Hg.). Piper.
- Braungart, M., McDonough, W. & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*, 15(13), 1337–1348. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003>
- Breitkopf, A. (2022). *Veränderung der Erzeugerpreise für Holz in Deutschland von Februar 2020 bis Februar 2022*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1238743/umfrage/preisentwicklung-der-erzeugerpreise-fuer-holz/>
- Bundesamt für Umwelt (Hrsg.). (2022, 3. November). *Rohstoffe, Abfall und Kreislaufwirtschaft: Das Wichtigste in Kürze*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/abfall/inkuerze.html>
- Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz, Zuletzt geändert durch Art. 120 V v. 19.6.2020 I 1328 (2002). <https://www.gesetze-im-internet.de/altholzv/>
- Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen, BGBl I S. 212 (2018).
- Bundesstiftung Baukultur & Nagel, R. (Hrsg.). (Februar 2023). *Baukulturbericht. Neue Umbaukultur 2022/23*.
- Buser, B. (2021). Wiederverwenden! In E. Stricker, G. Brandi, A. Sonderegger, M. Angst, B. Buser & M. Massmünster (Hrsg.), *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen* (S. 11–16). Park Books.
- Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, R., Robert, N., Cazzaniga, N. E., Jasinevičius, G., Grassi, G., Barredo, J. I. & Mubareka, S. (2021). *The use of woody biomass for energy production in the EU* (JRC science for policy report JRC122719). Luxembourg. Europäische Gemeinschaften. <https://doi.org/10.2760/831621>
- Campbell, A. (2019). Mass timber in the circular economy: paradigm in practice? *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, 172(3), 141–152. <https://doi.org/10.1680/jensu.17.00069>
- Churkina, G., Organschi, A., Reyser, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E. & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>
- Cristescu, C., Honfi, D., et al. (2020). *Design for deconstruction and reuse of timber structures – state of the art review*. [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjAq-Ghot78AhWGHf0HHRxgDP8QFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.infuture-wood.info%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F02%2FInFutURe-Wood-Report-D2.1f.pdf&usq=AOvVaw0LEjsgLzZWnE0\\_teRFIhnq](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjAq-Ghot78AhWGHf0HHRxgDP8QFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.infuture-wood.info%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F02%2FInFutURe-Wood-Report-D2.1f.pdf&usq=AOvVaw0LEjsgLzZWnE0_teRFIhnq)
- Dederich, L., Winter, S [Stefan] & Kehl, D. (2008). *Holzhäuser - Werthaltigkeit und Lebensdauer* (Teil 5).

- Deutscher Bundestag (Hrsg.). (2019). *Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050* (Drucksache 19/13900). <https://dserver.bundestag.de/btd/19/139/1913900.pdf>
- DGNB. (2022, 29. Juli). *DGNB entwickelt Gebäuderessourcenpass und startet Kommentierung* [Press release]. <https://www.dgnb.de/de/aktuell/pressemitteilungen/2022/gebaeuderessourcenpass>
- DGNB (Hrsg.). (2023). *Der Gebäuderessourcenpass der DGNB*. <https://www.dgnb.de/de/themen/gebaeuderessourcenpass/>
- Döring, P., Cords, M. & Mantau, U. (2018). *Altholz im Entsorgungsmarkt Universität Hamburg - Zentrum Holzwirtschaft, Hamburg, März 2018: Aufkommen und Verwertung 2016* [Teilbericht]. Universität Hamburg, Hamburg.
- Düngefeld, L. (2022, 12. Oktober). *Abfall- und Kreislaufwirtschaft: Dominoeffekt der Energiekrise*. Berlin. Table Europe. <https://table.media/europe/analyse/abfall-und-kreislaufwirtschaft-dominoeffekt-der-energiekrise/>
- EASAC. (2021). *Decarbonisation of buildings: for climate, health and jobs. Science advice for the benefit of Europe: Bd. 43*. EASAC Secretariat Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina - German National Academy of Sciences. <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:3:2-137698>
- Ebert, S., Ott, S., Krause, K., Hafner, A. & Krechel, M. (2020). Modell der Recyclingfähigkeit auf Bauteilebene. *Bautechnik*, 97(S1), 14–25. <https://doi.org/10.1002/bate.201900109>
- Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union (19. November 2008). *Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlamentes und Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien* (Richtlinie 2008/98/EG). Brüssel. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0098>
- Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (2018).
- European Commission. (2020, 11. März). *Changing how we produce and consume: New Circular Economy Action Plan shows the way to a climate-neutral, competitive economy of empowered consumers*. IP/20/420 [Press release]. Brussels. [file:///C:/Users/tbgeier/Downloads/Changing\\_how\\_we\\_produce\\_and\\_consume\\_\\_New\\_Circular\\_Economy\\_Action\\_Plan\\_shows\\_the\\_way\\_to\\_a\\_climate-neutral\\_\\_competitive\\_economy\\_of\\_empowered\\_consumers.pdf](file:///C:/Users/tbgeier/Downloads/Changing_how_we_produce_and_consume__New_Circular_Economy_Action_Plan_shows_the_way_to_a_climate-neutral__competitive_economy_of_empowered_consumers.pdf)
- Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (2021). *Charta für Holz 2.0: Statusbericht 2020/2021. Forschung, Entwicklung, Wissenstransfer*.
- FAO; Vereinte Nationen. (2021). *Circularity concepts in forest-based industries. United Nations publication: Bd. 49*. United Nations. [https://unece.org/sites/default/files/2022-05/Circularity%20concepts%20in%20forest-based%20industries%20ECE\\_TIM\\_SP\\_49.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2022-05/Circularity%20concepts%20in%20forest-based%20industries%20ECE_TIM_SP_49.pdf)
- Finch, G., Marriage, G., Pelosi, A. & Gjerde, M. (2021). Building envelope systems for the circular economy; Evaluation parameters, current performance and key challenges. *Sustainable Cities and Society*, 64, 102561. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102561>
- Flamme, S., Hams, S., Bischoff, J. & Fricke, C. (2019). *Evaluierung der Altholzverordnung im Hinblick auf eine notwendige Novellierung* [Abschlussbericht]. Fachhochschule Münster, Münster.
- Flick, U. (2011). *Qualitative Sozialforschung: Eine Einführung* (4. Aufl.). Rororo Rowohlt's Enzyklopädie: Bd. 55694. rowohlt's enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag.

- Flick, U., Kardorff, E. von & Steinke, I. (Hrsg.). (2019). *Rororo Rowohlt's Enzyklopädie: Bd. 55628. Qualitative Forschung: Ein Handbuch* (13. Aufl.). rowohlt's enzyklopädie im Rowohlt Taschenbuch Verlag.
- Geier, S., Keikut, F. & Schuster, S. (2017). Buch 6 – Modelle der Kooperation: Teil A: Vergabe- und Kooperationsmodelle. In *leanWOOD*. (Erstveröffentlichung 31.07.2017)
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gemeinde Straubenhardt. (2019). *Inforeihe der Gemeinde Straubenhardt zum Feuerwehrhaus*. [https://www.straubenhardt.de/verwaltung/rathausnachrichten/aus-6-mach-1-die-idee-id\\_3009/](https://www.straubenhardt.de/verwaltung/rathausnachrichten/aus-6-mach-1-die-idee-id_3009/)
- Generalversammlung der Vereinten Nationen (Hrsg.). (2015, 21. Oktober). *Transformation unserer Welt: die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung* (A/RES/70/1\*). <https://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf>
- Glitzka, K. H. (2021, 2. Juni). *Welche Impulse kann die Novelle der Altholzverordnung bringen? Experten gingen bei der Veranstaltung der DGAW einer wichtigen Frage nach*. <https://e-mag.press/welche-impulse-kann-die-novelle-der-altholzverordnung-bringen/>
- Graf, J. (2020). Entflechtung von Wachstum und Ressourcenverbrauch. *Bautechnik*, 97(S2), 108–115. <https://doi.org/10.1002/bate.202000078>
- Graf, J., Birk, S., Blaß, H. J., Pauliuk, S., Winter, S [Stefan] & Auer, T. (2022). *Wandelbarer Holzhybrid für differenzierte Ausbaustufen*. Schlussbericht interdisziplinäres Verbundvorhaben der Technischen Universität Kaiserslautern (TUK), dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT), der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg und der Technischen Universität München (TUM). Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und des Bundesministeriums für Umwelt.
- Graf, J., Birk, S., Poteschkin, V. & Braun, Y. (2022). Kreislaueffektive Bauwende – Auf dem Weg zu einer neuen Tektonik. *Bautechnik*, 99(S2), Artikel bate.202100111, 76–84. <https://doi.org/10.1002/bate.202100111>
- Graf, J., Birk, S. & Shi, W. (2022). Kreislaueffektives Potenzial von Holz im Hallenbau. *Bautechnik*, 99(S1), 2–12. <https://doi.org/10.1002/bate.202100105>
- Grothues, L. K. & Fioriti, C. F. (2010). Investigation of historic, constructive, spatial and pathological aspects regarding the IBC (Instituto Brasileiro do Café) in Presidente Prudente, Brazil. *VitruviolInternational journal of Architecture Technology and Sustainability*(04), Artikel 2.
- Guldager Jensen, K. & Sommer, J. (2019). *Building a Circular Future: 3rd Edition*. Danish Environmental Protection Agency.
- Gutzwiller, I. (2019). Re-use am Bau. *TEC 21 Gebrauchte Teile für neue Bauten*, 35/2019, 30–36.
- Habraken, N. J. (Hrsg.). (1998). *The structure of the ordinary: Form and control in the built environment*. MIT Press.
- Hafner, A., Ott, S. & Winter, S [Stefan] (2014). Recycling and End-of-Life Scenarios for Timber Structures. In S. Aicher, H.-W. Reinhardt & H. Garrecht (Hrsg.), *Materials and Joints in Timber Structures* (S. 89–98). Springer Netherlands.
- Haigh, L., deWit, M., Daniels, C. von, Colloricchio, A. & Hoogzaad. (January 2021). *The Circularity Gap Report 2021*.

- Hebel, D. E., Heisel, F. & Webster, K. (2022). *Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft. Besser – Weniger – Anders Bauen*. Birkhäuser. <https://www.degruyter.com/isbn/9783035621082>
- Heisel, F. & Hebel, D. E. (2021a). Ein neues Materialverständnis. In F. Heisel & D. E. Hebel (Hrsg.), *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager* (S. 142–176). Fraunhofer IRB Verlag.
- Heisel, F. & Hebel, D. E. (Hrsg.). (2021b). *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager*. Fraunhofer IRB Verlag.
- Hillebrandt, A. (2021). Kreisläufe schließen. In F. Heisel & D. E. Hebel (Hrsg.), *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager* (S. 49–64). Fraunhofer IRB Verlag.
- Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A. & Seggewies, J.-K. (Hrsg.). (2018a). *Edition Detail. Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource*. Detail Business Information GmbH. <http://shop-detail.de/de/atlas-recycling.html>
- Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A. & Seggewies, J.-K. (2018b). Detailkatalog. In A. Hillebrandt, P. Riegler-Floors, A. Rosen & J.-K. Seggewies (Hrsg.), *Edition Detail. Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource* (S. 135–178). Detail Business Information GmbH.
- Hillebrandt, A. & Rosen, A. (2022). Urban Mining - wann schließt sich der Kreis? *bauwelt*, 6.2022(233), 26–29.
- Höglmeier, K., Steubing, B., Weber-Blaschke, G. & Richter, K. (2015). LCA-based optimization of wood utilization under special consideration of a cascading use of wood. *Journal of environmental management*, 152, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.018>
- Holzbau Deutschland. (2022). *Lagebericht 2022*. Berlin. [https://www.holzbau-deutschland.de/aktuelles/lagebericht\\_und\\_statistiken/](https://www.holzbau-deutschland.de/aktuelles/lagebericht_und_statistiken/)
- Hradil, P., Talja, A., Wahlström, M., Huuhka, S., Lahdensivu, J. & Pikkuvirta, J. (2014). Re-use of structural elements: Environmentally efficient recovery of building components. <https://cris.vtt.fi/en/publications/re-use-of-structural-elements-environmentally-efficient-recovery->
- HSLU. (2021–2023). *INNOwood: Innovative Betrachtung des Wirkungsgefüges Wald-Holz*. <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/forschung/projekte/detail/?pid=5972>
- Informationsdienst Holz. (2015). *Holzrahmenbau. Reihe 1: Teil 1, Folge 7*. Informationsverein Holz e.V.
- Jaeger-Erben, M. & Hofmann, F. (2019). *Kreislaufwirtschaft // Kreislaufwirtschaft - ein Ausweg aus der sozial-ökologischen Krise? Ein Ausweg aus der sozial-ökologischen Krise? Schriftenreihe Nachhaltigkeit: Bd. 5*. Hessische Landeszentrale für politische Bildung. [https://www.researchgate.net/publication/334520611\\_Kreislaufwirtschaft\\_-\\_Ein\\_Ausweg\\_aus\\_der\\_sozial-okologischen\\_Krise](https://www.researchgate.net/publication/334520611_Kreislaufwirtschaft_-_Ein_Ausweg_aus_der_sozial-okologischen_Krise)
- John, V. & Stark, T. (Juli 2021a). *Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE): Potenzial zur systematischen Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten im regionalen Kontext und Realisierung eines Pilotprojektes*. Bonn.
- John, V. & Stark, T. (Oktober 2021b). *Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE): Potenzial zur systematischen Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten im regionalen Kontext und Realisierung eines Pilotprojektes*. Bonn. BBSR-Online-Publikation.
- Kaufmann, H., Krötsch, S. & Winter, S [Stefan]. (2021). *Atlas mehrgeschossiger Holzbau: Grundlagen - Konstruktionen - Beispiele* (3. Aufl.). *DETAIL Construction Manuals*. Edition DETAIL. <https://www.degruyter.com/document/isbn/9783955535575/html>  
<https://doi.org/10.11129/9783955535575>

- Keikut, F. & Geier, S. (Hrsg.). (2019). *Modul17: Hochhaus Typologie in Holzhybrid Bauweise*. vdf Hochschulverlag.
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Klinge, A., Roswag-Klinge, E., Paganoni, S., Radeljic, L. & Lehmann, M. (2019). Design concept for pre-fabricated elements from CDW timber for a circular building. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 12022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012022>
- Kosow, H. & Gaßner, R. (2008). *Methoden der Zukunfts- und Szenarioanalyse: Überblick, Bewertung und Auswahlkriterien. Werkstattbericht / IZT, Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung: Bd. 103*. IZT.
- leanWOOD (Hrsg.). (2017). *leanWOOD: Final Report WoodWisdom-Net Projekt leanWOOD*.
- Ludwig, G., Gawel, E. & Pannicke-Prochnow, N. (2022). Altholz in der Kaskadennutzung – eine Bestandsaufnahme für Deutschland. In M. Porth & H. Schüttrumpf (Hrsg.), *Wasser, Energie und Umwelt: Aktuelle Beiträge aus der Zeitschrift Wasser und Abfall II* (S. 81–90). Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-35607-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-658-35607-1_8)
- Mantau, U., Döring, P., Weimar, H [Holger] & Glasenapp, S. (Hrsg.). (2018). *Schriftenreihe nachwachsende Rohstoffe: Bd. 38. Rohstoffmonitoring Holz: Mengenmäßige Erfassung und Bilanzierung der Holzverwendung in Deutschland : Verbundvorhaben Rohstoffmonitoring Holz : gefördert durch: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). <https://edocs.tib.eu/files/e01fn18/1029673020.pdf>
- McDonough, W. & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things* (1. ed.). North Point Press. <http://www.loc.gov/catdir/bios/hol051/2001044245.html>
- McDonough, W., Braungart, M., Anastas, P. T. & Zimmerman, J. B. (2003). Applying the principles of green engineering to cradle-to-cradle design. *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY*, 37(23), 434A–441A. <https://doi.org/10.1021/es0326322>
- Holzbau-Offensive Baden-Württemberg (2018). <https://www.holzbauoffensivebw.de/deholzbauoffensive-berlin>
- Minunno, R., O’Grady, T., Morrison, G. M. & Gruner, R. L. (2020). Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building. *Resources, Conservation and Recycling*, 160, 104855. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104855>
- Müller, D. & Moser, D. (2022). *Rückbau und Wiederverwendung von Holzbauten: Rückbaufähigkeit von Holzbauten*. PIRMIN JUNG Schweiz AG.
- Niu, Y., Rasi, K., Hughes, M., Halme, M. & Fink, G. (2021). Prolonging life cycles of construction materials and combating climate change by cascading: The case of reusing timber in Finland. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105555. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105555>
- Oefner, A. (2021). Wertschöpfung für neue Spezialisten. In E. Stricker, G. Brandi, A. Sonderegger, M. Angst, B. Buser & M. Massmünster (Hrsg.), *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen* (S. 268–269). Park Books.
- Plagaro Cowee, N. & Schwehr, P. (2008). *Die Typologie der Flexibilität im Hochbau. Hochschule Luzern - Technik & Architektur, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP): Bd. 1*. Interact.

- Polley, H. & Kroiher, F [F.]. (2006). *Struktur und regionale Verteilung des Holzvorrates und des potenziellen Rohholzaufkommens in Deutschland im Rahmen der Clusterstudie Forst- und Holzwirtschaft. Arbeitsbericht / Institut für Waldökologie und Waldinventuren*. Johann Heinrich von Thünen-Institut. <https://d-nb.info/997405651>
- Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E. & Hanemaaijer, A. (2017). *Circular Economy: Measuring innovation in the product chain*.
- Pronk, A., Brancart, S. & Sanders, F. (2022). Reusing Timber Formwork in Building Construction: Testing, Redesign, and Socio-Economic Reflection. *Urban Planning*, 7(2), 16. <https://doi.org/10.17645/up.v7i2.5117>
- Purkus, A., Lüdtke, J., Jochem, D., Rüter, S. & Weimar, H [H.]. (Juni 2020). *Thünen Report 78: Entwicklung der Rahmenbedingungen für das Bauen mit Holz in Deutschland: Eine Innovationssystemanalyse im Kontext der Evaluation der Charta für Holz 2.0*. [https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen\\_Report\\_78.pdf](https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-report/Thuenen_Report_78.pdf)
- Rada, U. (2022). Greenwashing am Hermannplatz in Berlin: Ein Re-Use-Wettbewerb soll den umstrittenen Wiederaufbau des Karstadt legitimieren. *bauwelt*(6/2022), S. 54–57. <https://www.bauwelt.de/dl/1756167/artikel.pdf>
- Rau, T. & Oberhuber, S. (2018). *Material matters: Wie wir es schaffen, die Ressourcenverschwendung zu beenden, die Wirtschaft zu motivieren, bessere Produkte zu erzeugen und wie Unternehmen, Verbraucher und die Umwelt davon profitieren* (I. Wilhelm, Übers.). Econ.
- RepaNet – Re-Use- und Reparaturnetzwerk Österreich (Hrsg.). (2022). *BauKarussell - Verwertungsorientierter Rückbau als Dienstleistungspaket*. <https://www.baukarussell.at/service-dienstleistungspaket-fur-bauherren/>
- Risse, M., Richter, K. & Weber-Blaschke, G. (2017). *Resource efficiency of multifunctional wood cascade chains using LCA and exergy analysis, exemplified by a case study for Germany*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344917302380?via%3Dihub>
- Rosen, A. (2018). Rückbau, Verwertung und Entsorgung im Bauwesen. In A. Hillebrandt, P. Riegler-Floors, A. Rosen & J.-K. Seggewies (Hrsg.), *Edition Detail. Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource* (S. 16–31). Detail Business Information GmbH.
- Rosen, A. (2021). *Urban Mining Index: Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung* [Dissertation, Fraunhofer IRB-Verlag; Bergische Universität Wuppertal]. GBV Gemeinsamer Bibliotheksverbund.
- Sandberg, K., Sandin, Y., Harte, A., Shotton, E., Hughes, M., Ridley-Ellis, D., Turk, G., Iniguez-Gonzalez, G. & Risse, Michael, Cristescu, Carmen. (2022). *Summary report InFutUReWood - Innovative Design for the Future - Use and Reuse of Wood (Building) Components*. RISE.
- Schneeberger, K. (2022, 1. September). *Multifunktionskünstler Wald*. Bundesamt für Umwelt (BAFU). WaldSchweiz et al. Waldkongress Schweiz 2022, Bern.
- Schulze, E.-D., Rock, J., Kroiher, F [Franz], Egenolf, V., Wellbrock, N., Irlinger, R., Bolte, A. & Spellmann, H. (2021). Klimaschutz mit Wald. *Biuz*, 51(1), 46–54. <https://doi.org/10.11576/biuz-4103> (Nachhaltigkeit und globaler Wandel).
- Schuster, S. (2017). Buch 6, Teil B: Idealmodell für die öffentliche Vergabe für den vorgefertigten Holzbau, Systematik Wertung (Appendix II), Systematik einer funktionalen Leistungsbeschreibung (Appendix III). In leanWOOD (Hrsg.), *leanWOOD: Final Report WoodWisdom-Net Projekt leanWOOD* (S. 82–124). <https://www.arc.ed.tum.de/holz/forschung/leanwood-1/final-report/>
- Schweizerischer Bundesrat (Hrsg.). (2022, 1. Januar). *Verordnung über Bauprodukte AS 2014 2887; SR 933.01. BauPV*. vom 27.08.2014. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2014/496/de>

- SPD, Die Grünen, FDP. (2021). *Mehr Fortschritt wagen, Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit: Koalitionsvertrag 2021-2025*. [https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag\\_2021-2025.pdf](https://www.spd.de/fileadmin/Dokumente/Koalitionsvertrag/Koalitionsvertrag_2021-2025.pdf)
- Stahel, W. R. (2021). Wirtschaften in Kreisläufen: Eine Begriffserklärung für den Bausektor. In F. Heisel & D. E. Hebel (Hrsg.), *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager* (S. 33–45). Fraunhofer IRB Verlag.
- Statistisches Bundesamt. (2021). *Abfallaufkommen in Deutschland im Jahr 2019 weiter auf hohem Niveau*. [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21\\_261\\_321.html;jsessionid=AAEB437FDC1A14AC6756551E163FD589.live732](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/06/PD21_261_321.html;jsessionid=AAEB437FDC1A14AC6756551E163FD589.live732)
- Stockhammer, D. (Hrsg.). (2020). *Positions. Upcycling: Reuse and repurposing as a design principle in architecture = Upcycling : Wieder- und Weiterverwendung als Gestaltungsprinzip in der Architektur*. Triest; Institut für Architektur und Raumentwicklung der Universität Liechtenstein.
- Stricker, E., Brandi, G., Sonderegger, A., Angst, M., Buser, B. & Massmünster, M. (Hrsg.). (2021). *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen*. Park Books.
- Strohmeier, A. (2019). Die Altholzverordnung vor ihrer Novellierung: Anpassungsbedürftigkeit angesichts neuer Rahmenbedingungen. *Das Recht der Abfallwirtschaft*, 2018(Ausgabe 1), 36–48.
- van Vliet, M., van Grinsven, J. & Teunizen, J. (Nov. 2019). *Circular Buildings: Meetmethodiek Losmaakbaarheid*.
- vbw. (Juli 2021). *Constructing Our Future. Planen. Bauen. Leben. Arbeiten.: Eine vbw Studie mit Beiträgen von Prognos, Fraunhofer IAO und Leonhard Obermeyer Center Stand Juli 2021*. München. Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V. [https://www.vbw-zukunftsrat.de/downloads/2021/vbw\\_ZKR\\_2021\\_ConstructingOurFuture\\_Studie.pdf](https://www.vbw-zukunftsrat.de/downloads/2021/vbw_ZKR_2021_ConstructingOurFuture_Studie.pdf)
- Whittaker, M. J., Grigoriadis, K., Soutsos, M., Sha, W., Klinge, A., Paganoni, S., Casado, M., Brander, L., Mousavi, M., Scullin, M., Correia, R., Zerbi, T., Staiano, G., Irene Merli, Ilaria Ingrosso, Agnese Attanasio & Alessandro Largo (2021). Novel construction and demolition waste (CDW) treatment and uses to maximize reuse and recycling. *Advances in Building Energy Research*, 15(2), 253–269. <https://doi.org/10.1080/17512549.2019.1702586>
- Winter, S [Stefan], Auer, T., Kaufmann, H., Frenkler, F., Brech, J. & Kirmayer Thomas. (2019). *Bauen mit Weitblick: Systembaukasten für den industrialisierten sozialen Wohnungsbau* [Forschungsbericht]. Technische Universität München, München. <https://media-tum.ub.tum.de/node?id=1574236>
- Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik WBW. (November 2018). *Erhöhung der stofflichen Nutzung von Holz in Gebäuden im Einklang mit der Rohstoffverfügbarkeit*.
- Wittpahl, V. (Hrsg.). (2020). *iit-Themenband. Klima: Politik & Green Deal, Technologie & Digitalisierung, Gesellschaft & Wirtschaft : iit-Themenband*. Open Access Springer Vieweg. <http://www.springer.com/>



## Abbildungsverzeichnis

|              |  |       |
|--------------|--|-------|
| Abbildung 1  | Darstellung des übergeordneten methodischen Forschungsansatzes von circularWOOD. Eigene Darstellung.   | S. 14 |
| Abbildung 2  | Systemdiagramm Wertekreislauf.<br>Eigene Darstellung mit Spezifizierung des biologischen Kreislaufes für Holz nach der Konzeption des biologischen Kreislaufes für erneuerbare Ressourcen nach der Ellen Mac Arthur Foundation (2019). | S. 18 |
| Abbildung 3  | Überblick zum methodischen Vorgehen in der Literaturrecherche zu Themen, die für die Kreislaufwirtschaft im Holzbau Relevanz haben. Eigene Darstellung.  | S. 21 |
| Abbildung 4  | Begriffsnetzwerk abgeleitet aus den Basiswerken als Grundlage für die Literaturrecherche zur Kreislaufwirtschaft im Holzbau. Eigene Darstellung.   | S. 23 |
| Abbildung 5  | Überblick zum methodischen Vorgehen in der vertieften Literaturrecherche zum Thema „Re-use im Holzbau“. Eigene Darstellung.  | S. 28 |
| Abbildung 6  | Stakeholder im Lebenszyklus eines Gebäudes. Eigene Darstellung.  | S. 32 |
| Abbildung 7  | Handlungsbedarf zur Skalierung der Umsetzung von kreislauffähigem Holzbau. Ergebnisse der teilstandardisierten Befragung unter den Akteur:innen der Fallstudien. Eigene Darstellung.   | S. 37 |
| Abbildung 8  | Entwicklungsbedarf für die Umsetzung von kreislauffähigem Holzbau Ergebnisse der teilstandardisierten Befragung unter den Akteur:innen der Fallstudien. Eigene Darstellung.  | S. 40 |
| Abbildung 9  | Typologisierung der Geschäftsmodelle für kreislauffähiges Bauen mit Holz. Eigene Darstellung basierend auf Jaeger-Erben & Hofmann (2019).  | S. 46 |
| Abbildung 10 | circularWOOD Themenlandkarte. Eigene Darstellung strukturiert nach Ahn et al. (2021).  | S. 53 |
| Abbildung 11 | Aspekte der Rückbaubarkeit kreislaufgerechter Holzbauten. Eigene Darstellung.  | S. 59 |

---

|              |   |       |
|--------------|---|-------|
| Abbildung 12 | Konzept der Scherschichten in Anlehnung an Brand, Shearing layers of change (1994). Eigene Darstellung nach Brand (1994).   | S. 60 |
| Abbildung 13 | Hierarchieebenen im Holzbau im Kontext von Anpassbarkeit und Rückbaubarkeit. Eigene Darstellung in Anlehnung an Graf, Birk, Blaß et al., 2022; Kaufmann et al., 2021, 2021. | S. 62 |
| Abbildung 14 | Schichtenaufbauten der Gebäudehülle im Holzbau. Eigene Darstellung nach Kaufmann et al., 2021, S.100.   | S. 64 |
| Abbildung 15 | Relevante Wand- und Deckensysteme im Holzbau. Eigene Darstellung.   | S. 65 |
| Abbildung 16 | Lösbare Konus-Verbindung<br>© t-lab, Holzarchitektur und Holzwerkstoffe   | S. 67 |
| Abbildung 17 | Übersicht Fallstudien (siehe Anlage IV).  | S. 73 |
| Abbildung 18 | Gefräste Schubverbindungen<br>© Derix-Gruppe  | S. 75 |
| Abbildung 19 | Buchenfurnierschichtholz Knagge<br>© Derix-Gruppe   | S. 75 |
| Abbildung 20 | 3D Darstellung der Steckverbindung<br>© Derix-Gruppe  | S. 75 |
| Abbildung 21 | Montage tragendes Stützensystem aus Brettschichtholz mit Brettsperrholzdecken<br>© Carel van Hees   | S. 78 |
| Abbildung 22 | Kraftschlüssige Verbindung durch Verschraubung<br>© Rau Architekten   | S. 79 |
| Abbildung 23 | Feuerwehrhaus Straubenhardt<br>© Brigida González für Wulf Architekten  | S. 80 |

- 
- |              |  |       |
|--------------|--|-------|
| Abbildung 24 | Tragkonstruktion aus Brettschichtholzträgern inklusive geplanter Ausklinkungen, Vorbohrungen etc.<br>© Wulf Architekten  | S. 81 |
| Abbildung 25 | Großflächige Wand- und Deckenelemente aus Brettsperrholzelementen.<br>© Wulf Architekten   | S. 81 |
| Abbildung 26 | Haus des Holzes in Sursee in der Schweiz<br>© Pirmin Jung Schweiz AG, Foto: Marco Leu  | S. 82 |
| Abbildung 27 | Holz-Holz-Verbindungen mit gefrästen Nocken<br>© Pirmin Jung Schweiz AG  | S. 83 |
| Abbildung 28 | Verlegung des Buchenunterlagsbodens<br>© Pirmin Jung Schweiz AG, Fotografin Clementine Hegner-van Rooden   | S. 84 |
| Abbildung 29 | Steigerung der Quote von Holzbauprojekten in Deutschland (Projekte bei denen vorwiegend der Rohstoff Holz verwendet wurde)<br>Wohnbau 20,4 (+1,7%), Nichtwohnbau 20,9% (+1,4%)<br><br>Quelle: Lagebericht 2021 Holzbau Deutschland / Statistisches Bundesamt | S. 86 |

---

## Tabellenverzeichnis

|           |  |       |
|-----------|--|-------|
| Tabelle 1 | Übersicht Kategorisierung nach Anh et al. (2022) und abgeleitete Defizite und Forschungslücken für „Mass Timber“                     | S. 24 |
| Tabelle 2 | Gegenüberstellung der Geschäftsmodelltypologie nach Jaeger-Erben und Hofmann 2019 und der Studie der FAO und Vereinten Nationen 2021 | S. 44 |

## Glossar

### **Altholz/Gebrauchtholz**

Zu Altholz zählen gebrauchte Erzeugnisse aus Holz, Holzwerkstoffen oder Verbundstoffen (Gebrauchtholz) und in Betrieben der Holzbe- und -verarbeitung anfallende Holzreste (Industrierestholz).

Gebrauchtholz beschreibt ausschließlich gebrauchte Erzeugnisse aus Massivholz, Holzwerkstoffen oder aus Verbundstoffen mit überwiegendem Holzanteil (AltholzV, 2002).

### **Bauteil, kreislauffähig**

Ein Bauteil wird als ein statisch-konstruktiver, geometrisch abgeschlossener Teil eines Bauwerks, z. B. Außenwand, Innenwand, Geschossdecke, Bodenplatte, Dachfläche verstanden. Bauteile können aus Einzelteilen oder aus vorgefertigten Bauelementen gefügt sein. (Kaufmann et al., 2021, S. 260)

Ein kreislauffähiges Bauteil nach Graf et al. kann in seiner Gesamtheit zerstörungsfrei ausgebaut und an anderer Stelle, in anderen Bauwerken wiederverwendet werden (Graf, Birk, Blaß et al., 2022).

### **Bauelement, -kreislauffähig**

Ein Bauelement wird als ein vorgefertigter Bestandteil eines Bauteils, verstanden, wie z. B. vorgefertigtes Tafelbauelement als Teil des Bauteils Außenwand oder ein vorgefertigtes Brettstapeldeckenelement als Teil des Bauteils Geschossdecke etc. (Kaufmann et al., 2021).

Ein kreislauffähiges Bauelement nach Graf, Birk et al. kann aus der Bauteilebene in Abhängigkeit der tektonisch lösbaren Elementgruppen herausgelöst werden, wie z. B. die außen- oder raumseitige Bekleidung eines Wandbauteiles (Graf, Birk, Blaß et al., 2022).

### **Demontierbarkeit**

Die Demontierbarkeit im Sinne des kreislauffähigen Bauens beschreibt einen möglichst zerstörungsfreien Abbau von Bauteilen.

### **End of Life, EoL**

Der englische Begriff End of Life (EoL) steht für „Lebensende“ und bezeichnet die Endphase der Existenz eines Produktes nach dessen Produktions- und Nutzungsphase. Ein EoL-Szenario beschreibt die Art der Nachnutzung oder Deponierung eines Produktes am Nutzungsende (Hillebrandt et al., 2018a, S. 216).

### **Gebäuderessourcenpass**

Der Gebäuderessourcenpass lehnt sich an die Idee des erfolgreich etablierten Energieausweises an. Dabei sollen individuell für jedes Gebäude die wesentlichen Informationen rund um die Ressourcennutzung, die Klimawirkung und die Kreislauffähigkeit angegeben werden.

In Deutschland ist ein Gebäuderessourcenpass in enger Abstimmung mit dem 2022 gegründeten Ausschuss für Lebenszyklus und zirkuläres Bauen der DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) entstanden (DGNB, 2022). Dieser ist seit 2023 als Zertifikat beim DGNB verfügbar (DGNB, 2023).

### **Hybridbauteil**

Innerhalb eines horizontalen oder vertikalen Bauteils werden verschiedene Werkstoffe kombiniert. Bekanntestes Beispiel ist die Holz-Beton-Verbunddecke (HBV-Decke) (Kaufmann et al., 2021, S. 261).

### **Hybridbauweise**

Innerhalb einer Konstruktion werden systematisch hybride Bauteile oder Konstruktionselemente aus unterschiedlichen Materialien verwendet, z.B. Stahlträger mit BSP-Deckenelementen (Kaufmann et al., 2021, S. 261).

## Hybridbauwerk

Konstruktionen aus unterschiedlichen Baustoffen werden in einem Gebäude miteinander kombiniert. Beispielsweise Erschliessungskerne aus Stahlbeton (Fluchtwege, Gebäudeaussteifung) integriert in eine Gebäudekonstruktion aus Holz, Holzelementfassaden an Stahlbetonskelettkonstruktionen (Kaufmann et al., 2021, S. 261).

## Komponente, kreislauffähig

Komponenten beschreiben Einzelteile (Holzwerkstoffplatte, Lattung, Dampfsperre, etc.) deren Verbindung Elementgruppen bilden.

Eine kreislauffähige Komponente ist sortenrein und mittels reversibler Verbindung in die Bauelementebene integriert (Graf, Birk, Poteschkin & Braun, 2022).

## Material, kreislauffähiges

Materialien nach Rosen sind Baumaterialien, die aus primären oder sekundären Rohstoffen hergestellt werden. Ein Material kann aus einem einzigen Rohstoff bestehen (z. B. Massivholz) oder aus mehreren Rohstoffen (z. B. Beton) (Rosen, 2021, S. 156).

Die Voraussetzung für ein kreislauffähiges Material ist die sortenreine Trennbarkeit auf Komponentenebene (Rosen, 2021, S. V). Materialkreisläufe können vollständig geschlossen werden, wenn wiederverwendete Bauteile oder Materialien eingesetzt werden (am Anfang des Lebenszyklus) oder diese nach Ende des Lebenszyklus wiederverwendbar oder rezyklierbar sind.

In beiden Fällen – kann gemäss Rosen der Kreislauf auch geschlossen werden, wenn nachhaltig nachwachsende Rohstoffe eingesetzt werden. Der Kreislauffähigkeit von Materialien sind in der Realität vielfach Grenzen gesetzt.

Wie hoch ein möglicher zukünftiger Anteil von Recyclingmaterialien in einem Produkt bei einer maximalen Optimierung der Produktion hinsichtlich des Sekundärrohstoffanteils sein kann, wird im Material-Loop-Potenzial ausgedrückt (Rosen, 2021b, S. 328).

„So können aktuell im Beispiel der Spanplatte maximal 82% des Rohstoffbedarfs durch Altholz gedeckt werden, während (für die äußeren Lagen) noch 9% Holz aus erneuerbaren primären Quellen – im Idealfall aus zertifiziert nachhaltiger Forstwirtschaft – sowie weitere 9% Bindemittel aus nicht erneuerbaren primären Quellen benötigt werden“ (Rosen, 2021b, S. 94).

## Materialpass

Ein Materialpass ist ein (digitaler) Datensatz mit detaillierten Verzeichnissen aller im Gebäude verwendeten Materialien. Materialpässe bieten in der Planungsphase eine Grundlage für Entwurfs- und Materialentscheidungen. Sie unterstützen auch den Sekundärhandel mit Baumaterialien von Gebäuden am Ende ihres Lebenszyklus (Hebel et al., 2022, S. 117–121; Heisel & Hebel, 2021b, S. 18).

## Primärrohstoff

Rohstoff, der aus natürlichen Reserven gewonnen wurde (Heisel & Hebel, 2021b, S. 19).

## Recycling

Recycling bezeichnet jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind (Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union, 2008, Art. 3.17).

Recycling ist auch ein Überbegriff für die Verwertung, wobei die Begriffe Wieder- und Weiterverwertung konkreter die stoffliche oder funktionale Änderung definieren. Der englische Begriff Recycling entspricht

auch dem deutschen Begriff Wiederverwerten, was immer wieder zu Unklarheiten führt (Heisel & Hebel, 2021b, S. 19).

### **Rückbau**

Die technische Rückbaubarkeit beschreibt die Möglichkeit, dass Bauteile, Elemente oder Komponenten eines Gebäudes zerstörungsfrei entnommen, ohne Verlust der technischen oder funktionalen Qualität demontiert oder Bauteilschichten sortenrein getrennt werden können (Rosen, 2021, S. 64; Küpfer & Fivet, 2021).

### **Sekundärrohstoff**

Rohstoff, der aus anthropogenen Reserven durch die Verwertung von Abfällen oder Reststoffen gewonnen wurde (Hillebrandt et al., 2018a, S. 218; Heisel & Hebel, 2021b, S. 20).

### **Sortenreinheit**

Die Sortenreinheit beschreibt eine Eigenschaft von Werkstoffen, die in ihrer ursprünglichen Grundfiguration vorliegen. Sie sind nicht gemischt, legiert oder beschichtet oder mit einem Material unterschiedlicher Werkstoffeigenschaft verbunden (Heisel & Hebel, 2021b, S. 20)

### **Trennbarkeit**

Die Trennbarkeit beschreibt eine Eigenschaft von Bauelementen, dessen einzelne Komponenten zerstörungsfrei und sortenrein zu separieren sind.

### **Weiterverwendung**

Weiterverwendung (engl. recycling, reutilization) bedeutet, dass sich ein Bauteil oder Bauprodukt zwar nochmals einsetzen lässt, jedoch nicht für den ursprünglichen Zweck. Gründe dafür können sein, dass die ursprüngliche Qualität nicht mehr für neue Eignung reicht. Das heißt, es findet auch ein Ressourcenverlust und Downcycling statt (Hillebrandt et al., 2018a, S. 219; Stockhammer, 2020, S. 1).

### **Weiterverwertung**

Das Weiterverwerten (engl. reprocessing) bedeutet die Auflösung der Form und der Einsatz der Altstoffe in noch nicht durchlaufende Produktionsprozesse, wodurch andere Werkstoffe oder Produkte mit anderen Eigenschaften entstehen. Es findet jedoch ein Qualitätsverlust statt (Hillebrandt et al., 2018a, S. 219; Stockhammer, 2020, S. 1; Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union, 2008, Art. 3.15).

### **Wiederverwendung**

Wiederverwendung (engl. re-use) bezeichnet jene Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile wieder für den denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren. Das Bauteil behält sowohl die Form (Geometrie) als auch seine Funktion (Nutzungskategorie). Es findet kein Qualitätsverlust statt (Europäisches Parlament, Rat der Europäischen Union, 2008, Art. 3.13; Hillebrandt et al., 2018a, S. 219; Stockhammer, 2020, S. 1).

### **Wiederverwertung**

Verwertung (engl. recycling, reutilization) bezeichnet grundsätzlich alle Verfahren, die Abfälle einem sinnvollen Zweck zuführen, indem sie andere Materialien ersetzen. Das Wiederverwerten bedeutet die Auflösung der Form und der erneute Einsatz der Altstoffe in einem Produktionsprozess, womit oftmals die Funktion des Baustoffs bestehen bleibt. Der Begriff Wiederverwertung wird oft sinngleich mit Recycling verwendet (Hillebrandt et al., 2018a, S. 219; Stockhammer, 2020, S. 1)






## Anlagen

- Anlage I: Umsetzungsbeispiele
- Anlage II: Übersicht der geführten Interviews (Interviewliste)
- Anlage III: Kommunikation und Dissemination
- Anlage IV: Factsheets Fallstudien
- Anlage V: Interviewleitfaden
- Anlage VI: Fragebogen der teilstandardisierten Befragung

## Anlage I: Umsetzungsbeispiele


Tabelle: Projektsammlung Umsetzungsbeispiele


|   | Allgemeine Projektinformation  | Bauweise         | Ansatzpunkte Kreislaufwirtschaft   |
|---|--|------------------|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Marc Syfrig<br/>Architekten ETH SIA BSA</li> <li>Projekttitel: Haus des Holzes</li> <li>Typologie: Wohnen/Büro</li> <li>Standort: Sursee, CH</li> <li>Fertigstellung: 2022</li> </ul> | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>BIM-Planung</li> <li>Demontierbare Gesamtkonstruktion</li> <li>Trennbarkeit von Bauteilen und Baustoffen</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: HPP Architekten GmbH</li> <li>Projekttitel: The Cradle</li> <li>Typologie: Büro</li> <li>Standort: Düsseldorf, DE</li> <li>Fertigstellung: 2022</li> </ul>                            | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>C2C-Konzeption</li> <li>Building Material Passport</li> <li>Eintragung in Madaster</li> <li>BIM-Projekt</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Partner und Partner Architekten</li> <li>Projekttitel: Woodscrapers</li> <li>Typologie: Wohnen</li> <li>Standort: Wolfsburg, DE</li> <li>in Fertigstellung</li> </ul>                 | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flexible Gebäudestruktur</li> <li>BIM Dokumentation</li> <li>Reversible Heiztechnik</li> </ul>                      |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Rau Architects</li> <li>Projekttitel: Triodos Bank</li> <li>Typologie: Gewerbe</li> <li>Standort: Zeist, NL</li> <li>Fertigstellung: 2019</li> </ul>                                  | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>100% rückbaubare Konstruktion</li> <li>Eintragung in Madaster</li> <li>Building Material Passport</li> </ul>        |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Andy Senn Architekt bsa sia</li> <li>Projekttitel: LZSG</li> <li>Typologie: andere Nutzung</li> <li>Standort: Salez, CH</li> <li>Fertigstellung: 2019</li> </ul>                      | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vereinfachung des Rückbaus durch Low-Tech Ansatz</li> </ul>   |

|   | Allgemeine Projektinformation  | Bauweise         | Ansatzpunkte Kreislaufwirtschaft   |
|---|--|------------------|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Partner und Partner Architekten</li> <li>Projekttitle: Gründerzentrum Green Economy</li> <li>Typologie: Gewerbe</li> <li>Standort: Bremerhaven, DE</li> <li>in Fertigstellung</li> </ul>          | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flexible Gebäudestruktur inkl. Umbauszenarien</li> <li>Nutzerflexibilität</li> <li>Demontierbare Gesamtkonstruktion</li> <li>Trennbarkeit von Bauteilen und Baustoffen</li> </ul> |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Kraaijvanger Architects</li> <li>Projekttitle: Rathaus Venlo</li> <li>Typologie: andere Nutzung</li> <li>Standort: Venlo, NL</li> <li>Fertigstellung: 2016</li> </ul>                             | Hybridbauwerk    | <ul style="list-style-type: none"> <li>C2C-Konzeption</li> <li>C2C zertifizierte Bauprodukte</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Mei Architects and Planners</li> <li>Projekttitle: Sawa</li> <li>Typologie: Wohnen</li> <li>Standort: Rotterdam, NL</li> <li>in Fertigstellung</li> </ul>   | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wiederverwendung von Baumaterialien</li> <li>Recycling gerechte Baumaterialien</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Hermann Kaufmann + Partner ZT GmbH</li> <li>Projekttitle: Isar Würm Lech IWL</li> <li>Typologie: andere Nutzung</li> <li>Standort: Landsberg am Lech, DE</li> <li>Fertigstellung: 2014</li> </ul> | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nutzungsflexibilität</li> <li>Modulare Konstruktion</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Ibus Architektengesellschaft mbH</li> <li>Projekttitle: Stadtwerke Neustadt</li> <li>Typologie: Büro</li> <li>Standort: Holstein, DE</li> <li>Fertigstellung: 2018</li> </ul>                     | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wiederverwendung von Baumaterialien</li> <li>Wiederverwendbare Bauteile</li> </ul>  |

|   | Allgemeine Projektinformation  | Bauweise         | Ansatzpunkte Kreislaufwirtschaft  |
|---|--|------------------|---|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: ZRS Architekten Ingenieure</li> <li>Projekttitle: Werkstattgebäude Konrad-Zuse-Schule</li> <li>Typologie: andere Nutzung</li> <li>Standort: Berlin, DE</li> <li>Fertigstellung: 2021</li> </ul>                       | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Demontierbare Tragkonstruktion</li> </ul>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Projekttitle: Vivihouse</li> <li>Typologie: Wohnen</li> <li>Standort: Pernitz, AUT</li> <li>Fertigstellung: 2018</li> </ul>   | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>Kreislauffähiges Baukastensystem</li> <li>Modulare Bauteile</li> <li>Eignung zum Selbstbau</li> </ul>      |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: 3XN Copenhagen A/S</li> <li>Projekttitle: Green Solution House conference center</li> <li>Typologie: Wohnen/Büro</li> <li>Standort: Bornholm, DNK</li> <li>Fertigstellung: 2015</li> </ul>                            | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>C2C-Konzeption</li> <li>Wiederverwendung von Baumaterialien</li> <li>Wiederverwendbare Bauteile</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Baubüro In situ AG</li> <li>Projekttitle: Zwischennutzung Lattich</li> <li>Typologie: Büro</li> <li>Standort: St. Gallen, CH</li> <li>Fertigstellung: 2019</li> </ul>   | Holzkonstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>BIM-Projekt</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Cityförster! Bartels Brehm Hansen Henschel Niehüser Nolting Reckeweg Richter</li> <li>Projekttitle: Recyclinghaus</li> <li>Typologie: Wohnen</li> <li>Standort: Hannover, DE</li> <li>Fertigstellung: 2019</li> </ul> | Hybridbauwerk    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Wiederverwendung von Bauteilen</li> <li>Recycling gerechte Bauweise</li> </ul>                             |

|   | Allgemeine Projektinformation   | Bauweise      | Ansatzpunkte Kreislaufwirtschaft   |
|---|---|---------------|--|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Cepezed</li> <li>Projekttitle: Building D</li> <li>Typologie: Büro</li> <li>Standort: Delft, NL</li> <li>Fertigstellung: 2019</li> </ul>                               | Hybridbauwerk | <ul style="list-style-type: none"> <li>Demontierbare Gesamtkonstruktion</li> <li>Modulare Bauteile</li> </ul>  |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Haptic Architects AS</li> <li>Projekttitle: Regenerative High-Rise</li> <li>Typologie: Wohnen/Büro</li> <li>Standort: Oslo, NOR</li> <li>in Fertigstellung</li> </ul>  | Hybridbauwerk | <ul style="list-style-type: none"> <li>Universelles Designkonzept</li> <li>Flexible Gebäudestruktur</li> <li>Wiederverwendung von Bauteilen</li> <li>Nutzungsflexibilität</li> </ul>   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Kadawittfeldarchitektur</li> <li>Projekttitle: Moringa</li> <li>Typologie: Wohnen</li> <li>Standort: Hamburg, DE</li> <li>Fertigstellung: 2024</li> </ul>              | Hybridbauwerk | <ul style="list-style-type: none"> <li>C2C-Konzeption</li> <li>Wiederverwendbare Baumaterialien und Bauteile</li> <li>Building Circularity Passport</li> <li>Demontierbarkeit Bauteile</li> <li>Trennbarkeit Baumaterialien</li> </ul> |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Baubüro In situ AG</li> <li>Projekttitle: Lysbüchel-Areal</li> <li>Typologie: Gewerbe</li> <li>Standort: Basel, CH</li> <li>Fertigstellung:</li> </ul>                 | Bestand       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Einbindung von Altholz für Fassadenelemente</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Architekt:in: Allmannwappner GmbH</li> <li>Projekttitle: Hotel Öschberghof</li> <li>Typologie: Wohnen</li> <li>Standort: Donaueschingen, DE</li> <li>Fertigstellung: 2019</li> </ul> | Bestand       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Trennbarkeit Baumaterialien</li> <li>Wiederverwendbare Baustoffe</li> </ul>   |

|   | Allgemeine Projektinformation   | Bauweise             | Ansatzpunkte Kreislaufwirtschaft  |
|---|---|----------------------|---|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Projekttitle: C2C LAB</li> <li>■ Typologie: Büro</li> <li>■ Standort: Berlin, DE</li> <li>■ Fertigstellung: 2019</li> </ul>  | Bestand              | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ C2C-Konzeption</li> <li>■ C2C-Produkt-dokumentation</li> </ul>   |
| Keine Angabe vorhanden  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Projekttitle: Logistikhalle Bornheim</li> <li>■ Typologie: Gewerbe</li> <li>■ Standort: Bornheim, DE</li> <li>■ Fertigstellung: 2023</li> </ul>  | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ C2C-Konzeption</li> <li>■ Wiederverwertbare Baumaterialien</li> </ul>  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: Kontur ZT GmbH</li> <li>■ Projekttitle: Beim Binderbauern</li> <li>■ Typologie: Wohnen</li> <li>■ Standort: unbekannt, AUT</li> <li>■ Fertigstellung: 2020</li> </ul>        | Bestand              |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: William McDonough + Partners</li> <li>■ Projekttitle: FOX Vakanties</li> <li>■ Typologie: Büro</li> <li>■ Standort: Hoofddorp, NL</li> <li>■ Fertigstellung: 2012</li> </ul> | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ C2C-Konzeption</li> <li>■ C2C-Baumaterialien</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: Kaan Architecten</li> <li>■ Projekttitle: NIOO-KNAW</li> <li>■ Typologie: andere Nutzung</li> <li>■ Standort: Wageningen, NL</li> <li>■ Fertigstellung: 2011</li> </ul>      | Weitere Konstruktion |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: Kadawittfeldarchitektur</li> <li>■ Projekttitle: RAG Zeche Zollverein</li> <li>■ Typologie: Büro</li> <li>■ Standort: Essen, DE</li> <li>■ Fertigstellung: 2017</li> </ul>   | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ C2C-Konzeption</li> <li>■ Kreislauffähige Baumaterialien und Bauteile</li> <li>■ Building Material Passport</li> </ul> |

|   | Allgemeine Projektinformation  | Bauweise             | Ansatzpunkte Kreislaufwirtschaft  |
|---|--|----------------------|---|
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Projekttitle: World Trade Center Türme Brüssel</li> <li>■ Typologie: Büro</li> <li>■ Standort: Brüssel, BEL</li> <li>■ Fertigstellung: 2023</li> </ul>  | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abrisshilfe nach C2C</li> <li>■ Building Material Passport</li> <li>■ Identifizierung von verfügbaren Materialien</li> </ul>                       |
| Keine Angabe vorhanden  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Projekttitle: New European Distribution Center</li> <li>■ Typologie: Gewerbe</li> <li>■ Standort: Dorsten, DE</li> <li>■ Fertigstellung: 2023</li> </ul>  | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ C2C-Konzeption</li> <li>■ Wiederverwertbare Baumaterialien</li> <li>■ Building Material Passport</li> <li>■ Trennbarkeit Baumaterialien</li> </ul> |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: Cepezed</li> <li>■ Projekttitle: The Greenhouse</li> <li>■ Typologie: andere Nutzung</li> <li>■ Standort: Utrecht, NL</li> <li>■ Fertigstellung: 2018</li> </ul>                  | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Baukastensystem</li> <li>■ Demontierbare Bauteile</li> <li>■ Wiederverwendung von Baumaterialien</li> </ul>  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: Cepezed</li> <li>■ Projekttitle: Temporary Court Amsterdam</li> <li>■ Typologie: Büro</li> <li>■ Standort: Amsterdam, NL</li> <li>■ Fertigstellung: 2016</li> </ul>               | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Demontierbare Tragkonstruktion</li> <li>■ Wiederverwendbare Bauteile</li> </ul>  |
| Keine Angabe vorhanden  | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Architekt:in: Green! Architects GmbH</li> <li>■ Projekttitle: Ville Campus Erfstadt</li> <li>■ Typologie: Wohnen/Büro</li> <li>■ Standort: Erfstadt, DE</li> <li>■ in Fertigstellung</li> </ul> | Weitere Konstruktion | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ C2C Konzeption</li> </ul>  |

Quelle: Desktoprecherche, circularWOOD 2021 - 2023



## Anlage II: Übersicht der geführten Interviews (Interviewliste)

Interviews

| Datum      | Interviewpartner:in | Position  | Tätigkeitsbereich                                   | Land |
|------------|---------------------|---|---|------|
| 23.08.2021 | Dr. Jan Wenker      | Abteilungsleiter Nachhaltigkeit und Innovation, Brüninghoff GmbH & Co. KG       | Holzbauunternehmen                                  | D    |
| 24.08.2021 | Gerd Prause         | Gesellschafter und Geschäftsführer, Prause Holzbauplanung                       | Holzbauingenieur, Planung                           | D    |
| 24.08.2021 | Michael Schär       | Geschäftsführer und Verwaltungsrat, Schaerholzbau AG                            | Holzbauunternehmen                                  | CH   |
| 25.08.2021 | Andreas Dengl       | Projektentwicklung und Vertrieb, Gumpp & Maier GmbH                             | Holzbauunternehmen                                  | D    |
| 25.08.2021 | Franz Hauzenberger  | Bereichsleiter Holzbau und Fassadenbau Künzli Holz AG                           | Holzbauunternehmen                                  | CH   |
| 24.10.2021 | Pius Renggli        | Mitbegründer, Holzprojekt GmbH  | Holzbauingenieur, Planung                           | CH   |
| 19.10.2021 | Alexander Leib      | Gesellschafter und Geschäftsführer, Die Holzbauingenieure                       | Holzbauingenieur, Planung                           | D    |
| 16.11.2021 | Jörg Finkbeiner     | Geschäftsführer Partner und Partner - Architekten                               | Architekt Holzbau, Planung                          | D    |
| 27.01.2022 | Markus Stepler      | Vertriebsleiter, Derix-Gruppe   | Hersteller Holzleimbau, Ingenieurholzbauunternehmen | D    |
| 01.02.2022 | Thomas Rau          | Geschäftsführer, Rau Architekten  | Architekt<br>Gründer Madaster                       | D    |
| 03.03.2022 | Daniel Müller       | Mitglied der Geschäftsleitung, Bereichsleiter Holzphysik Pirmin Jung Schweiz AG | Holzbauingenieur, Planung                           | CH   |

| Datum      | Interviewpartner:in                | Position   | Tätigkeitsbereich   | Land |
|------------|------------------------------------|--|---|------|
| 22.07.2022 | Andrea Heil                        | Beraterin, C2C-Expertin<br>Epea GmbH - Part of<br>Drees & Sommer   | C2C-Beratung  | D    |
| 16.09.2022 | Yannik Hauers                      | Bauingenieur,<br>Derix-Gruppe  | Hersteller Holzleimbau, Inge-<br>nieurholzbauunternehmen          | D    |
| 16.09.2022 | Daniela Schneider                  | Beraterin, C2C-Expertin,<br>Epea GmbH - Part of<br>Drees & Sommer  | C2C- Beratung   | D    |
| 26.09.2022 | Frank Küng                         | Projektleiter,<br>Haupt AG   | Holzbauunternehmen  | CH   |
| 09.11.2022 | Pascal Anghern<br>Pascal Hentschel | GL Baubüro In situ AG<br>GL Zirkular GmbH  | Architekten<br>Kreislaufwirtschaft                                | CH   |
| 11.11.2022 | Dr. Patrick Berg-<br>mann          | Geschäftsführer,<br>Madaster Germany<br>GmbH   | Digitales Materialkataster für<br>Immobilien                      | D    |
| 25.11.2022 | Stefan Gottfried                   | Technischer Service OSB,<br>Swiss Krono Deutschland  | Hersteller Holzwerkstoffe   | D    |
| 28.11.2022 | Prof. Dr. Anja Rosen               | Bergische Universität<br>Wuppertal, Lehrstuhl für<br>Baukonstruktion, Entwurf,<br>Materialkunde              | Lehre, F&E<br>(Entwicklung Urban Mining In-<br>dex), C2C-Beratung | D    |
| 17.01.2023 | Dipl. Ing.<br>Harald Schwab        | Fraunhofer-Institut für<br>Holzforschung, Wilhelm-<br>Klauditz-Institut WKI                                  | Qualitätsprüfung und -bewer-<br>tung                              | D    |
| 28.02.2023 | PD Dr. Oliver Streiff              | PD Dr. iur. und Dipl. Arch.<br>ETH an der Zürcher<br>Hochschule für Ange-<br>wandte Wissenschaften<br>(ZHAW) | Leiter Fachstelle Städtebau-<br>und Umweltrecht                   | CH   |

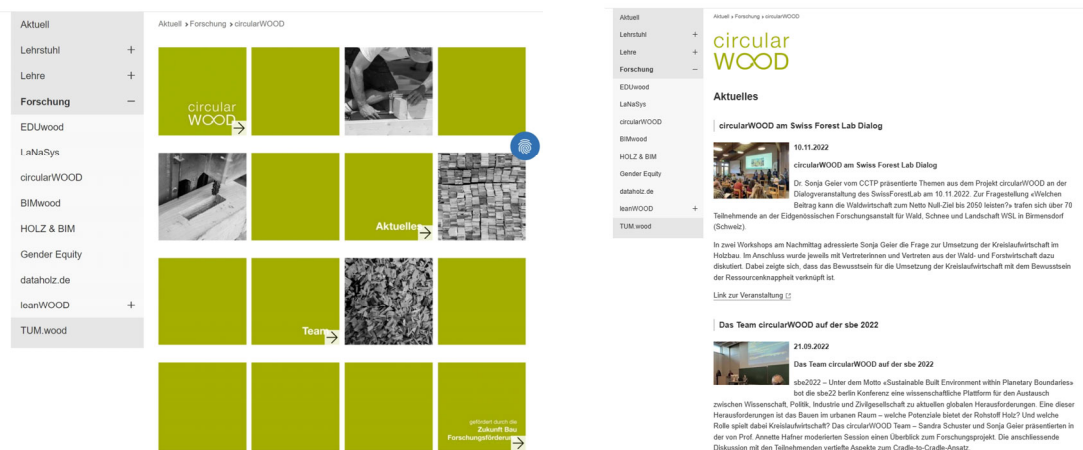
| Datum                    | Interviewpartner:in                | Position   | Tätigkeitsbereich   | Land |
|--------------------------|------------------------------------|--|---|------|
| 13.02.2023               | Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter | Univ.-Prof. Dr.-Ing. an der Technischen Universität München (TUM)        | Lehrstuhlleiter für den Lehrstuhl Holzbau und Baukonstruktion | D    |
| 24.02.2023<br>06.03.2023 | Michiel Fehr                       | Kanton Luzern<br>Abteilung Landwirtschaft und Wald (lawa)<br>Waldnutzung | Leiter Fachbereich<br>Waldnutzung                             | CH   |
| 05.03.2023               | Prof. Dr.-Ing. Frank Petzold       | Prof. Dr.-Ing. an der Technischen Universität München (TUM)              | Lehrstuhlleiter für den Lehrstuhl Architekturinformatik       | D    |
| 27.03.2023               | Attilio Ferratello                 | Fachspezialist Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein          | Normen, Tragwerke   | CH   |

## Anlage III: Kommunikation und Dissemination

Die folgende Beschreibung gibt einen Überblick über die verschiedenen Kommunikationsstrategien der Ergebnispublikation während und nach Abschluss des Forschungsprojekts.

### Webseite

Zur laufenden Ergebnispublikation während und nach Abschluss des Forschungsprojekts wurde eine Projektwebsite eingerichtet: [www.circularwood.net](http://www.circularwood.net). Neben grundlegenden Informationen zu Projektteam, Forschungsaufbau und Fördermittelgeber im Corporate Design vermittelt die Seite unter der Rubrik „Aktuelles“ eine regelmäßige Berichterstattung und Einzelbeiträge des Forschungsverlaufs. Die Ergänzung durch aktuelle, mit dem Forschungsvorhaben verknüpfte Beiträge gewährleistet auch nach Projektabschluss eine Kommunikation und Information für die Zielgruppen. Der zehnjährige Betrieb und die damit verbundene Wartung der Webseite erfolgt durch den Lehrstuhl Architektur und Holzbau der TU München (bis Februar 2031).



Startseite und Rubrik „Aktuelles“ im Internetauftritt circularWOOD (Screenshots)

Um die Reichweite und Transparenz zu maximieren, wurde unter der Rubrik „Team“ eine Verlinkung zur offiziellen Website der Forschungspartnerin CC Typologie & Planung in Architektur der Hochschule Luzern eingerichtet. An dieser Stelle ist ebenfalls eine Kurzübersicht des Projektrahmens unter Angabe der Fördermittelgeber dargestellt: <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/forschung/projekte/detail/?pid=5763>.

### circularWOOD

Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau

#### In der Übersicht

Ziel von circularWOOD ist es, die Grundlagen für einen Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau zu erarbeiten. Auch wenn in der Forst- und Holzwirtschaft das Thema der Kreislaufwirtschaft in der Diskussion bereits etabliert und Holz im Vergleich zu mineralischen Baustoffen durch seine kaskadische Nutzung länger im Stoffkreislauf bleibt, ist das Potential von Holz in der Ökobilanzierung nicht ansatzweise ausgeschöpft. Bauprojekte, die den Prinzipien einer zirkulären Bauwirtschaft folgen, kommen nicht über den Status von Pilotprojekten hinaus.

Hier setzt circularWOOD an und eruiert Potenziale und Barrieren des Baustoffes Holz in der zirkulären Bauwirtschaft. Es werden globale Handlungsfelder eruiert, Bauteilfabrikanten analysiert, Prinzipien für das Design for Disassembly (DFD) entwickelt und Szenarien sowie neue Typologien für den Re-use von Bauteilen entworfen. Die zielgruppengerechte Kommunikation umfasst Handlungsempfehlungen und Steckbriefe für die Politik, die gemeinsam mit einer Themenlandkarte webbasiert publiziert werden.

Das Projekt circularWOOD wird im Rahmen des Innovationsprogramms Zukunft Bau des deutschen Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) finanziert. Das Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP) der Hochschule Luzern kooperiert in circularWOOD mit dem Lehrstuhl Entwerfen und Holzbau der TU München.

| KURZINFORMATION   |                         |
|---|-------------------------|
| Departement:  | Technik & Architektur   |
| Status:   | Laufend                 |
| Zeitraum:   | 01.02.2021 - 28.02.2023 |
|          |                         |
| <b>PROJEKTLEITUNG</b><br>Dr. Sonja Geier<br>Dozentin<br>+41 41 349 34 97<br>E-Mail anzeigen |                         |

Internetauftritt von circularWOOD, Hochschule Luzern, CH (Screenshot)

## Vorträge und Veröffentlichungen

Im Rahmen der Dissemination wurden von den Projektpartnerinnen während des Projektverlaufs verschiedene Vorträge gehalten. Sie dienten dem Austausch während des Vorhabens sowie der Sichtbarmachung des Forschungsprojekts. Dabei wurde das Projekt sowohl in Deutschland als auch in der Schweiz auf unterschiedlichen Veranstaltungen und Fachtagungen präsentiert. Weiter nahm das Projektteam an den 18. (10.11.2021) und 22. Projekttagen (22.11.2022) von Zukunft Bau teil und stellte das Projekt dem interessierten Publikum vor. Nach Abschluß des Forschungsprojekts sind weitere Vorträge für den Wissenstransfer geplant.

### Vorträge

| Datum      | Vortragende                  | Veranstaltung   | Thema  |
|------------|------------------------------|---|--|
| 27.08.2021 | Sandra Schuster              | Fachveranstaltung Kreislaufwirtschaft des Wachstumsmarkt Holz/Bauplus | Vorstellung Forschungsprojekt CircularWOOD, Fulda  |
| 10.11.2021 | Sandra Schuster, Sonja Geier | 18. Projektetage der Bauforschung Zukunft Bau                         | CircularWOOD – Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau                         |
| 24.11.2021 | Sonja Geier                  | Hochschule Luzern   |  |
| 29.11.2021 | Sonja Geier                  | IAZI, Zürich  | (Klima)Wandel in der Immobilienpolitik?  |
| 05.05.2022 | Sonja Geier                  | Swissbau compact, Basel   | Dematerialisierung am Bau  |
| 15.06.2022 | Sonja Geier                  | TU Wien   | Circularity – die neue Normalität für nachhaltiges Bauen?  |
| 21.09.2022 | Sandra Schuster, Sonja Geier | sbe2022, Berlin   | CircularWOOD – a paradigm shift towards circularity in timber construction in the german context |
| 10.11.2022 | Sonja Geier                  | Swiss Forest Lab  | Präsentation CircularWOOD  |
| 23.11.2022 | Sandra Schuster, Sonja Geier | 22. Projektetage der Bauforschung Zukunft Bau                         | CircularWOOD – Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau                         |
| 02.02.2023 | Sandra Schuster              | Vorlesung TU München, Holzbaumentorenmaster                           | CircularWOOD – ein Forschungsprojekt   |

Im Rahmen der internen Kommunikation und Informationsaufbereitung wurden neben regelmäßigen Abstimmungen im Rahmen eines wöchentlichen Jour-fixe, interne Workshop Sessions veranstaltet. So wurden drei Forschungstreffen in Form intensiver Mehrtages-Workshops statt. Im Rahmen der

Fallstudienuntersuchung des Projekts „The Cradle“ erfolgte ein Baustellenbesuch in Düsseldorf. Im Haus des Holzes wurde mit dem Bauherrn und der Bauleitung während der Bauarbeiten ein Interview geführt. Das Gebäude wurde nach der Fertigstellung mehrmals besichtigt.

#### Exkursionen

| Datum                           | Beteiligte                                       | Veranstaltung                         | Thema  |
|---------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 10.07.2021<br>bis<br>11.07.2021 | Sandra Schuster,<br>Sonja Geier                  | Workshop, Sankt Gerold                | Kick-off Veranstaltung                               |
| 26.10.2021<br>bis<br>28.10.2021 | Sandra Schuster,<br>Sonja Geier                  | Workshop, Dornbirn                    | Projekttreffen                                       |
| 11.05.2022                      | Sandra Schuster,<br>Sonja Geier                  | Konferenz, Hamburg                    | Future Real Estate Cradle to Cradle                  |
| 21.07.2022                      | Sandra Schuster,<br>Cathrin Schapfl              | Baustellenbesichtigung,<br>Düsseldorf | Fallstudie „The Cradle“                              |
| 20.09.2022<br>bis<br>23.09.2022 | Sandra Schuster,<br>Sonja Geier                  | Konferenz, Berlin                     | Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2022 |
| 22.09.2022                      | Sandra Schuster,<br>Sonja Geier                  | Workshop, Berlin                      | Projekttreffen                                       |
| 29.11.2022<br>bis<br>01.12.2022 | Sandra Schuster,<br>Sonja Geier, Cathrin Schapfl | Konferenz, Innsbruck                  | 27. Internationales Holzbau-Forum (IHF)              |

Zur Dokumentation der Erarbeitung wichtiger Kernpunkte des Forschungsfortschritts wurde im Rahmen der SBE22 -Sustainable Built Environment D-A-CH Conference 2022 ein wissenschaftliches Paper mit dem Titel „CircularWOOD – Towards Circularity in Timber Construction in the German Context“ eingereicht und am 21.09.2022 in Berlin präsentiert (Roswag et al., 2022). Das schweizer Architekturmagazin Tech21 hat das Thema Design for Dissassembly als Schwerpunkt seiner Ausgabe Nr. 18 (Erscheinungsdatum 02.06.23). Eine Veröffentlichung zu den Inhalten des Forschungsprojekts circularWOOD ist in Vorbereitung. Weitere Veröffentlichungen sind in Planung.

## Anlage IV

### Fallstudie - The Cradle



Abbildung 1:  
Außenperspektive Gesamtprojekt  
Interboden/HPP Architekten  
Visualisierung © Bloomimages



Abbildung 2:  
Mockup Fassadenstütze  
© Derix-Gruppe



Abbildung 3:  
Stützenanschluss  
© Derix-Gruppe

Das Projekt The Cradle wurde nach dem Cradle-to-Cradle Prinzip als Holzhybridbau entwickelt. Im Sinne der Cradle-Philosophie sind die verwendeten Materialien des Gebäudes größtenteils kreislauffähig und dementsprechend wiederverwertbar. Die gelieferten Brettschicht- und Brettsperrholzelemente werden nach Ablauf der Gebäudelebensdauer vom Hersteller zurückgenommen und können in einem weiteren Lebenszyklus für neue Bauvorhaben bereitgestellt werden. Die Planung und Konzeption des Gebäudes basiert auf digitalen Modellen, die anhand definierter Parameter in interdisziplinärer Zusammenarbeit entwickelt wurden. Simulationsprozesse dienen dabei der Optimierung. Das daraus resultierende 3D-Modell wurde als Grundlage für den integralen BIM-Prozess verwendet, bei dem sämtliche Bauteile und Materialien in einen sogenannten „Building Material Passport“ eingeflossen sind, um eine vollständig digitalisierte Dokumentation, sowie eine Registrierung auf der Madaster-Plattform zu ermöglichen. Besondere Erwähnung in Bezug auf die technische Rückbaubarkeit der Konstruktion verdienen die eingesetzten Steckverbinder, welche im Zuge des Bauvorhabens entwickelt wurden: Ein computergenerierter 3D-Rohling aus Brettschichtholz (BSH) bildete zunächst die produktionstechnische Grundlage. Darauf aufbauend konnte ein Steckverbinder bestehend aus einer mittels CNC-Technik gefrästen Knagge aus Buchen-Furnierschichtholz (FSH) entwickelt werden, welche auf eine untere, geschweißte Stahlplatte aufgesetzt wird. Aufgelegte, stählerne Kopfplatten bilden die Grundlage für das spätere Aufsetzen der BSH-Elemente auf den Verbinder. Ohne Verklebung und Verschraubung kann diese Steckverbindung die notwendigen Schubkräfte aufnehmen. Damit wird der Gedanke des einfachen Rückbaus durch alleinige Funktionsweise des Bauteilanschlusses über das Eigengewicht der Einzelbauteile gewährleistet (Lennartz, 2022).

Tabelle: Kurzinformation Steckbrief

| Projektbeteiligte                   |                           | Projektdaten    |                       |
|-------------------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| Auftraggebende                      | Interboden GmbH & Co. KG  | Geschosszahl    | 7                     |
| Architekturbüro                     | HPP Architekten GmbH      | BGF             | 11.690 m <sup>2</sup> |
| Tragwerksplanung                    | Knippershelig GmbH        | Projektlaufzeit | In Fertigstellung     |
| Holzbauunternehmen                  | W. u. J. Derix GmbH & Co. | BIM-Projekt     | Ja                    |
| Holzbauingenieure<br>(Derix-Gruppe) | SJB Kempter Fitze AG, CH  | Madaster        | Ja                    |

## Fallstudie - Triodos-Bank



Abbildung 4:  
Außenperspektive Gesamtprojekt  
© Rau Architects



Abbildung 5:  
Montage Wandelement  
© Carel van Hees



Abbildung 6:  
Kreuzverschraubung  
Deckenelement  
© Rau Architects

Das Projekt Triodos-Bank gilt als weltweit erstes komplett wiederverwertbares Bürogebäude in Holzbauweise. Mit dem Entwurf wurde ein maximales Kreislaufpotenzial angestrebt mit dem Ziel, ein dynamisches Gleichgewicht zwischen der Natur, den im Gebäude verbauten Materialien und den wirtschaftlichen Zielen des Bauherrn zu erreichen. Rau Architekten haben das Gebäude als „Materialbank“ konzipiert. Dafür wurden alle Produkte, Komponenten und Materialien dokumentiert und inklusive Herkunftsnachweis und Nutzungszweck aufgelistet, um sie in der Zukunft problemlos einer neuen Nutzung zuführen zu können. Um eine spätere Demontage zu gewährleisten, wurden trockene Verbindungen für die Holzkonstruktion gewählt. Auch die Montage der Innenwände wurde so konzipiert, dass sie ohne erheblichen baulichen Aufwand ausgetauscht, verändert und entfernt werden können. Die Treppenhäuser, die Liftschächte und die Installationsschächte bestehen dabei ebenso aus Holz, wie das Holzständerwerk des Gebäudes. Brettschichtholz-Elemente wurden mit der aus Leimbändern bestehenden Tragkonstruktion verschraubt und übernehmen eine aussteifende Funktion (Ryll, 2020).

Tabelle: Kurzinformation Steckbrief

| Projektbeteiligte  |                           | Projektdaten    |                       |
|--------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| Auftraggebende     | Triodos Bank N.V.         | Geschosszahl    | 3 - 6                 |
| Architekturbüro    | Rau Architects            | BGF             | 12 994 m <sup>2</sup> |
| Holzbauingenieure  | Lüning B.V.               | Projektlaufzeit | 2017 - 2019           |
| Holzbauunternehmen | W. u. J. Derix GmbH & Co. | BIM-Projekt     | Ja                    |
|                    |                           | Madaster        | Ja                    |



## Fallstudie - Feuerwehrhaus Straubenhardt



Abbildung 7: Außenperspektive Gesamtprojekt  
© Brigida González für Wulf Architekten



Abbildung 8:  
Stützenansicht Parkdeck  
© Wulf Architekten



Abbildung 9:  
Stützenanschluss  
Träger © Wulf  
Architekten

Das Feuerwehrhaus Straubenhardt wurde als öffentliches Projekt von der Gemeinde beauftragt und orientiert sich in Planung und Ausführung dem Leitprinzip Cradle to Cradle. Der Prozess wurde dabei vom Umweltberatungsinstitut Epea GmbH Part of Drees & Sommer begleitet und schloss die Prüfung sämtlicher Materialien und Bauteile in Bezug auf Materialgesundheit, sortenreine Trennbarkeit, Energiebedarf, sowie CO<sub>2</sub>- Emissionen bei der Herstellung ein. Durch die Verwendung großformatiger und flächiger Lagenwerkstoffe (Brettschichtholz und Brettspertholz) war eine schnelle Montage möglich und die Rückbaubarkeit bzw. zerstörungsfreie Demontage ist gleichzeitig gewährleistet. Für den kreislauffähigen Ansatz wurde zudem auf Klebstoffe, Anstriche und Verputze der Materialien verzichtet. Eine abschließende Dokumentation sämtlicher Baustoffe im sogenannten Gebäuderessourcenpass bildet die Voraussetzung für die Wiederverwendung im Falle eines Rückbaus. Nach dem Urban Mining Gedanken kann das Gebäude somit zugleich als nachhaltiges Rohstofflager für weiterführende Projekte gesehen werden.

Tabelle: Kurzinformation Steckbrief

| Projektbeteiligte  |                           | Projektdaten       |                      |
|--------------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| Auftraggebende     | Gemeinde<br>Straubenhardt | Geschosszahl       | 3                    |
| Architekturbüro    | Wulf Architekten GmbH     | BGF                | 3.894 m <sup>2</sup> |
| Holzbauingenieure  | f2k Ingenieure GmbH       | Projektlaufzeit    | 2019 - 2022          |
| Holzbauunternehmen | Holzbau Schaible<br>GmbH  | Holzbauunternehmen | Holzbau Schaible     |
|                    |                           | C2C                | Ja                   |

## Fallstudie - Haus des Holzes



Abbildung 10:  
Außenperspektive Gesamtprojekt  
© Pirmin Jung Schweiz AG



Abbildung 11:  
Montage Deckenelement  
© Pirmin Jung Schweiz AG



Abbildung 12:  
Steckverbindung  
Brettsperrholz  
© Pirmin Jung  
Schweiz AG

Das Projekt Haus des Holzes, welches als erweiterter Firmensitz der Pirmin Jung Schweiz AG fungiert, gilt als wegweisendes Bauprojekt hinsichtlich einer gesamtheitlichen Berücksichtigung der Nachhaltigkeit in den Bereichen Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Der Baukörper wurde schon in der Planungsphase so definiert, dass Materialien mit möglichst geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen verwendet werden. Der Baustoff Holz nimmt dabei eine zentrale Rolle ein. Die Wände werden als Holzrahmenkonstruktion ausgebildet. Teilweise sind diese aufgrund von Wind- und Erdbebenkräften, mittels Brettsperrholzplatten ausgesteift. Im Bereich der Aussteifung wurde auf metallische Verbindungsmittel verzichtet. Stattdessen kamen unterschiedliche Holz-Holz-Verbindungen zum Einsatz. Wann und wo immer möglich, wurde auf geschraubte an Stelle geklebter oder genagelter Verbindungen gesetzt und der Einsatz von Cradle-to-Cradle-zertifizierten Baustoffen forciert. Mit Blick auf einen späteren Rückbau, wurden Komponenten wie Materialien, Schichttypen oder Verbindungsmittel im Einklang mit der Datenstruktur des digitalen Zwillings betrachtet. Dafür wurden Daten und Informationen mittels Datencontainern strukturiert und mit den jeweiligen Projektzielen verknüpft. Der Neubau integriert damit nicht nur neueste Techniken zur Erreichung von Energie- und Ressourceneffizienz, sondern entwickelte auch die Zusammenarbeit über VDC/ BIM-Methode weiter.

Tabelle: Kurzinformation Steckbrief

| Projektbeteiligte  |  | Projektdaten    |             |
|--------------------|--|-----------------|-------------|
| Auftraggebende     | Pirmin Jung Schweiz AG                               | Geschosszahl    | 5           |
| Architekturbüro    | Marc Syfrig Arch                                     | Projektlaufzeit | 2017 - 2022 |
| Holzbauingenieure  | Pirmin Jung Schweiz AG                               | BIM-Projekt     | Ja          |
| Holzbauunternehmen | Haupt AG,<br>Tschopp Holzbau AG,<br>Hecht Holzbau AG | C2C             | Ja          |

## Anlage V: Leitfaden Expert:inneninterview

### **circularWOOD - Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau**

Interviewleitfaden für ein offenes, thematisch strukturiertes, halbnarratives Interview

#### **Was soll beantwortet werden?**

Moderner Holzbau im Fokus der Kreislaufwirtschaft: welche Maßnahmen sind notwendig, um den Holzbau kreislauffähig zu machen.

Betrachtungsebenen:

- Aktuelle Relevanz, Interesse
- Aktuelle Konstruktionsmethoden
- Neubau, Reparatur, Umbau, Rückbau
- Anreize

Geplante Zeit je Telefoninterview: ca. 45 Minuten

---

#### **1. Einstieg (Erläuterung des Vorgehens, Zusicherung von Anonymität):**

- Das Gespräch wird aufgezeichnet und anschließend verschriftlicht
- Zusicherung von persönlicher Anonymität
- Das Gespräch wird so verlaufen, dass ich Ihnen einige Fragen stellen werde und Sie erzählen ganz offen und ausführlich. Dabei gibt es kein richtig oder falsch, mich interessiert alles, es geht um Ihre Meinung – Fokus Kreislaufwirtschaft im Holzbau
- Wenn Sie auf eine Frage nicht antworten möchten oder können, eine kurze Unterbrechung benötigen usw., können Sie das jederzeit tun.

#### **Fragen**

#### **2. Information zum Unternehmen und Tätigkeit**

- Was macht Ihr Unternehmen?
- Was ist Ihre genaue Aufgabe/ Tätigkeit?

#### **3. Kreislaufwirtschaft/ Recycling – Status Quo**

- Ist Kreislaufwirtschaft in Ihrem Unternehmen ein Thema?
- Wenn ja, in welchem Bereich?
- Sind Ihnen andere Holzbauunternehmen bekannt, die teilw. Kreislaufwirtschaft umsetzen?

#### **4. Über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes betrachtet:**

**wo sehen Sie die größte Notwendigkeit die derzeitige Bau- und Konstruktionsweise im Holzbau anzupassen**

- Stakeholder: Auftraggeber, Planende, Fertigung + Montage
- Regularien: Zulassungen
- Mehrschichtige Bauweise
- Reduktion des Materialeinsatzes

**5. Wo bestehen die größten Hürden zur Etablierung der Kreislaufwirtschaft im Holzbau?**

- Stakeholder: Auftraggeber, Planende, Fertigung + Montage
- Regularien: Zulassungen
- Verwendete Materialien und deren Verbindungen (klammern...)
- Mehrschichtige Bauweise
- Konstruktive Fügungen und statische Verbindungsmittel >> sehen Sie hier durch die Kombination „alter Verbindungsmethoden mit digitalen Fertigungsmethoden neue Möglichkeiten zu erarbeiten?

### **ANLAGE AUFBAUTEN**

**6. Wand/Decke/Dachaufbauten: welche Systeme & Aufbauten werden in Ihrem Betrieb vorwiegend gefertigt und montiert?**

- Tafelbau/ Massivbau...
- Folien/ Plattenmaterial...
- Wo sehen Sie das größte Kreislaufpotential? Warum? Was müsste verändert werden?

**7. Abgesehen von Montage und Rückbau: wo erkennen Sie welches Potential zur Verlängerung der Lebenszeit durch Umbau/ Renovierung/ Ertüchtigung/ Ergänzung. Was muss berücksichtigt werden?**

- Im Wandbereich
- Im Deckenbereich
- Im Dachbereich
- sonstige

**8. Sollte die Holzbaubranche eine Vorreiterrolle bei der Einführung der Kreislaufwirtschaft einnehmen?**

- Warum ja/ Warum nein?

**9. Wo sehen Sie welche Anreize für welche Stakeholder?**

**10. Weitere Anmerkungen/ Ergänzungen, Ideen, Hinweise**

- Was würden Sie verändern/ verbessern/ ergänzen...
- Was würden Sie zum Thema Kreislaufwirtschaft und Holzbau postulieren?

## Anlage VI: Fragebogen der teilstandardisierten Befragung

**circularWOOD****Qualitative Erhebung auf Grundlage ausgewählter Fallbeispiele**

1) **Frage: Haben Sie bereits Erfahrungen im mehrgeschossigen Holzbau?**

- Wohnungsbau
- Öffentliche Bauten
- Verwaltungsbauten
- Keine
- Sonstige:

2) **Frage: War das Projekt XY für Sie/für Ihr Unternehmen das erste Projekt, in dem Kreislauffähigkeit und Rückbaubarkeit eine zentrale Rolle spielte?**

- Ja
- Nein

3) **Frage: Welchen Beitrag haben Sie oder Ihr Unternehmen in Bezug auf die Kreislauffähigkeit Rückbaubarkeit im Projekt XY geleistet?**

Antwort:

4) **Frage: In welchem Bereich gab es bei XY die größten Anpassungen/Unterschiede im Vergleich zu konventionellen Bau- und Konstruktionsweisen, um das Prinzip der Zirkularität zu gewährleisten?**

- Bei der Konzeption der Materialwahl
- Im Bereich der Verbindungsmittel
- Bei der Konzeption von Modulen/ Elementen
- Im Bereich des Schichtaufbaus
- Bei der Konzeption der (statisch wirksamen) Konstruktionen
- Bei den Ausbaugewerken
- Bei der Erweiterung der Betrachtung Richtung Lebenszyklus
- Bei der Konzeption möglicher Weiterverwertung von bestehenden Komponenten/ Bauteilen nach dem Lebensende des Gebäudes
- Sonstiges:

## circularWOOD

### Qualitative Erhebung auf Grundlage ausgewählter Fallbeispiele

- 5) **Frage: Was ist/war für Sie/für Ihr Unternehmen die ausschlaggebende Motivation/der größt Mehrwert, das Projekt XY rückbaubar zu planen/zu bauen? (bitte wählen Sie max. 3 Optionen)**

- Erhöhung regionale Wertschöpfung
- Wettbewerbsvorteil
- Imagegewinn
- Innovationspotenzial
- Neue Businessmodelle
- Wissenszuwachs
- Sammeln von Erfahrungswerten
- Vorgabe der Auftraggebenden
- Sonstiges:

- 6) **Frage: Welche/r der beteiligten Akteur/innen hatte nach Ihrer Meinung den größten Einfluss auf die Umsetzung der Kreislauffähigkeit im Projekt XY?**

- Auftraggeber\*in
- Architekturbüro
- Fertigung- und Montage (Holzbauunternehmen)
- Weitere Planende
- Beratungsinstitut für Kreislauffähigkeit/Nachhaltigkeitsberatung (EPEA/Madaster)
- Andere:

Bitte erläutern Sie uns Ihre Entscheidung stichpunktartig

Antwort:

- 7) **Frage: Welche Vorteile brachte aus Ihrer Sicht der Werkstoff Holz im Kontext der Kreislauffähigkeit/Rückbaubarkeit des Projekts XY mit sich?**

Antwort:

## circularWOOD

### Qualitative Erhebung auf Grundlage ausgewählter Fallbeispiele

- 8) Frage: Welche konkreten Massnahmen oder Szenarien wurden für den Rückbau und eine Wiederverwendung des Gebäudes XY bereits vorbereitet oder geplant?

Antwort:

- 9) Frage: Ergab sich aus Ihrer Sicht eine erhöhte Komplexität des Gesamtprojekts/ Projekt- ablaufs aufgrund der Kreislauffähigkeit/geplanten Rückbaubarkeit des Gebäudes XY?

Nein

Ja, weil

- 10) Frage: Hatten Sie Mehraufwand in der Planung oder Ausführung aufgrund der Kreislauffähigkeit des Gebäudes XY?

Ja, in folgenden Bereichen:

Nein

- 11) Frage: Welche Herausforderungen mussten Sie in der Umsetzung lösen, die auf Grund der Kreislauffähigkeit entstanden sind?

Antwort:

- 12) Frage: Wo sehen Sie aktuell den größten Bedarf für Anpassungen, um kreislauffähige Holz- bauprojekte künftig besser umsetzen zu können?

Gesellschaftlich/politisch:

Anreize oder Verpflichtungen für Auftraggeber/innen einführen, die Kreislaufwirtschaft in der Bedarfsplanung bzw. Ziel- und Bedürfnisformulierung vorschreiben.

Gesetzliche Verpflichtungen für die Prüfung der Wieder-Weiterverwendung/-verwertung einführen

Wertediskussion anregen

Bewusstsein bei Nutzenden schaffen

Sonstiges:



## circularWOOD

### Qualitative Erhebung auf Grundlage ausgewählter Fallbeispiele

Technisch:

- Weiterentwicklung oder Etablierung von Zulassungsverfahren für Wieder-/Weiterverwendung/-verwertung.
- Lösungen für den Umgang mit Garantie- und Haftungsfragen
- Bauwerks- und/oder Materialdokumentation lückenlos umsetzen
- Sonstiges:

Regulatorisch:

- Standardisierung vorantreiben
- Weiterentwicklung von Konstruktionen zur Reduktion des Materialeinsatzes
- Weiterentwicklungen zur Schichtenreduktion
- Weiterentwicklungen in der Fügechnik
- Sonstiges:

Wirtschaftlich/logistisch:

- Weiterentwicklungen von Technologien für den Rückbau und die Verwertung
- (Weiter-)Entwicklung von Logistiklösungen
- Entwicklung und Aufbau offener/ lizenzfreier Bauteildatenbanken
- Marktanreize schaffen (Finanzierung an Kreislauffähigkeit binden, etc.)
- Sonstiges:

Ausbildung:

- Integration in Ausbildung
- Weiterbildungsangebote
- Sonstiges:

13) **Frage: Bezogen auf das aktuelle Projekt: Sehen Sie das Thema „Kreislauffähiges Holzgebäude“ erfolgreich umgesetzt?**

- Ja
- größtenteils
- Nein

**Wo sehen Sie Verbesserungspotenzial/wo ist Optimierung möglich?**

Antwort:



**circularWOOD****Qualitative Erhebung auf Grundlage ausgewählter Fallbeispiele**

- 14) Welche Rolle spielt in diesem Zuge aus Ihrer Sicht Vorwissen und Expertise im Bereich des Holzbaus?

Antwort:

- 15) Frage: Was muss sich mit Blick auf das Projekt XY beim vorgefertigten Holzbau verändern, um die Kreislaufwirtschaft voranzutreiben?

Antwort:

- 16) Welche Rolle spielte BIM im Projekt XY in Bezug auf die Kreislauffähigkeit

Antwort:

- 17) Frage: Wurde das Projekt in Madaster hinterlegt?

- Ja  
 Nein

Falls ja, wie schätzen Sie die Relevanz einer Integration des Projekts in Madaster ein?

Antwort:

---

**circularWOOD**  
**Qualitative Erhebung auf Grundlage ausgewählter Fallbeispiele**

**18) Fallen Ihnen weitere Punkte ein, die Ihnen wichtig sind?**

Hier finden Sie Platz für Anmerkungen/Ergänzungen:

