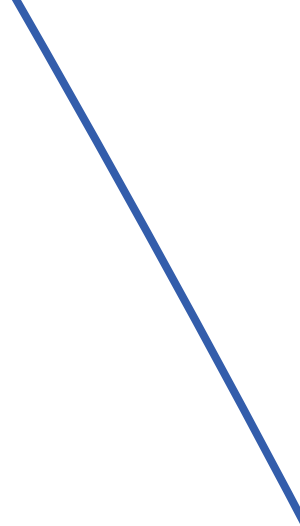


Marieke Stritzke

Raum
für
Re-Use

*Anforderungen und Potenziale im
Wiederverwendungsprozess
von Bauprodukten*



Marieke Stritzke

Raum *für* **Re-Use**

*Anforderungen und Potenziale im
Wiederverwendungsprozess
von Bauprodukten*

**Raum für Re-Use:
Anforderungen und Potenziale im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten**

Masterthesis zur Erlangung des Grades: Master of Arts (M.A.)

Betreut von:
Prof. Stephan Birk und Tabea Huth

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

September 2024

Inhaltsverzeichnis

Seite

4 Einleitung

6 1 Grundlagenermittlung

8 Kreislaufwirtschaft
14 Wiederverwendungsprozesse
18 Hemmnisse
20 Wegbereiter
22 Infrastruktur
28 Erkenntnisse

30 2 Vertiefung

32 Zirkuläre Wertschöpfungsketten
40 Logistik
50 Bauprodukte
52 Aufbereitung

56 3 Ableitung

58 Zirkuläres Wertschöpfungsnetzwerk
62 Basisraumprogramm
66 Exemplarische Raumtypologien

76 4 Exploration

78 Rahmenbedingungen
82 Fallstudie
92 Übertragbarkeit

94 5 Diskussion und Fazit

102 Glossar
104 Literaturverzeichnis
108 Abbildungsverzeichnis
111 Tabellenverzeichnis
112 Anhang

Einleitung

Im Angesicht der Klimakrise und des Anteils des Bausektors am globalen CO₂-Ausstoß und Abfallaufkommen ist ein maßgeblicher Wandel in der Bauindustrie erforderlich. Etwa 40 Prozent der CO₂-Emissionen und 55 Prozent des Abfallaufkommens lassen sich auf den Bausektor zurückführen. Insbesondere in den vergangenen Jahren sind daher Forderungen nach grundlegenden Veränderungen im Kontext einer unumgänglichen *Bauwende* lauter geworden. *Architects for Future* veröffentlichte zum Beispiel 2021 die *Umbauordnung* ▶. Das *Abrissmoratorium* plädiert seit 2022 für ein Moratorium von Gebäudeabriss zugunsten von Erhalt, Sanierung, Umbau und Weiterbauen im Bestand ▶. Sowohl Akteur*innen in der Politik als auch in der Wissenschaft und Wirtschaft verfolgen zudem das Ziel einer „zirkulären Wertschöpfung“ im Bausektor. Sobald ein Bestandserhalt nicht möglich ist, besteht das Potenzial, Bauprodukte wiederzuverwenden. Auf diese Weise können neue Bauprodukte bei einem niedrigen Energieaufwand und ohne Qualitätsverluste substituiert werden und folglich zu einer Reduktion des Ressourcenverbrauchs, des Abfallaufkommens und der CO₂-Emissionen beitragen. Das sog. „zirkuläre Bauen“ ist in diesem Kontext inzwischen in aller Munde. Der Begriff wird für eine Vielzahl verschiedener Methoden verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fokus auf die Wiederverwendung von Bauprodukten gerichtet. Diese stellt auf Grund verschiedener Ursachen nach wie vor eine Nischenerscheinung dar, da die Bauindustrie auf die Verwendung neuer Bauprodukte ausgerichtet ist. Daher sind fundamentale Veränderungen erforderlich, um die Wiederverwendung im Bausektor zu etablieren. Neben dem Umdenken aller involvierten Akteurinnen und Akteure erfordert dies ebenfalls neue Regeln und Strukturen, die sowohl in theoretischer als auch in architektonischer Form entwickelt werden müssen. Die vorliegende Arbeit richtet sich dabei nicht nur an Planerinnen und Planer, sondern ebenfalls an alle weiteren potenziell involvierten und interessierten Personen, die in jeglicher Form an der Förderung der Kreislaufwirtschaft im Bausektor beteiligt sind.

▶ www.architects4future.de

▶ www.abrissmoratorium.de

Eine wesentliche Grundlage für die großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten ist eine *gebaute Infrastruktur*, welche im Zentrum dieser Arbeit steht. Diese umfasst Orte, an denen Bauprodukte für die Wiederverwendung umgeschlagen, zwischengelagert und auf ihre neue Nutzung vorbereitet werden können. Obwohl vereinzelte Bauproduktbörsen existieren, sind diese bei Weitem nicht ausreichend, um eine großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten zu bewerkstelligen. Dies zeichnet sich sowohl in der Kapazität als auch der Art und dem Umfang der dort umgeschlagenen Bauprodukte ab. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt existieren somit weder konkrete Literatur noch gebaute Beispiele, die auf konzeptueller oder praktischer Ebene einer derartigen Typologie entsprechen. Eine Herausforderung stellt dabei die zukünftig weite Bandbreite an Bauprodukten innerhalb des Wiederverwendungsprozesses dar, deren Eigenschaften nicht vorausgesagt werden können. Hinzu kommt der potenziell hohe Flächenbedarf, der mit der Umsetzung der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten einhergeht. Im Hinblick auf das übergeordnete Thema dieser Arbeit, der Ressourcenschonung und der Reduktion von CO₂-Emissionen und Abfällen im Bausektor, ist ein reiner Neubau dieser Infrastruktur keine Option.

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung der gebauten Infrastruktur im Gesamtkontext von Wiederverwendungsprozessen aller möglichen Bauproduktarten sowie

den daraus resultierenden hypothetischen Ressourcenflüssen. Dies umfasst im Rahmen der möglichen Transportbedingungen sowohl bekannte Bauprodukte für die Wiederverwendung als auch solche, die zukünftig hinzukommen und derzeit nicht absehbar sind. Diese Arbeit zielt darauf ab, ein tieferes Verständnis für die Grundvoraussetzungen der gebauten Infrastruktur zu entwickeln, sowie konzeptuelle und planerische Rahmenbedingungen zu ermitteln. Darauf aufbauend soll eine fundierte Grundlage geschaffen werden, die eine Orientierung ermöglicht, Bestandsgebäude hinsichtlich ihrer Eignung für die Unterbringung spezifischer Infrastrukturtypen zu beurteilen. Die Ermittlung räumlicher Anforderungen und Potenziale der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten auf Gebäudeebene steht somit im Fokus dieser Arbeit. Hierbei sollen nicht nur funktionale Faktoren betrachtet, sondern auch sozio-kulturelle Aspekte einbezogen werden, die das Bewusstsein für die Wiederverwendung von Bauprodukten gesellschaftlich voranbringen können. Aus dieser Zielsetzung ergibt sich folgende Fragestellung als Ausgangspunkt dieser Arbeit:

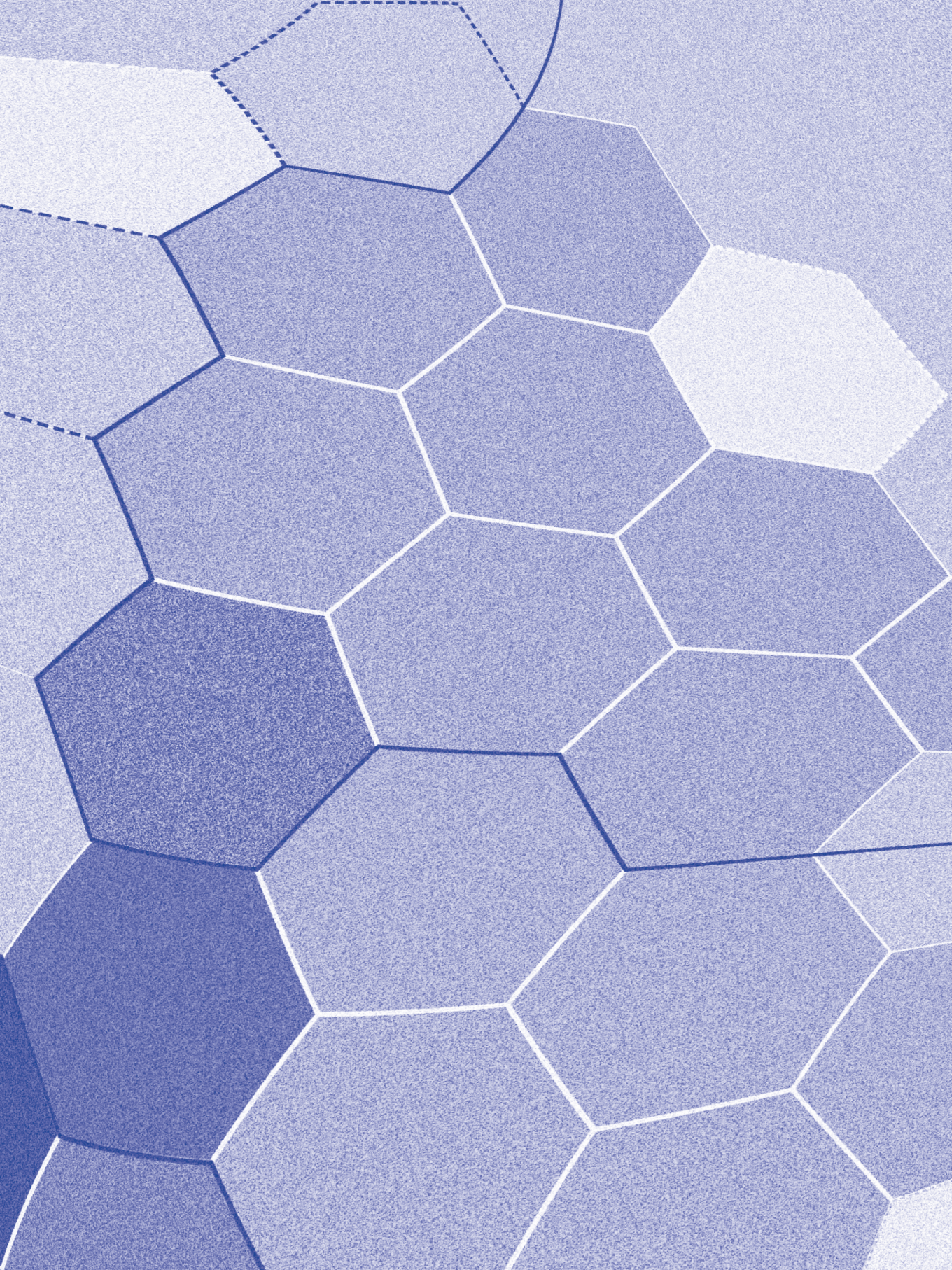
Wie könnte eine gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten aufgebaut sein und welche räumlichen Anforderungen und Potenziale ergeben sich daraus auf Gebäudeebene?

Die Beantwortung dieser Fragestellung erfolgt in fünf Kapiteln. Auf eine Grundlagenermittlung im ersten Kapitel folgt eine Vertiefung im zweiten Kapitel. Darauf aufbauend wird im dritten Kapitel ein Konzept für die gebaute Infrastruktur abgeleitet, welches im vierten Kapitel in einer Fallstudie Anwendung findet. Zuletzt wird die Arbeit in einem Fazit zusammengefasst und diskutiert.

Um eine breite Basis an Quellen zu erfassen, ist im Vorfeld dieser Arbeit zunächst eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt worden. Im Anschluss wurde eine systematisierte Einordnung dieser Quellen in Themenfelder durchgeführt, die im Kontext der Fragestellung von Relevanz sind. Diese werden im Rahmen der Grundlagenermittlung erläutert. Aufgrund der geringen Informationsdichte hinsichtlich der Beantwortung der Fragestellung in der recherchierten Grundlagenliteratur werden am Ende des Kapitels Fokusthemen identifiziert. Im zweiten Kapitel werden diese anhand eines zweiten Recherchezyklus vertieft und analysiert. Dieser konzentriert sich ausschließlich auf das jeweilige Fokusthema und wird zum Teil unabhängig von dem übergeordneten Kernthema der Wiederverwendung betrachtet. Dies ermöglicht eine gezielte Auseinandersetzung mit bereits bestehenden Strukturen, die anschließend in den Kontext der gebauten Infrastruktur übertragen werden können. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird im dritten Kapitel ein Konzept für die gebaute Infrastruktur zur großmaßstäblichen Wiederverwendung von Bauprodukten abgeleitet. Dieses wird im Anschluss in ein Raumprogramm übertragen. Anhand von exemplarischen Raumtypologien werden räumliche Anforderungen definiert. Nach der Ableitung der funktionalen Anforderungen folgt im vierten Kapitel die Ermittlung des räumlichen Potenzials in Form einer Fallstudie. Hierbei liegt die Untersuchung des räumlichen Zusammenspiels der verschiedenen Nutzungen und Nutzergruppen auf einer Entwurfsebene im Fokus. Die Arbeit endet mit einem Fazit, in dem die Ergebnisse zusammengefasst, sowie Einschränkungen und weiterführende Forschungsthemen benannt werden.

1 | Grundlagenermittlung

Im Rahmen der Grundlagenermittlung werden in diesem Kapitel für die Arbeit relevante Themenfelder eingeführt. Hierfür wird zunächst der Begriff der Kreislaufwirtschaft bzw. der Circular Economy im Allgemeinen sowie im Kontext des Bausektors beleuchtet. Im Anschluss wird der Fokus auf die Wiederverwendung von Bauprodukten gelegt, wobei erst der Wiederverwendungsprozess und anschließend die zirkuläre Wertschöpfungskette betrachtet werden. Im weiteren Verlauf werden Hemmnisse sowie potenzielle Wegbereiter und Strategien zur Förderung der Wiederverwendung von Bauprodukten in der Baupraxis dargelegt. Anschließend wird die gebaute Infrastruktur anhand verschiedener Arten von Circular Construction Hubs erläutert. Zuletzt werden Erkenntnisse aus der Grundlagenermittlung dokumentiert und Fokusthemen im Kontext des Wiederverwendungsprozesses identifiziert.



1.1 | Kreislaufwirtschaft

Kreislaufwirtschaft, engl. *Circular Economy (CE)*, ist ein viel verwendeter Begriff, der sich aus zahlreichen akademischen Disziplinen wie der Wirtschaftswissenschaft, der Soziologie, den Umweltwissenschaften und der Industrieökologie entwickelt hat (Geissdoerfer et al., 2017; Tsui, 2023). Obgleich das Thema zunehmend an Aufmerksamkeit erfährt, existiert bislang keine allgemein anerkannte Definition des Begriffs (Kirchherr et al., 2017). Vielmehr wird von verschiedenen Seiten ausgeführt, dass sich die Begriffsdefinition aufgrund der trendartigen Verwendung „verwaschen“ habe und es ein zum Teil grundlegend unterschiedliches Begriffsverständnis gebe (Heras-Saizarbitoria et al., 2024; Kirchherr et al., 2017). Um ein einheitliches Begriffsverständnis zu schaffen, hat die *International Standard Organisation (ISO)* im Mai 2024 daher eine Normenreihe veröffentlicht, die eine Terminologie, Grundsätze und Leitlinien für den CE-Begriff festlegen soll. In der ISO 59004 (2024) wird Circular Economy wie folgt definiert:

„(...) economic system that uses a systemic approach to maintain a circular flow of resources, by recovering, retaining or adding to their value, while contributing to sustainable development.“

Heras-Saizarbitoria et al. (2024) kritisieren jedoch, dass diese Definition zu vage sei und merken an, dass bestehende Kritikpunkte und Einschränkungen des Konzeptes nicht in den Normen abgebildet sind. Die in der Literatur am häufigsten zitierte Definition stammt aus einer Analyse von Kirchherr et al. (2017), in der die Autor*innen eine umfassende Untersuchung von 114 verschiedenen Definitionen für CE durchführen:

„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.“

Während beide Definitionen einen systemischen Ansatz als Grundlage der CE beinhalten und sich auf das Schließen von Stoffkreisläufen für eine nachhaltige Entwicklung beziehen, bietet die Definition nach Kirchherr et al. (2017) eine detailliertere und umfassendere Beschreibung. Es wird zusätzlich die Rolle von (neuen) Geschäftsmodellen hervorgehoben, sowie die Operationsebenen und die Zielgruppen identifiziert. Zudem legt die zweite Definition einen Fokus auf spezifische Prozesse in der CE, indem Wiederverwendung (Re-Use), Wiederverwertung (Recycling) und Weiterverwertung (Reprocessing) konkret benannt werden. Geissdoerfer et al. (2017) führen diese Ebene in ihrer Definition weiter aus und schließen langlebiges Design, Wartung, Reparatur, Wiederverwendung, Weiterverwertung, Wiederverwertung und Weiterverwertung in die Definition ein:

“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, reuse, remanufacturing, refurbishing, and recycling.“

Im Gegensatz zur Linearwirtschaft zielen Konzepte der CE auf eine Entkopplung von wirtschaftlichem Wachstum und Ressourcenverbrauch ab (Prox, 2022; van Stijn & Gruis, 2020). Innerhalb der CE sind außerdem verschiedene Denkschulen angesiedelt, wie die Blue Economy, Biomimikry, Industrial Ecology, Natural Capitalism oder die Performance Ecology (Jaeger-Erben & Hofmann, 2019). Schuster und Geier (2023) verweisen zudem auf eine mögliche Differenzierung des deutschen Begriffs *Kreislaufwirtschaft* und des englischen Begriffs *Circular Economy* nach Jaeger-Erben und Hofmann (2019). Die Autor*innen schreiben dem Begriff Kreislaufwirtschaft primär Konzepte mit neuen Methoden und Konzepte des Recyclings zu. Circular Economy hingegen gehe über diesen Fokus hinaus und versuche die Wertschöpfung insgesamt zu verändern (ebd.).

Neben dem unklaren Begriffsverständnis bestehen in der Literatur verschiedene Positionen bezüglich der Beziehung zwischen der CE und der Nachhaltigkeit. Einerseits wird die CE als eine mögliche Grundlage oder eine von vielen Lösungen eines nachhaltigen Systems betrachtet (Jaeger-Erben & Hofmann, 2019). So besteht zum Beispiel oftmals die Annahme, dass die CE mit Nachhaltigkeit gleichgesetzt werden könne und das Potenzial besitze, die derzeitige Linearwirtschaft mit all ihren nicht nachhaltigen Mustern bei Produktion, Konsum und Abfallerzeugung abzulösen (Prox, 2022). Andererseits betonen Geissdoerfer et al. (2017), dass die CE nicht automatisch zu einer verbesserten Nachhaltigkeit führe. Vor allem der Aspekt der sozialen Nachhaltigkeit wird in der Literatur demnach wiederholt vernachlässigt (ebd.). Maßnahmen der CE können zudem unbeabsichtigte externe Effekte haben, die die Nachhaltigkeitsbewertung negativ beeinflussen können (Prox, 2022). Darüber hinaus gibt es Quellen, die CE als klimaschädlich beurteilen (z.B. Allwood, 2015; Murray et al., 2015). Geissdoerfer et al. (2017) analysieren in einer systematischen Literaturrecherche die Beziehung beider Themenfelder zueinander. Neben einigen Gemeinsamkeiten unterscheiden sich die Begriffe unter anderem dahingehend, dass in Konzepten der Nachhaltigkeit die Umwelt, die Wirtschaft und die Gesellschaft als Ganzes profitieren, während im Zentrum der CE wirtschaftliche Akteur*innen stehen. Die Wirtschaft, die Umwelt und die Gesellschaft profitieren auf diese Weise nur indirekt (ebd.).

Üblicherweise werden Nachnutzungen in der CE innerhalb eines biologischen und eines technischen Wertekreislaufes unterschieden. Diese Einteilung geht auf das *Cradle-to-Cradle-Konzept* von Braungart und McDonough sowie der Performance Economy von Walter Stahel zurück und zielt auf die Rückführung von Ressourcen in biologische Kreisläufe und das Halten von Ressourcen in technischen Kreisläufen ab (Schuster & Geier, 2023). Der technische Kreislauf gilt als geschlossen, wenn die Qualität der Sekundärrohstoffe der der Primärrohstoffe entspricht und es nur zu einem geringen Masseverlust kommt (Hillebrandt & Seggewies, 2021). Es ist zu berücksichtigen, dass die Prozesse im technischen Kreislauf zwangsläufig mit einem Energieverbrauch verbunden sind. Aus diesem Grund unterliegen alle Kreisläufe der allgemeinen Reduktion des Ressourcenverbrauches und vor allem dem Verzicht (ebd.). Ein Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es daher unter anderem, zunehmend Produkte aus biotischem Ursprung zu nutzen und diese

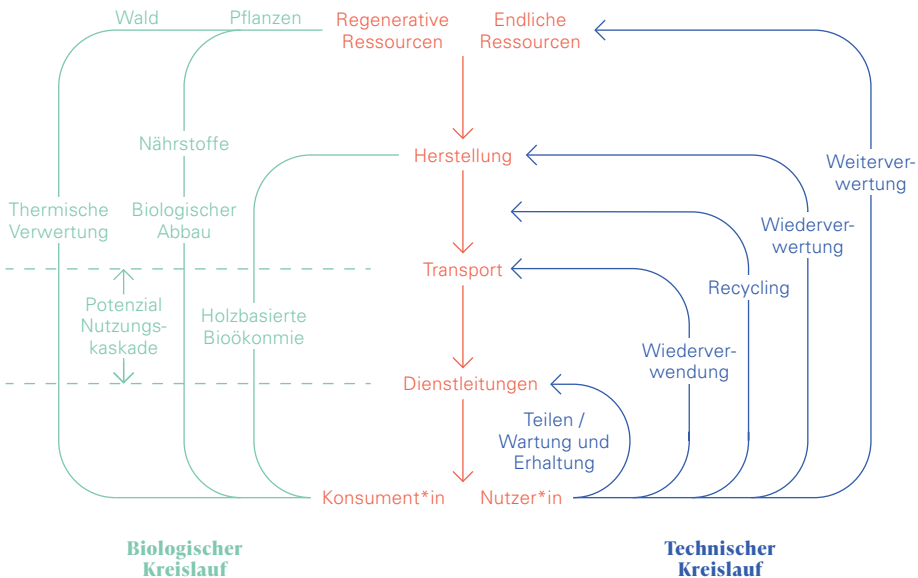


Abbildung 1
 Biologischer und Technischer Wertekreislauf. Eigene Darstellung nach der Ellen MacArthur Foundation (2019) mit Spezifizierung des biologischen Kreislaufes für Holz nach Schuster & Geier (2023, S. 18).

effizient in Kaskadennutzung einzusetzen, um den Konsum von Primärrohstoffen zu verringern und Rohstoffe mit technischem Ursprung zu substituieren (Schuster & Geier, 2023). *Abbildung 1* zeigt die Kreisläufe gemäß der Darstellung der Ellen MacArthur Foundation (2019) sowie Schuster und Geier (2023, S. 18). Letztere übertragen die Darstellung mit einer Spezifizierung des biologischen Kreislaufes für Holz.

Für eine Anwendbarkeit von CE im Bausektor ist eine Übertragung in das Fachgebiet der Architektur von Relevanz (Hubmann & van Maaren, 2022). Das Konzept der CE bezieht sich in erster Linie auf die Betrachtung von Wertekreisläufen spezifischer Produkte. Im Gegensatz dazu stellt ein Gebäude eine Kombination verschiedener Bauprodukte mit unterschiedlichen Wertekreisläufen dar, die sich überlagern (ebd.). Hubmann & van Maaren (2022) erweitern den biologischen und technischen Kreislauf im Kontext des Bausektors um eine organisatorische Ebene. Diese neue Ebene dient der Abbildung systemischer Voraussetzungen der CE im Bausektor. Neben der Implementierung von Materialpässen umfasst diese unter anderem Anreize und Vorschriften, Zusammenarbeit und Koalitionen, Bildung und Ausbildung, Pilotprojekte, Lebenszyklusanalyse sowie wirtschaftliche Anreize (Circle Economy & Metabolic, 2022; Hubmann & van Maaren, 2023; Pauli, 2023). Wegbereiter und Förderungsstrategien für die Kreislaufwirtschaft im Bausektor werden in *Abschnitt 1.4* weiter ausgeführt ►.

Abbildung 1 veranschaulicht zudem die klare Differenzierung der verschiedenen Arten der Nachnutzung. Der Begriff der *Wiederverwendung* (Re-Use) bezeichnet die mehrmalige Verwendung eines Produktes mit identischer Funktion bei Beibehaltung der Produktgestalt. Darüber hinaus werden die Begriffe *Weiterverwendung* (Recycling/Reutilization), *Wiederverwertung* (Recycling/Reutilization) und *Weiterverwertung* (Reprocessing) angewendet (Schuster & Geier, 2023). In *Abbildung 2* werden die Wertekreisläufe im Kontext des Hochbauwesens dargestellt. Es zeigt sich, dass die beschriebenen Begriffe nicht nur im Bezug auf den Zustand ihrer Funktion und ihrer Produktgestalt unterschieden werden, sondern auch

► S. 20
 Wegbereiter

hinsichtlich der Qualitätsstufe. Wieder- und Weiterverwendung haben dabei den geringsten Qualitätsverlust. Im Hinblick auf diese Kriterien werden die verschiedenen Nachnutzungsszenarien unter anderem in der *Abfallrahmenrichtlinie* auf europäischer Ebene und im *Kreislaufwirtschaftsgesetz* (KrWG) auf nationaler Ebene in einer fünfstufigen Einteilung für Abfälle hierarchisiert. Höchste Priorität hat demnach die Vermeidung von Abfall. Übertragen in den Bausektor bedeutet dies, Bestand zu Erhalten und Abriss zu vermeiden. An nächster Stelle steht die Wiederverwendung, gefolgt von „Recycling“, der sonstigen Verwertung und der Beseitigung (§6 KrWG). In der wissenschaftlichen Literatur wird dies unter anderem durch die sog. *9R-* oder *10R-Strategie* abgebildet. Diese hierarchisiert die Qualitätsstufen der Nachnutzung in zehn Ebenen: *Refuse, Reduce, Re-use, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, Recover* und *Remine* (z.B. Kirchherr et al., 2017).

Die Implementierung der Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen ist zwangsläufig mit räumlichen Einflüssen verbunden (Tsui, 2023). Dies umfasst Fragestellungen zur *Territorialisierung der CE* in Form von geografischen Zusammenschlüssen von Unternehmen zum Austausch von Produkten. Hierbei spielen sowohl Landnutzung, Agglomeration, Zugänglichkeit, Technologie und Wissen eine Rolle (ebd.). Der Begriff *Urban Metabolism* beschreibt demgegenüber die Gesamtheit aller technischen und sozioökonomischen Prozesse auf urbaner Ebene, die zu Wachstum, Energieproduktion und Abfallbeseitigung führen (Kennedy et al., 2007). Der

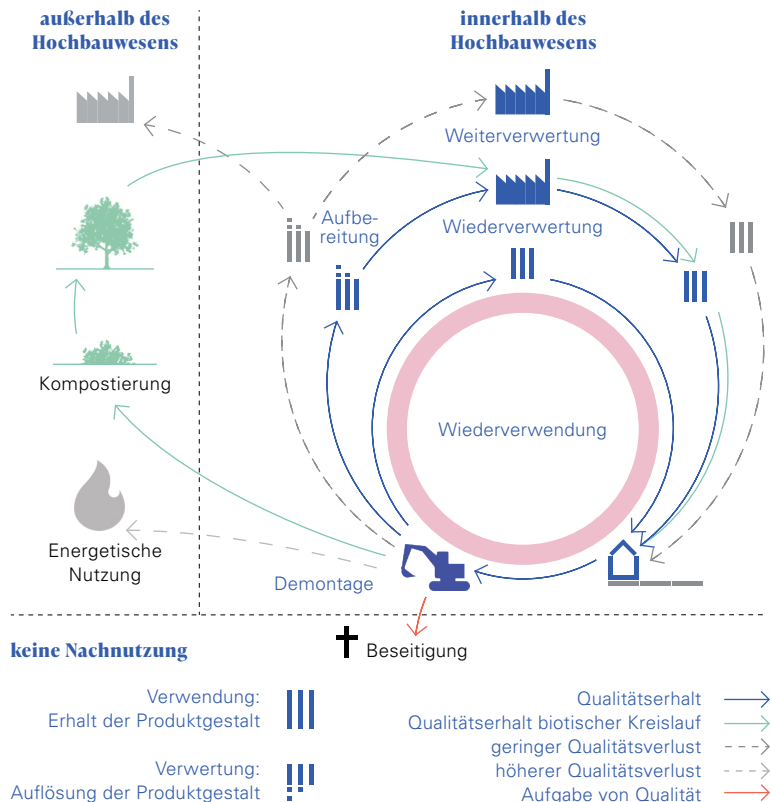


Abbildung 2
Mögliche Nutzungs- und Lebenszyklen von Bauprodukten. Eigene Darstellung nach Hillebrandt & Seggewies (2021, S. 59).

Fokus des Urban Metabolism liegt dabei auf der Untersuchung und Lokalisierung von Ressourcenbeständen und -flüssen (Tsui, 2023). Auf infrastruktureller Ebene lassen sich beide Gruppen in *Cluster* und *Hubs* übertragen. *Hubs* umfassen Orte, die auf die Sammlung und Aufbereitung eines spezifischen Produkts innerhalb eines Industriezweiges ausgerichtet und im Bereich des Urban Metabolism angeordnet sind. *Cluster* hingegen zeichnen sich durch die Nähe verschiedener Unternehmen zueinander aus, die eine Bandbreite an Produkten aus verschiedenen Industriezweigen austauschen (ebd.).

Die Bauprodukte in den Wertekreisläufen des Bausektors lassen sich gemäß Graf & Birk et al. (2022, S. 12) in fünf Betrachtungsebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken einteilen (vgl. Abbildung 3). Auf *Gebäudeebene* kann Kreislauffähigkeit durch Flexibilität und Nutzungsneutralität erreicht werden. Eine Kreislauffähigkeit auf *Bauteilebene* ermöglicht die Demontage eines gesamten Bauteils für die Wiederverwendung. Als Bauteil wird dabei ein statisch-konstruktiv und geometrisch abgeschlossener Teil eines Bauwerks bezeichnet, wie beispielsweise die Außenwand. Die *Bauelementebene* umfasst einen konstruktiven Bestandteil eines Bauteils. Dies kann ein Tragelement sein, aber auch Fenster oder Türen umfassen. *Komponenten* wie Rähm, Schwelle oder Holzwerkstoffplatte stellen einzelne Bestandteile des Bauteils dar. Die *Materialebene* beinhaltet den Rohstoff wie zum Beispiel Holz, Lehm oder Stahl. Im Hinblick auf diese Differenzierung wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff *Bauteil* durch den Begriff *Bauprodukt* ersetzt. Dadurch wird eine übergeordnete Bezeichnung der genannten Betrachtungsebenen ermöglicht.

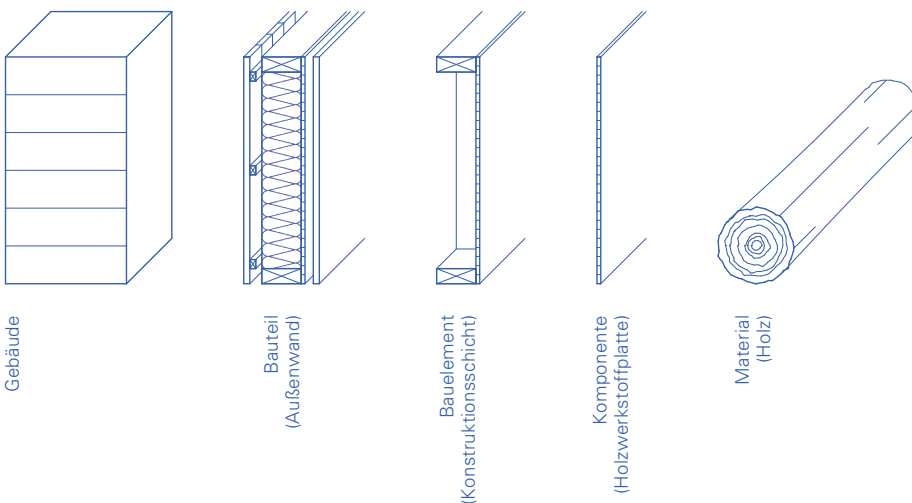


Abbildung 3

Die fünf Betrachtungsebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken. Eigene Darstellung gemäß Graf & Birk et al. (2022, S. 12).

Aufgrund des Umfangs dieser Arbeit kann lediglich ein kurzer Einblick in die Thematik der Kreislaufwirtschaft gegeben werden. Weiterführende Informationen können unter anderem Heisel & Hebel (2021), Hillebrandt et al. (2021), Schuster & Geier (2023) oder Tsui (2023) entnommen werden.

1.2 | Wiederverwendungsprozesse

Der folgende Abschnitt widmet sich dem Prozess der Wiederverwendung von Bauprodukten sowie der *zirkulären Wertschöpfungskette*. Dabei erfolgt eine Differenzierung zwischen sekundären Bauprodukten im Kontext des *Urban Mining* und des *Designs for Disassembly*. Als sekundäre Bauprodukte werden jegliche Bauprodukte bezeichnet, die innerhalb eines geschlossenen Kreislaufes über den ersten Lebenszyklus hinaus wiederverwendet, weiterverwendet, wiederverwertet oder weiterverwertet werden. Dem gegenüber stehen primäre Bauprodukte, die neu hergestellt werden und sich im ersten Lebenszyklus befinden.

Urban Mining

Im Kontext der Wiederverwendung von Bauprodukten wird der Begriff *urban Mining* auf vielfältige Weise angewandt, wobei die Begriffsdefinitionen variieren. Gemäß Hillebrandt et al. (2021, S. 219) umfasst die *urbane Mine* ein anthropogenes Rohstofflager, welches alle aus natürlichen Lagerstätten entnommenen Produkte in Städten und Siedlungen umfasst. Heisel & Hebel (2021) grenzen den urban Mining Begriff weiter ein. Demnach ist urban Mining die „Rückgewinnung von verwend- oder verwertbaren Baumaterialien und Bauteilen aus der gebauten Umwelt, welche nicht kreislaufgerecht konzipiert und errichtet wurden“ ▶. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird der Begriff unter dieser Definition verwendet.

▶ Baumaterialien und Bauteile werden in dieser Arbeit unter dem Begriff „Bauprodukte“ zusammengefasst, siehe Glossar S. 102

Pilotprojekte Urban Mining

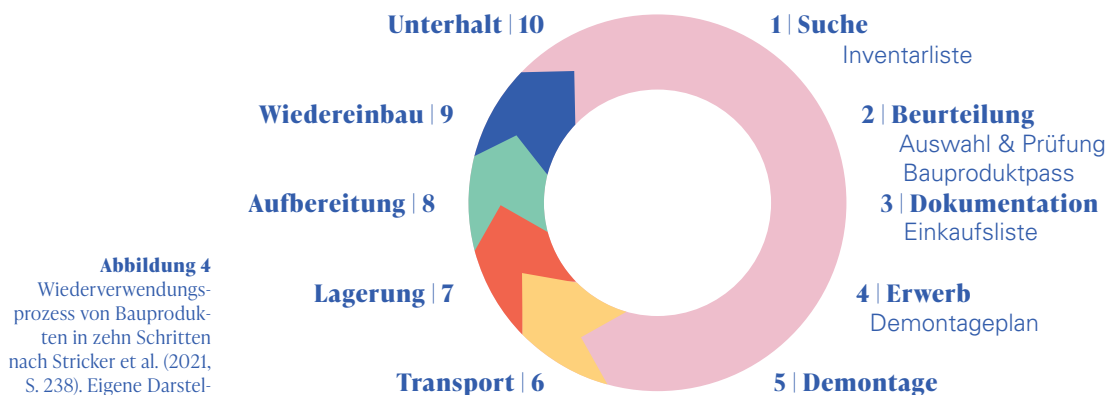
ELYS Gemeindezentrum, Basel, CH (2020)

K.118, Winterthur, CH (2021)

Lycée Michel Lucius, Luxemburg (2021)

Die urbane Mine ist eine Ansammlung verschiedener Bauproukte in kleinen Mengen, deren Art und Lokalisation noch nicht vorhersehbar sind (Cortés & Capelle, 2021). In „Bauteile Wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen“ legen Stricker et al. (2021) den von *Baubüro in situ* und *Zirkular* entwickelten Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten detailliert dar und ermöglichen so einen Einblick in den Umgang mit Bauprodukten aus der urbanen Mine. Der Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten umfasst nach Stricker et al. (2021, S. 238) zehn spezifische Leistungen: Suche, Beurteilung, Dokumentation, Erwerb, Demontage, Transport, Lagerung, Aufbereitung, Wiedereinbau und Unterhalt. Die *Suche* beinhaltet das Informieren bzw. Vernetzen aller beteiligten Akteur*innen sowie die Organisation von Begehungen. Ziel ist das Erstellen einer Inventarliste, in der alle in Frage kommenden Bauprodukte des Bestands anhand möglichst genauer Informationen dokumentiert werden. Im nächsten Schritt der *Beurteilung* erfolgt eine Auswahl der dokumentierten Bauprodukte. Hierbei überlagern sich verschiedene Prüfkriterien, die sich auf die Beurteilung des Bauprodukts auswirken. Wichtige Faktoren sind zum Beispiel die statische und konstruktive Eignung zum Rück- und Wiedereinbau, das Vorhandensein von Ersatzteilen, Schadstoffbelastung, Erfüllung regulatorischer Vorgaben oder ökonomischer Aufwand von Demontage, Transport und Lagerung im Vergleich zum Neupreis. Im Anschluss folgt die *Dokumentation*. Dafür wird eine präzise CAD-Zeichnung und ein 3D-Modell der Bauprodukte erstellt. Dann erhält das Bauprodukt eine Lagernummer und einen Bauproduktpass, welche in einem Bauproduktkatalog dokumentiert werden. Dies vereinfacht die Integration in den Planungsprozess. Die ausgewählten Bauprodukte werden im Anschluss in einer Einkaufsliste zusammengestellt und an ein

Demontageunternehmen übermittelt, woraufhin der *Erwerb* und die *Demontage* folgen. Diese wird von Rückbau- bzw. Demontageunternehmen und Handwerker*innen durchgeführt, die den Prozess begleiten und konkrete Anweisungen von den Planer*innen erhalten. Aufgrund der mangelnden Beispiele und den individuellen Gegebenheiten von Baustellen, gibt es keine standardisierten Demontageprozesse (Hildebrand et al., 2023). Oftmals müssen daher noch vor Ort Hilfskonstruktionen für die Demontage erfunden werden (Massmünster, 2021). Rosen (2021b, S. 50 - 53) differenziert Demontage- und Abbruchverfahren unter anderem nach Umfang in *konventionellen Abbruch*, *selektiven Abbruch*, *selektiven Rückbau*, *Demontage zur Verwertung* und *Demontage zur Wiederverwendung*. Im Kontext der Wiederverwendung kommt ausschließlich die *Demontage zur Wiederverwendung* in Frage. Hier werden die Bauprodukte in umgekehrter Montagereihenfolge demontiert, sodass sie möglichst unbeschädigt an anderer Stelle wiederverwendet werden können (ebd.). Die restlichen Methoden sind nicht für die Wiederverwendung geeignet, da sie im Hinblick auf eine Veränderung der Produktgestalt durch Wieder-, Weiterverwertung oder Beseitigung rückgebaut oder abgebrochen werden. Im Anschluss an die Demontage folgen *Transport*, *Lagerung* und *Aufbereitung*, bis die Bauprodukte zuletzt wieder eingebaut werden (Massmünster, 2021). Das Unternehmen *Concular* verfolgt eine vergleichbare Vorgehensweise und hat eine Software entwickelt, die diese Prozesse digital steuern und in die bestehenden Leistungsphasen integrieren kann (Hebel & Heisel, 2022). *Abbildung 4* zeigt den erläuterten Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten nach Stricker et al. (2021). Die farblich hervorgehobenen Phasen von sechs bis neun werden in dieser Arbeit als *zirkuläre Wertschöpfungskette* bezeichnet. Diese umfasst alle Prozessschritte zwischen Demontage und Wiedereinbau und wird im Hinblick auf die gebaute Infrastruktur vertieft betrachtet.



An den Wiederverwendungsprozessen von Bauprodukten ist eine Vielzahl von Akteur*innen wie beispielsweise Architektur-, Fachplanungs- und Ingenieurbüros, Demontageunternehmen, Handwerksbetriebe oder Bauunternehmen beteiligt. Gleichzeitig verlaufen viele der Prozesse parallel und beeinflussen sich gegenseitig (Massmünster, 2021). Daher ist eine erfolgreiche Koordination der Schnittstellen von großer Bedeutung. Dies betrifft zum Beispiel die Koordination der Fachbereiche, des Informationsflusses, der Arbeitsschritte oder der Bauprodukte (ebd.). Wird dies nicht bereits in den frühen Projektphasen beachtet, ist eine

nachträgliche Korrektur nicht mehr möglich und die Wiederverwendungsprozesse somit nicht mehr umsetzbar (Schuster & Geier, 2023). Auch über die Projektebene hinaus ist eine kollaborative Dynamik von großer Bedeutung, um Wiederverwendungspraktiken zu etablieren (Gobbo et al., 2021). Die Koordination der sich neu entwickelnden Prozesse bedingt die Entstehung diverser neuer Berufsgruppen. Bei *Zirkular* gibt es beispielsweise den Beruf „Bauteiljäger*in“ (Massmünster, 2021). Der Aufgabenbereich umfasst nicht nur die Suche und die Dokumentation der Bauprodukte, sondern auch das Informieren und Aufklären von Unternehmen über die Bauprodukte und deren Eigenschaften (ebd.). Kerstin Müller, Geschäftsführerin von *Zirkular* und Gastprofessorin am KIT, schlägt in einem Interview ebenfalls Berufe wie *Fachplaner*in Re-Use*, *Bauingenieur*in für die Demontage* oder *Bauleitung für Design for Disassembly* vor (Müller, 2024).

Design for Disassembly

Neben Bauprodukten aus urbanen Minen wird es im Wiederverwendungsprozess zukünftig ebenfalls sekundäre Bauprodukte geben, die kreislaufgerecht konzipiert wurden. Hierbei ist unter anderem das Konzept des *Design for Disassembly (DfD)* von Bedeutung. Der Begriff steht gemäß Schuster & Geier (2023, S. 58) 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“. Ähnlich der Definition von *urban Mining* geht der Begriff nicht zwangsläufig mit der Wiederverwendung von Bauprodukten einher, sondern umfasst alle Ebenen des geschlossenen Kreislaufes.

Beispielprojekte Design for Disassembly

Triodos Bank, Driebergen-Rijsenburg, NL (2019)

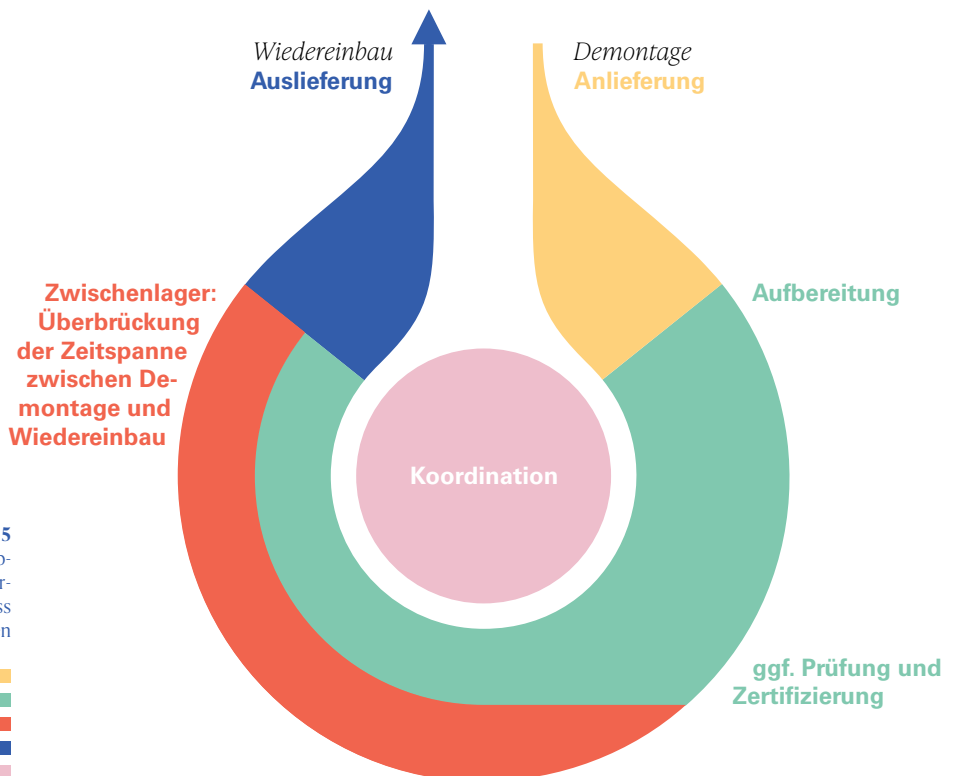
The Cradle, Düsseldorf, DE (2023)

Neben einer demontierbaren Konstruktionsweise birgt insbesondere die Kombination mit digitaler Infrastruktur, wie beispielsweise Building Information Modeling (BIM), Materialpässen und Bauproduktbanken, das Potenzial für einen zukünftig optimierten Wiederverwendungsprozess (Circle Economy & Metabolic, 2022). Die Berücksichtigung von Demontage und Wiederverwendung bereits in der Entwurfs- und Planungsphase sowie die digitale Dokumentation technischer Eigenschaften ermöglichen die Lösung bestehender Problemstellungen im Rahmen des urban Mining (Hubmann & van Maaren, 2023). Dies umfasst beispielsweise unbekannte Produkteigenschaften oder Ungewissheiten bezüglich Machbarkeit und Durchführung der Demontage. Zudem kann die Suche und Dokumentation der Bauprodukte durch die erwähnten Methoden vereinfacht werden, da der Bauproduktbestand inklusive deren spezifischen technischen Angaben digitalisiert sind (Circle Economy & Metabolic, 2022). In Anbetracht der sich wandelnden Grundvoraussetzungen kann angenommen werden, dass sich auch der im Kontext des urban Mining erläuterte Wiederverwendungsprozess verändert. Es gibt jedoch keine Beispiele für eine großmaßstäbliche Wiederverwendung von kreislauffähig geplanten Bauprodukten, da existierende Referenzprojekte sich noch in ihrem ersten Lebenszyklus befinden. Die für diese Arbeit relevanten Wiederverwendungsprozesse für den zweiten Lebenszyklus liegen somit in der Zukunft und können nicht vertieft betrachtet werden.

Die zirkuläre Wertschöpfungskette

Wie bereits beschrieben, umfasst die zirkuläre Wertschöpfungskette die Prozessschritte der Wiederverwendung zwischen Demontage und Wiedereinbau. Dies stellt folglich den Zeitraum dar, in dem das zu wiederverwendende Bauprodukt sich nicht mehr in seiner vorherigen Nutzung befindet und auf die neue Nutzung vorbereitet wird. Es kann angenommen werden, dass die genannten Schritte innerhalb des Wiederverwendungsprozesses für kreislauffähig geplante Bauprodukte und solche aus urbanen Minen gleichermaßen gelten. Die Durchführung der Schritte kann sich hingegen potenziell unterscheiden. *Abbildung 5* zeigt die zirkuläre Wertschöpfungskette als Ausschnitt des Wiederverwendungsprozesses, weswegen sie nicht als geschlossenen Kreislauf dargestellt wird. Neben dem Transport in Form von An- und Auslieferung, stehen vor allem die Prozessschritte der Lagerung und der Aufbereitung im Fokus der Wertschöpfungskette. Die Darstellung verdeutlicht, dass eine Zwischenlagerung der Bauprodukte nicht zwingend erforderlich ist: Sofern keine Zeitspanne zu überbrücken ist, kann dieser Prozessschritt ausgelassen werden. Diese Situation wird jedoch gemäß einer von Tsui (2023) durchgeführten Befragung als nicht sehr wahrscheinlich erachtet. Im Zentrum der zirkulären Wertschöpfungskette steht die Koordination des Prozesses. Der Wiederverwendungsprozess nach Stricker et al. (2021) stellt einen parallel zur Planung verlaufenden Prozess dar, der von den Planerinnen und Planern koordiniert wird. Verschiedene Formen der zirkulären Wertschöpfungskette werden anhand dieser Darstellung in *Abschnitt 2.1* einer Analyse unterzogen ▶.

S. 32 ▶
Zirkuläre
Wertschöpfungskette



1.3 | Hemmnisse

Obwohl die Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie, unter anderem in Form von der Wiederverwendung von Bauprodukten, zur Reduktion von CO₂-Emissionen zunehmend an Aufmerksamkeit gewinnt, ist ein Großteil der gegenwärtigen Produktions- und Konsumpraktiken im Bausektor linear (Bär & Schrems, 2021). Grundsätzlich wurde in Deutschland lange ein Fokus auf die Energieeffizienz im Gebäudesektor gelegt (Pauli, 2023; Schuster & Geier, 2023). Dies hat zu der Fehl- wahrnehmung geführt, dass ein Neubau ökologisch sinnvoller als eine Sanierung ist (Metz, 2024). Eine teilweise begriffliche Unschärfe in der Praxis sowie in der wissenschaftlichen Literatur führt darüber hinaus zu einer fehlerhaften Gleichsetzung von CE mit dem Begriff des "Recyclings" (Kirchherr et al., 2017; van Stijn & Gruis, 2020). So entsteht durch hohe „Recyclingraten“ wie 90% von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen im Jahr 2022 (Statistisches Bundesamt, 2024) der Anschein einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft im Bausektor. Die genannte Quote umfasst allerdings auch die stoffliche Verwertung und schließt lediglich die energetische Verwertung aus (Rosen, 2021b). Dies geht mit einem erheblichen Qualitätsverlust einher und ist als „Downcycling“ nicht als geschlossener Kreislauf zu betrachten (ebd.). Eine Wiederverwendung, -verwertung oder Weiterverwertung auf hohem Qualitätsniveau findet trotz bestehender gesetzlicher Regelungen bislang nicht statt (Rosen, 2021a). Auch die großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten stellt eine Seltenheit dar (John & Stark, 2021). Der Bausektor ist somit von einer echten Kreislaufwirtschaft weit entfernt (Rosen, 2021a). Insgesamt zeigt auch eine vom DGNB und weiteren europäischen Akteur*innen veröffentlichte Studie, dass „die gesamte Immobilienbranche derzeit nicht auf den von der Europäischen Union geforderten Wandel zur Kreislaufwirtschaft vorbereitet ist.“ (Pauli, 2023).

Zunächst stellen das Fehlen einer Reihe grundlegender systemischer Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Bauprodukten wesentliche Hemmnisse dar. Im Allgemeinen gibt es keinen funktionierenden Markt oder Infrastruktur für eine großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten (Circle Economy & Metabolic, 2022; Gobbo et al., 2021; Grossarth, 2024; John & Stark, 2021; Massmünster, 2021; Weismann et al., 2023). Des Weiteren erfordert das Bauen mit wiederverwendeten Bauprodukten ein umfangreiches Wissen (Massmünster, 2021). Die fehlende Erfahrung in diesem Bereich sowie fehlendes Bewusstsein werden in zahlreichen Quellen thematisiert (Circle Economy & Metabolic, 2022; Gobbo et al., 2021; John & Stark, 2021; Massmünster, 2021). Auch Bauproduktpässe oder Zertifizierungsmethoden werden als fehlende Voraussetzungen für die Wiederverwendung von Bauprodukten genannt (Circle Economy & Metabolic, 2022; John & Stark, 2021; Stricker et al., 2021). Der allgemeine Mangel an Anreizen wird ebenfalls wiederholt als Hemmnis beschrieben.

Auch auf normativer Ebene bestehen im Bausektor erhebliche Hemmnisse für die Etablierung geschlossener Kreisläufe. Diese resultieren unter anderem aus der Entwicklung und Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen auf die Nutzung primärer Bauprodukte (Cortés & Capelle, 2021). Das zeigt sich zum Beispiel in Leistungsverzeichnissen, welche zwar für Transparenz hinsichtlich der Baukosten sorgen, jedoch in der Regel nicht die Art und Weise berücksichtigen, wie Bauprodukte zum Einsatz kommen (ebd.). Auch die Leistungsphasen sowie die Honorarberechnungen gemäß HOAI sind auf Planungsabläufe mit primären

► Zum Beispiel in:
Bundesstiftung Baukultur
(2023) *Baukultur-*
bericht 2022/23: Neue
Umbaukultur

Bauprodukten ausgerichtet. Es wird unter anderem nicht berücksichtigt, dass die dynamischen Planungsprozesse beim Bauen mit wiederverwendeten Bauprodukten sich von denen mit primären Bauprodukten unterscheiden und ein erhöhter Planungsaufwand entsteht (Stricker et al., 2021). Diesbezüglich wird in verschiedenen Quellen eine Erweiterung der Leistungsphasen vorgeschlagen ►.

Durch eine fehlende Differenzierung zwischen primären und sekundären Bauprodukten entstehen weitere Hemmnisse für die Wiederverwendung von Bauprodukten. Dies ist zum Beispiel in den Landesbauordnungen der Fall, die die Anforderungen an Bauprodukte festlegen (z.B. BayBO, Abs. III Art 18). Ein sekundäres Bauprodukt braucht demnach die gleiche bauaufsichtliche Zulassung wie ein primäres Bauprodukt (John & Stark, 2021). Auch auf Bundesebene gibt es keine einheitlichen Standards oder Prüfungsmethoden für das Bauen mit sekundären Bauprodukten (ebd.). Auf Grund der fortschreitenden Weiterentwicklung von Normen können Bauprodukte so oft bereits nach wenigen Jahren die Vorgaben nicht mehr erfüllen (Hillebrandt, 2021). Cortés & Capelle (2021, S. 83) liefern für Ziegelsteine ein konkretes Beispiel. Diese müssen für eine bauaufsichtliche Zulassung folgende Voraussetzungen erfüllen: Gewährleistung der Qualität für 10 oder 20 Jahre, Garantie der Lieferkontinuität, Garantie einer kleinen Maßtoleranz, Herkunftsnachweis des Rohmaterials und ein Drucktest der Steine zur Zeit der Herstellung. Es lässt sich annehmen, dass ein großer Anteil der Ziegelsteine aus urbanen Minen die genannten Anforderungen nicht erfüllen kann. Planerinnen und Planer oder bauausführende Unternehmen müssen so für die Bauprodukte meist selbst haften (Rosen, 2021b; Stricker et al., 2021). Dies führt für beteiligten Akteur*innen ebenfalls zu großen Unsicherheiten (John & Stark, 2021).

Darüber hinaus gibt es Gesetze und Normen, die zwar das Ziel der Kreislaufwirtschaft verfolgen, jedoch vage formuliert sind. Ein Beispiel ist das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG). In den Gesetzestexten des KrWG wird zwar die Relevanz der Wiederverwendung wiederholt verdeutlicht, entsprechend hohe Qualitätsanforderungen jedoch nicht verpflichtend festgelegt (z.B. KrWG, 2012, §14 Abs. 2). Das führt dazu, dass „Hersteller ihre Produktverantwortung nach §23 KrWG nur auf einem niedrigen Niveau wahrnehmen“ (Rosen, 2021a). Im Hinblick auf die Etablierung der Wiederverwendung im Bausektor erweist sich das Gesetz somit als unzureichend (John & Stark, 2021).

Unsicherheiten bezüglich der Baukosten werden ebenfalls als Hemmnisse genannt (Pauli, 2023; Rosen, 2021a). Es gibt keine Erfahrungswerte, wie sie bei Gebäuden aus primären Bauprodukten der BKI-Baukostenindex liefert (Rosen, 2021b). Viele Parameter sind beim Bauen mit wiederverwendeten Bauprodukten nicht absehbar und führen so zu ungenauen Kostenschätzungen (Rosen, 2021a). Hinzu kommt, dass die anfallenden Kosten für Bauprodukte aus urbanen Minen einen Vorschuss von 10 bis 15 Prozent benötigen (Massmünster, 2021) und auf die Bauprodukte in Deutschland erneut eine Mehrwertsteuer anfällt (Rosen, 2021b). Im Allgemeinen gibt es wenige Daten, die einen Baukostenvergleich von primären und sekundären Bauprodukten ermöglichen. Ilka & Vaner (2023) zeigen anhand einer Fassadenerneuerung der Baseler Kantonalbank ein mögliches Beispiel. Die Kosten der Wiederverwendung und Ertüchtigung der alten Fassade unterschreiten die Kostenschätzung des Rückbaus und Komplettersatzes der Fassade um 37%. Diese wurde schlussendlich für die Wiederverwendung demontiert, vor Ort gereinigt, aufbereitet und ertüchtigt wieder eingebaut.

1.4 | Wegbereiter

Im Rahmen der Recherche konnten verschiedene Arten von Quellen identifiziert werden, die Wegbereiter, Strategien und systemische Grundvoraussetzungen für die Kreislaufwirtschaft im Bausektor im Allgemeinen oder die Wiederverwendung von Bauprodukten im Speziellen bestimmen. Dies sind zum einen wissenschaftliche Publikationen wie Hossain et al. (2020) Hubmann & van Maaren (2022, 2023), Schuster & Geier (2023), Pauli (2023) oder Gossarth (2024) und zum anderen Berichte, Gutachten oder Handlungsempfehlungen wie Gobbo et al. (2021) Circle Economy & Metabolic (2022), DGNB et al. (2023) oder Weismann et al. (2023). Insgesamt bilden die betrachteten Quellen ein umfangreiches Themenfeld an Wegbereitern der Kreislaufwirtschaft im Bausektor ab. Im Folgenden werden Themen im Zusammenhang mit dem Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten und der zirkulären Wertschöpfungskette eingehender betrachtet. Trotz verschiedener Herangehensweisen können in der untersuchten Literatur diverse Parallelen festgestellt werden. In *Abbildung 7* auf *Seite 29* werden die in der Grundlagenermittlung betrachteten Themenfelder und Wegbereiter im Kontext des Wiederverwendungsprozesses dokumentiert.

Eine Vielzahl der behandelten Themen lässt sich unter dem Gesichtspunkt *Wissen* von oder über Wiederverwendungsprozesse von Bauprodukten und zirkulären Wertschöpfungsketten zusammenfassen. Dies umfasst zunächst die allgemeine Aufklärung der Öffentlichkeit. Das kann nicht nur zu einem kollektiven Bewusstsein der Problematik führen, sondern auch das Verständnis neuer Bautechniken fördern (Stricker et al., 2021). Gobbo et al. (2021) betonen zudem die Relevanz der Aufklärung privater Eigentümer*innen, da diese einen Großteil des Gebäudebestandes besitzen und somit potenzielle Entscheidungsträger*innen darstellen. Des Weiteren ist eine Sensibilisierung potenzieller Akteur*innen, die direkt am Wiederverwendungsprozess beteiligt sind, erforderlich (ebd.). Dazu zählen beispielsweise Planer*innen, Handwerker*innen, Bauunternehmen oder Abbruch- und Rückbauunternehmen. Die Planung mit Bauprodukten aus urbanen Minen erfordert zudem ein umfangreiches spezifisches Wissen sowohl hinsichtlich des Bauprodukts selbst als auch hinsichtlich einzelner Prozessschritte wie Demontage und Transport (Massmünster, 2021). Der Zugang zu wiederverwendungsspezifischem Wissen ist insbesondere für am Wiederverwendungsprozess beteiligte Akteur*innen von essenzieller Bedeutung. Daher ist sowohl die Durchführung systematischer Schulungen und Fortbildungen für Fachpersonen als auch die Integration der Thematik in die Lehre und die Entwicklung neuer fachlicher Ausbildungsstrukturen von großer Bedeutung (Circle Economy & Metabolic, 2022; Gobbo et al., 2021; John & Stark, 2021; Pauli, 2023). In diesem Kontext wird wiederholt die Relevanz eines kollaborativen und fachübergreifenden Ansatzes betont, da ein Großteil des Wissens auf Erfahrung beruht (Hossain et al., 2020; Massmünster, 2021). Daher ist sowohl die Vernetzung und Dokumentation bereits aktiver und potenzieller Akteur*innen von Bedeutung als auch die Einrichtung von lokalen Beratungs- und Anlaufstellen zur Unterstützung der beteiligten Akteur*innen (Gobbo et al., 2021; Weismann et al., 2023).

Die *Dokumentation* der Bauprodukte stellt einen weiteren Faktor dar, der die Wiederverwendung von Bauprodukten fördert. Sie ermöglicht die Datengrundlage auf Basis derer die Demontagefähigkeit bewertet und durchgeführt werden kann (Weismann et al., 2023). Diesbezüglich sind zum einen Bauproduktpässe zu nennen, welche im Nachhinein für Bauprodukte aus urbanen Minen ausgestellt

werden (Massmünster, 2021). Zum anderen sind dies Bauproduktpässe, welche vor dem ersten Lebenszyklus angelegt werden und durch den leichten Zugang zu spezifischen Bauproduktinformationen zukünftige Wiederverwendungsprozesse vereinfachen. Insgesamt werden Gebäudematerialkataster als relevante Wegbereiter eingestuft (Schuster & Geier, 2023). Des Weiteren wird in diesem Kontext der Zugang zu den technischen Angaben verschiedener Bauprodukte thematisiert (Gobbo et al., 2021). Ein öffentliches Bauproduktarchiv könnte beispielsweise nicht nur die Einschätzung von Bauprodukten aus urbanen Minen fördern, sondern auch allgemein für ein besseres Verständnis der Thematik sorgen (ebd.). Die Relevanz der Digitalisierung der Bauproduktinformationen für jegliche Form der Dokumentation wird ebenfalls betont (Hubmann & van Maaren, 2023).

Unter dem Überbegriff *Logistik* werden verschiedene Wegbereiter aufgeführt. In nahezu allen betrachteten Quellen wird die Bedeutung von Lagermöglichkeiten als Wegbereiter für die Wiederverwendung von Bauprodukten hervorgehoben. Diesbezüglich werden sowohl vorübergehende als auch feste Standorte in Erwägung gezogen (Gobbo et al., 2021). Des Weiteren werden Bauproduktbörsen in Verbindung mit Lagermöglichkeiten thematisiert. Beispiele aus der Schweiz und den Niederlanden demonstrieren, wie die Wiederverwendung von Bauprodukten durch Bauproduktbörsen in kleinem Maßstab realisiert werden kann (vgl. Abschnitt 1.5). Zudem stellt der Transport der Bauprodukte eine grundlegende Voraussetzung für die Wiederverwendung dar (Gobbo et al., 2021; Hubmann & van Maaren, 2023; John & Stark, 2021).

Darüber hinaus werden in den betrachteten Quellen wiederholt Punkte bezüglich der *Aufbereitung* thematisiert. Hierbei handelt es sich um die Vorbereitung der Bauprodukte für die neue Nutzung in Form von Reinigung, Reparatur und der Prüfung der Bauprodukte (Hubmann & van Maaren, 2023). Die Konzeption neuer Prozesse stellt ebenfalls einen wesentlichen Faktor dar, wobei eine entsprechende Infrastruktur von essenzieller Bedeutung ist, um die Implementierung und Realisierung der Prozesse zu gewährleisten. Wie bereits im vorherigen Abschnitt dargestellt, stellen fehlende Gesetze und Normen ein wesentliches Hemmnis für die Wiederverwendung von Bauprodukten dar. Dies manifestiert sich unter anderem in der Aufbereitung, für die systematische Prüfungsverfahren erforderlich sind (Gobbo et al., 2021). Darüber hinaus sind Regelungen für die Gewährleistung von Bauprodukten aus urbanen Minen unabdingbar, um eine großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten zu ermöglichen (Gobbo et al., 2021; Hubmann & van Maaren, 2023; Weismann et al., 2023).

Eine Vielzahl der betrachteten Wegbereiter lässt sich anhand räumlicher Funktionen umsetzen und potenziell in einer gebauten Infrastruktur zusammenbringen. Zu den Themen zählen zunächst Aspekte der Logistik und der Aufbereitung. Hierbei stehen ökologische und wirtschaftliche Nachhaltigkeit im Vordergrund. Auch Themen der Kategorie „Wissen“ können potenziell in räumliche Nutzungen übertragen werden. Unter Einbezug der Öffentlichkeit können sie zur sozialen und kulturellen Nachhaltigkeit der Infrastruktur beitragen. Die Kombination aller drei Kategorien eröffnet das Potenzial für Synergieeffekte. Wegbereiter der Dokumentation benötigen hingegen primär eine digitale Infrastruktur. Die gebaute und digitale Infrastruktur wird im folgenden Abschnitt erläutert

1.5 | Infrastruktur

Wie in den vorherigen Abschnitten dargelegt, stellt die Infrastruktur eine Grundlage für den Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten und zirkulären Wertschöpfungsketten dar. In dieser Arbeit wird dabei zwischen *digitaler* und *gebauter Infrastruktur* zur Wiederverwendung von Bauprodukten unterschieden. Digitale Infrastrukturen umfassen digitale Plattformen, Bauproduktbörsen und Marktplätze. Diese ermöglichen den Verkauf von Bauprodukten, die Vernetzung von Angebot und Nachfrage sowie den Austausch zwischen verschiedenen Akteurinnen und Akteuren sowie den Zugang zu Informationen (Economy & Metabolic, 2022). Somit stellt sie einen wichtigen Wegbereiter für die Kreislaufwirtschaft im Allgemeinen (Prox, 2022) und im Bausektor dar (Grossarth, 2024). Als gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten oder auch *Circular Construction Hubs* werden in dieser Arbeit Bauwerke bezeichnet, die auf programmatischer und morphologischer Ebene die Ausführung der zirkulären Wertschöpfungskette ermöglichen. Üblicherweise werden hierfür verschiedene Bezeichnungen verwendet, wobei insbesondere *Bauteilbörse* und *Urban Mining Hub* geläufig sind. Obgleich diese Begriffe oft synonym verwendet werden, erfolgt in der Literatur eine Differenzierung anhand verschiedener Eigenschaften. In dieser Arbeit wird zudem der Begriff *Bauproduktbörse* anstelle von *Bauteilbörse* verwendet. Auf diese Weise werden alle Betrachtungsebenen der Kreislauffähigkeit nach Graf & Birk et al. (2022) mit einbezogen.

In ihrer Dissertation ordnet Tsui (2023, S. 158 ff.) gebaute Infrastrukturen in der Kreislaufwirtschaft anhand eines raumplanerischen Ansatzes vier Kategorien zu: *Craft Center*, lokale *Bauproduktbörsen*, *Urban Mining Hubs* und *Industrie Hubs*. Die vier genannten Arten werden übergeordnet als *Circular Construction Hubs* bezeichnet. Das *Craft Center* oder auch *Kulturproduktionszentrum* befindet sich an der Schnittstelle zwischen kultureller und industrieller Nutzung und bezieht Bürger*innen und kleine Unternehmen in die Kreislaufwirtschaft ein. Der Fokus liegt auf der Aufbereitung in öffentlichen Werkstätten und der Wiederverwendung von Bauprodukten mit einem vergleichsweise kurzen Lebenszyklus und kleinem Maßstab (Tsui, 2023). *Craft Center* sind oft mit *lokalen Bauproduktbörsen* verbunden, wo kleinmaßstäbliche Bauprodukte aus Restströmen für Renovierungsprojekte gelagert werden (ebd.). *Urban Mining Hubs* dienen als logistischer Umschlagplatz der Sortierung, Lagerung und Verteilung von einzeln vorkommenden Bauprodukten mittleren Maßstabs (ebd.). Im Gegensatz dazu werden in großen Mengen vorhandene Bauprodukte in *Industrie Hubs* verarbeitet (ebd.). In der Dissertation von Tsui (2023) wird sich hierbei vornehmlich auf die Wiederverwertung mineralischer Bauprodukte wie Asphalt, Beton, Sand oder Erdaushub bezogen, ohne weitere Beispiele im Kontext der Wiederverwendung von Bauprodukten zu nennen.

Die unterschiedlichen Arten von *Circular Construction Hubs* können auf verschiedene Weisen angeordnet werden. Zum einen gibt es die Möglichkeit der Bündelung der Funktionen in einem dezentralen Hub. Zum anderen können die Standorte in einem *Hub-and-Spoke-Netzwerk* angeordnet werden, sodass sich ein Netzwerk von „Satelliten Hubs“ um einen „Zentralen Hub“ anordnen (TNO & Holland, 2022). Tsui (2023) beschäftigt sich in ihrer Dissertation ebenfalls mit der Erreichbarkeit bzw. dem Einzugsradius, dem Flächenbedarf sowie der sozioökonomischen Perspektive von *Circular Construction Hubs*. *Craft Center* haben beispielsweise einen empfohlenen Einzugsradius von 10 bis 20 Kilometern und

benötigen eine Bruttogrundfläche von 1200 bis 1500 Quadratmetern. Urban Mining Hubs hingegen haben in den Niederlanden derzeit zum Beispiel einen Einzugsradius von 30 bis 50 Kilometern bei einer Grundstücksfläche zwischen 5 und 10 Hektar (ebd.). Die Ergebnisse der Arbeit sind ausführlich in *Tabelle 1* dargestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Einteilung auf dem Status Quo der Niederlande beruht. Auch dort konnte sich bislang noch keine großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten etablieren.

In der untersuchten Literatur wird die Relevanz von Circular Construction Hubs für die Wiederverwendung von Bauprodukten wiederholt betont (z.B. Weismann et al., 2023; Circle Economy & Metabolic, 2022; John & Stark, 2021; Stricker et al., 2021; Tsui, 2023). Sie ermöglichen die Lagerung von sekundären Bauprodukten über einen längeren Zeitraum hinweg, und erhöhen damit die Wahrscheinlichkeit einer Wiederverwendung (Tsui, 2023). Befragte Abbruchunternehmen inklusive derer Netzwerke argumentieren beispielsweise, dass es „unmöglich“ sei,

| Bauprodukte | Einzugsradius, Zugänglichkeit | Flächenbedarf | Sozio-ökonomische Perspektive |
|--|---|--|---|
| Craft Center Bauprodukte mit kleinem Maßstab und kurzem Lebenszyklus, z.B. Möbel aus Holz | 10 - 20 km Nutzer*innen befinden sich in der gleichen Stadt, Transport über Straßenverkehr | BGF: 1200 - 1500 m ² Flächen für An- und Belieferung, Betreute Workshops zur Aufbereitung, Nähe zu urbanen Räumen | Nähe zu Humankapital mit Qualifikationsmix: Designer*innen, Handwerker*innen |
| Bauproduktbörse Restströme, Bauprodukte für kleine Renovierungsprojekte, z.B. Privatwohnungen, Regierungs-, Universitätsgebäude, Möbel | 10 - 20 km Bauprodukte werden in der gleichen Stadt gesammelt und weiterverkauft, Transport über Straßenverkehr | BGF: 1200 - 1500 m ² Flächen für An- und Belieferung, große Lagerflächen, hohe Decken | Social Urban Mining, Nähe zu Baumärkten oder Second Hand Kaufhäusern |
| Urban Mining Hub Kleine bis mittelgroße Bauprodukte z.B. Ziegel oder Türen | 30 - 50 km Transport über Straßenverkehr und über Wasser- oder Schienennetz möglich | Grundstück: 5 - 10 ha Temporäre Lagerstätten: auf Brachflächen und Abbruchgelände Feste Hubs: in bestehende Häfen, Industriegebieten oder Gewerbeparks | Social Urban Mining, Hubs könnten durch die Erweiterung bestehender Cluster geschaffen werden |
| Industrie Hub Verwertung von Bauprodukten in großen Mengen z.B. Asphalt, Beton, Aushub, Sand und Kies | Vorgeschlagene Maßstäbe variieren von einem Hub je Provinz bis zu einem Hub für ganz Westeuropa; momentan erfolgt der Transport über den Straßenverkehr | Grundstück: 10 - 30 ha In der Regel in bestehenden Häfen oder (Industrie-) oder Gewerbegebieten angesiedelt | Kann auf bestehenden Recyclingkapazitäten aufbauen, eingebettet in das Ökosystem der Kreislaufwirtschaft und Bauunternehmen |

Tabelle 1
Zusammenfassung der räumlichen Parameter von Circular Construction Hubs. Eigene Darstellung nach Tsui (2023, S. 157).

Angebot und Nachfrage an sekundären Bauprodukten innerhalb eines engen Zeitrahmens auf andere Weise in Einklang zu bringen (ebd.). Es wird außerdem die Relevanz lokaler Infrastrukturen thematisiert, deren Aufbau insbesondere in Städten erforderlich ist (John & Stark, 2021; Weismann et al., 2023). Städte spielen als Standort für Circular Construction Hubs eine übergeordnete Rolle, da sie einerseits die größten Produzenten von Abbruchabfällen sind und andererseits die größten Konsumenten von neuen Bauprodukten darstellen (Gobbo et al., 2021). Des Weiteren verfügen Städte über eine hohe Dichte an Stakeholdern, die das Schließen von Bauproduktkreisläufen ermöglichen (Tsui, 2023). In diesem Kontext wird zudem das Potenzial zur Stärkung der lokalen Wirtschaft erwähnt (Massmünster, 2021). Auch der *Circularity Gap Report* (Circle Economy & Metabolic, 2022) empfiehlt die Einrichtung von Circular Construction Hubs, um den Zugang zu sekundären Bauprodukten zu verbessern. Dabei wird unter anderem auf die Bedeutung der Hubs hinsichtlich der Aufbereitung und Prüfung der Bauprodukte hervorgehoben. Gleichzeitig wird in verschiedenen Quellen darauf verwiesen, dass der Markt und die bestehende Infrastruktur für die Wiederverwendung von Bauprodukten unzureichend bzw. nicht vorhanden sind (z.B. Massmünster, 2021). Wiederholt wird zudem aufgezeigt, dass eine Kombination verschiedener Geschäftsmodelle, wie die Nutzung bestehender Netzwerke, gebaute und digitale Infrastrukturen oder Rücknahmekonzepte, zu einer Etablierung der Wiederverwendung von Bauprodukten beitragen kann (Grossarth, 2024; Jaeger-Erben & Hofmann, 2019; Pauli, 2023; Tsui, 2023). Verschiedene Quellen verweisen auf das Potenzial des *Social Urban Mining* für Circular Construction Hubs (z.B. Cohen & Elliott, 2022). Der Begriff wurde von der Wiener Genossenschaft *BauKarussell* geprägt und zielt auf die soziale und wirtschaftliche Unterstützung von typischerweise benachteiligten Arbeitskräften ab. BauKarussell unterstützt Unternehmen bei der Entwicklung, Planung und Umsetzung von kreislauffähigen Projekten. Die Menschen erhalten somit Schulungen und Arbeitsplätze im Bereich der Wiederverwendung von Bauprodukten und sind somit an der Demontage und Aufbereitung beteiligt ►. Auch die *Bauteilbörse Basel* fördert mit diesem Konzept arbeitsmarktfremde Personen. ► www.baukarussell.at

Schuster & Geier (2023, S. 46) typologisieren verschiedene Geschäftsmodelle für kreislauffähiges Bauen basierend auf Jaeger-Erben & Hofmann (2019). Der Fokus liegt auf dem Bauen mit Holz, lässt sich jedoch ebenfalls auf andere Bereiche des kreislaufgerechten Bauens übertragen. Die Geschäftsmodelle werden nach *Beständigkeits-, Performance-, Versorgungs-, Service-, Plattform- und Aufbereitungsmodellen* unterschieden. *Abbildung 6* veranschaulicht die Einordnung der erläuterten Circular Construction Hubs im Kontext dieser Einteilung. Diese lassen sich in eine Vielzahl der Geschäftsmodelle zuordnen. Obwohl Craft Center auf Basis der dort aufbereiteten Bauprodukte bzw. Möbel nicht unmittelbar in den Prozess des "Bauens" involviert sind, werden sie als Aufbereitungsmodell kategorisiert. Bauproduktbörsen liegen an der Schnittstelle von Plattform-, Performance- und Aufbereitungsmodellen, da sie sowohl einen Marktplatz für sekundäre Bauprodukte als auch Lager- und Aufbereitungsmöglichkeiten für die angebotenen Bauprodukte bereitstellen. Urban Mining Hubs sind als Umschlagplatz mit Fokus auf Lager und Logistik sowohl Performance- als auch Versorgungsmodellen zuzuordnen. Industrie Hubs lassen sich wiederum an der Schnittstelle von Performance-, Versorgungs- und Aufbereitungsmodellen verorten.

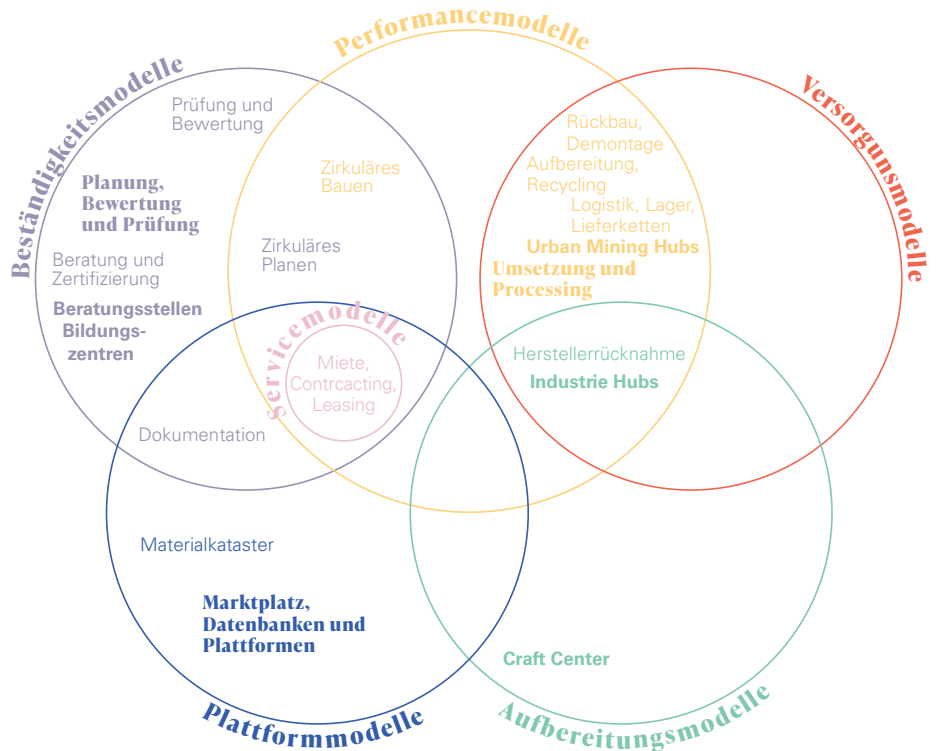


Abbildung 6 Einordnung der verschiedenen Arten von Circular Construction Hubs in die Typologisierung der Geschäftsmodelle für kreislauffähiges Bauen mit Holz von Schuster & Geier (2023, S. 46), basierend auf Jaeger-Erben & Hofmann (2019).

Beständigkeitsmodelle
Qualitativ hochwertige Wertangebote, die Langlebigkeit und nachträgliche Wertsteigerung ermöglichen

Service Modelle
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 Verwertung

Aufbereitungsmodelle

Es existieren bereits verschiedene Beispiele für die Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten. Dabei ist zu beobachten, dass gebaute und digitale Infrastrukturen oftmals parallel existieren und in Wechselwirkung zueinanderstehen. Die Website *Opalis* dokumentiert zum Beispiel Händler für Bauprodukte aus urbanen Minen in Belgien, den Niederlanden und Frankreich. Unter dem Ableger *Opalis Dealer Sandbox* werden eine Vielzahl weiterer Anbieter unter anderem in Deutschland aufgeführt ▶. Ein Großteil ist jedoch auf antike Bauprodukte wie antikes Holz spezialisiert. Die Plattform wurde von dem belgischen Kollektiv *Rotor* ins Leben gerufen. Seit 2005 setzt sich das Kollektiv mit der Wiederverwendung von Bauprodukten in Entwurf, Beratung, Forschung und Lehre auseinander (Brandi & Hentschel, 2021). Seit 2016 gibt es als Ableger außerdem die Demontagefirma *Rotor DC* (Deconstruction), die für die Aufbereitung und den Verkauf eine Bauproduktbörse eingerichtet hat. In den Niederlanden gibt es ebenfalls die Website *Oogstkaart*, welche als digitaler Marktplatz für wiederverwendete Bauprodukte fungiert ▶. Händler*innen und Bauprodukte werden hier ebenfalls

▶ www.opalis.eu/dealers
www.opalis.eu/en/sandbox/dealers

▶ www.oogstkaart.nl

kartographisch dokumentiert. Ins Leben gerufen wurde die Website vom Architekturbüro *Superuse Studios*. Auch in der Schweiz gibt es verschiedene Beispiele für Bauproduktbörsen wie die *Bauteilbörse Basel*. In Kooperation mit anderen Bauproduktbörsen der Schweiz werden die Bauprodukte über die Website *usegain.ch* angeboten ▶. Die Plattform *SALZA* ermöglicht in der Schweiz zudem die Vernetzung von Anbieter*innen von sekundären Bauprodukten mit potenziellen Abnehmer*innen noch vor der Demontage (John & Stark, 2021). In Deutschland gibt es unter anderem die *Bauteilbörse Bremen* oder den *Urban Mining Hub Berlin* von Concular. Die Kapazität der gebauten Infrastrukturen sowie die Art und der Umfang der angebotenen Bauprodukte sind in den erwähnten Beispielen jedoch meist gering. Eine großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten findet in den bestehenden Infrastrukturen bislang nicht statt. *Tabelle 2* bietet eine Übersicht zu ausgewählten Akteur*innen und Unternehmen in Wiederverwendungsprozessen von Bauprodukten. Neben Beispielen aus der gebauten und digitalen Infrastruktur werden hier ebenfalls verschiedene Unternehmen im Bereich der Planung und Beratung aufgeführt. Eine detailliertere Betrachtung der erläuterten Infrastrukturen und Geschäftsmodelle findet sich unter anderem bei John & Stark (2021, S. 29 – 37) sowie Schuster & Geier (2023, S. 46 – 50).

▶ www.usegain.ch
www.salza.ch

Insgesamt lässt sich im Hinblick auf Circular Construction Hubs eine Vielzahl an Lücken in der Literatur feststellen. Die Dissertation von Tsui (2023) stellt eine der wenigen Quellen dar, die sich ausführlich mit der Thematik auseinandersetzen. Vor allem im Bereich der Transport- und Lagerlogistik besteht ein hoher Forschungsbedarf (John & Stark, 2021). Die Relevanz der gebauten Infrastruktur wird in anderen Quellen zwar wiederholt hervorgehoben, jedoch bleiben mögliche Formen der Organisation und der Aufbau einer solchen Infrastruktur bis auf wenige Stichpunkte unklar. Als Ansatz wird oftmals lediglich das Potenzial der Kombination verschiedener Schritte innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette durch Lager-, Reparatur- und Aufbereitungsmöglichkeiten genannt (Circle Economy & Metabolic, 2022; Hubmann & van Maaren, 2023; Weismann et al., 2023). In der Praxis sind Beispiele von Circular Construction Hubs mit einer großmaßstäblichen Wiederverwendung von Bauprodukten bislang nahezu nicht vorhanden. Eine weiterführende Recherche zu konkreten Angaben und Quellen, die sich mit der Typologie, der Nutzung oder den räumlichen Anforderungen von Circular Construction Hubs auf Gebäudeebene befassen, blieb ohne Ergebnis.

Tabelle 2
Auswahl verschiedener
Akteur*innen innerhalb
der Geschäftsmodelle
des kreislauffähigen
Bauens

Plattformmodelle
Beständigkeitsmodelle
Performancemodelle

Bauproduktbörsen

- Bauteilbörse Basel (CH)
- Bauteile Zürich (CH)
- Bauteilvermittlung Zürichsee-Oberland (CH)
- Bauteilbörse Biel, SYPHON (CH)
- Bauteilladen Winterthur (CH)
- Bauteilbörse Hannover (D)
- Bauteilbörse Bremen (D)
- Bauteilbörse Berlin (D)
- Bauteilbörse Brüssel (Rotor DC) (NL)

Plattformen

- Concular (D) www.concular.de
- Oogstkaart (NL) www.oogstkaart.nl
- Opalis (EU) www.opalis.eu
- Restado (DE) www.restado.de
- Rotor DC (BE) www.rotordc.com
- SALZA (CH) www.salza.ch
- useagain (CH) www.useagain.ch

Planung und Beratung

- Baubüro in situ (CH)
- Lendager Group (DK)
- Materialnomaden (AT)
- Superuse Studios (NL)
- BauKarussell (AT)
- Rotor Design Assistance (BE)
- Zirkular (CH)
- Baukreisel (DE)

Demontage und Rückbau

- BauKarussell, Wien (AT)
- Rotor DC, Brüssel (BE)

Logistik und Lager

- Urban Mining Hub Berlin (D)
- Bauteilbörse Basel Lager (CH)

1.6 | Erkenntnisse

Im Rahmen der Grundlagenermittlung wurde deutlich, dass die Kreislaufwirtschaft im Bausektor mit vielschichtigen Herausforderungen konfrontiert ist. Die wichtige Rolle von potenziellen Funktionen der gebauten Infrastruktur im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten wurde dabei bestätigt. Gleichzeitig wird die Vielschichtigkeit der Wiederverwendungsprozesse ersichtlich, was im Hinblick auf die Forschungsfrage darauf hinweist, dass es nicht „eine gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten“ geben kann, sondern ein Netzwerk aus verschiedenen Arten von Circular Construction Hubs berücksichtigt werden muss. In den untersuchten Quellen lässt sich jedoch oftmals eine unzureichende Differenzierung verschiedener Circular Construction Hubs sowie ein mangelndes Bewusstsein hinsichtlich der Notwendigkeit eines Netzwerks im Kontext der gebauten Infrastruktur beobachten. Hierbei fällt auf, dass neben der ökologischen Nachhaltigkeit primär ein technischer und wirtschaftlicher Fokus gelegt wird. Die gebaute Infrastruktur besitzt ebenfalls ein großes sozio-kulturelles Potenzial, das in der betrachteten Literatur zwar angedeutet wird, im Verlauf dieser Arbeit jedoch weiter herausgearbeitet werden soll.

Auch der Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten sowie die zirkuläre Wertschöpfungskette umfassen eine Vielzahl an Themenfeldern. Diese werden in *Abbildung 7* zusammenfassend dargestellt. Der Wiederverwendungsprozess wird dabei anhand der sechs Fokusthemen *Förderung, Wissen, Dokumentation, Logistik, Aufbereitung* sowie *Normen und Gesetze* strukturiert. Die aus der betrachteten Literatur entnommenen Themenfelder werden diesen zugeordnet. Zudem erfolgt eine Abgrenzung von Fokusthemen, die mit der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten in Verbindung stehen. Die Fokusthemen *Logistik* und *Aufbereitung* stehen dabei im direkten Zusammenhang mit der zirkulären Wertschöpfungskette, während das Fokusthema *Wissen* die Wertschöpfungskette indirekt fördern kann. Themen, die die Kreislaufwirtschaft im Bausektor im Allgemeinen treffen und nicht direkt mit dem Wiederverwendungsprozess im Zusammenhang stehen, sind nicht Teil der Darstellung.

Die im Rahmen der Grundlagenermittlung betrachtete Literatur zeigt, dass bereits eine Vielzahl von Ansatzpunkten zur Etablierung zirkulärer Wertschöpfungsketten im Bausektor benannt werden. Die vorliegende Abbildung veranschaulicht die daraus abzuleitenden Rahmenbedingungen für Wiederverwendungsprozesse von Bauprodukten. Gleichzeitig bilden die abgegrenzten Fokusthemen eine programmatische Grundlage für eine vertiefende Betrachtung der gebauten Infrastruktur ab. Die Literatur bietet somit zwar einen Überblick, insbesondere konkrete Informationen zu möglichen Organisationsformen und dem Aufbau von Circular Construction Hubs auf Gebäudeebene werden hingegen nicht gegeben. Auch räumliche Anforderungen und Potenziale der gebauten Infrastruktur werden in den behandelten Quellen nicht weiter ausgeführt. Im folgenden Kapitel werden die im direkten Zusammenhang mit Circular Construction Hubs stehenden Fokusthemen daher im Rahmen eines zweiten Recherchezyklus vertieft und auf räumliche Faktoren hin untersucht. Aufgrund der bisher unzureichenden Ergebnisse im Hinblick auf die Zielsetzung dieser Arbeit wird der zweite Recherchezyklus zum Teil vom Kernthema der Wiederverwendung gelöst. Dadurch ist es möglich, auf bestehende Strukturen einzugehen, die in der Folge in den Kontext der Wiederverwendung übertragen werden können.

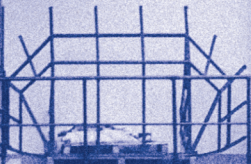


2 | Vertiefung

Es kann sich für eine Vielzahl von Bestandteilen der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten bereits an existierende Strukturen orientiert werden. Diese werden in diesem Kapitel in Form eines zweiten Recherchezyklus einer vertiefenden Betrachtung unterzogen, wobei die in Abschnitt 1.6 definierten Fokusthemen als Grundlage dienen. Hierfür wird zunächst eine Analyse verschiedener Arten von Circular Construction Hubs im Hinblick auf die zirkuläre Wertschöpfungskette durchgeführt. Als zentrales Thema der Vertiefung werden folgend logistische Aspekte der Circular Construction Hubs untersucht. Darauf aufbauend werden die Bauprodukte in Bauproduktkategorien eingeteilt. Um das Konzept zu veranschaulichen, werden diesem anschließend beispielhafte Bauprodukte zugeordnet. Zuletzt wird dann die Aufbereitung von Bauprodukten für die Wiederverwendung betrachtet.

BAUTEILBÖRSE

BAU
TEIL
BÖRSE



2.1 | Zirkuläre Wertschöpfungskette

Im Folgenden wird eine Analyse bestehender Infrastrukturen zur Wiederverwendung von Bauprodukten vorgenommen. Dazu werden zunächst verschiedene Möglichkeiten für den Aufbau und die Organisation anhand von Beispielen aufgezeigt und im Hinblick auf die zirkuläre Wertschöpfungskette untersucht. Im Anschluss werden Gemeinsamkeiten und Unterschiede der verschiedenen Circular Construction Hubs herausgearbeitet.

Wie in *Abschnitt 1.5* dargelegt, existieren in den Niederlanden, Belgien, Deutschland und in der Schweiz bereits vereinzelt Akteur*innen, die auf kommunaler Ebene gebaute Infrastrukturen zur Wiederverwendung von Bauprodukten etabliert haben ►. Die nachfolgende Analyse fokussiert sich auf Unternehmen, die im direktem Zusammenhang mit der zirkulären Wertschöpfungskette stehen. Diese werden gemäß Tsui (2023) den Kategorien Craft Center, Bauproduktbörse, Urban Mining Hub und Industrie Hub zugeordnet. So können verschiedene Vorgehensweisen und Geschäftsmodelle im Kontext der zirkulären Wertschöpfungskette analysiert und verglichen werden. Die für die Analyse erforderlichen Informationen wurden durch die Teilnahme an Führungen vor Ort (Bauteilbörse Basel, Lager von Zirkular) sowie ergänzende Recherchen generiert.

► S. 22
Infrastruktur

Bauproduktbörse - Bauteilbörse Basel (CH)

Die Bauteilbörse Basel wird von dem Unternehmen *Overall* betrieben und verfügt am Verkaufsstandort über eine Fläche von ca. 2500 Quadratmetern. Des Weiteren gibt es zwei Vorlager mit einer Fläche von insgesamt 1000 Quadratmetern an einem ausgelagerten Standort. Der Einzugsradius der Bauteilbörse Basel beträgt ca. 30 Kilometer. Neben dem herkömmlichen Verkauf von Bauprodukten werden auch spezifische Suchanfragen bearbeitet sowie der Ausbau, die Aufbereitung und Wiederverwendung von Bauprodukten am gleichen Standort unterstützt. Bauprodukte, die in der Bauteilbörse Basel umgeschlagen und verkauft werden, werden zu circa 80% von der Bauteilbörse selbst demontiert. Die zukünftige Nutzung ist zu dem Zeitpunkt der Demontage nicht bekannt. Wie in den meisten Bauproduktbörsen werden in der Bauteilbörse Basel vornehmlich Bauprodukte mit geringem Umfang wie beispielsweise Fenster, Türen oder Waschmaschinen und Kühlschränke angeboten. Die Zielgruppe der Bauproduktbörse setzt sich in erster Linie aus Privatpersonen zusammen, kann aber auch Gewerbe- und Handwerksbetriebe sowie Unternehmen und andere Händler umfassen (John & Stark, 2021). Die Bauteilbörse Basel kooperiert zudem zunehmend mit verschiedenen Architekturbüros. In *Abschnitt 2.3* werden dort angebotene Bauprodukte näher betrachtet ►.

► S. 50
Bauprodukte

Der Verkaufsstandort umfasst Anlieferung, Recyclingstation, Werkstatt, Teststation, Lager, Büros, Auskunft, ein Fotostudio sowie zwei Verkaufsflächen. Die Nutzungen sind dabei auf vier Etagen verteilt und werden mit einem Lastenaufzug mit einer Maximallast von zwei Tonnen, einem Personenaufzug und einer Treppe erschlossen. Die Anlieferung ist ebenerdig auf der rechten Seite des Erdgeschosses angeordnet. Hier werden die Bauprodukte zunächst sortiert. Eignet sich ein Bauprodukt nicht für die Wiederverwendung, gelangt es zur sogenannten „Recyclingstation“. Dort wird es für die Wieder- und Weiterverwertung oder die Beseitigung vorbereitet, indem es stofflich getrennt wird. Ersatzteile werden für die Reparatur anderer Bauprodukte aufgehoben und wiederverwendet.

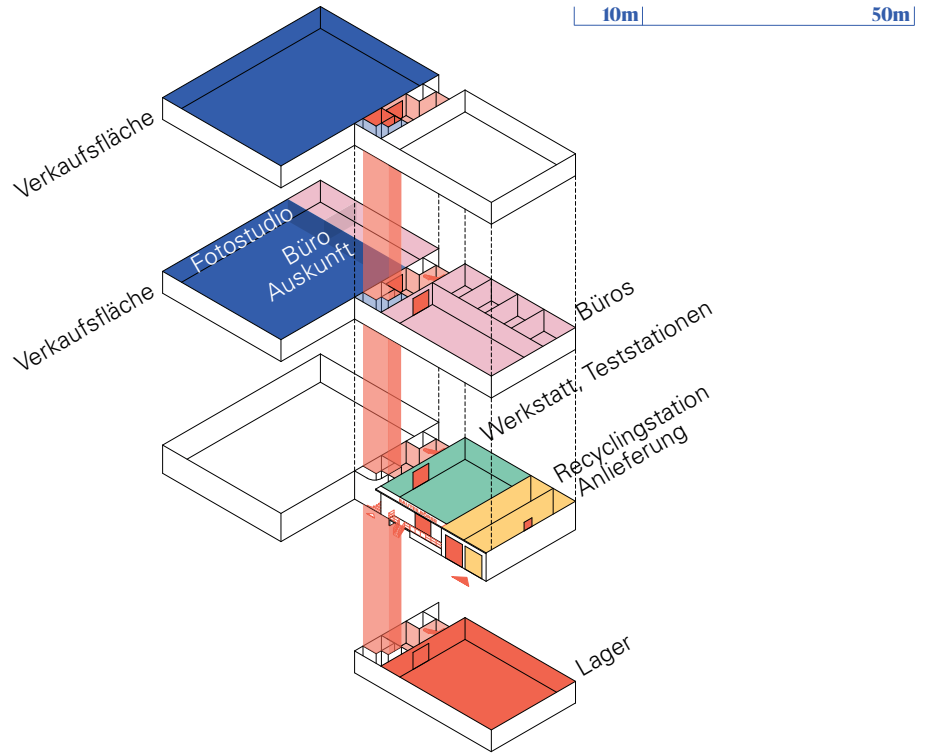


Abbildung 8
Bauteilbörse Basel,
Isonometrie

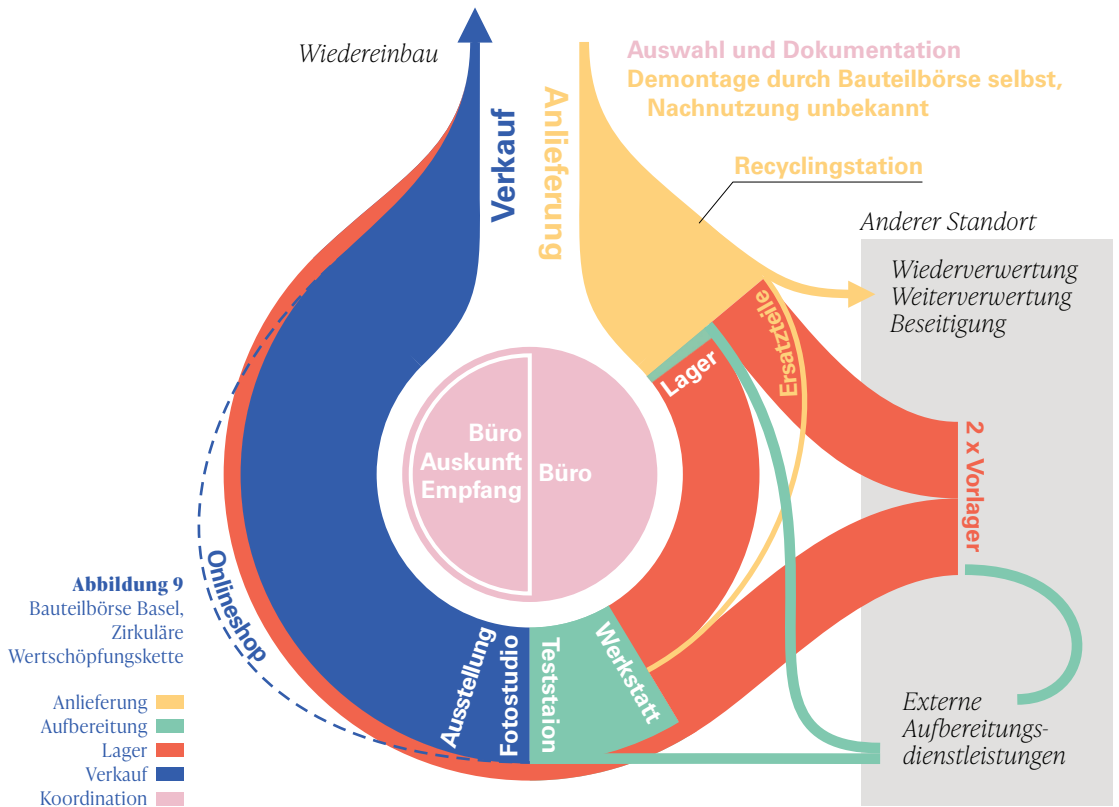


Abbildung 9
Bauteilbörse Basel,
Zirkuläre
Wertschöpfungskette

- Anlieferung ■
- Aufbereitung ■
- Lager ■
- Verkauf ■
- Koordination ■

Im Anschluss erfolgt die Distribution der Bauprodukte entweder direkt in das Lager vor Ort oder in eines der Vorlager. Das Lager vor Ort wird dabei stets zu Beginn der Woche aus dem Vorlager befüllt. Im weiteren Verlauf der Woche werden die Bauprodukte schließlich auf die Verkaufsfläche oder in die Werkstatt gebracht. In der Werkstatt werden die Bauprodukte anschließend aufbereitet. Dies umfasst insbesondere das Beheben von technischen Defekten sowie die Reinigung der Bauprodukte. Für umfangreichere Aufbereitungsmaßnahmen werden externe Handwerksbetriebe wie beispielsweise eine Schreinerei hinzugezogen. Es existieren jedoch auch Beispiele, bei denen eine Schreinerei bereits in die Bauproduktbörse integriert ist. Ein Beispiel hierfür ist *Bloem Gebruikte Bouwmaterialien* aus den Niederlanden ▶. Lackierarbeiten geringen Umfangs können in einer Garage außerhalb der Bauteilbörse durchgeführt werden. An der Teststation werden elektronische Geräte auf ihre Funktionsfähigkeit getestet. Hierfür gibt es zum Beispiel einen Waschmaschinen- oder einen Geschirrspülmaschinenanschluss. Sind die Bauprodukte bereit für den Verkauf, werden sie zunächst in einem Fotostudio für den Onlineshop dokumentiert. Dann werden sie auf einer der Verkaufsflächen ausgestellt. Die Verkaufsfläche im ersten Obergeschoss umfasst Parkett, Türen, Fenster, Zubehör und Baumaterial. Im zweiten Obergeschoss werden Bauprodukte für Bad und Sanitär, Haushaltsgeräte, Küchen, Zubehör und Ersatzteile ausgestellt. Die Gesamtfläche der Verkaufsflächen beläuft sich auf circa 1200 Quadratmeter. Der Aufbau der Flächen ähnelt der eines Baumarktes, in dem die Bauprodukte besichtigt, erworben und direkt mitgenommen werden können. In der Verkaufsfläche des ersten Obergeschosses sind zudem ein Empfangsbereich, eine Auskunft, ein Fotostudio und offene Büroflächen angeordnet. Bei umfangreichen Bauprodukten, wie beispielsweise Parkett, wird jeweils nur ein Teil des Produktes ausgestellt, während der Rest bis zum Verkauf im Vorlager verbleibt. Die Bauprodukte bleiben bis zum Verkauf für gewöhnlich ein bis drei Monate auf der Verkaufsfläche. Darüber hinaus können projektspezifische Lagerflächen eingerichtet werden. In *Abbildung 9* ist zu erkennen, dass die Bauteilbörse an allen Schritten der zirkulären Wertschöpfungskette beteiligt ist, während die Prozesse ebenfalls von der Bauteilbörse initiiert und koordiniert werden.

▶ www.bloemgebruikte-bouwmaterialen.nl

Urban Mining Hub - Urban Mining Hub Berlin (DE)

Die Firma *Concular* bietet eine digitale Infrastruktur als unterstützendes Tool im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten an. Darüber hinaus werden die Bauprodukte der von Concular betreuten Projekte über einen Onlineshop angeboten. Die Bauprodukte sind dabei spätestens drei Monate vor der Demontage auf der Plattform verfügbar (Campanella et al., 2022). In den meisten Fällen wird jedoch bereits ein Jahr vor der Demontage ein Materialpass des Bauprodukts erstellt, sodass dieses bereits in die Planung integriert werden kann (John & Stark, 2021). Dadurch soll die Zwischenlagerzeit reduziert oder gänzlich verhindert werden. Die primäre Zielgruppe hierbei sind Planerinnen und Planer aus der Baubranche (John & Stark, 2021). Seit dem Sommer 2023 besteht über den Onlineshop hinaus als Pilotprojekt im Rahmen der *Re-Use Initiative der Berliner Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt* (SenMVKU) ein Zwischenlager für Bauprodukte in Berlin. Dieses wird von Concular und dem Recyclingunternehmen *ALBA* betrieben (Concular, 2023). Das Lager befindet sich in Berlin Reinickendorf im Nordwesten von Berlin und ist mit 300 Metern Entfernung von der Bundesstraße 96 an den Straßenverkehr angebunden.

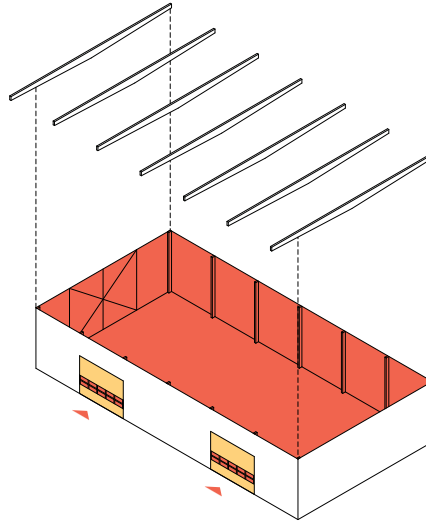
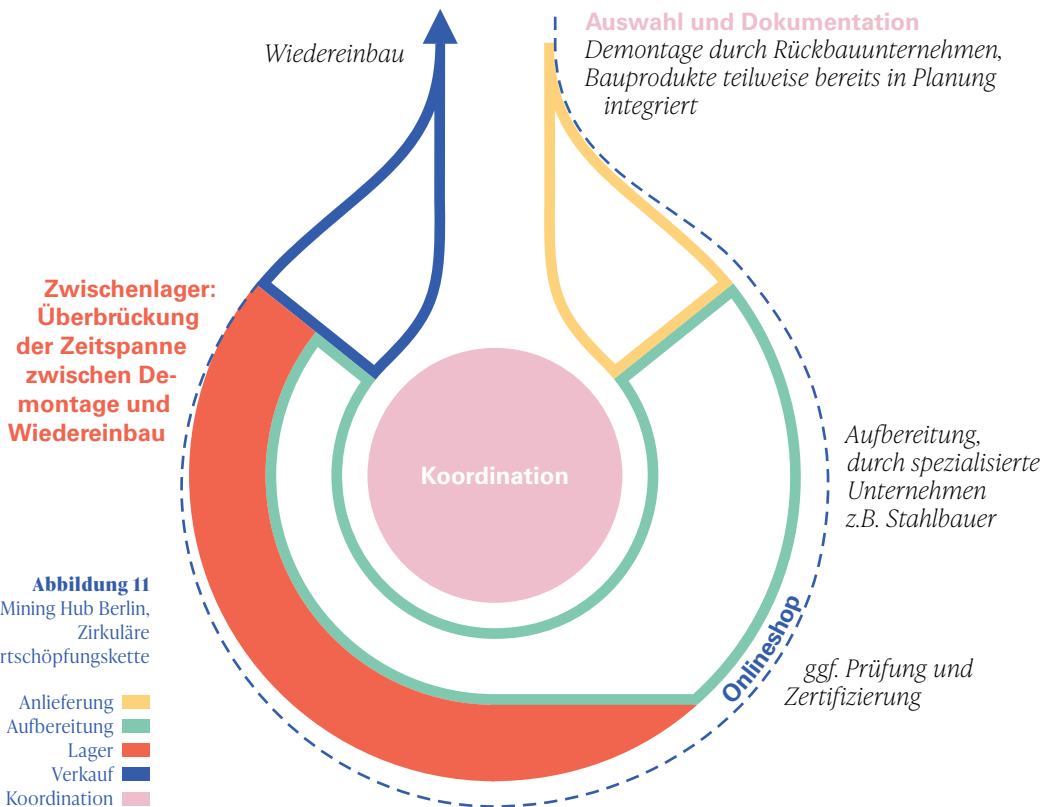


Abbildung 10
Urban Mining Hub Berlin,
Isometrie

10m



Der *Urban Mining Hub Berlin* besteht aus einer Lagerhalle mit einer Fläche von ca. 1000 Quadratmetern (Concular, 2023). Das Zwischenlager ermöglicht die Überbrückung des Zeitraums zwischen Demontage und Wiedereinbau bzw. Verkauf. Dadurch soll die Wiederverwendungsrate von Bauprodukten der von Concular betreuten Projekte gesteigert werden. Diese wurden zuvor lediglich für die Wiederverwendung demontiert, wenn sie bereits an eine neue Nutzung vermittelt wurden. Die Demontage sowie die Aufbereitung und der Wiedereinbau der Bauprodukte werden ausschließlich von externen Unternehmen ausgeführt (Concular, 2022). Neben der Bereitstellung der Lagerfläche nimmt Concular innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette somit lediglich eine beratende und koordinierende Rolle ein.

Die Lagerhalle des Urban Mining Hubs Berlin stellt den Einstieg in die gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten durch Concular dar. Das Konzept soll zukünftig ausgebaut und durch weitere Standorte erweitert werden (Concular, 2023). Einen Ansatz hierfür präsentiert Concular im Rahmen der *Circularity City Challenge* auf YouTube mit dem *Concular Urban Re-Use Hub* ▶. Das Konzept basiert auf der Vernetzung von Concular mit Kommunen und Städten mit dem Ziel, regionale Bauproduktkreisläufe zu etablieren. Dafür soll es an den Standorten der Re-Use Hubs sowohl Bereiche für die Lagerung und die Aufbereitung von Bauprodukten als auch Fort- und Weiterbildungsmöglichkeiten geben. Concular gliedert den Re-Use Hub in Workshopräume für Schulungen, Unterricht und Vorträge, eine Bauproduktbörse, eine Recyclingstation zur Entsorgung und Aufbereitung von Bauprodukten, die für die Wiederverwendung nicht geeignet sind, sowie einen Craft Center, in dem Bauprodukte repariert werden können (Concular, 2022). Das Konzept verbindet somit verschiedene Typen von Circular Construction Hubs und adressiert in Ansätzen bereits verschiedene systemische Rahmenbedingungen, wie sie in *Abschnitt 1.6* formuliert werden.

▶ YouTube: Concular Urban Re-Use Hubs | Info Film | Circularity City Challenge 2022

Urban Mining Hub – Zirkular (CH)

Das in Basel ansässige Fachplanungsbüro *Zirkular* ist auf die Beratung im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten spezialisiert und aus dem Architekturbüro *Baubüro in situ* hervorgegangen. Um die Zeitspanne zwischen Demontage und Wiedereinbau zu überbrücken, hat Zirkular in Basel ein Zwischenlager eingerichtet. Dieses liegt im Osten Basels im Viertel St. Alban. Das Lager befindet sich in unmittelbarer Nähe zur Hauptstraße und ist somit innerhalb von zwei Kilometern an die Autobahn angeschlossen. Der Standort umfasst eine Zone zur Anlieferung sowie eine Lagerfläche von circa 1000 Quadratmetern. Die restlichen Teile der Halle werden von externen Nutzerinnen und Nutzern verwendet.

Das Lager von Zirkular dient primär dem Ausgleich von Planungszeiträumen in den von dem Büro betreuten Projekten. Bauprodukte, deren zukünftige Verwendung nicht feststeht, werden in dem Lager lediglich als Ausnahme gelagert. Die Demontage, Aufbereitung und der Wiedereinbau werden ebenfalls ausschließlich von externen Unternehmen durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Fokussierung auf die Lagerung der Bauprodukte als logistischer Bestandteil der zirkulären Wertschöpfungskette kann diese Lagerfläche als Urban Mining Hub bezeichnet werden. Darüber hinaus ist Zirkular in beratender und koordinierender Position an der zirkulären Wertschöpfungskette beteiligt.

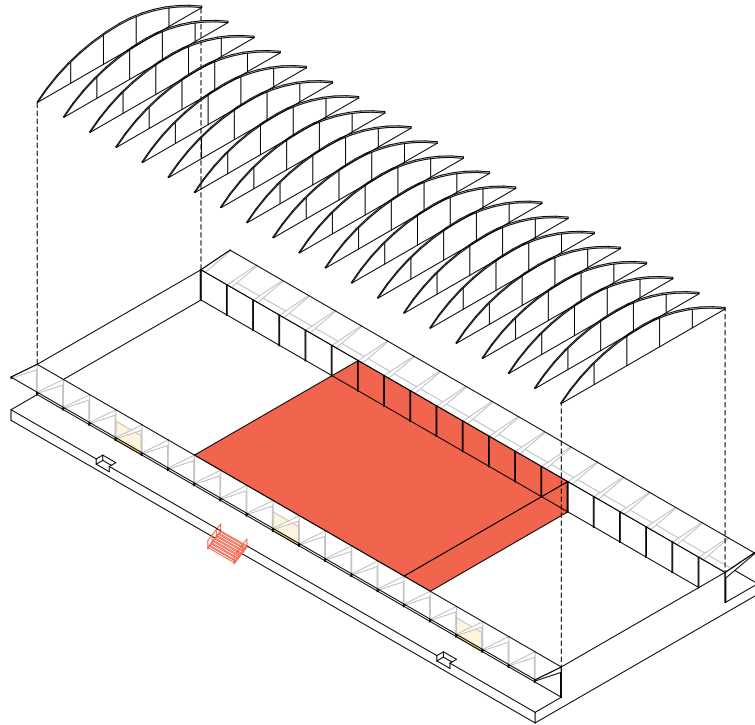
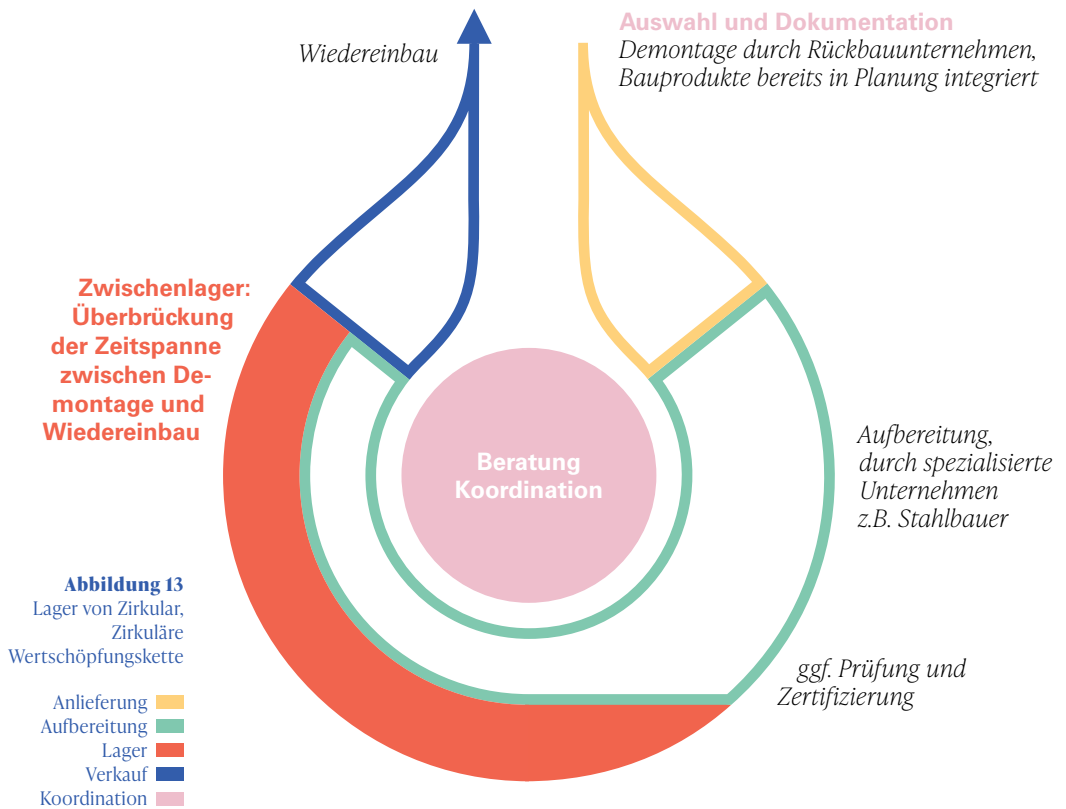


Abbildung 12
Lager von Zirkular,
Isonometrie

10m



Industrie Hubs

Derzeit existieren noch keine expliziten Industrie Hubs für die Wiederverwendung von Bauprodukten, die als Referenz herangezogen werden können. Eine Reihe an Beispielen demonstriert jedoch, dass die Aufbereitung einzelner Bauprodukte für die Wiederverwendung auch durch spezialisierte Unternehmen möglich ist, die eigentlich primäre Bauprodukte herstellen. In „Material Sheets: Reuse Toolkit“ dokumentiert Rotor (2021) detailliert verschiedene Anwendungsbeispiele für den Umgang mit wiederverwendeten Bauprodukten in Belgien ▶. Auch konstruktive Bauprodukte, wie beispielsweise Brettschichtholzträger oder Stahlprofile, können demnach von Holz- oder Stahlbauunternehmen demontiert, aufbereitet und anschließend wiedereingebaut werden. Das niederländische Holzbauunternehmen *De Groot Vroomshop*, welches eigentlich auf die Herstellung primärer Bauprodukte spezialisiert ist, hat im Jahr 2020 beispielsweise 40 Jahre alte Brettschichtholzträger mit einer Gesamtmasse von ca. 80 Tonnen für die Wiederverwendung demontiert und aufbereitet (Rotor, 2021). Das Holzbauunternehmen *DERIX* verfolgt ebenfalls eine Strategie zur zukünftigen Etablierung dieses Konzeptes. Seit dem Jahr 2021 hat sich das Unternehmen zur Rücknahme der von ihm produzierten Brettschicht- und Brettsperrholzkomponenten verpflichtet ▶. Ein weiteres Beispiel findet sich bei Stricker et al. (2021) in der Beschreibung des Wiederverwendungsprozesses für das Projekt *K.118* von *Baubüro in situ*. Die Stahlprofile wurden demontiert und von einem Stahlbauunternehmen aufbereitet, sowie durch das Ergänzen neuer Fügepunkte für die neue Nutzung vorbereitet.

▶ Rotor (2021) *Material Sheets: Reuse Toolkit*

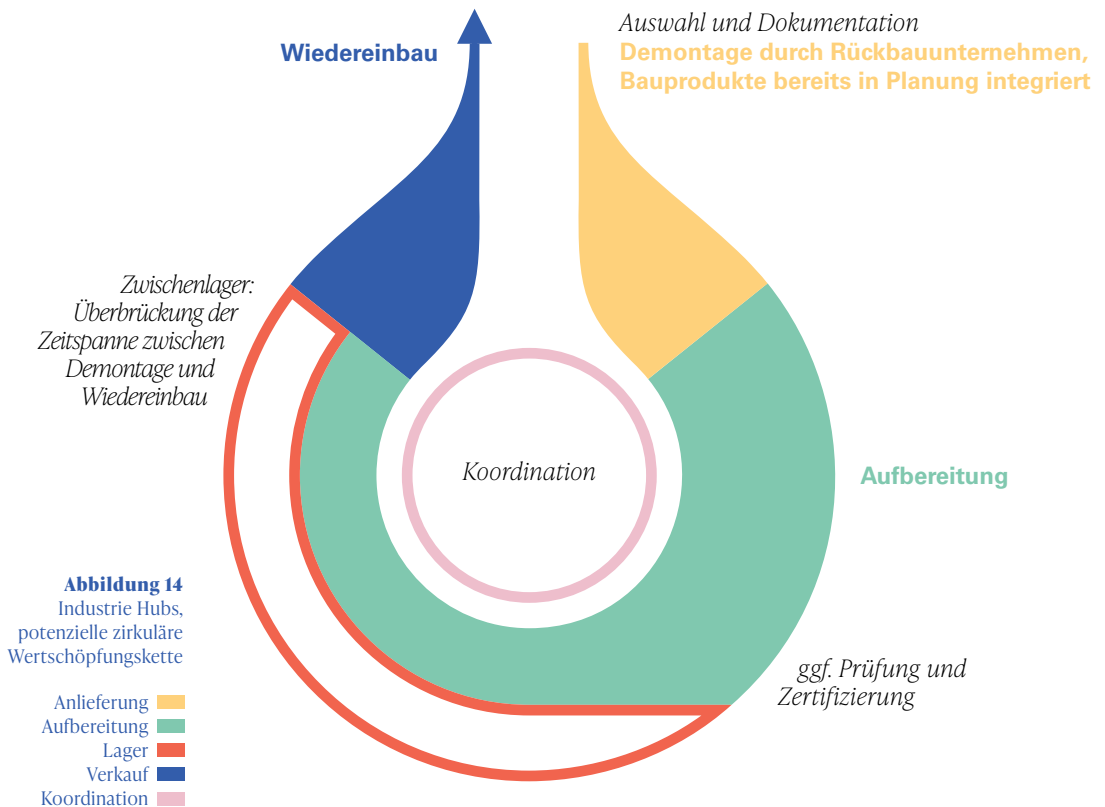
▶ Klimaforum Bau (2021) *DERIX-Gruppe macht Rücknahme gebrauchter Bauteile zum Standard*

Die beschriebenen Prozesse sind kongruent zu den analysierten Circular Construction Hubs in *Abbildung 14* dargestellt. Im Fokus der Industrie Hubs liegt dabei die großmaßstäbliche Aufbereitung von Bauprodukten. In Anknüpfung an die erläuterten Beispiele wird im weiteren Verlauf der Arbeit angenommen, dass der Aufbau von Industrie Hubs zukünftig bestehenden Unternehmen in der Produktion primärer Bauprodukte ähneln könnte, wie beispielsweise einem Holzbauunternehmen. Auch wenn die Unternehmen wie in den genannten Referenzen vor allem primäre Bauprodukte herstellen, stellen diese eine funktionierende Infrastruktur bereit. So hat ein Holzbauunternehmen beispielsweise bereits die Ausstattung, das Know-how und die logistische Infrastruktur für Bauprodukte aus Holz. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Annahme nicht auf empirischen Daten basiert. Eine weiterführende Betrachtung würde den Umfang dieser Arbeit übersteigen.

Vergleich

Alle analysierten Beispiele der gebauten Infrastruktur ermöglichen als Teil der zirkulären Wertschöpfungskette die Wiederverwendung von Bauprodukten. Dabei kann festgestellt werden, dass der grundlegende Ablauf in allen Beispielen identisch ist. Die Bauproduktjagd wird jeweils von dem koordinierenden bzw. beratenden Teil übernommen. Im Anschluss erfolgt die Demontage zur Wiederverwendung, Aufbereitung und Reparatur sowie gegebenenfalls die Prüfung und Zertifizierung und die Lagerung der Bauprodukte. Hinsichtlich der Durchführung sowie den konkreten Zuständigkeiten der einzelnen Prozessschritte lassen sich jedoch Unterschiede feststellen. Diese können vor allem mit den verschiedenen Zielgruppen, dem Umfang der Bauprodukte und der Nachnutzung in Verbindung gebracht werden. Bauproduktbörsen werden beispielsweise vornehmlich von

Privatpersonen für kleinere Renovierungsprojekte genutzt (John & Stark, 2021). Demgegenüber sind Urban Mining Hubs und Industrie Hubs potenziell logistischer und industrieller Bestandteil der zirkulären Wertschöpfungskette in großmaßstäblichen Bauvorhaben. Obwohl eine Infrastruktur zur großmaßstäblichen Wiederverwendung von Bauprodukten momentan nicht existiert, bildet sich dies bereits in den betrachteten Beispielen ab. Die Bauteilbörse Basel übernimmt beispielsweise nahezu sämtliche Prozessschritte innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette, während die Urban Mining Hubs und die Industrie Hubs auf wenige konkrete Prozessschritte spezialisiert sind. Insgesamt basieren die Funktionen der Circular Construction Hubs somit zwar auf der gleichen zirkulären Wertschöpfungskette, müssen jedoch zum Teil grundlegend verschiedene (räumliche) Anforderungen erfüllen. Diese ergeben sich nicht nur aus der Art und dem Umfang der Bauprodukte, sondern auch aus dem Kontext des Wiederverwendungsprozesses. Ein Beispiel hierfür ist der Status der Nachnutzung zum Zeitpunkt der Demontage. Dieser ist bei Bauprodukten der Bauteilbörse Basel nicht bekannt. Die (Verkaufs-) bzw. Lagerfläche muss folgend wie in einem Baumarkt auf die Ausstellung der Bauprodukte ausgerichtet sein. Bei Zirkular hingegen sind die Bauprodukte zum Zeitpunkt der Demontage bereits längst in eine Planung integriert, sodass die Lagerfläche lediglich der Überbrückung von Zeiträumen dient. Obwohl beides Lagerflächen sind, müssen diese somit verschiedene Anforderungen erfüllen. Die unterschiedlichen räumlichen Anforderungen der Circular Construction Hubs werden in den folgenden Abschnitten weiter vertieft.



2.2 | Logistik

Unabhängig von den Anforderungen der zirkulären Wertschöpfungskette müssen die Bauprodukte innerhalb der gebauten Infrastruktur bewegt werden. Ein funktionsfähiges Logistiksystem liegt somit allen Arten von Circular Construction Hubs zu Grunde. Daher werden in diesem Abschnitt räumliche Einflussfaktoren basierend auf verschiedenen Logistiksystemen ermittelt. Hierbei steht insbesondere die innerbetriebliche Logistik im Fokus, also die Lagerung und der Transport von Bauprodukten innerhalb der Circular Construction Hubs. Zu Beginn wird ein Überblick zu verschiedenen Systemen in Form von Transportmitteln, innerbetrieblichen Fördermitteln und Lagersystemen gegeben. Diese werden auf theoretischer Ebene eingeführt. Im weiteren Verlauf erfolgt eine Ergänzung durch technische Daten verschiedener Hersteller. Ein Teil der angegebenen Werte ist genormt und somit nicht variabel. Andere Angaben können nicht festgelegt werden, da sie herstellerspezifisch sind. Dennoch bieten diese eine Orientierung, da sich die Produkteigenschaften oftmals nur geringfügig unterscheiden. Zuletzt wird ein Logistiksystem für Circular Construction Hubs abgeleitet, indem die erläuterten Systeme in Bauproduktkategorien eingeteilt werden.

Der Großteil des innereuropäischen Transportaufkommens wird über den Straßenverkehr abgewickelt (Leitner et al., 2020). Auch der außerbetriebliche Transport der bestehenden gebauten Infrastrukturen zur Wiederverwendung von Bauprodukten basiert zum Großteil auf dem Straßenverkehr (vgl. Abschnitt 2.1). Eine Anbindung an das Schienennetz ist zwar teilweise gegeben, wird aber nicht genutzt (Tsui, 2023). Die Beförderung von Kleinteilen mit einer Last von maximal 2,8 t kann mittels eines Transporters erfolgen. Lkws stellen das nächstgrößere Transportmittel dar, dessen Klassifikation anhand der Transportmasse erfolgt. Dabei wird zwischen leichten Lkws mit einer Transportmasse über 2,8 t und unter 7,5 t sowie schweren Lkws mit einer Transportmasse über 7,5 t unterschieden. Für den Transport besonders langer oder schwerer Güter existieren Schwerlast-, Großraum- und Sondertransporte. Auf diese Weise ist ein Transport von Gütern mit einem Gewicht von bis zu 50 Tonnen und einer Länge von bis zu 30 Metern sowie einer Breite von bis zu vier Metern möglich (Rat der Europäischen Union, 1996).

Räumliche Einflussfaktoren von Transportmitteln

Abmessung des Transportmittels (Länge, Breite und Höhe)

Zugang zur Ladefläche

Wenderadius

Ladehilfsmittel

Fördermittel

Die Bestimmung räumlicher Einflussfaktoren von Transportmitteln erfordert im Rahmen der gebauten Infrastruktur lediglich die Berücksichtigung von Prozessen, die den Warenein- und -ausgang betreffen. Dies sind zunächst die Abmessungen des Transportmittels, die sowohl die maximale Durchfahrthöhe als auch -breite bestimmen. Zudem ist der fahrzeugspezifische Wenderadius zu beachten. Dieser beträgt bei kleinen Lkws zum Beispiel 9,77 Meter und bei großen Lkws 10,05 Meter. Weitere Daten können unter anderem dem *Raumpilot: Grundlagen* der Wüstenrot Stiftung (2012) entnommen werden ►. Andere Einflussfaktoren werden durch die Art der Be- und Entladung bestimmt. Hierbei spielen sowohl

► Jocher, T. & Loch, S. (2012) *Raumpilot: Grundlagen*, S. 119 ff.

mögliche Fördermittel sowie Ladehilfsmittel eine Rolle. Diese wirken sich auf Art und Form der Verladung aus. Diese kann abhängig vom Bauprodukt sowohl über eine Laderampe am Ende des Transportmittels erfolgen als auch seitlich mit Hilfe eines Kransystems oder Flurförderzeuges.

Fördermittel

Die in Circular Construction Hubs umgeschlagenen Bauprodukte werden in der Logistik als *Fördergüter* bezeichnet. Diese werden zwischen *Schüttgütern* (Sand, Schüttung, etc.) und *Stückgütern* (Ziegel, Lattung, Fenster etc.) unterschieden (Aßmann, 2019). Stabförmiges Stückgut wie Profilstahl oder Konstruktionsvollholz werden dabei als *Langgut* bezeichnet. Als *Fördermittel* werden Geräte und Hilfsmittel bezeichnet, die im innerbetrieblichen Transport von Fördergütern eingesetzt werden (ebd.). Unter dem Begriff *Ladehilfsmittel* werden Paletten, Gitterboxen, Kisten und Container sowie sonstige Unterstützung im Transport zur Bildung von Ladeeinheiten zusammengefasst (ebd.). Bei den meisten Bauprodukten handelt es sich um Stückgut. Im Folgenden wird daher ausschließlich auf Fördermittel zum Transport von Stückgütern, sogenannten *Stückgutförderern*, eingegangen. Diese unterteilen sich in *Flurförderzeuge* und *Hebezeuge* bzw. *Kransysteme* (Kirchheim & Dibbern, 2019; Leonhardt & Anders, 2019).

Flurförderzeuge

Flurförderzeuge umfassen Hubwagen, Schlepper und Frontstapler und sind bodengeführte, frei bewegliche Transportmittel, die zum Befördern, Ziehen oder Schieben von Lasten verwendet werden (BGV D27, 2002). Gemäß DIN 18 255 werden diese nach der Lenkung durch Gehende, Stand- und Fahrsitzlenkung unterschieden ▶. Hubwagen eignen sich besonders für den horizontalen Transport von kompakten Stückgütern auf Paletten oder in Gitterboxen o.ä. mit einem Gewicht von bis zu zwei Tonnen auf kurzen Strecken (Kirchheim & Dibbern, 2019). Eine vertikale Stapelung der Güter in Regalen ist meist nicht oder nur bedingt möglich. Hierfür eignen sich Hochhubwagen, die auch Hubhöhen von bis zu sechs Metern erzeugen können ▶. Für die Einbringung in mehreren Ebenen von Fördergütern mit einer hohen Masse oder großen Länge gibt es verschiedene Möglichkeiten an Flurförderzeugen wie Schubmast-, Seiten- oder Frontstapler.

▶
DIN 18225:1988-06
Verkehrswege in Industriebauten

▶
Zum Beispiel:
STILL Hochhubwagen
EXV 14 C

Räumliche Einflussfaktoren von Flurförderzeugen

Zweidimensionaler Arbeitsbereich

Arbeitsgangbreite

Umsatzgangbreite

Hubhöhe

Wenderadius

Abmessung des Förderguts

Räumliche Einflussfaktoren sind vor allem die *Arbeitsgangbreite* (A_{st}) und die *Umsatzgangbreite* (siehe Tabelle 3). Die Berechnung der Arbeitsgangbreite, d.h. der Mindestabstand, der für ein problemloses Fahren, Ein- und Ausstapeln in das Regal erforderlich ist, ist in den VDI-Richtlinien festgelegt ▶. Je nach Hersteller beträgt diese bei Schmalganglagern für Schmalgangstapler 1,0 bis 1,7 Meter, bei Breitganglagern für Schubmaststapler circa 2,7 bis 3,0 Meter und bei Breitganglagern für Frontstapler circa 3,7 bis 4,2 Meter. Langgut mit einer Länge von bis zu

▶
VDI-Richtlinie 2198,
S. 5 ff.

25 Metern kann mit sogenannten Seitenstaplern befördert werden. Diese sind in der Lage, sowohl längs- als auch seitwärts zu fahren sowie auf der Stelle zu wenden. Die Arbeitsgangbreite liegt zwischen 1,4 und 2,4 Metern. Die aufgeführten technischen Daten variieren jedoch herstellerbedingt und sind im Einzelfall den Herstellerangaben zu entnehmen. Die aufgeführte Tabelle soll lediglich eine Orientierung bieten.

Die senkrecht verlaufenden Gänge am Anfang und Ende des Arbeitsganges werden als Umsatzgang bezeichnet (Linde GmbH, 2020). Sie verbinden die Arbeitsgänge miteinander. Bei Schmalgang- oder Seitenstaplern übersteigen diese die Breite des Arbeitsganges deutlich, da die Förderzeuge nur im Bereich des Umsatzganges wenden. Auch die Maße der transportierten Bauprodukte haben einen räumlichen Einfluss. Insbesondere bei Langgut ist im Bereich des Umsatzganges auf eine ausreichende Rangierfläche zu achten. Darüber hinaus ist der Bewegungsbereich der Flurförderzeuge sowohl längs als auch quer zum Gang möglichst eben zu halten. Die Breite von Fluchtwegen wird durch die Arbeitsstättenverordnung festgelegt und muss mindestens 0,9 Meter betragen ▶.

Kransysteme

Kransysteme können Fördergüter heben, senken und versetzen und haben dabei eine „nahezu unbegrenzte“ Tragfähigkeit (Leonhardt & Anders, 2019). Sie werden nach DIN EN 15011 in ihrer Bauart unterschieden ▶. Im Bereich der innerbetrieblichen Logistik sind Brückenkranе, Hängekranе, Portalkranе, Auslegerkranе,

▶
DGV (2006) DGUV
Regel 108-007

▶
DIN EN 15011:2020
Kranе - Brückен- und
Portalkranе

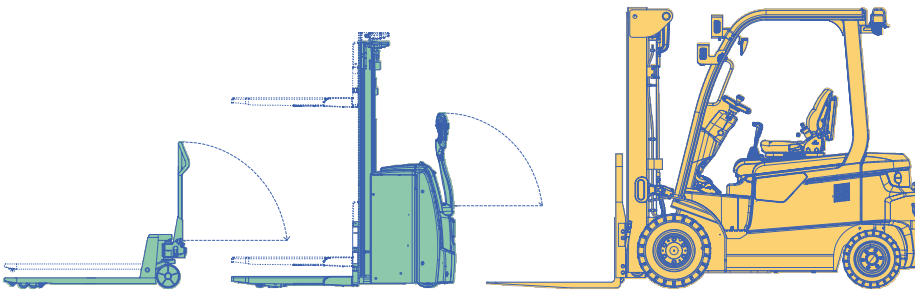


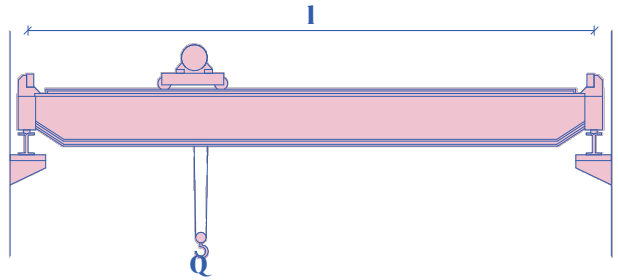
Abbildung 15
Exemplarische Darstellung von Flurförderzeugen: Niederhubwagen (links) Hochhubwagen (mitte) Gabelstapler (rechts). Eigene Darstellung nach Produktdatenblättern der STILL GmbH.

| Fördermitteltyp | Flurförderzeuge | | A _{st} (mm) | W _A (mm) | h (mm) | Q (kg) |
|------------------------------|-------------------|------|----------------------|---------------------|--------|--------|
| Lenkung durch Gehende | Niederhubwagen | min. | 2200 | 1.400 | 115 | 1200 |
| | | max. | 2050 | - | - | 1500 |
| | Hochhubwagen | min. | 2250 | 1400 | 1450 | 1000 |
| | | max. | 2580 | 1880 | 6050 | 2000 |
| Fahrsitzlenkung | Schmalgangstapler | min. | 1080 | 2150 | 4080 | 1000 |
| | | max. | 1700 | 2200 | 13.000 | 1500 |
| | Schubmaststapler | min. | 2700 | 1800 | 4080 | 2000 |
| | | max. | 3000 | 2000 | 13.000 | 2500 |
| | Seitenstapler | min. | 2200 | 1050 | 8500 | 1500 |
| | | max. | 4200 | 2000 | 14.000 | 20.000 |
| | Gabelstapler | min. | 3660 | 2000 | 3000 | 2500 |
| | | max. | 4300 | 2400 | 6500 | 3500 |

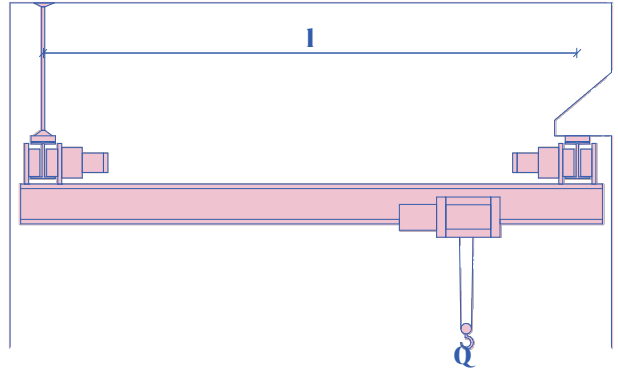
Tabelle 3
Orientierungswerte für Flurförderzeuge aus Produktdatenblättern der Firmen STILL, Linde und HUBTEX

A_{st} Arbeitsgangbreite
W_A Wenderadius
h Hubhöhe
Q Tragfähigkeit

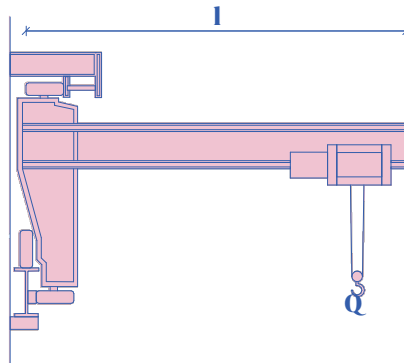
| | | |
|-------------------------|------|-----|
| Einträgerlaufkr. | 18,5 | 10 |
| | 29,5 | 16 |
| Zweiträger- | 39 | 10 |
| | 42 | 120 |



| | | |
|----------------------|------|-----|
| Hängelaufkran | 14 | 3,2 |
| | 17,5 | 8 |
| | 25 | 8 |



| | | |
|---------------------|----|---|
| Wandlaufkran | 12 | 5 |
|---------------------|----|---|



| | | |
|--------------------|----|-----|
| Schwenkkran | 7 | 0,5 |
| | 7 | 1 |
| | 10 | 5 |
| | 10 | 6,3 |

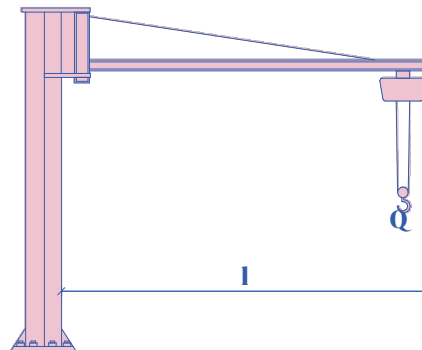


Abbildung 16
Exemplarische Darstellung von Kransystemen. Eigene Darstellung nach Leonhardt & Anders (2019).

Tabelle 4
Orientierungswerte für Kransysteme aus Produktdatenblättern der Firma ABUS

maximale Spannweite d_{max}
maximale Tragfähigkeit Q

Tabelle 5
Genormte Hubhöhen nach VDI-Richtlinie 2388: Krane in Gebäuden - Planungsgrundlagen

| | | | | | | | | | |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Hubhöhe (m) | 4,0 | 5,0 | 6,3 | 8,0 | 10,0 | 12,5 | 16,0 | 20,0 | 25,0 |
|--------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|

Schwenkkrane und Wandlaufkrane von Relevanz (Leonhardt & Anders, 2019). Krane ermöglichen außerdem eine hohe Flexibilität im Bedienraum, die sich durch den flurfreien Transport der Fördergüter ergibt (ebd.). In *Abbildung 16* werden vier Kransysteme dargestellt, die besonders für den Umschlag von Bauprodukten in Circular Construction Hubs von Relevanz sind. Zur Veranschaulichung der Spannweiten, der Ausladung und der Tragfähigkeit werden technische Angaben anhand von Beispielen der Firma ABUS exemplarisch aufgeführt ▶.

Räumliche Einflussfaktoren von Kransystemen

Dreidimensionaler Arbeitsbereich

Spannweite bzw. Ausladung

Hubhöhe

Fördergut

▶ www.abus-kransysteme.de/krane

Durch die Ausführung von Hub-, Fahr- oder Drehbewegungen der Kransysteme entsteht ein dreidimensionaler, räumlicher Arbeitsbereich (Leonhardt & Anders, 2019). Dieser wird sowohl durch die Spannweite der Brücke oder der Ausladung des Arms als auch durch die Hubhöhe definiert. Die Spannweite beträgt je nach Hersteller und Kransystem in der Regel zwischen 10 und 42 Meter, wobei ebenfalls Kransysteme mit einer Spannweite unter 10 Metern existieren. Die Form des Arbeitsbereiches unterscheidet sich je nach Krantyp. Während ein Brückenkran zum Beispiel einen rechteckigen Arbeitsbereich bedienen kann, ist dieser bei Schwenkkränen auf ein rundes Feld beschränkt. Oftmals wird auf eine Kombination verschiedener Kransysteme zurückgegriffen und beispielsweise Lauf-, Schwenk- oder Wandlaufkrane gemeinsam verwendet. Auch in diesem Kontext liefern die VDI-Richtlinien wesentliche Planungsgrundlagen im Bezug auf die gebäudetechnischen Voraussetzungen ▶. Zudem enthalten diese Richtlinien Normen für die Tragfähigkeit sowie die Hubhöhe von Kränen in Gebäuden und Regaleinsatzbreiten (siehe Tabelle 5).

▶ VDI-Richtlinie 2388: Krane in Gebäuden - Planungsgrundlagen

Lagersysteme

Wie bereits erläutert, spielen Lagermöglichkeiten in der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten eine zentrale Rolle innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette. Die Auswahl eines geeigneten Lagersystems oder die sinnvolle Kombination verschiedener Systeme ist somit von großer Bedeutung. Die Lagerung von Fördergütern kann anhand verschiedener Merkmale strukturiert werden. Schmidt et al. (2019) liefern hierfür eine systematische Gliederung nach Funktion, Bauhöhe, Lagergut, Lagerhilfsmittel und Lagermittel. Nicht alle Punkte dieser Gliederung, wie zum Beispiel die Gliederung nach Funktion sind für die Lagerung von Bauprodukten relevant und werden somit nicht weiter ausgeführt. Bei einer Gliederung der Lager nach Bauhöhe lassen sich drei Kategorien unterscheiden: Flachlager, Etagenlager und Hoch- bzw. mittelhohes Lager. In *Flachlagern* werden die Lagergüter auf dem Boden oder in gestapelten Einheiten gelagert (Schmidt et al., 2019). Die Einbringung der Güter erfolgt mittels Hubwagen, Frontstapler oder eines Kransystems (ebd.). Die Funktionsweise von *Etagenlagern* entspricht der von Flachlagern. Die Lagerung erfolgt lediglich auf verschiedenen Stockwerken (ebd.). Ein Lager, dessen Höhe zwischen sieben und zwölf Metern liegt, wird dabei als *mittelhohes Lager* bezeichnet. Ab einer Regalhöhe von zwölf Metern wird der Begriff des *Hochlagers* verwendet (ebd.). Sowohl in mittelhohen Lagern als auch Hochlagern erfolgt die Einbringung

über Schmalgangstapler oder Schubmaststapler (Schmidt et al., 2019). Die Gliederung nach Lagergut umfasst nach Schmidt et al. (2019) folgende Lager-typen: Kleinteilelager, Sperrgutlager, Langgutlager, Hängewarenlager und Blocklager. Nach Lagermittel gliedert sich die Lagerung in Bodenlagerung und Regallagerung. Systeme der *Regallagerung* ermöglichen eine optimierte Nutzung der Raumhöhe. Im Gegensatz zur Bodenlagerung ist zudem eine präzise Zuordnung und eine leichte Zugänglichkeit des Lagerguts möglich. Die Bauarten von Regallagern lassen sich in statisch und dynamisch gliedern. *Statische Regallager* sind dadurch gekennzeichnet, dass die Regale ortsfest sind. Demgegenüber sind die Regale oder das Lagergut in *dynamischen Regallagern* beweglich (Schmidt et al., 2019). Im Folgenden werden ausgewählte Systeme der Regallagerung erläutert, die sich potenziell für die Lagerung von Bauprodukten in Circular Construction Hubs eignen.

Räumliche Einflussfaktoren von Regalsystemen

Gesamttiefe

Feldtiefe

Regalhöhe

Arbeitsgangbreite

Abmessung des Lagerguts

In *Fachbodenregalen* können Kleinteile gelagert werden (siehe Abbildung 19). Die Regale bestehen üblicherweise aus Stahlprofilen und sind hinsichtlich Höhe, Feldbreite und Feldtiefe in verschiedenen Ausführungen verfügbar. Die Feldhöhe kann in der Regel individuell bestimmt werden. In *Tabelle 6* werden zur Orientierung durchschnittliche Angaben aufgeführt, die auf Basis einer Recherche bei verschiedenen Herstellern zusammengestellt wurden ►. Die *Fachlast*, die maximale Traglast eines einzelnen Regalbodens, liegt je nach Hersteller zwischen 85 und 350 Kilogramm. Limitierende Faktoren für das Lagergut stellen daher vor allem die Fachlast, die Feldbreite und die Feldtiefe dar.

►
Zum Beispiel:
BITO Lagertechnik
Schulte Lagertechnik
Estant GmbH
Lagertechnik Becker

Palettenregale eignen sich besonders für die Lagerung von palettiertem Lagergut. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit der Lagerung von nicht palettiertem Lagergut, welches für die Unterbringung in Fachbodenregalen aufgrund der Masse oder der Abmessung nicht geeignet ist. In der Bauteilbörse Basel werden beispielsweise Waschbecken oder WCs ohne Ladehilfsmittel in Palettenregalen gelagert. Limitierende Faktoren für das Lagergut sind sowohl die Feldbreite, und -tiefe als auch die Feldhöhe und die maximale Fachlast. Die Feldbreite orientiert sich am Maß einer Europalette (0,8 x 1,2m) und beträgt in der Regel entweder 2,7 Meter (drei Europaletten) oder 3,6 Meter (vier Europaletten) (Schmidt et al., 2019). Die Feldtiefe liegt üblicherweise bei 1,1 Metern. Weitere Orientierungswerte sind in *Tabelle 7* aufgelistet ►. Die maximale Fachlast liegt in der Regel zwischen 1,5 und 3 Tonnen. Die Regalhöhen beginnen bei 2,5 Metern und reichen bis zu einer Höhe von 40 Metern (Schmidt et al., 2019). Neben der Anordnung als klassisches Gangregal, besteht auch die Möglichkeit einer dynamischen Regallagerung in Verschiebregalen. Hierbei verlaufen die Regale seitlich auf Schienen. Dies erzeugt eine deutliche Steigerung der Lagerkapazität im Vergleich zu klassischen Regalen. Die Einbringung erfolgt bei beiden Formen in der Regel mit Flurförderzeugen.

►
Zum Beispiel:
MECALUX
BITO Lagertechnik
Schulte Lagertechnik
HHL Schwerlastregale

Langgut und schwere oder sperrige Plattenware kann in *Kragarmregalen* gelagert werden (siehe Abbildung 21). Häufigster Einsatzort dieses Regalsystems in der Praxis ist in der verarbeitenden Holzindustrie (Schmidt et al., 2019). Die Regale bestehen in der Regel aus Stahlprofilen und können ein- oder beidseitig mit Kragarmen ausgestattet werden. Die Feldtiefe kann zwischen 0,3 und 1,2 Metern liegen. Sowohl Front- und Seitenstapler als auch Kransysteme eignen sich für die Ein- und Auslagerung (Schmidt et al., 2019). Auch hier besteht die Möglichkeit der dynamischen Regallagerung durch ein Verschiebregal.

Neben den beschriebenen klassischen Lagertypen für Bauprodukte in hohen Stückzahlen oder mit großem Umfang haben sich in bestehenden Bauproduktbörsen Lagertypen entwickelt, die auf die Ausstellung von Bauprodukten in meist geringen Stückzahlen ausgerichtet sind. Ein Beispiel findet sich in der Bauteilbörse Bremen. Hier werden unter anderem Plattenwerkstoffe oder Türen in Reihen aufgestellt gelagert (Abbildung 17). Im Beispiel der Bauteilbörse Bremen wird die Lagerform aus Konstruktionsvollholz hergestellt. Die Feldtiefen und -höhen können somit individuell an das Lagergut angepasst werden. Außerdem ist das Lagergut gut zugänglich und kann genau zugeordnet und besichtigt werden.

Bauprodukte, die in Masse und Umfang die Kapazitäten der beschriebenen Systeme überschreiten, müssen in *Bodenlagern* untergebracht werden. Sie zeichnen sich durch eine hohe Flexibilität, eine gute Erweiterbarkeit sowie geringe Anforderungen an die Fördermittel aus (Schmidt et al., 2019). Dies bedingt insbesondere bei langen Lagerzeiträumen einen hohen Flächenverbrauch (ebd.). In weiterverarbeitenden Holzbauunternehmen sind aufgrund des großen Umfangs der dort vorgefertigten Bauteile und -elemente verschiedene Beispiele für diese Lagerform zu finden. Die Bauprodukte können sowohl vertikal aufgestellt als auch horizontal gelagert werden. Verschiedene Arten der Bodenlagerung von Bauprodukten werden in Anlehnung an Abbildungen aus dem *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau* (Kaufmann et al., 2017) in *Abbildung 18* dargestellt ▶.

▶
vgl. S. 50, S. 60, S. 138 in:
Kaufmann, H., Krötsch,
S., & Winter, S. (2017)
*Atlas Mehrgeschossiger
Holzbau*

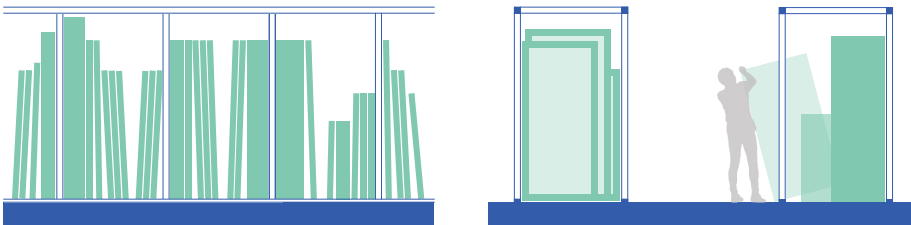


Abbildung 17
Aufgereihete Lagerung
von Bauprodukten

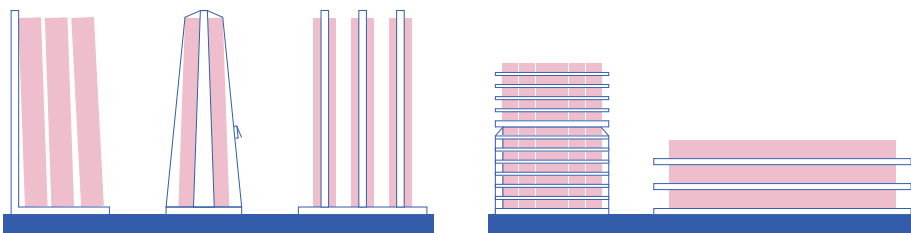
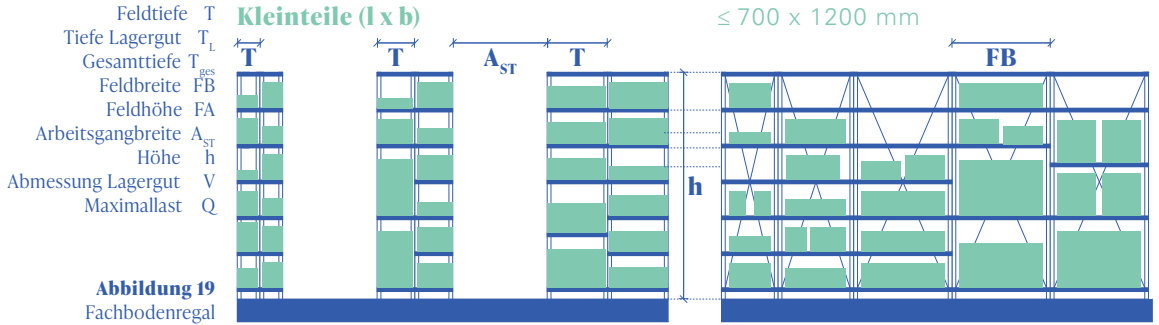
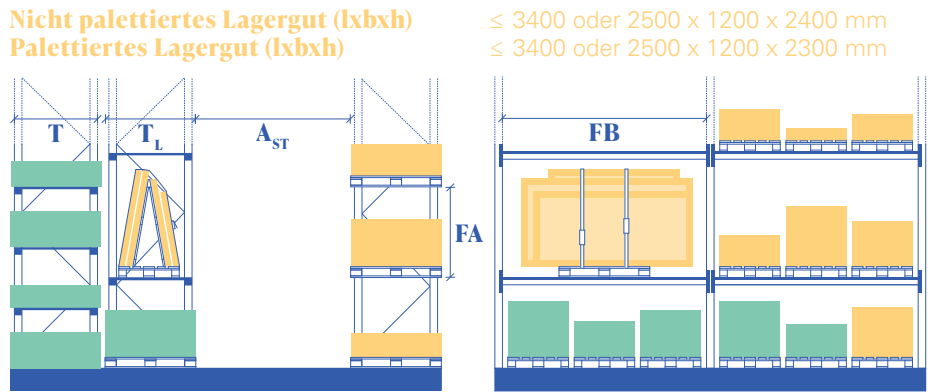


Abbildung 18
Bodenlagerung von
Bauprodukten:
Vertikal (links)
Horizontal (rechts)



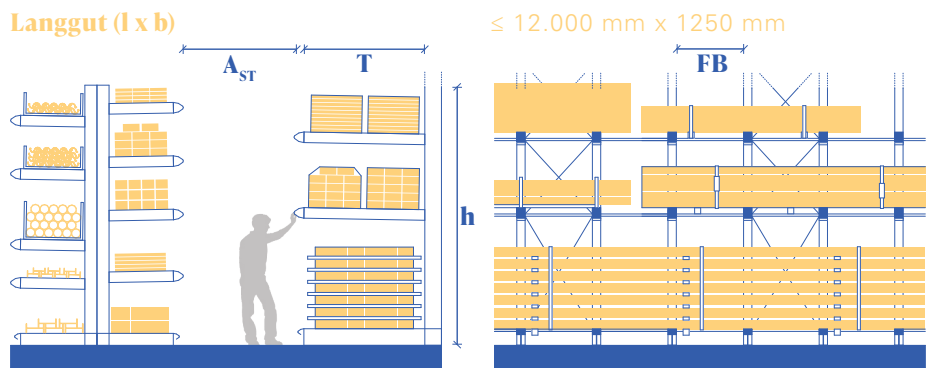
| | |
|-----------|--------------------------|
| Q | $\approx 330 \text{ kg}$ |
| T | 300 bis 1000 mm |
| FB | 750, 1000 oder 1300 mm |
| h | 1800 bis 7500 mm |

Tabelle 6
 Orientierungswerte
 Fachbodenregale



| | | | |
|-----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Q | 3000 kg | T_s | 1100 mm |
| FB | 2700 oder 3600 mm | T_L | 800 oder 1200 mm |
| FA | 1000 bis 2500 mm | h | 13.000 mm |

Tabelle 7
 Orientierungswerte
 Palettenregale



| | |
|-----------|--|
| Q | $\approx 3000 \text{ kg}$ |
| T | 300 bis 1250 mm |
| h | 2000 bis 7500 mm |
| FB | bis 1800 mm (abhängig von Q und Lagergutlänge) |

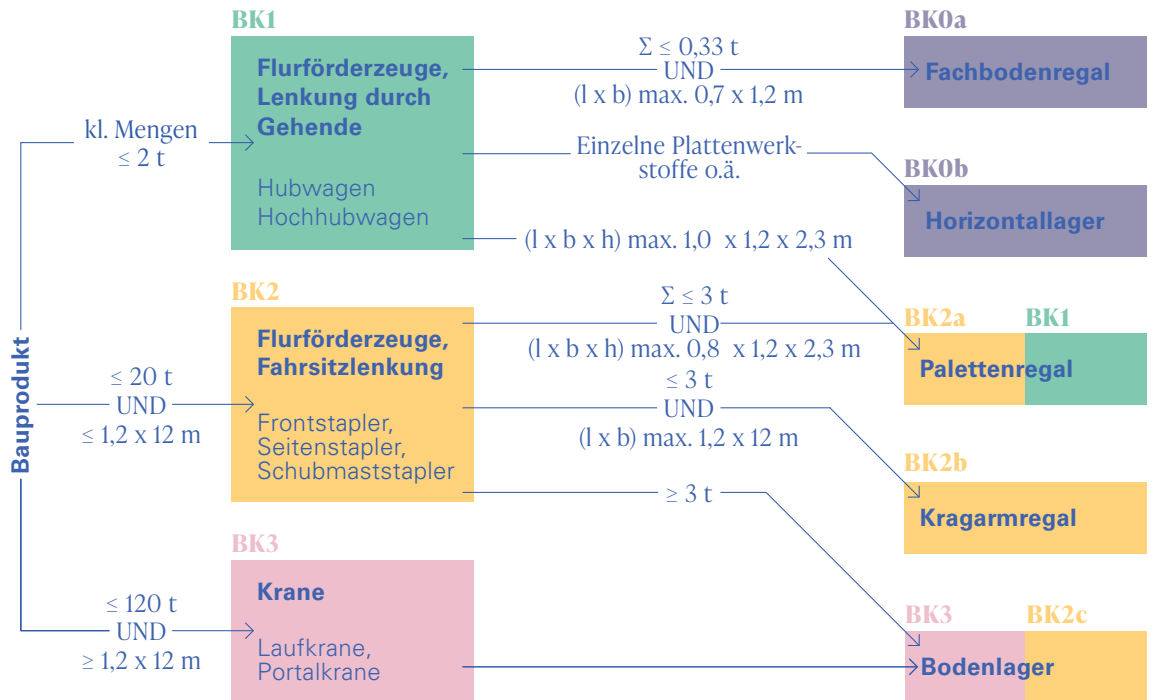
Tabelle 8
 Orientierungswerte
 Kragarmregale

Bauproduktkategorien

Die in diesem Abschnitt erläuterten Flurförderzeuge, Kran- und Lagersysteme zeigen, dass bereits verschiedene innerbetriebliche Logistiksysteme existieren, die für Circular Construction Hubs herangezogen werden können. In Anbetracht der Vielzahl an Bauprodukten, die sich hinsichtlich Masse und Abmessung erheblich unterscheiden können, ist davon auszugehen, dass je nach Circular Construction Hub verschiedene Logistiksysteme erforderlich werden, die gegebenenfalls auch kombiniert werden müssen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt können weder allgemeine Informationen noch spezifische Eigenschaften der Bauprodukte in zukünftigen Wiederverwendungsprozessen mit Sicherheit vorausgesagt werden. Dies erfordert die Einteilung eines Logistiksystems, unabhängig von konkreten Bauprodukten. Im Gegensatz dazu liegen für die Fördermittel und die Lagersysteme detaillierte technische Angaben vor. Diese umfassen neben den räumlichen Anforderungen der einzelnen Logistiksysteme auch die Grenzwerte zu Eigenschaften des Lagerguts in Form von maximaler Last und Abmessung. Dabei ist zu beachten, dass sich beide Angaben nicht auf das einzelne Bauprodukt beziehen, sondern auf die jeweilige Ladeeinheit.

Basierend auf diesen Eigenschaften wird folgend eine Einteilung der erläuterten Logistiksysteme in Bauproduktkategorien (BK) vorgenommen, welche in *Abbildung 22* dargestellt werden. Dieses System ermöglicht die Zuordnung jeglicher Bauprodukte innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette zu einer Bauproduktkategorie und somit zu einem Logistiksystem. Dieses besteht aus der Kombination eines Fördermittels mit einem Lagersystem. In der Abbildung wird dabei ersichtlich, dass Bauprodukte mit entsprechend verschiedenen Eigenschaften zwar mit unterschiedlichen Fördermitteln bewegt werden müssen, aber trotzdem in dem gleichen Lagersystem zwischengelagert werden können. Insbesondere in Circular Construction Hubs, wo potenziell verschiedene Logistiksysteme kombiniert werden, stellen Fördermittel daher den räumlich größten limitierenden Faktor dar. Ist kein Platz für den internen Förderweg vorhanden, kann das Bauprodukt nicht zum Zwischenlager gelangen, selbst wenn dieses wiederum die Anforderungen erfüllen könnte. Im Gegensatz zu den von Schmidt et al. (2019) vorgestellten Gliederungen von Lagersystemen werden die Bauproduktkategorien daher auf Basis der Fördermittel strukturiert. Gemäß DIN 18 255 wurden diese nach Flurförderzeugen mit Lenkung durch Gehende (BK1), Flurförderzeugen mit Stand- und Fahrsitzlenkung (BK2) und Kransystemen (BK3) eingeteilt. Bauprodukte, die auf Grund einer geringen Menge, des Umfangs, der Masse oder der Lagerart ohne Flurförderzeuge vertikal eingebracht werden können, werden in die BK0 eingestuft. Dies betrifft beispielsweise Klein- oder Ersatzteile, die in Fachbodenregalen zwischengelagert werden. Anhand der Bauprodukteigenschaften erfolgt innerhalb der Bauproduktkategorien eine weitere Zuordnung zu den in diesem Abschnitt vorgestellten Lagersystemen. In Summe entstehen so sieben Bauproduktkategorien: *BK0a*, *BK0b*, *BK1*, *BK2a*, *BK2b*, *BK2c* und *BK3*. Diese Kategorien werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit weiter untersucht. Zu diesem Zweck wird zunächst eine beispielhafte Einteilung von Bauprodukten aus aktuellen Wiederverwendungsprozessen in die Bauproduktkategorien vorgenommen. Im dritten Kapitel werden die Bauproduktkategorien dann den verschiedenen Circular Construction Hubs zugeordnet und räumliche Anforderungen abgeleitet, die aus der Kombination der Fördermittel und der Lagersysteme entstehen.

Seite 49, Abbildung 22
Einteilung der Bauproduktkategorien anhand der Ladeeinheit des Bauproduktes in Form von Masse und Abmessung



2.3 | Bauprodukte

Wie bereits in *Abschnitt 2.2* erläutert, existieren weder allgemeine noch spezifischen Daten zu Eigenschaften von zukünftigen Bauprodukten in Wiederverwendungsprozessen. Folglich können zukünftig anfallende Bauprodukte in Circular Construction Hubs nicht benannt werden. Um dennoch eine Vorstellung von Bauprodukten innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette zu vermitteln und die Einteilung der Bauproduktkategorien anhand eines Anwendungsbeispiels zu veranschaulichen, werden in diesem Abschnitt beispielhaft Bauprodukte dokumentiert und analysiert.

Hierfür wurden verschiedene Arten von Quellen untersucht: bereits gebaute Beispiele und Pilotprojekte, verfügbare Bauprodukte auf Plattformen und in Online-shops sowie in Theorie und Forschung aufgeführte Bauprodukte für die Wiederverwendung. Auf diese Weise wurden Beispiele dafür dokumentiert, welche Bauprodukte in der Vergangenheit bereits wiederverwendet wurden, welche momentan angeboten werden und welche in Zukunft hinzukommen könnten. Im Rahmen der Kategorie „verfügbare Bauprodukte“ wurden im Zeitraum von zwei Monaten, im April und Mai 2024, die in *Abschnitt 1.5* aufgeführten Plattformen und Onlineshops durchsucht. Aufgrund der Variation des Angebots ist anzunehmen, dass so zwar eine Übersicht als Momentaufnahme erstellt werden konnte, jedoch keineswegs eine vollständige Liste von Bauprodukten, die sich bereits für Wiederverwendungsprozesse eignen. In den übrigen beiden Kategorien wurde eine umfassende Recherche durchgeführt und Ergebnisse aus Literatur, Forschung und Praxis zusammengetragen.

Die ermittelten Bauprodukte wurden in tabellarischer Form dokumentiert und nach dem Schichtmodell von Brand (1995) in Grundstück, Konstruktion, Gebäudehülle, Technische Ausrüstung, Ausbau und Ausstattung strukturiert. Im Rahmen der vorgenommenen Differenzierung wurden die Bauprodukte innerhalb der genannten Schichten zur Übersichtlichkeit nach den von Graf & Birk et al. (2022) definierten Ebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken unterteilt. Im Anschluss wurden die in *Abschnitt 2.2* definierten Bauproduktkategorien zugeordnet. Es ist zu beachten, dass diese Zuordnung auf Schätzungen basiert. Quantitative Vorkommnisse der Bauprodukte waren ebenfalls nicht Teil der Betrachtung. Die vollständigen Tabellen können dem Anhang entnommen werden ▶.

▶ S. 112
Anhang

Analyse

Die in der Tabelle ermittelten Informationen wurden in *Abbildung 23* und *24* in grafischer Form aufbereitet, um den Zusammenhang zwischen Gebäudeschicht, Bauproduktkategorie und Quellentyp zu veranschaulichen. In *Abbildung 23* wird die Verteilung der Quellentypen auf die Gebäudeschichten dargestellt. Sie verdeutlicht, dass ein Großteil der Bauproduktbeispiele aus der Theorie sich auf die Konstruktion konzentriert. Ein weiterer, großer Teil der Bauproduktbeispiele aus dem Verkauf ist den Schichten der Gebäudehülle, des Ausbaus und der Ausstattung zuzuordnen. Dies ist insbesondere im Kontext der Tatsache von Relevanz, dass die Konstruktion bzw. der Rohbau einen signifikanten Anteil am durch einen Neubau verursachten CO₂-Ausstoß haben (Rosen, 2021a). Die Abbildung zeigt jedoch ebenfalls, dass die Wiederverwendung von Bauprodukten aus der Schicht der Konstruktion in der Praxis bereits stattgefunden hat. In *Abbildung 24* wird die relative Verteilung der Bauproduktkategorien auf die Gebäudeschichten dargestellt. In Anbetracht der variablen logistischen Anforderungen, die sich

Abbildung 23
Verteilung der Quellentypen auf die Gebäudeschichten

Praxis ———
Verkauf - - - -
Theorie - - - -

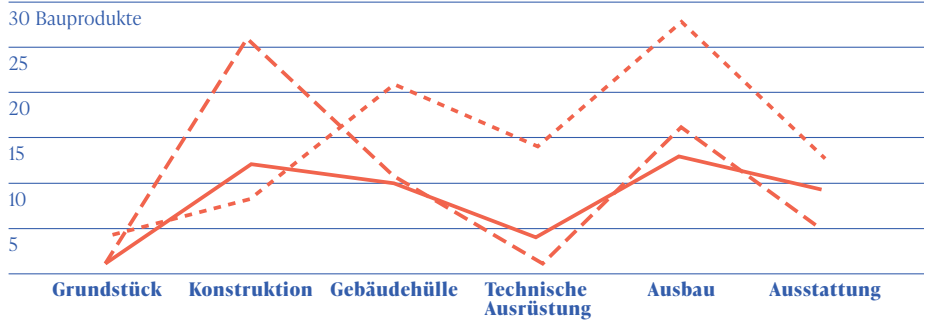
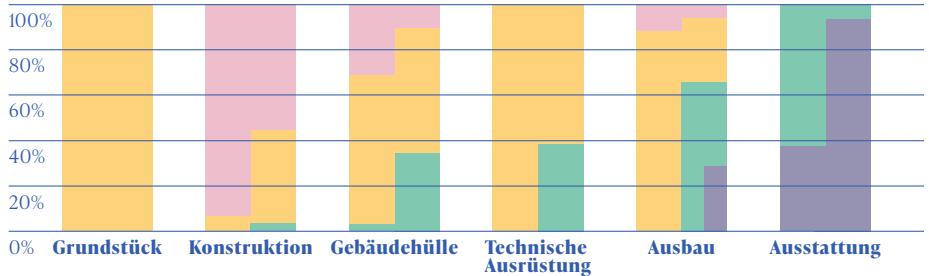


Abbildung 24
Relative Verteilung der Bauproduktkategorien auf die Gebäudeschichten



aus der Ladeinheit des Bauprodukts ergeben, wurden zum Teil ein bis drei mögliche Bauproduktkategorien angegeben. Die BK3 kommt insbesondere in der Schicht der Konstruktion und der Gebäudehülle vermehrt vor. Die BK2 ist hingegen mit Ausnahme der Ausstattung auf alle Schichten verteilt, während BK1 und BK0 vor allem im Ausbau und der Ausstattung liegen. Werden die beiden Abbildungen überlagert, so fällt auf, dass insbesondere die unteren Bauproduktkategorien BK0 bis BK2 einen Großteil der Bauprodukte enthalten, die zum Zeitpunkt der Recherche in bestehenden Infrastrukturen verfügbar waren. Dies bestätigt die Hypothese, dass die derzeitige Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten, inklusive der in *Abschnitt 2.1* betrachteten Beispiele, nicht für alle Bauprodukte ausgelegt ist, die potenziell in Zukunft wiederverwendet werden könnten. An den bestehenden Beispielen kann sich somit zwar orientiert werden, für eine zukünftig großmaßstäbliche Wiederverwendung von Bauprodukten müssen diese Konzepte jedoch hochskaliert werden und an die Anforderungen aller Bauproduktkategorien angepasst werden.

Abbildung 25 zeigt eine exemplarische Einteilung der Gebäudeschichten in die Bauproduktkategorien basierend auf den in *Abbildung 23 und 24* dokumentierten Ergebnissen. Wie bereits erläutert, stellt diese Zuordnung lediglich ein Anwendungsbeispiel der Bauproduktkategorien dar und basiert auf einer geschätzten Zuordnung der Bauprodukte. Eine empirische Überprüfung war im Hinblick auf den Umfang dieser Arbeit nicht möglich.

Abbildung 25
Zuordnung der Gebäudeschichten in die Bauproduktkategorien



2.4 | Aufbereitung

Die Aufbereitung der Bauprodukte stellt einen integralen Bestandteil des Wiederverwendungsprozesses dar. Im Rahmen der Recherche konnte jedoch lediglich eine geringe Anzahl von Publikationen identifiziert werden, die sich im Detail mit dieser Thematik auseinandersetzen. Dies sind: *Material Sheets: Reuse Toolkit* von Rotor (2021), *Bauteile wiederverwenden* von Stricker et al. (2021) und *Besser als neu* von Ilka & Vaner (2023). Im Folgenden wird auf der Grundlage der genannten Publikationen ein Überblick über die Thematik gegeben, um weitere Anforderungen an Circular Construction Hubs identifizieren zu können. Beispiele für die Aufbereitung werden im Hinblick auf den Umfang dieser Arbeit auf konstruktive Holz- und Stahlprodukte reduziert.

Obgleich Verfahren der Aufbereitung in erheblichem Maße von dem jeweiligen Bauprodukt abhängig sind, lassen sich in den betrachteten Quellen allgemeine Parallelen im Wiederverwendungsprozess feststellen. Die Aufbereitung von Bauprodukten umfasst demnach die Prüfung, die Reinigung, die Reparatur sowie die weitere Verarbeitung und Zertifizierung (vgl. Rotor, 2021; Stricker et al., 2021). In einer Vielzahl der beschriebenen Fälle erfolgt ein Teil der Prüfung bereits vor der Demontage. Dies beinhaltet beispielsweise eine visuelle Inspektion, bei der sichtbare Bauproduktsschäden wie Pilzbefall (Holz) oder Oberflächenrost (Stahl) und Verschleißerscheinungen festgestellt werden können. Des Weiteren können zerstörende und zerstörungsfreie Prüfmethoden angewendet werden, um mechanische Eigenschaften wie die Zugfestigkeit oder Widerstandsfähigkeit zu evaluieren (Rotor, 2021). Mittels chemischer Tests kann die Materialzusammensetzung, das Vorhandensein schädlicher Substanzen wie Asbest oder Blei sowie bei Bauprodukten aus Stahl die Schweißbarkeit ermittelt werden. Bei Bauprodukten aus Holz ist zudem eine Feuchtigkeitsprüfung erforderlich (ebd.). Die Bandbreite der anwendbaren Prüfmethoden ist äußerst vielfältig und komplex und variiert in Abhängigkeit des zu untersuchenden Bauprodukts. Eine umfassende und detaillierte Darstellung verschiedener Aufbereitungs- und Wiederverwendungsprozesse würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, für eine Vielzahl von Bauprodukten kann sie jedoch unter anderem Rotor (2021) entnommen werden.

Die Prüfung der Bauprodukte fällt nicht zwangsläufig in den Zeitraum der zirkulären Wertschöpfungskette und spielt daher in der gebauten Infrastruktur eine untergeordnete Rolle. Demgegenüber stehen die Reinigung, die Reparatur sowie die weitere Verarbeitung der Bauprodukte im Fokus der zirkulären Wertschöpfungskette. Auch hierfür liefert Rotor (2021) einen umfassenden Überblick. Der Aufbereitungsprozess von Bauprodukten aus Holz, wie beispielsweise Konstruktionsvollholz oder Brettschichtholz, beginnt in der Regel mit dem Entfernen von Metallelementen wie Schrauben oder Nägeln. Hierbei können Metalldetektoren bei der Lokalisierung helfen und Werkzeuge wie Zangen oder pneumatischen Nagelpistolen verwendet werden. Durch Schleifen, Hobeln oder Sandstrahlen werden die Oberflächen des Bauproduktes je nach Bedarf gereinigt und alte Lacke oder Anstriche entfernt. Zudem kann eine natürliche oder künstliche Trocknung der Bauprodukte notwendig sein, um den Feuchtegehalt zu reduzieren. Sind die Bauprodukte bereits in eine Planung integriert, werden sie im Anschluss weiterverarbeitet und auf die neue Nutzung vorbereitet. Dies kann die Veränderung des Querschnittes sein, aber auch der Zuschnitt, das Fräsen oder die Montage neuer konstruktiver Fügepunkte. Hat das Holzbauprodukt seine zukünftige Form

erreicht, wird es visuell oder mechanisch klassifiziert. Auf diese Weise werden beispielsweise Dauerhaftigkeitsklasse oder die mechanische Widerstandsfähigkeit untersucht. Im nächsten Schritt werden, wenn nötig, Reparaturen durchgeführt. Auch mechanische Reparaturen zur Steigerung der Tragfähigkeit sind möglich. Zuletzt kann die Oberfläche der Bauprodukte mit Wachs, Öl, Beize oder Farbe behandelt werden. Bauprodukte aus Stahl, wie beispielsweise Profilstahl, durchlaufen im Rahmen des Wiederverwendungsprozesses unter Anwendung anderer Methoden ähnliche Schritte. Sofern erforderlich, werden zunächst alte Oberflächenbehandlungen entfernt. Im Anschluss werden die Stahlprofile für den Wiedereinbau vorbereitet und an die Planung angepasst. Wenn erforderlich umfasst dies einen Zuschnitt. Die Wiederverwendung der Profile in ihrer ursprünglichen Länge ist dabei besonders ressourcenschonend, da auf diese Weise wenig oder kein Verschnitt entsteht (Massmünster, 2021). Auch das Anschweißen neuer Fügepunkte sowie Bohren oder Biegen der Profile kann Teil der Aufbereitung sein (Rotor, 2021). Zuletzt werden, wenn nötig, neue Oberflächenbehandlungen aufgetragen (ebd.). Wie das Beispiel des K.118 zeigt, ist dies in vielen Fällen nicht erforderlich, sodass die primäre Behandlung des Bauproduktes ebenfalls wiederverwendet werden kann (Massmünster, 2021).

Ilka & Vaner (2023) beschreiben die erläuterten Schritte der Aufbereitung in „Besser als neu“ anhand der Fassadensanierung eines Basler Bürogebäudes. Die Demontage, Reinigung, Reparatur, Pflege und der Wiedereinbau der Fassade aus Aluminiumblechen wird ausführlich beschrieben. Besonderheit ist, dass der Aufbereitungsprozess vor Ort durchgeführt wurde. Dies konnte zu einer zusätzlichen Reduktion der Transportemissionen beitragen. Für die Reinigung der Aluminiumbleche wurde im Untergeschoss eine sog. „Waschstraße“ eingerichtet. Dort wurde hartnäckiger Schmutz zunächst mit Schaber, Bürste oder von Hand entfernt. Im Anschluss wurde der Dreck mit Hilfe von Putzpaste und Schwamm von Hand abgespült. Die Fensterrahmen wurden hingegen mit Staubsauger, Schraubenzieher und Lappen außerhalb der „Waschstraße“ gereinigt.

Erkenntnisse

Die Entwicklung von Aufbereitungsprozessen für Bauprodukte befindet sich erst in den Anfängen. Die Aufbereitungsverfahren sind daher nicht standardisiert, sondern in der Regel individuell auf das jeweilige Bauprodukt ausgerichtet und werden situativ bestimmt. Aus diesem Grund stellt dieser Prozess in der Regel eine zeitintensive Handarbeit dar (Cortés & Capelle, 2021). Die Aufbereitung in großmaßstäbliche Wiederverwendungsprozessen erfordert daher neue Methoden. Wie bereits in *Abschnitt 2.1* erläutert, gibt es bereits verschiedene Beispiele für die Aufbereitung von Bauprodukten in Unternehmen, die auf die Produktion primärer Bauprodukte ausgerichtet sind. Bestehende Strukturen eignen sich somit potenziell auch für die Aufbereitung von Bauprodukten in der Wiederverwendung. Ein Vorbild könnten hierbei Produktionshallen zur Vorfertigung im industrialisierten Holzbau darstellen. Dieser hat sich in den vergangenen Jahrzehnten von der Handarbeit hin zu einer industrialisierten Vorfertigung von Bauteilen und -elementen entwickelt. Huß (2017a, 2017b) erläutert im *Atlas mehrgeschossiger Holzbau* die Produktions- und Vorfertigungsprozesse im industriellen Holzbau. Diese zeichnen sich unter anderem durch einen fest definierten Produktionsablauf aus, der sich räumlich in der Anordnung von Produktionsstationen innerhalb einer

Fertigungsstraße manifestiert. Diese wird oftmals in ein oder mehreren Werkhallen angeordnet. Die additive Fertigung von Tafelbauwänden beginnt beispielsweise mit liegenden Elementen auf sogenannten *Riegelwerkstationen*. Hierbei handelt es sich um *Montagetische*, auf denen die Elemente unter ergonomischen Arbeitsbedingungen montiert und bewegt werden können. *Schmetterlingsmontagetische* ermöglichen zusätzlich das Wenden der Elemente, sodass eine beidseitige Bearbeitung möglich ist. Die für den jeweiligen Prozessschritt erforderlichen Geräte und Maschinen werden entsprechend an den Montagetischen angeordnet. Zusätzlich gibt es Flächen, auf denen Arbeiten an aufgestellten Elementen durchgeführt werden können, wie zum Beispiel die Fenstermontage. Auf Lagerflächen innerhalb der Halle können fertiggestellte Elemente zudem zwischengelagert werden. Zwischen den Stationen können die Bauprodukte mithilfe eines Kransystems bewegt werden ►. In *Abbildung 26* wird ein beispielhafter Grundriss einer Werkhalle dargestellt.

► S. 42
Kransysteme

Übertragen in den Kontext der großmaßstäblichen Aufbereitung innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette könnten Bauprodukte anstelle einer Fertigungsstraße in einer *Reparaturstraße* aufbereitet werden. Wie bereits erläutert, sind die einzelnen Prozessschritte entlang der Reparaturstraße dabei maßgeblich von dem Material des jeweiligen Bauproduktes abhängig. Während die Reparaturstraße von Bauprodukten in Holzbauweise potenziell einem unten dargestellten Aufbau entsprechen könnte, bestehen bei anderen Bauprodukten insbesondere auf maschineller Ebene grundlegend andere Anforderungen.

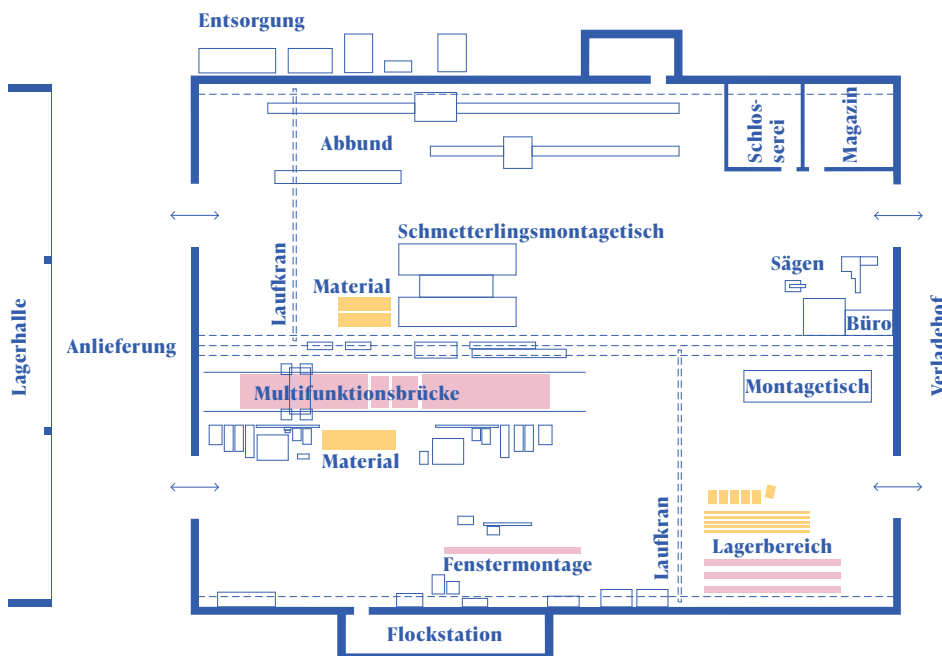


Abbildung 26
Beispielhafter Grundriss einer Werkhalle des Holzbauunternehmens Gump & Maier, Biswangen (DE). Eigene Darstellung nach Huß (2017a).

3 | Ableitung

In diesem Kapitel wird aufbauend auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Recherche und Vertiefung ein Konzept für die gebaute Infrastruktur zur großmaßstäblichen Wiederverwendung von Bauprodukten abgeleitet. Zunächst liegt der Fokus auf einer ganzheitlichen Betrachtung der Bauproduktkategorien und Circular Construction Hubs im Zusammenhang mit den zirkulären Wertschöpfungsketten. Als Grundlage werden verschiedene Arten von Circular Construction Hubs definiert und der zirkulären Wertschöpfungskette zugeordnet. Anschließend werden basierend auf den Schnittstellen mögliche Wechselwirkungen der verschiedenen Hubs in Form eines zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes abgeleitet. Daraufhin wird sich mit den definierten Funktionen der Hubs auf Gebäudeebene auseinandergesetzt. Hierfür wird ein Raumprogramm abgeleitet sowie anhand resultierender räumlicher Anforderungen exemplarische Raumtypologien bestimmt. Dies soll, wie im weiteren Verlauf in Kapitel 4, unter anderem die Untersuchung von Bestandsgebäuden hingehend ihres räumlichen Potenzials als Circular Construction Hub ermöglichen.



3.1 | Zirkuläres Wertschöpfungsnetzwerk

Tsui (2023) leitet in ihrer Dissertation anhand einer raumplanerischen Analyse verschiedene Arten von Circular Construction Hubs ab. Im Folgenden wird sich an dieser Einteilung orientiert, wobei die Definitionen an den Kontext der Wiederverwendung von Bauprodukten und der zirkulären Wertschöpfungskette angepasst werden. Im Zentrum stehen die in den vorangegangenen Abschnitten herausgearbeiteten räumlichen Einflussfaktoren auf programmatischer und funktionaler Ebene. Darüber hinaus werden mögliche Schnittstellen zwischen den Circular Construction Hubs betrachtet und die definierten Bauproduktkategorien mit der gebauten Infrastruktur verknüpft.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Recherche und Vertiefung ergibt aufbauend auf Tsui (2023) folgende Definitionen für Circular Construction Hubs **Craft Center** sind Kulturproduktionszentren mit einem Fokus auf der Aufbereitung von kleinmaßstäblichen Bauprodukten (BK0) wie Möbeln oder Haushaltsgegenständen durch die Besucher*innen. Das Angebot richtet sich an die Öffentlichkeit und soll diese für die Kreislaufwirtschaft sensibilisieren. Als öffentliche Nutzung bieten Craft Center das Potenzial, kommerzfreie und gemeinschaftliche Kulturräume für die Bewohner*innen der Stadt oder Kommune zu schaffen.

Bauproduktbörsen sind auf den Verkauf kleiner bis mittelgroßer Bauprodukte in der Gebäudeschicht des Ausbaus und der Ausstattung (BK0 und BK1) ausgerichtet. Hierfür werden die Bauprodukte auf einer Verkaufsfläche ausgestellt. Zielgruppe sind sowohl Privatpersonen als auch Planerinnen und Planer. Die Bauproduktjagd und die Demontage wird von Angestellten der Bauproduktbörse durchgeführt. Wie diverse Beispiele zeigen, eignen sich Bauproduktbörsen ideal für Social Urban Mining ►. Die zukünftige Nutzung der Bauprodukte ist dabei vor der Demontage zum größten Teil nicht bekannt. Die Aufbereitung wird in der Bauproduktbörse selbst durchgeführt, eine Auslagerung an externe Fachunternehmen ist jedoch möglich. Bauproduktbörsen verfügen neben der Verkaufsfläche über eine begrenzte Lagerkapazität. Wenn nötig, müssen Bauprodukte daher in Urban Mining Hubs zwischengelagert werden.

► S. 22
Infrastruktur

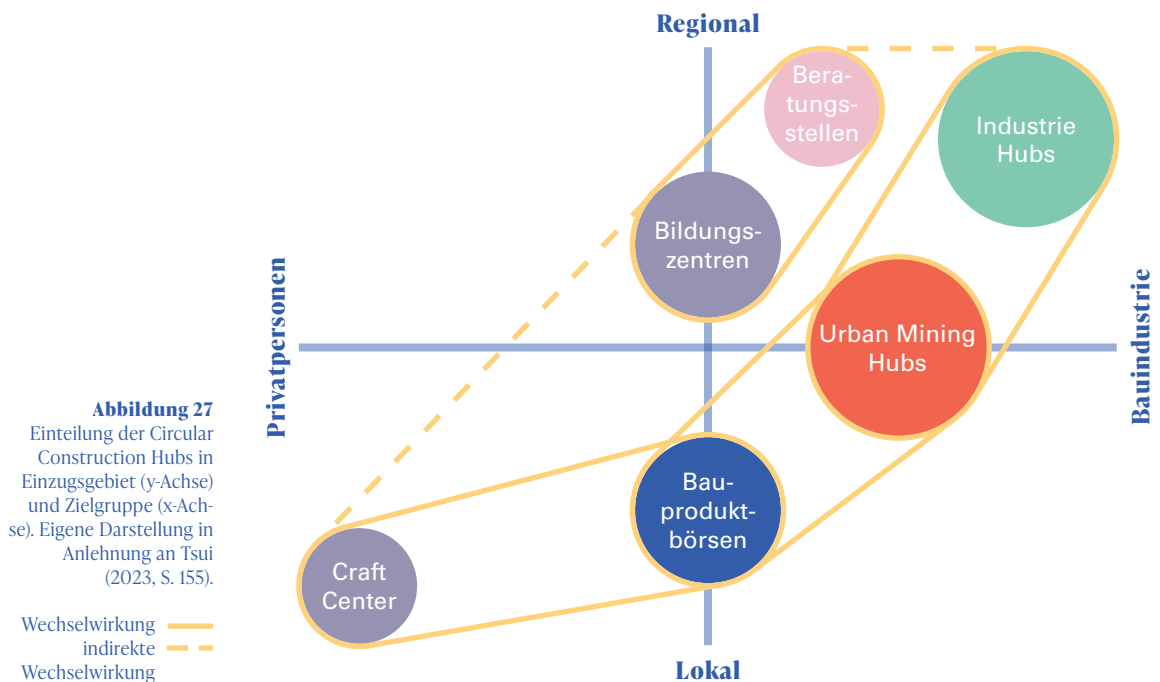
Urban Mining Hubs sind nicht öffentlich zugänglich. Sie dienen als logistischer Umschlagplatz für alle Bauprodukte innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette. Dementsprechend spielen großflächige Lagermöglichkeiten für Bauprodukte aller Bauproduktkategorien zur Überbrückung von Planungszeiträumen eine übergeordnete Rolle.

Industrie Hubs ermöglichen die industrielle Aufbereitung von Bauprodukten der BK2 und BK3. In Anlehnung an bestehende Strukturen in der Bauindustrie ist die Spezialisierung auf bestimmte Baustoffe potenziell sinnvoll. Dies ist in verschiedenen Formen möglich. Aufbereitungsprozesse können sowohl von spezialisierten Aufbereitungsunternehmen als auch von Herstellern mit Rücknahmesystemen oder von hybriden Unternehmen, welche primäre Bauprodukte neu produzieren und sekundäre Bauprodukte aufbereiten, ausgeführt werden. Die Demontage erfolgt durch spezialisierte Demontageunternehmen, während die zukünftige Nutzung meist bereits vor der Demontage bekannt ist. Somit besteht das Potenzial, die aufbereiteten Bauprodukte bereits auf die neue Nutzung vorzubereiten. Zwischenlagerbedarfe werden ebenfalls an Urban Mining Hubs übertragen.

In Ergänzung zu den bereits erläuterten Hubs, die die zirkuläre Wertschöpfungskette auf funktionaler Ebene ermöglichen, werden in dieser Arbeit zwei weitere Arten von Circular Construction Hubs eingeführt: **Bildungszentren** und **Beratungsstellen**. Diese zielen auf den Abbau wissensbedingter Barrieren durch die Aufklärung über Wiederverwendungsprozesse von Bauprodukten sowie Möglichkeiten zur Aus- und Fortbildung ab. Dabei bilden nicht nur Akteur*innen aus der Baubranche eine potenzielle Zielgruppe, sondern auch Privatleute. Durch die Vernetzung verschiedener Akteur*innen aus der Bauindustrie und das Einbeziehen der Öffentlichkeit soll zudem ein allgemeines Bewusstsein für die Thematik geschaffen werden. Darüber hinaus können Beratungsstellen eine konkrete Unterstützung im Planungsprozess ermöglichen. Bildungszentren und Beratungsstellen erweitern somit den primär wirtschaftlich-funktionalen Fokus der bereits erläuterten Infrastrukturen um sozio-kulturelle Faktoren. Dies ermöglicht die Integration wichtiger Wegbereiter für den Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten innerhalb des Themenfelds „Wissen“ in die gebaute Infrastruktur ▶.

S. 28 ▶
Erkenntnisse

In *Abbildung 27* werden die erläuterten Circular Construction Hubs in Hinblick auf das jeweilige Einzugsgebiet sowie die definierte Zielgruppe grafisch zugeordnet. Die Definitionen zeigen, dass die verschiedenen Circular Construction Hubs dabei nicht nur für sich selbst stehen, sondern Schnittstellen aufweisen. Wird die gebaute Infrastruktur mit den in *Abschnitt 2.1* analysierten zirkulären Wertschöpfungsketten verknüpft, entsteht ein umfassendes Netzwerk aus Circular Construction Hubs. Dieses *zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerk* wird in *Abbildung 28* auf Seite 61 dargestellt. Hierbei werden die Circular Construction Hubs grafisch



nach direkter und indirekter Funktion innerhalb des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes unterschieden. Bauproduktbörsen, Urban Mining Hubs und Industrie Hubs sind direkt an den Ausführungsprozessen der zirkulären Wertschöpfungskette beteiligt. Craft Center, Bildungszentren und Beratungsstellen hingegen tragen durch ihre Aufklärungsarbeit zu einer indirekten Förderung der Wiederverwendungsprozesse bei, indem potenzielle Akteur*innen mobilisiert und gefördert werden. Diese können dann wiederum Wiederverwendungsprozesse anleiten oder zu einer erfolgreichen Durchführung beitragen. In konzeptioneller Hinsicht umschließen Craft Center sowohl direkte als auch indirekte Funktionen. In Anbetracht des geringen Umfangs der dort aufbereiteten Bauprodukte im Gesamtkontext der Bauindustrie ist deren Rolle jedoch als untergeordnet zu betrachten.

Darüber hinaus wird dem zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk die in *Abschnitt 2.2* erstellten Bauproduktkategorien zugeordnet. Der Fokus der Craft Center liegt primär auf der BK0, da hier vor allem Möbel und Haushaltsgegenstände aufbereitet werden. Der Verkauf dieser Produkte erfolgt außerhalb des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes, beispielsweise über Gebrauchtmöbelhäuser. In Bauproduktbörsen werden in erster Linie kleinmaßstäbliche Bauprodukte in geringen Mengen umgeschlagen. Folglich werden Bauprodukte der BK0 und BK1 an diesen Circular Construction Hub geliefert. Das analysierte Beispiel der Bauteilbörse Basel demonstriert jedoch, dass auch größere Mengen eines Bauproduktes über Bauproduktbörsen vermittelt werden können. In diesem Fall wird lediglich ein kleiner Teil auf der Verkaufsfläche ausgestellt und der Rest zwischengelagert. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, dass Bauprodukte der BK1 in Industrie Hubs aufbereitet werden müssen. Zwischen Bauproduktbörsen, Urban Mining Hubs und Industrie Hubs bestehen somit verschiedene Schnittstellen. Die zirkuläre Wertschöpfungskette der BK2 und BK3 fokussiert sich in erster Linie auf die Urban Mining Hubs und Industrie Hubs. In Anbetracht der jeweiligen Ausrichtung auf die Logistik und Aufbereitung stehen auch diese Hubs in einer Wechselwirkung zueinander. Dementsprechend wird deutlich, dass insbesondere den Urban Mining Hubs eine Schlüsselrolle zufallen, da diese als logistisches Bindeglied der Hubs fungieren.

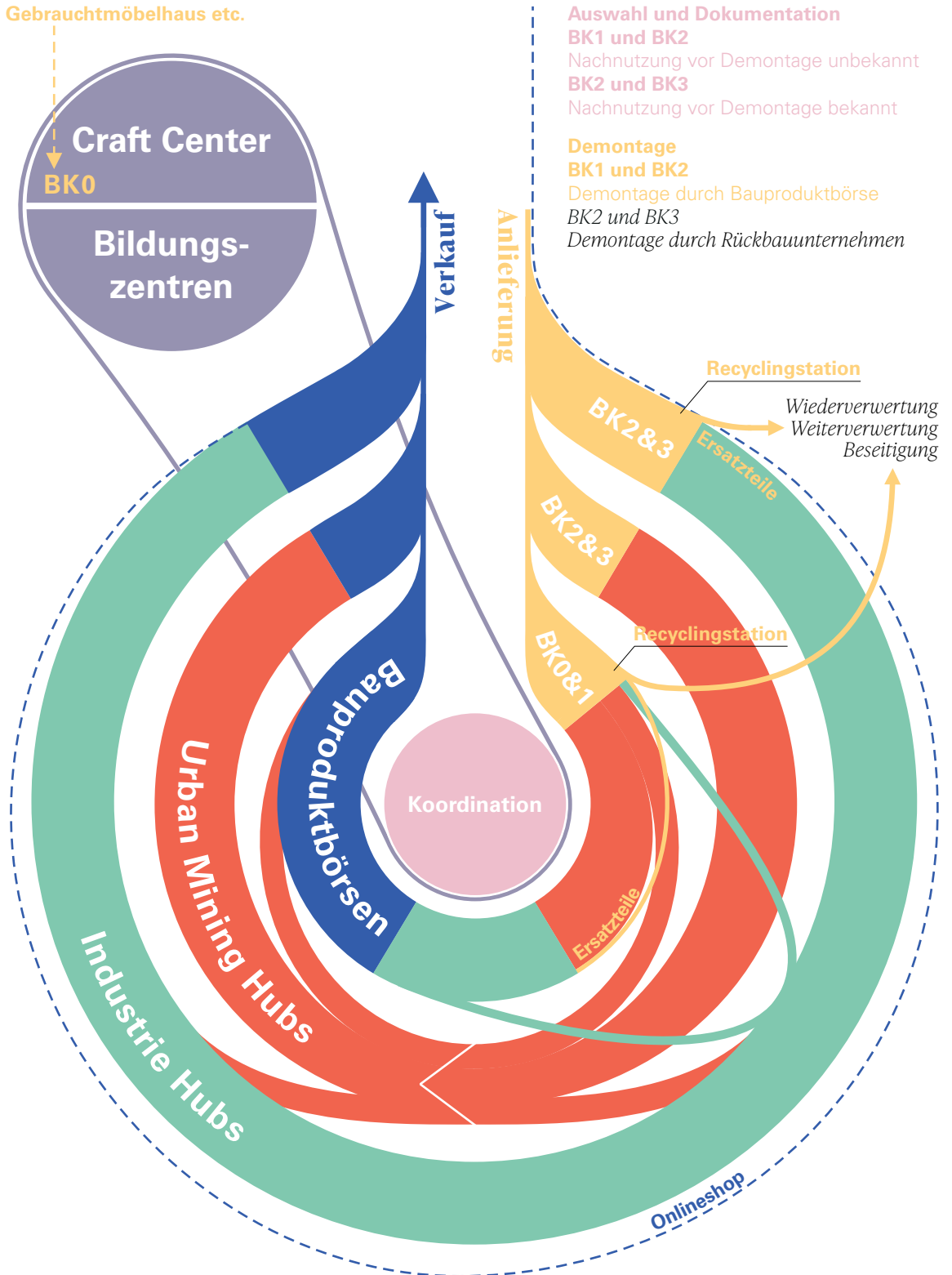
Es bestehen verschiedene Potenziale, um das zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerk in Form einer gebauten Infrastruktur zu etablieren. Die funktionale Differenzierung der Circular Construction Hubs ermöglicht ein dynamisches Wachstum der gebauten Infrastruktur im Zeitverlauf. Das zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerk kann so schrittweise etabliert und das Angebot stetig erweitert und angepasst werden. Als ein möglicher Ansatz von vielen kann beispielsweise mit dem Einrichten einer Bauproduktbörse in einer Stadt oder Kommune begonnen werden, welche anschließend durch weitere Circular Construction Hubs ergänzt wird. Darüber hinaus besteht das Potenzial, auf bereits vorhandenen Strukturen aufzubauen und diese in das zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerk zu integrieren. Diesbezüglich könnte sich zum Beispiel ein auf primäre Bauprodukte spezialisiertes Bauunternehmen neu orientieren und ebenfalls die Aufbereitung wiederverwendeter Bauprodukte anbieten. Beispiele aus Belgien oder den Niederlanden zeigen, dass dies möglich ist ►. Auch die Kombination von zwei oder mehreren Arten von Circular Construction Hubs an einem Standort birgt das Potenzial, die Nutzung von Bestandsstrukturen zu optimieren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass basierend auf solch einer Kombination verschiedene räumliche Anforderungen entstehen.

Seite 61, Abbildung 28

Zirkuläres Wertschöpfungsnetzwerk im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten

Anlieferung 
 Aufbereitung 
 Lager 
 Verkauf 
 Koordination 
 Wissen und Gemeinschaft 

► S. 17
 Die Zirkuläre Wertschöpfungskette



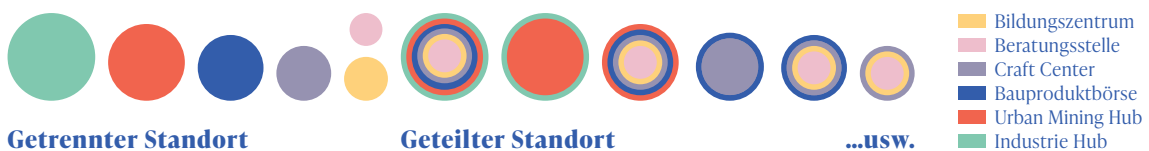
3.2 | Basisraumprogramm

Auf den Erkenntnissen der Grundlagenermittlung und Vertiefung aufbauend wird in diesem Abschnitt ein Basisraumprogramm für die verschiedenen Arten von Circular Construction Hubs abgeleitet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Übertragung der analysierten Funktionen des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes in räumliche Nutzungen auf Gebäudeebene. Für die Hubs mit einem wirtschaftlich-funktionalen Fokus wird hierbei eine andere Vorgehensweise gewählt als für solche mit sozio-kulturellem Fokus. Basierend auf den funktionalen Anforderungen, die die Ausführung der zirkulären Wertschöpfungsketten direkt beeinflussen, lassen sich konkrete räumliche Nutzungen ableiten. Diese werden in Form des Basisraumprogrammes dokumentiert. Die indirekten Funktionen der Bildungszentren und Beratungsstellen können hingegen auf vielfältige Weise mit individuellen Konzepten erfüllt werden. Anstelle eines Basisraumprogrammes wird für die Bildungszentren und Beratungsstellen daher eine fortzuführende Ideensammlung aufgestellt. Craft Center werden folgend ebenfalls im Basisraumprogramm aufgeführt. Durch die Aufbereitung entstehen auch für sie direkte Funktionen innerhalb der zirkulären Wertschöpfungskette.

Um eine kontextuelle Anpassungsfähigkeit des Konzeptes zu stärken, sind die verschiedenen Circular Construction Hubs nicht als voneinander getrennte Einheiten zu betrachten. Stattdessen stellen sie auch auf räumlicher Ebene Bausteine eines zusammenhängenden Systems dar, welches an einem oder verschiedenen Standorten verteilt sein kann. Insbesondere die Kombinationen von wirtschaftlich-funktionalen mit sozio-kulturellen Hubs können durch einen kollaborativen Austausch innerhalb der gebauten Infrastruktur zu Synergieeffekten führen. Die Verbindung von Craft Centern und Bauproduktbörsen ist bereits vielfach zu beobachten (Tsui, 2023). Die Erweiterung um ein Bildungszentrum und eine Beratungsstelle könnten den Austausch zusätzlich stärken, da Theorie und Praxis nebeneinander verlaufen und miteinander in den Kontakt treten. *Abbildung 29* zeigt mögliche Kombinationsformen der Circular Construction Hubs.

Das Raumprogramm bildet die grundlegenden Anforderungen sowie die minimal zu erfüllenden Funktionen auf räumlicher Ebene ab. Eine kontextbezogene Erweiterung und Anpassung ist daher bei einer Anwendung erforderlich. Die Anordnung der Nutzungen auf Gebäudeebene spielt im Kontext des von den Bauprodukten durchlaufenden logistischen Prozesses eine wichtige Rolle. Die zirkuläre Wertschöpfungskette, die dem Basisraumprogramm zu Grunde liegt, ist daher auch im Rahmen einer architektonischen Anwendung zu beachten. Aus diesem Grund erfolgt im Raumprogramm eine chronologische Auflistung der einzelnen Stationen innerhalb des Circular Construction Hubs: Koordination – Anlieferung – Aufbereitung – Lagerung – Verkauf. Je nach Hub kann der Funktion entsprechend lediglich ein Teil dieser Prozessschritte vorhanden sein. Die in der Liste aufgeführten Nutzungen sind zudem nicht zwingend als getrennte Räume zu betrachten. Vielmehr können sie je nach Sinnhaftigkeit, Kontext und Entwurf kombiniert werden. Der Flächenbedarf wird sowohl durch die gebaute Infrastruktur in Form

Abbildung 29
Kombinationsformen
verschiedener Circular
Construction Hubs



von bestehenden Circular Construction Hubs im Umkreis als auch durch die Menge und die Eigenschaften der anfallenden Bauprodukte determiniert. Da keine Daten in Bezug auf die genannten Aspekte existieren und diese in Abhängigkeit vom Kontext stark variieren können, werden keine konkreten Angaben oder Empfehlungen zu Grund- oder Nettoraumflächen gemacht. Auf diese Weise wird eine Generalisierbarkeit des Konzeptes ermöglicht.

Ziel der Bildungszentren und der Beratungsstellen ist das Ansprechen und Einbinden einer möglichst großen Personengruppe. Zunächst ist dabei ein niedrighschwelliger Zugang von Relevanz. Dieser kann durch aktivierende Nutzungen in Form eines Treffpunktes, einer Cafeteria oder eines Loungebereiches geschaffen werden. Auf diese Weise können potenziell auch Nutzer*innen angesprochen werden, die sich nicht von vornherein mit der Thematik in Verbindung setzen. Auch eine allgemeine Sensibilisierung und Aufmerksamkeit für das Thema kann auf diese Weise erzeugt werden. Kommerzfrie Orte zum Verweilen können zudem potenziell die Aufenthaltsdauer von Besucher*innen verlängern. Gleichzeitig können sie zu der Vernetzung verschiedener Akteur*innen beitragen. Darüber hinaus sind verschiedene Angebote zur Wissensvermittlung relevant, die unterschiedliche Interessen und Bedarfe abdecken. Orte der eigenständigen Auseinandersetzung mit der Thematik sind daher ebenso wichtig wie Orte der Aus- und Weiterbildung neuer Berufsgruppen und Fachrichtungen oder Beratungsstellen für konkrete Bauvorhaben. Auf diese Weise können sowohl grundlegende Informationen als auch vertiefende Kenntnisse vermittelt und konkrete Hilfestellungen in der Praxis geleistet werden. Hierfür gibt es eine Bandbreite möglicher Nutzungen wie zum Beispiel Ausstellungsräume, eine Bibliothek, Multifunktionsräume, aber auch Seminarräume oder abgeschlossene Meetingräume. Die erläuterten Funktionen, Ziele und Nutzungen werden in *Tabelle 9* dargestellt.

| Funktion | Ziel | Mögliche Raumnutzung | |
|------------------------------|---|--|---------------------|
| Treffpunkt | → Begegnung fördern, niedrighschwelligem Zugang schaffen | → z.B. Cafeteria/ Mensa/ Café/ Lounge | passiv-informierend |
| Selbstständige Weiterbildung | → Grundlagenwissen vermitteln, Inspiration aufbauen, Vorurteile und Hemmschwellen abbauen | → z.B. Ausstellungen (fest und Wechsel), Bibliothek | |
| Aus- & Fortbildung | → Aus- und Fortbildungsstätte für verschiedenen Gruppenformate, Vorträge, Diskussionsveranstaltungen etc. | → z.B. Multifunktionsräume, Seminarräume | aktiv-fordernd |
| Beratungsstelle | → Projektspezifische Beratung vor und während eines Projektes, digital oder Präsenz | → z.B. abgeschlossene Meetingräume (sensible Projektdaten) und Büroräume | |

Tabelle 9
Ideensammlung für Raumnutzungen für Bildungszentren und Beratungsstellen im Themenfeld Wissen

| ID | Craft Hub | Bestandteile und Anmerkungen |
|-----------|----------------------|---|
| CC_KO_ | Koordination | |
| CC_KO_BÜ | Büroraum/ -räume | |
| CC_KO_BE | Besprecher | |
| CC_KO_KÜ | Küche | |
| CC_KO_PA | Pausenraum | |
| CC_KO_WC | Personal WC | |
| CC_AU_ | Aufbereitung | |
| CC_AU_BK0 | Lager BK0 | Ersatzteil-, Restelager |
| CC_AU_MU | Multifunktionsraum | Prototyping, 1:1 Workshops, flexibel nutzbar |
| CC_AU_W1 | Elektrowerkstatt | |
| CC_AU_W2 | Holzwerkstatt | |
| CC_AU_W3 | Metallwerkstatt | |
| CC_AU_W4 | Textilwerkstatt | |
| CC_AU_RE | Recyclingstation | Verbindung zu den Werkstätten |
| CC_KO_WC | Personal WC | |
| CC_AU_WC | Besucher*innen WC | barrierefrei |
| ID | Bauproduktbörse | Bestandteile und Anmerkungen |
| BB_KO_ | Koordination | Verwaltung, Bauproduktjagd |
| BB_KO_BÜ | Büroraum/ -räume | |
| BB_KO_BE | Besprecher | |
| BB_KO_KÜ | Küche | |
| BB_KO_PA | Pausenraum | |
| BB_KO_WC | Personal WC | barrierefrei |
| BB_KO_UK | Umkleieräume | Spinde |
| BB_KO_DU | Personalduschen | barrierefrei |
| BB_AN_ | Anlieferung | |
| BB_AN_AN | Be- und Entladen | seitwärts |
| BB_AN_SO | Sortierstation | Sortierung der Bauprodukte |
| BB_AN_RE | Recyclingstation | Verbindung zu den Werkstätten |
| BB_LA_ | Lager | Mitarbeitende der BB |
| BB_LA_BK0 | Lager BK0 | Fachbodenregale |
| BB_LA_BK1 | Lager BK1 | Horizontales Lager |
| BB_AU_ | Aufbereitung | |
| BB_AU_WA | Waschstraße | Reinigung der Bauprodukte |
| BB_AU_W1 | Elektrowerkstatt | |
| BB_AU_W2 | Holzwerkstatt | |
| BB_AU_W3 | Metallwerkstatt | |
| BB_AU_PS | Prüfstation | Waschmaschinen-, Geschirrspülmaschinen-, Herdanschluss, Raum für Kühlschränke etc. |
| BB_VL_ | Verkaufslager | |
| BB_VL_01 | Information, Kasse | |
| BB_VL_02 | Fotostudio | Dokumentation für Onlineshop |
| BB_VL_03 | Beratung | |
| BB_VL_04 | Freie Verkaufsfläche | Präsentation ausgewählter Bauprodukte |
| BB_VL_BK0 | Lager BK0 | Horizontales Lager und Fachbodenregale |
| BB_VL_BK1 | Lager BK1 | Palettenregale |
| BB_VL_WC | Besucher*innen WC | barrierefrei |

| ID | Urban Mining Hub | Bestandteile und Anmerkungen |
|-------------|---------------------|--|
| UMH_KO_ | Koordination | |
| UMH_KO_BÜ | Büroraum/ -räume | |
| UMH_KO_BE | Besprecher | |
| UMH_KO_KÜ | Küche | |
| UMH_KO_PA | Pausenraum | |
| UMH_KO_WC | Personal WC | |
| UMH_KO_UK | Umkleieräume | Personalduschen, Spinde |
| UMH_AN_ | Anlieferung | |
| UMH_AN_AN | Be- und Entladen | seitwärts |
| UMH_LA_ | Lager | |
| UMH_LA_BK2a | Lager BK2a | Palettenregallager |
| UMH_LA_BK2b | Lager BK2b | Kragarmregallager |
| UMH_LA_BK3 | Lager BK3 | Bodenlager |
| UMH_LA_P | Maschinenraum | Ladestation und Parkplatz für Fördermittel |

| ID | Industrie Hub | Bestandteile und Anmerkungen |
|-----------|---------------------|--|
| IH_KO_ | Koordination | |
| IH_KO_BÜ | Büroraum/ -räume | |
| IH_KO_BE | Besprecher | |
| IH_KO_KÜ | Küche | |
| IH_KO_PA | Pausenraum | |
| IH_KO_WC | Personal WC | |
| IH_KO_UK | Umkleieräume | Personalduschen, Spinde |
| IH_AN_ | Anlieferung | |
| IH_AN_AN | Be- und Entladen | seitwärts |
| IH_AN_SO | Sortierstation | Sortierung der Bauprodukte |
| IH_AN_RE | Recyclingstation | Verbindung zu Werkstatt |
| IH_AU_ | Aufbereitung | |
| IH_AU_WA | Waschstraße | Reinigung der Bauprodukte |
| IH_AU_WH | Werkhalle(n) | Baustoffspezifische Anforderungen |
| IH_AU_P | Maschinenraum | Ladestation und Parkplatz für Fördermittel |
| IH_LA_ | Lager | |
| IH_LA_BK0 | Lager BK0 | Ersatzteillager |
| IH_LA_BK2 | Lager BK2 | Ersatzteillager |
| IH_LA_BK3 | Lager BK3 | Kleines Bodenlager für kurze Zeiträume |

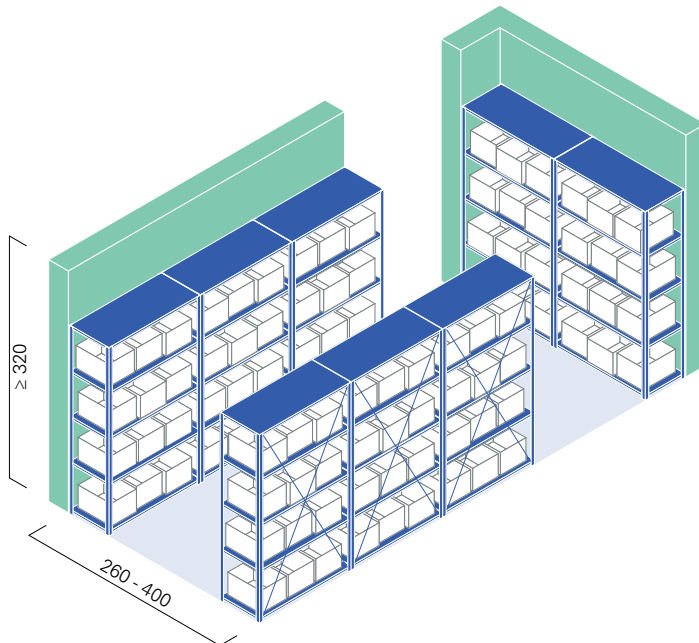
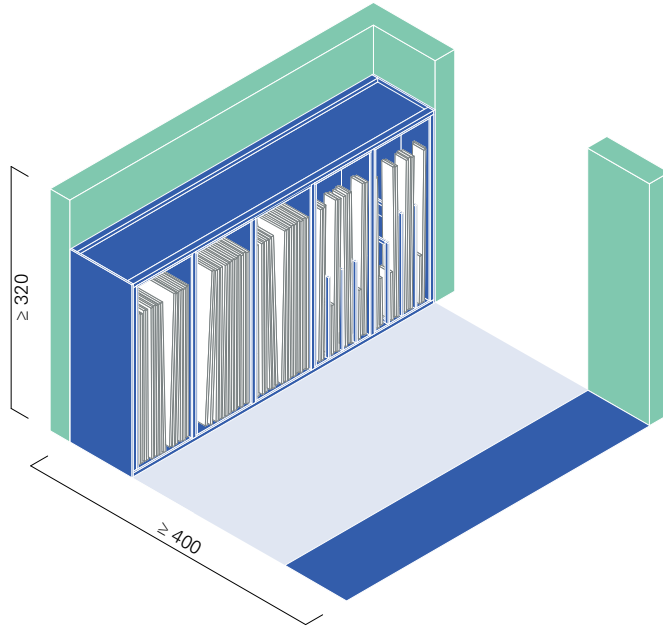
Im folgenden Abschnitt werden die räumlichen Anforderungen ausgewählter Nutzungen aus dem Basisraumprogramm konkretisiert. Aufbauend auf dem Zusammenspiel der in *Abschnitt 2.2* erläuterten räumlichen Einflussfaktoren der Logistiksysteme und den definierten Bauproduktkategorien werden vier exemplarische Raumtypologien bestimmt:

- Lager und Verkaufsfläche BK0,
- Lager und Verkaufsfläche BK1,
- Lager BK2 und
- Lager und Werkhalle BK3

Sie hängen unmittelbar mit jeglichen Prozessen im zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk zusammen. Die im Basisraumprogramm definierten Nutzungen werden den exemplarischen Raumtypologien anhand des Raum-IDs zugeordnet.

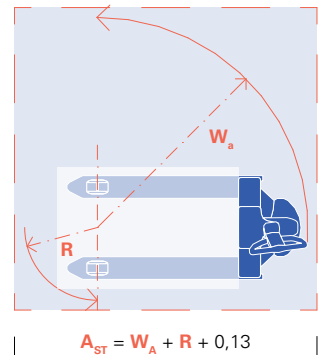
3.3 | Exemplarische Raumtypologien

Lager und Verkaufsfläche BK0 CC_AU_BK0, BB_LA_BK0 und BB_VL_BK0



Diese exemplarische Raumtypologie ist auf die Lagerung von Kleinteilen oder von von einzelnen Plattenwerkstoffen ausgerichtet (BK0). Dies entspricht vor allem dem Bedarf von Bauproduktbörsen und Craft Centern. Folglich dient diese Raumtypologie oftmals nicht nur als Lagerfläche, sondern auch als Verkaufsfläche. In diesem Fall ist auf eine geeignete Regalhöhe zu achten, damit die ausgestellten Bauprodukte sichtbar und zugänglich sind. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Nutzer*innen dieser Raumtypologie sowohl aus Mitarbeiter*innen der Bauproduktbörse als auch Besucher*innen bestehen und sich potenziell eine Vielzahl von Personen gleichzeitig in diesen Räumen aufhalten.

Die Raumtypologie wird dadurch gekennzeichnet, dass die Bauprodukte ohne den Einsatz eines Hochhubwagens vertikal eingebracht werden können. Dies resultiert in einer vergleichsweise schmalen Arbeitsgangbreite von 2 bis 2,2 Metern. Bei gänzlichem Verzicht auf den Einsatz von Flurförderzeugen kann die Arbeitsgangbreite diesen Wert unterschreiten. In diesem Fall ist eine ausreichende Fläche zum Ein- und Ausräumen sicherzustellen. Die dargestellte aufgereihete Lagerform eignet sich insbesondere für einzelne Bauprodukte mit ähnlichen Eigenschaften wie unterschiedliche Plattenwerkstoffe oder Türen. Die Maße dieser Regalform können gemäß den Anforderungen des Lagerguts individuell angepasst werden. Fachbodenregale haben eine vergleichsweise niedrige maximale Feldlast. Daher ist dieser Regaltyp insbesondere für die Lagerung von Ersatzteilen von Relevanz.



BK0 - Plattenwerkstoffe und Kleinteile
 Flurförderzeuge, Lenkung durch Gehende
 Niederhubwagen
 Aufgereihtes Lager oder Fachbodenregale

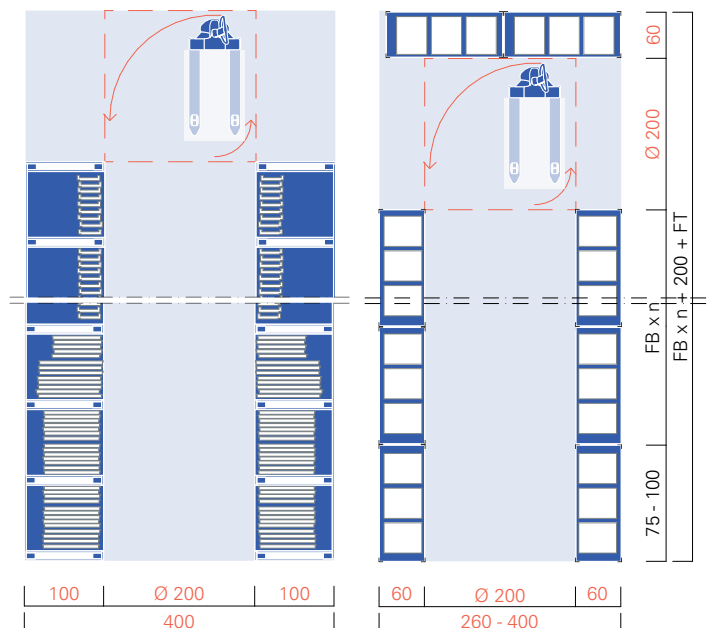
Räumliche Mindestanforderungen

- Spannweite ≥ 2,6 bis 4 m
- Raumhöhe ≥ 3,2 m
- Raumtiefe -

Eigenschaften des Logistiksystems

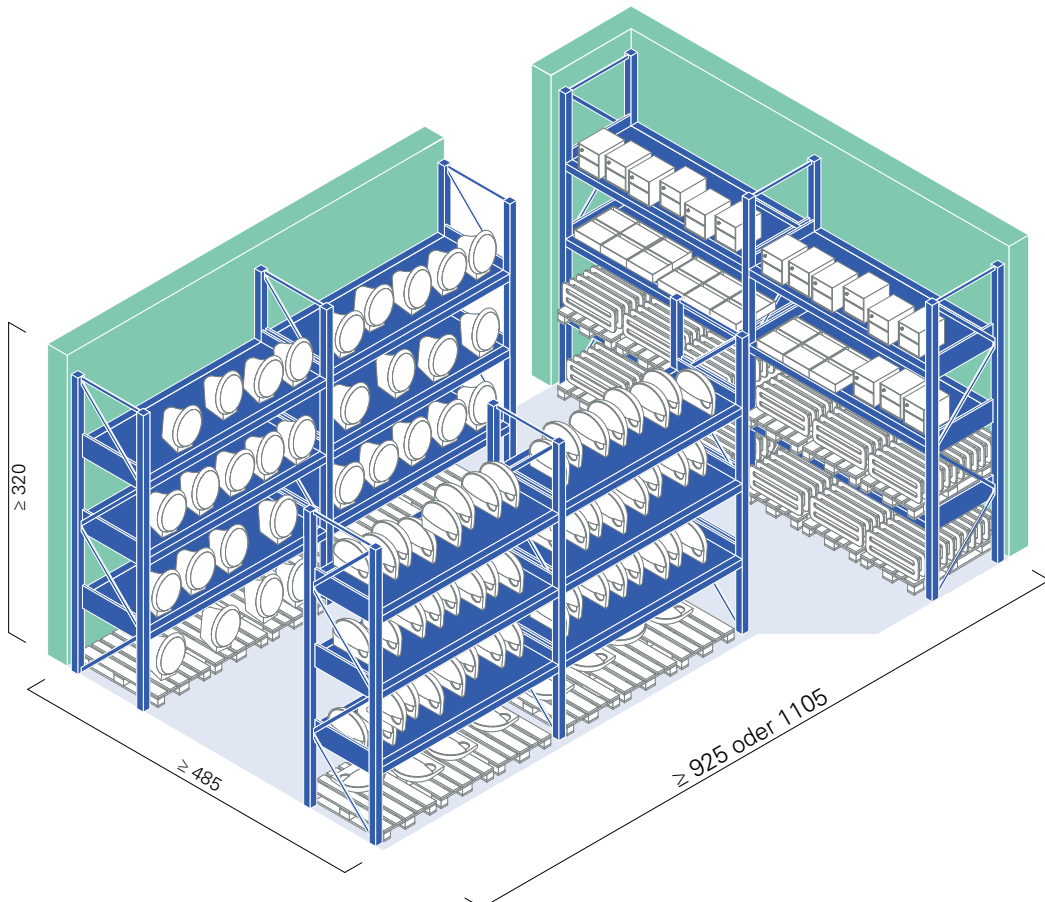
- Regalhöhe ≤ 7,5 m [h]
- Arbeitsgangbreite 2,0 - 2,2 m [A_{ST}]
- Feldtiefe 0,3 - 1,0 m [T]
- Feldbreite 0,75 - 1,3 m [FB]
- Feldlast ≤ 0,33 t [Q]

*Herstellerabhängige Angaben



Lager und Verkaufsfläche BK1 BB_LA_BK1 und BB_VL_BK1

Ein Großteil der in einer Bauproduktbörse anfallenden Bauprodukte kann der BK1 zugeordnet werden. Die räumlichen Anforderungen der zugehörigen Raumtypologie für Lager und Verkauf leiten sich aus den technischen Anforderungen von Palettenregalen und Hochhubwagen ab. Limitierender Faktor für die Regalhöhe ist die maximale Hubhöhe von Hochhubwagen, die circa sechs Meter beträgt. Auch hier ist zu beachten, dass diese Raumtypologie eine Verkaufsfläche darstellt. Somit liegt neben der Lagerung ein Fokus auf der Ausstellung der Bauprodukte. Die Abstimmung der Faktoren der Zugänglichkeit der ausgestellten Bauprodukte und der effizienten Flächennutzung ist individuell zu treffen. Obwohl für Palettenregale grundsätzlich die Möglichkeit einer dynamischen Regallagerung auf Schienen besteht, ist dies für diese Raumtypologie im Zweifel nicht sinnvoll, da so die Zugänglichkeit der Bauprodukte auf der Ausstellungsfläche erschwert wird. Trotzdem ermöglicht das System eine platzsparende Zwischenlagerung und kann je nach Konzept für diese Raumtypologie angewendet werden.



BK1 - Palettenware, kleine Bauprodukte
 Flurförderzeuge, Lenkung durch Gehende
 Hochubwagen
 Palettenregale

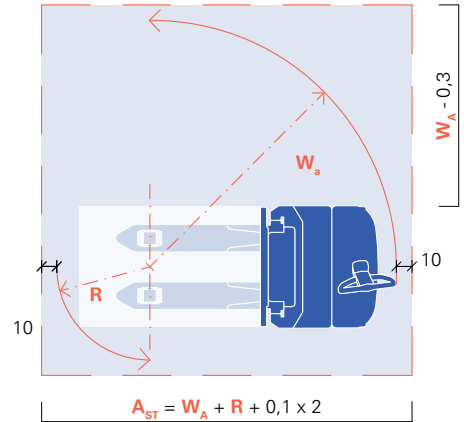
Räumliche Mindestanforderungen

Spannweite $\geq 4,85$ m
 Raumhöhe $\geq 3,2$ m
 Raumlänge $\geq 9,25$ oder $11,05$ m

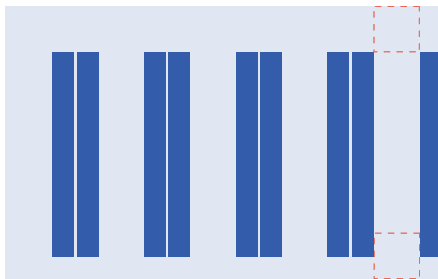
Eigenschaften des Logistiksystems

Regalhöhe ≤ 6 m [h]
 Arbeitsgangbreite 2,3 - 2,6 m [A_{ST}]
 Feldtiefe 1,2 m [T]
 Feldlast ≤ 3 t [Q]
 Hublast $\leq 1,4$ t [Q_h]

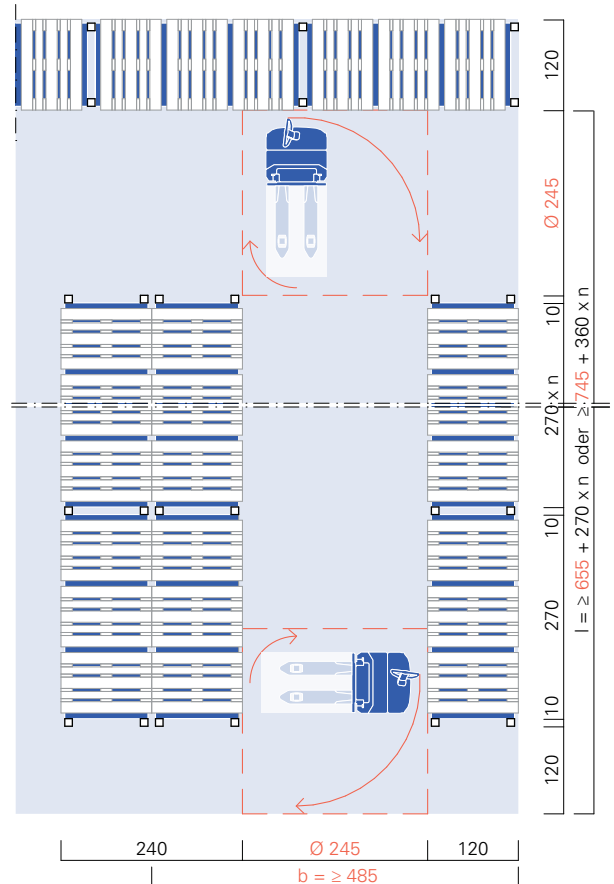
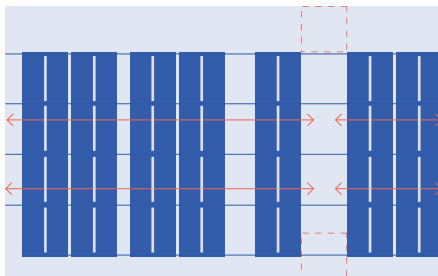
*Herstellerabhängige Angaben



Statisches Regallager

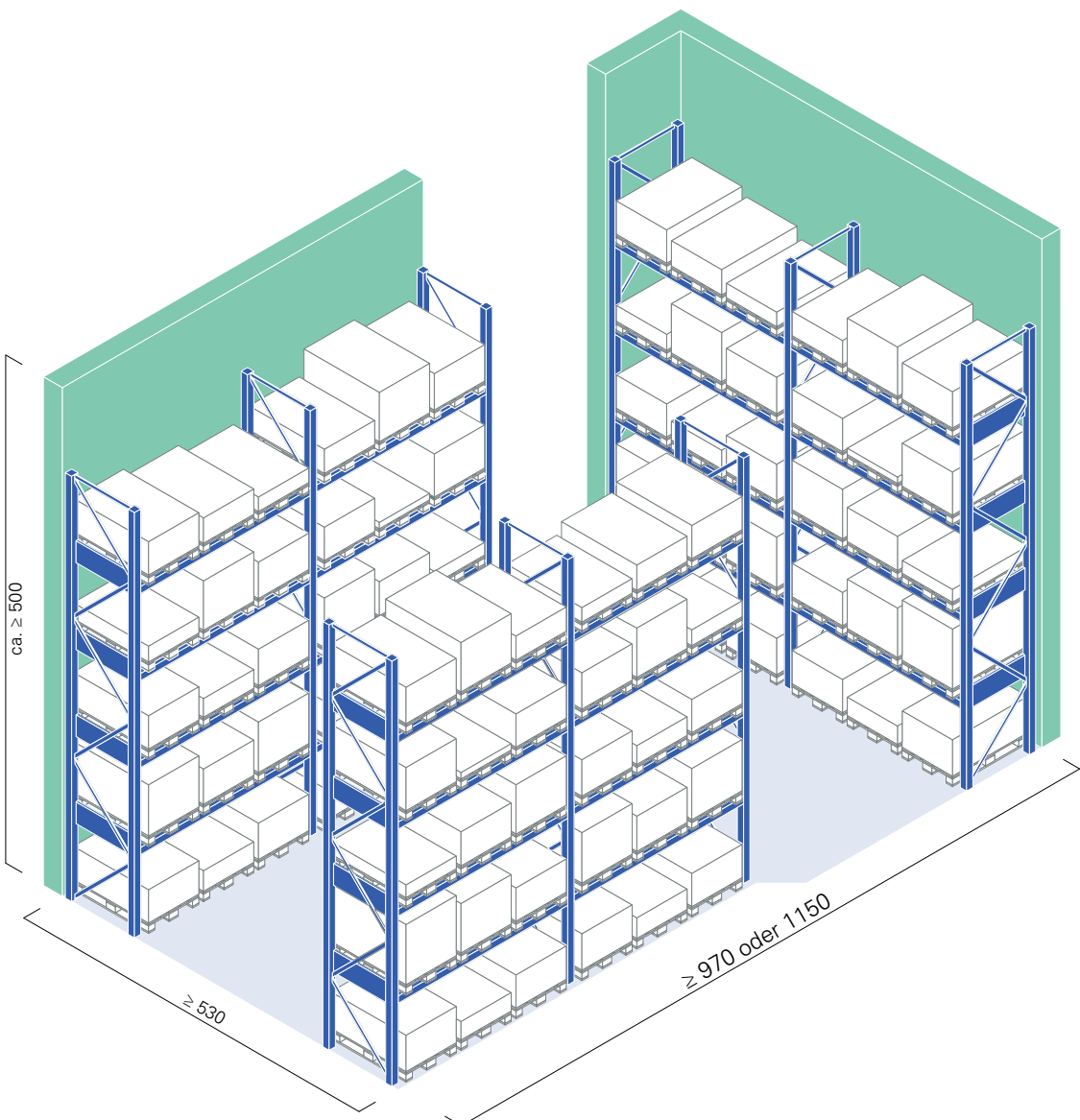


Dynamisches Regallager

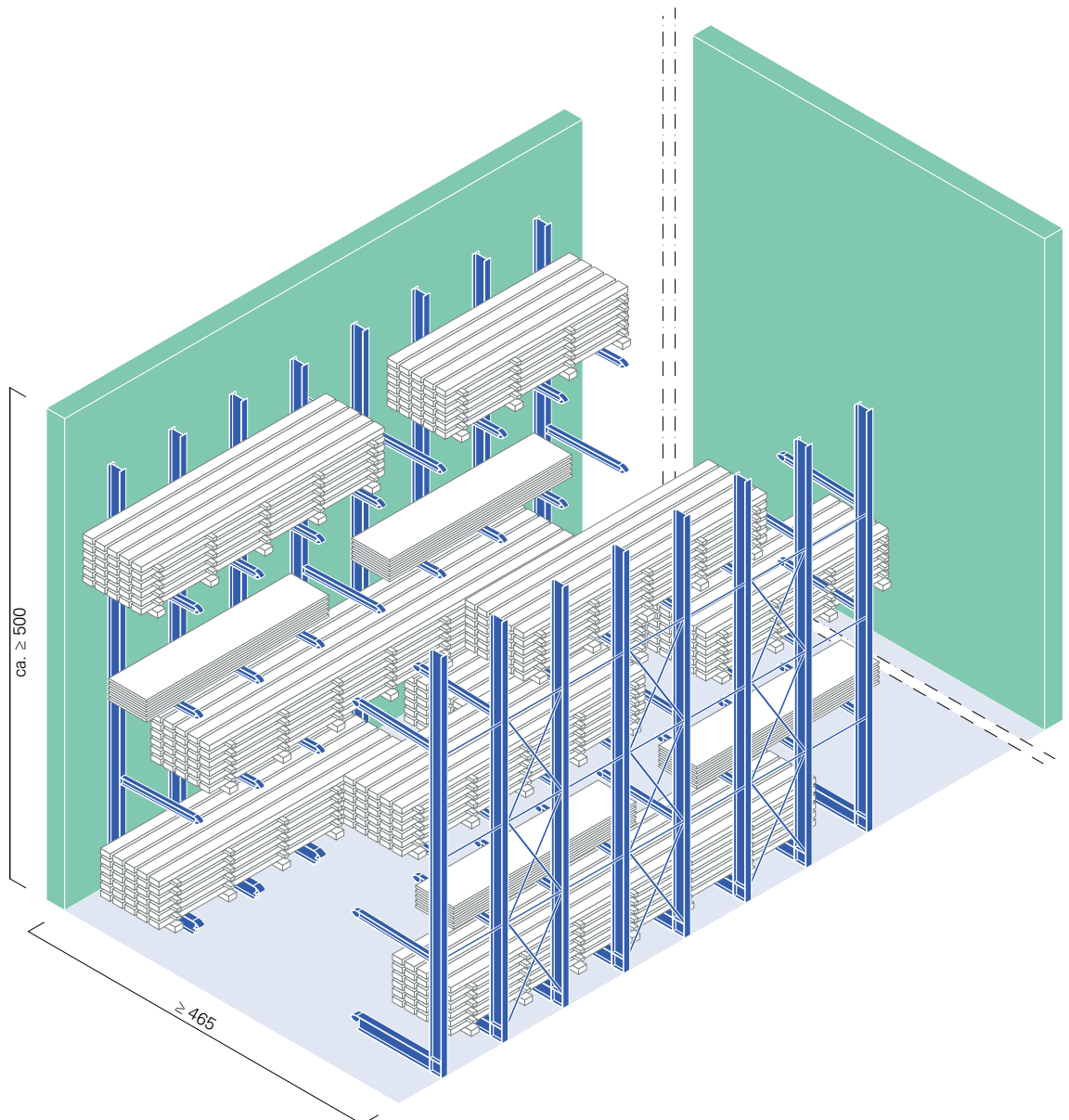


Lager BK2 UMH_LA_BK2a, UMH_LA_BK2b und IH_LA_BK2

Diese exemplarische Raumtypologie eignet sich für die Zwischenlagerung von Bauprodukten mit einem Gewicht von maximal drei Tonnen sowie von Langgut. Aus diesem Grund ist sie vor allem für Urban Mining Hubs von Relevanz. Die räumlichen Anforderungen setzen sich aus den technischen Angaben des jeweiligen Regalsystems sowie des Flurförderzeugs zusammen. Im Falle des Kragarmregallagers ist zudem der räumliche Einfluss des Langguts zu berücksichtigen. Dies wirkt sich insbesondere auf die Rangierfläche im Bereich des Umsatzgangs aus. Für beide Regalsysteme existieren sowohl statische als auch dynamische Lagersysteme. Die Abbildung auf den nachfolgenden Seiten verdeutlicht, dass dynamische Systeme eine deutlich flächensparendere Lösung darstellen. In der Praxis sind sowohl Palettenregallager als auch Kragarmregallager in Hallenstrukturen untergebracht.



Obwohl Palettenregale ebenfalls in geringer Höhe existieren, ist eine große Regalhöhe aufgrund des Maschinenaufwands effizienter. Palettenregale sind auf dem Markt bis zu einer Höhe von 13 Metern erhältlich. Der Schubmaststapler ist das einzige Flurförderzeug der BK2a, das eine entsprechende Hubhöhe erreichen kann. Front- oder Gabelstapler eignen sich ebenfalls für dieses Lagersystem. Da diese jedoch weitaus mehr Rangierfläche benötigen und eine geringere Hubhöhe erreichen, wird für die Bestimmung der räumlichen Anforderungen ein Schubmaststapler herangezogen. Langgut kann mit Seitenstaplern in Kragarmregale eingebracht werden. Vereinzelt ist dies auch mit einem Kran möglich. Die Regalsysteme können eine Höhe von bis zu 7,5 Metern erreichen. Besonderheit ist, dass sich Seitenstapler auf der Stelle drehen und keine festgelegte Fahrtrichtung haben.



BK2a - Palettenware
 Flurförderzeuge, Fahrsitzlenkung
 Schubmaststapler
 Palettenregale

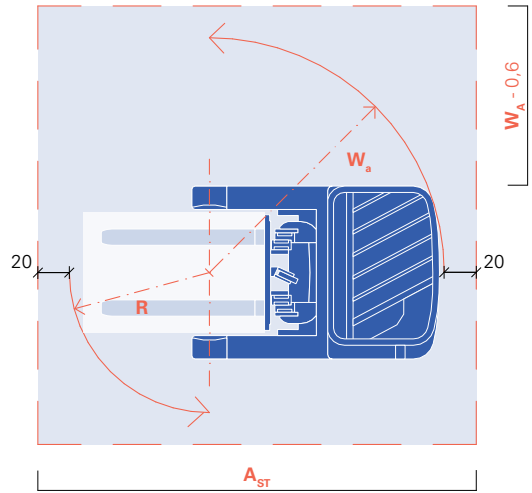
Räumliche Mindestanforderungen

Spannweite $\geq 5,3$ m
 Raumhöhe $\geq 6,0$ m
 Raumtiefe $\geq 9,7$ oder $11,5$ m

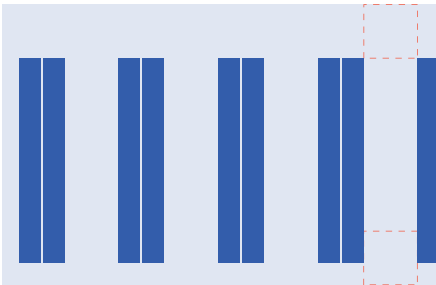
Eigenschaften des Logistiksystems

Regalhöhe ≤ 13 m [h]
 Arbeitsgangbreite $2,7 - 3,0$ m [A_{ST}]
 Feldhöhe $1,0 - 2,5$ m [T]
 Feldlast ≤ 3 t [Q]
 Hublast $\leq 2,5$ t [Q_h]

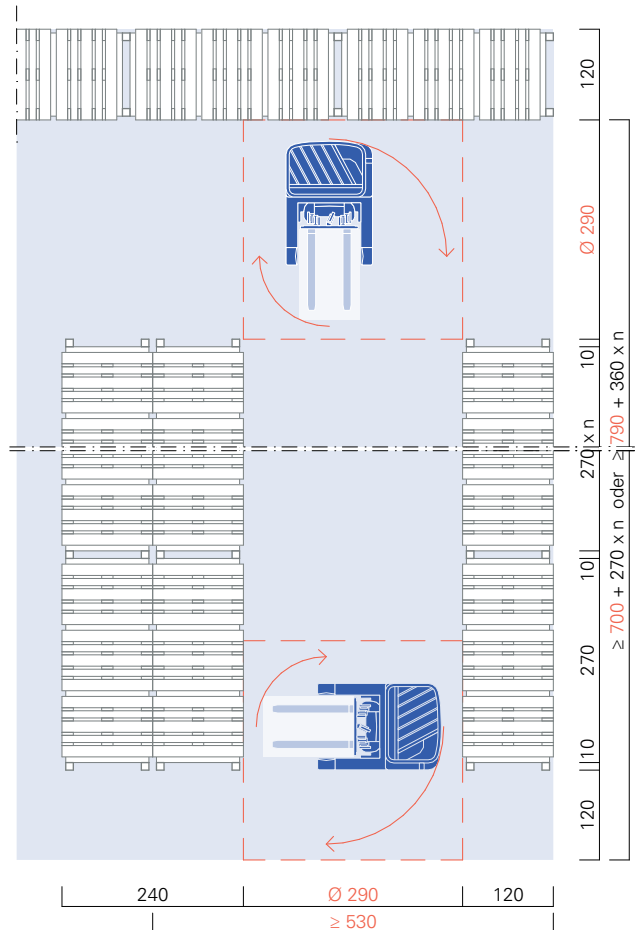
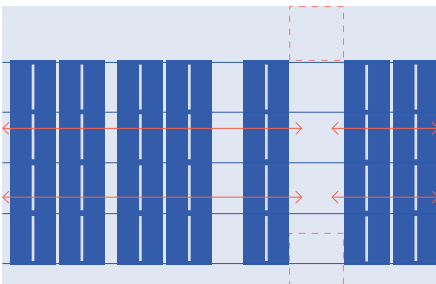
*Herstellerabhängige Angaben



Statisches Regallager



Dynamisches Regallager



BK2b - Langgut
 Flurförderzeuge, Fahrsitzlenkung
 Seitenstapler/ Multistapler
 Kragarmregale

Räumliche Mindestanforderungen

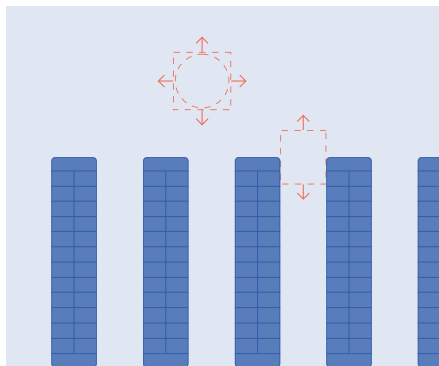
Spannweite ≥ 4,74 bis 5,64 m
 Raumhöhe ≥ 6,0 m
 Raumtiefe ab ca. 15 m

Eigenschaften des Logistiksystems

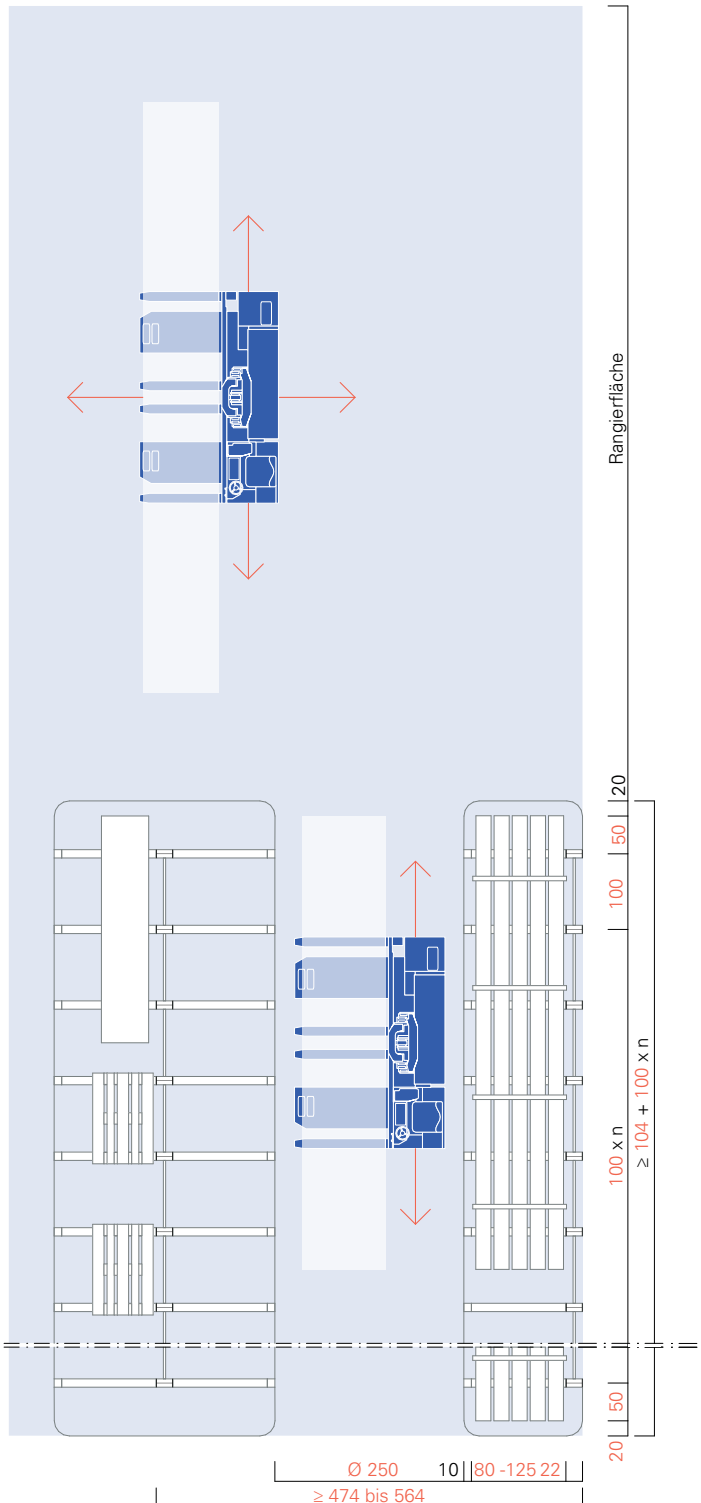
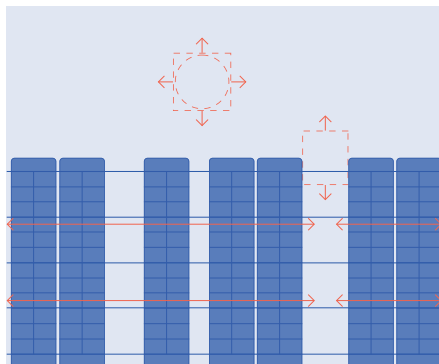
| | | |
|-------------------|-------------|--------------------|
| Regalhöhe | ≤ 7,5 m | [h] |
| Arbeitsgangbreite | 2,2 - 4,2 m | [A _{ST}] |
| Feldtiefe | ≤ 1,25 m | [T] |
| Feldbreite | ≤ 1,8 m | [FB] |
| Feldlast | ≤ 3 t | [Q] |

*Herstellerabhängige Angaben

Statisches Regallager



Dynamisches Regallager



BK3 - große, schwere Bauprodukte
 Brückenkran
 Bodenlagerung

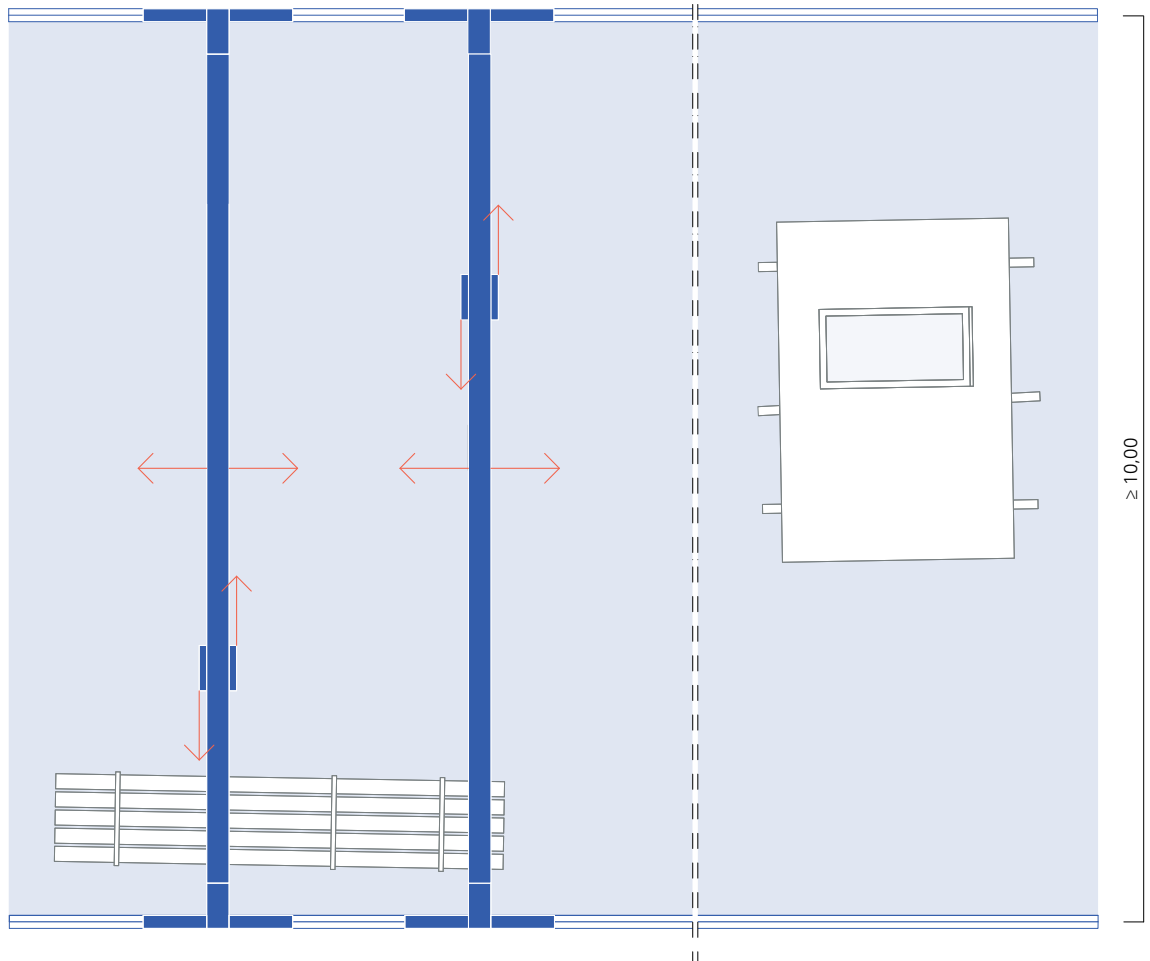
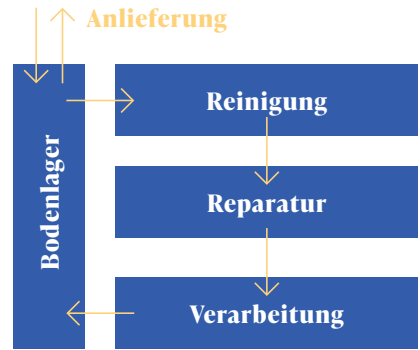
Räumliche Mindestanforderungen

Spannweite $\geq 10,5$ m
 Raumhöhe $\geq 6,0$ m
 Raumtiefe ab ca. 15 m

Eigenschaften des Logistiksystems

| | | | |
|-------------|------|------|------|
| Hubhöhe (m) | 4,0 | 5,0 | 8,0 |
| | 8,0 | 10,0 | 12,5 |
| | 16,0 | 20,0 | 25,0 |

Spannweite 10 - 42 m
 Hublast ≤ 120 t



4 | Exploration

Die im Raumprogramm und in den exemplarischen Raumtypologien entwickelten räumlichen Anforderungen des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes liegen rein funktionalen und technischen Faktoren zu Grunde. In diesem Kapitel werden diese Anforderungen im Rahmen einer Fallstudie (Case Study) in Relation zueinander gesetzt, indem ein beispielhafter Entwurf für einen Circular Construction Hub erstellt wird. Hierfür wird das Kapitel in drei Abschnitte unterteilt. Im ersten Abschnitt werden die Rahmenbedingungen bestimmt, auf deren Grundlage im zweiten Abschnitt die Fallstudie anhand verschiedener Darstellungen erläutert wird. Der dritte Abschnitt widmet sich der Herausarbeitung räumlicher Strategien, die in weitere Kontexte übertragen werden können.



4.1 | Rahmenbedingungen

Die Studie verbindet alle definierten Arten von Circular Construction Hubs an einem Standort. Auf diese Weise soll das Potenzial der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten auf architektonischer Ebene behandelt werden. In einem Entwurfskontext können Aspekte einer Thematik erkundet werden, die auf theoretischer Ebene nicht dargestellt werden können. Dies kann beispielsweise ethische, funktionale und ästhetische Aspekte umfassen, die erst im Entwurf verwoben und eine räumliche Gestalt entwickeln können (Pasel & Weidinger, 2018). Aufbauend auf Anforderungen der *entwurfsbasierten Forschung* wird die Fallstudie in diesem und dem folgenden Kapitel erläutert, kritisiert und kontextualisiert ►. Im Zentrum stehen dabei die räumlichen Konfigurationen von Schnittstellen innerhalb des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes und des Zusammenspiels der verschiedenen Nutzerinnengruppen von Circular Construction Hubs. Der Begriff *Raum* wird innerhalb dieser Arbeit folglich in verschiedenen Zusammenhängen verwendet. In den vorangegangenen Kapiteln wird der *Raum* als technisch-funktionale Größe betrachtet, die sich auf pragmatische Anforderungen im zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk konzentriert. Während diese Aspekte weiterhin in die Fallstudie einfließen, wird der *Raum* in diesem Kapitel um ein architektonisches Verständnis erweitert.

Im Hinblick auf das zu Beginn der Arbeit formulierte Ziel, die gebaute Infrastruktur in den Gebäudebestand zu integrieren, stellt der Entwurf im Bestand eine Grundlage der Fallstudie dar. Als Standort wurde hierfür die alte Großmarkthalle, genauer *Hallen 1 bis 4* auf dem Münchner Großmarktareal, gewählt. Sie stellt eine von unzähligen Industriebauten in Deutschland dar, die zukünftig umgenutzt werden müssen, bereits leer stehen oder zukünftig von Leerstand oder Abriss bedroht sind ►. Obwohl die Fallstudie einem konkreten Kontext zugeordnet wird, steht sie somit beispielhaft für eine Vielzahl an möglichen ähnlichen Situationen.

Lage und städtebauliche Situation

Die alte Großmarkthalle befindet sich im Norden des Münchner Großmarktareals, circa 1,7 Kilometer südwestlich der Münchner Altstadt, im Osten des Stadtbezirks Sendling. Das gesamte Areal umfasst circa 26 Hektar und grenzt im Norden an den Südring der Eisenbahn ►. Das Gebiet erstreckt sich von dort aus in südlicher Richtung bis zum mittleren Ring. Im Südwesten der alten Großmarkthalle befindet sich das Westtor des Großmarktareals, das den Zugang zum Areal von Sendling aus ermöglicht. Der Schwarzplan in *Abbildung 37* zeigt die alte Großmarkthalle, die Hallen des Großmarktareals sowie die derzeit in Planung befindliche neue Großmarkthalle.

Das umliegende Quartier wird von einer starken nutzungsbedingten und städtebaulichen Heterogenität geprägt. Im Westen ist vorrangig eine drei- bis fünfgeschossige Blockrandbebauung vorzufinden, die zum Großmarktareal hin aufbricht und somit einen starken Kontrast zur großmaßstäblichen und niedrigen Bebauung des Areals schafft. Dieser Bruch ist ebenfalls auf der Nutzungsebene sichtbar: Während das angrenzende Quartier primär aus Wohnbebauung besteht, ist das Großmarktareal eine der letzten verbliebenen Industriegebiete in Münchner Innenstadtlage. Ein Austausch zwischen beiden Gebieten ist derzeit nicht vorhanden. Vielmehr ist das Großmarktareal städtebaulich isoliert und hat eine barriereartige Wirkung. Auf der anderen Seite der Schienenanlage befinden sich das *Münchner Volkstheater* sowie das *Bahnwärter Thiel*, zwei kulturelle Einrichtungen, dessen Einzugsgebiet weit über die Quartiersgrenzen hinaus besteht.

► www.pep.tu-berlin.de/konzept

► www.leerstandsmelder.de
www.abriss-atlas.de

► Referat für Stadtplanung und Bauordnung der Landeshauptstadt München (2020) *Beschluss des Ausschusses für Stadtplanung und Bauordnung vom 25.03.2020*

Entwicklung

In „Sendling: Reiseführer für Münchner“ erläutert Schiermeier (2019) die Entstehungsgeschichte des Münchner Großmarktareals. Die alte Großmarkthalle wurde demnach ab 1910 nach dem Entwurf des städtischen Baurats Richard Schachner errichtet und 1912 eingeweiht. Der Ursprungsbau bestand aus vier Hallen mit Satteldächern, die über vier etwas niedrigere Hallenstrukturen verbunden wurden. Die Gebäude umfassten zu dieser Zeit auf bereits 37.100 Quadratmetern Hallen für den Handel, Büros, ein Postamt, mehrere Dienstwohnungen sowie eine Gastwirtschaft und mehrere Anschlüsse an das Schienennetz. Im Zweiten Weltkrieg wurde das Areal stark zerstört. Von der alten Großmarkthalle blieb nur die Halle 1 erhalten. Im Zuge des Wiederaufbaus des Großmarktareals von den Architekten Philipp Zametzer und Albert Heichlinger zwischen 1950 und 1956 wurden die Satteldächer der Hallen 2 bis 4 durch Flachdächer ersetzt. Im weiteren Verlauf wurde das Areal der Großmarkthalle weitgehend unterkellert. Der ebenerdige Anschluss des Untergeschosses an die Thalkirchner Straße ermöglichte die Anlieferung und Kühlung der Produkte. Seit 2018 ist dieses jedoch auf Grund einer akuten Einsturzgefahr gesperrt, wird jedoch derzeit saniert. In jüngster Vergangenheit wurden verschiedene weitere Sanierungsmaßnahmen

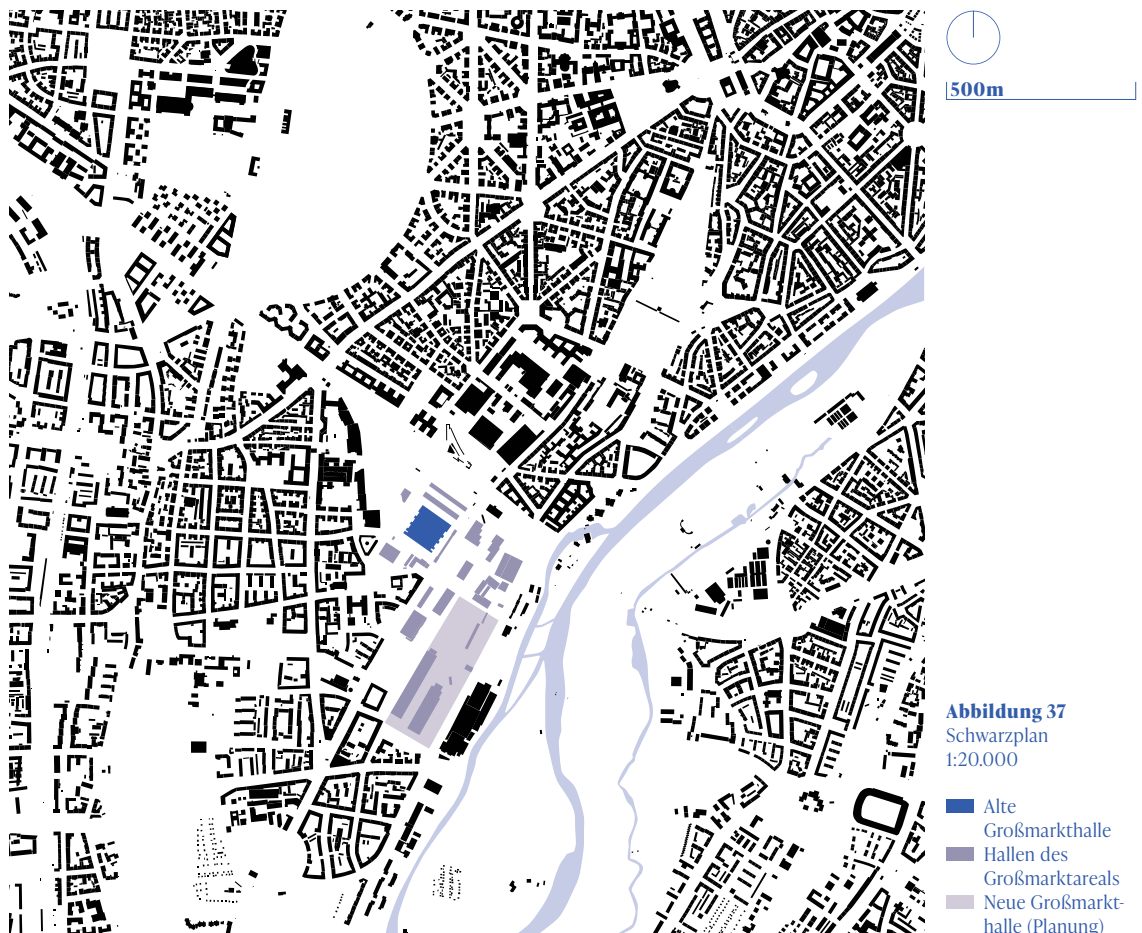


Abbildung 37
Schwarzplan
1:20.000

- Alte Großmarkthalle
- Hallen des Großmarktareals
- Neue Großmarkthalle (Planung)

durchgeführt, beispielsweise im Bereich des Brandschutzes. Bis heute fungiert die Großmarkthalle als Umschlagplatz für den Obst- und Gemüsegroßhandel. Die Eigentümerin des Großmarktareals ist die Landeshauptstadt München. Anfang 2019 beschloss der Stadtrat den Bau einer neuen Großmarkthalle im Osten des Großmarktareals Hofmann (2024, 18. März). Dem Areal liegt somit eine grundlegende Umstrukturierung bevor. Im Zeitraum dieser Thesis ist die zukünftige Nutzung der alten Großmarkthalle ungewiss.

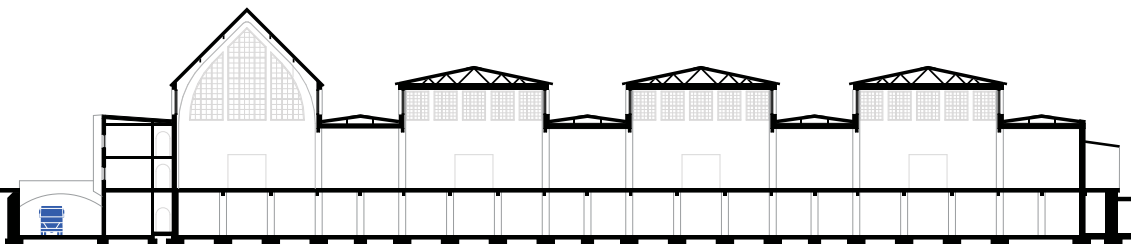
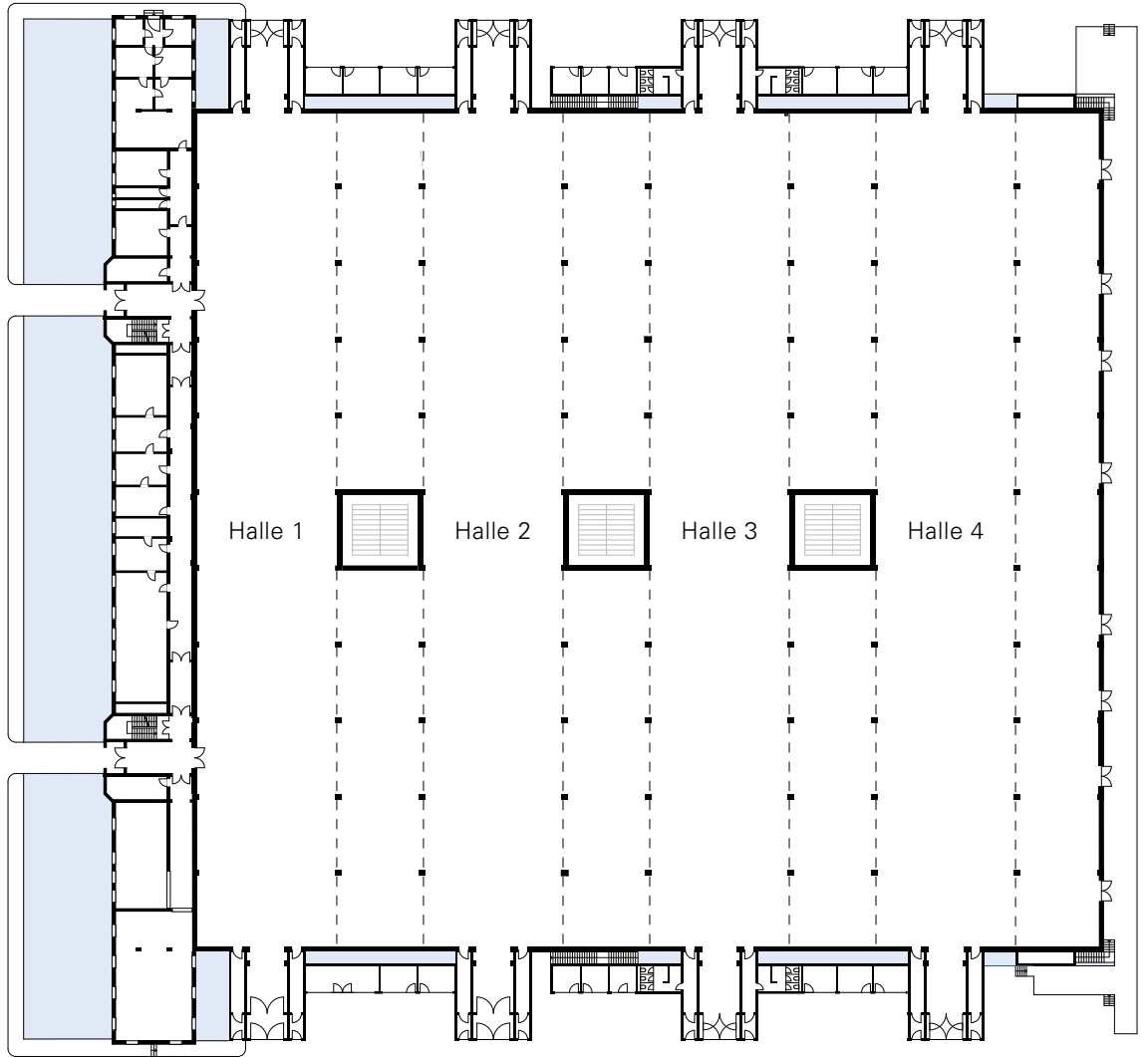
Das Bestandsgebäude

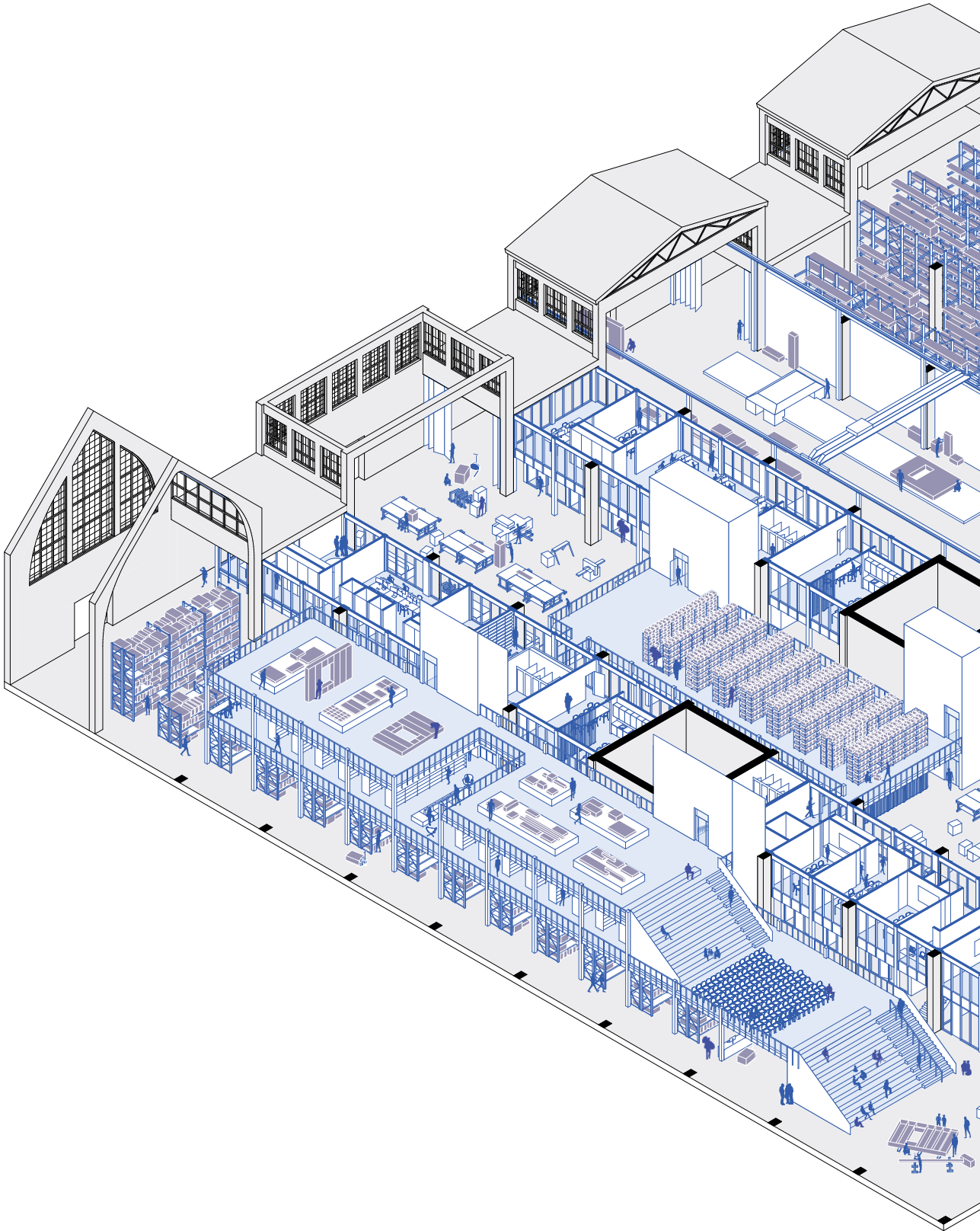
In der heutigen Form umfassen die Hallen der alten Großmarkthalle eine Grundfläche von circa 10.000 Quadratmetern. Hinzu kommen ein Bürogebäude sowie das Untergeschoss. Das Gebäude ist in vier Hallenbauten gegliedert, die jeweils durch einen niedrigeren Hallenteil verbunden werden (vgl. Abbildung 38). Dieser Höhenversprung erzeugt die Wirkung einer riegelartige Hallenstruktur, obwohl es sich in der Theorie um einen großen offenen Raum handelt. In den Hallen befinden sich derzeit verschiedene eingeschossige Einbauten wie Stände, Kühlhäuser oder Lastenaufzüge. Im Süden schließt ein zweigeschossiges Bürogebäude unmittelbar an die Halle 1 an. Teile des Untergeschosses im südlichen Teil des Gebäudes sind nicht überdacht.

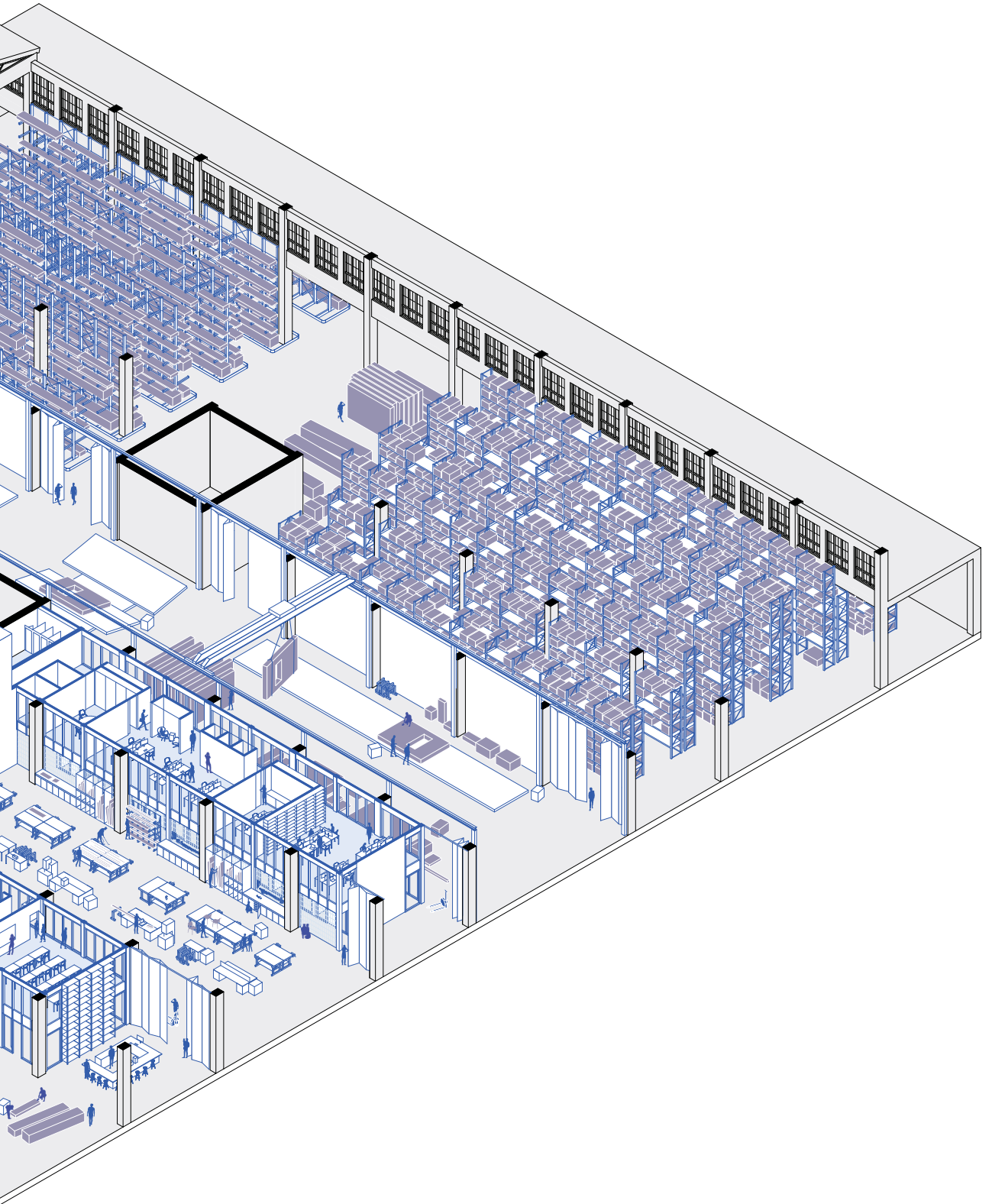
Die Stahlbetonstützen der Hallen 1 bis 4 haben nach eigenen Bemessungen einen rechteckigen Querschnitt von 0,6 auf 0,8 Meter und quer zu den Hallen ein Achsmaß von 9,4 Metern. Die Spannweite der Hallen beträgt 16,5 Meter und im Bereich der niedrigen, verbindenden Hallenteile 9,6 Meter. Das gesamte Gebäude steht unter Ensembleschutz. Die Halle 1 ist zudem denkmalgeschützt.



10m







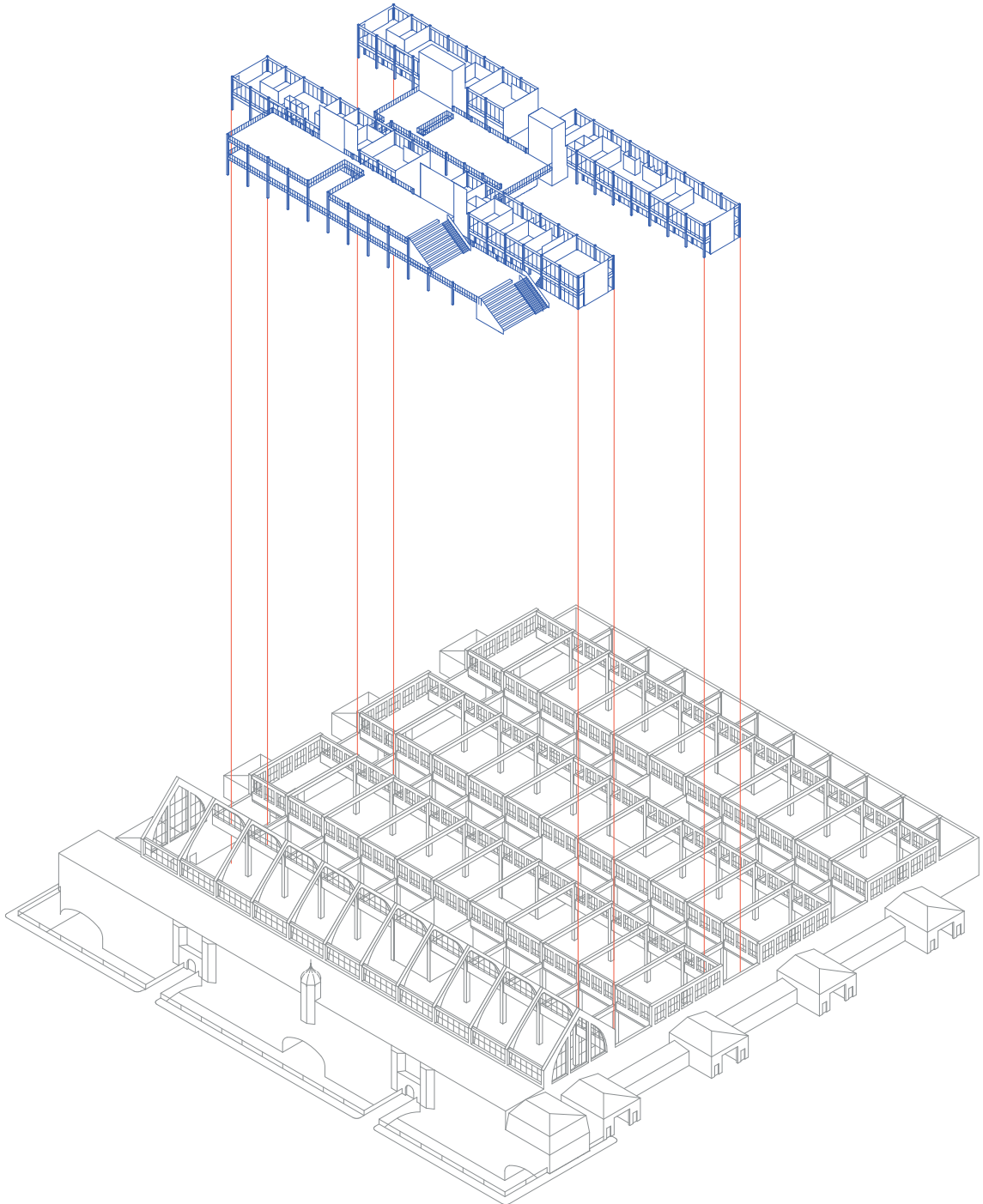
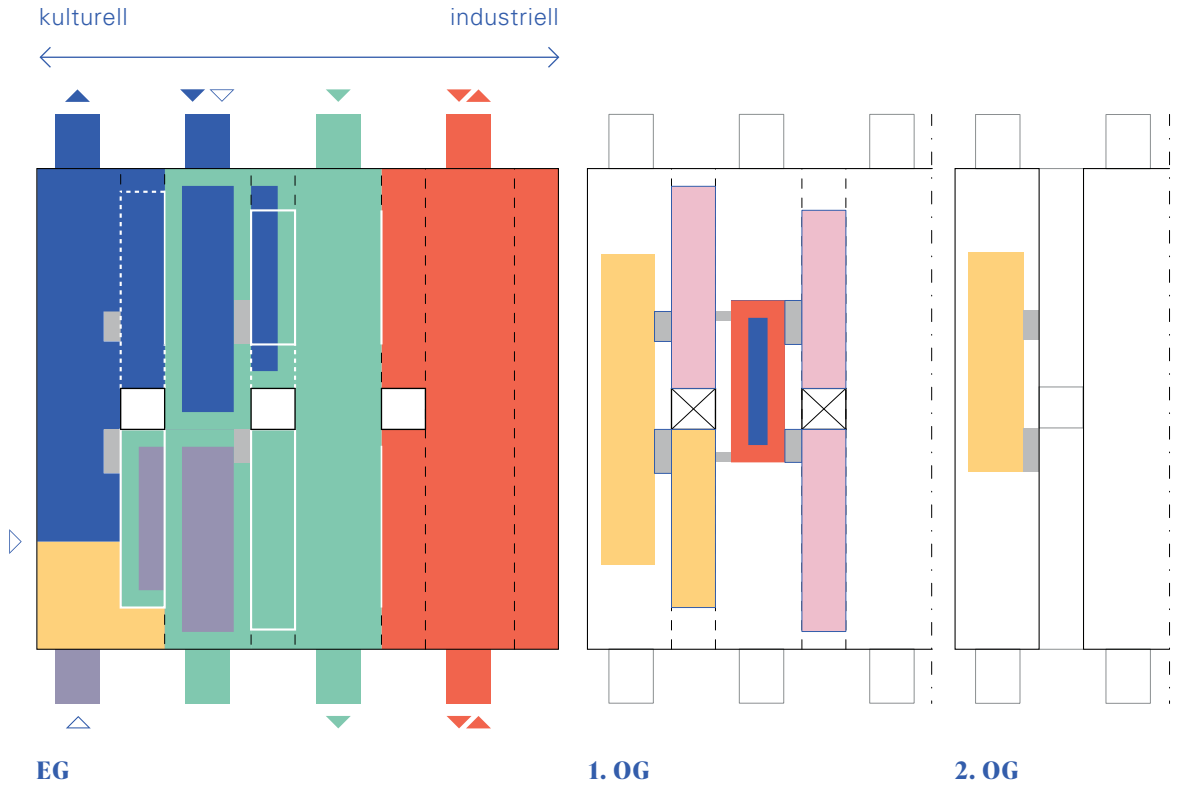


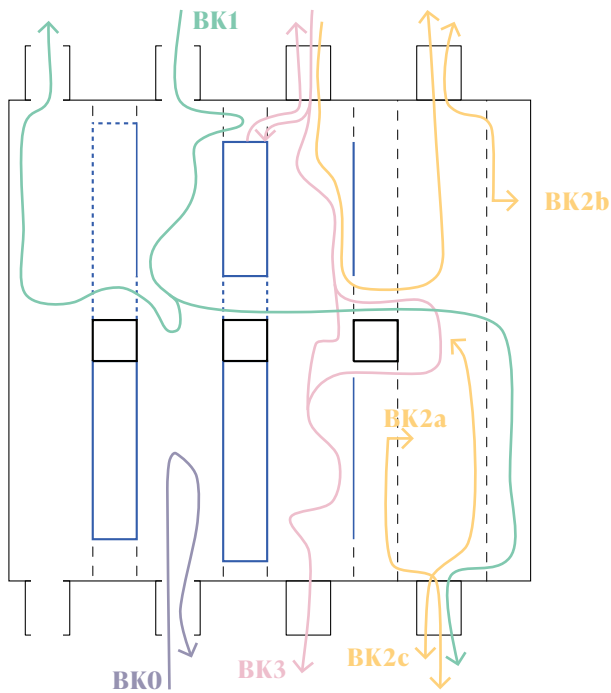
Abbildung 40
Sprengisometrie

■ Bestand
■ Neubau



▲ **Abbildung 41**
Anordnung der Circular Construction Hubs im Bestand

- Koordination
- Craft Center
- Bildungszentrum
- Bauproduktbörse
- Urban Mining Hub
- Zwischenlagerung
- Industrie Hub
- Aufbereitung
- ▲ Anlieferung
- △ Personeneingang



◀ **Abbildung 42**
Mögliche interne Transportwege der Bauproduktkategorien

4.2 | Fallstudie

Ausgehend von der Vielzahl an Funktionen, Nutzer*innen und Logistiksystemen stellt die Anordnung der Circular Construction Hubs eine wesentliche Grundlage für die Fallstudie dar. Diese basiert in erster Linie auf den in *Abschnitt 3.1* erläuterten Schnittstellen im zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk sowie den verschiedenen Nutzungen innerhalb der Hubs, welche in *Abschnitt 3.2* aufgeführt werden. Auch die Zielgruppe und der Grad an Öffentlichkeit fließen auf diese Weise in die Verteilung mit ein. Wie in *Abbildung 41* dargestellt, resultiert dies in einer Anordnung nach kulturellen und industriellen Faktoren. Die Lage der Nutzungen orientiert sich an der markanten Hallenstruktur des Bestandes. Jede Halle erhält somit einen spezifischen Fokus: In Halle 1 befinden sich das Bildungszentrum und die Verkaufsfläche der Bauproduktbörse und in Halle 2 dessen Werkstatt und das Craft Center. Der Industrie Hub wird der Halle 3 zugeordnet und der Urban Mining Hub der Halle 4. *Abbildung 41* veranschaulicht diese Nutzungsverteilung in Form eines Piktogramms.

Der Entwurf knüpft an die regelartige Hallenstruktur des Bestandes an. Eine Kombination aus offenen Plattformen und räumlich geschlossenen Riegeln fügt sich in die Bestandstruktur. Die Plattformen sind mit einem Abstand von circa 2,5 Metern zum Hallenrand frei in den Hallen positioniert, während die Riegel in den niedrigen Hallenteilen angeordnet sind. Die aussteifenden Treppenkerne fungieren als verbindendes Element zwischen beiden Bestandteilen. Fassadenseitig sind die Riegel zudem zurückgesetzt und auch mittig besteht eine durchgängige Achse, die alle Hallenteile miteinander verbindet. Entsprechend den räumlichen Anforderungen sind großflächige Nutzungen in den Hallen und auf den Plattfor-

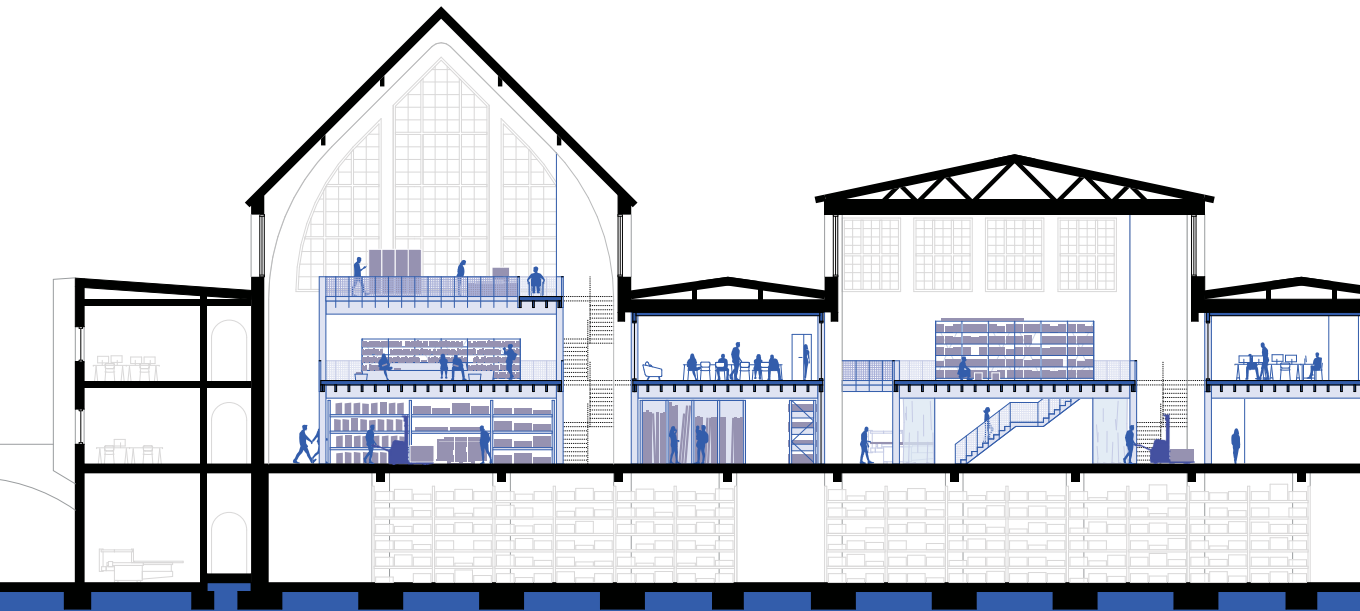
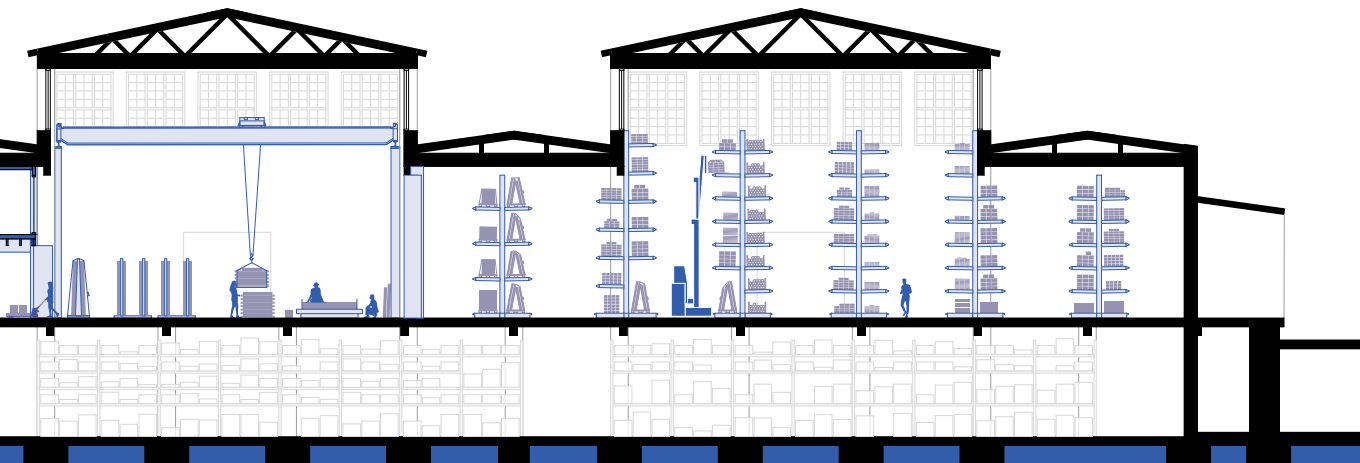


Abbildung 43
Querschnitt Hallen 1-4

men und kleinteilige Nutzungen in den Riegeln angeordnet. Dies umfasst vor allem Büroräume oder Sanitäreinrichtungen. Nutzungsbedingt markieren die Treppenkerne somit oftmals den Übergang von öffentlichen zu privaten Nutzungen.

Halle 1 ist öffentlich zugänglich. Hier befinden sich auf drei Ebenen die Verkaufsfläche der Bauproduktbörse und das Bildungszentrum. Die Anordnung der Nutzungen auf den verschiedenen Ebenen zielt auf einen niedrigschweligen Zugang ab. Ein Loungebereich, ein Café und eine Veranstaltungsfläche sind daher als aktivierende Nutzungen im offenen Hallenbereich positioniert. Zwei Sitztreppen heben die öffentliche Zugänglichkeit hervor und schaffen einen nahtlosen Übergang aller Ebenen. Gleichzeitig fördern sie soziale Interaktionen im Hallenbereich. Daran anschließend folgt ein Informationszentrum und eine Ausstellungsfläche auf der obersten Ebene des eingestellten Baukörpers. Hier sollen Besucher*innen allgemein über die Thematik aufgeklärt werden, sowie anhand konkreter Beispiele Wiederverwendungspraktiken der Baupraxis kennenlernen. Im Zentrum dieses Bereiches stellt ein Luftraum den Blickbezug zu der im Geschoss darunter liegenden Bibliothek her, wo Kenntnisse weiter vertieft werden können. Ein Großteil des Erdgeschosses dient als Verkaufsfläche für die Bauproduktbörse (Lager BK0, Lager BK1). Die Regale erstrecken sich bis in den hintersten Teil der Halle und sind somit von beiden Ebenen aus einsehbar. Der Loungebereich im Erdgeschoss soll zudem als offene Werkfläche genutzt werden, auf der beispielsweise mit Mock-ups und Modellen im Maßstab 1:1 experimentiert werden kann. Dies kann nicht nur partizipative Prozesse fördern, sondern für die Besucher*innen ebenfalls einen Kontakt zur Praxis herstellen.



Im ersten Obergeschoss zwischen Halle 1 und 2 befindet sich eine Beratungsstelle, die projektbegleitend Unterstützung für Wiederverwendungsprozesse in der Praxis leisten soll. Ein Seminarraum ermöglicht zudem das Angebot von Fort- und Ausbildungen. *Halle 2* ist eine Werkhalle für die Aufbereitung von Bauprodukten der BK0 und BK1. Im oberen Teil der Halle ist die Werkstatt der Bauproduktbörse verortet, die nur für Mitarbeiter*innen zugänglich ist. Gegenüberliegend befinden sich die öffentlichen Werkstätten des Craft Centers. Eine eingeschossige Plattform stellt eine räumliche Trennung beider Nutzungen her, während der bestehende Hallencharakter erhalten bleibt. Auf der Plattform befindet sich ein Klein- und Ersatzteillager für beide Werkstattbereiche (Lager BK0). Beidseitig grenzen zudem kleine Werkstattbereiche wie eine Elektrowerkstatt oder ein Schweißraum und Büroräume im ersten Obergeschoss an die Werkstattbereiche.

Halle 3 dient als Industrie Hub. Prägendes Element der Werkhalle ist eine Reparaturstraße, die sich über den gesamten Hallenbereich erstreckt. In Anlehnung an die in *Abschnitt 2.4* erläuterte Fertigungsstraße im industriellen Holzbau können hier Bauprodukte der BK2 und BK3 aufbereitet werden. Auch die Zwischenlagerung von Bauprodukten der BK3 im Bodenlager ist möglich. Die direkten Anschlüsse an die Werkstattbereiche in Halle 2 ermöglichen eine Zusammenarbeit im Aufbereitungsprozess. Auf der linken Seite der Halle befinden sich ebenfalls kleine Werksattbereiche sowie Büroräume im ersten Obergeschoss.

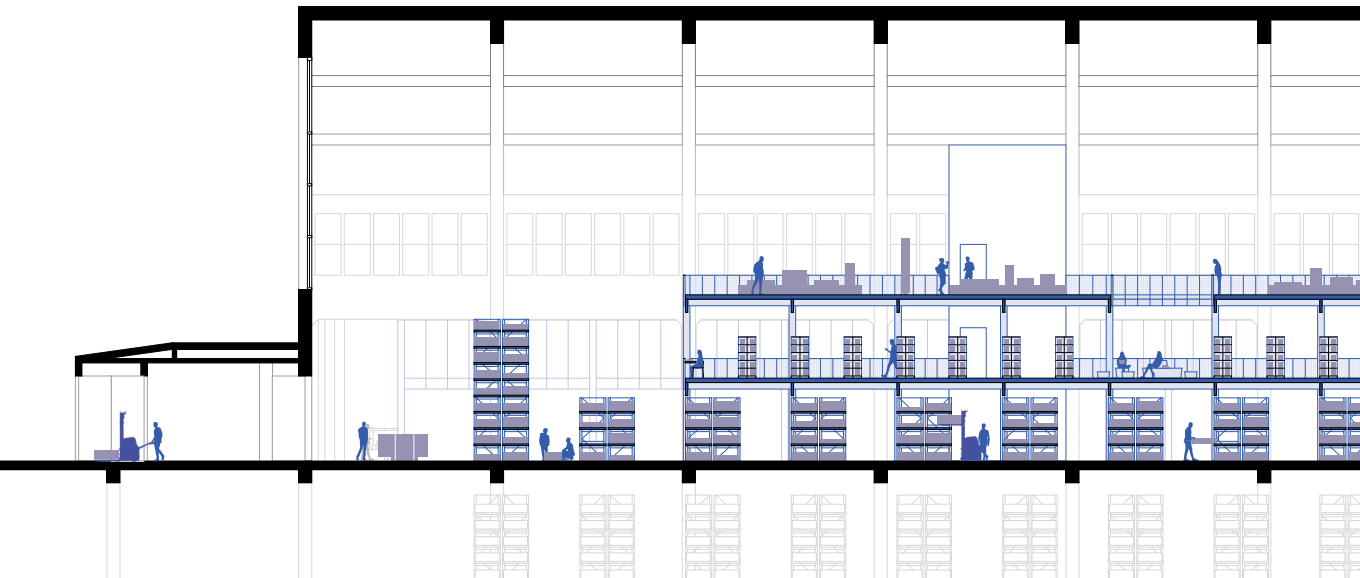
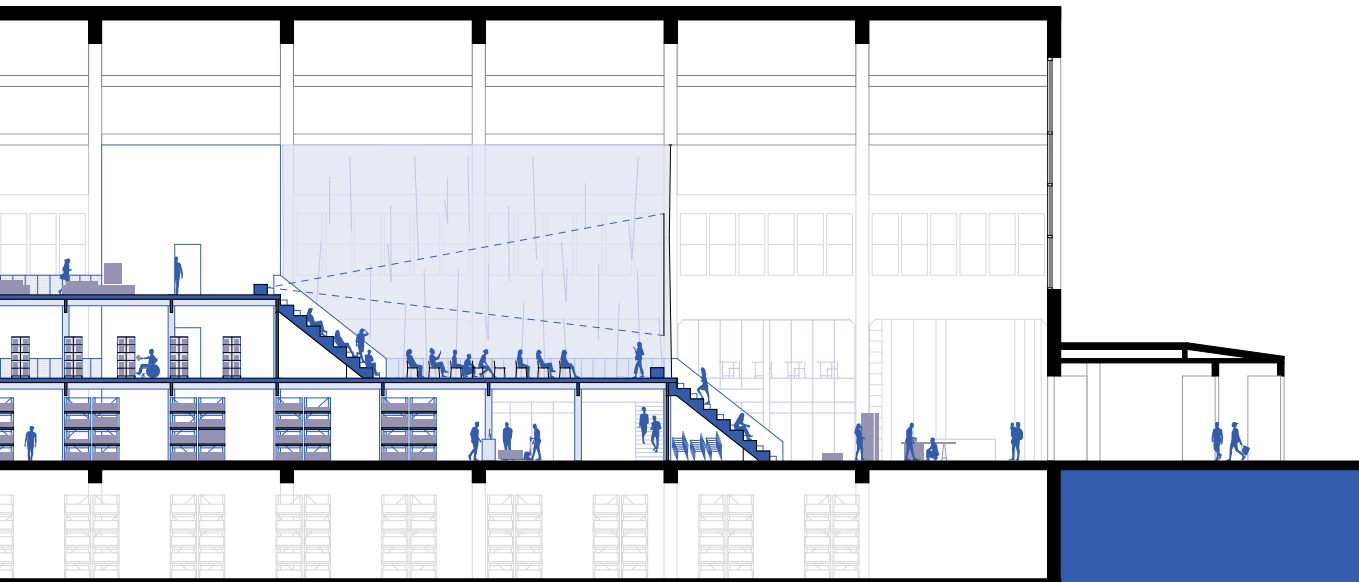


Abbildung 44
Längsschnitt Halle 1

In *Halle 4* und den beidseitigen, niedrigeren Hallenteilen ist der Urban Mining Hub positioniert. Dessen Zwischenlager ist in drei Bereiche geteilt: ein Palettenregallager im unteren Bereich der Halle (BK2a), ein Kragarmregallager (BK2b) und ein Bodenlager im Zentrum der Halle (BK2c). Obwohl diese Lagerarten gemäß *Abchnitt 3.3* der selben Raumtypologie angehören, werden sie getrennt voneinander angeordnet. Dies ist auf die verschiedenen Bauprodukteigenschaften und Fördermittel zurückzuführen. Die Verbindungen zum Industrie Hub ermöglichen eine direkte Zwischenlagerung der dort aufbereiteten Bauprodukte der BK2.

In den vier Hallen entsteht so ein vielschichtiges Zusammenspiel innerbetrieblicher Transportwege und unterschiedlicher Nutzerinnengruppen. Bauprodukte sämtlicher Bauproduktkategorien müssen innerhalb eines Circular Construction Hubs oder zwischen mehreren Hubs transportiert werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass sich sowohl Besucher*innen als auch Mitarbeiter*innen unterschiedlicher Tätigkeitsfelder innerhalb des Hubs bewegen. Die interne Wegeführung aller Bauprodukte und Nutzer*innen nimmt daher eine zentrale Rolle ein. *Abbildung 42* auf der Seite 85 veranschaulicht eine Auswahl interner Transporte der verschiedenen Bauproduktkategorien innerhalb des Circular Construction Hubs.



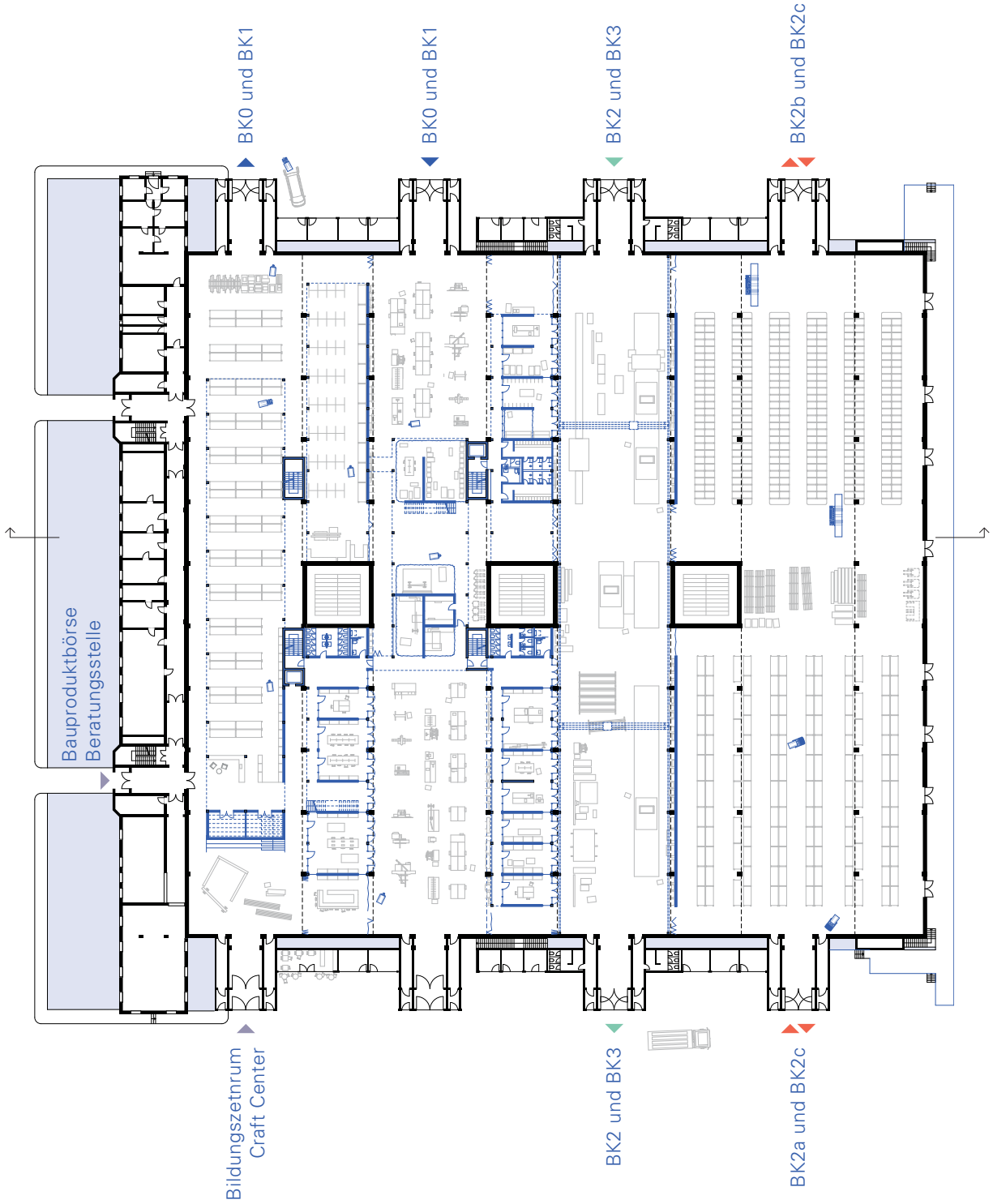


Abbildung 45
Grundriss Erdgeschoss

10m

50m

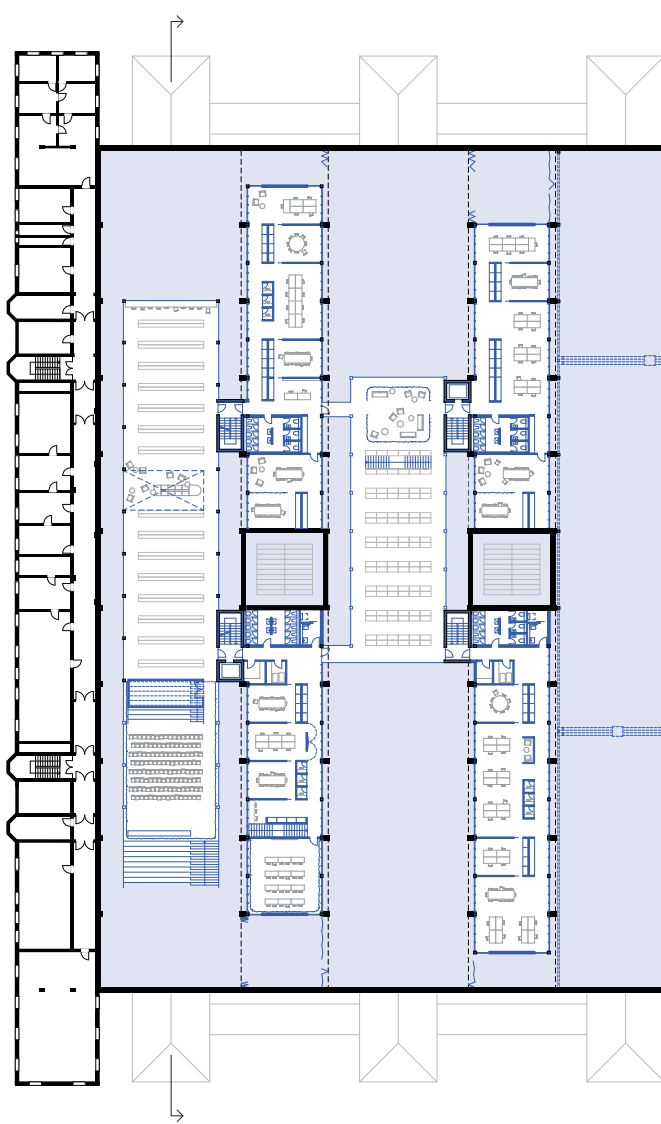


Abbildung 46
Grundriss 1. Obergeschoss

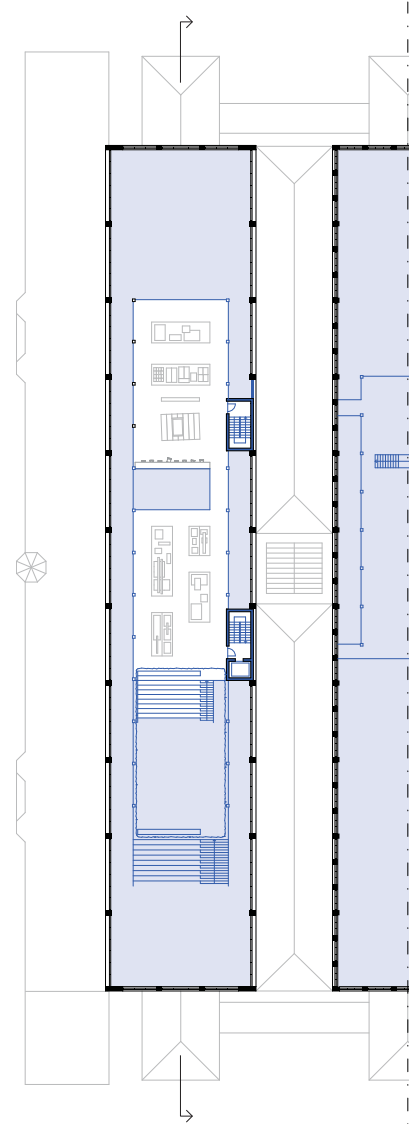


Abbildung 47
Grundriss 2. Obergeschoss



4.3 | Übertragbarkeit

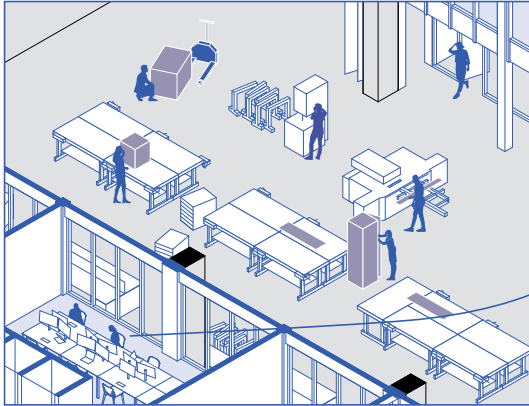
Ziel der Fallstudie ist es, der Förderung des funktionalen und informellen Austauschs der Circular Construction Hubs auf räumlicher Ebene zu begegnen. Hierfür wird in der Fallstudie eine räumliche Strategie angewendet, die unabhängig vom Kontext auf weitere Beispiele von Circular Construction Hubs übertragen werden kann. Auf der gegenüberliegenden Seite werden hierfür exemplarische Situationen aus der Fallstudie aufgeführt.

Die räumliche Anordnung der verschiedenen Nutzungen im Bestand stellt das erste Instrument der Strategie dar. Dabei steht die räumliche Übertragung der Schnittstellen aus dem zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk im Vordergrund, um dessen Umsetzung zu stärken. Dies lässt sich in der Fallstudie unter anderem an der Anordnung des Urban Mining Hubs direkt neben dem Industrie Hub sowie des Bildungszentrums über der Bauproduktbörse erkennen. Weiterführend resultiert dies in der Fallstudie in einer Anordnung der Nutzungen nach kulturellen und industriellen Faktoren. Das zweite Instrument sind gezielte räumliche Verbindungen, welche den Hubs einen Bezug zueinander verleihen. Dadurch wird ein Austausch von Bauprodukten ermöglicht und eine Begegnung der verschiedenen Nutzer*innen hervorgerufen. Die fassadenseitigen Durchgänge sowie die mittige Achse bilden dies in der Fallstudie ab. Durch geplante Blickbeziehungen als drittes Instrument werden diese räumlichen Bezüge wahrnehmbar. Sie können den Austausch unter den verschiedenen Nutzer*innen fördern und das Angebot sichtbar machen. Grundsätzlich bringt das Konzept der eingestellten Baukörper zwischen den räumlich abgeschlossenen Nutzungen in den niedrigen Hallenteilen mit denen im offenen Hallenbereich eine Vielzahl an Blickbeziehungen hervor. Ein exemplarisches Beispiel ist ebenfalls der Luftraum im zweiten Obergeschoss, der die Bibliothek und die Ausstellungsfläche visuell verbindet.

In der Fallstudie greifen die drei erläuterten Instrumente vielfach ineinander. Dies ermöglicht trotz einer funktionalen Trennung ein Verweben der einzelnen Hubs. Dadurch entsteht ein Zusammenspiel verschiedener Nutzungen auf verschiedenen Ebenen in einem Wechsel aus offenen und geschlossenen Räumen. Dies soll nicht nur zu einem Austausch zwischen Praxis und Theorie beitragen, sondern auch einen Austausch zwischen den verschiedenen Nutzer*innen fördern. Dies kann ebenfalls eine effektive Zusammenarbeit innerhalb des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes stärken und die Koordination der Prozesse vereinfachen. Des Weiteren zielt der Aufbau des Circular Construction Hubs darauf ab, das Angebot auf passive Weise zu vermitteln und die Besucher*innen an die Thematik heranzuführen und zum Handeln zu animieren. Auf diese Weise soll eine Plattform für einen fachlichen Austausch und Diskurs geschaffen werden.

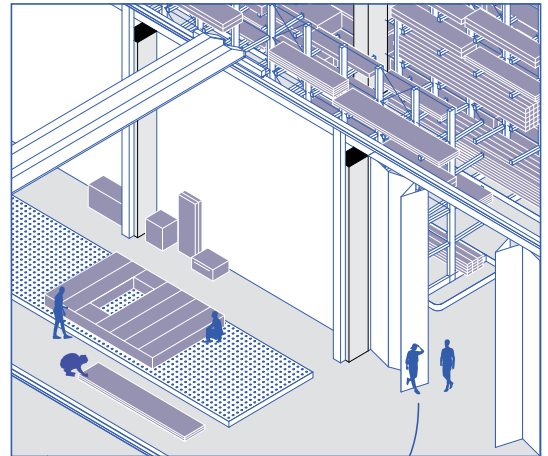
Insgesamt erfüllt der Circular Construction Hub in der Fallstudie somit die definierten funktionalen Grundvoraussetzungen an die gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten. Die Kombination der Hubs, die indirekt an dem zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk beteiligt sind, mit den räumlichen Strategien fügt darüber hinaus eine sozio-kulturelle Ebene hinzu, die einen Beitrag zur allgemeinen Förderung der Thematik leisten kann. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass eine Vielzahl weiterer Bestandstypologien für eine Umnutzung zu Circular Construction Hubs geeignet ist. Daraus können vielfältige Entwurfsszenarien entstehen, die wiederum weitere Kombinationsformen von Circular Construction Hubs und räumlichen Strategien hervorbringen können.

Währenddessen im Circular Construction Hub München...

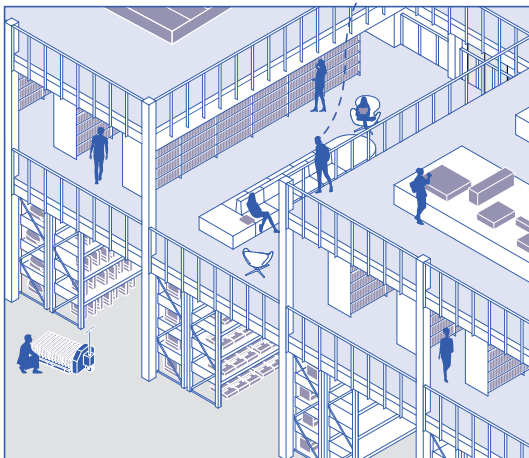


Ah guck mal: unten kommen gerade endlich die Fassadenbleche an. Hast du schon mit Johannes abgesprochen, wie es jetzt weiter geht? Sonst gehe ich schnell runter und frag ihn.

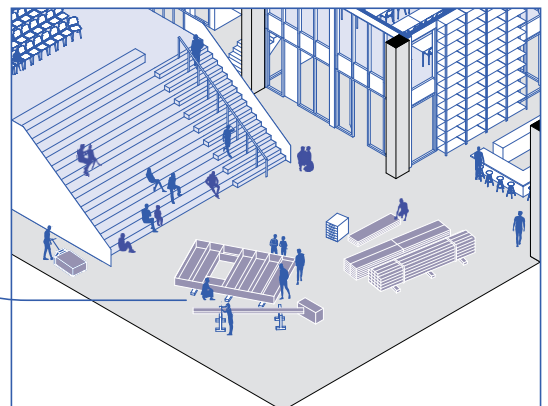
Hat der da unten eine Heizung? Hätte ich ja nicht gedacht, dass man solche Dinge hier kaufen kann! Naja, aber warum auch nicht? Es gibt wohl viele Bauprodukte, die super für die Wiederverwendung geeignet sind, von denen ich nichts wusste...



Ah, gut dass ich dich treffe! Der Wiedereinbau für unsere Elemente hier verzögert sich wohl noch um eine Woche. Wie sieht es bei euch drüben aus? Das Bodenlager müsste doch eigentlich bis KW 23 Platz genug haben, oder?

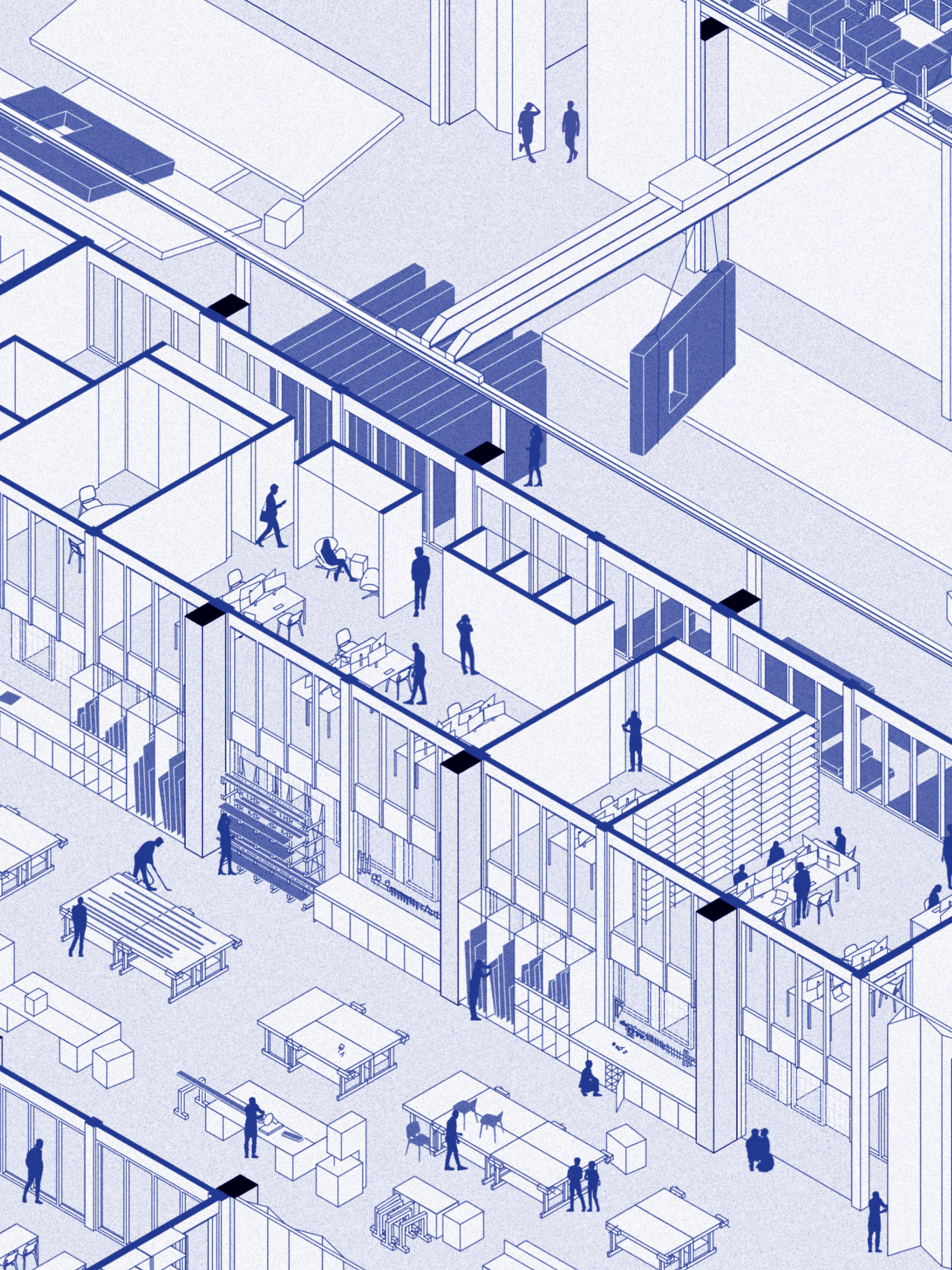


Schön, dass Sie fragen! Wir machen gerade einen Prototyping Workshop mit Studierenden von der TU und den Bauherrinnen für ein kreislauffähiges Umbauprojekt. Später gibt es dazu oben einen Vortrag, falls Sie Lust haben!



5 | Diskussion und Fazit

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst und reflektiert. Zu Beginn wird zunächst eine Zusammenfassung der Arbeit dargelegt. Im Anschluss werden Einschränkungen erläutert, die bei der Betrachtung der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen. Zuletzt werden in einem Ausblick weitere Themenvorschläge aufbereitet, die im Rahmen der Arbeit identifiziert werden konnten.



Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde der Fragestellung nachgegangen, wie eine gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten aufgebaut sein könnte und welche räumlichen Anforderungen und Potenziale sich daraus auf Gebäudeebene ergeben. Die Beantwortung der Fragen wurde sowohl auf theoretischer Ebene als auch entwurfsbezogen nachgegangen. Bereits zu Beginn der Arbeit wurde deutlich, dass in der betrachteten Literatur grundlegende Lücken in dem definierten Themenbereich bestehen. In der Grundlagenermittlung konnte an die Thematik herangeführt werden und vor allem relevante Themenfelder der systemischen Rahmenbedingungen im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten herausgearbeitet werden. Die Themenfelder, die im Zusammenhang mit der gebauten Infrastruktur stehen, konnten dabei die Grundlage für einen zweiten Recherchezyklus im zweiten Kapitel legen. Die Vertiefung begann mit einer Analyse der zirkulären Wertschöpfungskette anhand verschiedener bestehender Beispiele der gebauten Infrastruktur. Als nächstes wurde das Themenfeld der Logistik umfassend betrachtet und räumliche Einflussfaktoren abgebildet. Von besonderer Bedeutung war hierbei die Einteilung eines Logistiksystems für Circular Construction Hubs in die Bauproduktkategorien BK0, BK1, BK2 und BK3, welche eine wesentliche Grundlage für die nachfolgenden Arbeitsschritte bildete. Im Anschluss wurden die Bauproduktkategorien anhand eines Anwendungsbeispiels veranschaulicht, indem beispielhaft Bauprodukte dokumentiert und analysiert wurden. Im letzten Abschnitt der Vertiefung wurde schließlich ein Fokus auf die Aufbereitung gelegt. Die im Rahmen der Grundlagenermittlung erstellte tropfenförmige Grafik der zirkulären Wertschöpfungskette ist als Grundlage in eine Vielzahl der weiteren Arbeitsschritte eingeflossen und wurde im weiteren Verlauf der Arbeit in der Vertiefung und der Ableitung für Analysen angewendet. Darauf aufbauend wurde die Grafik weiterentwickelt, indem sie in *Abschnitt 3.1* für die Darstellung eines zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes angewendet worden ist. Diese Darstellung ermöglicht die Verbindung der verschiedenen Circular Construction Hubs mit den zirkulären Wertschöpfungsketten der Bauproduktkategorien. Darüber hinaus konnten die Definitionen der Circular Construction Hubs nach Tsui (2023) weiterentwickelt und in den Kontext des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes übertragen werden. Durch die anschließende Ableitung eines Basisraumprogrammes und verschiedener exemplarischer Raumtypologien konnten außerdem räumliche Anforderungen der Circular Construction Hubs veranschaulicht werden. Nach einem Fokus auf funktionalen und technischen Faktoren innerhalb des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes wurde das räumliche Potenzial der Circular Construction Hubs auf Gebäudeebene anhand einer Fallstudie herausgearbeitet. Auf diese Weise konnten die vorherigen Konzepte in einem Bestandsgebäude angewendet und getestet werden. Durch das Zusammenspiel der verschiedenen Hubs auf räumlicher Ebene wurde ebenfalls das sozio-kulturelle Potenzial der gebauten Infrastruktur hervorgehoben. Schließlich wurden grundlegende Elemente des Entwurfs ausgeführt, die auch außerhalb des spezifischen Entwurfskontextes im Fallbeispiel in weitere Anwendungsbeispiele für Circular Construction Hubs übertragen werden können.

Einschränkungen

In Anbetracht des begrenzten zeitlichen Umfangs dieser Arbeit sind verschiedene Punkte zu berücksichtigen, die die Generalisierbarkeit der Ergebnisse limitieren.

Grundsätzlich mussten im Verlauf der Arbeit wiederholt Annahmen getroffen werden, die nicht weiter ausgeführt und überprüft werden konnten. Insbesondere im Bereich der großmaßstäblichen Aufbereitung von Bauprodukten besteht auf Basis fehlender Beispiele und Informationen eine erhebliche Unklarheit hinsichtlich industrieller Methoden und Prozesse, die für die Ableitung räumlicher Anforderungen herangezogen werden können. In Anbetracht bestehender Strukturen in der Bauindustrie wurde daher die Annahme getroffen, dass der Industrie Hub eine Werkhalle als exemplarische Raumtypologie zugeordnet werden kann. Auch in der Fallstudie wird sich an Prozessen des industriellen Holzbaus orientiert, ohne dass diese Herangehensweise weiter untersucht wurde. Auf diese Weise konnte zwar eine Idee der Funktion eines Industrie Hubs vermittelt werden, jedoch weder konkrete Aussagen über die industrielle Aufbereitung von Bauprodukten getroffen, noch weiterführende räumliche Anforderungen gestellt werden. Auch im Hinblick auf die Flächenanforderungen der verschiedenen Nutzungen mussten im Rahmen der Fallstudie Annahmen getroffen werden. Diese basieren potenziell auf einer Vielzahl verschiedener Faktoren, zu denen derzeit keine Informationen bestehen. Anforderungen aufbauend auf empirischen Datenerhebungen für den Flächenbedarf der einzelnen Circular Construction Hubs waren nicht Gegenstand dieser Arbeit und konnten somit nicht berücksichtigt werden.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass sich im Kontext der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten verschiedene Fachrichtungen überschneiden. Die vorliegende Arbeit ist mit einem spezifischen Fokus auf die räumlichen Anforderungen und Potenziale auf Gebäudeebene entstanden. Die Vielzahl an fehlenden Informationen in diesem Themenfeld führt in dieser Arbeit zu einem modellartigem Idealszenario. Die Ergebnisse konnten nicht aus der Perspektive anderer Fachrichtungen überprüft und weiterentwickelt werden. Das Einbeziehen weiterer Fachrichtungen würde mit hoher Wahrscheinlichkeit weitere Anforderungen und Bedarfe im zirkulären Wertschöpfungsnetzwerk hervorbringen. Ein Beispiel hierfür sind die bereits erwähnten Flächenanforderungen für die gebaute Infrastruktur. Im Kontext der exemplarischen Raumtypologien ist dies ebenfalls zu beachten. Diese ermöglichen zwar eine Orientierung räumlicher Anforderungen für die Anwendung im Bestand, gehen jedoch auf weitere Einflussfaktoren wie statische Anforderungen nicht weiter ein.

Zuletzt ist die gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten Bestandteil eines weitaus umfassenderen Systems. Sie ist lediglich eine von zahlreichen systemischen Voraussetzungen für Wiederverwendungsprozesse im Bausektor. Die Fallstudie zielt bereits auf die Förderung der vielfältigen Rahmenbedingungen für die Wiederverwendung von Bauprodukten ab. Dennoch sind weitere grundlegende Veränderungen erforderlich, um das Ziel einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu erreichen. Eine umfassende Umsetzung der gebauten Infrastruktur kann somit zwar zu einer Förderung der Wiederverwendungsprozesse von Bauprodukten beitragen, allerdings bleiben weitere systemische Voraussetzungen wie beispielsweise die Gewährleistung weiterhin ungeklärt.

Ausblick

Der vorherige Abschnitt zeigt, dass die Einschränkungen der vorliegenden Arbeit neben dem zeitlichen Umfang insbesondere auf die begrenzte Verfügbarkeit von

Informationen zurückzuführen sind. Diese Punkte eröffnen Raum für weiterführende (Forschungs-)Arbeiten. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen lassen sich unter anderem folgende Themenvorschläge identifizieren:

1. Standardisierte Aufbereitungsprozesse zur großmaßstäblichen Wiederverwendung von Bauprodukten könnten auf verschiedenen Ebenen erforscht werden. Hierbei erstreckt sich der Forschungsbedarf von standardisierten Techniken im Kleinen bis hin zu industrialisierten Prozessen.
2. Im Hinblick auf weitere Anwendungsbeispiele könnten geeignete Bestandsgebäude untersucht, dokumentiert und mit weiteren Kombinationsformen verschiedener Circular Construction Hubs verknüpft werden.
3. Im Kontext variierender Einzugsradien oder Agglomerationsräume könnte der Bedarf und die optimale Standortverteilungen der Circular Construction Hubs erforscht werden. Tsui (2023) hat dies in ihrer Dissertation bereits für die Niederlande durchgeführt. Eine entsprechende Studie wäre auch für Deutschland von großer Relevanz.
4. Als wesentliche Grundlage für eine Anwendung des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerkes könnten logistische Prozesse auf kommunaler, regionaler und nationaler Ebene untersucht werden.
5. Die Erforschung von Orientierungswerten für Flächenanforderungen auf Gebäudeebene an verschiedenen Standorten könnte im Rahmen konkreter Zielsetzungen für die Wiederverwendung dazu beitragen, den Umfang der gebauten Infrastruktur präziser zu bestimmen.
6. Auf der Grundlage von Untersuchungen bestehender Infrastrukturen in der Bauindustrie könnten Strategien für deren Integration in das zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerk entwickelt werden.

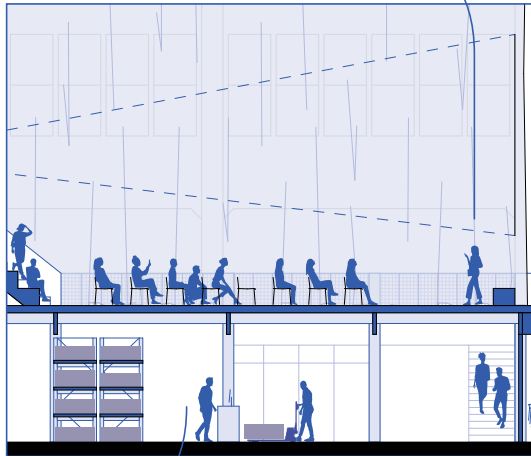
Neben den hier aufgeführten Forschungslücken existiert weiterhin eine Vielzahl an Hemmnissen für die Thematik in der Praxis, wodurch sich sowohl für die Forschung als auch die Praxis ein dringender Handlungsbedarf ableiten lässt. Das Zusammenspiel aus Forschung und Praxis kann hierbei einen praxisnahen und partizipativen Prozess hervorbringen, in dem die Bedarfe der Circular Construction Hubs nicht theoretisch ermittelt werden, sondern in einem dynamischen Austausch festgestellt werden können. Darauf aufbauend ermöglicht diese Herangehensweise die Erforschung der Thematik, während Teilbereiche der gebauten Infrastruktur bereits umgesetzt und genutzt werden.

Fazit

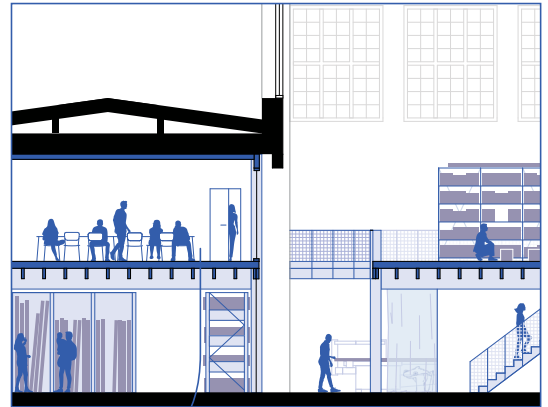
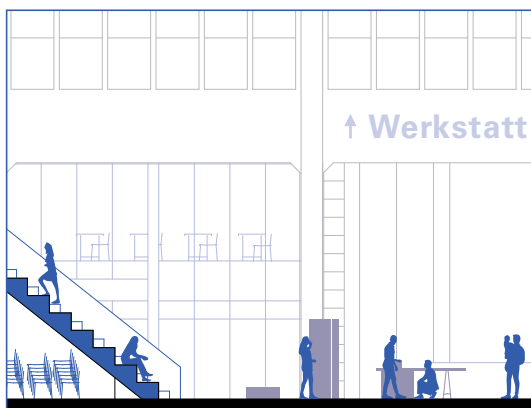
Innerhalb des definierten Rahmens konnten in dieser Arbeit zentrale Themenbereiche der gebauten Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten identifiziert, vertieft und weiterentwickelt werden. Im Hinblick auf die Ausgangsfrage konnten folglich relevante Anforderungen und Potenziale für Circular Construction Hubs auf Gebäudeebene untersucht und aufgezeigt werden. Durch das Zusammenspiel von Theorie und Entwurf konnte ebenfalls eine fundierte Vision für Circular Construction Hubs und das zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerk entwickelt werden. Damit leistet die Arbeit einen Beitrag zur Orientierung innerhalb des bislang wenig erforschten Gebietes und legt eine Grundlage für einen zukünftigen Diskurs. Darauf aufbauend ermöglichen die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse die Identifizierung von Forschungslücken.

Währenddessen im Circular Construction Hub München...

In meiner Masterthesis „Raum für Re-use“ habe ich also die räumlichen Anforderungen und Potenziale im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten untersucht. Wenn Sie Fragen haben, sprechen Sie mich gerne an!



Moin Anton, wir haben gerade die Demontage von 20 Fenstern angemeldet bekommen. Denkst Du, die kommen für euer Umbauprojekt in der Nymphenburger Straße in Frage?



Und wie ist drüben bei euch die Lage? Konnte der Laufkran repariert werden? Die Fassadenbauteile aus der Uthlandstraße sollen wohl doch schon nächste Woche kommen...



Entschuldigen Sie, gibt es von den Fenstern hier noch mehr oder sind das Einzelstücke?

Das müssen Sie einmal meine Kollegin Sophie vorne an der Information fragen. Ich glaube aber, da sind mindestens zehn weitere von drüben im Urban Mining Hub....

Anhang

Glossar

Aufbereitung

Die Aufbereitung ist Teil der zirkulären Wertschöpfungskette und umfasst die Prüfung, die Reinigung, die Reparatur sowie die weitere Verarbeitung und Zertifizierung (vgl. Rotor, 2021; Stricker et al., 2021). ► **S. 52**

Bauprodukt

In dieser Arbeit wird „Bauprodukt“ synonym zu der gängigen Bezeichnung „Bauteil“ verwendet. Der Begriff zielt auf eine übergeordnete Bezeichnung aller in Circular Construction Hubs anfallenden Fördergüter ab, während alle Betrachtungsebenen der Kreislauffähigkeit gemäß Graf & Birk et al. (2022) berücksichtigt werden.

Bauproduktkategorien (BK)

Die Einteilung in Bauproduktkategorien in *Abschnitt 2.2* ermöglicht die Zuordnung von Bauprodukten in ein Logistiksystem für Circular Construction Hubs anhand der Ladeinheit des Bauproduktes in Form von Masse und Abmessung. ► **S. 48**

Betrachtungsebenen der Kreislauffähigkeit

Die Betrachtungsebenen der Kreislauffähigkeit umfassen gemäß Graf & Birk et al. (2022, S. 12) fünf (baukonstruktive) Ebenen: die Gebäudeebene, die Bauteilebene, die Bauelementebene, die Komponentenebene und die Materialebene. ► **S. 12**

Circular Construction Hub

Der Begriff umfasst gemäß Tsui (2023) vier Arten gebauter Infrastrukturen in der Kreislaufwirtschaft: Craft Center, lokale Bauproduktbörsen, Urban Mining Hubs und Industrie Hubs. Die genannten Infrastrukturtypen werden im Rahmen dieser Arbeit in den Kontext der Wiederverwendung von Bauprodukten übertragen. Dabei werden unter ande-

rem Bildungszentren und Beratungsstellen hinzugefügt. ► **S. 60 - 61**

Fördermittel

Als Fördermittel werden Geräte und Hilfsmittel bezeichnet, die im innerbetrieblichen Transport von Fördergütern eingesetzt werden (Aßmann, 2019). Im Kontext dieser Arbeit sind dies Bauprodukte. ► **S. 41**

Gebaute Infrastruktur (zur Wiederverwendung von Bauprodukten)

Als gebaute Infrastruktur zur Wiederverwendung von Bauprodukten werden in dieser Arbeit Bauwerke bezeichnet, die auf programmatischer und morphologischer Ebene die Ausführung der zirkulären Wertschöpfungskette ermöglichen.

Logistiksystem

Als Logistiksystem wird in dieser Arbeit das Zusammenspiel verschiedener Lagersysteme und Fördermittel bezeichnet.

Sekundäre Bauprodukte

Als sekundäre Bauprodukte werden in dieser Arbeit jegliche Bauprodukte bezeichnet, die innerhalb eines geschlossenen Kreislaufes über den ersten Lebenszyklus hinaus verwendet oder verwertet werden.

Social Urban Mining

Das Konzept zielt auf die soziale und wirtschaftliche Unterstützung von typischerweise benachteiligten Arbeitskräften im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten ab.

Urbane Mine, engl. Urban Mining

Aus Heisel & Hebel (2021, S. 219):

„Rückgewinnung von verwend- oder verwertbaren [Bauprodukten] aus der gebauten Umwelt, welche nicht kreislaufgerecht konzipiert und errichtet wurden.“

Weiterverwendung

Aus Hillebrandt et al. (2021, S. 219):

„Erneute Verwendung eines gebrauchten Produkts für einen anderen Verwendungszweck mit gegenüber dem Ursprungszweck niedrigerem Qualitätsanspruch unter Beibehaltung der Produktgestalt (= Downcycling). Beispiel: Verwendung intakter Mauerziegelsteine als Randbegrenzung für Grünflächen.“

Weiterverwertung

Aus Hillebrandt et al. (2021, S. 219):

„Einsatz von Altstoffen und Produktionsabfällen bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem von diesen zuvor noch nicht durchlaufenen Produktionsprozess. Durch Weiterverwertung entstehen Produkte mit neuen bzw. anderen Eigenschaften und/oder anderer Gestalt (...) mit einem gegenüber dem Ursprungszweck niedrigeren Qualitätsanspruch (= Downcycling). Beispiel: Weiterverwertung von Ziegelsplitt zu Pflanzsubstrat.“

Wiederverwendung (Re-use)

Aus Hillebrandt et al. (2021, S. 219):

„Erneute Verwendung eines gebrauchten Produkts für den gleichen Verwendungszweck unter Beibehaltung der Produktgestalt (...). Beispiel: Ausgebauete intakte Mauerziegelsteine werden erneut verbaut.“

Wiederverwendungsprozess

Stricker et al. (2023, S. 238) beschreiben zehn spezifische Leistungen im Rahmen der Wiederverwendung von Bauprodukten: Suche, Beurteilung, Dokumentation, Erwerb, Demontage, Transport, Lagerung, Aufbereitung, Wiedereinbau und Unterhalt. ► **S. 14**

Wiederverwertung

Aus Hillebrandt et al. (2021, S. 219):

„Wiederholter Einsatz von Altstoffen und Produktionsrücklaufmaterial bzw. Hilfs- und Betriebsstoffen in einem gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktionsprozess unter Auflösung der Produktgestalt. Durch Wiederverwertung entstehen aus den Ausgangsstoffen qualitativ weitgehend gleichwertige Werkstoffe (...). Beispiel: Aus Stahlschrott wird durch Schmelzen ein neuer Stahlträger geformt.“

Zirkuläre Wertschöpfungskette

Im Rahmen dieser Arbeit werden alle Prozessschritte des Wiederverwendungsprozesses von Bauprodukten zwischen Demontage und Wiedereinbau übergeordnet als zirkuläre Wertschöpfungskette bezeichnet. Dies umfasst vor allem Transport, Zwischenlagerung und Aufbereitung. ► **S. 17**

Zirkuläres Wertschöpfungsnetzwerk

Der Begriff bezeichnet ein zusammenhängendes System, in dem alle Arten von Circular Construction Hubs durch Wechselwirkungen innerhalb der zirkulären Wertschöpfungsketten miteinander vernetzt werden. ► **S. 59**

Literaturverzeichnis

- Aißmann, R. (2019). Systemtechnik für die Stückgutförderung. In T. Schmidt (Ed.), *Innerbetriebliche Logistik* (pp. 1-40). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-57930-5_1
- Klimaforum Bau. (2021). *DERIX-Gruppe macht Rücknahme gebrauchte Bauteile zum Standard*. <https://klimaforum-bau.de/news/derix-gruppe-macht-ruecknahme-gebrauchter-bauteile-zum-standard/>
- Bundesstiftung Baukultur. (2023). *Baukulturbericht 2022/23: Neue Umbaukultur*. Aumüller Druck.
- BG BAU (2002). *BGV D27 „Flurförderfahrzeuge“*.
https://www.bgbau.de/fileadmin/Medien-Objekte/Medien/DGUV-Vorschriften/68__BGV_D27_/68.pdf
- Brand, S. (1995). *How buildings learn: what happens after they're built*. Penguin Books.
- Brandi, G., & Hentschel, P. (2021). Neue Generalisten, neue Spezialisten: Rotor und die Praxis der Wiederverwendung in Belgien. In G. B. Eva Stricker, Andreas Sonderegger, Marc Angst, Barbara Buser, Michel Massmünster (Ed.), *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen* (pp. S. 151–164). Park Books.
- Bär, H., & Schrems, I. (2021). *Sustainable Finance: Introduction to the EU Taxonomy for a Circular Economy*.
- Campanella, D., Schäufele, J., Schall, C., & Kuntzsch, J. (2022). Echte Materialkreisläufe schaffen – Möglichkeiten und Herausforderungen der Wiederverwendung von Baustoffen. In C. Jacob & S. Kukovec (Eds.), *Auf dem Weg zu einer nachhaltigen, effizienten und profitablen Wertschöpfung von Gebäuden: Grundlagen – neue Technologien, Innovationen und Digitalisierung – Best Practices* (pp. 517-535). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-34962-2_30
- Circle Economy & Metabolic. (2022). *The Circularity Gap Report: Closing the Circularity Gap in the Dutch Built Environment*.
<https://www.circle-economy.com/resources/circularity-gap-report-built-environment-the-netherlands>
- Cohen, D., & Elliott, R. (2022). Infrastruktur für die Wiederverwendung. In D. E. Hebel & F. Heisel (Eds.), *Besser - Weniger - Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft* (pp. 56-61). Birkhäuser.
<https://doi.org/doi:10.1515/9783035626346-011>
- Concular. (2022). *Concular Urban Re-Use Hubs | Info Film | Circular City Challenge 2022*. YouTube. Retrieved 29.05.2024 from <https://www.youtube.com/watch?v=5zhtgRka7As>
- Concular. (2023). Berlin Urban Mining Hub.
<https://urbanmininghub.berlin/pages/uber-uns>
- Cortés, E., & Capelle, A. V. (2021). Urban Mine Incorporation. In D. E. Hebel & F. Heisel (Eds.), *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager*. Fraunhofer IRB Verlag.
- DGNB, GBCe, RFBB, ÖGNI, D-GBC, SGNI, & CPEA. (2023). *Circular Economy Taxonomy Study - Assessing the market-readiness of the proposed Circular Economy EU Taxonomy Criteria for buildings*.
https://www.ogni.at/wp-content/uploads/230208_Taxonomy_CE-Studie_2023_WEB.pdf
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *The butterfly diagram: visualising the circular economy*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner*

- Production*, 143, 757-768.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gobbo, E., Ghyoot, M., Bernair, C., & Paduart, A. (2021). *A roadmap to foster reuse practices in the construction sector: A collection of inspiring actions for public authorities*.
- Graf, J., Birk, S., Poteschkin, V., & Braun, Y. (2022). Kreislaueffektive Bauwende – Auf dem Weg zu einer neuen Tektonik. *Bautechnik 99, Sonderheft Holzbau, Ausgabe 2*, S. 76–84.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bate.202100111>
- Grossarth, J. (2024). Zirkulärwirtschaft (Circular Economy) im Bauwesen – Status quo, Potenziale, Stellschrauben. In *Bioökonomie und Zirkulärwirtschaft im Bauwesen: Eine Einführung* (pp. 267-335). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-40198-6_8
- Hebel, D. E., & Heisel, F. (2022). Concular. In *Besser - Weniger - Anders Bauen: Kreislaufgerechtes Bauen und Kreislaufwirtschaft* (pp. 114-117). Birkhäuser. <https://doi.org/doi:10.1515/9783035626346-023>
- Heisel, F., & Hebel, D. E. (2021). *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager*. Fraunhofer IRB Verlag.
- Heras-Saizarbitoria, I., Boiral, O., & Testa, F. (2024). ISO 59000 Standards for the Circular Economy: a Call for Accuracy. *Circular Economy and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00370-w>
- Hildebrand, L., Flamme, S., Tran, K., Koßmann, M., Kufeld, E., Su, M.,... Hilgers, Y. (2023). *Circularity Score: Entwicklung einer Ex-ante-Methode zu Bewertung von Kreislaufschließung*.
- Hillebrandt, A. (2021). Kreisläufe schließen: Urban-Mining-Design, Urban-Mining-Index und Urban-Loop-Design. In D. E. Hebel & F. Heisel (Eds.), *Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen: die Stadt als Rohstofflager*. Fraunhofer IRB Verlag.
- Hillebrandt, A., Riegler-Floors, P., Rosen, A., & Seggewies, J. (2021). DETAIL. <https://doi.org/doi:10.11129/9783955534165>
- Hillebrandt, A., & Seggewies, J.-K. (2021). Recyclingpotenziale von Baustoffen. In *Atlas Recycling* (pp. 58-101). DETAIL. <https://doi.org/doi:10.11129/9783955534165-012>
- Hofmann, R. (18. März 2024). Chronologie der Münchner Großmarktpläne: Seit mehr als 25 Jahren ein Sanierungsfall. *Süddeutsche Zeitung*.
- Hossain, M. U., Ng, S. T., Antwi-Afari, P., & Amor, B. (2020). Circular economy and the construction industry: Existing trends, challenges and prospective framework for sustainable construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109948.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109948>
- Hubmann, G., & van Maaren, V. (2022). Circular Material Systems: anticipating whole-system design in architecture and construction. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1078(1), 012002.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012002>
- Hubmann, G., & van Maaren, V. (2023). Circular Practices in Construction. *Journal of Physics: Conference Series*, 2600(19), 192017.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/19/192017>
- Huß, W. (2017a). Produktion. In *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau* (pp. 138-141). DETAIL. <https://doi.org/doi:10.11129/9783955533540-015>
- Huß, W. (2017b). Vorfertigung. In *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau* (pp. 142-149). DETAIL. <https://doi.org/doi:10.11129/9783955533540-016>
- Ilka, R., & Vaner, D. (2023). *Besser als neu: wie man eine Bürofassade emissionsarm und zirkular saniert*. Ruby Press.

- ISO (Hrsg.) (ISO 59004:2024, 2024): ISO 59004:2024, Circular economy - Vocabulary, principles and guidance for implementation.
- Jaeger-Erben, M., & Hofmann, F. (2019). *Kreislaufwirtschaft - Ein Ausweg aus der sozial-ökologischen Krise?*
- Jocher, T., & Loch, S. (2012). Raumpilot: Grundlagen. In W. Stiftung (Ed.). Wüstenrot Stiftung, Ludwigsburg und Karl Krämer Verlag Stuttgart.
- John, V., & Stark, T. (2021). *Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE): Potenzial zur systematischen Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten im regionalen Kontext und Realisierung eines Pilotprojektes*. BBSR-Online-Publikation 27/2021.
- Kaufmann, H., Krötsch, S., & Winter, S. (2017). DETAIL.
<https://doi.org/doi:10.11129/9783955533540>
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>
- Kirchheim, A., & Dibbern, P. (2019). Flurförderzeuge. In T. Schmidt (Ed.), *Innerbetriebliche Logistik* (pp. 41-61). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-57930-5_2
- 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/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Leitner, W., Tschreppl, T., & Krumpel, P. (2020). Logistik, Transport und Lieferbedingungen. In D. Sternad, M. Höfferer, & G. Haber (Eds.), *Grundlagen Export und Internationalisierung* (pp. 219-250). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-29444-1_12
- Leonhardt, T., & Anders, M. (2019). Hebezeuge und Kransysteme. In T. Schmidt (Ed.), *Innerbetriebliche Logistik* (pp. 63-71). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-57930-5_3
- Linde GmbH. (2020). *Lösungen für Schmalganglager: Planung, Realisierung und Betrieb eines Schmalganglagers mit Linde System-technik*.
- Massmünster, M. (2021). Reportage K.118. In E. Stricker, G. Brandi, A. Sonderegger, M. Angst, B. Buser, & M. Massmünster (Eds.), *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen*. Park Books.
- Metz, B. (2024). Abrisswahn in Deutschland: Abriss-Atlas für mehr Transparenz. *Baumeister*, (B1), 42-46.
- Müller, K. (2024). „Die Studierenden sollen verstehen, was ihre Ideen auslösen“ [Interview].
- Beschluss des Ausschusses für Stadtplanung und Bauordnung vom 25.03.2020, (2020). <https://risi.muenchen.de/risi/dokument/v/5943648>
- Pasel, R., & Weidinger, J. (2018). *Entwurfsbasiert Forschen: Ralf Pasel und Jürgen Weidinger über Promotionsprogramm der TU Berlin* [Interview]. https://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen-Ralf_Pasel_und_Juergen_Weidinger_ueber_Promotionsprogramm_der_TU_Berlin_5447149.html
- Pauli, M. (2023). *Zirkuläre Bauwirtschaft: Strategien und Best Practices für die beschleunigte Transformation des Bausektors*. Springer Vieweg.
- Prox, M. (2022). Circular Economy. In B. Schwager (Ed.), *CSR und Nachhaltigkeitsstandards: Normung und Standards im Nachhaltigkeitskontext* (pp. 261-274). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-662-64913-8_14
- Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft

- sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr (1996). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A31996L0053>
- Rosen, A. (2021a). Rückbau, Verwertung und Entsorgung im Bauwesen. In *Atlas Recycling* (pp. 16-23). DETAIL.
<https://doi.org/doi:10.11129/9783955534165-005>
- Rosen, A. (2021b). *Urban Mining Index: Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung* Bergische Universität Wuppertal]. Stuttgart.
- Rotor. (2021). *Material Sheets: Reuse Toolkit*.
https://opalis.eu/sites/default/files/2022-02/FCRBE-all_sheets_merged-EN.pdf
- Schiermeier, F. (2019). *Sendling: Reiseführer für Münchner*. Franz Schiermeier Verlag.
- Schmidt, T., Hahn-Woernle, P., & Heptner, F. (2019). Lagersysteme für Stückgut. In T. Schmidt (Ed.), *Innerbetriebliche Logistik* (pp. 73-112). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-57930-5_4
- Schuster, S., & Geier, S. (2023). *circularWOOD: Paradigmenwechsel für eine Kreislaufwirtschaft im Holzbau*. BBSR-Online-Publikation 15/2023, Bonn.
- Statistisches Bundesamt. (2024). *Abfallbilanz 2022*.
<https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Tabellen/liste-abfallbilanz-kurzuebersicht.html#1333838>
- Stricker, E., Brandi, G., Sonderegger, A., Angst, M., Buser, B., & Massmünster, M. (2021). *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen*. Park Books.
- TNO, & Provincie Zuid Holland (2022). *Kansen voor circulaire bouwhubs in de Provincie Zuid-Holland*. https://www.zuid-holland.nl/publish/pages/19299/a2_definitief_verkenning_circulaire_economie_provincie_zuid_holland.pdf
- Tsui, T. (2023). Spatial approaches to a circular economy: Determining locations and scales of closing material loops using geographic data. *A+BE / Architecture and the Built Environment*, 13 (20), 1-230.
<https://doi.org/10.7480/abe.2023.20.7282>
- van Stijn, A., & Gruis, V. (2020). Towards a Circular Economy in the Built Environment: An Integral Design Framework for Circular Building Components. In R. Roggema & A. Roggema (Eds.), *Smart and Sustainable Cities and Buildings* (pp. 571-591). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37635-2_39
- Weismann, M., Herget, M., Funck, N., & Dietz, R. (2023). *Zirkuläres Bauen in der Praxis. Ein Status Quo*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22384.02564>

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------------------|---|-----------------|
| Abbildung 1 | Biologischer und Technischer Wertekreislauf. Eigene Darstellung nach der Ellen Mac Arthur Foundation (2019) mit Spezifizierung des biologischen Kreislaufes für Holz nach Schuster & Geier (2023, S. 18). | Seite 10 |
| Abbildung 2 | Mögliche Nutzungs- und Lebenszyklen von Bauprodukten. Eigene Darstellung nach Hillebrandt & Seggewies (2021, S. 59). | Seite 11 |
| Abbildung 3 | Die fünf Hierarchieebenen der Kreislauffähigkeit von Bauwerken. Eigene Darstellung gemäß Graf et al. (2022, S. 12). | Seite 12 |
| Abbildung 4 | Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten in zehn Schritten nach Stricker et al. (2021). Eigene Darstellung. | Seite 15 |
| Abbildung 5 | Zirkuläre Wertschöpfungskette im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten. Eigene Darstellung. | Seite 17 |
| Abbildung 6 | Einordnung der verschiedenen Arten von Circular Construction Hubs in die Typologiesierung der Geschäftsmodelle für kreislauffähiges Bauen mit Holz von Schuster & Geier (2023, S. 46), basierend auf Jaeger-Erben & Hofmann (2019). Eigene Darstellung nach Schuster & Geier (2023, S. 46). | Seite 25 |
| Abbildung 7 | Themenfelder systemischer Rahmenbedingungen im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten. Eigene Darstellung. | Seite 29 |
| Abbildung 8 | Bauteilbörse Basel, Isonometrie. Eigene Darstellung. | Seite 33 |
| Abbildung 9 | Bauteilbörse Basel, Zirkuläre Wertschöpfungskette. Eigene Darstellung. | Seite 33 |
| Abbildung 10 | Urban Mining Hub Berlin, Isonometrie. Eigene Darstellung. | Seite 35 |
| Abbildung 11 | Urban Mining Hub Berlin, Zirkuläre Wertschöpfungskette. Eigene Darstellung. | Seite 35 |
| Abbildung 12 | Lager von Zirkular, Isonometrie. Eigene Darstellung. | Seite 37 |
| Abbildung 13 | Lager von Zirkular, Zirkuläre Wertschöpfungskette. Eigene Darstellung. | Seite 37 |
| Abbildung 14 | Industrie Hubs, potenzielle zirkuläre Wertschöpfungskette. Eigene Darstellung. | Seite 39 |
| Abbildung 15 | Exemplarische Darstellung von Flurförderzeugen. Eigene Darstellung nach Produktdatenblättern der STILL GmbH. | Seite 42 |

| | | |
|---------------------|---|-----------------|
| Abbildung 16 | Exemplarische Darstellung von Kransystemen. Eigene Darstellung nach Leonhardt & Anders (2019). | Seite 43 |
| Abbildung 17 | Aufgereihete Lagerung von Bauprodukten. Eigene Darstellung | Seite 46 |
| Abbildung 18 | Bodenlagerung von Bauprodukten. Eigene Darstellung. | Seite 46 |
| Abbildung 19 | Fachbodenregal. Eigene Darstellung. | Seite 47 |
| Abbildung 20 | Palettenregal. Eigene Darstellung. | Seite 47 |
| Abbildung 21 | Kragarmregal. Eigene Darstellung. | Seite 47 |
| Abbildung 22 | Einteilung der Bauproduktkategorien anhand der Transporteinheit des Bauproduktes in Form von Masse und Abmessung. Eigene Darstellung. | Seite 49 |
| Abbildung 23 | Verteilung der Quellentypen auf die Gebäudeschichten. Eigene Darstellung. | Seite 51 |
| Abbildung 24 | Relative Verteilung der Bauproduktkategorien auf die Gebäudeschichten. Eigene Darstellung. | Seite 51 |
| Abbildung 25 | Zuordnung der Gebäudeschichten in die Bauproduktkategorien. Eigene Darstellung. | Seite 51 |
| Abbildung 26 | Beispielhafter Grundriss einer Werkhalle des Holzbauunternehmens Gump & Maier, Biswangen (DE). Eigene Darstellung nach Huß (2017a). | Seite 54 |
| Abbildung 27 | Einteilung der Circular Construction Hubs in Einzugsgebiet und Zielgruppe. Eigene Darstellung. | Seite 59 |
| Abbildung 28 | Zirkuläres Wertschöpfungsnetzwerk im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten. Eigene Darstellung. | Seite 61 |
| Abbildung 29 | Kombinationsformen verschiedener Circular Construction Hubs. Eigene Darstellung. | Seite 62 |
| Abbildung 30 | Isonometrie, Lager und Verkaufsfläche BK0. Eigene Darstellung. | Seite 66 |
| Abbildung 31 | Räumliche Anforderungen, Lager- und Verkaufsfläche BK0. Eigene Darstellung. | Seite 67 |
| Abbildung 32 | Isonometrie, Lager und Verkaufsfläche BK1. Eigene Darstellung. | Seite 68 |
| Abbildung 33 | Räumliche Anforderungen, Lager- und Verkaufsfläche BK1. Eigene Darstellung. | Seite 69 |

| | | |
|---------------------|---|------------------------------------|
| Abbildung 34 | Isonometrie, Lager BK2. Eigene Darstellung. | Seite 70 und 71 |
| Abbildung 35 | Räumliche Anforderungen, Lager BK2. Eigene Darstellung. | Seite 72 und 73 |
| Abbildung 36 | Isonometrie, Lager und Werkhalle BK3. Eigene Darstellung. Räumliche Anforderungen, Lager und Werkhalle BK3. Eigene Darstellung. | Seite 74 Seite 75 |
| Abbildung 37 | Schwarzplan 1:20.000. Eigene Darstellung. | Seite 79 |
| Abbildung 38 | Grundriss und Schnitt des Bestandsgebäudes. Eigene Darstellung. | Seite 81 |
| Abbildung 39 | Wimmelbild. Eigene Darstellung. | Seite 82 und 83 |
| Abbildung 40 | Sprengisonometrie. Eigene Darstellung. | Seite 84 |
| Abbildung 41 | Anordnung der Circular Construction Hubs im Bestand. Eigene Darstellung. | Seite 85 |
| Abbildung 42 | Mögliche interne Transportwege der Bauproduktkategorien. Eigene Darstellung. | Seite 85 |
| Abbildung 43 | Querschnitt. Eigene Darstellung. | Seite 86 und 87 |
| Abbildung 44 | Längsschnitt. Eigene Darstellung. | Seite 88 und 89 |
| Abbildung 45 | Grundriss Erdgeschoss. Eigene Darstellung. | Seite 90 |
| Abbildung 46 | Grundriss 1. Obergeschoss. Eigene Darstellung. | Seite 91 |
| Abbildung 47 | Grundriss 2. Obergeschoss. Eigene Darstellung. | Seite 91 |
| Abbildung 48 | Comic I: „Währenddessen im Circular Construction Hub München“. Eigene Darstellung. | Seite 93 |
| Abbildung 49 | Comic II: „Währenddessen im Circular Construction Hub München“. Eigene Darstellung. | Seite 99 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-------------------|---|------------------------|
| Tabelle 1 | Zusammenfassung der räumlichen Parameter von Circular Construction Hubs. Eigene Darstellung nach Tsui (2023, S. 157). | Seite 23 |
| Tabelle 2 | Auswahl verschiedener Akteur*innen innerhalb der Geschäftsmodelle des kreislauffähigen Bauens. Eigene Darstellung. | Seite 27 |
| Tabelle 3 | Orientierungswerte für Flurförderzeuge aus Produktdatenblättern der Firmen STILL, Linde und HUBTEX. Eigene Darstellung. | Seite 42 |
| Tabelle 4 | Orientierungswerte für Kransysteme aus Produktdatenblättern der Firma ABUS. Eigene Darstellung. | Seite 43 |
| Tabelle 5 | Genormte Hubhöhen nach VDI-Richtlinie 2388: Krane in Gebäuden - Planungsgrundlagen. Eigene Darstellung. | Seite 43 |
| Tabelle 6 | Orientierungswerte Fachbodenregale. Eigene Darstellung. | Seite 47 |
| Tabelle 7 | Orientierungswerte Palettenregale. Eigene Darstellung. | Seite 47 |
| Tabelle 8 | Orientierungswerte Kragarmregale. Eigene Darstellung. | Seite 47 |
| Tabelle 9 | Ideensammlung für Raumnutzungen im Themenfeld Wissen. Eigene Darstellung. | Seite 63 |
| Tabelle 10 | Basisraumprogramm. Eigene Darstellung. | Seite 64 und 65 |
| Tabelle 11 | BK0 - Plattenwerkstoffe und Kleinteile. Eigene Darstellung. | Seite 67 |
| Tabelle 12 | BK1 - Palettenware, kleine Bauprodukte. Eigene Darstellung. | Seite 69 |
| Tabelle 13 | BK2a - Palettenware. Eigene Darstellung. | Seite 72 |
| Tabelle 14 | BK2b - Langgut. Eigene Darstellung. | Seite 73 |
| Tabelle 15 | BK3 - große, schwere Bauprodukte. Eigene Darstellung. | Seite 75 |

Bauprodukt dokumentation

Betrachtete Beispiele:

Praxis: Gebaute Beispiele & Pilotprojekte

BKB Fassadensanierung, Basel, CH (2020)
 ELYS Gemeindezentrum, Basel, CH (2021)
 K.118, Winterthur, CH (2021)
 Lycée Michel Lucius, Luxemburg, LU (2021)
 Opalis, Website (BE)

Verkauf: Verfügbare Bauprodukte

Bauteilkatalog Immobilien Basel-Stadt (CH)
 Bauteilnetz (DE)
 BLOEM gebuikte Bouwmaterialien (NL)
 Concular (DE)
 Materium (CH)
 Oogstkaart (NL)
 Restado (DE)
 Rotor DC (BE)
 Ricardo (CH)
 Useagain (CH)

Theorie

Hochschule Augsburg (2022) *Architektur. Im Kreis.*
 Hillebrandt et al. (2021) *Atlas Recycling.*
 Stricker et al. (2021) *Bauteile wiederverwenden: Ein Kompendium zum zirkulären Bauen.*
 Feuerwehrhaus Straubenhardt, Gemeinde Straubenhardt, 2022 (DE)
 Graf & Birk et al. (2022) *Kreislauffeffektive Bauwende.*
 Hebel & Wappner (2023) *Sortenrein bauen: Material, Konstruktion, Methodik.*
 Haus des Holzes, Sursee, 2022 (CH)
 Triodos Bank, Driebergen-Rijsenburg, 2019 (NL)
 Pilotprojekt Schlierweg (Wettbewerb), Basel, 2024 (CH)
 Rosen (2021b) *Urban Mining Index.*

| Schicht Ebene | Kategorie | Material | Bauprodukt | BK0 | BK1 | BK2 | BK3 |
|---------------------|----------------------------|--------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Grundstück | | | | | | | |
| Komponente | Bodenbeläge | A | Fliesen | | | | ○ |
| | | A | Pflaster | | | | ○ |
| | | A | Rasengitter | | | | ○ |
| | | A | Ziegel | | | | ○ |
| | Grenzen | DIV | Zäune und Tore | | | | ○ |
| Konstruktion | | | | | | | |
| Bauteilebene | Decke | B | Holzrahmen | | | | ○ |
| | | B | Holzmassiv | | | | ○ |
| | | B | Holzrippendecke | | | | ○ |
| | Wand | B | Holzrahmen | | | | ○ |
| | | B | Holzmassiv | | | | ○ |
| | Stützen- & Trägersystem | A | Betonfertigteil skelett | | | | ○ |
| B | | Holz skelett | | | | ○ | |
| M | | Stahlskelett | | | | ○ | |
| Bauelemente | Dach | B | Holzrahmen | | | | ○ |
| | | B | Holzmassiv | | | | ○ |
| | | B | Holzrippendecke | | | | ○ |
| | Decke | B | Sparrendach | | | | ○ |
| | | B | Holzmassiv | | | | ○ |
| | | B | Holzrahmen | | | | ○ |
| | Träger | B | Holzrippendecke | | | | ○ |
| | | A | Betonfertigteil | | | | ○ |
| | | B | BSH/ Baubuche | | | ○ | ○ |
| | | B | KVH | | | ○ | ○ |
| | Aussteifung | M | Profilstahl | | | ○ | ○ |
| | | B | BSH/ Baubuche | | | ○ | ○ |
| | | B | KVH | | | ○ | ○ |
| | Fundament Stütze | M | Profilstahl | | | ○ | ○ |
| | | M | Schraubfundament | | ○ | ○ | |
| | Wand | A | Betonfertigteil | | | | ○ |
| | | B | BSH/ Baubuche | | | | ○ |
| | | B | KVH | | | ○ | ○ |
| | | M | Profilstahl | | | ○ | ○ |
| | | B | Holzrahmen | | | | ○ |
| B | | Holzmassiv | | | | ○ | |
| Komponente | Bepunktung Konstruktion | // | Siehe „Ausbau“ | ○ | ○ | ○ | |
| | | B | BSH/ Baubuche | | | ○ | ○ |
| | | B | BSP | | | | ○ |
| | | B | KVH | | | ○ | ○ |
| | | A | Mauerstein | | | ○ | ○ |
| | | B | Profilstahl | | | ○ | ○ |

| | | | BK0 | BK1 | BK2 | BK3 | |
|--------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|---|
| Komponente | Belag/ Bekleidung | M Aluminiumpanele | | ○ | ○ | | |
| | | DIV Elastische Beläge | | | ○ | ○ | |
| | | B Holzbeläge | | | ○ | ○ | |
| | | A Keramikbeläge | | ○ | ○ | | |
| | | DIV Laminat | | ○ | ○ | | |
| | | A Naturstein | | | ○ | ○ | |
| | | DIV Teppichbeläge | | | ○ | ○ | |
| | | A Zementbeläge | | | ○ | ○ | |
| | | Bepankung | B Faserwerkstoffe | ○ | ○ | ○ | |
| | | | B Lagenwerkstoffe | ○ | ○ | ○ | |
| | B Massivholzplatten | | ○ | ○ | ○ | | |
| | Bodenaufbau | B Spanwerkstoffe | ○ | ○ | ○ | | |
| | | A Schüttung | | | ○ | | |
| | Bauelemente | Erschließung | DIV Trittschalldämmung | | | ○ | |
| | | | DIV Aufzug | | | | ○ |
| | | Innentüren | DIV Außentreppen | | | | ○ |
| | | | DIV Innentreppen | | | ○ | ○ |
| | | | DIV Rampen | | | ○ | ○ |
| | | | DIV Brand-/ Schallschutztüren | | ○ | ○ | |
| | | Wand (nichttragend) | DIV Eingangstüren | ○ | ○ | ○ | |
| | | | DIV Innentüren ohne Anforderung | ○ | ○ | ○ | |
| | | | DIV Tore | ○ | ○ | ○ | |
| | | Sonstiges | M C-Profile | | ○ | ○ | |
| A Glasbausteine | | | ○ | ○ | | | |
| B Holzständer KVH | | | ○ | ○ | | | |
| Komponente | Sonstiges | DIV Trennwandsystem | | | ○ | | |
| | | A Verglasung innen | | ○ | ○ | | |
| | DIV Absturzsicherung | ○ | ○ | ○ | | | |
| | M Gitterrost | ○ | ○ | ○ | | | |
| DIV Handlauf | ○ | ○ | ○ | | | | |
| Ausstattung | | | | | | | |
| | Ausstattung | B Vorhänge | ○ | ○ | | | |
| | | M Briefkastenanlage | ○ | ○ | | | |
| | | M Fahrradständer | ○ | ○ | | | |
| | Einbaumöbel | DIV Küchen | ○ | ○ | | | |
| | | DIV Küchenausstattung | ○ | | | | |
| | | DIV Schränke | ○ | ○ | | | |
| | Elektronik | DIV Beleuchtung (außen) | ○ | | | | |
| | | DIV Beleuchtung (innen) | ○ | | | | |
| | | DIV Sonst. Elektrogeräte | ○ | | | | |
| | Sanitär | M Armaturen | ○ | | | | |
| | | A Badewanne/ Dusche | | | ○ | | |
| | | DIV Spülsysteme | ○ | ○ | | | |
| | sonstiges | A WCs | ○ | ○ | | | |
| | | A Waschtische | ○ | ○ | | | |
| | | DIV Ersatzteile | ○ | | | | |
| DIV Möblierung | ○ | ○ | | | | | |

Herausgeberin
Marieke Stritzke

Konzeption & Gestaltung
Marieke Stritzke

Masterthesis
**Raum für Re-Use:
Anforderungen und Potenziale im Wiederverwendungsprozess von Bauprodukten**

Betreut von
Prof. Stephan Birk und Tabea Huth

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

München, September 2024

