



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

DIPLOMARBEIT

Die zirkuläre Stadt von morgen

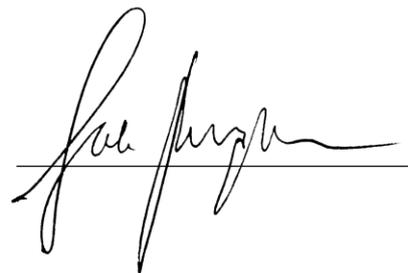
*Zukunftsvisionen für eine
Kreislaufwirtschaft im Bauwesen
am Beispiel ressourcenschonender
Strategien im urbanen Raum.*

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades
einer Diplom-Ingenieurin unter Leitung von
Alireza Fadai
Associate Professor Dipl.-Ing. Dr. techn.

E 259.2 Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau

von Julia Flaszynska
01126527

Wien, am 29.10.2021



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Der / die unterzeichnete Verfasser / Verfasserin der nachstehend angeführten Hochschulschrift:

Die zirkuläre Stadt von morgen
Zukunftsvisionen für eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen
am Beispiel ressourcenschonender Strategien im urbanen Raum.

nimmt im Sinne der §§ 42 und 42a Urheberrechtsgesetz 1936 in der jeweils gültigen Fassung zur Kenntnis:

Die gedruckte Version der Hochschulschrift wird in der Universitätsbibliothek der Technischen Universität (eine Dissertation auch in der Nationalbibliothek) aufgestellt, allgemein zugänglich gemacht und somit veröffentlicht.

1. Die Universitätsbibliothek darf, solange die Hochschulschrift veröffentlicht, aber nicht erschienen oder vergriffen ist, ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin für den eigenen Gebrauch einzelne Vervielfältigungsstücke herstellen. Ebenso dürfen auf Bestellung für den eigenen Gebrauch eines anderen unentgeltlich bzw. durch Fotokopien oder andere reprographische Verfahren auch gegen Entgelt, einzelne Vervielfältigungsstücke hergestellt werden.

2. Ist die Hochschulschrift bereits erschienen (d.h. durch Druck oder ein anderes Vervielfältigungsverfahren bereits in den Verkehr gebracht) und noch nicht vergriffen, darf die Universitätsbibliothek ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin für den eigenen Gebrauch von Teilen davon einzelne Vervielfältigungsstücke herstellen. Ebenso dürfen auf Bestellung für den eigenen Gebrauch eines anderen unentgeltlich bzw. durch Fotokopien oder andere reprographische Verfahren auch gegen Entgelt, einzelne Vervielfältigungsstücke von Teilen der Hochschulschrift hergestellt werden. (Erfolgt die Vervielfältigung für den eigenen Gebrauch durch Abschreiben, kann auch von einem erschienenen und noch nicht vergriffenen Werk ohne Zustimmung des Verfassers / der Verfasserin dieses zur Gänze vervielfältigt werden.)

3. Die Universitätsleitung hat beschlossen, zusätzlich zum gedruckten Exemplar ein elektronisches Exemplar (PDF-Dokument, PDF/A bzw. PDF ab Version 1.4) zu verlangen und die Hochschulschriften über einen Server der Universitätsbibliothek der TU Wien der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, sofern keine Benützungssperre vorliegt und der Verfasser / die Verfasserin seine / ihre Zustimmung dazu gibt. Das Urheberrecht verbleibt beim Verfasser/ bei der Verfasserin; eine spätere Veröffentlichung in einem Verlag in Druckform bleibt möglich. Die Erfassung der bibliografischen Daten der Hochschulschrift, das Hochladen der elektronischen Version und die Abgabe der Einverständniserklärung erfolgt elektronisch in TISS.

4. Die Hochschulschrift muss selbständig verfasst sein, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel dürfen nicht benutzt werden.

Ich versichere, dass ich diese Hochschulschrift bisher weder im In- oder Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, am 29.10.2021

A handwritten signature in black ink, written over a horizontal line. The signature is cursive and appears to read 'Sue Puzos'.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

*„Jeder Eingriff setzt eine Zerstörung voraus,
zerstöre mit Verstand und mit Freude.“¹*

Luigi Snozzi, Schweizer Architekt und Professor
für Architektur, über das Architekturschaffen.

¹Rimmel, 2015, S. 54.

Kurzfassung

Die Kreislaufwirtschaft eröffnet einen Paradigmenwechsel: ein nachhaltigeres, regeneratives System, das durch Minimierung des Ressourcen- und Energieeinsatzes geschlossene Produkt-, Material- und Energiekreisläufe aufweist - nach dem Vorbild der Natur, in der nichts grundlos existiert, in der kein unnützer Abfall entsteht, in der geschlossene Kreisläufe herrschen.

Unser bisheriger, linearer Ansatz des Wachstums basiert auf der Annahme, dass Ressourcen reichlich vorhanden sind. Dieser Ansatz eignet sich allerdings nicht, um die aktuellen und vor allem zukünftigen Bedürfnisse der Menschheit zu decken und ein lebenswertes Umfeld aufrechtzuerhalten. Vor allem die Aktivitäten der Bauindustrie haben signifikante Auswirkungen auf die Umwelt und bieten ein enormes Potenzial, Stoffkreisläufe zu schließen und Ressourcen zu schonen. Vor allem Städte, als Zentren enormer Materialflüsse, könnten einen Wandel vom Ressourcenfresser zum Ressourcenlager erfahren.

Diese Arbeit widmet sich dieser Thematik, versucht ihr auf unterschiedlichen Ebenen zu begegnen und Lösungsansätze vorzuschlagen. Nach gründlicher Analyse der Ist-Situation wird deutlich, dass bereits seit Jahrzehnten der Problematik im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Bauwirtschaft auf den Klimawandel über die Energieeffizienzsteigerung in der Nutzungsphase begegnet wird, selten jedoch mit den Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Dennoch sind, mitunter aufgrund der zwingenden rechtlichen Vorgaben, Tendenzen in Richtung Ressourcenschonung im Bauwesen zu beobachten. Dabei nimmt das Konzept der Kreislaufwirtschaft eine zentrale Rolle ein.

Um den aktuellen Stand der Technik überprüfen zu können und daraus Entwurfsstrategien für effektive Ressourcenschonung und -nutzung auszuarbeiten, werden Forschungsarbeiten, Beispielprojekte und einschlägige Literatur analysiert. Dabei bestätigt sich, dass vor allem in frühem Stadium des Planungsprozesses eine tiefe Auseinandersetzung mit Materialität und Konstruktion erforderlich ist, um Verwertungsprozesse zu optimieren und eine Kreislaufführung zu ermöglichen. Darauf aufbauen wird anschließend versucht zu klären, welche kreislaufgerechten Strategien durch Planer*Innen im frühen Entwurfsstadium angewendet werden können.

Das in Folge der theoretischen Auseinandersetzung entwickelte Toolkit für kreislaufgerechte Planung wird in Kapitel 3 präsentiert und kann als Planungshilfe für zukünftige Neubauvorhaben zur Hilfe genommen werden. Der Fokus liegt hier auf den Ebenen der Materialität und Konstruktion, da auf diesen Ebenen die zirkulären Eigenschaften von Baukonstruktionen abgebildet und die Hauptziele der Kreislaufwirtschaft und des ressourcenschonenden Bauens erreicht werden können.

Den Abschluss der Arbeit bildet ein Entwurf, der an ein laufendes Projekt der Stadt Wien zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen anknüpft und die wesentlichen Aspekte einer ressourcenoptimierten Bauweise exemplarisch an der Bauaufgabe eines Ausstellungs-Pavillons abbildet. Dabei dient das in Kapitel 3 vorgestellte Toolkit mit materiellen und konstruktiven Handlungsparametern als Kriteriengerüst und Entscheidungshilfe.

In der Hoffnung auf Veränderung und eine bessere, zirkuläre Bauwirtschaft!

Abstract

The circular economy introduces a paradigm shift: a more sustainable, regenerative system, that offers closed product, material and energy cycles whilst minimizing the waste of resources and energy - based on the example of nature, in which nothing exists for no reason, in which there is no useless waste and closed cycles dominate.

Until now, our linear approach to growth is based on the assumption, that resources are abundant. However, this approach is not suitable for meeting current and, above all, future needs of mankind and for maintaining an environment that is worth living in. The activities of the construction industry have significant effects on the environment and thus offer enormous potential for closing material cycles and conserving resources. Cities in particular, as centres of enormous material flows, could experience a change from resource devourers to resource banks.

This work is dedicated to this topic, tries to meet it on different levels and suggests possible solutions. After a thorough analysis of the current situation, it turns out that for decades the problem concerning the effects of the construction industry on climate change has been addressed by increasing energy efficiency in the usage phase, but rarely with the environmental effects over the entire life cycle of a building. Nevertheless, due to the mandatory legal requirements, a shift towards resource conservation in the construction industry can be observed. Strategies of the circular economy can play a central role in dealing with this topic.

In order to investigate the current state of the art and to elaborate resource-efficient design principles, research work, reference projects and relevant literature is analysed. It becomes clear that, especially in the early stages of the planning process, a deep examination of materiality and construction is necessary. Building on this, an attempt is made to clarify, which circular strategies can be used by planners in the early design stage.

The toolkit for circular planning, developed as a result of the theoretical discussion, is presented in chapter 3 and can be used as a supporting planning device for future projects. The focus lies on the levels of materiality and construction, as the circular properties of building structures can be mapped on these levels and the main goals of circular economy and resource-saving can be achieved.

The end of the work forms design project that ties in with an ongoing project of the city of Vienna to establish a circular economy in the building industry and depicts the essential aspects of resource-optimized construction on the example of an exhibition pavilion. Thus, the toolkit presented in chapter 3, with its material and constructive parameters, serves as a criteria framework and decision-making aid.

In the hope of change and a better, more circular construction industry!

Danke!

An dieser Stelle möchte ich ein herzliches ‚Danke‘ an die Personen richten, die mich sowohl auf meinem Weg durch das Studium als auch auf den letzten Metern beim Verfassen dieser Arbeit begleitet haben.

Zunächst möchte ich mich bei Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Alireza Fadai bedanken, der mir als engagierter Betreuer stets mit Anregungen und Antworten zur Seite stand.

Danke an meine Mentorin und gewissermaßen auch Bauherrin, Dipl.-Ing. Dr. techn. Anna-Vera Deinhammer, die trotz ihrer unglaublich umfangreichen Aufgaben im Stadtbaurat immer ein Ohr für meine Fragen offen hatte. Danke für die, oftmals langen, wertvollen und inspirierenden Gespräche! Mein Dank gilt auch Dipl.-Ing. Klaus Kodydek, den ich zu einem späteren Zeitpunkt kennenlernen durfte und der mich vor allem bei meinen Fragen zum Entwurf des DoTanks unterstützt hat.

An meine Studienkollegen und Studienkolleginnen, die zu Freunden wurden, mit denen ich Seite an Seite durch diese spannende und intensive Zeit gehen durfte. Ich bedanke mich vor allem bei Amirah, die das gesamte Studium an meiner Seite war und mich in allen Lebenslagen versteht, unterstützt und ermutigt. Aber auch an Johannes, Magdalena und Judith, mit denen ich vor allem die letzten Schritte bei der Erstellung dieser Arbeit gegangen bin.

Mein Dank gilt auch meiner Familie, die immer großes Vertrauen in mich gesetzt hat. Allem voran meinen beiden Schwestern, die mir nicht nur stets mit Rat und Tat Beistand leisten, sondern auch Toleranz und Verständnis schenken, wenn ich wieder ‚wegen der Uni keine Zeit‘ hatte.

Schlussendlich an meinen Partner, Diego, der bereits am Tag meiner Inskription für das Architekturstudium an meiner Seite stand, weil er wusste, dass ‚dieses Fach gut zu mir passt‘ und stets Vertrauen in mich hatte, selbst wenn ich im Zweifel war. Ich danke Dir!

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1 Problemstellung.....	11
1.2 Ziele & Methodik.....	12

2. Aktueller Forschungsstand & Ist-Analyse

2.1 Die Kreislaufwirtschaft	15-20
2.1.1 Einleitung.....	15
2.1.2 Begriffserklärung	16
2.1.3 Das Cradle to Cradle-Modell	18
2.2 Urbane Materialflüsse (In- & Outputs im Bauwesen).....	22-31
2.2.2 Der urbane Metabolismus	22
2.2.3 Materialflüsse in Österreich	24
2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen	32-43
2.3.1 Einleitung.....	32
2.3.2 Maßnahmen auf EU-Ebene	33
2.3.3 Abfallwirtschaft in Österreich.....	38
2.4 Nachhaltige Stadtverdichtung & Urban Mining.....	44-59
2.4.1 Einleitung.....	44
2.4.2 Nachhaltige Stadtverdichtung	45
2.4.3 Urban Mining.....	49
2.5 Das kreislaufgerechte Bauen	60-116
2.5.1 Einleitung.....	60
2.5.2 Strategien zur Optimierung der Ressourcennutzung	61
2.5.3 Kreislaufgerechte Konstruktionsprinzipien oder: die Schaffung eines Materiallagers.....	64
2.5.4 Ressourcenschonende & kreislauffähige Baustoffe.....	70
2.5.5 Wirtschaftlichkeit des Rückbaus	74
2.5.6 Ressourcenerhaltende Verwertungswege.....	76
2.5.6 Planungsstrategien und Hilfsmittel	84
2.5.7 Fallbeispiele / Referenzprojekte / Best Practice Beispiele.....	104
2.6 Fazit Theorie.....	117-119

3. Das Toolkit

3.1 Einleitung: Handlungsparameter für kreislaufgerechte Planung.....	121-124
3.2 Materielle Handlungsparameter.....	125-134
3.3 Konstruktive Handlungsparameter.....	135-144
3.4 Gegenüberstellung Gewichtung.....	145-146
3.5 Entscheidungsmatrix.....	147-148

4. Der Entwurf

4.1 Einleitung.....	152
4.2 Architektonisches Konzept & Zieldefinition.....	153-154
4.3 Raumprogramm & Ausstellungsführung.....	155-160
4.4 Städtebaulicher Kontext	161-166
Verortung.....	161
Historische Entwicklung.....	163
4.5 Pläne/Konstruktion.....	167-194
Lageplan.....	167
Grundriss	169
Schnitte	171
Konstruktion & Materialität.....	173
4.6 Visualisierungen	195-202
4.7 Skalierung	203-210

5. Conclusio & Ausblick

213-220

6. Anhang

6.1 Literaturverweise.....	223-228
6.2 Abbildungsverzeichnis.....	229-232
6.3 Tabellenverzeichnis.....	232

01

Einleitung

1. Problemstellung
2. Ziele & Methodik

S. 11
S. 12

1.1 Problemstellung

Die Aktivitäten der Bauindustrie haben signifikante Auswirkungen auf die Umwelt. Weltweit fallen enorme Mengen an Bau- und Abbruchabfällen an, welche nur schwer oder gar nicht wiederverwertet werden können. Dabei handelt es sich größtenteils um wertvolle Ressourcen bzw. Baustoffe mit erhöhtem Anteil an grauer Energie, also Energie zur Gewinnung, Herstellung, Verarbeitung und Transport, bei denen die Kreislaufführung eine Primärproduktion und die damit verbundenen Umweltwirkungen erübrigen würde.

Die Tatsache, dass Gebäude standardgemäß abgebrochen werden, ohne aus ihnen und den darin verbauten Materialien Wert zu schöpfen, ist höchst alarmierend. Die wesentliche Problematik besteht darin, dass den End-of-Life-Szenarien und der Rückbauplanung in unserer gebauten Umwelt noch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde und wird. Denn ob ein Gebäude wertschöpfend und abfallvermeidend rückgebaut werden kann, hängt im Wesentlichen davon ab, ob es auch dementsprechend entworfen worden ist.

Außerdem sind staatsübergreifende Regulierungen und Normen notwendig, um Stoffkreisläufe zu schließen und somit eine kreislaufgerechte Bauindustrie zu gewährleisten.

Die Problemstellungen erweisen sich größtenteils als nachvollziehbar, jedoch scheinen die Anforderungen an Architekten und Architektinnen sowie Ingenieure und Ingenieurinnen unklar. Welche Strategien bieten sich vor allem (v.a.) in der Entwurfsphase des Bauprozesses, um eine Demontage und somit das Re-Use oder Recycling-Potenzial von Bauprodukten zu gewährleisten? Welche Methoden tragen zur Schließung von Ressourcenkreisläufen bei? Wie können diese Prozesse in städtischen Bauaufgaben, implementiert werden, um eine nachhaltige Verdichtung zu ermöglichen?

1.2 Ziele & Methodik

Vorrangiges Ziel der Arbeit ist es, Strategien zu erarbeiten, die von Planern und Planerinnen angewendet werden können, um eine Kreislauffähigkeit von Gebäuden zu ermöglichen und geschlossene Stoffkreisläufe im Bauwesen zu etablieren.

Um die Thematik näher zu erörtern, wird folgenden Fragestellungen nachgegangen:

- Welche Potenziale bietet die Kreislaufwirtschaft für das Bauwesen und inwiefern kann ein Wandel im Bauwesen einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten?
- Welche Methoden der Kreislaufwirtschaft können angewendet werden, um nachhaltige Stadtverdichtung in Wien zu gewährleisten?
- Welche Anstöße und Strategien sind in politischen Maßnahmen bis dato verankert?
- Welche Auswirkungen hat kreislaufgerechtes Bauen auf die Planung?
- Welche Materialien eignen sich für das kreislaufgerechte Bauen und können werterhaltend zirkulieren?
- In welchem Ausmaß können Überlegungen zu End-of-Life Szenarien von Baumaterialien bzw. Bauteilen bereits in die Entwurfsplanung miteinbezogen werden?
- Welche Verwertungsszenarien werden einer bedachten und nachhaltigen Ressourcennutzung gerecht?
- Welche Rolle spielen Pionierprojekte bzw. Leuchtturmprojekte?

Um diese Fragestellungen zu beantworten, wird zunächst ein Überblick über den aktuellen Forschungsstand gegeben und Strategien zur Optimierung des Bauwesens bzw. Lösungsansätze der zuvor erörterten Problemstellungen überprüft.

Dadurch soll ein tiefgründiges Verständnis der komplexen Thematik erlangt werden, um darauf aufbauend eigene Rückschlüsse und Entwurfsstrategien auszuarbeiten. Diese werden im weiteren Schritt anhand eines Entwurfs exemplarisch angewendet und abschließend in der Conclusio analysiert.

2

Aktueller Forschungsstand & Ist-Analyse

- | | |
|--|------------|
| 1. Die Kreislaufwirtschaft | S. 15-20 |
| 2. Urbane Materialflüsse (In- & Outputs im Bauwesen) | S. 21-31 |
| 3. Rechtliche Rahmenbedingungen | S. 32-43 |
| 4. Nachhaltige Stadtverdichtung & Urban Mining | S. 44-59 |
| 5. Das kreislaufgerechte Bauen | S. 60-116 |
| 6. Fazit Theorie - Findings & Lessons Learned | S. 117-119 |

2.1 Die Kreislaufwirtschaft

2.1.1 Einleitung

Unser Wirtschaftssystem ist zum Nachteil unseres Ökosystems linear konzipiert. Dieses einseitige ökonomische Denken stellt die Werte der Gewinn- und Verlustrechnung als die bedeutendsten Handlungsparameter dar und geht damit auf Kosten unserer Umwelt. Denn das damit angestrebte kontinuierliche Wachstum setzt die Ausbeutung von Rohstoffen als Kollateralschaden voraus. Viele aktuelle Probleme, unter anderem (u.a.) das enorme Abfallaufkommen, sind mitunter auf undurchdachte bzw. falsch durchdachte Prozesse in der Wirtschaft zurückzuführen. Nicht umsonst trägt das lineare Wirtschaftssystem den Beinamen ‚Wegwerfwirtschaft‘.²

Das ‚take-make-waste‘-System (ins Deutsche übersetzt ‚Entnehmen-Verarbeiten-Entsorgen‘) der linearen Wirtschaft nahm laut (lt.) Michael Braungart und William McDonough (2016), ihren Ursprung in der industriellen Revolution und der daraus folgenden Landflucht. Dabei war die Zeit der Industrialisierung von einem großen Optimismus und dem Glauben an den Fortschritt der Menschheit geprägt. Diese ökonomische Revolution, vor allem vorangetrieben von einem Streben nach Kapitalerwerb, setzte eine massenhafte Produktion in Gang, welche aus heutiger Sicht gesehen, viele Folgen nach sich zieht.³

Die Kreislaufwirtschaft wird als Lösungsmodell verstanden und soll eine Kehrtwende ermöglichen. Um zu verstehen, welche Vorteile sich daraus ergeben ist es förderlich, sich einen Überblick über dieses alternative Wirtschaftsmodell zu verschaffen.

Dieses Kapitel widmet sich dieser Thematik und stellt die Vorteile einer Umkehr zur Kreislaufwirtschaft ins Zentrum der Betrachtung.

² Vgl. Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile, in: Europäisches Parlament: Aktuelles, Stand: 07.01.2021, www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile(abgerufen am:12.10.2021)

³ Vgl. Braungart, Michael / William McDonough: Cradle to Cradle: Einfach intelligent produzieren, 2. Aufl., Berlin: Bloomsbury Verlag GmbH, 2016, S. 87.

2.1.2 Begriffserklärung

„Die Kreislaufwirtschaft ist ein Modell der Produktion und des Verbrauchs, bei dem bestehende Materialien und Produkte so lange wie möglich geteilt, geleast, wiederverwendet, repariert, aufgearbeitet und recycelt werden. Auf diese Weise wird der Lebenszyklus der Produkte verlängert. In der Praxis bedeutet dies, dass Abfälle auf ein Minimum reduziert werden. Nachdem ein Produkt das Ende seiner Lebensdauer erreicht hat, bleiben die Ressourcen und Materialien so weit wie möglich in der Wirtschaft.“⁴

Dabei wird die Kreislaufwirtschaft als entgegengesetzte Bewegung zur heute üblichen linearen Wirtschaftsform verstanden. Wie aus Abb. 2-1 ersichtlich basiert das Modell der Kreislaufwirtschaft auf dem Prinzip, das Lebenszyklusende eines Produktes bzw. einer Ware unmittelbar mit dem Anfang eines nächsten zu verknüpfen und somit den Kreislauf zu schließen. So sollen neue Stoffwege aufgezeigt und unser Konsumverhalten in allen Bereichen revolutioniert werden.⁵

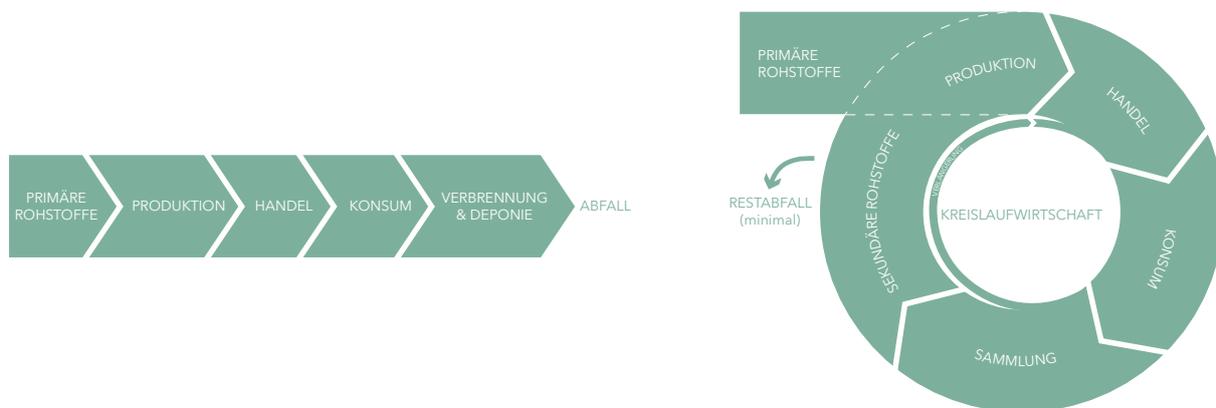


Abb. 2-1: links: lineares Wirtschaftssystem; rechts: kreislauffähiges Wirtschaftssystem

⁴ Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile, 2021.

⁵ Vgl. Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile, 2021.

Materialien bzw. Güter sollen wieder- oder weiterverwendet bzw. -verwertet, aufgearbeitet und umverteilt werden, sodass sie den Kreislauf optimalerweise nicht als Abfall verlassen. Das Abfallaufkommen soll auf diese Weise minimiert bzw. gar zur Gänze vermieden werden (siehe Abb. 2-2). Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist ein Produkt bzw. ein Material am Ende seines Lebenszyklus demnach nicht verbraucht, sondern lediglich gebraucht.⁶

Sonja Lahtinen (2019) hält fest, dass der Wandel vom linearen zum zirkulären Wirtschaftssystem von unserer Kreativität abhängig ist, weil wir gezwungen sind uns vorzustellen ‚was sein könnte‘. Mit ihrer Grafik (siehe Abb. 2-2) hält Lahtinen fest, wie durch eine Abwendung vom linearen Wirtschaftssystem zur Kreislaufwirtschaft Abfall reduziert und sogar vermieden werden kann.⁷

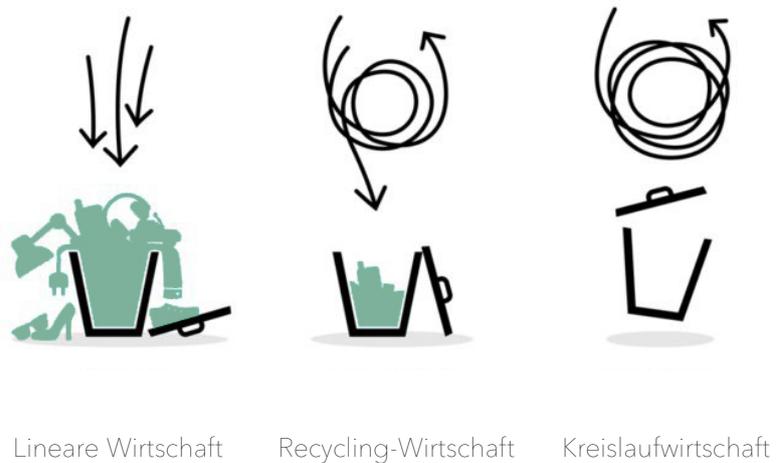


Abb. 2-2: Gegenüberstellung der Wirtschaftsmodelle über Veranschaulichung der Abfallvermeidung

⁶ Vgl. Rau, Thomas / Sabine Oberhuber: Material Matters: Wie wir es schaffen, die Ressourcenverschwendung zu beenden, die Wirtschaft zu motivieren, bessere Produkte zu erzeugen, und wie Unternehmen, Verbraucher und die Umwelt davon profitieren, aus dem niederländischen ins Deutsche übersetzt von Ira Wilhelm, 2. Aufl., Berlin: Econ Verlag, 2019.

⁷ Vgl. Lahtinen, Sonja: This isn't an ordinary Monday (but why it should be in a circular economy), Stand: 03.12.2019, www.sonjalahtinen.fi/whitemonday (abgerufen am: 02.10.2020)

2.1.3 Das Cradle to Cradle-Modell

„Natürliche Systeme entnehmen ihrer Umwelt etwas, aber sie geben auch etwas zurück. Der Kirschbaum lässt seine Blüten und Blätter fallen, verdunstet Wasser und produziert Sauerstoff; die Ameisenkolonie verteilt Nährstoffe wieder überall im Boden. Wir können ihrem Beispiel folgen und eine inspirierende Beziehung – eine Partnerschaft – mit der Natur aufbauen. [...] Wir können Systeme entwickeln, die sich selbst regulieren“⁸

Unter dem Leitsatz ‚Cradle to Cradle‘, ins Deutsche übersetzt ‚von der Wiege zur Wiege‘, entwickelten der Chemiker Michael Braungart und der Architekt William McDonough (2016) aufbauend auf den Regeln der Kreislaufwirtschaft, ein Konzept mit dem Ziel, einen nahezu perfekten Kreislauf zu erreichen, ohne sich zwingend in Verzicht zu üben. Das Cradle to Cradle-Modell strebt danach, die Prinzipien der Natur auf unser Wirtschaftssystem zu übertragen: ein System zu erschaffen, in dem alle Nährstoffe in Kreisläufen geschlossen zirkulieren und jeder Abfall Nahrung ist.⁹

Laut dem Cradle to Cradle-Prinzip sollen kostbare Rohstoffe und Ressourcen entweder in einem biologischen oder technischen Kreislauf zirkulieren und geschlossene Systeme bilden (siehe Abb. 2-3).

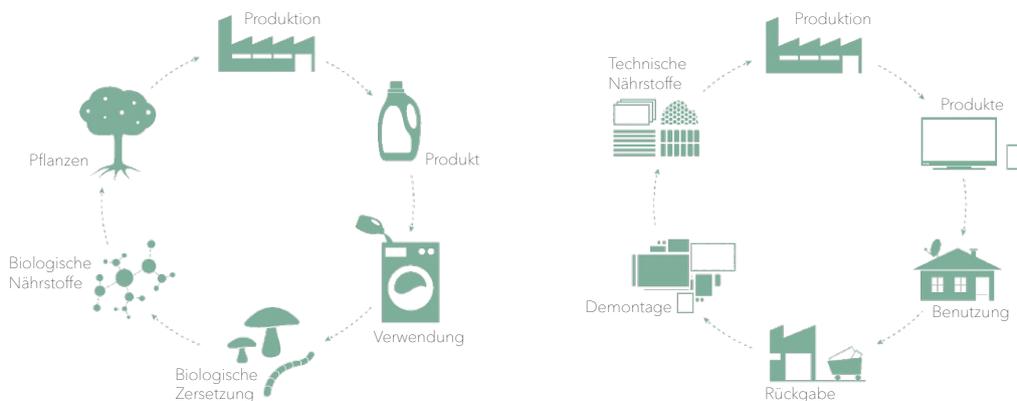


Abb. 2-3: biologischer und technischer Kreislauf lt. Cradle to Cradle-Modell

⁸ Braungart / McDonough, 2016, S. 193.

⁹ Vgl. Braungart / McDonough, 2016, S. 123.

Im biologischen Kreislauf landen Verbrauchsgüter nach der Nutzung idealerweise als organische Stoffe auf dem Kompost, um der Natur als Nährstoff zu dienen. Im technischen Kreislauf wiederum sollen Gebrauchsgüter so hergestellt werden, dass sie durch chemische oder mechanische Prozesse sinnvoll wieder- und weiterverwendet bzw. -verwertet werden können.¹⁰

Nach der Cradle to Cradle-Vorstellung ist vor allem im Baubereich ein großer Handlungsspielraum gegeben. Denn in Anbetracht des großen Ressourceneinsatzes sind besonders in dieser Industrie zahlreiche intelligente Verschwendungsmaßnahmen möglich.

In Ihrem Buch hinterfragen die Autoren Braungart und McDonough das Prinzip der Öko-Effizienz als oberste Maxime für die Lösung der Probleme, welche unmittelbar mit unserem linearen Wirtschaftssystem in Verbindung stehen: „Die Öko-Effizienz macht das alte System lediglich ein bisschen langsamer zerstörerisch. In manchen Fällen kann sie sogar schädlicher sein, weil ihre Wirkung subtiler und langfristiger ist.“¹¹

So kritisieren sie zum Beispiel (z.B.) Ansätze für öko-effiziente Gebäude, wie den Einsatz von besserem Dämmmaterial und dichten Fenstern, um die Dichtheit eines Gebäudes zu garantieren und die Heizlasten zu minimieren. Demzufolge werden jedoch Luftaustauschraten verringert, was zu einer erhöhten Konzentration der Innenraumluftbelastung durch chemische Substanzen, welche die Materialien und Produkte im Inneren emittieren, führt.¹²

¹⁰ Vgl. Braungart / McDonough, 2016, S. 135ff.

¹¹ Braungart / McDonough, 2016, S. 87.

¹² Vgl. Braungart / McDonough, 2016, S. 88.

Außerdem hinterfragen Braungart und McDonough (2016) die Doktrin, die sich mit der Öko-Effizienz in der Gesellschaft verankert hat:

„Wie unsere Vorfahren reagieren wir vielleicht automatisch mit Angst und Schuldgefühlen und suchen nach Möglichkeiten, die die ‚Öko-Effizienz‘-Bewegung mit ihren Ermahnungen, weniger zu konsumieren und zu produzieren, indem man auch ein Minimum reduziert, vermeidet, verringert und Opfer bringt, zur Genüge anbietet. [...] Solange die Menschen als ‚schlecht‘ betrachtet werden, ist *null* ein erstrebenswertes Ziel. Aber weniger schlecht zu sein bedeutet, die Dinge so zu akzeptieren, wie sie sind, und zu glauben, schlecht konzipierte, zerstörerische Systeme seien das *Beste*, was die Menschheit hervorbringen könnte.“¹³

Die Autoren sehen in ebendieser Denkweise den eigentlichen Fehler, der sich in einer fehlenden Vorstellungskraft ausdrückt.

Als übergeordneten Gedanken zur Öko-Effizienz schlagen die Autoren ferner das Konzept der Öko-Effektivität vor, welches nicht als Ziel hat, „die Dinge richtig zu machen“ sondern „die richtigen Dinge“ zu machen. In diesem Sinne, soll vermieden werden, dass die falschen Dinge weniger schlecht gemacht werden, was laut den Autoren Output des, von Effizienz geprägtem, gängigen Wirtschaftshandeln ist. Gebäude sollen so, im besten Fall, in eine Symbiose mit der (gebauten) Umwelt verschmelzen und alle natürlich gegebenen Prinzipien, wie beispielweise das Tageslicht und die sommer-nächtliche Kühle, zum Besten ausnutzen. Auch die ‚Biophilie‘, also die Liebe der Menschen zum Aufenthalt im Freien, sei hier als wichtiger Faktor zu nennen. So sollen Gebäude der Umwelt nutzen, anstatt sie systematisch zu zerstören.¹⁴

¹³ Braungart / McDonough, 2016, S. 91.

¹⁴ Vgl. Braungart / McDonough, 2016, S. 103f.

2.2 Urbane Materialflüsse (In- & Outputs im Bauwesen)

Menschliche Siedlungsaktivitäten haben einen signifikanten Einfluss auf das jeweilige räumliche Umfeld. Diese Einflüsse, in Form von Energie- und Materialflüssen, rufen eine Reihe von Wechselbeziehungen mit dem Umland auf regionaler als auch globaler Ebene hervor. Materialflussanalysen (MFA) dienen zur Visualisierung dieser Ressourcennutzung in Form von In- und Outputs.

Um die Problematik im Zusammenhang mit dem schonungslosen Ressourcenverbrauch und enormen Abfallaufkommen näher zu beleuchten, ist es förderlich einen Überblick über gesellschaftliche Stoffströme zu schaffen.

Eisenmenger et al. (2020) halten das Potenzial der Materialflussanalyse zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft wie folgt fest:

„Mit der Erweiterung der bisher input-orientierten MFA hin zu den Outputflüssen, kann unter anderem die Kreislauffähigkeit einer Wirtschaft detailliert analysiert und aufgezeigt werden, welcher Anteil der Ressourcen derzeit im Kreislauf geführt wird und in welchem Ausmaß diese Sekundärflüsse die primären Ressourceninputs und die Outputs entlasten.“¹⁵

In diesem Kapitel wird die Relevanz der Optimierung von Materialflüssen für den urbanen Metabolismus dargestellt sowie das derzeitige Abfallaufkommen und die Abfallbehandlung beleuchtet.

¹⁵ Eisenmenger, Nina / Barbara Plank / Eva Milota / Sylvia Gierlinger: Ressourcennutzung in Österreich: Bericht des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Band 3, Wien, 2020, S. 5.

2.2.2 Der urbane Metabolismus

Der so genannte urbane Metabolismus bezeichnet ein Konzept zur Betrachtung städtischer Energie- und Stoffströme der Gesellschaften, ähnlich wie bei natürlichen Organismen mit ihrer natürlichen Umwelt. Datengrundlage zur Beschreibung und Analyse von gesellschaftlicher Ressourcennutzung bildet die wirtschaftsräumliche Materialflussrechnung. Sie erfasst alle Materialien, die innerhalb bestimmter Systemgrenzen kursieren. Die natürliche Umwelt nimmt für dieses sozio-ökonomische System, wie aus Abbildung 2-4 ersichtlich, eine wichtige Rolle ein. Einerseits dient sie als Quelle für Rohstoffe, wie zum Beispiel Erdöl oder Getreide, welche entnommen und in der Gesellschaft verarbeitet werden, andererseits fungiert sie als Senke, die gesellschaftliche Emissionen und Abfälle in Form physischer Outputs wieder abbauen und in natürliche Kreisläufe bzw. Lager zurückführen muss. Probleme in diesem System äußern sich auf der Inputseite u.a. durch Ressourcenknappheit, Zerstörung von Ökosystemen und Flächenknappheiten. Auf der Outputseite belasten Abfälle und Emissionen die begrenzte Aufnahme- und Abbaufähigkeit des natürlichen Systems.¹⁶

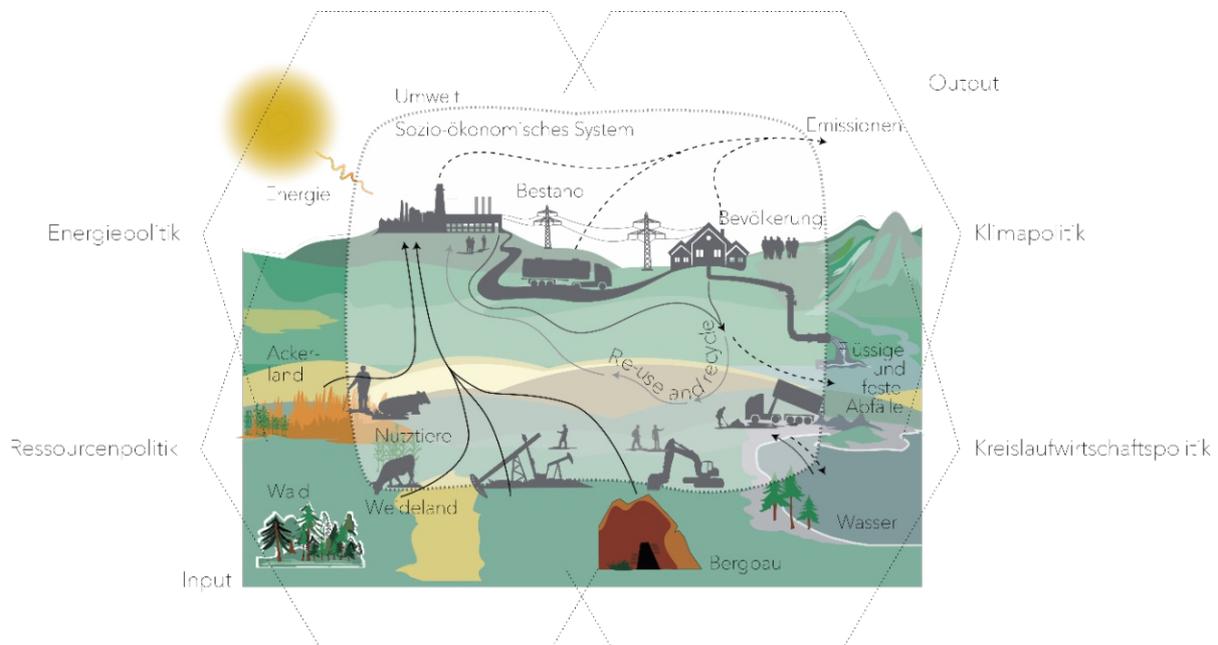


Abb. 2-4: Schema des gesellschaftlichen Metabolismus

¹⁶ Vgl. Eisenmenger et al., 2020, S.15f.

Eisenmenger et al. (2020) unterstreichen:

„Der direkte physikalische Zusammenhang zwischen Inputs und Outputs hat große Bedeutung für die Betrachtung und das Management von Ressourcenflüssen. Denn jeder Input wird [...] zu einem späteren Zeitpunkt zu einem Output (Abfall oder Emission). In der Umweltpolitik führte diese Betrachtungsweise unter anderem zu einer Verschiebung des Fokus von Abfällen und Verschmutzung hin zu den Ressourceninputs.“¹⁷

Eine Veränderung der Inputs, also der Menge oder Zusammensetzung, hat im Umkehrschluss direkte Auswirkungen auf die gesellschaftlichen Outputs und damit auf die Umweltbelastung durch Abfälle und Emissionen.

¹⁷ Eisenmenger et al., 2020, S.13.

2.2.3 Materialflüsse in Österreich

Das Bauwesen ist neben den Fraktionen verarbeitendes Gewerbe, den Dienstleistungen und dem Bergbau, wie aus Abbildung 2-5 ersichtlich, für einen enormen Materialfluss in Österreich verantwortlich. Um folglich auf die Umweltauswirkungen des Bauwesens sowohl von der Input- als auch Outputseite reagieren zu können, ist es wichtig, sich einen Überblick über die Materialflüsse im Bauwesen zu schaffen.

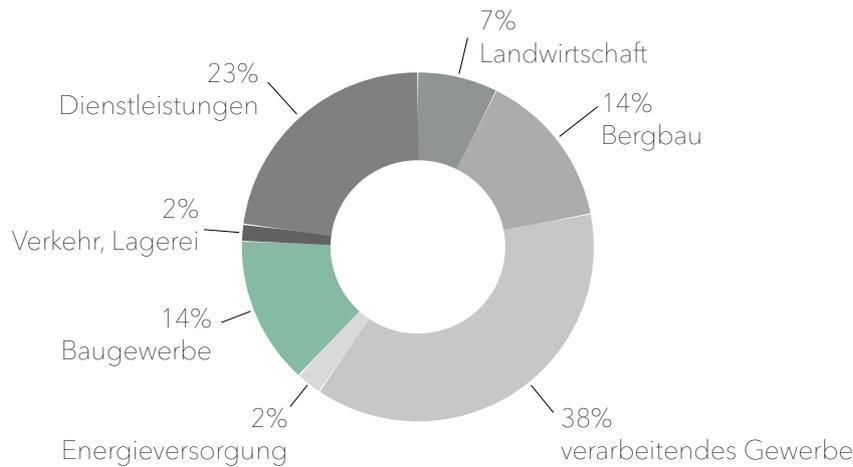


Abb. 2-5: Material-Fußabdruck nach Wirtschaftssectoren im Jahr 2015 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen)

Inländisch entnommen werden in Österreich hauptsächlich Produkte aus Baumineralien und Biomasse. Mineralische Rohstoffe sind v.a. im nördlichen, östlichen und südlichen Alpenvorland in Form von Lockergestein vorhanden. Auch Festgestein, welches vorwiegend im Alpenbereich gebrochen wird, liegt in großen Mengen vor.¹⁸

So wie viele andere Industrieländer, importiert Österreich deutlich mehr Güter als es exportiert. Somit ist Österreich stark von Ressourcenimporten abhängig. So werden über 40 % der gesamten Materialien, die in der Produktion oder im Konsum gebraucht werden, aus dem Ausland importiert. Vor allem fossile Energieträger und Güter aus metallischen Rohstoffen werden zum Großteil importiert. Lt. Eisenmenger et al. (2020) sind dies Rohstoffe, „die wir in der nachgefragten Menge und Vielfalt nicht im eigenen Land zur Verfügung haben.“¹⁹

¹⁸ Vgl. Fehringer, Roland / Bernd Brandt / Hans Daxbeck / Stefan Neumayer / Heinz Buschmann / Andreas Gassner / Elisabeth Moser-Marzi / Milorad Erdelean: Schaffung von rechtlichen Potenzialen für Urban Mining im Abfallrecht, Abschlusspaket Teil c, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2014, S. 58.

¹⁹ Eisenmenger et al., 2020, S. 35.

2.2.3.1 Abfallaufkommen in der EU & in Österreich

„Der weltweit wachsende Bedarf an Produkten und Gütern führt zu einem wachsenden Anstieg des Ressourcenverbrauchs und in weiterer Folge des Abfallaufkommens.“²⁰

Die Bauwirtschaft hat einen enormen Ressourcenbedarf und leistet somit einen signifikanten Beitrag zur Produktion von Abfall und CO₂. Der Gebäudesektor verbraucht rund 40% der Energie und ist für etwa 36% der Emissionen von CO₂ in der EU verantwortlich.²¹

Außerdem zählen Bau- und Abbrucharbeiten volumenmäßig zu den größten Abfallverursachern in der Europäischen Union. Der Bausektor ist demnach, wie aus Abbildung 2-6 ersichtlich, für etwa 35% der Abfälle in der EU verantwortlich.²²

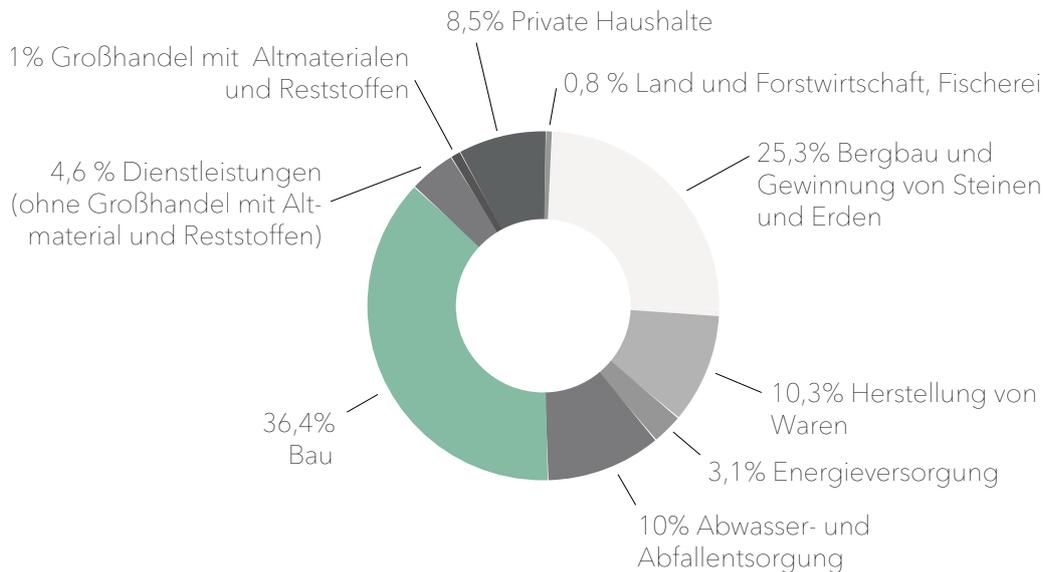


Abb. 2-6: Abfälle aus wirtschaftlichen Tätigkeiten und von Haushalten, EU-28, 2016

²⁰ Kreislaufwirtschaft statt Wegwerfgesellschaft: in: Umweltbundesamt, 2020, www.umweltbundesamt.at/kreislaufwirtschaft (abgerufen am: 05.11.2020).

²¹ Vgl. New rules for greener and smarter buildings will increase quality of life for all Europeans: in: European Commission, 2019, ec.europa.eu/info/news/new-rules-greener-and-smarter-buildings-will-increase-quality-life-all-europeans-2019-apr-15_en (abgerufen am: 05.05.2021).

²² Vgl. Europäische Kommission: Den Kreislauf schließen: Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft, Brüssel: Europäische Kommission, 2015, S. 19.

In Österreich fielen im Jahr 2018 insgesamt 66,47 Millionen Tonnen (Mio. t) an Abfällen an.²³ Davon ca. 11,14 Mio. t mineralische Abfälle (ohne Aushubmaterialien, Verpackungen, Asbest, Holz und gefährliche Abfälle) durch Bau- und Abbrucharbeiten²⁴ und 37,14 Mio. t als Aushubmaterialien²⁵, welche im Zuge von Bautätigkeiten als Abfall anfielen. Es handelt sich dabei folglich um die zwei mengenmäßig bedeutendsten Anteile am österreichischen Abfallaufkommen (siehe Abb. 2-7).

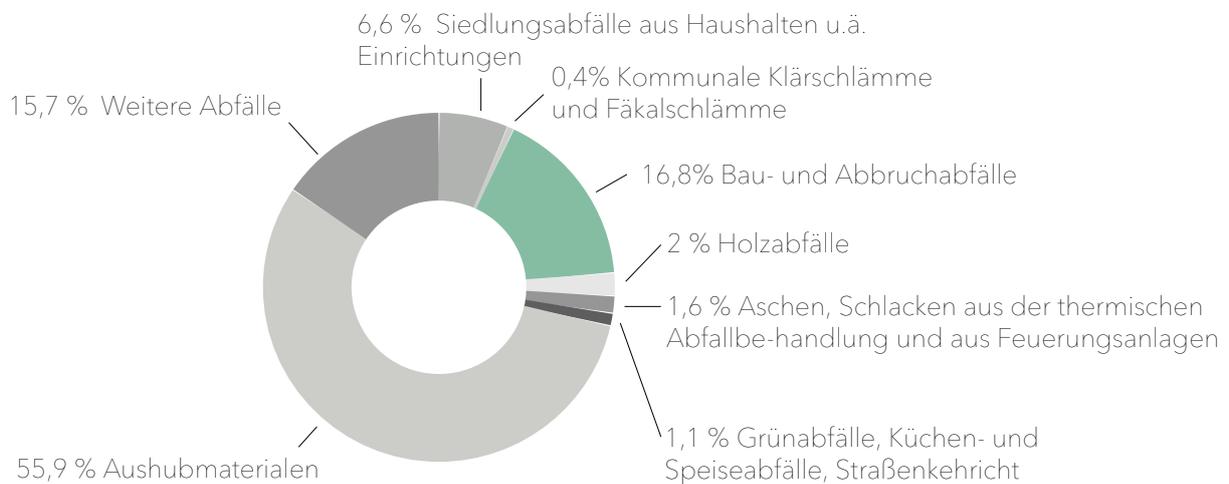


Abb. 2-7: Prozentuales Abfallaufkommen in Österreich 2018 nach Abfallgruppen

Laut einer Studie von Bauwerk Österreich der GUA Gesellschaft für umfassende Analysen aus dem Jahre 2003 entstehen Abfälle aus Bau- und Abbrucharbeiten zu 90 % beim Abbruch, dem Umbau und der Sanierung von Bauwerken und nur ca. 10 % bei der Errichtung neuer Bauwerke.²⁶

²³ Vgl. BMK Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Abteilung V/3: Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbehandlung und Altlastensanierung: Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich (Statusbericht 2020, Referenzjahr 2018), Wien: BMK, 2020, S.8.

²⁴ Vgl. BMK, 2020, S.10, S. 68.

²⁵ Vgl. BMK, 2020, S.11.

²⁶ Vgl. BMK, 2020, S.66.

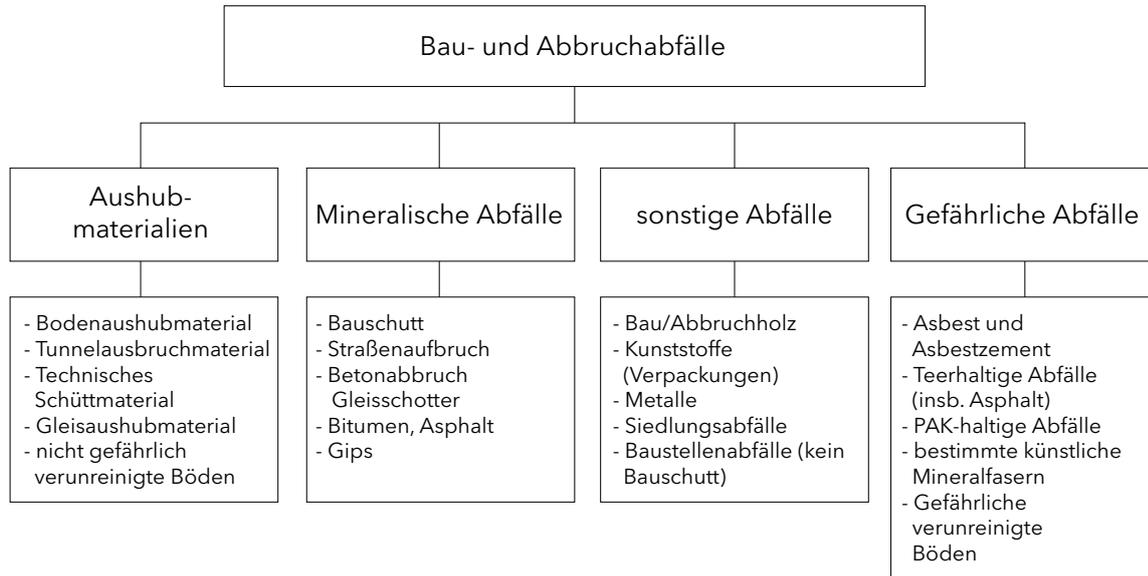


Abb. 2-8: Übersicht über die Zusammensetzung der Bau- und Abbruchabfälle im Jahr 2018

Bau und Abbruchabfälle werden, wie aus Abbildung 2-8 ersichtlich, in Aushubmaterialien, Mineralische Abfälle, sonstige Abfälle und Gefährliche Abfälle unterteilt. Neben den dominierenden mineralischen Abfällen mit 11,14 Mio. t im Jahr 2018, davon ca. 8,7 Mio. t Abfälle mineralischen Ursprungs (ohne Metallabfälle), ca. 2 Mio. t Abfälle von Mineralöl- und Kohleveredelungsprodukten und 0,43 Mio. t feste Siedlungsabfälle einschließlich ähnlicher Gewerbeabfälle, fallen Holz (Holzabfälle als Bau- und Abbruchholz mit ca. 509.000 Tonnen²⁷), Metalle, Kunststoffe, Siedlungsabfälle sowie gefährlichen Abfälle in untergeordneten Mengen an.²⁸

Das Abfallaufkommen in Österreich ist demnach stark von der Konjunktur des Hoch- und Tiefbaus abhängig. Dies zeigt, dass vor allem in der Bauwirtschaft großes Potenzial für die Kreislaufwirtschaft liegt.²⁹

²⁷ Vgl. BMK, 2020, S.64.

²⁸ Vgl. BMK, 2020, S.66.

²⁹ Vgl. Circular Economy JETZT: Wie Bauteile wiederverwendet werden können: in: IBO Ökologisch Bauen Gesund Wohnen, in: www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/circular-economy-jetzt (abgerufen am: 05.04.2021).

2.2.3.2 Abfallbehandlung in Österreich

Über die Hälfte des Gesamtabfallaufkommens in Österreich (ohne dem massereichsten Abfallstroms der Aushubmaterialien) wird dem Recycling zugeführt (siehe Abb. 2-9). In Österreich existieren ca. 3.100 Behandlungsanlagen, wovon 927 Anlagen (154 stationäre und 773 mobile) für die Behandlung mineralischer Bau- und Abbruchabfälle zuständig sind.³⁰

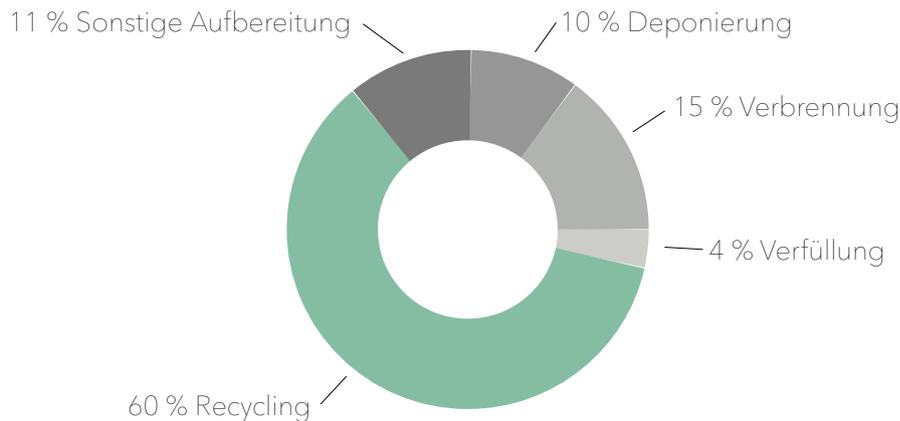


Abb. 2-9: Verwertung und Beseitigung von Abfällen 2018 in Österreich ohne Aushubmaterialien

Seit Inkrafttreten der Recyclingbaustoffverordnung im Jahr 2016 hat sich ein hoher Standard im Hinblick auf Technik und Infrastruktur entwickelt, der eine hohe Recyclingquote der mineralischen Anteile ermöglicht. Damit nimmt Österreich innerhalb Europas eine Vorreiterrolle bei der Kreislaufführung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen ein.³¹

Etwa 9,0 Mio. t mineralischer Bau- und Abbruchabfälle wurden 2018 Behandlungsanlagen für mineralische Bau- und Abbruchabfälle zugeführt. Weitere 1,1 Mio. t mineralische Bau- und Abbruchabfälle wurden deponiert.³² Das restliche Aufkommen aus mineralischen Bau- und Abbruchabfällen ist vor allem auf die Abfallart Baustellenabfälle zurückzuführen, die nicht verwertbare Restabfälle darstellen. Dazu gehören: u.a. Folien, Bauholz, Spanplatten, Verpackungsmaterial, Verschmutztes Styropor, Gipsabfälle, Dachpappe, Metallschrott und Dämmstoffe. Dieser Baustellenrestabfall wird meist

³⁰ Vgl. BMK, 2020, S.16f.

³¹ Vgl. Bernhardt, Antonia / Fritz Kleemann / Christian Neubauer / Milla Neubauer / Birgit Walter: Datenanalyse zur Behandlung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen in Österreich: Detailstudie zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2019, S. 5.

³² Vgl. BMK, 2020, S.68.

einer mechanischen Vorsortierung unterzogen, welche nicht als Behandlung in Behandlungsanlagen für mineralische Bau- und Abbruchabfälle erfasst wird.³³

Des Weiteren wurden im Jahre 2018 etwa 414.000 Tonnen mineralische Bau- und Abbruchabfälle in Zementwerken, bzw. in Beton- und in Asphaltmischanlagen verwertet.³⁴ In demselben Jahr wurden ca. 7,1 Millionen Tonnen Recyclingbaustoffe hergestellt, davon wurden etwa 483.000 Tonnen bautechnisch verwendet.³⁵

Die EU Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG fordert von den Mitgliedstaaten, die Anstrengungen zur Abfallvermeidung und zum Recycling zu verstärken. Darin wird u.a. für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle ein Zielwert von 70% Recycling (inklusive (inkl.) Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling und sonstige stoffliche Verwertung) bis zum Jahr 2020 festgelegt.³⁶

Die Verwertungsquote von Bauabfällen und Bauschutt lag 2018 wie aus Abbildung 2-10 ersichtlich bei 88% (EU 28 Länder).

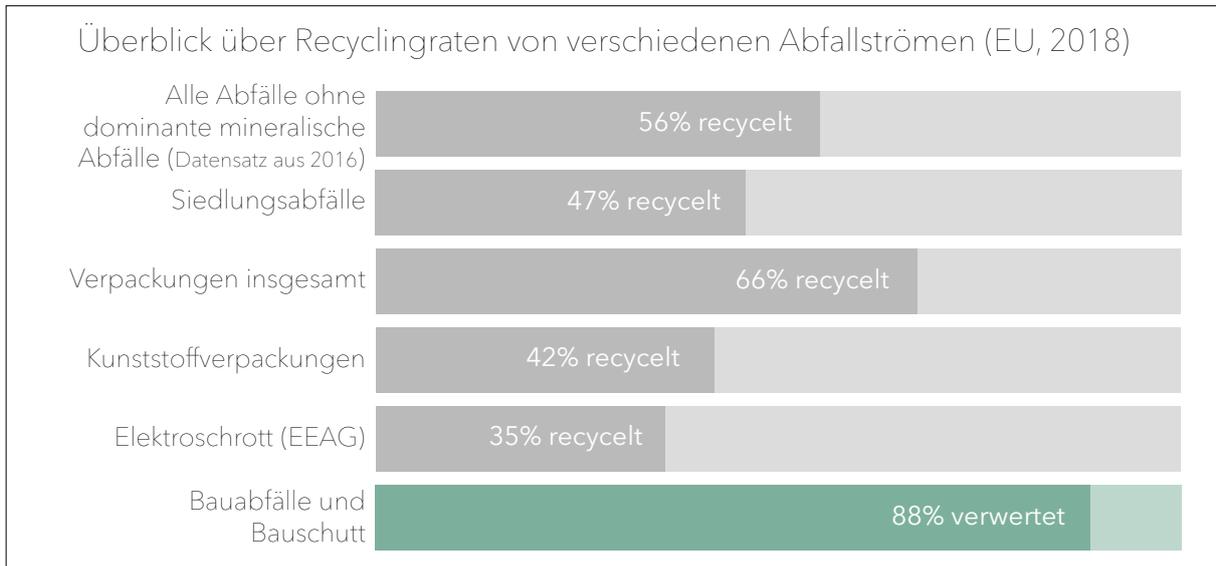


Abb. 2-10: Überblick über Recyclingraten von verschiedenen Abfallströmen in der EU im Jahre 2018 (Der Indikator ist Teil des ‚Indikatorensets Kreislaufwirtschaft‘. Dieser dient der Überwachung der Fortschritte hin zu einer Kreislaufwirtschaft im Themenbereich „Abfallwirtschaft“. Der Indikator wird ermittelt als das Verhältnis von Bauabfall und Bauschutt, der wiederverwendet, recycelt, oder dessen Material zur Verfüllung wiederverwertet wird, dividiert durch die Gesamtmenge an behandelten Bauabfall und Bauschutt, wie definiert gemäß Verordnung (EC) Nr. 2150/2002 zur Abfallstatistik. Es handelt sich dabei ausschließlich um nicht gefährlichen Abfall)

³³ Vgl. BMK, 2020, S.68.

³⁴ Vgl. BMK, 2020, S.68.

³⁵ Vgl. BMK, 2020, S.69.

³⁶ Vgl. Bernhardt et al., 2019, S. 7.

Im internationalen Vergleich schneidet Österreich in Punkto Recycling gut ab und erreicht bzw. übersteigt wie aus Abbildung 2-11 ersichtlich die vorgegebenen Recyclingquoten der Stoffströme nach jeweiliger EU-Richtlinie:

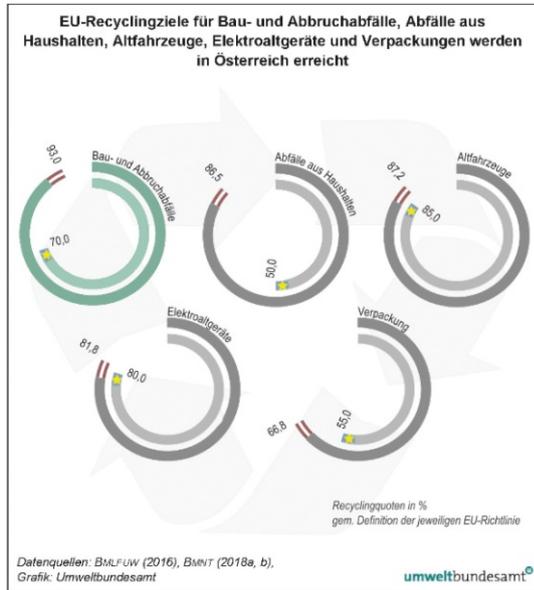


Abb. 2-11: EU-Recyclingziele für ausgewiesene Stoffströme im Vergleich zu den Kennzahlen in Österreich

Bisher wird das Problem des enormen Abfallaufkommens durch das Bauwesen jedoch vorwiegend nur symptomatisch behandelt, indem bei Abbruch eines Gebäudes einzelne Baustoffe durch meist aufwendige, nachgelagerte Aufbereitungsprozesse wieder nutzbar gemacht werden.³⁷

Die dadurch gewonnenen wiederaufbereiteten Baustoffe werden Rezyklate genannt, und können zumeist nur in minderwertigeren Anwendungen eingesetzt werden. Bei diesem Prozess des so genannten Downcyclings (siehe Kapitel 2.5.6) werden die Lebenszyklen eines Materials zwar verlängert, die Qualität wird allerdings mit jedem Verwertungsprozess verringert.³⁸

Wertstoffe können jedoch nicht immer identifiziert, getrennt gesammelt oder auf geeignete Weise verwertet werden.³⁹

³⁷ Vgl. DETAIL Green 01/12: Recyclinggerechtes Bauen, Solartechnik in Gebäudehüllen, Nullenergiekonzepte für Gebäude, München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG., 2012, S. 48.

³⁸ Vgl. DETAIL Green 01/12, 2012, S. 48.

³⁹ Vgl. Europäische Kommission, 2015, S. 20.

„Am Ende der Nutzungsphase wird aktuell noch zu sehr in Abfallkategorien gedacht statt in Wertstoffkategorien [...] und an die Wiedergewinnbarkeit von Post-Use-Baumaterial. Zukünftige Gebäude müssen als Rohstoffzwischenlager geplant werden - das Gebäude als Ressource.“⁴⁰

Neben positiven Effekten auf die Ökologie kann eine Wieder- bzw. Weiterverwendung oder -verwertung von Gebäudebestandteilen auch monetäre Vorteile bringen. Abbildung 2.12 veranschaulicht dies an zwei Szenarien, in denen jeweils ein Gebäude errichtet und eines abgebrochen wird. Beim ersten Szenario wird der gesamte Baustoffbedarf für den Neubau durch Primärmaterial abgedeckt. Gleichzeitig wird ein traditioneller Abbruch eines bestehenden Gebäudes durchgeführt. Dies verursacht einerseits einen hohen Ressourcenaufwand für die Herstellung der Primärmaterialien die zur Errichtung des neuen Gebäudes benötigt werden sowie andererseits hohe Gebühren für die Deponierung des Abbruchmaterials. Wohingegen bei einem Szenario, bei dem zumindest ein Teil des Abbruchmaterials für den Neubau eingesetzt werden kann, Kostenvorteile entstehen (siehe Abb. 2-12).⁴¹



Abb. 2-12: Gegenüberstellung der Bauwerkserrichtung ohne und mit Verwertung von Recycling-Baustoffen

⁴⁰ Hillebrandt, Annette / Petra Riegler-Floors / Anja Rosen / Johanna-Katharina Seggewies: Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource (Detail Atlas), München: Detail Business Information GmbH, 2018, S10.

⁴¹ Vgl. Müller, Anette: Baustoffrecycling: Entstehung - Aufbereitung - Verwertung, Weimar: Springer Vieweg, 2018, S. 7.

2.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

2.3.1 Einleitung

Oberstes Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, einen gewissenhaften Umgang mit Ressourcen zu etablieren. Um eine echte, zirkuläre Wertschöpfung im Bauwesen zu etablieren, braucht es gemeinsame Ziele und eine Zusammenarbeit zwischen den Akteuren in der Wirtschaft, Politik und Wissenschaft. Gemeinsame Bestrebungen können auf rechtlicher Ebene festgelegt werden, um so einen einheitlichen, nationalen bzw. internationalen Fortschritt zu erzielen.

Um die Notwendigkeit einer Veränderung des Wirtschaftssystems und einer Implementierung von neuen Stoffkreisläufen deutlicher zu machen, ist es unumgänglich sich die aktuellen Maßnahmen, Normen und Vorschriften vor Augen zu führen.

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über Maßnahmen zur Implementierung einer Kreislaufwirtschaft und zur Minimierung von Abfällen auf EU-Ebene sowie in Österreich.

2.3.2 Maßnahmen auf EU-Ebene

2.3.2.1 Der Circular Economy Action Plan

Mit dem Circular Economy Action Plan plant die EU Meilensteine der circular economy zu implementieren und zu fördern, sowie wesentliche Schritte in Richtung einer Kreislaufwirtschaft zu setzen. Damit soll die globale Wettbewerbsfähigkeit gesteigert, nachhaltiges Wirtschaftswachstum gefördert und neue Arbeitsplätze geschaffen werden.

Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft enthält Maßnahmen, welche sich vorwiegend auf Branchen ausrichten, in denen die meisten Ressourcen genutzt werden und in denen ein hohes Kreislaufpotenzial besteht. Dazu gehört vor allem der Sektor der Bauwirtschaft, welcher enormer Ressourcen bedarf und für etwa 50% aller extrahierten Rohstoffe verantwortlich ist.⁴²

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit gerade in dieser Branche neue Spielregeln zu formulieren und Normen bzw. Gesetze zu etablieren.

Die im Circular Economy Action Plan festgelegten Maßnahmen betreffen im Wesentlichen die Produktion, den Verbrauch und die Abfallwirtschaft.

Im Bereich der Produktion sollen innovationsfördernde Anreize für besseres Produktdesign geschaffen werden und Aspekte wie Reparierbarkeit, Langlebigkeit, Nachrüstbarkeit und Recyclefähigkeit oder die Kennzeichnung bestimmter Materialien und Stoffe systematisch geprüft werden.⁴³

Außerdem werden Strategien zur Schaffung wirtschaftlicher Anreize genannt:

„Die Kommission schlägt ferner vor, bessere Produktgestaltung dadurch zu fördern, dass der von den Herstellern im Rahmen der Systeme der erweiterten Herstellerverantwortung zu zahlende finanzielle Beitrag künftig nach Kosten am Ende der Nutzungsdauer ihrer Produkte differenziert wird. Dies dürfte einen direkten wirtschaftlichen Anreiz für die Entwicklung von Produkten schaffen, die einfacher recycelt oder wiederverwendet werden können.“⁴⁴

⁴² Vgl. Europäische Kommission, 2015, S. 14.

⁴³ Europäische Kommission, 2015, S. 4.

⁴⁴ Europäische Kommission, 2015, S. 4.

Als weiteren, essenziellen Schritt sieht der Aktionsplan die Implementierung der Kreislaufwirtschaft über nachhaltige Produktionsprozesse, vor allem über die Schaffung nachhaltiger Beschaffungswege von Rohstoffen. Dies soll in jedem einzelnen Industriezweig effizient geregelt sein und evtl. Industriesymbiosen hervorbringen, sodass zum Beispiel der Input einer Industrie, zum Output einer anderen werden kann.⁴⁵

Im Bereich des Verbrauchs identifiziert der Aktionsplan vor allem die Dringlichkeit zur Gewährleistung einer langen Lebensdauer bzw. zur Ermöglichung einer Wiederverwertung über Reparatur- oder Recyclingprozesse. Generell appelliert die EU hier an alle Mitgliedstaaten für die interregionale Zusammenarbeit und den Austausch von Informationen und bewährter Praktiken. Die Schaffung von langlebigen Produkten für den Verbrauch soll in weiterer Folge einer Abfallgenerierung entgegenwirken und einen Produktkreislauf forcieren.⁴⁶

Die im Aktionsplan festgehaltenen Vorschläge für Abfälle umfassen langfristige Ziele zur Verringerung der Ablagerung von Abfällen auf Deponien und zur Verbesserung der Vorbereitung zur Wiederverwendung sowie des Recyclings wichtiger Abfallströme. Dies soll dazu führen, dass die Mitgliedstaaten nach und nach dieselben bewährten Praktiken anwenden und die erforderlichen Investitionen in die Abfallbewirtschaftung mobilisiert werden.⁴⁷

Bzgl. Ressourceneinsatz und Abfallwirtschaft im Bauwesen wird weiters festgehalten:

„Die Kommission wird eine Reihe von Maßnahmen treffen, um die Verwertung wertvoller Ressourcen und eine adäquate Abfallbewirtschaftung im Bau- und Abbruchgewerbe zu gewährleisten und um die Bewertung der Umweltleistung von Gebäuden zu erleichtern.“⁴⁸

⁴⁵ Vgl. Europäische Kommission, 2015, S. 6.

⁴⁶ Vgl. Europäische Kommission, 2015, S. 4.

⁴⁷ Vgl. Europäische Kommission, 2015, S. 3.

⁴⁸ Europäische Kommission, 2015, S. 20.

2.3.2.2 Circular Economy Principles for Buildings Design

Aufbauend auf der Europäischen Strategie für die nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit des Baugewerbes von 2012 hat die Europäische Kommission im Jahr 2020 innerhalb von Arbeitsgruppen Kriterien und Maßnahmen zur u.a. Verbesserung der Ressourceneffizienz, der Umweltverträglichkeit und der Geschäftschancen festgelegt. Innerhalb der Arbeitsgruppe drei wurde ein Dokument mit den Prinzipien für die Gestaltung von Gebäuden unter Berücksichtigung kreislaufgerechter Kriterien veröffentlicht.⁴⁹

Darin festgehalten sind v.a. Maßnahmen zur Erreichung der im EU Circular Economy Action Plan festgehaltenen Ziele: Ressourceneffizienz und zirkuläre Materialkreisläufe. Die darin angeführten Lebenszyklus-Tools: Szenarien für die Lebensdauer, die Anpassungsfähigkeit und den Rückbau von Gebäuden richten sich an Personen, die in der Bauindustrie tätig sind, einschließlich der wirtschaftlich tätigen Betriebe entlang der gesamten Wertschöpfungskette, der politischen Entscheidungsträger und -trägerinnen sowie der rechtlichen und technischen Akteure und Akteurinnen. Die Lebenszyklus-Tools werden in folgenden Punkten als Makroziele zusammengefasst:

1. Haltbarkeit: Gebäude- und Nutzungsplanung, die einen mittel- bis langfristigen Fokus auf die Lebensdauer der wichtigsten Bauelemente sowie die damit verbundenen Wartungs- und Austauschzyklen legt
2. Anpassungsfähigkeit: Verlängerung der Lebensdauer des gesamten Gebäudes, indem entweder die Fortsetzung mit dem vorgesehenen Verwendungszweck gewährleistet wird oder durch Schaffung der Möglichkeit von zukünftigen Nutzungsänderungen - mit Schwerpunkt auf Austausch und Sanierung

⁴⁹ Vgl. European Commission: Principles for Building Design, Brüssel: Europäische Kommission, 2020, ec.europa.eu/docs-room/documents/39984 (abgerufen am: 12.02.2021).

3. Reduzierung des Abfalls und Ermöglichung einer qualitativ hochwertigen Abfallwirtschaft: Erleichterung der künftigen zirkulären Nutzung der Gebäudekomponenten, mit dem Schwerpunkt auf Minimierung des erzeugten Abfalls und dem Potenzial für die Wiederverwendung oder des hochwertigen Recyclings wichtiger Bauelemente nach dem Rückbau entlang der Wertschöpfungskette:

- die Wiederverwendung oder das Recycling von Ressourcen (d. h. Materialien) am Ende des Gebäudelebenszyklus mit höchstmöglichem Werterhalt
- das Design der Baukomponenten und die Verwendung von gezielten Konstruktionsmethoden zur Förderung der Rückgewinnung im Sinne der Wiederverwendung oder des Recyclings und der Vermeidung von Downcycling⁵⁰

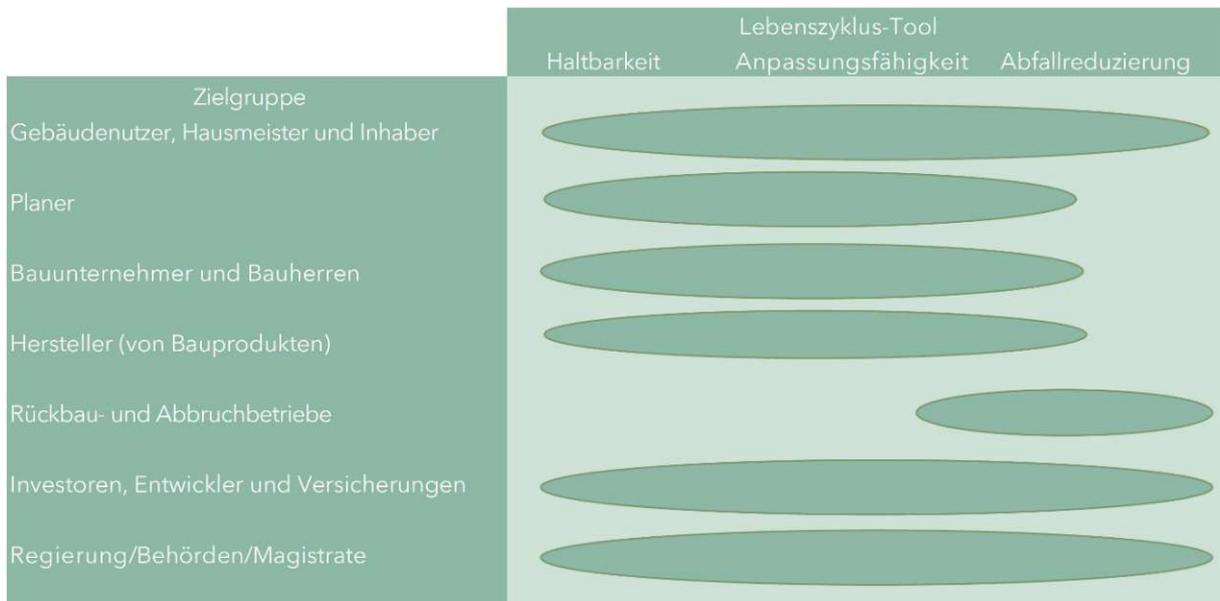


Abb. 2-13: Kompetenzbereich der Ziele nach Lebenszyklus-Tools und Zielgruppe

Wie aus Abbildung 2-13 ersichtlich, können nahezu alle Zielgruppen zur Erreichung der spezifischen Ziele beitragen. Daher ist ein integraler Ansatz entlang der Wertschöpfungskette von zentraler Bedeutung zur Erreichung dieser übergeordneten Ziele zur Etablierung einer kreislaufgerechten Bauwirtschaft.

⁵⁰ Vgl. European Commission, 2020, S. 6.

2.3.2.3 Der European Green Deal

Der so genannte europäische Grüne Deal ist eine Antwort der Europäischen Kommission im Zusammenhang mit der Bewältigung von klima- und umweltbedingten Herausforderungen. Die darin vorgestellte Wachstumsstrategie (siehe Abb. 2-14), soll die EU zu einer fairen und wohlhabenden Gesellschaft mit einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft führen. Als Ziele werden u.a. die vollständige Eliminierung der Netto-Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 und die Abkopplung des Wirtschaftswachstums von der Ressourcennutzung genannt.⁵¹

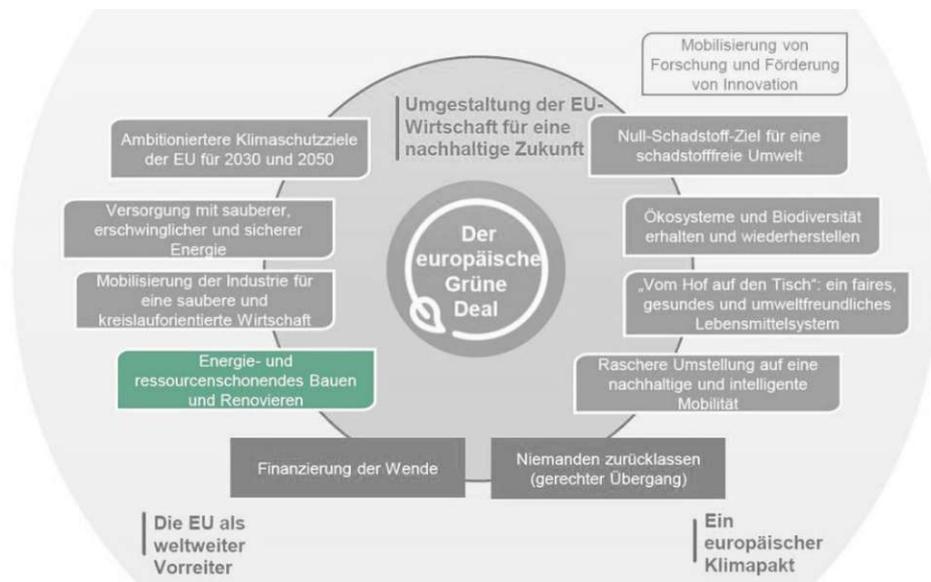


Abb. 2-14: Veranschaulichung der verschiedenen Elemente des Europäischen Grünen Deals

Unter anderem wird das Bauwesen als klarer Handlungsbereich genannt:

„Außerdem wird die Kommission die Bauprodukteverordnung überarbeiten. Sie sollte sicherstellen, dass die Gestaltung neuer und renovierter Gebäude in allen Phasen den Erfordernissen der Kreislaufwirtschaft entspricht und zu einer verstärkten Digitalisierung und Sicherung der Klimaverträglichkeit des Gebäudebestands führt.“⁵²

⁵¹ Vgl. Europäische Kommission: Der neue Grüne Deal, Brüssel: Europäische Kommission, 2019, eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF(abgerufen am:25.10.2020),S. 4.

⁵² Europäische Kommission, 2019, S. 11.

2.3.3 Abfallwirtschaft in Österreich

2.3.3.1 Recycling-Baustoffverordnung

In der Recycling-Baustoffverordnung sind wesentliche Ziele festgehalten, welche die Kreislaufwirtschaft und Materialeffizienz insbesondere in Zusammenhang mit Abbruchabfällen aus der Baubranche in Österreich fördern sollen.

Unter anderem sind wesentliche Punkte und Pflichten bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten angeführt, wie zum Beispiel die Schad- und Störstofferkundung und der Rückbau gemäß ÖNORM B 3151. In §5 Abs. (1) wird festgehalten,

„dass Bauteile, die einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können und welche von Dritten nachgefragt werden, so ausgebaut und übergeben werden, dass die nachfolgende Wiederverwendung nicht erschwert oder unmöglich gemacht wird. Schadstoffe, insbesondere gefährliche Abfälle (zB Asbestzement, asbesthaltige Abfälle, teerhaltige Abfälle, PCB-haltige Abfälle, phenolhaltige Abfälle und (H)FCKWhaltige Dämmstoffe oder Bauteile), und Störstoffe (zB gipshaltige Abfälle), die ein Recycling erschweren, sind zu entfernen. Der Ausbau von wiederverwendbaren Bauteilen und die Schad- und Störstoffentfernung haben vor einem allfälligen maschinellen Rückbau zu erfolgen.“⁵³

In § 6 wird die Trennpflicht angeführt, wonach gefährliche Abfälle von nicht gefährlichen Abfällen vor Ort zu trennen sind. Dazu gehören Bodenaushubmaterial, mineralische Abfälle, Ausbauasphalt, Holzabfälle, Metallabfälle, Kunststoffabfälle und Siedlungsabfälle. Diese Trennpflicht ist für Abfälle, deren gemeinsame Behandlung für die Herstellung eines bestimmten Recycling-Baustoffes zulässig ist und auch erfolgen soll, nicht einzuhalten. Auch bei Neubauten ab einem gesamten Brutto-Rauminhalt von mehr als 3.500m³ sind jedenfalls die Stoffgruppen Bodenaushubmaterial, mineralische Abfälle, Holzabfälle, Metallabfälle, Kunststoffabfälle und Siedlungsabfälle vor Ort voneinander zu trennen.

⁵³ Recycling-Baustoffverordnung (RBV). In: BGBl. II Nr. 290/2016 idF BGBl. II Nr. 290/2016, S. 3.

Sowohl für Neubauten als auch Abbrucharbeiten gilt: falls eine Trennung vor Ort technisch nicht möglich oder mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden ist, so hat sie in einer dafür genehmigten Behandlungsanlage zu erfolgen.

In der Recycling-Baustoffverordnung wird ein Recycling-Baustoff folgendermaßen definiert:

„eine aus Abfällen hergestellte natürliche, industriell hergestellte oder recycelte Gesteinskörnung, die gemäß der EU-Bauprodukte-Verordnung als Baustoff verwendet werden kann“⁵⁴

Weiters wird ein Recycling-Baustoff-Produkt wie folgt definiert:

„ein Recycling-Baustoff, welcher entsprechend dieser Verordnung das Ende der Abfalleigenschaft erreicht hat“⁵⁵

Außerdem werden Richtlinien zur Herstellung solcher Recycling-Produkte aus Bauabfällen geschildert, u.a. die Notwendigkeit einer Eingangskontrolle, Qualitätsanforderungen und -sicherung, die Notwendigkeit zur Bezeichnung der Recycling-Baustoffe und die Möglichkeit der bautechnischen Verwertung vor Ort.

Demnach dürfen Recycling-Baustoffe ausschließlich aus Abfällen erstellt werden, welche im Anhang 1 der Recycling-Baustoffverordnung angeführt werden. Ein Hinzufügen von natürlichen Gesteinskörnungen als Mischkomponente ist möglich.

Eine bautechnische Verwertung von mineralischen Abfällen vor Ort ist möglich, falls beim Abbruch insgesamt nicht mehr als 750t Abbruchabfälle anfallen und durch ein Qualitätssicherungssystem sichergestellt werden kann, dass diese weitgehend frei von Schad- und Störstoffen sind und auch keine sonstigen Verunreinigungen bestehen.⁵⁶

⁵⁴ RBV, 2016, S.2.

⁵⁵ RBV, 2016, S.2.

⁵⁶ Vgl. RBV, 2016, S.5.

2.3.3.2 ÖNORM B3151

Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode

Als Ergänzung zur Recycling-Baustoffverordnung ist die ÖNORM B3151 zu nennen. In der ÖNORM B3151 sind die bei der Planung und Ausführung erforderlichen Maßnahmen für einen Rückbau von Bauwerken und die Grundsätze für die Trennung der einzelnen Materialien in Anbetracht der Verwertung oder Beseitigung festgehalten. Ziel des Rückbaus ist es demnach, sortenreine Abfallfraktionen zu erhalten, die möglichst frei von Schad- und Störstoffen sind. Demzufolge müssen Schad- und Störstoffe erkundet und separiert werden, um verwertbare Abbruchmaterialien zu gewinnen. Zu den Schadstoffen gehören u.a. künstliche Mineralfasern, salz-, öl-, teeröl- oder phenolölimprägnierte oder -haltige Bauteile (zB Holzbauteile, Pappen, Schwellen, Masten). Zu den Störstoffen gehören u.a. abgehängte Decken, nicht-mineralische Boden- oder Wandbeläge, Türen und Fenster, Zwischenwände aus Kork, Porenbeton, zementgebundene Holzwolleplatten, Holz oder Kunststoff.⁵⁷

Weiters heißt es „wenn ökologisch zweckmäßig, technisch möglich und nicht mit unverhältnismäßigen Kosten verbunden, sind die beim Rückbau anfallenden Abfälle einer Verwertung zuzuführen.“⁵⁸

Dabei spielt die Erstellung eines Rückbaukonzeptes eine große Rolle. Die Objektbeschreibung gilt hierfür als Basis für die Erstellung des Rückbaukonzeptes. Ein Rückbaukonzept ist außer bei Linienbauwerken, befestigten Flächen und bei Rückbauten, bei denen weniger als 100 t Bau- und Abbruchabfälle anfallen (ausgenommen Bodenaushubmaterial) allenfalls erforderlich.⁵⁹

⁵⁷ Vgl. ÖNORM B3151 – Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode, 2014, S. 8.

⁵⁸ ÖNORM B3151, 2014, S. 3.

⁵⁹ Vgl. ÖNORM B3151, 2014, S. 6.

2.3.3.3 Wiener Abfallwirtschaftsgesetz

Das Wiener Abfallwirtschaftsgesetz beinhaltet wesentliche Gesetze für die Vermeidung und Behandlung von Abfällen und legt die Einhebung der dafür erforderlichen Abgaben fest.

Dem Gesetz liegt auf Basis der EU Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG folgende Hierarchie zu Grunde:

1. Abfallvermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. sonstige Verwertung, zum Beispiel energetische Verwertung
5. Beseitigung

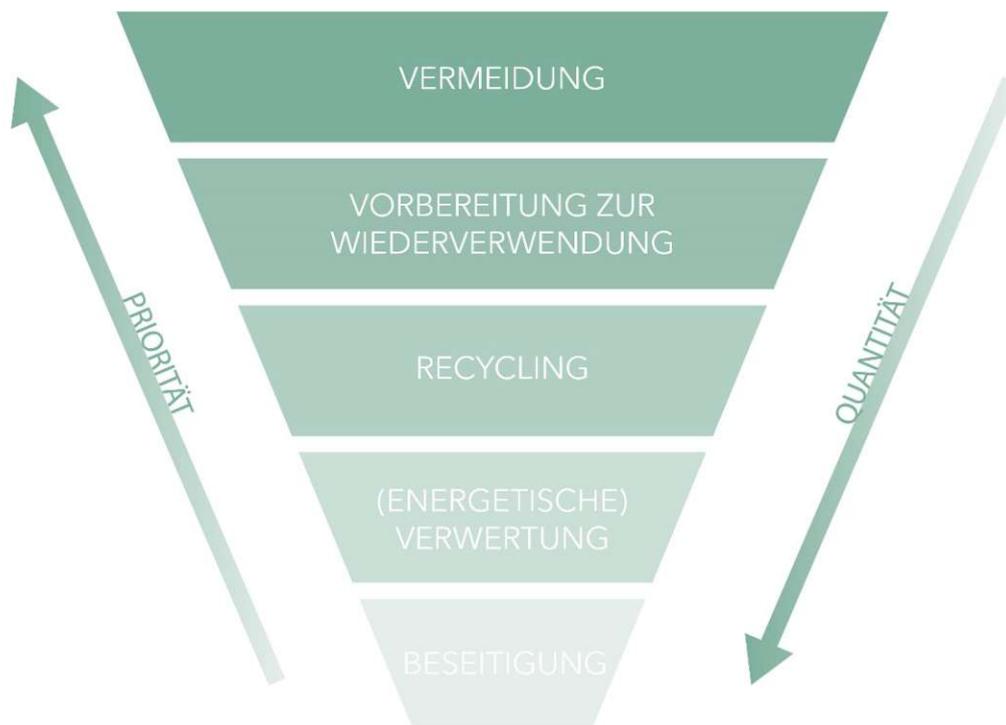


Abb. 2-15: Abfallhierarchie der Kreislaufwirtschaft lt. Wiener Abfallwirtschaftsgesetz

Die in Abbildung 2-15 dargestellte Hierarchie besagt demnach als oberste Prämisse sei Abfall jeglicher Art zu vermeiden. Außerdem sei die ökologische Zweckmäßigkeit und technische Möglichkeit zu berücksichtigen und, dass Mehrkosten im Vergleich zu anderen Verfahren nicht unverhältnismäßig sind. Weiters sei darauf zu achten, dass ein Markt für die gewonnenen Stoffe oder die gewonnene Energie vorhanden ist oder geschaffen werden kann. Eine Abweichung von dieser Hierarchie ist gerechtfertigt, wenn eine gesamthafte Betrachtung ergibt, dass eine andere Option das beste Ergebnis unter dem Aspekt des Umweltschutzes erbringt. Außerdem sollen gemeinschaftsrechtliche Zielvorgaben, insbesondere im Zusammenhang mit dem Recycling, erreicht werden.⁶⁰

Unter Abfallvermeidung sind Maßnahmen zu verstehen, „die ergriffen werden, bevor ein Stoff, ein Material oder ein Erzeugnis zu Abfall geworden ist“.⁶¹

Die Wiederverwendung beinhaltet „jedes Verfahren, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich bestimmt waren.“⁶² Aus dem Englischen hat sich hier der Terminus Re-Use etabliert. Unternehmen wie zum Beispiel BauKarussell beschäftigen sich seit einigen Jahren mit dem Handel von Re-Use Bauteilen.

Vor allem langlebige Bauprodukte können durch die Wiedergewinnung aus dem Abbruch in einem anderen Gebäude erneut zum Einsatz kommen. Jedoch spielt die Qualität der Produkte, die Resilienz gegenüber technischen Erneuerungszyklen und Akzeptanz durch die Nutzer eine wesentliche Rolle, ob ein Produkt bzw. ein Bauteil wiederverwendet werden kann.⁶³

⁶⁰ Vgl. Wiener Abfallwirtschaftsgesetz, 2020, www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrW&Gesetzesnummer=20000141 (abgerufen am: 10.09.2020), S. 3.

⁶¹ Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, Amtsblatt der Europäischen Union, 2018, eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32018L0851 (abgerufen am: 29.09.2020), S. 10.

⁶² Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2018, S. 10.

⁶³ Hillebrandt et al., 2018, S. 59f.

Recycling umfasst „jedes Verwertungsverfahren, durch das Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Es schließt die Aufbereitung organischer Materialien ein, aber nicht die energetische Verwertung und die Aufbereitung zu Materialien, die für die Verwendung als Brennstoff oder zur Verfüllung bestimmt sind.“⁶⁴

Die Verwertung beinhaltet „jedes Verfahren, als dessen Hauptergebnis Abfälle innerhalb der Anlage oder in der weiteren Wirtschaft einem sinnvollen Zweck zugeführt werden, indem sie andere Materialien ersetzen, die ansonsten zur Erfüllung einer bestimmten [sic] Funktion verwendet worden wären, oder die Abfälle so vorbereitet werden, dass sie diese Funktion erfüllen.“⁶⁵

Unter Beseitigung wird „jedes Verfahren, das keine Verwertung ist, auch wenn das Verfahren zur Nebenfolge hat, dass Stoffe oder Energie zurückgewonnen [sic] werden“⁶⁶ verstanden.

Im Wiener Abfallwirtschaftsgesetz ist außerdem festgehalten, dass alle sechs Jahre, ein Abfallvermeidungsprogramm zu erstellen ist, mit dem Ziel das Wirtschaftswachstum von den mit der Abfallerzeugung verbundenen Umweltauswirkungen zu entkoppeln.

⁶⁴ Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2018, S. 10.

⁶⁵ Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2018, S. 10.

⁶⁶ Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 2018, S. 10.

2.4 Nachhaltige Stadtverdichtung & Urban Mining

2.4.1 Einleitung

Bis 2050 wird rund 2/3 der Weltbevölkerung in Städten wohnen.⁶⁷

Bereits heutzutage verbrauchen Städte 75% an natürlichen Ressourcen, produzieren über 50% an weltweitem Abfall und sind für die Emission von ungefähr 70% an Treibhausgasen verantwortlich.⁶⁸

Aufgrund dessen ist es besonders wichtig, eine nachhaltige Stadtentwicklung zu forcieren und Konzepte der Kreislaufwirtschaft auf städtebaulicher Ebene zu implementieren. Im städtebaulichen Maßstab ist das Augenmerk insbesondere auf die Themen Mobilität, Konsum und Bauwesen zu legen. Denn dies sind die Bereiche, in denen die meisten Ressourcen verschwendet werden und somit durch positive Veränderungen, große Wirkungen erzielt werden können.

Die Ressourcenschonung auf städtebaulicher Ebene impliziert die Nachnutzung von Land und Gebäudebestand und somit, dass jede Weiternutzung Vorrang vor der Erschließung weiterer Neubaugebiete hat. Ist eine Revitalisierung nicht oder nur in Teilen möglich, sollte für den verbleibenden Bestand eine stoffliche Nachnutzung erfolgen. Dadurch können nicht nur Abfälle vermieden, sondern auch Primärressourcen und -energie für die Herstellung neuer Baumaterialien eingespart werden. Konzepte wie On-Site-Recycling, also das direkte Recycling von Baurestmassen vor Ort, sowie das Urban Mining bieten in diesem Zusammenhang eine Vielfalt an Potenzialen.⁶⁹

Aufgrund der Relevanz dieser Thematik werden in diesem Kapitel die Entwicklungen und Strategien der nachhaltigen Stadtverdichtung, vor allem in Wien, erläutert sowie ein Überblick über die Vorteile der Aktivierung der Stadt als Urbane Mine gegeben.

⁶⁷ Vgl. 68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN: in: United Nations News, 2018, www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html (abgerufen am: 30.01.2021).

⁶⁸ Vgl. Ellen MacArthur Foundation / ARUP: Circular Economy Cities: Project Guide, 2019, S. 5.

⁶⁹ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 10f.

2.4.2 Nachhaltige Stadtverdichtung

2.4.2.1 Begriffserklärung

„Die Stadt muss lernen, sich aus sich selbst zu erneuern.“⁷⁰

Heutzutage setzt der Städtebau vielerorts auf Verdichtungen in Form von Aufstockungen, Baulückenschließungen sowie Nachverdichtungen innerhalb von Blockrandbebauungen oder in Abstandsflächen zwischen Wohnzeilen von Nachkriegssiedlungen. Nachverdichtung im urbanen Raum hat den positiven Effekt, dass Landvernichtung und Ressourcenaufwand für neue Infrastrukturen vermieden wird.⁷¹

In Anbetracht der raschen Urbanisierung wird der Platz in der Stadt immer knapper. Im Hinblick auf die maximale Ausnutzung der Nutzfläche ist aufgrund dessen eine steigende Tendenz zu beobachten. Dies stellt in Zusammenhang mit effizienten Gebäudekonzepten und Anpassung an Nutzerszenarien eine Herausforderung oder gar Problem dar, denn: „Die flexibelste und effizienteste Bauweise bleibt wirkungslos, wenn die Tendenz zu erhöhtem Flächenverbrauch pro Person anhält. Dieser Rebound-Effekt vernichtet jeden Effizienzerfolg im Bereich Ressourcenschutz.“⁷²

Dieser Problematik versuchen Planer und Planerinnen sowie Architekten und Architektinnen in stark anwachsenden Städten mit Konzepten wie Shared Spaces (gemeinsam genutzte Bereiche) und Minimierung von Flächen für Einzelpersonen (Stichwort Smart Wohnung) entgegenzuwirken. Mehrfachnutzung von Flächen und die Vermeidung temporärer Leerstände im Tagesverlauf erweisen sich als intelligente Lösungen um diesen Problematiken zu begegnen. Generell ist im Sinne der Nachhaltigkeit beim Städtebau auf minimale Flächenversiegelung, Verzicht auf Kellergeschoße zum Schutz des vulnerablen Ökosystems und der Bodenorganismen, und die Aufrechterhaltung bzw. Förderung des Mikroklimas im urbanen Gebiet zu achten.⁷³

⁷⁰ Hillebrandt et al., 2018, S. 6f.

⁷¹ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 10.

⁷² Hillebrandt et al., 2018, S. 11.

⁷³ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 11.

2.4.2.2 Smart City Wien Rahmenstrategie

„Der Wiener Weg als Smart City beruht auf einem sparsamen Umgang mit Ressourcen, um CO₂-Emissionen und Abhängigkeiten im Zusammenhang mit knappen und endlichen Rohstoffen massiv zu reduzieren.“⁷⁴

Die Smart City Wien Rahmenstrategie enthält ein umfassendes Programm für die zukunftsweisende Entwicklung der Stadt Wien und soll als Grundlage zum Erreichen der Klimaziele bis 2050 dienen. Darin sind ambitionierte Ziele für die drei Dimensionen: Ressourcen, Lebensqualität und Innovation enthalten. Im Sinne der Ressourcenschonung sollen langfristige Strategien gesetzt und verfolgt werden, die den Energie-, Mobilitäts-, Infrastruktur- und Gebäudesektor schrittweise fördern sollen.⁷⁵

Im Bereich des Gebäudesektors werden u.a. Ziele wie der Niedrigstenergiestandard für Neubauten und neue Rahmenbedingungen für Sanierungsarbeiten zur Reduktion des Energieverbrauchs von Gebäuden genannt. Weiters soll die Versorgung mit neuen Energieversorgungssystemen unter Einsatz erneuerbarer Energieträger etabliert und forciert sowie die Flächenpotenziale für Solarenergieproduktion ausgenutzt werden. Als Beispiel für einen ressourcenschonenden Umgang mit der Bausubstanz wird in der Rahmenstrategie die Strategie des Urban Minings (siehe Kapitel 2.4.3.1) genannt: „Die Städte als Schatztruhen: in Wien – beispielhaft sind hier die Wiener Linien genannt – laufen Urban Mining-Projekte an. Bestrebung ist es, die Bausubstanz der Stadt besser zu verstehen und zu dokumentieren, um wertvolle Ressourcen und Rohstoffe wiederverwerten zu können“.⁷⁶

Die Stadt Wien sieht sich auch in der Aufgabe, Trends zur Ressourcenschonung durch starke Anreize zu stützen und zu forcieren und stellt in der Rahmenstrategie fest, „dass gerade bei Ressourcenzielen zwar langfristige Pläne nötig sind, die eigentliche Veränderungswirkung aber von konkreten Taten in überschaubaren Zeiträumen ausgeht.“⁷⁷

⁷⁴ MA 18 / WWTF / TINA Vienna / ÖIR: Smart City Wien Rahmenstrategie, 2. Aufl., Wien: Magistrat der Stadt Wien, 2016, S. 11.

⁷⁵ Vgl. Smart City Wien Rahmenstrategie, 2016, S. 12.

⁷⁶ Smart City Wien Rahmenstrategie, 2016, S. 52f.

⁷⁷ Smart City Wien Rahmenstrategie, 2016, S. 44ff.

2.4.2.3 DoTank Circular City 2030

„Die Vision für 2050 sieht Wien als eine nahezu abfallfreie Stadt. Für den urbanen Raum bedeutet dies den materiellen Fußabdruck eklatant zu senken, was unter anderem mittels kreislaufwirtschaftlicher Prinzipien umgesetzt werden soll. Umgemünzt auf Gebäude bedeutet dies, dass sie als Materiallager anstatt, wie bisher, als Materialverbraucher anzusehen sind.“

Der DoTank Circular City 2020-2030 ist eine auf Basis der Smart City Wien Rahmenstrategie entwickelte und vom Stadtbaurat Wien geleitete Projekt, welches zum Ziel hat, einen neuen Nachhaltigkeitsgedanken in Richtung zirkulärer Bauwirtschaft in der Stadt zu etablieren und die Ressourcenschonung auf urbaner Ebene zu fördern.⁷⁸

Der Circularity Gap Report ergab für Österreich im Jahr 2019 einen Zirkularitätsindikator von 9,7%. Dieser Indikator repräsentiert den Anteil von Sekundärrohstoffen im Gesamtverbrauch von Materialien. Es besteht demnach eine massive Lücke in der Schließung von Kreisläufen.⁷⁹

Das Team rund um den DoTank arbeitet an der Entwicklung einer Kultur der themenübergreifenden Zusammenarbeit und dem Wissensaustausch mit Partner Circular Cities im Inland, der EU und global. Außerdem soll über die Forcierung der öffentlichen Beschaffung eine größere Nachfrage an kreislauffähigen Innovationen gefördert werden.⁸⁰

⁷⁸ Kurzinformation DoTank Circular City Wien 2020 -2030: Kreislaufwirtschaft in der gebauten Umwelt, o.D., Wien: Magistratsdirektion Bauten und Technik, www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/publikationen.html (abgerufen am: 01.10.2021), S.4.

⁷⁹ Circularity Gap Report: Austria, Wien: Altstoff Recycling Austria AG, 2019, S. 6.

⁸⁰ Kurzinformation DoTank Circular City Wien 2020 -2030, S. 4.

Mit dem Programm DoTank versucht die Stadt Wien sich als Circular City zu positionieren und die Zirkularität unter Anwendung folgender Strategien zu steigern:



Abb. 2-16: Zielplan DoTank Circular City Wien

Die Zirkularität soll unter Etablierung folgender Strategien gesteigert werden:

1. Umstellung auf erneuerbare Ressourcen
2. Recycling von Abfällen
3. Erhaltung des anthropogenen Lagers, sodass Baumaterialien aus bestehenden Gebäuden genutzt werden können
4. Steigerung des Anteils an Sekundärrohstoffen aus Import

Dabei stehen Leitsätze wie der verwertungsorientierte Rückbau, minimaler Primärressourcenverbrauch, das Erhalten von Materialien im Stoffkreislauf und die integrale Berücksichtigung aller Phasen des Lebenszyklus im Fokus der Betrachtung.

2.4.3 Urban Mining

2.4.3.1 Begriffserklärung

In Anbetracht der immer knapper werdenden Ressourcen und einem zunehmenden Wettbewerb, als auch der irreversiblen Umweltbelastungen die u.a. durch die Primärrohstoffgewinnung verursacht werden, werden zirkuläre Stoffströme in Zukunft immer wichtiger. Das Urban Mining begreift anthropogene Lagerstätten als riesige Rohstofflager. Diese Lagerstätten sind durch menschliches Handeln entstandene, verursachte, hergestellte bzw. beeinflusste Konzentrationen von Rohstoffen. Da vor allem in Ballungsräumen ein hoher Anteil an Rohstoffen vorhanden ist, stellen Städte ein hohes Potenzial für das Urban Mining dar.⁸¹

Im Sinne der Urban Mining Prinzipien befasst sich das Urban-Mining-Design (UMD) mit kreislaufwirtschaftlicher Planung und Kostenbetrachtung nach den Gesichtspunkten der langfristigen Mehrfachnutzung über den gesamten Lebenszyklus einer Immobilie. Ein nach Urban-Mining-Design-Prinzipien geplantes und gebautes Gebäude stellt ein Materiallager am Ende der Nutzungsphase dar.⁸²

Beim Urban Mining nehmen langlebige Güter die zentrale Rolle ein, vor allem da sie sich einerseits hinsichtlich der Größenordnung und andererseits ihres Verhaltens in urbanen Lagern, signifikant von kurzlebigen Gütern wie haushaltstypischen Siedlungsabfällen, zum Beispiel Leichtverpackungen und Hausmüll unterscheiden. Vor allem im Gebäudebereich sind diese langlebigen und kostbaren Güter gegenwärtig.⁸³

Um das Stoffstrommanagement zu revolutionieren und generationsübergreifende Materialumläufe in urbanen Zentren zu garantieren, kann die Strategie des Urban Minings eine zentrale Rolle einnehmen. Das Urban Mining versteht sich als Unterstützer der Abfallwirtschaft und unterscheidet sich grundsätzlich in Anbetracht der Systemgrenzen davon. Denn, im Gegenteil zur Abfallwirtschaft, welche versucht bereits aufgetretenen Abfall zu sammeln und bestmöglich und schadlos in den Stoffkreislauf rück-

⁸¹ Vgl. Müller, Felix / Christian Lehmann / Jan Kosmol / Hermann Keßler / Til Bolland: Urban Mining: Ressourcenschonung im Anthropozän, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2017, S. 18.

⁸² Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 10.

⁸³ Müller et al., 2017, S. 5.

zuführen, beschäftigt sich das Urban Mining mit dem Gesamtbestand an langlebigen Gütern, um möglichst früh künftige Stoffströme prognostizieren zu können und qualitativ hochwertige Stoffkreisläufe zu etablieren. Dabei spielt es keine Rolle ob die Güter mobil oder ortsfest sind, oder ob sie aktiv in Benutzung sind oder bereits nicht mehr in Verwendung sind. Denn die strategische Ausrichtung beim Urban Mining ist langfristig und somit nachhaltig.⁸⁴

Das Urban Mining kann folglich gemeinhin als Sekundärrohstoff-Management verstanden werden. Dabei spielen sowohl bereits in der Vergangenheit eingebaute Rohstoffe im anthropogenen Lager, Rohstoffe die gegenwärtig wiederverwendet oder -verwertet werden können aber auch die Gestaltung zukünftiger Rohstofflager (Stichwort Urban-Mining-Design) eine Rolle (siehe Abb. 2-17).

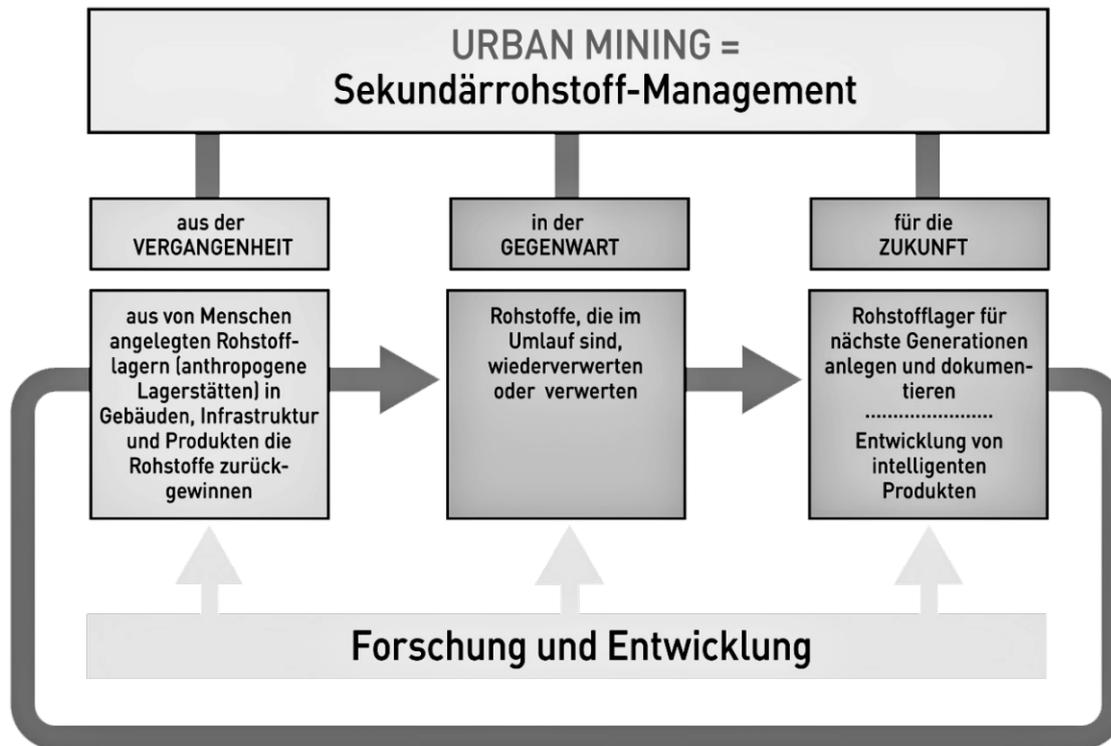


Abb. 2-17: Urban Mining als Sekundärrohstoff-Management

⁸⁴ Müller et al., 2017, S. 8.

Städte mit ihren komplexen Infrastrukturen und Logistiksystemen gelten als kulturelle und wirtschaftliche Zentren, die eine erhebliche Menge an Rohstoffen ge- und verbrauchen. Daraus lässt sich schließen, dass urbane Kulturlandschaften wie Städte und Siedlungen, das Potential haben, in Zukunft als Quelle für Sekundärrohstoffe zu dienen, vorausgesetzt der Stoffwechsel innerhalb dieses Lagers wird vernünftig funktionieren. Denn, damit diese Abfallströme nicht zur Last werden, ist ein umfangreiches Management unabdingbar.⁸⁵

Folgend werden sechs Aspekte aufgezeigt, die im Zusammenhang mit der Urban Mining Strategie laut Müller et al. (2017) von höchster Wichtigkeit sind:

1. Erschließung des Sekundärrohstoffaufkommens und Reduzierung der Importabhängigkeit
 - durch selektive Rückgewinnung die Importabhängigkeit mindern
2. Bewältigung von Rohstoffknappheiten
3. Wirtschaftliche Vorteile
 - Kosteneinsparungen für produzierende Gewerbe
4. Beitrag zu globalen Verteilungsgerechtigkeit
 - anderen Ländern den Zugriff zu Rohstoffen erleichtern und deren Entwicklung begünstigen
5. Abfallbewältigung
 - Regelung des Abfalls aus langlebigen Gütern
6. Ökologische Entlastung
 - Rohstoffeinsparungen durch Recycling & dadurch Minderung der Umwelteinwirkungen⁸⁶

⁸⁵ Müller et al., 2017, S. 17.

⁸⁶ Vgl. Müller et al., 2017, S. 6ff.

Rohstoffe werden aus der Bio- und Geosphäre der Erde entnommen, zu Infrastrukturen, Gebäuden sowie Gütern des täglichen Gebrauchs transformiert und bilden somit das anthropogene Lager. Alle menschlichen Handlungen in der Anthroposphäre produzieren durch Gewinnung, Nutzung und Umnutzung von Rohstoffen, Abfälle und/oder Emissionen. Diese Stoffwechselbeziehungen zwischen den Sphären sind geprägt von dynamischen Prozessen, welche mit dem, durch die industrielle Revolution eingeleitetem, rapiden Wachstum und der damit verbundenen massiven Eingriffe in die Bio- und Geosphäre, zunehmend aus dem Gleichgewicht geraten (siehe Abb. 2-18).⁸⁷

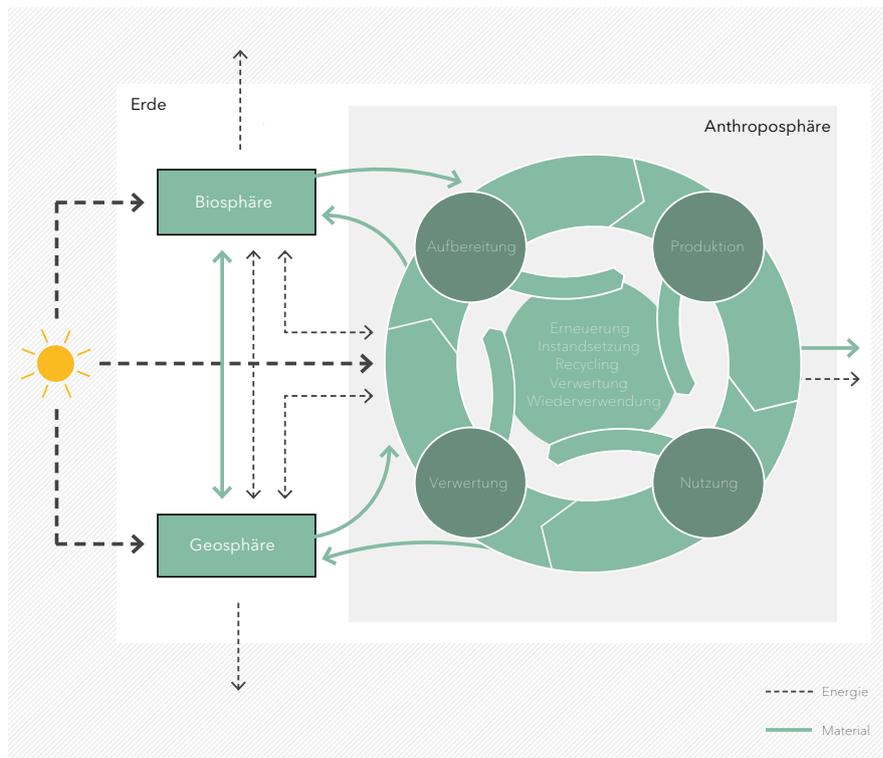


Abb. 2-18: Anthropogener Stoffwechsel mit der natürlichen Umwelt

Die globale Rohstoffentnahme ist binnen des 20. Jahrhunderts um ein Achtfaches gestiegen. Dieser Umstand ist vor allem auf die Industrieländer zurückzuführen, die zwar nur 15 Prozent der Bevölkerung stellen, aber rund ein Drittel des globalen Rohstoffverbrauchs haben.⁸⁸

⁸⁷ Vgl. Müller et al., 2017, S.12.

⁸⁸ Vgl. Müller et al., 2017, S.12f.

Die gegenwärtig bekannten geologischen Ressourcen schrumpfen durch die Rohstoffgewinnung zunehmend, während die Lagerstätten in der Anthroposphäre stark anwachsen. Oft enthalten anthropogene Lagerstätten Ressourcen, die aus geologischen Lagerstätten in sehr weiter Entfernung kommen. Als Beispiel können hier die Metalle Aluminium und Kupfer genannt werden, welche beide nicht als natürliche Rohstoffe in Österreich vorkommen, sondern importiert werden. Dennoch verfügt Österreich über ein Lager von etwa 2,8 Mio. t Aluminium (ca. 0,8 t. davon in Gebäuden) und schätzungsweise 1,7 Mio. t Kupfer (ca. 0,9 t. davon in Gebäuden).⁸⁹ Im Sinne des Urban Mining Ansatzes können diese Ressourcen als Sekundärprodukte aus dem anthropogenen Lager geschöpft werden.⁹⁰

Müller et al. (2017) stellen in ihrer Publikation die Methoden zur Rohstoffgewinnung bei Urban Mining und bei konventionellem Bergbau in Vergleich (siehe Abb. 2-19): „Wie im konventionellen Bergbau wird auch im städtischen Bergbau zwischen Lagerstätten und Vorkommen differenziert. Diese Differenzierung erscheint wichtig, da ja anthropogene Lager bzw. geologische Ressourcen zu einem bestimmten Zeitpunkt nur teilweise abbauwürdig sind. Eine (natürliche) Anhäufung nutzbarer Minerale und Gesteine wird als ‚Lagerstätte‘ bezeichnet, wenn eine wirtschaftliche Gewinnung in Betracht kommt, als ‚Vorkommen‘, wenn sich der Abbau wirtschaftlich nicht lohnt.“⁹¹

	Primärbergbau	Urban Mining
1. Größe der Lagerstätten	0	0
2. Prospektionsaufwand		+
3. Explorationsgrad	+	
4. Wertstoffgehalt		+
5. Transportentfernung		+
6. Nachfrageorientierung	+	
7. Aufbereitungsaufwand	+	
8. Umweltauswirkungen		+
9. Gesellschaftliche Akzeptanz		+
10. Renaturierung		+

+ vorteilhaft 0 ausgeglichen

Abb. 2-19: Vergleich Primärbergbau mit Urban Mining

⁸⁹ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 8

⁹⁰ Vgl. Müller et al., 2017, S.22f.

⁹¹ Müller et al., 2017, S.22.

Ein Vorteil von anthropogenen Lagerstätten gegenüber dem konventionellen Bergbau ist die Transportentfernung, denn viele geologische Vorkommen liegen in Gegenden mit mangelnder Infrastruktur fernab der Wirtschaftszentren. Dagegen befinden sich Lagerstätten im Urban Mining bereits genau an der Stelle, an der sie stark nachgefragt sind. Als Beispiel können Sekundärgesteinskörnungen aus dem Rückbau von innerstädtischen Bauwerken genannt werden. Außerdem liegen viele Stoffe, wie zum Beispiel Metalle, in Lagerstätten des Urban Minings in reiner Form vor, während sie in natürlichen Erzlagerstätten in geringer Konzentration vorkommen.⁹²

In Anbetracht der Nachfrage erweisen sich anthropogene Lagerbestände jedoch als problematisch, da sich die Menge der Gewinnung nicht flexibel regulieren lässt. Außerdem sind bereits in Nutzung befindliche, hochgradig verarbeitete Stoffverbände in Anbetracht des Aufbereitungsaufwandes generell schwieriger in den Stoffkreislauf zurückzuführen.⁹³

Da die Gewinnung von Primärrohstoffen oftmals zu hohen Umweltbelastungen führt und einen enormen Eingriff ins Ökosystem darstellt, hat die Erschließung von Sekundärrohstoffen einen deutlichen Vorteil. Außerdem unterliegen Recyclingprozesse in Industrieländern strengen rechtlichen Auflagen, währenddessen die Umweltstandards in den Gewinnungsländern größtenteils ein niedriges Niveau aufweisen. Auch stellt die Renaturierung ausgebeuteter Primärstoff-Lager mangels erfolgreicher Nachsorge und Gesetzgebung ein großes Problem dar. Da das Urban Mining die Wiederverwertung von Rohstoffen als Ziel hat, sind die Abfallvermeidung, Erfassung von Schadstoffen und Wiedergewinnung von Bauland gewünschte Nebeneffekte. Des Weiteren erfährt das Urban Mining eine höhere gesellschaftliche Akzeptanz, da es der Schonung natürlicher Ressourcen dient.⁹⁴

⁹² Vgl. Müller et al., 2017, S.23.

⁹³ Vgl. Müller et al., 2017, S.24.

⁹⁴ Vgl. Müller et al., 2017, S.25.

2.4.3.2 Das anthropogene Lager Österreichs

„Für die untersuchten Ressourcen (Sand, Kies und Naturstein, Kunststoff, Aluminium, Eisen/Stahl und Kupfer) verdeutlichen die Stoffflussanalysen, dass der Gebäudebestand eine sehr relevante anthropogene Lagerstätte darstellt. Das Urban Mining-Potenzial dieser relevanten Lagerstätte wird gegenwärtig noch nicht genutzt. Dies liegt zum einen an dem fehlenden Wissen über die tatsächlich historisch verwendeten Baustoffe und deren Wert- und Schadstoffpotenzial, zum anderen an der nicht zeitgemäßen Abbruchtechnik, die in Österreich nach wie vor praktiziert wird.“⁹⁵

Um das Potential für ein Urban Mining in kleinere, überschaubarere Bereiche einzuteilen, wurde 2014 im Laufe eines Forschungsprojekts des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie eine Kategorisierung der anthropogenen Lager aus technisch naturwissenschaftlicher Sicht vorgenommen. Dabei orientiert sich die Auswahl an den massenmäßig wichtigsten Gütern für ein Urban Mining und umfasst sowohl den Lagerbestand in Tief- und Hochbau als auch den Netzen und Konsumgütern. Eine Unterteilung erfolgte in:

Sand, Kies und Natursteine = mineralische Baumaterialien = Lager in Bauwerken
ca. 670 Mio. t (Industrie) und ca. 650 Mio. t (Private Haushalte)⁹⁶

Erdöl (hier in Form von Kunststoffen) = Lager in Gebäuden ca. 6,5 Mio. t⁹⁷

Eisen & Stahl = Lager in Gebäuden ca. 40 Mio. t⁹⁸

Aluminium = ca. 0,8 Mio. t in Gebäuden⁹⁹

Kupfer = ca. 0,9 Mio. t im Hoch- und Tiefbau¹⁰⁰

⁹⁵ Fehring et al., 2014, S. 59.

⁹⁶ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 11.

⁹⁷ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 19.

⁹⁸ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 30.

⁹⁹ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 34.

¹⁰⁰ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 42.

In der Studie wird für Bauwerke in Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen in Österreich ein jährlicher Baumaterialverbrauch von rund 30 Mio. t, ein Lager von 670 Mio. t und ein jährlicher Baurestmassenanfall von 2,3 Mio. t angegeben. Für den Wohnbau wird der jährliche Baumaterialverbrauch auf rund 30 Mio. t, das Lager auf 650 Mio. t und der jährliche mineralische Baurestmassenanfall auf 1,5 Mio. t geschätzt.¹⁰¹

Am 2012 eingerichteten Christian-Doppler-Labor für anthropogene Ressourcen in Wien entwickeln Wissenschaftler*innen Methoden, um städtische Minen aufzuspüren, anthropogene Ressourcen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, Verfügbarkeit und Qualität zu charakterisieren und so ein Ressourcenkataster für Wien einzurichten. Im Zuge von Feldstudien wurden ca. 100 Gebäude untersucht und Stichproben entnommen sowie Pläne analysiert, um auszuwerten, welche Materialien verbaut wurden. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde der Gebäudebestand der Stadt Wien in 15 Kategorien (nach Baujahr und Nutzung) eingeteilt und eine Berechnung vorgenommen, „welche Materialien sich typischerweise in einem Kubikmeter der jeweiligen Kategorie befinden.“¹⁰²

Für die Stadt Wien wird demnach von einem rund 380 Mio. t Lager an Baustoffen ausgegangen. Mit 96% machen mineralische Rohstoffe wie Beton und Ziegel den Hauptanteil aus (siehe Abb. 2-20).¹⁰³

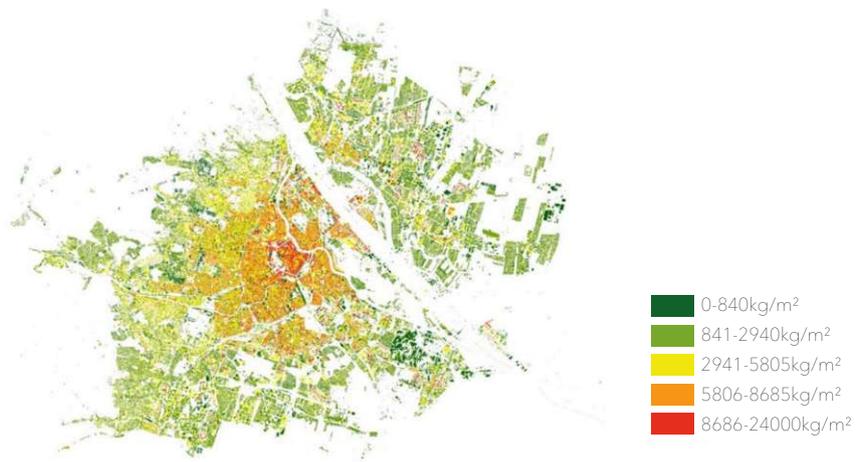


Abb. 2-20: Räumliche Verteilung von mineralischen Rohstoffen in Wien (in Kilogramm pro Quadratmeter)

¹⁰¹ Vgl. Fehring et al., 2014, S. 42.

¹⁰² Krichmayr, Karin: Die Stadt als Rohstofflager der Zukunft, in: BMK Infothek, 2018, infothek.bmk.gv.at/die-stadt-als-rohstofflager-der-zukunft/ (abgerufen am: 20.05.2021).

¹⁰³ Krichmayr, 2018.

2.4.3.3 Architektur trifft auf urbane Mine

„Der Einsatz bestehender Bauteile und -materialien erfordert eine umgekehrte Herangehensweise an den Planungsprozess.“¹⁰⁴

Für gewöhnlich planen und entwerfen Architekten und Architektinnen indem sie Eigenschaften der Produkte und Elemente einfordern bzw. bestimmen können. Das Planen mit Wiederverwendeten Produkten jedoch erfordert eine Auseinandersetzung mit bereits Vorgegebenem und verändert den Planungsprozesses somit grundlegend.¹⁰⁵

Dennoch nehmen sich vermehrt Planungsbüros und Firmen wie u.a. Baubüro in situ AG, Rotor DC, Superuse, Vandkunsten, Materialnomaden oder Baukarussell vermehrt dieser Aufgabe an. Plattformen wie opal.is.eu/, www.harvestmap.at, madaster.com/ und zirkular.net dienen als Online-Register für Materialien und Produkte sowie Händler*innen von Re-Use Materialien. Darauf sind u.a. wieder- oder weiterverwendbare Bauelemente bzw. Materialien aus Rückbau zu finden. Dabei handelt es sich größtenteils um Sanitärgegenstände und Objekte für den Innenausbau. Diese Materialkataloge bzw. Materialdatenbanken von Sekundärmaterialien und -bauprodukten können von Planer*innen genutzt werden, um Re-Use Bauteile in den Entwurf zu integrieren.

Allesch et al. (2019) halten im Abschlussbericht ihres Forschungsprojektes zu Urban Mining fest:

„Die mangelhafte Erfassung und die wenig entwickelten Vermarktungsstrukturen für wiederverwendbare Bauteile und Bauprodukte erschweren den Absatz und bedingen wirtschaftliche Unsicherheiten. Da wiederverwendbare Bauteile oft nur geringfügig bis gar nicht günstiger (hoher Aufwand für Ausbau, Aufarbeitung und Logistik) als entsprechende Neuprodukte auf dem Markt sind, wird die Absetzbarkeit erschwert.“¹⁰⁶

¹⁰⁴ Heisel, Felix / Dirk Hebel: Urban Mining und Kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021, S. 72.

¹⁰⁵ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 72.

¹⁰⁶ Allesch, Astrid / David Laner / Caroline Roithner / Karin Fazeni-Fraisl / Johannes Lindorfer / Simon Moser / Markus Schwarz: Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2019, S. 122.

Hindernisse, wie u.a. höhere Kosten, die auf erhöhten Personal- und Zeitaufwand sowie logistische Anforderungen zurückzuführen sind, machen das Urban Mining heutzutage noch schwer wettbewerbsfähig. Außerdem sind immer noch viele rechtliche Rahmenbedingungen und Haftungsfragen zu klären.¹⁰⁷

Die Architekten Heisel und Hebel (2021) beobachten eine paradoxe Entwicklung: „Paradoxe Weise wirbt der Fachhandel von wiederverwendeten Materialien heutzutage kaum auf Basis der ökologischen Vorteile einer Kreislaufwirtschaft. Nach langen Jahren des Überlebenskampfes liegt der Schwerpunkt im Marketing stattdessen auf der Ästhetik und der Originalität der Produkte. [...] Der ökologische Vorteil [...] hat (bis jetzt) keinen kommerziellen Stellenwert in der Bauindustrie erreicht.“¹⁰⁸

Dabei können durch den erneuten Einsatz von Materialien enorme Mengen an Ressourcen und CO₂ für die Produktion von Primärmaterial eingespart werden.¹⁰⁹

So genannte Leuchtturmprojekte sollen eine Signalwirkung für zahlreiche Folgevorhaben darstellen. Neben dem Erfolg ist ebenfalls eine große Bekanntheit beabsichtigt und erwünscht. Vor allem neuartige, dem Standard nicht entsprechende Vorgänge im Bauen brauchen diesen ‚Imagepush‘ nach außen, damit sie an Popularität gewinnen und der breiten Öffentlichkeit aufzeigen, dass mit Re-Use Bauteilen sehr wohl skalierbare Projekte realisierbar sind. Dabei entstehen oftmals Projekte mit speziellem Charakter und Formensprache, wie zum Beispiel das Projekt K 118 in Winterthur des Baubüros in Situ (siehe Abb. 2-21).



Abb. 2-21: Aufstockung des Kopfbaus der Halle 118 auf dem Winterthurer Sulzerareal

¹⁰⁷ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 81.

¹⁰⁸ Heisel / Hebel, 2021, S. 83f.

¹⁰⁹ Vgl. Müller et al., 2017, S. 60.

Auch am Lysbüchel Areal zeigen die Architekten und Architektinnen des Baubüros in Situ wie ein Urban Mining Entwurf aussehen kann. Das TP-215 Gebäude wurde dort zu einem Gewerbe- und Kulturhaus umgenutzt. Dabei entstanden u.a. neue Fassaden fast zur Gänze aus gebrauchtem Baumaterial.

Die Fassadenmodule wurden als Holzelementbauweise entwickelt, in die neuwertige Fenster aus Restposten in unterschiedlichen Größen integriert werden konnten (siehe Abb. 2-22). Dabei gestaltete sich die Suche nach gebrauchten Fenstern als besonders zeitintensiv, bis sich herausstellte, dass die geforderte energetische Qualität mit Material ausschließlich aus Rückbauprojekten nicht zu erreichen war.



Abb. 2-22: Fertiggestelltes Fassadenelement



Abb. 2-23: Fenster aus Restposten

Deshalb wurden neuwertige, dreifachverglaste Fenster von Fensterproduzenten und Schreinereien im Umkreis von 100km besorgt, die Überreste von Fehlplanungen waren oder Makel hatten (siehe Abb. 2-23). Das zuvor an dem Gebäude montierte Fassadenblech wurde erneut integriert. Somit entstand ein lebhaftes Fassadenbild und ein Ortsbezug wurde hergestellt.¹¹⁰

¹¹⁰ Umnutzung Lysbüchelareal: Kultur- & Gewerbehaus ELYS, <https://www.insitu.ch/projekte/229-umnutzung-lysbuechelareal> (abgerufen am: 13.10.2021), S.1.

2.5 Das kreislaufgerechte Bauen

2.5.1 Einleitung

Dieses Kapitel soll einen Einblick in die Prinzipien und Kriterien des kreislaufgerechten Bauens auf unterschiedlichen Ebenen geben.

Dafür wird zunächst ein Überblick über Strategien zur Optimierung der Ressourcenbeschaffung und -nutzung gegeben. Anschließend werden kreislaufgerechte Konstruktionsprinzipien analysiert sowie kreislauffähige Materialien identifiziert. Hier ist anzumerken, dass die Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen, also eine Ermöglichung ressourcenschonender Stoffkreisläufe und eine Gewährleistung der Rückführung von Materialien zum Zwecke der Wiederverwendung oder der Wiederverwertung, einen durchdachten und zielführenden Umgang mit den Materialien und deren Fügungen voraussetzt.

Ausgehend von den Konstruktionsprinzipien und materiellen Eigenschaften werden im Anschluss ressourcenschonende Verwertungswege im Bauwesen beschrieben, und der Zusammenhang zwischen einer gewissenhaften, kreislaufgerechten Planung und den späteren Möglichkeiten für eine Wieder- bzw. Weiterverwertung hergestellt. Hier wird auch der wirtschaftliche Aspekt beim selektiven Rückbau beleuchtet.

Zum Abschluss dieses Kapitels werden Tools aufgezeigt, die Planer*innen beim Entwurf kreislaufgerechter Bauprojekte behilflich sein können und Fallbeispiele, so genannte ‚Best Practice‘ Projekte vorgestellt. Dabei handelt es sich um Projekte, die aufgrund der Anwendung von ressourcenschonenden und kreislaufgerechten Strategien in diesem Planungsbereich besonders gelungen sind.

2.5.2 Strategien zur Optimierung der Ressourcennutzung

„Während in der Vergangenheit die graue Energie, also die materialgebundene Umweltwirkung, vernachlässigbar war, da der Gebäudeenergiebedarf während der Nutzungsphase dominierte, hat sich dieses Verhältnis in den letzten Jahren auf Grund der inzwischen gestiegenen energetischen Anforderungen verschoben.“¹¹¹

Die Reduzierung des Energieverbrauchs während der Nutzungsphase ist bereits seit einigen Jahren das Hauptdrehrad zur Minimierung der Umweltwirkungen eines Gebäudes. Die Nachweisführung des Energiebedarfs und eine darauf basierende Einstufung hat in den Systemen des nachhaltigen Bauens bereits Einzug gefunden. Seit 2012 gilt das Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAVG), welches bei Verkauf, Vermietung oder Verpachtung einer Immobilie die Vorlage eines Energieausweis verpflichtend vorschreibt. Durch die Reduzierung des Energieverbrauchs hat sich das Verhältnis der Umwelteinwirkungen aus der Nutzungsphase zu den Umwelteinwirkungen aus den eingesetzten Baumaterialien verschoben. Bezogen auf den rechnerisch angesetzten Lebenszyklus von 50 Jahren ist anzunehmen, dass die im Material gebundene Umweltwirkung, die sogenannte graue Energie, die Umweltwirkung der während der Nutzungsphase benötigten Energie zukünftig sogar übersteigen wird (siehe Abb. 2-24).¹¹²

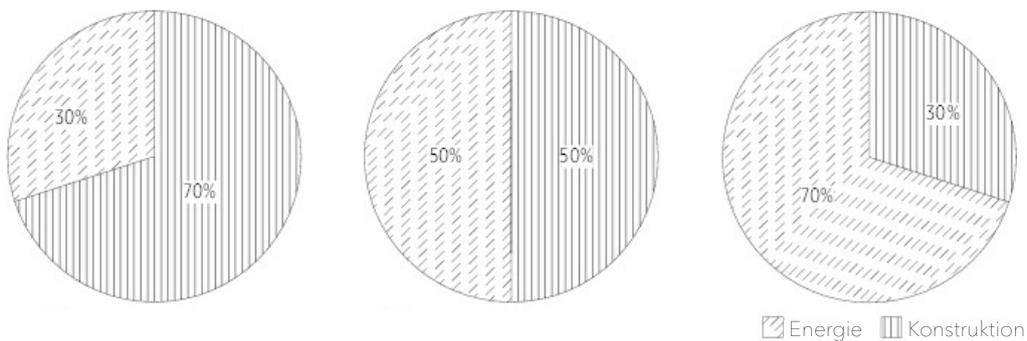


Abb. 2-24: Verhältnis der Umweltwirkung aus der Nutzungsphase zu den Umweltwirkungen aus den eingesetzten Baumaterialien von links nach rechts: in der Vergangenheit, aktuell, zukünftige Prognose

¹¹¹ Ökobilanzierung von Gebäuden, in: DBZ (Deutsche BauZeitschrift), Ausgabe 12/2019, www.dbz.de/artikel/dbz_oekobilanzierung_von_Gebaeuden_3467321.html (abgerufen am: 13.05.2021)

¹¹² Vgl. Ökobilanzierung von Gebäuden, 2019.

Somit ist anzunehmen, dass der ganzheitliche Ansatz in der Bilanzierung zunehmend an Priorität gewinnen und der entscheidende Hebel für umweltwirksame Maßnahmen im Gebäudebau in Zukunft eine effiziente Materialnutzung sein wird.¹¹³

Neben der Effizienzsteigerung gibt es zur Umsetzung der Nachhaltigkeit noch 2 weitere Strategien (siehe Abb. 2-25). Wie zuvor beschrieben haben Effizienz-Strategien, die der Verbesserung sowie Erhöhung der Produktivität dienen, längst Einzug in das Bauwesen gefunden. Effizienz-gerichtete Strategien bergen jedoch vor allem Gefahren von Rebound-Effekten, die zur Folge haben, dass durch die Effizienzgewinne begünstigte Produktivitätssteigerungen gleichzeitig den Konsum steigern. Als Beispiel wäre hier die Effizienzsteigerung im Energieverbrauch von Wohnhäusern (über zusätzliche Dämmung) zu nennen, die jedoch aufgrund der Steigerung der Nutzfläche pro Person zum Teil (z.T.) erfolglos blieb.¹¹⁴

Dimension	Konsistenz natur- und gesundheits- verträgliche Gestaltung	Suffizienz Bedarfs- hinterfragung	Effizienz funktionale Leistungssteigerung
Gebäude	Umweltwirkungen im Lebenszyklus reduzieren	Bedarf für Nutzungswandel beachten	Flächeneffizienz erhöhen
Raumzone	gesundheitliche Unbedenklichkeit	Raumbedarf und Hüllfläche reduzieren (Kompaktheit)	betriebsoptimierte Gestaltung (reduzierte Betriebsenergie; vereinfachte Wartung und Instandhaltung)
Raum		Ausstattungsqualität reduzieren	
Bauteil	Anteil nachwachsender Rohstoffe erhöhen	Technisierungsgrad reduzieren	Konstruktions-effizienz
Werkstoff	Substitutionsrohstoffe nutzen	Detailanschlüsse reduzieren	technische Leistung der Werkstoffe erhöhen

Abb. 2-25: Dimensionen der Nachhaltigkeit im Bauwesen

¹¹³ Vgl. Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich, TU Wien, Forschungsbereich Ecodesign, 2020, S. 33.

¹¹⁴ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 51.

Im Unterschied zur Effizienz-Strategie basiert die Konsistenz-Strategie auf der Idee, dass alle anthropogenen Stoff- und Energieströme mit der Natur in Einklang gebracht werden müssen. Heisel und Hebel (2021) ergänzen: „Die Bedürfnisse von Mensch und Umwelt müssen als Gesamtheit, als untrennbar betrachtet werden.“¹¹⁵

Bezogen auf das Bauwesen forciert die Konsistenzstrategie die Reduzierung der Umweltwirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes.

Suffizienz-Strategien basieren, im Gegenteil zu Konsistenz- und Effizienz-Strategien nicht auf technischen Entwicklungen, sondern vielmehr auf dem Prinzip des Verzichts: weniger zu produzieren und zu konsumieren, sich in Genügsamkeit üben und zu teilen, statt zu besitzen.¹¹⁶

Hillebrandt et al. (2018) unterstreichen: „Mit dem Ausreichenden auskommen, Suffizienz zu üben, ist die direkteste Art der Ressourcenschonung und Abfallvermeidung.“¹¹⁷

In Betrachtung des Gebäudes als Gesamtsystem kann festgestellt werden, dass sich kreislaufgerechte Strategien, die die Nachhaltigkeitsprinzipien der Effizienz, Konsistenz und Suffizienz verfolgen, auf mehreren Ebenen bieten und im Sinne der Nachnutzung als oberste Prämisse eines geschlossenen Kreislaufs gelten (siehe Tabelle (Tab.) 2-1).

Ebene	Nachnutzungskonzept	Einordnung	Maßnahme
Raum	Nutzungsanpassung, Umbau	Übergeordnete Strategie	räumliche Flexibilität & Anpassungsfähigkeit
Struktur	Instandsetzung, Austausch	Konstruktionsprinzipien	Demontierbarkeit, Verwertungskompatibel
Material	Stoffliche Verwertung	Konstruktionsprinzipien	Materialien rezyklierbar

Tab. 2-1: Nachnutzungskonzepte auf 3 Maßstabsebenen (in Anlehnung an Brenner, 2010, S. 43)

¹¹⁵ Heisel / Hebel, 2021, S. 51.

¹¹⁶ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 51.

¹¹⁷ Hillebrandt et al., 2018, S. 11.

2.5.3 Kreislaufgerechte Konstruktionsprinzipien oder: die Schaffung eines Materiallagers

„Jedes Bauteil setzt sich typischerweise aus einzelnen Baustoffen unterschiedlicher Materialität zusammen. Alle diese Bestandteile eines Gebäudes stehen in definierten Beziehungen zueinander, die maßgeblich durch die Verbindungstechnik gekennzeichnet sind.“¹¹⁸

Im städtebaulichen Maßstab sind gegen Landvernichtung und Ressourcenaufwand für neue Infrastrukturen die Nachverdichtung in Form von Aufstockungen, Baulückenschließungen sowie Nachverdichtungen innerhalb von Blockrandbebauungen oder in oft üppigen Abstandsflächen zwischen Wohnzeilen von Nachkriegssiedlungen zu nennen (siehe Kapitel 2.4.2: Nachhaltige Stadtverdichtung).¹¹⁹

Auf Gebäudeebene hat, entsprechend des Suffizienzgedankens der Nachhaltigkeit und im Sinne der Ressourcenschonung, jede Weiter- bzw. Nachnutzung Vorrang vor Neuerschließung. Hillebrandt et al. (2018) unterstreichen:

„Bei Baubeständen ist zuerst die Möglichkeit der Revitalisierung im Sinne eines Re-Use zu prüfen. [...] Wird eine Revitalisierung nicht oder nur in Teilen umgesetzt, bedeutet dies, dass für den verbleibenden Bestand eine stoffliche Nachnutzung vorauszusetzen ist. Die Potenziale liegen hier im On-site-Recycling von Gebäuderestmassen und von Bodenmassen und in einer intelligenten Geländemodellierung.“¹²⁰

Bei der Erschließung neuen Geländes beziehen sich Hillebrandt et al. (2018) auf die ‚Untouched-World-Idee‘, also den Schutz der Bodenorganismen durch Verzicht einer Unterkellerung. Als bodenschonende Gründungskonstruktionen gelten u.a.

¹¹⁸ Jäger, Wolfram / Robert Masou / Tammam Bakeer / Sebastian Ortlepp / Werner Sobek / Walter Haase / Christian Bergmann / Heide Schuster / Leman Altinisik / Valentin Brenner / Simone Mörtl / Thomas Thümmeler: Entwicklung der Grundprinzipien für voll rezyklierbare, modulare, massive Bauweisen in Breitenanwendung auf 0-Energiebasis, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013, S.14.

¹¹⁹ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 10.

¹²⁰ Hillebrandt et al., 2018, S. 11.

Schraubfundamente und Pfahlgründungen. Diese werden nur punktuell in den Boden gerammt und erlauben somit eine aufgeständerte Bauweise.¹²¹

Des Weiteren nennen Schneider et al. (2011) im Abschlussbericht ihrer Forschungsarbeit als Prinzipien für kreislauffähiges Konstruieren die Minimierung des ökologischen Aufwands der Konstruktion bei gleichzeitiger Verlängerung ihrer Lebensdauer sowie die Planung der Kreislaufführung für alle eingesetzten Materialien nach Ende der Lebensdauer. Außerdem werden die Ausbildung demontierbarer Konstruktionen, die Trennung von Rohbau und Ausbau und die flexible Installationsführung als „wichtige Grundprinzipien des flexiblen, aber auch recyclingfähigen Konstruierens“ genannt.¹²²

Rosen (2021) unterstreicht in Ihrer Dissertation: „Im Wesentlichen zeichnen sich kreislauffähige Bauwerke durch wiederverwendbare Bauteile oder recyclingfähige Baumaterialien sowie leicht demontierbare Konstruktionen und Verbindungstechniken aus.“¹²³

Auch die Architekten Heisel und Hebel (2021) definieren das kreislaufgerechte Bauen als „alle Materialien und Fügetechniken, die explizit dafür konzipiert wurden, verlustfrei, hochwertig und sortenrein in technischen oder biologischen Kreisläufen zu verbleiben.“¹²⁴

Bei mehrschichtigen Aufbauten und v.a. Verbindungen zw. Bauteilen, sind somit Verbindungstechniken zu wählen, die eine Trennbarkeit und eine Rückführung in den geeigneten Kreislauf ermöglichen.

Hillebrandt et al. (2018) unterteilen Verbindungsarten dabei nach dem physikalischen Wirkprinzip:

- „Stoffschluss:
Zusammenhalt der Verbindungspartner durch atomare oder molekulare Kräfte, z. B. Kleben, Schweißen, Löten, Adhäsion

¹²¹ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 11, S. 42.

¹²² Schneider, Ursula / Margit Böck / Hildegund Mötzl: Recyclingfähig Konstruieren: Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“, Wien: Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), 2011, S. 175, S. 12.

¹²³ Rosen, Anja: Urban Mining Index: Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021, S. 12.

¹²⁴ Heisel / Hebel, 2021, S. 112.

- **Formschluss:**
Ineinandergreifen der Form von mindestens zwei Verbindungspartnern, z. B. Nieten, Klettverschluss, Stehfalz-Verbindungen, lose Auflage (in einer Begrenzungskonstruktion), Stopfen, Schütten, Drehriegel (Fenstergriff)
- **Kraft- bzw. Reibschluss:**
Verbindung durch Einwirkung einer Normalkraft und daraus resultierender Haftreibung, z. B. Schrauben, Nageln, Bolzen, Stiften, Klemmen, Keilen, lose Auflage (durch Gewicht)¹²⁵

Dabei handelt es sich bei Stoffschlussverbindungen in der Regel um unlösbare bzw. schwer lösbare Verbindungen, bei Kraft- und Formschlussverbindungen (ausgenommen das Nieten) im Wesentlichen um lösbare Verbindungen. Dennoch betonen Hillebrandt et al. (2018), dass eine eindeutige Einordnung in lösbar oder unlösbar oft nicht möglich ist und auch von Faktoren wie z.B. Witterungseinfluss oder der Anzahl der Hilfsfügeteile abhängig ist.¹²⁶

Lösbare Verbindungstechniken zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine sortenreine Trennung und somit ein qualitatives End-of-Life Szenario ermöglichen. Außerdem lassen sich lösbare Verbindungen meistens zeitlich und wirtschaftlich effektiver herstellen. Des Weiteren sind Instandsetzungen oder, wenn notwendig, der Austausch einzelner Komponenten möglich.¹²⁷

Dabei sind lösbare Verbindungen in Tragwerksverbindungen, Verbindungen zwischen einzelnen Bauelementen oder auf Bauelementebene zwischen den einzelnen Schichten einsetzbar (siehe Abb. 2-26).

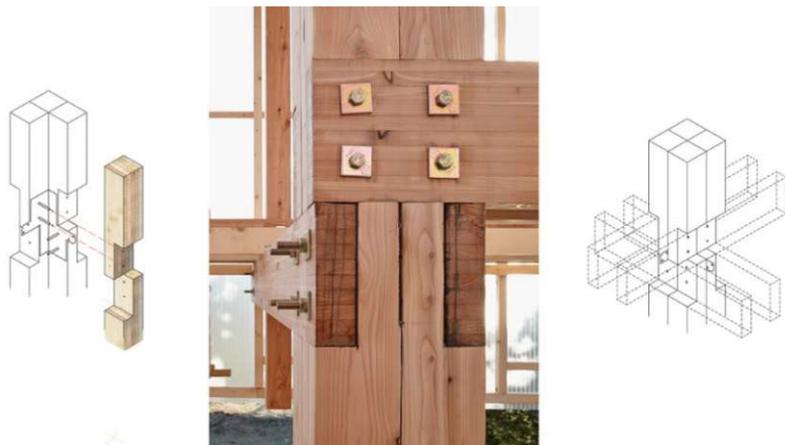


Abb. 2-26: lösbare Verbindung Holztragwerk

¹²⁵ Hillebrandt et al., 2018, S. 42f.

¹²⁶ Hillebrandt et al., 2018, S. 43.

¹²⁷ Hillebrandt et al., 2018, S. 42.

Eine Reduktion der stofflichen Vielfalt kann des Weiteren ebenfalls zur Kreislaufoptimierung beitragen. Schneider et al. (2011) begründen dies wie folgt: „Das heißt, je weniger unterschiedliche Materialien anfallen und je leichter die Materialien zu trennen sind, desto eher erfolgt eine sortenreine Trennung bereits auf der Baustelle und desto eher werden die getrennten Stoffgruppen der geeigneten Verwertung zugeführt.“¹²⁸

Auch Hillebrandt et al. (2018) weisen auf die Vorteile von Monomaterialität hin: „Eine Sonderrolle spielen Monomaterialsysteme: Die Lösbarkeit einer Verbindung wird irrelevant, wenn Verbindungsmittel und zu verbindende Bauteile aus dem gleichen Material bestehen, da kein Störstoff die sortenreine Trennung behindert.“¹²⁹

Somit kann davon ausgegangen werden, dass einstoffliche Verbindungssysteme, die nicht in allen Fällen lösbar sind, dennoch aufgrund ihrer Monomaterialität kein Hindernis für ein sortenreines Recycling darstellen. Als Beispiel einer solchen Verbindung können im Holzbau Vollholzelemente genannt werden, die statt der Leimverbindung der einzelnen Brettlagen, mittels Holzdübel verbunden werden (siehe Abb. 2-27 und Abb. 2-28).

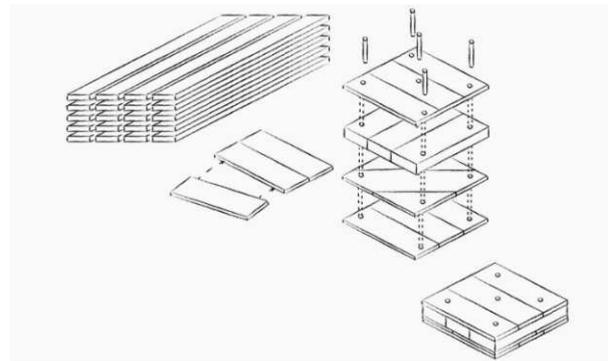


Abb. 2-27: Systemskizze Verbindungsschema gedübeltes Brettsperrholz



Abb. 2-28: Vollholzelement Holz100 verbunden mittels Holzdübel

¹²⁸ Schneider et al., 2011, S. 179.

¹²⁹ Hillebrandt et al., 2018, S. 45.

Die Rolle der Vorfertigung

„Die neu entwickelten Baukonzepte, mit Vorfertigung, schnellerer Montage durch industriell hergestellte Halbzeuge, sind erst durch den bewussteren Umgang mit Holz im Zuge der Ökologiebewegung möglich geworden.“¹³⁰

Es gibt mehrere Faktoren, die einen erhöhten Vorfertigungsgrad bedingen. Darunter fallen u.a. ein enger Zeitplan oder sehr begrenzte Platzverhältnisse auf dem Bauplatz.¹³¹

Vor allem für das Bauen in dichten, innerstädtischen Bereichen stehen die Faktoren Raum und Zeit in enger Wechselwirkung zueinander. Die daraus resultierenden Baustellenbelastungen lassen sich in direkte, wie Lärm, Staub, Abgase und Vibrationen sowie indirekte, wie Absperrungen, Umwege und Interimslösungen unterteilen. Die Beschränkung der Baustellenzeiten zum Zwecke der Reduktion dieser direkten und indirekten Belastungen sowie der Kosteneinsparung ist logistisch oftmals eine Herausforderung.¹³²

Aber auch für das kreislaufgerechte Bauen bietet die Vorfertigung viele Vorteile. Es ist davon auszugehen, dass Bauteile und -gruppen bei der Vorfertigung in einer Werkshalle besser angepasst und dadurch Abfälle vermieden werden können. Außerdem sind durch neue Techniken und Maschinen in den Werkshallen präzise Verbindungen herstellbar, wie z.B. CNC-gefräste Verbindungen in Holz (siehe Abb. 2-29).

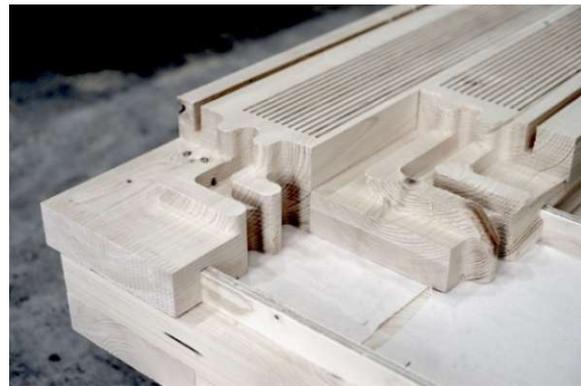


Abb. 2-29: Vorgefertigte, form- und kraftschlüssige Holzverbindung, DGJ Architektur

¹³⁰ Pech, Anton / Martin Aichholzer / Matthias Doubek / Bernd Höfferl / Karlheinz Hollinsky / Alexander Passer / Martin Teibinger / Richard Woschitz. Holz im Hochbau. Theorie und Praxis, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2016, S. 12.

¹³¹ Vgl. Pech et al., 2016, S.9.

¹³² Vgl. DBZ Deutsche BauZeitschrift: Modulbau: Wir haben nachgefragt: Was sagen Architekten zum Modulbau?, Gütersloh: Bauverlag BV GmbH, 2018, S.4.

Mit dem Grad der Vorfertigung verlagert sich die Arbeit von der Baustelle ins Werk, was wiederum eine hohe Präzision erlaubt. Ein hoher Grad an Vorfertigung kann somit den Baustellenablauf optimieren und Gefahren reduzieren.

So können sowohl Bauteile als auch ganze Raummodule im Werk hergestellt werden. Beim Modulbau werden ganze Raumeinheiten (inkl. Verrohrung, Elektroinstallationen, etc.) in der Fabrik vorgefertigt und in einem Stück auf die Baustelle transportiert. Hinsichtlich Effizienz bietet er zahlreiche Vorteile gegenüber konventionellen Bauweisen: u.a. kürzere Bauzeiten, qualitativ hochwertige Details und Standards, höhere Anforderungen an Termin- und Kostensicherheit sowie des Öfteren auch Produkthaftung seitens Hersteller. Der Einsatz von vorgefertigten Modulen ist insbesondere für technisch hoch installierte Gebäude oder für Bauten mit vielen identischen Nutzungseinheiten vorteilhaft.¹³³

Dabei steht der Grad der Vorfertigung stark in Zusammenhang mit der Gestaltungsfreiheit (siehe Abb. 2-30).

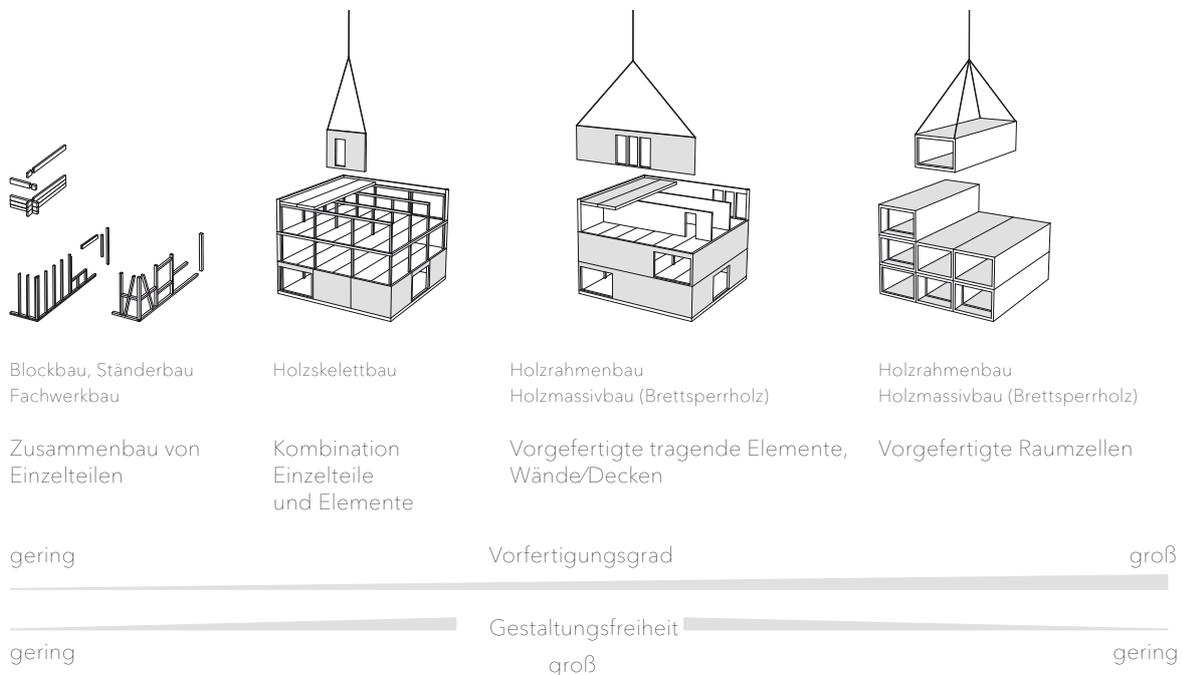


Abb. 2-30: Vorfertigungsgrad in Relation zur Gestaltungsfreiheit

¹³³ Vgl. DBZ, 2018, S. 4f.

2.5.4 Ressourcenschonende & kreislauffähige Baustoffe

„Während andere Branchen wie etwa die Automobil- oder Elektroindustrie bereits mit strengen Regelungen zur Rezyklierbarkeit ihrer Produkte konfrontiert sind (und entsprechende Lösungen entwickelt haben), steht die Anwendung recyclinggerechter Materialien und Konstruktionsweisen im Bauwesen noch am Anfang.“¹³⁴

Dabei bietet, wie in Kapitel 2.1 erläutert, der Bausektor ein großes Optimierungspotenzial. Vor allem für Gebäude, wo in den unterschiedlichen Schichten und Bauteilen, verschiedenste, oft hochwertige Materialien und Komponenten verbaut sind, ist eine gesamtheitliche Betrachtung und bedachte Ressourcenbeschaffung & -nutzung unerlässlich.

„Von der rein stofflichen Ebene aus betrachtet, besteht also jede Immobilie aus Wert- oder Abfallstoffen, für die am Nutzungsende der Immobilienbesitzer die Verantwortung trägt. [...] Ein großer Teil des Werts einer Immobilie wird sich - unabhängig vom Standort - nur erhalten, wenn sie aus Materialien errichtet wurde, die auf gleicher Qualitätsstufe recyclingfähig sind.“¹³⁵

Optimierungen im Sinne der Ressourcenschonung im Bauwesen haben zum Ziel, der Umwelt weniger natürliche Ressourcen zu entziehen. Dies kann einerseits durch einen sparsameren Umgang mit den verwendeten Rohstoffen, andererseits durch die Reduzierung des Bedarfs an Primärressourcen durch die Verwendung von Rezyklaten erfolgen.¹³⁶

¹³⁴ Sobek, Werner / Valentin Brenner / Petra Michaely: Das Gebäude als Ressourcenspeicher: Recyclinggerechtes Bauen in der Praxis, Artikel in DETAILGreen Ausgabe 01/2012, 2012, S. 48.

¹³⁵ Hillebrandt et al., 2018, S. 58.

¹³⁶ Vgl. Jäger et al., 2013, S.30.

Dabei ist es vorteilhaft sich einen Überblick über die gängigen Materialien im Bauwesen zu verschaffen. Hillebrandt et al. (2018) nehmen eine Einteilung in 4 Stoffgruppen vor (siehe Tab. 2-2).

Materialgruppe	biotisch	fossil	mineralisch	metallisch
Entstehung	pflanzlicher od. tierischer Herkunft	biologischer Herkunft	durch abiotische, natürliche Prozesse	durch abiotische, natürliche Prozesse
Verfügbarkeit	endlos (vorausgesetzt natürliches Wachstum ist möglich & Rodung erfolgt nachhaltig)	endlich	begrenzt (langer Entstehungszeitraum)	begrenzt (langer Entstehungszeitraum)
End of life	Verrottung	Zersetzung nach ca. 450 J.	Vererdung	Vererdung
Lebensdauer im Vergleich zu Gebäuden (100 Jahre)	kürzer bzw. vergleichbar	viel länger	länger	länger

Tab. 2-2: Materialgruppen im Bauwesen

Vorrangiges Ziel bei der Wahl von Baustoffen sei lt. Hillebrandt et al. (2018) jene „mit möglichst geringem Primärenergiebedarf in der Herstellung, der Nutzungsphase, der End-of-Life-Betrachtung und schließlich beim Recycling auszuwählen.“¹³⁷

Bei der Wahl der Baustoffe sollten folglich die Umweltwirkungen über alle Lebensphasen, auch graue Energie genannt, insbesondere die Herstellung sowie die Verwertung und Entsorgung gegenübergestellt werden.

Dabei ist nicht jedes Produkt, dass während seiner Herstellungsphase viele Umweltwirkungen hat, per se als schlecht einzustufen. Ein gutes Beispiel dafür wären Metalle. Baustahl beispielweise wird durch das Erhitzen im Hochofen aus einer Kombination von Eisenerz und Koks hergestellt. Die Herstellung ist enorm energieaufwändig und umweltbelastend. Heutzutage ist es jedoch üblich einen hohen Anteil an Altmittel der

¹³⁷ Hillebrandt et al., 2018, S. 63.

Produktion beizufügen und mit Elektrostahlverfahren zu arbeiten, dadurch lassen sich die Umweltbelastungen in den wesentlichen Umweltkategorien deutlich reduzieren. Außerdem lässt sich Stahl problemlos und beliebig oft recyceln. Bei der Herstellung von Bewehrungsstahl kann heutzutage fast ausschließlich auf Altmetall zurückgegriffen werden, das Recycling von Bewehrungsstahl ist bei Stahl-Beton-Verbundelementen jedoch mit einer aufwändigen Materialtrennung verbunden.¹³⁸

Je nach Stoffgruppe gibt es neben den unterschiedlichen Eigenschaften, der Lebensdauer und der Herstellungsprozesse, auch Verwertungswege, welche besagen in welcher Abfallkette sich der Stoff am Ende seines Lebenszyklus befinden wird (siehe Tab. 2-3). Es kann für einen Stoff mehrere unterschiedliche Szenarien für die Verwertung geben, im Sinne der Ressourcenschonung ist jedoch bei der Wahl des bestmögliche Szenario in der Verwertungshierarchie zu priorisieren. Um die möglichen Verwertungswege eines Materials zu eruieren, können Datenbanken bzw. Produktinformationen (EPDs) eine Hilfestellung leisten.

Materialgruppe	biotisch	fossil	mineralisch	metallisch
zu bevorzugen- der Verwer- tungsweg	Kaskadennutzung (mehrfache stoffliche Verwertung) vor energetischer Ver- wertung	mehrere Recyc- lingvorgänge von hochwertigen Kunststoffen auf gleicher Qualitäts- stufe	Recycling	Recycling
Voraussetzung	nachhaltige Kulti- vierung	Sortenreinheit des Kunststoffs & an- haftungsfreie Rückgewinnung der Altstoffe	bestimmte Qualitätsstufe & Garantie von langer Nut- zungsdauer	funktionierendes Recycling, sorten- reine Sortierung, hoher Reinigungsaufwand
Leistung & Nut- zungsdauer in Gebäude	kürzer bzw. ver- gleichbar	generell kürzer	vergleichbar bis länger	vergleichbar bis län- ger
Wieder- & Wei- terverwendung (Re-Use)	eher selten	bietet sich kaum an	bietet sich an, sinnvoll bei gro- ßen & dicken Plattenformaten	aufgrund der guten Verwertbarkeit eher selten

Tab. 2-3: Verwertungsszenarien im Bauwesen nach Materialgruppe

¹³⁸ Vgl. Kolb, Bernhard: Stahl - Ökobilanz: in: Forum | Nachhaltiges Bauen, 2021, nachhaltiges-bauen.de/baustoffe/Stahl (abgerufen am: 11.03.2021).

Der biotische Verwertungskreislauf gilt als geschlossen, wenn biotische (seltener mineralische) Materialien in Kompostierungsanlagen verrotten. Dabei ist es wichtig, dass die der Natur entnommenen biotischen Materialien unbehandelt bleiben und mit ihrer Deponierung die Biodiversität und Ökosysteme nicht beeinträchtigen. Außerdem sollten die Materialien aus einer nachhaltigen Bewirtschaftung stammen. Derzeit ist es jedoch aufgrund fehlender Reglementierung kaum durchführbar, sortenreine biotische Baustoffe dem natürlichen Kreislauf zum Verrotten und Vererden zu überlassen.¹³⁹

Biotische Stoffe sind grundsätzlich im Sinne der CO₂-Einsparung und Abfallreduzierung anderen Stoffen vorzuziehen, da sie während ihrer Wachstumsphase Kohlenstoff speichern und am Ende ihres Lebens meist unproblematisch, vorzugsweise über die Kaskadennutzung (siehe Kapitel 2.5.6, S. 78), wiederverwertet werden können. Das Recycling in Form von technischer Verwertung fossiler, mineralischer und metallischer Stoffe ist hingegen meist mit erneutem Energieaufwand verbunden.¹⁴⁰

In Anlehnung an die Verwertungsszenarien nach Materialgruppen (siehe Tab. 2-3, S.72) ordnet Rosen (2021) Wertstoffe, je nach Art des Rückbaus und der dadurch erzielten Sortenreinheit, folgenden End-of-Life-Szenarien zu:

Wertstoff	End-of-Life-Szenarien				
	Reuse	Recycling	Downcycling	Energy Recovery renewable * †	fossil †
Beton		■	□		
Ziegel/Mauersteine	■	■	□		
Fliesen und Keramik			■□		
Naturstein	■		■□		
Boden/Lehmbaustoffe		■	□		
Holz A1 und A2 nach AltholzV	■		■	□	
biologische Faserstoffe (Kompost)		■		□	
Glas		■	□		
Kunststoff, nach Kunststoffart			■	□	□
Bitumengemische		■			□
Schrott, nach Metallart	■	■□			
Hersteller-/Verbandsrücknahme (z. B. Mineralwolle, Gipsbaustoffe)		■			

Abb. 2-31: End-Of-Life-Szenarien verschiedener Wertstoffe zur Qualifizierung der Kreislauffähigkeit

¹³⁹ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 60ff.

¹⁴⁰ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 63.

2.5.5 Wirtschaftlichkeit des Rückbaus

„Die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus ist [...] mitentscheidend für die Rückgewinnung von Baustoffen auf hohem Qualitätsniveau.“¹⁴¹

Voraussetzung für die Etablierung einer Zirkularität und qualitative Wertschöpfung im Bauwesen ist ein verwertungsorientierter Rückbau und/oder spezielle Rückgabesysteme, um Bauteile unvermischt und unbeschädigt wiederzugewinnen. Eine Zwischenlagerung, Säuberung und Reparatur der aus dem Rückbau gewonnenen Produkte und Materialien ist gegebenenfalls erforderlich und für einen funktionierenden Ablauf zu gewährleisten. Die Wahl des Verfahrens zum Rückbau hat dabei wesentlichen Einfluss auf die Sortenreinheit der zurückzugewinnenden Materialien und somit auch auf die Möglichkeit zur Wertschöpfung im Sinne der Kreislaufwirtschaft. Die Wirtschaftlichkeit des Rückbaus spielt bei der Auswahl des Verfahrens eine wesentliche Rolle, denn in einer Marktwirtschaft, in der Unternehmen zueinander im Wettbewerb stehen erhält in der Regel das wirtschaftlichste Angebot den Zuschlag.¹⁴²

Regelungen wie z.B. die ÖNORM B 3151 können einen Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode propagieren (siehe Kapitel 2.3.3.2). Dennoch ist dieser nur durchführbar, wenn es wirtschaftlich und technisch möglich ist. Ausschlaggebend dafür ist im Umkehrschluss auch der Zustand des rückzubauenden Objektes, also v.a. auch welche Materialien vorhanden sind und wie sie miteinander verbunden sind.

Dabei spielen die Faktoren Arbeit und Wert für eine Wirtschaftlichkeit lt. Rosen (2021) eine wesentliche Rolle. Sie definiert die Dependenz zwischen Ertrag und Aufwand für eine Wirtschaftlichkeit wie folgt: „Grundsätzlich wird die Wirtschaftlichkeit einer Handlung bestimmt, indem der Ertrag ins Verhältnis zum Aufwand gesetzt wird. [...] Der Aufwand kann prinzipiell in Geldeinheiten, in Arbeitsstunden, Materialeinsatz etc. gemessen werden, während der Ertrag in der Regel in Geldeinheiten gemessen wird.“¹⁴³

¹⁴¹ Rosen, 2021, S. 98.

¹⁴² Vgl. Rosen, 2021, S. 13.

¹⁴³ Rosen, 2021, S. 98.

Das EU-geförderte Projekt ‚RE⁴ – REuse and REcycling of CDW materials and structures in energy efficient pREfabricated elements for building REfurbishment and construction‘ konstruierte und untersuchte mehrere Forschungsgebäude mit dem Ziel, ein innovativen Gebäudekonzept zu entwickeln, „das durch ein intelligentes Tragwerk flexible Grundrisse schafft, die die Lebensdauer von Gebäuden signifikant erhöhen.“¹⁴⁴

Dabei hat sich herausgestellt, dass der Einsatz von vorgefertigten, reversiblen Elementen aus Gebäudeabriss (bis zu 65%) eine effiziente Errichtung des Gebäudes ermöglicht, aber auch die Möglichkeit der Wiederverwertung der einzelnen Bauteile am Ende des Lebenszyklus bietet und somit das Abfallaufkommen aus dem Gebäudesektor signifikant reduziert werden kann.¹⁴⁵

Im Endeffekt gelang bei RE⁴ ein vollständiger Rückbau des Tragwerks und der vorgefertigten Elemente. Dieses ergab in der begleitenden Ökobilanz eine Reduktion negativer Umweltwirkungen je nach Bauteil zwischen 38 und 64 %, eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 50 % sowie eine signifikante Reduktion der Rückbaukosten um 92 %, da auf schwere Maschinenteknik verzichtet werden konnte. Es konnte folglich nachgewiesen werden, dass der Einsatz kreislaufgerechter Konstruktionen eine leichte und effiziente Demontage ermöglicht und sich dadurch wirtschaftliche Vorteile ergeben.¹⁴⁶

¹⁴⁴ RE⁴ | Europäisches Forschungsvorhaben, in: ZRS Forschung und Labor, o.D., <https://www.zrs.berlin/de/project/re4-europaeisches-forschungsprojekt/> (abgerufen am: 05.06.2021).

¹⁴⁵ RE⁴, o.D..

¹⁴⁶ Entwerfen für den Material-Kreislauf, in: natureplus.org: natural sustainable building, Stand: 12.07.2020, www.natureplus.org/index.php?id=11&L=2&tx_news_pi1%5Bnews%5D=1211&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=964b95b0b06d94b84fe9cbd8045de378 (abgerufen am: 08.08.2021).

2.5.6 Ressourcenerhaltende Verwertungswege

Während Umweltproduktdeklarationen nach EN 15804, auch EPDs (aus dem Englischen: Environmental Product Declarations) genannt, nützliche Informationen über die Umweltauswirkungen einzelner Bauprodukte bzw. Bauteile enthalten und der ökologischen Gebäudebewertung dienen können (siehe Kapitel 2.6.2.2), geben sie bisher kaum Auskunft über die unterschiedlichen End-of-Life-Szenarien.¹⁴⁷

In der Regel decken EPDs die Phase der Herstellung ab und erfassen die dafür benötigten Energie- und Stoffströme sowie die daraus resultierenden Wirkungen auf die Umwelt. Um jedoch den ökologischen Herausforderungen und neuen regulatorischen Vorgaben gerecht zu werden, muss der gesamte Produktlebenszyklus betrachtet werden, insbesondere die End-of-Life Phase, also was am Produktlebensende mit dem jeweiligen Produkt passiert.¹⁴⁸

Hillebrandt et al. (2018) nennen für das Bauwesen vier Strategien zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung im Sinne der Kreislaufwirtschaft:

- „Verzicht
- Wiederverwendung
- Wiederverwertung
- und nur eingeschränkt Weiterverwendung und Weiterverwertung“¹⁴⁹

Die in der der EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG genannten Entsorgungswege - sonstige Verwertung- (z. B. direkte energetische Verwertung/Verbrennung fossilbasierter Materialien) und -Beseitigung- bieten lt. Hillebrandt et al. (2018) keine nachhaltige Lösung im Sinne der Kreislaufwirtschaft.¹⁵⁰

¹⁴⁷ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 117.

¹⁴⁸ Vgl. Trinius, Wolfram / Julia Sievert / Eva Schmincke / Frak Grootens / Nora Pankow / Andrea Untergutsch / Julia Görke / Frank Werner / Thomas Lützkendorf / Alexander Passer / Susanne Bergius: Grundlagen und Empfehlungen zur Beschreibung der Rückbau-, Nachnutzungs- und Entsorgungsphase von Bauprodukten in Umweltproduktdeklarationen: Ein Leitfaden für Bauproduktindustrie und Normungsgremien zur Ausgestaltung der Module C und D in EPD und PCR, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2020, S. 4.

¹⁴⁹ Hillebrandt et al., 2018, S. 59.

¹⁵⁰ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 59.

Heisel und Hebel (2021) ergänzen:

„Technisch gesehen handelt es sich bei Stufe 1 – der Vermeidung – jedoch nicht um eine Maßnahme der Abfallwirtschaft, da sowohl die quantitative als auch die qualitative Abfallvermeidung Stoffe oder Gegenstände betrifft, bevor sie rechtlich zu Abfall werden. Diese wichtige Unterscheidung gilt auch für die Wiederverwendung, definiert als – jedes Verfahren, bei dem Produkte oder Bestandteile, die keine Abfälle sind, für denselben Zweck, für den sie konzipiert wurden, wiederverwendet werden.“¹⁵¹

Heisel und Hebel (2021) halten außerdem fest, dass die Stufen Recycling (nach Hillebrandt (2018): Wiederverwertung), sowie sonstige Verwertung (nach Hillebrandt (2018): Weiterverwertung und Weiterverwertung), zum Ziel haben „die Verwendung von Primärrohstoffen durch den nützlichen Einsatz von vormaligen Abfallstoffen zu reduzieren.“¹⁵²

Dabei kann eine Wieder- bzw. Weiterverwertung entweder innerhalb oder außerhalb des Hochbauwesens stattfinden, wobei es sich bei letzterem um Further-Use bzw. ein Downcycling handelt (siehe Abb. 2-32).

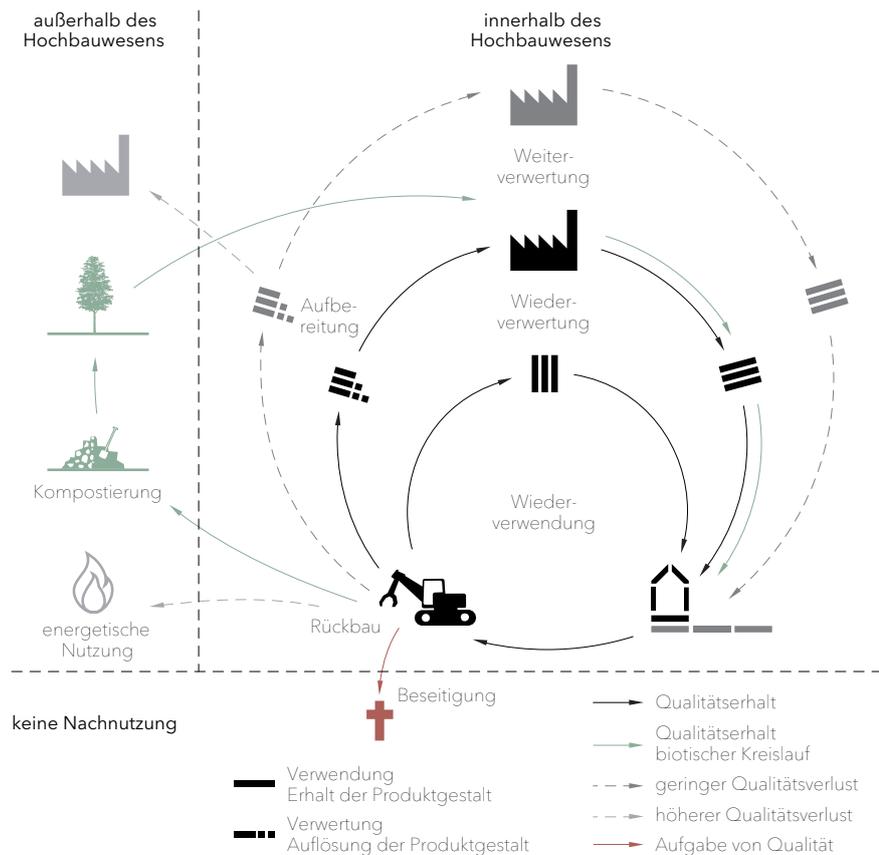


Abb. 2-32: mögliche Nutzungs- und Lebenszyklen von Baustoffen

¹⁵¹ Heisel / Hebel, 2021, S. 47.

¹⁵² Heisel / Hebel, 2021, S. 47.

Weiters findet sich bei Hillebrandt et al. (2018) eine Unterscheidung in technischen und biotischen Verwertungskreislauf (siehe Abb. 2-33), ganz nach dem Vorbild des Cradle2Cradle Konzepts von Michael Braungart (siehe Kapitel 2.1.3). Der technische Kreislauf gilt als geschlossen, wenn die aus der Aufbereitung hervorgehenden Sekundärrohstoffe die gleiche Qualität wie die Primärrohstoffe aufweisen (Recycling auf gleichem Niveau).¹⁵³

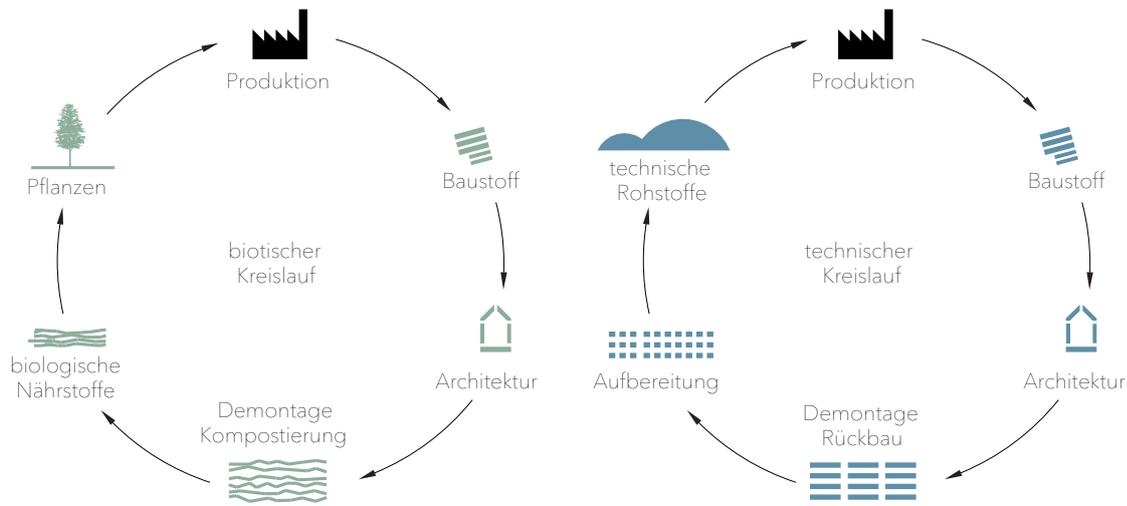


Abb. 2-33: biotischer und technischer Verwertungskreislauf im Bauwesen

Kann ein Bauteil oder -material nicht wieder- (Re-Use) oder weiterverwendet (Further-Use) werden (Stufe 2 nach Vermeidung/Verzicht), kann bzw. sollte es einer Verwertung (Stufe 3) im Sinne des Recyclings zugeführt werden. Beim Recycling werden gebrauchte Stoffe oder Materialien in einen, der Natur nachempfundenen, künstlichen Kreislaufprozess zurückgeführt.¹⁵⁴

Müller (2018) unterteilt das Verwertungs-niveau in drei Bereiche (siehe Abb. 2-34). Während beim Upcycling aus dem Abfall ein hochwertiges, neues Produkt hergestellt wird, kann das beim Downcycling aus dem Abfall hergestellte Produkt die ursprünglichen Qualitätsanforderungen nicht mehr erfüllen. Gleichzeitig ist der Niveaugewinn beim Upcycling jedoch immer mit einem zusätzlichen Energieaufwand verbunden, weil aufwändigere Herstellungstechnologien durchlaufen werden müssen. Dieser zusätzliche

¹⁵³ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 60.

¹⁵⁴ Vgl. Jäger et al., 2013, S. 31.

Energieaufwand beim Upcycling ist ökologisch und ökonomisch dann vertretbar, wenn er unter dem Aufwand für die Herstellung eines vergleichbaren Primärproduktes bleibt und/oder wenn das durch das Upcycling hergestellte Sekundärprodukt in seinen Eigenschaften dem Primärprodukt überlegen ist.¹⁵⁵

Verwertungsniveau		
Upcycling	Recycling	Downcycling
Hoher verfahrenstechnischer Aufwand	Mittlerer verfahrenstechnischer Aufwand	Geringer verfahrenstechnischer Aufwand
Beispiele		
Mauerwerk → leichte Gesteinskörnungen	Beton → rezyklierte Gesteinskörnung für Beton	Mauerwerk → Verfüllungen, Bodenverbesserung
Voraussetzungen		
Zerkleinerung, Mahlung, Zugabe eines Blähmittels, Granulation, Brennen im Drehrohfen	Selektive Gewinnung durch Rückbau Separation von Stör- und Schadstoffen, Zerkleinerung, Klassierung	Separation von Schadstoffen Einsatz ohne oder mit geringster weiterer Aufbereitung

Abb. 2-34: Beispiele und Anforderungen für das Recycling auf unterschiedlichen Verwertungsniveaus

Verliert ein Produkt durch den Recyclingvorgang an Qualität ergibt dies im Sinne der stofflichen Verwertung ein Downcycling. Hierzu ist anzumerken, dass Produkte mit jedem Recyclingprozess an Qualität verlieren können, bis sie schlussendlich nicht mehr verwertet werden können und beseitigt werden müssen. Dabei verlassen sie den geschlossenen Kreislauf und gehen als Nährstoff verloren. Während ein Downcycling beim technischen Kreislauf eher vermieden werden sollte, ist eine Kaskadennutzung beim biotischen Kreislauf als positiv zu betrachten. Dabei handelt es sich um eine Hintereinanderschaltung von (mehrfacher) stofflicher und energetischer Nutzung desselben Rohstoffs und einer somit geschaffenen Verbindung des Material- und Energiesektors.¹⁵⁶

Hillebrandt et al. (2018) weisen in ihrem Buch auf den positiven Effekt von Kaskadennutzung hin: „Ökobilanzen belegen, dass in den meisten Fällen die Vorteile der Emissions- und Energieeinsparungen umso höher ausfallen, je länger die Nutzungskaskaden sind.“¹⁵⁷

¹⁵⁵ Vgl. Müller, 2018, S. 13.

¹⁵⁶ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 60f.

¹⁵⁷ Hillebrandt et al., 2018, S. 65.

Weitere Verwertungswege, die dem Recycling nicht zuzuordnen sind, sind die thermische Beseitigung, also die Verbrennung von Abfall, dessen geringer Brennwert keine energetische Verwertung zulässt, zum Zwecke der Reduzierung der zu deponierenden Abfallmenge sowie schlussendlich die Deponierung, also die Ablagerung von Abfall auf einer Mülldeponie. Die Verbrennung von Abfall aus nicht erneuerbaren Rohstoffen wird dem Recycling im Sinne eines Materialkreislaufs ebenfalls nicht gerecht.¹⁵⁸

Hillebrandt et al. (2018) identifizieren ein Closed-Loop-Material (siehe Abb. 2-35) über seinen Verwertungsweg als:

„Material, das beinahe zu 100 % in einem Verwertungskreislauf ohne Qualitätsverluste geführt werden kann, was z. B. auf viele Metalle zutrifft. Holz kann als nachwachsender Rohstoff zu einem 100 %igen Closed-Loop-Material werden, indem die Kultivierung von konventionell auf nachhaltig zertifiziert umgestellt wird und so garantiert ist, dass nie mehr Holz geschlagen wird als nachwachsen kann.“¹⁵⁹

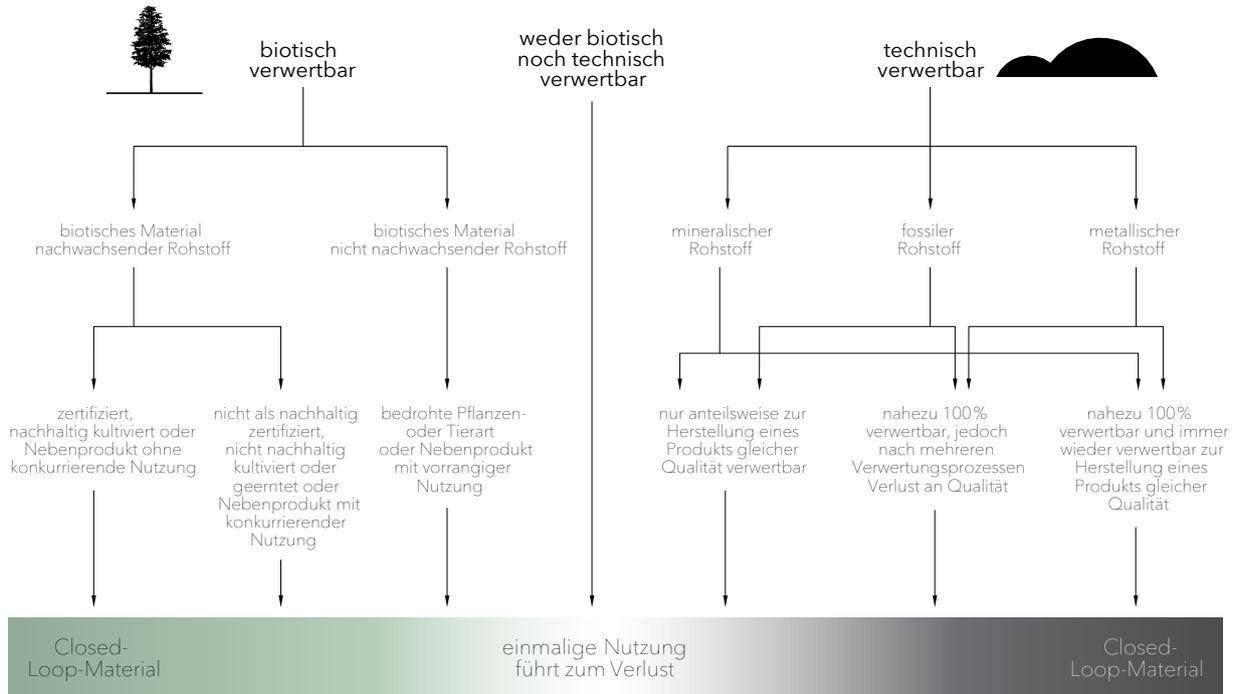


Abb. 2-35: Recyclingpotenziale verschiedener Materialien

¹⁵⁸ Vgl. Jäger et al., 2013, S. 31f.

¹⁵⁹ Hillebrandt et al., 2018, S. 216.

Statistiken aus der Abfallwirtschaft zu Folge (siehe Kapitel 2.2.3), stellen nicht gefährliche, mineralische Bau- und Abbruchabfälle in Österreich den mengenmäßig größten Anteil dar, wodurch auch der Hauptfokus bei der Abfallbehandlung im Sinne einer Verwertung oder des Recyclings darauf gelegt wird.

Lt. Schneider et al. (2011) ist eine Verwertungsquote von 70 % für mineralische Baurestmassen realistisch, wobei die meisten Recyclingbaustoffe aus mineralischem Bauabfall außerhalb des Hochbaus eingesetzt werden (Downcycling). Dazu gehören Beton, Ziegel, Porenbeton, Lehm- und Gipsbaustoffe, Putze, Mörtel, Kiese und Sande. Hauptrohstoffe dieser mineralischen Baustoffe sind Kalkstein, Ton bzw. Lehm, Sand oder Gips. Beim Umgang mit mineralischen Abbruchbaustoffen ist ein besonderes Augenmerk auf letztere, also Gipsprodukte zu legen, da diese aufgrund des Sulfatgehalts die Recyclingmöglichkeiten anderer mineralischer Baurestmassen einschränken können.¹⁶⁰

Bei mineralischen Bauabfällen kann auch ein rohstoffliches Recycling erfolgen, wobei dies die „radikalste“ Methode des Recyclings darstellt, da alle ursprünglichen physikalischen Eigenschaften aufgehoben werden und ein Produkt mit neuen Eigenschaften entsteht. Diese Methode greift auf die chemischen Bestandteile der Bauabfälle zurück. So können z.B. CaO-reiche Bauabfälle wie Betone mit Kalksteingesteinskörnungen oder besonders Al₂O₃-reicher Ziegelbauschutt als Rohstoffkomponenten für die Zementherstellung genutzt werden.¹⁶¹

Hillebrandt et al. unterstreichen, dass v.a. Baustoffe aus biotischen Materialien keiner Wieder- bzw. Weiterverwendung zugeführt werden, sondern eher stofflich bzw. energetisch verwertet werden:

„Eine erneute qualitätsäquivalente Nutzung finden meist nur Bauteile von historischem Wert oder solche, denen die Patina ihrer Alterung ein interessantes Erscheinungsbild verliehen hat (alte/r Eichendeckenbalken oder -dielenbelag).“¹⁶²

¹⁶⁰ Vgl. Schneider et al., 2011, S. 96f.

¹⁶¹ Vgl. Müller, 2018, S. 13.

¹⁶² Hillebrandt et al., 2018, S. 61.

Vor allem in Ballungsgebieten kann durch den Einsatz von Recycling-Baustoffen der Transportaufwand gesenkt werden. Die Rohstoffquelle befindet sich dadurch also generell näher an der Baustelle. Wenn das Abbruchmaterial nicht vor Ort verwertet werden kann und deshalb in einer stationären Recyclinganlage verarbeitet wird, entscheiden die Transportkosten über die Wirtschaftlichkeit der Anwendung von Recyclingmaterial. Um die Wirtschaftlichkeit der Varianten zu eruieren müssen die Kosten für das Neumaterial als Summe aus Gewinnungs- und Aufbereitungskosten plus Transportkosten den Kosten für das qualitätsgerechte Recyclingmaterial als Summe aus Aufbereitungskosten und Transportkosten gegenübergestellt werden. Übersteigen die Kosten des Neumaterials die Kosten des Recyclingmaterials, so ist ein Einsatz des letzteren wirtschaftlicher.¹⁶³

Heisel und Hebel (2021) weisen in ihrem Buch auch auf die Relevanz des End-of-Waste-Status (EoW-Status), also dem Ende der Abfalleigenschaft eines Produktes hin. Die Erlangung dieses sei wichtig, damit das Produkt durch die Verwertung den Geltungsbereich der Abfallgesetzgebung verlässt, bevor es seinen nächsten Nutzungszyklus beginnt. Für eine Wieder- und Weiterverwendung sei es außerdem essenziell, den Abfallstatus gänzlich zu vermeiden.¹⁶⁴

Dennoch ist zu beobachten, dass sich die Recyclinglogistik und Recyclinganlagen für eine Vielzahl von Materialströmen erst in der Erprobung bzw. im Aufbau befindet.¹⁶⁵ Bei vielen Rohstoffen ist die Primärproduktion nach wie vor billiger als das Recycling, was zu hohen Umweltauswirkungen bei der Produktion und auch bei der Entsorgung führt. Dies ist teils auf das mangelnde Produktdesign bzw. das Fehlen einer recyclinggerechten Planung zurückzuführen.¹⁶⁶

¹⁶³ Vgl. Müller 2018, S. 8

¹⁶⁴ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 48.

¹⁶⁵ Vgl. Lemaitre, Christine / Anna Braune: DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau, 3. Aufl., Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen, 2018, S. 473.

¹⁶⁶ Vgl. Kreislaufwirtschaft statt Wegwerfgesellschaft, 2020.

2.5.6 Planungsstrategien und Hilfsmittel

2.5.6.1 Einleitung

Um kreislaufgerechte und ressourcenschonende Planung zu unterstützen, stehen Planer*innen heutzutage unterschiedliche Strategien und Hilfsmittel zur Verfügung. Viele davon haben sich bereits vor einiger Zeit in der Planung etabliert und können z.T. auch genutzt werden, um kreislauffähige Gebäude zu planen und somit Schritt für Schritt eine Implementierung der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen voranzutreiben. Dieses Kapitel soll einen Überblick über Tools und Strategien in der Architekturplanung bieten, die sich besonders für kreislaufgerechte Planung als nützlich erweisen können.

Allem voran sind Tools, die rund um die Digitalisierung entstanden sind, zu nennen. Dazu gehören u.a. die BIM-Planung und Datenbanken. Mit erhöhter Technisierung von Projekten ist auch eine penible Inventarisierung möglich – der so genannte ‚digitale Zwilling‘ soll ein Gebäude und dessen Bestandteile so abbilden, dass nachvollziehbar wird, was genau an Ressourcen und Materialien darin stecken. Dies wiederum kann eine Planung der Kreisläufe erleichtern.

Außerdem werden Entwurfs- und Planungsstrategien genannt, die hilfreich für die Implementierung kreislaufgerechter Methoden sein können. Die Betrachtung der einzelnen Schichten eines Gebäudes und deren unterschiedlicher Nutzungsdauern, kann sich im Sinne der Flexibilität als förderlich erweisen. Auch das Design for Disassembly bietet sich an, um im Vorhinein Überlegungen anzustreben, die eine leichte Demontage und somit Rückbau der einzelnen Komponenten erlauben.

Des Weiteren sind Bewertungssysteme zu nennen, die zum Ziel haben, die Zirkularität bzw. Kreislauffähigkeit von Gebäuden zu messen. So sind in den meisten Gebäudezertifizierungen bereits Bewertungspunkte vorhanden, die ressourcenschonende Maßnahmen und Optimierungen in Projekten honorieren.

2.5.6.2 Nutzungsdauern & Schicksalsgemeinschaften

„Die hohen heutigen Ansprüche an die Leistungsfähigkeit von Hüll- und Trennteilen in Gebäuden haben dazu geführt, dass die von einem Bauteil zu leistenden Funktionen meist auf eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden, hochspezialisierten Schalen und Schichten aufgeteilt werden. Derartige Konstruktionen [...] stellen meist auch ein Hindernis oder einen erhöhten und damit unwirtschaftlichen Aufwand für die sortenreine Trennung der verwendeten Stoffe dar.“¹⁶⁷

Die in den letzten Jahrzehnten optimierten Methoden und Techniken im Bauwesen haben dazu geführt, dass Bauteile aus vielen, aufeinanderfolgenden Schichten bestehen, die alle den bestmöglichen Nutzen erfüllen sollen. Dies resultiert in einer hohen Anzahl an unterschiedlichen Materialien mit unterschiedlichen End-of-Life Szenarien, die fatalerweise bei der Fügung kaum berücksichtigt werden.¹⁶⁸

Um die so genannte Schicksalsgemeinschaft der einzelnen Komponenten zu berücksichtigen und die Planung im Sinne der Kreislaufwirtschaft danach anpassen zu können, ist eine Betrachtung der einzelnen Gebäudeschichten jedoch von hoher Bedeutung. Durch intelligenten Einsatz von Materialien und Komponenten sowie die Berücksichtigung der Nutzungsdauern und End-of-Life-Szenarien, kann die Lebensdauer von Gebäuden verlängert werden. Dies kann weiters über die Schaffung der Möglichkeit zur Instandhaltung und Anpassung an sich ändernde Nutzungen begünstigt werden. Eine Betrachtung des Gebäudes nach seinen einzelnen Komponenten und Anforderungen ist für eine gesamtheitliche Planung demnach unumgänglich.¹⁶⁹

¹⁶⁷ Hillebrandt et al., 2018, S. 102.

¹⁶⁸ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 102.

¹⁶⁹ Vgl. Brand, Stewart: How Buildings Learn: What Happens After They're Built, New York: Viking (Viking Penguin), 1994, S. 11ff.

Eine gängige Einteilung von Gebäuden in Schichten erfolgt nach Brand (1994) in die ‚6 S‘, also 6 Schichten eines Gebäudes:



Abb. 2-36: Scherschichten & Lebensdauern nach Stewart Brand

SITE - Standort - also die geographischen Begebenheiten, der städtebauliche Kontext und die gesetzlichen Rahmenbedingungen des Grundstücks

STRUCTURE - Konstruktion - also die tragenden Elemente, die die Grundform des Gebäudes festlegen

SKIN - Hülle - also die Trennebene zwischen Innen- und Außenraum, auch bezeichnet als Fassade

SERVICES - technische Ausstattung - also die Eingeweide eines Gebäudes wie elektrische Verkabelung, Sanitärinstallationen, technische Anlagen

SPACE PLAN - Raumplan - also die Innenausstattung eines Gebäudes, wie Wände, Türen, Böden, Decken

STUFF - Zeug - Einrichtung wie Küchengeräte, Schreibtische, Stühle

Brands (1994) Konzept der Scherschichten betrachtet Gebäude demnach in unterschiedlichen Komponenten, die sich in unterschiedlichen Zeiträumen entwickeln und deren Lebenserwartungen bzw. Nutzungsdauern variieren. Seine Einteilung basiert auf der Arbeit des Architekten Frank Duffy, welcher bereits einige Jahre zuvor eine Einteilung in vier Schichten für Gewerbebauten geprägt hat: Shell (Hülle), Services (Dienstleistungen), Scenery (Landschaft), Set.

Sowohl Duffy (1992) als auch Brand (1994) verdeutlichen damit den Umstand, dass einzelne Bestandteile eines Gebäudes unterschiedlich lange halten und unterschiedlich oft ausgetauscht werden (müssen).

Demnach können bereits in der Planung wesentliche Schritte gesetzt werden, um Bauteile leicht wartbar, anpassbar und modular zu gestalten, damit die Lebensdauer des gesamten Gebäudes verlängert und somit eine Kreislaufschließung ermöglicht werden kann. Oft werden Gebäude nämlich abgerissen, weil beispielweise eine der Schichten bereits ihr Lebensende erreicht hat.¹⁷⁰

Weiters unterstreicht Brand (1994) die Dominanz der langsamen Teile eines Gebäudes. So dominiert der Standort die Konstruktion, die Konstruktion die Hülle, die Hülle die technische Ausstattung, die technische Ausstattung den Raumplan und der Raumplan die Einrichtung. Nichtsdestotrotz beeinflussen schnelle Prozesse die langsamen wesentlich, sodass zum Beispiel das Nutzerverhalten oft eine Anpassung des Raumplanes erfordert. Die Entkoppelung der einzelnen Schichten kann demnach Handlungsspielräume erlauben und eine Ressourcenschonung auf allen Ebenen des Gebäudes begünstigen.¹⁷¹

¹⁷⁰ Vgl. Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich, 2020, S. 32

¹⁷¹ Vgl. Brand, 1994, S. 14f.

2.5.6.3 Level(s)

Im Rahmen des Circular Economy Action Plans der EU wurde der Bewertungs- und Berichtsrahmen ‚Level(s)‘ ins Leben gerufen. Es handelt sich dabei um eine kostenlose Open Source Software, welche dabei helfen kann, CO₂ Emissionen, Material- & Wasserverbrauch, Gesundheit und Wohlbefinden der Nutzer sowie Klimawandelfolgen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu bemessen.

Level(s) ist für alle Akteure und Akteurinnen in der Bauwirtschaft konzipiert und kann z.B. Bauherr*innen dabei helfen auszuweisen, wie nachhaltig ihr Gebäude ist sowie Planer*innen ermöglichen, verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten zu vergleichen und Nachhaltigkeitsziele für das Planungsprojekt von Beginn an festzulegen.

Level(s) bietet eine Reihe an Messsystemen auf 6 Makroebenen, die den Zielen des Aktionsplans für Kreislaufwirtschaft zugrunde liegen und kreislaufgerechtes Bauen fördern sollen:

- 1 Bewertung der Treibhausgasemissionen während des gesamten Gebäudelebenszyklus
- 2 Analyse des Lebenszyklus von Materialien, um deren Nutzung zu verlängern und Abfall zu reduzieren
- 3 Implementierung einer effizienten Wassernutzung
- 4 Förderung gesunder und komfortabler Räume
- 5 Unterstützung der Anpassung an den Klimawandel und der Resilienz
- 6 Berücksichtigung der Lebenszykluskosten und des Werts über einen Zeitraum¹⁷²

Die Benutzerhandbücher, die alle Informationen enthalten, die man benötigt, um Level(s) in die Praxis umzusetzen, stehen auf der Homepage der Europäischen Kommission zum Download bereit: susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau/product-groups/412/documents (derzeit lediglich in Englischer Sprache).

¹⁷² Level(s): European framework for sustainable buildings, in: European Commission: Environment. Home: Level(s), o.D., https://ec.europa.eu/environment/levels_en (abgerufen am 03.10.2021).

2.6.6.4 Design for Disassembly

Alle Gebäude sind für die Montage konzipiert, die Demontage und Anpassbarkeit wird jedoch selten in der Planung berücksichtigt. So werden Baustoffe oft unbedacht in eine geschlossene und abhängige Struktur integriert, die keine Änderungen und Demontage zulässt. Darüber werden die verwendeten Materialien oft als Verbundwerkstoffe eingesetzt, die eine Herausforderung für Recycling-Prozesse darstellen.¹⁷³

Eine leichte Demontage und sortenreine Trennung sind Grundvoraussetzungen für einen selektiven Rückbau und können in weiterer Folge ausschlaggebend dafür sein, ob und auf welcher Qualitätsstufe ein Baustoff wiederverwendet oder -verwertet werden kann. Der Entwurf kreislaufgerechter Gebäude setzt eine frühe Auseinandersetzung mit ebendieser Thematik voraus.

Das ‚Design for Disassembly‘ (DfD), zu Deutsch Design für Demontage, hat zum Ziel den Entwurf dahin zu optimieren, dass schlussendlich ein wertschöpfender Rückbau erfolgen kann und Ressourcen dadurch im Kreislauf geführt werden.

Laut Durmisevic (2019) können drei Dimensionen von Reversibilität eines Gebäudes identifiziert werden: räumlich, strukturell und materiell. Die Reversibilität dieser Dimensionen zeichnet sich über Umgestaltungsmöglichkeiten wie Separieren, Entfernen, Hinzufügen, Versetzen und Ersetzen von Elementen des Systems ohne die Notwendigkeit des Abrisses aus. Letztendlich bilden Zerlegbarkeit, Anpassbarkeit und Wiederverwendung den Kern der Reversibilität von Gebäuden und bestimmen als solche das Niveau der räumlichen, strukturellen und materiellen Dimension. Weiters identifiziert Durmisevic Transformationsfähigkeit und Wiederverwendungspotenzial als Schlüsselindikatoren.¹⁷⁴

Weiters weist Durmisevic (2019) darauf hin, dass idealerweise jedes Molekül, das einem Herstellungsprozess beigefügt wird, diesen wieder als Teil eines verkaufbaren Produktes verlassen sollte.¹⁷⁵

¹⁷³ Vgl. Durmisevic, Elma: Circular Economy in Construction: Design Strategies for Reversible Buildings, Netherlands, 2019, S. 13.

¹⁷⁴ Vgl. Durmisevic 2006, zitiert nach Durmisevic 2019, S. 18f.

¹⁷⁵ Vgl. Durmisevic 2019, S. 13.

Außerdem sollten alle Komponenten eines Produktes derart verarbeitet und verbaut sein, dass sie wiederverwendet werden können um an Ende ihres Lebens erneut zur Herstellung eines neuen Produktes herangenommen werden kann. Dies kann sowohl im kleinsten als auch im großen Maßstab verstanden werden, sei es als Produkt oder in Betrachtung des gesamten Gebäudes.

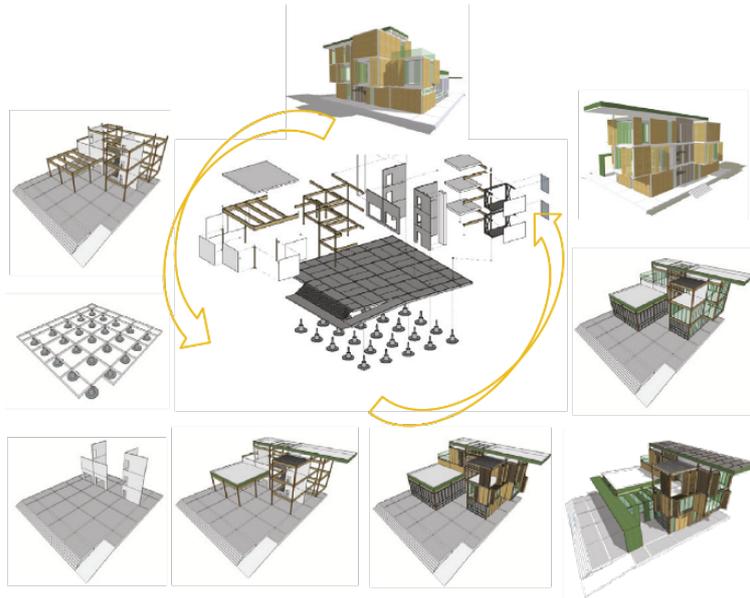


Abb. 2-37: Beispiel eines reversiblen Gebäudedesigns

Im Maßstab des Gebäudes kann dies sowohl auf die Adaptierbarkeit der Konstruktion zum Zwecke der Anpassung an eine sich verändernde Nutzung oder zum Zwecke der Instandhaltung als auch im Sinne der Rückführung der einzelnen Komponenten zum Zwecke der Wiederverwendung übertragen werden. Abbildung 2-37 illustriert eine solche Anwendung am Beispiel eines Gebäudes.¹⁷⁶

Beim DfD wird der Fokus vor allem auf die Verbindungen der einzelnen Bauteile und -elemente untereinander. Laut Durmisevic (2019) kann jedoch eine hohe Anzahl der Demontagemöglichkeiten ein Hindernis darstellen. Wenn zu viele Demontagesequenzen erforderlich sind, sei die Gefahr groß, dass ein Abbruch bevorzugt wird. In diesem Sinne ist es wichtig, sich Demontagesequenzen zu überlegen, z.B. welche Baugruppen zuerst auf der Baustelle und welche Unterkomponenten anschließend im Werk demontiert werden sollten.

¹⁷⁶ Vgl. Durmisevic 2019, S. 13.

2.5.6.5 Digitale Informationsträger

„Dokumentieren wir etwas,
können wir darauf aufbauen.“¹⁷⁷

2.5.6.5.1 Building Information Modeling

Damit Baustoffe wiederverwendet oder -verwertet werden können, muss dokumentiert sein, in welcher Menge und an welcher Stelle sie in einem Gebäude verbaut sind. Tools zur Erstellung eines digitalen Modells können sich in diesem Sinn als äußerst nützlich erweisen, da darin Informationen über das Projekt hinterlegt werden können. Viele der Planungssoftwares zur digitalen Modellierung von Gebäuden arbeiten heute bereits mit ‚Building Information Modeling‘ (BIM), zu Deutsch ‚Bauwerksdatenmodellierung‘. BIM erlaubt eine integrale, kooperative Arbeitsmethodik aller Projektbeteiligten für die Erfassung, Verwaltung und Dokumentation aller für den Lebenszyklus von Bauwerken relevanten Daten. Somit können komplizierte Planungsprozesse optimiert und Kosten gespart werden. Eine unter Anwendung von BIM erstellte digitale Version eines Gebäudes enthält sowohl geometrische als auch alphanumerische Informationen zu allen relevanten Modellelementen. Diese Daten können Informationen zu Materialien, Bauteilen, Baugruppen oder Räumen und deren Beziehungen untereinander enthalten.¹⁷⁸

Der digitale Zwilling des Gebäudes sollte im Sinne der kreislaufgerechten Planung den gesamten Lebenszyklus über gepflegt und aktualisiert werden, damit er im Falle von Instandhaltungen aber auch für spätere Umbau- und Rückbaumaßnahmen herangezogen werden kann.¹⁷⁹

¹⁷⁷ Rau / Oberhuber, 2019, S. 130.

¹⁷⁸ Vgl. Digitales Bauwerksmodell, in: Baunetz_Wissen_, o.D., www.baunetzwissen.de/glossar/d/digitales-bauwerksmodell-5314315 (abgerufen am: 23.09.2021).

¹⁷⁹ Vgl. Achatz, Astrid / Eva Margelik / Thomas Romm / Thomas Kasper / Dirk Jäger: KreislaufBAUwirtschaft: Projekt Endbericht, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) - V/6 (Abfallvermeidung, -verwertung und -beurteilung), 2021, S. 34.

2.5.6.5.2 Materialpass

„Anonymität ist gleichbedeutend mit Rechtlosigkeit und Wertlosigkeit. Das gilt für alle und alles – Menschen, Regionen, Tiere, Pflanzen und eben auch für Materialien. Solange Materialien in die Anonymität abgleiten können, werden wir wertvolle Rohstoffe verlieren. Und solange bleibt auch unser Produktionsmodell linear [...]“¹⁸⁰

Materialpässe können ergänzend bzw. aufbauend auf BIM Modellen erstellt werden. Diese können relevante Informationen zu den in einem Gebäude verbauten Materialien enthalten. Mit einem solchen Pass können einzelne Materialien eine dauerhafte Identität erhalten. Wenn ein Gebäude das Ende seines Lebenszyklus erreicht hat, kann das Vorhandensein eines Materialpasses ausschlaggebend dafür sein, welche Rückbaumethode gewählt wird und wie viele Materialien infolgedessen werterhaltend ausgebaut werden können. Auf Basis der im Materialpass enthaltenen Informationen kann bereits vor dem Rückbau ein detaillierter Rückbauplan erstellt werden. Darüber hinaus können der voraussichtliche Erlös und somit die Reduzierung der Rückbaukosten kalkuliert werden, was einen wesentlichen Anreiz für Eigentümer bieten kann, um werterhaltend rückzubauen.¹⁸¹

Rau und Oberhuber (2019) beschreiben in ihrem Buch, wie Ihnen gelungen ist, durch Identifikation, Dokumentation und Bewertung von Materialien, ein als ‚abgeschrieben‘ geglaubtes Gebäude in eine wertvolle Mine umzuwandeln.¹⁸²

Die beiden Autoren gründeten 2017 die Madaster Foundation – ein Unternehmen, das Akteure in der Baubranche bei der Realisierung kreislaufgerechter Gebäude begleitet. Die Madaster Plattform bietet z.B. die Möglichkeit online einen Materialpass für Gebäude zu erstellen.

Madaster Plattformen existieren bereits in mehreren Ländern, darunter in den Niederlanden und der Schweiz. Eine Umsetzung in Österreich steht in Aussicht.¹⁸³

¹⁸⁰ Rau / Oberhuber, 2019, S. 133.

¹⁸¹ Vgl. Introduction Madaster, Stand: 23.02.2017, www.rau.eu/2017/02/introduction-madaster/ (abgerufen am: 08.08.2021)

¹⁸² Rau / Oberhuber, 2019, S. 137.

¹⁸³ Vgl. Madaster Österreich: Lösung zur Challenge: Von der Planung bis zum Abriss – den Baukreislauf neu organisieren, in: IÖB Innovationsplattform, o.D., <https://www.ioeb-innovationsplattform.at/challenges/detail/von-der-planung-bis-zum-abriss-den-baukreislauf-neu-organisieren/detaildea/madaster-oesterreich-1/> (abgerufen am: 14.07.2021).

2.5.6.6 Bewertungssysteme

2.5.6.6.1 Zertifizierungen

Gebäudezertifizierungssysteme haben zum Ziel, die Nachhaltigkeit eines Gebäudes gesamtheitlich zu betrachten. Solche Systeme sind notwendig, da sie als politische Instrumente wesentlich zur Umsetzung von gesellschaftlichen Zielen der Nachhaltigkeit beitragen. Die meisten Zertifizierungssysteme bestehen prinzipiell aus einem Mix von Bewertungs- und Bilanzierungsverfahren.¹⁸⁴

Abbildung 2-38 bietet einen Überblick darüber, inwiefern das zirkulare Bauen in den ausgewählten Zertifizierungssystemen derzeit verankert ist. Bewertet wird in allen Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes: der Planung und Herstellung, der Nutzung sowie der End-of-Life Phase. Unter anderem sind Kriterien wie Materialeigenschaften und deren Umweltwirkungen (z.B. Schadstofffreiheit), Vermeidung von Abfällen, die Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit und Sekundärrohstoffverwendung enthalten.

Daraus ist ersichtlich, dass v.a. im Zertifizierungssystem der DGNB – Gebäude Neubau 2018 recyclingbezogene Kriterien in der End-of-Life Phase umfangreich abgebildet und bewertet werden. Auch das Modul D (siehe Abb. 2-39, S. 96) wird hier in die Ökobilanzierung miteinbezogen. Weiters ist zu erkennen, dass Kriterien v.a. umfassend in der Planungsphase eines Gebäudes bewertet werden.

Hillebrandt et al. (2018) bemängeln jedoch die qualitativen Bewertungsinstrumente in Zertifizierungssysteme und erwähnen, dass diese bisher nur unzureichend und ungenau die zirkulären Eigenschaften von Baukonstruktionen abbilden:

„In allen Gebäudezertifizierungssystemen werden die Recyclingaspekte bisher weitgehend qualitativ bewertet. Eine quantitative Bewertung des Kreislaufpotenzials erfolgt aktuell nicht. [...] Ebenso findet die ökonomische Relevanz des Recyclings in den Zertifizierungssystemen bisher entweder keine oder nur unzureichende Beachtung.“¹⁸⁵

¹⁸⁴ Vgl. König, Holger / Niklaus Kohler / Johannes Kreißig / Thomas Lützkendorf: Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnungen, Planungswerkzeuge, München: Detail Business Information GmbH, 2009, S.9.

¹⁸⁵ Hillebrandt, 2018, S. 30.

Phase	Zertifizierungssystem	BNB Büro und Verwaltung Neubau 2015	DGNB Gebäude Neubau 2018	BREEAM International New Construction 2016	LEED v4 Building Design and Construction 2016
Planung und Herstellung	Flächenrecycling (Grund und Boden)	1.2.4 Flächeninanspruchnahme	ENV 2.3 Flächeninanspruchnahme	LE 01 Standortwahl	LT C3 Standortwahl SS C2 Standortentwicklung
	Berücksichtigung von Um- und Rückbaubarkeit sowie Recycling- freundlichkeit in der Planung	5.1.3 Komplexität und Optimierung der Planung	TEC 1.6 Rückbau- und Recycling- freundlichkeit	–	–
	Offenlegung und Optimierung der Baustoffe hinsichtlich Umweltwirkung und Ressour- censchonung	1.1.1–1.1.5 + 1.2.1 Ökobilanz – Emissionen und Primärenergiebedarf 5.2.2 Qualitätssicherung der Bauausführung	ENV 1.1 Ökobilanz des Gebäudes	MAT 01 Umweltwirkungen im Lebenszyklus MAT 06 Materialeffizienz	MR C2 Transparenz und Optimierung der Baustoffe – Umweltprodukt- deklaration
	Weiter- /Wiederverwendung Altsubstanz	nur indirekt über Ökobilanz	ENV 1.3 verantwortungsbewusste Ressourcenverwendung ECO 1.1 Lebenszykluskosten (Circular Economy-Bonus)	MAT 03 verantwortungsbewusste Beschaffung von Bauprodukten	MR C1 Reduzierung der Ökobilanz
	Vermeidung und Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen (Baustellenabfälle)	5.2.1 Baustelle/ Bauprozess	PRO 2.1 Baustelle/ Bauprozess	MAN 03 verantwortungsbewusste Baupraktiken WST 01 Baubabfallmanagement	MR PR 1 Planung Abfallmanagement für Bau- und Abbruchabfälle MR C5 Abfallmanagement für Bau- und Abbruchabfälle
	Sekundärrohstoffverwendung	–	ENV 1.3 verantwortungsbewusste Ressourcenverwendung	WST 02 rezyklierte Zuschlagstoffe MAT 06 Materialeffizienz	MR C3 Transparenz und Optimierung der Baustoffe – Bezug von Roh- stoffen
	Verwendung nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo)	–	–	–	–
	Schadstofffreiheit	1.1.6 Risiken für die lokale Umwelt	ENV 1.2 Risiken für die lokale Umwelt	HEA 02 Indoor Air Quality	MR C4 Transparenz und Optimierung der Baustoffe – Inhaltsstoffe
	Wasserkreislauf	1.2.3 Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	ENV 2.2 Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	WAT 01 Wasserverbrauch	WE Wassereffizienz
	Nutzung	erneuerbare Energien	1.2.1 Primärenergiebedarf /Anteil erneuerbarer Primärenergie	ENV 1.1 Ökobilanz des Gebäudes /Anteil erneuerbarer Primärenergie TEC 1.4 Einsatz und Integration von Ge- bäudetechnik	ENE 01 Reduzierung des Energie- verbrauchs und der CO ₂ - Emissionen ENE 04 Low carbon design
Leasing-Modelle für Bauteile (=Product as a Service*)		–	ECO 1.1 Lebenszykluskosten (Circular Economy Bonus)	–	–
Umnutzungsfähigkeit		2.2.2 Anpassungsfähigkeit	ECO 2.1 Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit	WST 05/06 Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel/funktionale Anpassungsfähigkeit	–
Demontageaufwand, Sortenreinheit, Recyclingfähigkeit		4.1.4 Rückbau, Trennung und Verwertung	TEC 1.6 Rückbau- und Recycling- freundlichkeit	– – –	– – –
End of Life	Ökobilanzierung des Recycling- potenzials (Modul D)	–	ENV 1.1 Ökobilanz des Gebäudes	–	–
	Kosten und Erlöse für Rückbau, Verwertung und Entsorgung	–	–	–	–

Abkürzungen:

C Credit (Kriterium) EA Energy and Atmosphere (Energie und Atmosphäre) ECO Economics (Ökonomie) ENE Energy (Energie) ENV Environment (Umwelt) HEA Health and wellbeing (Gesundheit und Wohlbefinden) LE Land use and ecology (Bodennutzung und Ökologie) LT Location and Transportation (Standort und Transport) MAT Materials (Materialien) MAN Management (Management) MR Material and Resources (Material und Rohstoffe) PR Prerequisite (Grundanforderung) PRO Process Quality (Prozessqualität) SS Sustainable Site (nachhaltiger Standort) TEC Technical Quality (Technische Qualität) WAT Water (Wasser) WE Water Efficiency (Wassereffizienz) WST Waste (Abfall)

Abb. 2-38: Recyclingbezogene Kriterien in den etablierten Zertifizierungssystemen

2.5.6.6.2 Ökobilanzierung

Ökobilanzierungssysteme, auch Life Cycle Assessment (LCA) genannt, erweisen sich als sehr nützliche Tools in der Baubranche und stellen in vielen Zertifizierungssystemen einen wesentlichen Bestandteil zur Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes dar. Als quantitative Methode stellt die Ökobilanzierung Stoff- und Energieflüsse von Bauprodukten, -systemen oder Prozessen und die potenziellen Umwelteinflüsse über den gesamten Lebenszyklus, also ‚von der Wiege bis zur Bahre‘, dar. Dazu werden die Umweltinformationen in den Kategorien Ressourcenverwendung (Input), Abfallkategorien (Output), Abgabeströme (Output) und Umweltauswirkungen mithilfe verschiedener messbarer Indikatoren dargestellt, z.B. Einsatz erneuerbarer Primärenergie als Energieträger oder Treibhauspotenzial.¹⁸⁶

Auf internationaler Ebene sind Standards zur Erstellung von Ökobilanzen in der ISO 14040 und der ISO 14044 festgelegt. Ökobilanzierungen werden durch Einspeisung produkt- bzw. materialrelevanter Daten erstellt, welche zuvor erhoben werden müssen. Umweltproduktdeklarationen (siehe Kapitel 2.5.6) des Typs III nach DIN EN ISO 14025 und DIN EN 15804 dienen zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauprodukten und werden durch unabhängige Dritte verifiziert.¹⁸⁷

Gemäß DIN EN 15804 wird der Lebensweg von Bauprodukten in die Module A-D eingeteilt (siehe Abb. 2-39). Das Modul A steht für die Herstellung, Modul B für Nutzung (inkl. Austausch von Bauteilen), Modul C für das Lebensende des Gebäudes und Modul D für das Recyclingpotential. Im Modul D können somit Gutschriften bzw. Belastungen nach Ende des Lebenszyklus eines Gebäudes berücksichtigt werden.¹⁸⁸

¹⁸⁶ Vgl. Rosen, 2021, S. 28f.

¹⁸⁷ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 29.

¹⁸⁸ Vgl. Figl, Hildegund / Oliver Kusche: ÖKOBAUDAT-Handbuch: Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank, Version 1.1, Berlin, Wien, Freiburg: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2020, S. 14.

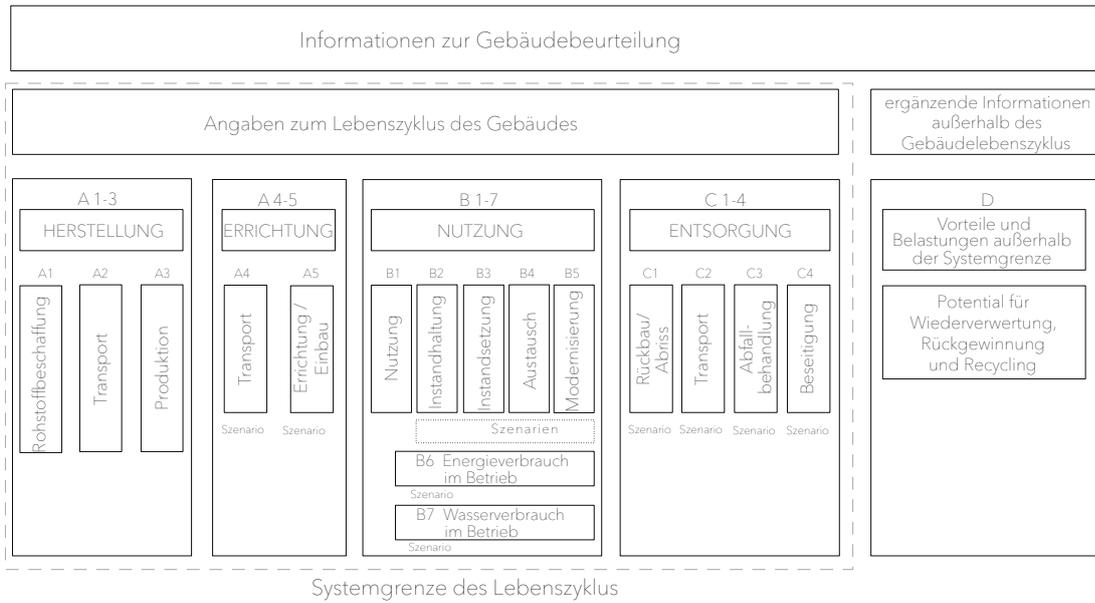


Abb. 2-39: Ökobilanzierungsmodule A-D

Für Planer*innen von kreislaufgerechten Gebäuden können Ökobilanzierungen zur Hilfe genommen werden, um die Umweltwirkungen von unterschiedlichen Materialien bzw. Aufbauten zu vergleichen und eine Gesamtbilanz für das ganze Gebäude zu erstellen.¹⁸⁹

Rosen (2021) stellt die Ökobilanzierung jedoch für die Abbildung von Auswirkungen durch Ressourcenabbau und -einsatz infrage:

„Die Ökobilanzierung ist zwar eine quantitative Methode, sie bildet aber die Recyclingaspekte – vor allem in der praktischen Anwendung auf Gebäudeebene – nur unzureichend ab. Ebenso findet die ökonomische Relevanz des Recyclings in den Zertifizierungssystemen bisher keine Beachtung. Die Kosten für Rückbau und Entsorgung bleiben in der Berechnung der Lebenszykluskosten (LCC) außen vor.“¹⁹⁰

Außerdem wird das Modul D in Umweltproduktdeklarationen zurzeit selten ausgewiesen, da es an Datengrundlagen mangelt. Rosen (2021) hält dazu fest, dass es zukünftig förderlich für die Kreislaufwirtschaft wäre, wenn alle Module der Ökobilanz in einer Umweltproduktdeklaration verpflichtend deklariert werden müssten.¹⁹¹

¹⁸⁹ Vgl. Figl / Kusche, 2020, S. 27.

¹⁹⁰ Rosen, 2021, S. 86.

¹⁹¹ Rosen, 2021, S. 67.

2.5.6.6.3 Entsorgungsindikator E110 der IBO

Der Entsorgungsindikator bezeichnet eine vom IBO entwickelte semiquantitative Bewertungsmethode und setzt sich aus einer Einstufung der Entsorgungseigenschaften der Baustoffe und der daraus zusammengesetzten Baukonstruktionen zusammen. Dabei werden auch die Verbindungen der Baustoffschichten und Bauteilkonstruktionen untereinander berücksichtigt. Beurteilt werden einerseits der aktuelle Entsorgungsweg, der überwiegend beschriftet wird und andererseits das Verwertungspotenzial, das „bei Verbesserung der Rahmenbedingungen bis zum angenommenen Zeitpunkt der Entsorgung des Bauprodukts aus wirtschaftlicher und technischer Sicht möglich wäre“.¹⁹²

Er gibt den aktuell überwiegenden Entsorgungsweg in Form von Deponierung, thermischer oder stofflicher Verwertung (Recycling) an, wobei letzteres bevorzugt anzuwenden ist (siehe Abb. 2-40).

	1	2	3	4	5
RECYCLING	Wiederverwendung bzw. -verwertung zu technisch gleichwertigem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Recyclingmaterial wird mit geringem Aufwand sortenrein gewonnen und kann hochwertig verwertet werden.	Recyclingmaterial ist verunreinigt, kann mit höherem Aufwand rückgebaut und nach Aufbereitung verwertet werden	Downcycling	Kein Recycling möglich
VERBRENNUNG	Hoher Heizwert (> 2000 MJ / m ³); natürliche Metall- und Halogengehalte im ppm-Bereich, sortenreines Material	Wie 1, jedoch nicht sortenrein Anteil an nicht-organischen Fremdstoffen beträgt < 3 Massen-%	Wie 1 oder 2, jedoch mittlerer Heizwert (500 - 2000 MJ/m ³) oder geringfügige Metall- oder Halogengehalte (< 3 Massen-%)	Hoher Stickstoffgehalt, hoher Anteil mineralischer Bestandteile oder erhöhter Metall- oder Halogengehalt (3-10 Massen-%)	Hoher Metall- oder Halogengehalt
DEPONIERUNG	Zur Ablagerung auf Inertabfalldeponie geeignete Abfälle	Zur Ablagerung auf Baurestmassen geeignete Abfälle ohne Verunreinigungen	Materialien mit geringem Anteil nicht-mineralischer Bestandteile, z.B. mineralische Baurestmassen mit organischen Verunreinigungen durch Bitumen oder WDVS-Resten	Gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Materialien mit erhöhtem Anteil nicht-mineralischer Verunreinigungen.	Organisch-mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Abb. 2-40: Entsorgungswege mit jeweiliger 5-stufiger Klassifizierung (Bewertungsmatrix)

¹⁹² EI KON - Entsorgungsindikator für Bauteile, E110 - Entsorgungsindikator für Gebäude: Leitfaden zur Berechnung des Entsorgungsindikators EI Kon von Bauteilen und des Entsorgungsindikators E110 auf Gebäudeebene (für Neubauten, Sanierungen und Bestandsgebäude), Version 2.1, Wien: IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2020, www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/E110_Berechnungsleitfaden_V2.01_2020.pdf (abgerufen am: 16.05.2021), S. 3f.

Die Berechnung des Indikators erfolgt nach Volumen. Je nach Verwertungsweg wird die zu erwartende Abfallmenge reduziert oder erhöht (z.B. d. h. für einen Baustoff mit der Entsorgungseinstufung 3 wird das dreifache Abfallvolumen berechnet).

Demnach ergibt sich bei einem sehr guten Verwertungspotenzial der Stufe 1 eine Reduzierung der zu erwartenden Abfallmenge von 100% auf 25%, da angenommen wird, dass 75% recycelt werden kann. Dabei werden auch die Nutzungsdauern der in einem Bauteil eingesetzten Materialien berücksichtigt. So fallen bei einem notwendigen Austausch eines Bauteils zur Halbzeit des Betrachtungszeitraums die Ergebnisse doppelt an.¹⁹³

Die Berechnung des Entsorgungsindikators ist fixer Bestandteil ausgewählter Gebäudebewertungssysteme wie z.B. klimaaktiv Bauen und Sanieren oder Total Quality Building (TQB), des Gütesiegels der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.¹⁹⁴

Rosen betrachtet die Anwendbarkeit des Entsorgungsindikators EI10 als fragwürdig: „Im Grunde ist das Ergebnis ein bewertetes Volumen, aber was kann der Anwender mit dem bewerteten Volumen anfangen? In welche Beziehung kann er es setzen, außer auf der vorgenannten Skala einzuordnen? Das Ergebnis scheint insgesamt wenig aussagekräftig.“¹⁹⁵

¹⁹³ Rosen, 2021, S. 76f.

¹⁹⁴ EI KON - Entsorgungsindikator für Bauteile, EI10 - Entsorgungsindikator für Gebäude, 2020, S. 3.

¹⁹⁵ Rosen, 2021, S. 78.

2.5.6.6.4 Urban Mining Index

Der Urban Mining Index ist eine Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen in der Neubauplanung und wurde von Prof. Dr.-Ing. Anja Rosen an der Bergischen Universität Wuppertal im Zuge ihrer Dissertation entwickelt.

Dabei stellt der Urban Mining Index auf unterschiedlichen Ebenen der Gebäudestruktur Bewertungskategorien und Bemessungsgrundlagen vor (siehe Abb. 2-41).

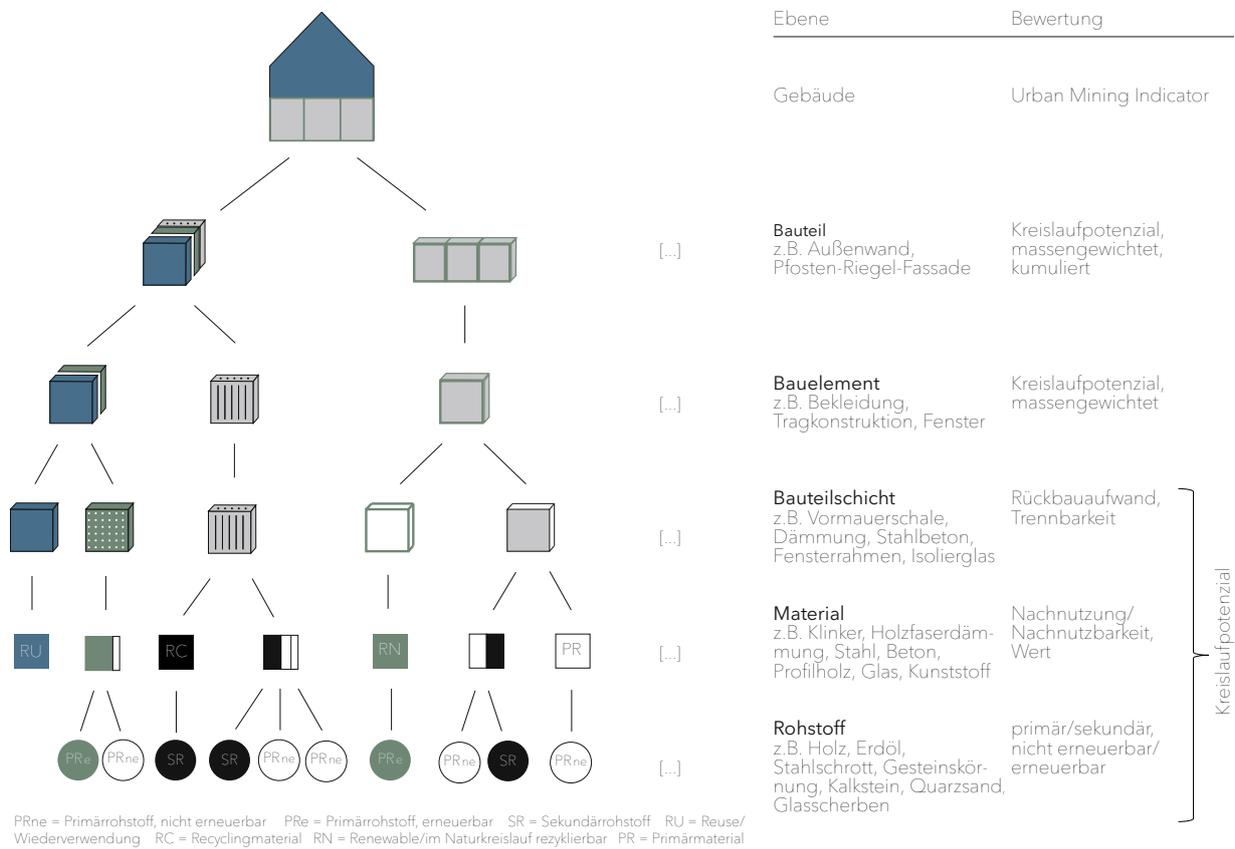


Abb. 2-41: Struktur eines Beispiel-Bauwerks in verschiedenen Ebenen als Grundlage zur Bewertung des Kreislaufpotenzials nach dem Urban-Mining-Index

Außerdem wurden Parameter definiert, die die Materialität und Konstruktion sowie die Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus abbilden. Für die Berechnung des Urban Mining Index werde auf Ebene der Materialität eine Reihe qualitativer und quantitativer Kenngrößen und Parameter herangezogen, u.a. der aktuelle Anteil an Recyclingmaterialien und/oder Neumaterial auf Basis nachwachsender Rohstoffe in einem Produkt oder Baustoff (Material Recycling Content), die Schadstofffreiheit oder die Qualitätsstufen der End-of-Life-Szenarien.¹⁹⁶

Auf Ebene der Konstruktion werden lösbare Verbindungstechniken und sortenreine Trennbarkeit als Voraussetzungen für eine hochwertige Rückgewinnung von Materialien sowie zerstörungsfreie Lösbarkeit als qualifizierendes Kriterium und die Sortenreinheit als Ausschlusskriterium genannt.¹⁹⁷

Auf wirtschaftlicher Ebene kann der Rückbauaufwand als Faktor Arbeit bemessen sowie Entsorgungskosten und Verwertungserlöse als Faktor Wert abgeschätzt werden.¹⁹⁸

Dabei stellt die Wirtschaftlichkeit laut Rosen (2021) eine wesentliche Voraussetzung für die Rückgewinnung sortenreiner Wertstoffe dar:

„Der Rückbau hat wesentlichen Einfluss auf die Sortenreinheit der zurückzugewinnenden Stoffe. Deshalb sollen unter anderem Rückbauverfahren und -techniken untersucht werden [...]. Bei der Auswahl der Verfahren spielt die Wirtschaftlichkeit des Rückbaus eine entscheidende Rolle. In einer Marktwirtschaft, in der Unternehmen zueinander im Wettbewerb stehen und in der das wirtschaftlichste Angebot in der Regel den Zuschlag erhält, ist die Wirtschaftlichkeit entscheidend für die Durchsetzung des selektiven Rückbaus.“¹⁹⁹

Ein Open-Source-Tool für die Berechnung des Urban Mining Index ist derzeit in Ausarbeitung und Testung und wird voraussichtlich 2022 lanciert.

¹⁹⁶ Vgl. Rosen, 2021, S. 90ff.

¹⁹⁷ Vgl. Rosen, 2021, S. 96f.

¹⁹⁸ Vgl. Rosen, 2021, S. 98ff.

¹⁹⁹ Rosen, 2021, S. 13.

2.5.6.7 Herstellerrücknahme & Leasing-Modell

„Ein System, in dem Produzenten verantwortlich für ihre Produkte bleiben, verbindet etwas, das im Sinne des Planeten verbunden gehört: die Macht zur Gestaltung des Produktes zum einen und die Verantwortung für das Material zum anderen.“²⁰⁰

Nicht nur aus Mangel an geeigneten Systemen zur Rückgewinnung gehen heutzutage viele Rohstoffe als Nährstoffe für Natur und Industrie verloren.²⁰¹

Sowohl Rau und Oberhuber (2019) als auch Braungart und McDonough (2016) sehen die vorherrschende Problematik stark in Verbindung mit den Produktdesigns, welche oftmals eine Wiederverwendung bzw. eine sortenreife Trennung schwer machen oder gar nicht ermöglichen.

Laut Thomas Rau und Sabine Oberhuber (2019) könnten Produkte wieder an Qualität gewinnen, wenn sie nur noch ausgeliehen und nicht erworben werden müssten. Denn, wenn die Produzenten die Hauptverantwortung über ihre Produkte behalten würden, wäre ein wesentlicher Impuls gegeben, diese Produkte auch qualitativ und langlebig zu gestalten. Damit spielen sie die zentralen Themen an, die ihrer Meinung nach, die Hauptprobleme der linearen Wirtschaft verursachen: die geplante Obsoleszenz, also der programmierte Verschleiß von Produkten, die daraus resultierende mangelnde Produktplanung über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts und darüber hinaus sowie die Übertragung der Verantwortungspflicht an den Käufer.²⁰²

Um Impulse für ein besseres Produktdesign zu geben und die Wirtschaftlichkeit kreislaufwirtschaftlicher Maßnahmen voranzutreiben, müssen also neue Geschäftsmodelle etabliert werden. Das so genannte ‚Leasing-Modell‘ ist bei Produkten des täglichen Bedarfs, z.B. in der Automobilbranche, bereits seit langem gang und gäbe. Aber auch in der Baubranche könnte sich dieses Modell als nützlich erweisen. So könnten Bauprodukte anstatt gekauft, lediglich angemietet werden, sodass sie nach der Nutzungsdauer erneut an den Hersteller bzw. Händler zurückgegeben werden könnten.

²⁰⁰ Rau / Oberhuber, 2019, S. 17.

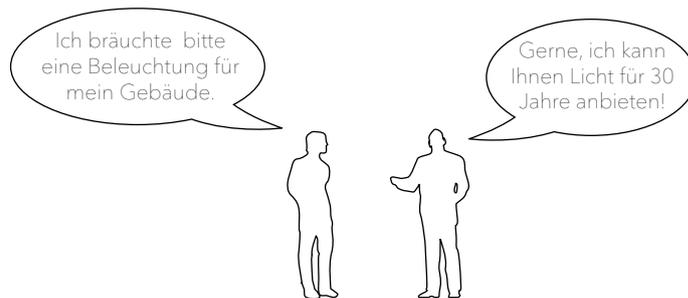
²⁰¹ Vgl. Braungart / McDonough, 2016, S. 130.

²⁰² Vgl. Rau / Oberhuber, 2019, S. 16ff.

Rau und Oberhuber gründeten ‚Turntoo‘, eines der ersten, auf die Kreislaufwirtschaft spezialisierten Unternehmen. Mit ihrem Turntoo-Modell präsentieren sie u.a. das ‚Product as a Service‘ Prinzip, also das Produkt als Dienstleistung. Dieses setzt voraus, dass nicht der Konsument die Verantwortung für ein Produkt mit dem Kauf übernimmt, sondern, dass der Hersteller stets Eigentümer bleibt. So sollen Produkte zukünftig eine Doppelrolle übernehmen: sie stellen eine verkäufliche Dienstleistung dar und sind gleichzeitig auch ein Materialdepot. Es liegt dann „im Interesse des Herstellers, so wenig wie möglich von den Materialien verloren gehen zu lassen, denn das käme einer Kapitalvernichtung gleich.“²⁰³

Weiters hätte das Leasing-Modell bzw. Product-as-Service-Modell monetäre Vorteile für den Hersteller: wenn er nämlich sein Produkt mehrmals vermieten kann, stellt das eine kontinuierliche Wertschöpfung dar. Selbstverständlich müssten dafür Prozesse verändert bzw. Rollen der einzelnen Beteiligten geändert werden sowie neue Teilnehmer entstehen. Außerdem wäre das Mieten eines Produkts bzw. der damit verbundenen Dienstleistung an Gebrauchsbedingungen geknüpft.²⁰⁴

Am Beispiel von Gebäuden könnte sich das Leasing-Modell vor allem bei Produkten mit kurzlebigen Nutzungszyklen rentieren, wie z.B. technischer Ausstattung oder Innenausbau. So könnten ausgediente Produkte, wie z.B. alte Leuchtkörper, erneut an den Hersteller zurückgegeben werden. Dieser könnte die alten Leuchtkörper entweder auf den neuesten Stand bringen und erneut veräußern bzw. die Materialien in den Produktionsprozess zurückführen. Insofern wäre treibender Anreiz für den Hersteller, dass er (oft wertvolles) Material zurückgewinnen und somit auf Erwerb und Einsatz von Primärmaterial verzichten könnte.



²⁰³ Rau / Oberhuber, 2019, S. 100, S. 107.

²⁰⁴ Rau / Oberhuber, 2019, S.170.

2.5.6.8 Checkliste der DGNB

Die Checkliste ‚Alles im Kreislauf‘ der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen bietet eine Übersicht über relevante Fragestellungen, welche Bauherren und Buherinnen sowie Planern und Planerinnen im Laufe des gesamten Planungsprozesses berücksichtigen sollten, um einen Rückbau und somit die Gewährleistung einer ressourcenschonenden Bautätigkeit zu ermöglichen. Dabei sollen die darin enthaltenen Tipps, zur Orientierung und als Impuls dienen. Dazu können die Fragestellungen in der Checkliste Schritt für Schritt durchgegangen und abgehakt werden. Somit dient die Checkliste als einfaches und impulsgebendes Tool über alle Planungsphasen eines Projektes. In der Entwurfs- und Ausführungsplanung werden Umsetzungsmöglichkeiten kreislaufgerechter Strategien auf Konstruktions- und Materialebene genannt.²⁰⁵

²⁰⁵ Vgl. Ruiz Durán, Christine / Christine Lemaitre / Anna Braune: Circular Economy: Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein, Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V., 2019, S. 42ff.

2.5.7 Fallbeispiele / Referenzprojekte / Best Practice Beispiele

Die in diesem Kapitel vorgestellten Best Practice Beispiele stellen Pilotprojekte des kreislaufgerechten Bauens dar, die wesentliche Prinzipien ressourceneffizienter Bauweisen verkörpern und diese als Leuchtturmprojekte nach außen tragen.

Die Analyse der Projekte soll dazu dienen, Erkenntnisse zu gewinnen und Methoden sowie Strategien für die eigene Entwurfsarbeit abzuleiten.

In der Aufzählung der Fallbeispiele wird eine Steigerung ‚vom Kleinen ins Große‘ vorgenommen, sowohl im Sinne des Maßstabs als auch der Praxisrelevanz und Skalierung. Dabei sind die gewählten Projekte beispielhaft für die Thematik aber auch den eigenen Entwurf, der in Kapitel 4 vorgesehlt wird.

Infozentrale auf dem Vollgut – Berlin



Abb. 2-42: Fertiggestellte Infozentrale am Vollgut

Die Infozentrale auf dem Vollgut-Areal in Berlin ist im Zuge eines Design-Build Projektes der TU-Berlin entstanden und soll über aktuell laufende Prozesse und Planungen auf dem Areal informieren sowie Akteure Akteurinnen und die Nachbarschaft vernetzen (siehe Abb. 2-42). Der Pavillon ist als zirkuläres Gebäude aus Abfallstoffen entstanden und versucht Lösungen für viele Zukunftsfragen des Bauens in urbanen Räumen zu liefern. Es entstand eine 22m² große Infozentrale, in der laufend Vernetzungstreffen und Infoabende rund um das Thema des zirkulären Bauens stattfinden.²⁰⁶

Das Projekt liefert ein gutes Beispiel, wie ‚mit dem, was die Stadt hergibt‘ gebaut werden kann. Teilweise musste der Entwurf sogar an das vorhandene Material angepasst werden, und umgekehrt das vorhandene Material zugeschnitten, gehobelt, gekürzt werden.

Die Fundamente entstanden teilweise aus Gehwegplatten die zementiert wurden. Beim Anrühren des Zements wurde lokaler Sand aus einer Baugrube des Nachbargrundstücks beigefügt. Der Trägerrost der Dachkonstruktion wurde zur Gänze aus Altholz hergestellt, das als Re-Use Material aus einem alten Dachstuhl eines Abrissgebäudes ausgebaut wurde (siehe Abb. 2-43). Dafür setzten sich die Studenten in Verbindung mit einem Abrissunternehmen, welches Ihnen beim Urban Mining Hilfe leistete.²⁰⁷



Abb. 2-43: Re-use des Holzes eines alten Dachstuhls

²⁰⁶ Vgl. Infozentrale auf dem Vollgut, o.D., www.infozentrale.berlin/infozentrale (abgerufen am 05.10.2021)

²⁰⁷ Vgl. Infozentrale auf dem Vollgut, o.D.

Der Fußboden wurde aus gebrauchten, 5cm starken Baubohlen hergestellt, die geschliffen und geölt wurden, um die Haltbarkeit zu erhöhen. Die Wände wurden vorgefertigt und vor Ort zugeschnitten. Sie bestehen aus einem System aus Obstkisten, die gestapelt und mit Papierschnipsel bzw. Zellulosedämmung gefüllt wurden (siehe Abb. 2-44). Die Bekleidung wurde aus upcycelten Pappkarton und Plakaten hergestellt. Der Kleber für die Tapezierung wurde selbst angerührt. Zutaten waren 6 Liter Wasser, 1 Kilogramm Mehl, 250 Gramm Zucker und ein Schuss Essig.²⁰⁸



Abb. 2-44: Herstellung der Wandmodule



Abb. 2-45: Materiallager nach der Fertigstellung, nicht benötigtes Material wurde verschenkt

Aus alten Fenstern wurden Gläser ausgebaut, zugeschnitten und schließlich mit Dichtungen aus alten Fahrradschläuchen versehen. Die Türen wurden als Sandwich-Konstruktion aus Seekiefer-Schichtholz mit einer inneren Rahmenkonstruktion aus Holzresten hergestellt.

Nach Fertigstellung des Pavillons wurde das übrig gebliebene Material verschenkt, also wieder in die ‚urbane Mine‘ eingespeist (siehe Abb. 2-45).²⁰⁹

²⁰⁸ Vgl. Infozentrale auf dem Vollgut, o.D.

²⁰⁹ Vgl. Infozentrale auf dem Vollgut, o.D.

The Circular Building - London



Abb. 2-46: The Circular Building in London

Das Circular Building (siehe Abb. 2-46) wurde im Rahmen des London Design Festivals im Jahr 2016 durch das Ingenieurbüro Arup entworfen und diente als Vorzeigeprojekt kreislaufgerechter Prinzipien. Ziel des Projektes war es, einen Prototyp eines funktionierenden Gebäudes zu schaffen, in dem das Potenzial aller eingebauten und genutzten Komponenten bestmöglich ausgeschöpft und für die Dauer ihres Lebenszyklus optimiert wurde. Dafür wurden Baustoffe aus der Bauindustrie verwendet, die anschließend nach Beendi-

gung des Festivals und Abbau größtenteils erneut den Herstellern überlassen wurden, damit diese die Verantwortung für deren Verwertung übernehmen konnten.²¹⁰

Ausgehend von einer umfangreichen Materialrecherche und Tests auf potenzielle Zirkularität erstellte das Projektteam eine Materialdatenbank mit dem Schwerpunkt auf Nachnutzung und End-of-Life Szenarien. Nach Untersuchung bestehender Fertigbautechniken und Open-Source-Details entwickelten sie eine vorgefertigte Konstruktionstechnik, die anstatt mechanischer Befestigungen verwendet werden konnte.



Abb. 2-47: Konstruktionsdetails

Es entstand ein abfallarmes, selbsttragendes und demontierbares Wandsystem aus Holzwerkstoffplatten mit einer Dämmung aus Polyurethan-Hartschaum, die aufgrund der Klemmverbindungen zwischen der Wand und den Stahlrahmenelementen eine leichte Trennbarkeit erlaubte (s. Abb. 2-47).²¹¹

²¹⁰ Vgl. The Circular Building, in: Archinect Firms, o.D., <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building> (abgerufen am: 01.10.2021).

²¹¹ Vgl. Pereira, Beverly: From 'take-make-waste' to sustainability!, Stand: 01.04.2017, globalhop.indiaartndesign.com/2017/04/from-take-make-waste-to-sustainability.html (abgerufen am: 04.08.2021).

Der Prototyp wurde unter Berücksichtigung des von Stewart Brands entwickelten Modells der 6 Schichten (siehe Kapitel 2.5.6.2, S. 85) entworfen (siehe Abb. 2-48):

Im Sinne des minimalen Eingriffs in den Bau- platz, wurde eine Konstruktion gewählt, die auf- geständert werden konnte. Somit war keine Ver- ankerung im Boden notwendig. Das tragende Gerüst ergab ein Stahlskelett aus Trägern und Stützen, die bei einem Hersteller im Lager übrig- geblieben sind. Die Konstruktion wurde an den Maßen der vorhandenen Elemente ausgerichtet. Für die Fassade wurde Accoya-Holz verwendet. Dabei handelt es sich um ein Weichholz, dessen Leistungsfähigkeit und Dauerhaftigkeit durch den Prozess der Acetylierung erhöht wird. Der Hersteller beschreibt den Prozess der Acetylierung folgendermaßen: „Eine weiche Holzart mit einem Essig zu behandeln, damit es zu einer harten Holzart umgewandelt wird, weil die Holzzellen nun kein Wasser mehr absorbieren können.“²¹²

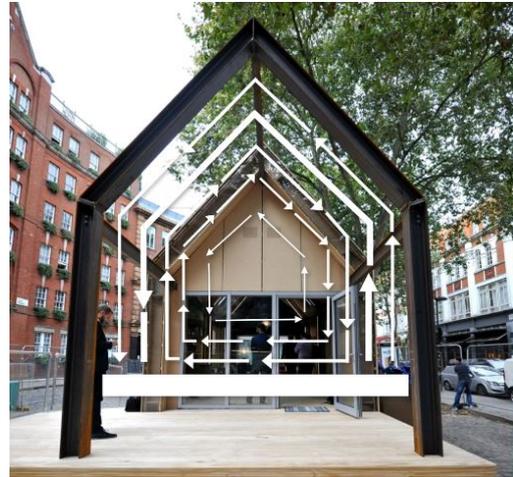


Abb. 2-48: Anwendung des Schichtenmodells von Stewart Brand am Circular Building

Unter Verwendung von recyceltem Plastik wurde ein mechanisches Lüftungsgerät 3D gedruckt. Dieses kann weiterentwickelt, auseinandergenommen und recycelt werden. Außerdem wurde eine Salzwasserbatterie installiert, die weder Schwermetalle noch giftige Chemikalien beinhaltet und Energie aus nachhaltiger Produktion einspeiste. Der Raumplan erlaubte eine flexible Gestaltung. Der Innenraum wurde zum Großteil mit Cradle2Cradle zertifizierten Produkten ausgestattet, die nahezu alle eine Hersteller- rücknahme anboten.²¹³

Der digitale Zwilling des Gebäudes ermöglichte eine Erstellung eines Materialpasses sowie eine Inventarisierung der Materialien mittels QR-Code, um die erneute Einfüh- rung in Lieferketten zu vereinfachen.²¹⁴

Der digitale Zwilling des Gebäudes ermöglichte eine Erstellung eines Materialpasses sowie eine Inventarisierung der Materialien mittels QR-Code, um die erneute Einfüh- rung in Lieferketten zu vereinfachen.²¹⁴

²¹² Keily, Laura: Acetylierung: Was ist das und was ist acetyliertes Holz?, Stand: 23.01.2019, www.accoya.com/de/acetylierung-was-ist-das-und-was-ist-acetyliertes-holz/ (abgerufen am: 10.09.2021).

²¹³ Vgl. Smith, Stuart: The Circular Building The most advanced reusable building yet, Stand: 16.11.2016, www.arup.com/perspectives/the-circular-building (abgerufen am: 29.08.2021).

²¹⁴ Smith, 2016.

UMAR-Unit – Dübendorf



Abb. 2-49: NEST Gebäude mit UMAR Unit auf 2. Geschöß

Das modulare Forschungs- und Innovationsgebäude NEST („Next Evolution in Sustainable Building Technologies“, zu Deutsch: Nächste Evolution in nachhaltigen Gebäudetechnologien) auf dem Campus der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) im schweizerischen Dübendorf bietet Platz um neue Technologien, Materialien und Systeme unter realen Bedingungen zu

testen, erforschen, weiterentwickeln und validieren (siehe Abb. 2-49).²¹⁵

Das NEST bietet Platz für unterschiedlich dimensionierte Module, darunter auch die sieben Module der UMAR-Unit, die „Urban Mining and Recycling Unit“, die von den deutschen Architekten Werner Sobek, Dirk E. Hebel und Felix Heisel geplant worden ist. Die nach Südwesten ausgerichtete Unit bietet auf 126m² einen Eingangsbereich, eine große Gemeinschaftsfläche, auf der sich Küche und Essbereich befinden, zwei Badezimmer und einen Technikraum. Zwei Studenten haben die Räumlichkeiten bezogen um die Unit über die nächsten Jahre zu testen. Die Unit ist Materiallabor und Materiallager zugleich. Alle Materialien, Bauteile und Fügeverfahren folgen den Prinzipien der Kreislauffähigkeit: es wurden Materialien biologischen Ursprungs, Recyclingmaterialien und Re-Use Bauteile größtenteils mithilfe lösbarer Fügeverfahren eingebaut.²¹⁶

Die Architekten Heisel und Hebel beschreiben den Entwurfsprozess und die Materialfindung durchaus als langwierig: „In der UMAR-Unit wurde auf alle Hybridmaterialien oder -produkte verzichtet. [...] Im Fall von UMAR mussten insofern jede Materialentscheidungen und jedes Detail auf die Prinzipien geprüft und oftmals neu konzipiert werden.“²¹⁷

²¹⁵ Vgl. Sigmund, Bettina: Wohnmodul aus Recycling-Material, in: DETAIL Research: Energie & Ressourcen, Stand: 25.04.2018, <https://www.detail.de/artikel/wohnmodul-aus-recycling-material-32134/> (abgerufen am: 12.10.2021).

²¹⁶ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 112.

²¹⁷ Heisel / Hebel, 2021, S. 116.

Die Unit wurde in Holzständerbauweise mit Steckverbindungen konstruiert (siehe Abb. 2-50) und mit unbehandelten Vollholzbrettern in Nut-und-Feder-System verkleidet. Aufgrund des zuvor beschriebenen Kriteriums zum Verzicht auf Hybridmaterialien wurde von Plattenwerkstoffen wie OSB oder Faserplatten, die normalerweise beim Holzständerbau zur Verwendung kommen, abgesehen. Die Dampfsperre aus sortenreinem Polyethylen an den Außenwänden wurde, nicht wie üblich mit einem Klebeband, sondern überlappend mittels Pressleisten fixiert.²¹⁸



Abb. 2-50: lösbare Steckverbindungen aus Holz

Der Schichtaufbau jeder der sehr unterschiedlich konstruierten Wandaufbauten wird in der Unit klar gezeigt, damit die Materialien sicht- und erlebbar für die Besucher sind. Ziel dabei ist es lt. Heisel und Hebel (2021): „innerhalb der Einheit eine Vielzahl von Materialien und Bautechniken darzustellen und dabei alternative technische Möglichkeiten und Materialien aus dem biologischen und technischen Kreislauf einem breiten Publikum vorzustellen.“²¹⁹



Abb. 2-51: Sammlung der in der UMAR-Unit verbauten Materialien

Eine Mustersammlung am Eingang der UMAR-Unit stellt alle im Bauwerk verbauten Materialien aus (siehe Abb. 2-51). Außerdem werden die entsprechenden technischen Datenblätter und Herstellerangaben präsentiert. Die Unit kombiniert zwei Konzepte, die sich an zwei Strategien der Ressourcenbeschaffung und

²¹⁸ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S.116.

²¹⁹ Heisel / Hebel, 2021, S. 112.

-nutzung orientieren: das Urban Mining und das kreislaufgerechte Bauen. Das erstere bezieht sich lt. Planer Heisel und Hebel (2021) auf: „eine möglichst optimierte Reaktivierung von in der städtischen Umgebung angesammelten Materialien [...], die nicht speziell für die Wiederverwendung oder -verwertung konzipiert wurden.“²²⁰

Das kreislaufgerechte Bauen wiederum umfasst „alle Materialien und Fügeverfahren, die explizit dafür konzipiert wurden, verlustfrei, hochwertig und sortenrein in technischen oder biologischen Kreisläufen zu verbleiben.“²²¹

Weiters wurden Re-Use Gegenstände in der Unit eingebaut, darunter Kupferelemente aus dem Rückbau eines Hoteldachs für die Fassade sowie zehn Türgriffe des Designers Jules Wabbes, die zuvor im Hauptsitz der Générale de Banque in Brüssel eingebaut waren. Diese Türgriffe wurden aus dem Inventar der Firma Rotor Deconstruction (Rotor DC) geliehen und sollen nach Ablauf ihrer vertraglichen Nutzungszeit zu Rotor DC zurück, damit sie woanders erneut zum Einsatz kommen können.²²²

Alle Module der Unit wurden in einem spezialisierten Werk vorgefertigt und voll ausgestattet (siehe Abb. 2-52). Die Vorfabrikation der Module und das Schienensystem an den Decken der NEST-Gebäudes erlaubten eine schnelle Montage: es dauerte nur einen Tag die gesamte Unit in die Rohbaukonstruktion einzubauen (siehe Abb. 2-53). Die einzelnen Module der Unit wurden anschließend lediglich über Steckverbindungen und Kuppelungsvorrichtungen konstruktiv und infrastrukturell miteinander verbunden.²²³



Abb. 2-52: Vorfertigung der Module in der Fabrik



Abb. 2-53: Montage der vorgefertigten Unit

²²⁰ Heisel / Hebel, 2021, S. 112.

²²¹ Heisel / Hebel, 2021, S. 112.

²²² Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S.117.

²²³ Vgl. Heisel / Hebel, 2021, S. 110ff.

The Cradle - Düsseldorf

Das Projekt ‚The Cradle‘ wurde von dem Planungsbüro HPP Architekten in Anlehnung an das Cradle-to-Cradle-Prinzip geplant und soll Ende 2022 fertiggestellt werden. Der Neubau ist in Elementbauweise als Holz-Beton-Konstruktion geplant und soll als Wiege für Innovationen



Abb. 2-54: Visualisierung The Cradle

neue Impulse für die Zukunft des Bauens setzen (siehe Abb. 2-54). Bauherr und zukünftiger Nutzer ist der Immobiliendienstleister INTERBODEN GmbH & Co. KG, der das Projekt als das erste Holzhybrid-Bürogebäude in Düsseldorf propagiert. Im Sinne des Kreislaufgedankens sollen entlang der Wertschöpfungskette zirkuläre Lösungen angestrebt und damit Werte erhalten, aber auch neu geschöpft werden. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ein Nachhaltigkeitskonzept entwickelt, das problemloses Recycling und die Weiternutzung der verbauten Materialien und Produkte am Ende der Gebäudenutzung ermöglicht.²²⁴

Bei der Projektplanung ist BIM auf C2C gestoßen: die integrale Planung erlaubte die Erstellung eines Materialkatalogs, in dem alle verwendeten Materialien eingetragen wurden. Der so entstandene ‚Material Passport‘ soll während der gesamten Gebäudebestandszeit „Informationen darüber geben, welche Materialien mit welcher Qualität zum Einsatz gekommen sind, was der Restwert des gesamten Gebäudes ist und in welcher Form zukünftig Baumaterialien recycelt oder Bauteile wiederverwendet werden können“.²²⁵

²²⁴ Vgl. Benkö, Linda: Der Name als Programm, in: ubm Magazin, o.D., www.ubm-development.com/magazin/the-cradle/ (abgerufen am: 22.10.2021).

²²⁵ Vgl. Bürogebäude The Cradle in Düsseldorf: Gesamtlebenszyklusbetrachtung und BIM erstmals vereint, in: Baunetz_Wissen, o. D., www.baunetzwissen.de/bim/objekte/buero-verwaltung/bueroegebaeude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135 (abgerufen am: 15.09.2021).

So haben alle Materialien und Bauteile individuelle Bauteilnummern, die im Material Passport verknüpft werden. Die Planer und Planerinnen haben dafür folgende Kategorien angelegt: Gesundheitsklasse, ökologische Auswirkungen, Rückbauoptionen, Recyclingfähigkeit und Separierbarkeit. So können Bauprodukthersteller*innen in einem frühen Stadium wertvolle Informationen zu weiterem Materialeinsatz erhalten oder bestimmte Bauteile nach der vertraglich festgelegten Nutzungszeit zurücknehmen und erneut einsetzen, demontieren oder sortenrein recyceln.²²⁶

Des Weiteren wurde im Zuge der Projektplanung eine Maßnahmenmatrix erstellt. Diese soll als Werkzeug dienen, um die Cradle to Cradle-Prinzipien abzubilden. Es wurde eine Einteilung in sieben Kategorien vorgenommen: Mensch & Gesellschaft, Materialqualität & -kreisläufe, Diversität, Wasser, Luftqualität, Erneuerbare Energien sowie Ökonomie & wirtschaftlicher Mehrwert.²²⁷

In der Kategorie Mensch & Gesellschaft wurden Kriterien wie die Verbesserung des Raumklimas durch den Einsatz filternder und schadstoffarmer Materialien sowie Sharing-Konzepte festgelegt. In der Kategorie Materialqualität & -kreisläufe hielt man Prinzipien wie Design für Demontage, modulare Bauweise, Steck- & Schraubverbindungen, Trennbarkeit, Favorisierung Cradle-to-Cradle-zertifizierter Produkte, Verortung der Materialien im Building Material Passport und die Registrierung auf der Madaster-Plattform. Im Sinne der Diversität soll die städtische Biodiversität durch z.B. ein Insektenhotel gefördert werden. Regenwasser- und Grauwassernutzung soll integriert werden sowie das Innenraumklima mit Hilfe von grünen Wänden und Lehmputz verbessert werden. Weiters sollen erneuerbare Energien eingesetzt und durch einen effizienten Gebäudebetrieb Mehrwert geschaffen werden.²²⁸

²²⁶ Vgl. The Cradle, in: HPP Architekten Rethinking Architecture, o. D., www.hpp.com/projekte/fallstudien/the-cradle/#!/cb426 (abgerufen am: 22.10.2021).

²²⁷ Vgl. The Cradle, o. D.

²²⁸ Vgl. The Cradle, o. D.

Neben dem Fokus auf die Materialien, wurden auch Aspekte wie Materialverbindungen oder Transportwege einbezogen, und somit eine ganzheitliche Betrachtung forciert. Die einzelnen Bauelemente werden reversibel und leimfrei, z.B. über Steckverbindungen (siehe Abb. 2-55), miteinander verbunden und einige Bauprodukte „geleast“, so dass diese nach einem Rückbau zurück an die Hersteller gegeben werden können. Weiters wird Recyclingbeton verwendet um Primärressourcen zu sparen.²²⁹



Abb. 2-55: Reversible Steckverbindung der Fassadenelemente

Die prominente, raufenförmige Holzfasade ist nicht nur Tragwerk sondern wurde auch, mit Hilfe von Sonnenstudien, präzise als Verschattungselement geplant (siehe Abb. 2-56). Die Fassadenelemente

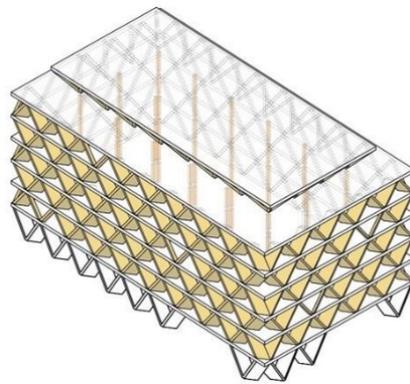


Abb. 2-56: Tragelemente an der Fassade, im EG aus Beton, in den OGs aus Holz

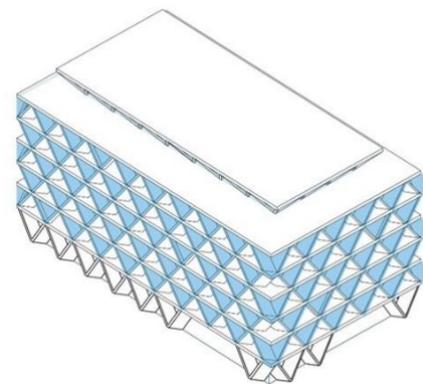


Abb. 2-57: Prallscheibe für Holzschutz (in blau dargestellt)

sind mittels Steckverbindungen statt Verbundwerkstoffen und Klebeverbindungen konstruiert. Nach den Regeln des konstruktiven Holzschutzes sind die gefährdeten Holzelemente durch Prallscheiben geschützt (siehe Abb. 2-57), im Erdgeschoß bestehen die Elemente aus Beton.²³⁰

²²⁹ Vgl. Benkö, o.D.

²³⁰ The Cradle, o.D.

<p>Projekt</p>		
	<p>Infozentrale auf dem Vollgut – Berlin, DE</p>	<p>The Circular Building – London, GB</p>
	<p>Der partizipative Ansatz und der edukative (universitäre) Hintergrund ist bei diesem Projekt vor allem als spannend einzustufen. Als Bottom-up Initiative trägt der Pavillon als Kommunikationsmedium die Thematik an ein breites Publikum nach außen. Das Projekt hatte keine besonderen Anforderungen an Brandschutz bzw. Bauphysik, eine Skalierbarkeit wurde nicht angestrebt. Vielmehr war das Ziel aufzuzeigen, was mit altem Material machbar ist.</p>	<p>Ähnlich wie bei dem Projekt der Infozentrale in Berlin, ist hier ein starker Vorzeigecharakter zu erkennen. Der Pavillon wurde während des London Design Festivals ausgestellt und sollte somit der breiten Öffentlichkeit zur Schau gestellt werden. Im Gegenteil zu dem Studentenprojekt jedoch, ist beim Circular Building eine Skalierbarkeit durchaus vorhanden (Fügetechniken, Details, Aufbauten).</p>
<p>Leitmotive</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Urban Mining & Re-Use • Vernetzung • Partizipation • unkonventionelle Lösungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotprojekt • erforschte Details & Fügetechniken • Herstellerrücknahme • Digitaler Zwilling (QR-Codes)

Projekt		
	<p>UMAR-Unit - Dübendorf, CH</p>	<p>The Cradle - Düsseldorf, DE</p>
	<p>Als Test- und Forschungsobjekt zeichnet sich dieses Projekt durch einen hohen Grad an experimentellem Charakter aus. Es wurden unterschiedlichste Materialien der unterschiedlichsten Herkunft verwendet, um zu zeigen ‚was mit kreislaufgerechtem Bauen alles möglich ist‘. Es handelt sich um eine Wohnunit, die skalierbare Aufbauten und Verbindungstechniken aufweist. Die Tatsache, dass die Unit bewohnt wird, verleiht dem Projekt noch mehr ‚Glaubwürdigkeit‘.</p>	<p>Das Projekt zeigt vorbildlich, wie Cradle2Cradle Prinzipien in den Entwurf eines großen Bauvorhabens integriert werden können. Dabei kann der integrale Planungsansatz als positiv eingestuft werden. Angesichts der Größe des Projektes wurden Cradle2Cradle Prinzipien grundlegend durchgedacht, was zur Erstellung eines Maßnahmenkatalogs über mehrere Kategorien geführt hat. Dieser hat u.a. auch soziale und ökonomische Aspekte miteinbezogen.</p>
Leitmotive	<ul style="list-style-type: none"> • Verzicht auf Hybridmaterialien • Einsatz von Re-Use & Recyclingmaterial • Einfache Montage & Demontage • ‚Product as a Service‘-Vertrag 	<ul style="list-style-type: none"> • skaliertes Projekt(städteb. Maßstab) • Leasingmodell • BIM meets Cradle2Cradle • Materialpass, Madaster • Erstellung einer Maßnahmenmatrix

2.6 Fazit Theorie

Findings & Lessons Learned

Die Kreislaufwirtschaft

Das Modell der Kreislaufwirtschaft wird als Lösungsansatz für viele, durch das Bauwesen verursachte Probleme angesehen. Durch eingehende Analyse und Einblick in die Thematik in **Kapitel 2.1** kann festgestellt werden, dass das Modell der Kreislaufwirtschaft und der damit verbundene Paradigmenwechsel durchaus nützliche Strategien hervorbringt und förderlich für einen Wandel im Bauwesen ist.

Das von der Natur abgeleitete Systemdenken in Kreisläufen lt. dem Cradle to Cradle Ansatz, bildet außerdem ein nachvollziehbares, harmonisches Narrativ und fördert eine gewissenhafte Auseinandersetzung mit v.a. tiefgreifenden Handlungen in unserer Gesellschaft. Die Verknüpfung unserer gebauten Umwelt an die natürliche Umwelt impliziert eine Symbiose und die Abkehr von heutzutage größtenteils fatalen Eingriffen in naturgegebene Prozesse.

Urbane Materialflüsse

Weiters kann festgestellt werden, dass sich die Überwachung dieser Prozesse mittels Materialflussanalysen auf urbaner Ebene als förderlich erweist, um zu eruieren, an welcher Stelle dagegen gelenkt werden kann und muss. Die Analyse der Materialflüsse in **Kapitel 2.2** hat bestätigt, dass vor allem das Bauwesen für enorme Mengen an In- & Outputs verantwortlich ist. Der Großteil der in Österreich aufkommenden Bau- und Abbruchabfälle wird verwertet. Angesichts des in der europäischen Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) festgelegten Recyclingziels für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle von 70% kann die Recyclingquote in Österreich mit 88% (2018) als positiv betrachtet werden. Dennoch erfolgt die Verwertung größtenteils nur symptomatisch, denn die aus dem Sekundärmaterial hergestellten Bauprodukte sind meist qualitativ minderwertig. Angesichts der Verknappung der Ressourcen sowie dem steigenden Abfallaufkommen, sind Optimierungen von Materialflüssen in Städten dringend notwendig.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Politik nimmt dabei eine entscheidende Rolle ein. Wie in **Kapitel 2.3** beschrieben, haben Strategien der Kreislaufwirtschaft auf politischer Ebene z.T. bereits Einzug gefunden. Die intensiven Bemühungen der EU den Klimaschutz anzukurbeln sind maßgebende Impulsgeber und haben dazu geführt, dass auch in Österreich Normen und Gesetze festgelegt wurden und werden, um die Ziele der EU zu erreichen. Maßnahmen wie z.B. die Verabschiedung der Recycling-Baustoffverordnung sind positive Beispiele dafür, wie Strategien der Kreislaufwirtschaft implementiert werden können, auch wenn diese einer Anlaufzeit bedürfen. Dabei ist das Zusammenspiel zwischen Politik und Wirtschaft ausschlaggebend, da nur so marktfähige Lösungen in einem sicheren regulativen Umfeld entwickelt werden können.

Nachhaltige Stadtverdichtung & Urban Mining

Auf Ebene der Stadtplanung sind, wie in **Kapitel 2.4** erläutert, bereits seit einigen Jahren Prozesse etabliert, um eine nachhaltige Verdichtung in Wien anzutreiben. Mit dem Projekt DoTank Circular City 2030 Wien werden nun auch sukzessive Strategien der Kreislaufwirtschaft im Bauwesen umgesetzt, was als durchaus positiv zu betrachten ist. Dabei erweist es sich für die Stadt Wien als äußerst wichtig, die Rolle des Kommunikators und Mediators einzunehmen, sowie mit positiven Beispielen eine Vorreiterrolle einzunehmen. Um dies in der Öffentlichkeit zu verankern, möchte die Stadt Wien ein mobiles Kommunikationsmittel als realen Materialspeicher in der Stadt aufstellen. Die Zusammenarbeit mit der Stadt Wien zum Zwecke des Entwurfs des DoTanks wird in Kapitel 4 vorgestellt.

Des Weiteren kann festgestellt werden, dass das Urban Mining, trotz der damit verbundenen Hindernisse, einen Beitrag zur Schließung von Kreisläufen im Bauwesen leisten kann. Dennoch wird davon ausgegangen, dass Urban Mining alleine zukünftig nicht ausreichen wird. Vielmehr handelt es sich dabei um eine Stellschraube zur Symptombekämpfung. Es ist also unerlässlich, die Stadt von einer Urbanen Mine in ein Materiallager umzuwandeln, in dem Ressourcen in Kreisläufen zirkulieren und nicht anonym sind. Das Urban Mining kann komplementär zur Etablierung eines kreislaufgerechten Bauens erfolgen.

Kreislaufgerechtes Bauen

Die schließlich in **Kapitel 2.5** vorgestellten Strategien und Methoden des kreislaufgerechten Bauens zeigen auf, wie zukünftig gebaut werden sollte, um die Ressourcenschonung und nachhaltige Ressourcennutzung zu gewährleisten. Dabei kann festgestellt werden, dass beim kreislaufgerechten Bauen nicht wieder von null angefangen werden muss, sondern bestehende Praktiken grundlegend überdacht werden sollten. Mittels Untersuchung einschlägiger Literatur konnten kreislaufgerechte Konstruktionsmethoden und Baumaterialien identifiziert sowie hilfreiche Tools ermittelt werden.

Weiters hat sich herausgestellt, dass die Forcierung der Glaubwürdigkeit einer Kreislaufwirtschaft in der Bauwirtschaft hohe Priorität hat. Vor allem in der Anfangsphase der Implementierung bzw. der Anpassung von linearen Prozessen ist es immens wichtig, Überzeugungsarbeit zu leisten und auf unterschiedlichen Ebenen aufzuzeigen, dass eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen tatsächlich funktionieren kann, anstatt sie zu belächeln. Die zum Schluss gezeigten Best-Practice-Projekte verkörpern ebendiese Aufgabe und können als Leuchtturmprojekte enormes Know-How weitergeben.

Abschließend ist zu erwähnen, dass die Etablierung eines kreislaufgerechten Bauens in der Planung einer eingehenden Auseinandersetzung mit Parametern, wie der Materialität und Konstruktion und einer intensiven Planung des Gebäudes über dessen gesamten Lebenszyklus, inklusive der End-of-Life-Phase, bedarf.

Es konnten zahlreiche Strategien, Kriterien, Maßnahmen und Tools aus der Literatur ermittelt werden. Einen äußerst spannenden Ansatz zur Bewertung der Kreislaufpotenziale bietet der vorgestellte Urban Mining Index (UMI). Dieser scheint alle relevanten Parameter zur Berechnung der Kreislaufkonsistenz von Neubauten zu bieten und könnte sich in Zukunft als nützliches Tool erweisen. Zurzeit wird der UMI jedoch noch überarbeitet, bis er als Open-Source zur Verfügung steht. Es bleibt also abzuwarten.

Die in Unterkapitel 2.5.6.6 vorgestellten Bewertungssysteme signalisieren zwar, welche Kriterien erfüllt werden müssen und wie die Kreislauffähigkeit gemessen werden kann, es mangelt jedoch an konkreten Maßnahmentools, an denen sich Planer und Planerinnen in der frühen Entwurfsphase bedienen können. Aufbauend auf ebendiesen Erkenntnissen wird daher ein Toolkit entwickelt, das in Kapitel 3 ausführlich vorgestellt wird. Dieses soll als Planungshilfe beim Entwerfen kreislaufgerechter Bauprojekte dienen.

3 Das Toolkit

- | | |
|------------------------------------|------------|
| 1. Einleitung | S. 121-124 |
| 2. Materielle Handlungsparameter | S. 125-134 |
| 3. Konstruktive Handlungsparameter | S. 135-144 |
| 4. Gegenüberstellung Gewichtung | S. 145-146 |
| 5. Entscheidungsmatrix | S. 147-148 |

3.1 Einleitung: Handlungsparameter für kreislaufgerechte Planung

Auf Basis des theoretischen Rahmens werden Kriterien bzw. Parameter für eine ressourcengerechte Planung ausgearbeitet und näher beleuchtet. Da bereits in einem sehr frühen Stadium eines Projektes darüber entschieden werden kann, welche Auswirkungen ein Gebäude über den gesamten Lebenszyklus hat, sollten Entscheidungen in der Planung ressourcenschonenden Strategien folgen.

Das ausgearbeitete Toolkit soll bei der Lösung der in den vergangenen Kapiteln aufgezeigten Problematiken, die sich aufgrund mangelnder Ressourcenschonung und nicht kreislaufgerechter Designstrategien durch das Bauwesen im urbanen Gebiet ergeben, als Hilfestellung dienen und folgende Strategien unterstützen:

- Reduzierung des Abfalls & der Emissionen
- Erhaltung & Förderung der Biodiversität
- Erhaltung von (Material-) Ressourcen & Führung im Kreislauf
- Verzicht auf Schadstoffe
- Vermeidung von Anonymität (Etablierung eines Materialkatasters)
- Etablierung einer kreislaufgerechten, urbanen Nachverdichtung

Da sowohl die Wahl der Materialien als auch die Wahl der konstruktiven Verbindungen und Fügungen ausschlaggebend für eine Ermöglichung der Kreislaufführung sind, werden diese Indikatoren näher beleuchtet und daraus ein Toolkit mit Handlungsparametern entwickelt. Außerdem sind die **Ebenen der Materialität und Konstruktion** grundsätzlich für jeden ‚Use-Case‘ anwendbar, unabhängig davon, welche Bauweise gewählt wird. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass Strategien auf diesen, untersten Ebenen, am effektivsten greifen, um gezielt Ressourcen zu schonen und Kreislaufführung zu ermöglichen (siehe Abb. 3-1).

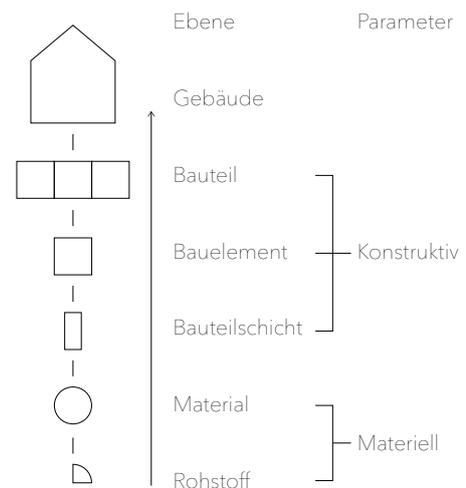


Abb. 3-1: Betrachtete Ebenen der Gebäudestruktur in Zusammenhang mit den Ebenen der Parameter (schematische Darstellung ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Die im Toolkit vorgestellten Handlungsparameter sind als **Ergänzung** zu bereits gängigen Praktiken in der Entwurfsplanung, wie z.B. Wahl nach Eignung für den vorgesehenen Zweck bzw. bautechnischen oder bauphysikalischen Qualitäten, zu verstehen. Die Handlungsparameter sollen also als **Unterstützung** dienen und einen ‚Bewegungsraum‘ schaffen, in dem kreislaufgerechte Maßnahmen gesetzt werden. Der Handlungsspielraum soll dabei keineswegs eingeschränkt werden, sondern lediglich Anreize für eine ressourcengerechte Planung geboten werden, die kreislauffähige Nachverdichtungen ermöglichen. Wichtig anzumerken ist, dass die ausgearbeiteten Strategien, den drei **Dimensionen der Nachhaltigkeit**, also ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielen, zugrunde liegen.

Wichtig ist auch anzumerken, dass sich die Parameter untereinander **ergänzen** können bzw. eine **hierarchische Einordnung** erfolgen kann. So hat beispielweise ein Material wie die Steinplatte Eigenschaften, die ‚Wertbeständigkeit‘ und ‚Langlebigkeit‘ verkörpern. Somit eignet sie sich, selbstverständlich je nach tatsächlichem Zustand, generell gut für Re-Use. Trotzdem handelt es sich um eine endliche, geogene Ressource. In diesem Sinne könnte bei Neumaterial der Parameter ‚nachhaltige Gewinnung‘ der ‚Wertbeständigkeit‘ vorgezogen, und ein nachwachsendes Material aus zertifiziertem Anbau gewählt werden.

Zudem können auch **Zielkonflikte** zwischen den einzelnen Handlungsparametern auftreten. Beispielsweise kann der Wunsch nach hoher ‚Flexibilität‘ eine ‚monolithische Bauweise bzw. Bauteilzusammensetzung‘ ausschließen. Denn bei der einstofflichen bzw. monolithischen Bauweise kommen meist vollflächige, opake, tragende Elemente zum Einsatz, die nachträgliche Veränderungen im Sinne der Flexibilität, beispielweise Öffnungen, erschweren.

Die Handlungsparameter sind somit als **Stellschrauben** im übergeordneten System zu interpretieren und stehen eng in Zusammenhang. Besondere Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern werden im Lauftext näher erläutert und sind farblich hervorgehoben sowie mit einem kleinen Icon des jeweiligen Parameters versehen (Bsp.: ).

Abbildung 3-3 stellt das Toolkit mit den materiellen und konstruktiven Handlungsparametern vor. Anschließend werden die Parameter einzeln detailliert vorgestellt. Die materiellen Handlungsparameter geben einen Überblick über die Entscheidungen bei der Wahl der Materialien als Baustoffe. **Das Toolkit betrachtet nur Eigenschaften von Materialien, die in Zusammenhang mit der Kreislauffähigkeit stehen.** Auf spezifische Eigenschaften wie z.B. die graue Energie wird nicht eingegangen. Für diese Parameter gibt es ferner bereits etablierte Vergleichstools wie z.B. Ökobilanzierungen (siehe Kapitel 2.5.6.6.2). Ebenso verhält es sich im Falle der konstruktiven Handlungsparameter. Sie können ergänzend zu Kriterien, wie zum Beispiel statischen Erfordernissen, beachtet werden und erhöhen die Chance auf Re-Use oder Recycling der Baumaterialien bzw. des gesamten Gebäudes am Ende seines Lebenszyklus.

Für die ‚Closed-Loop‘ End of Life Szenarien Re-Use und Recycling (siehe Kapitel 2.5.6), haben die angeführten Handlungsparameter unterschiedliche Relevanz. Diese Interdependenz wird für jeden Parameter über eine Skala angezeigt. Diese erläutert, wie sich die zuvor beschriebenen Parameter auf Nachnutzungsszenarien auswirken bzw. diese beeinflussen können. Im Umkehrschluss kann die Auswahl nach einem bestimmten Handlungsparameter auch ein gewisses Szenario begünstigen (z.B.: es wird ein Bauteil mit hoher Langlebigkeit und Wertbeständigkeit gewählt → Re-Use wird begünstigt). Die Interdependenzen werden in den einzelnen Parametern schriftlich genauer begründet und in Unterkapitel 3.4 gegenübergestellt. **Zentrale Bestrebung dabei ist zu eruieren, welche Parameter welche Rolle für das jeweilige Szenario spielen.** Die Gewichtung beruht dabei auf Basis eigener Schlussfolgerungen, kann je nach Parameter 100%, 75%, 50%, 25% oder 0% betragen und wird wie folgt dargestellt:

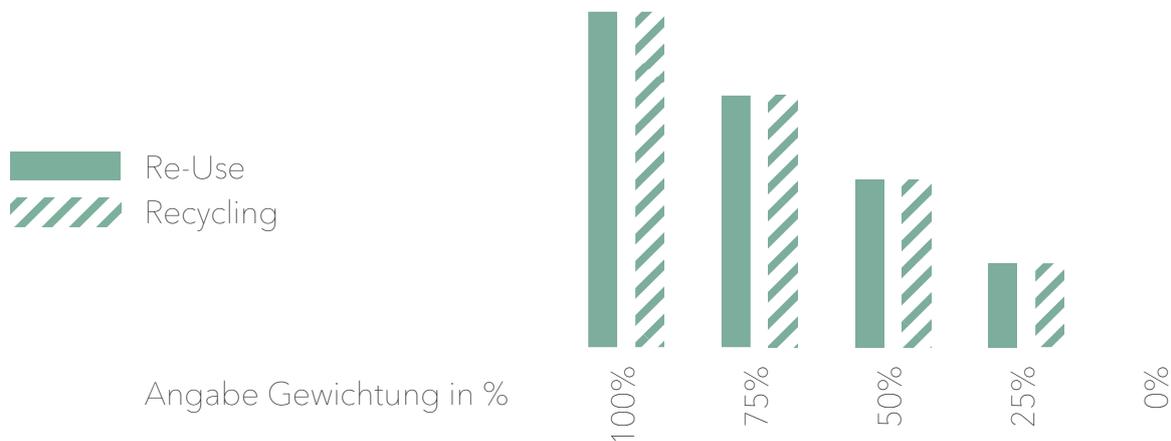


Abb. 3-2: Gewichtung Auswirkung des jeweiligen Parameters auf Nachnutzungsszenario

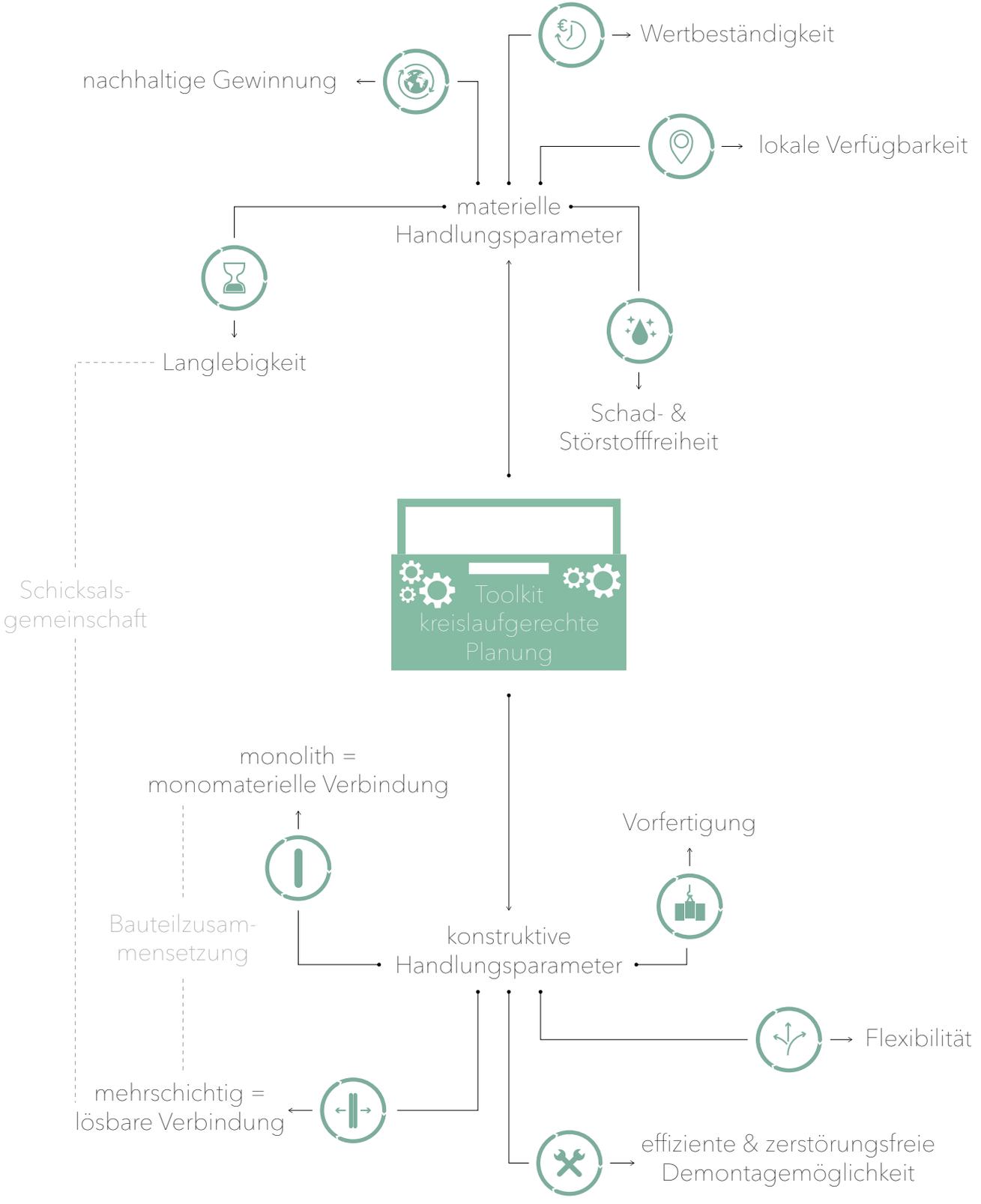


Abb. 3-3: Parameter für kreislaufgerechte Planung

3.2 Materielle Handlungsparameter



3.2.1 Schad- und Störstofffreiheit

Baustoffe sollten vorzugsweise in ihrer reinen Form, also ohne zusätzliche Modifizierung, verwendet werden, da dadurch einerseits die Rückführung in den geeigneten Kreislauf ermöglicht und andererseits zusätzlicher Input in Form von Energie für den Prozess zur Optimierung vermieden wird. Insbesondere bei Abbruch eines Gebäudes kann das Vorhandensein von verunreinigten Materialien für den selektiven Rückbau zu Problematiken führen.

Je weniger Schad- und Störstoffe sich in einem Gebäude befinden, desto eher kann eine sorgfältige Trennung der unterschiedlichen Baustofffraktionen erfolgen, was wiederum eine Kreislaufführung im Sinne der Ressourcenschonung begünstigt. Um also ein Re-Use oder Recycling zu ermöglichen, sollte auf Materialkomposite mit nicht trennbaren Inhaltsstoffen vermieden werden. Eine Materialoptimierung, mit dem Ziel die **Langlebigkeit**  zu erhöhen oder Materialeigenschaften zu verbessern, sollte stets gewissenhaft erfolgen und weder Material noch Umwelt belasten.

Für das **Recycling** ist die Schad- und Störstofffreiheit von großer Bedeutung, da Störstoffe, wie Zusätze (zum Beispiel brand- und verrottungshemmende Mittel), ein Recycling behindern oder gar ausschließen können. Auch Beschichtungen oder Überzüge können sich als problematisch erweisen, z.B. wenn diese nicht derselben Stoffgruppe wie das Hauptmaterial angehören (zum Beispiel Kunststofflacke auf Hölzern). Da (ungewollte) Anhaftungen (zum Beispiel bei Verklebungen von Schichten verschiedener Stoffgruppen) die Materialreinheit des Hauptstoffes beeinträchtigen können, ist ein mehrschichtiger Aufbau mit **lösbaren Verbindungen**  eine gute konstruktive Lösung.

Auch für ein **Re-Use** Szenario ist die Schad- und Störstofffreiheit gewichtig. Die Produktgestalt bleibt bei diesem Szenario zwar erhalten - es erfolgt somit keine Auflösung in Bestandteile wie beim Recycling - jedoch kann das Vorhandensein von v.a. giftigen Inhaltsstoffen das (vorzeitige) Lebensende eines Produkts einleiten.



ÖNORM B 3151:2014:

„Schadstoff: Stoff, der entweder selbst oder im Zusammenwirken mit anderen Stoffen oder durch seine Abbauprodukte oder Emissionen Mensch oder Umwelt schädigen oder beeinträchtigen oder zu einer Wertminderung bzw. Nutzungseinschränkung von Bauwerken führen kann.
Störstoff: Material, das die vorgesehene Behandlung oder einen Behandlungsschritt verhindert oder erschwert“²³¹

Ein gängiges Beispiel von schadstoffbelastenden Materialien stellen Holzbeschichtungen dar. Holzschutzmittel beinhalten meist Lösungsmittel auf Basis halogenorganischer Verbindungen bzw. andere gefährliche Zusatzstoffe, welche die Raumluft belasten und somit gesundheitsschädlich sein können. Lt. RHV (Recyclingholzverordnung) muss Altholz mit halogenorganischer Beschichtung, vorerst abgeschliffen werden, um einem Recycling zugeführt zu werden. Dies ist mit hohem Aufwand verbunden und kann gesundheitsschädlich sein.



Eine haltbarkeitsverlängernde bzw. brandschützende Behandlung des Holzes zum Schutz vor Verwitterung ist oft unvermeidbar. Es ist in jedem Fall darauf zu achten, dass der für die Optimierung verwendete oder beigemengte Stoff das Endprodukt nicht mit Schad- bzw. Störstoffen belastet. Wasserbasierte Lasuren sind meistens besser als lösemittelbasierte Lasuren. Dennoch sind bauliche Holzschutzmaßnahmen, zum Beispiel ein Dachüberstand, jedenfalls dem chemischen Holzschutz und dem Einsatz von Holzschutzmitteln vorzuziehen.



²³¹ ÖNORM B 3151:2014, S. 5.



3.2.2 Lokale Verfügbarkeit

Ressourcen sollten möglichst lokal genutzt werden, um Emissionen des Transports zu vermeiden und dadurch die graue Energie zu reduzieren. Vor allem die Importabhängigkeit und globale Preissteigerungen können sich als problematisch erweisen. Eine autarke Versorgung ist somit generell vorzuziehen. Die Nutzung lokaler Ressourcen kann außerdem die nationale Wirtschaft stärken und einer Dezentralisierung entgegenwirken. Auch die Stärkung der städtischen Industrie, vor allem des produzierenden Sektors könnte dadurch gefördert werden.

Das Konzept der produktiven und autarken Stadt stellt einen wesentlichen Pfeiler einer nachhaltigen Stadtentwicklung dar. Außerdem kann der Einsatz lokaler Ressourcen die Schaffung eines Regionalitätsbezugs begünstigen.

Die lokale Verfügbarkeit steht in starkem Zusammenhang mit der **nachhaltigen Gewinnung** . Obwohl bei der Rohstoffwahl vorrangig lokale Ressourcen zu bevorzugen sind, sollten die Lager nicht überstrapaziert werden.

Auf langfristige Sicht ist die Wahl lokal verfügbarer Rohstoffe unerlässlich und erweist sich sowohl für **Re-Use** als auch **Recycling** als gleichermaßen wichtig. Für importierte Rohstoffe besteht häufig ein Mangel an geeigneten Rücknahmesystemen und etablierten Techniken, die ein Recycling ermöglichen. Außerdem kann bei der Nutzung lokaler Ressourcen davon ausgegangen werden, dass etwaige Zusatzstoffe, die für den Recyclingprozess benötigt werden, leichter und schneller bereitgestellt werden können, als dies bei einem Importprodukt der Fall wäre.

Die Nutzung lokaler Materialien für den Re-Use geht meist mit einer gesellschaftlichen Akzeptanz, also einem hohen ideellen Wert im Sinne der **Wertbeständigkeit**  einher. Jedoch kann bei Importmaterialien ausgerechnet die ‚Rarität‘ bzw. das Unbekannte einen Willen zur Erhaltung erwecken. Im Sinne des Re-Use kann die Ressourcenschöpfung, also die Wiedergewinnung von Baumaterialien und Wertstoffen aus der gebauten Stadt heraus, allgemein als **Urban Mining** bezeichnet, neue Wege eröffnen und die ‚lokale Verfügbarkeit‘ somit neu interpretieren.



Schneider et al. (2011):
„Hochwertige regionale Baustoffe mit geringem Transportaufwand sind zu bevorzugen, aber auch bei der Verwertung ist darauf zu achten, regionalen Unternehmen den Vorzug zu geben. Die Transportwege für Materiallieferungen zur Baustelle bzw. für den Abtransport von Abfall müssen durch sorgfältige Planung auf das erforderliche Minimum reduziert werden.“²³²

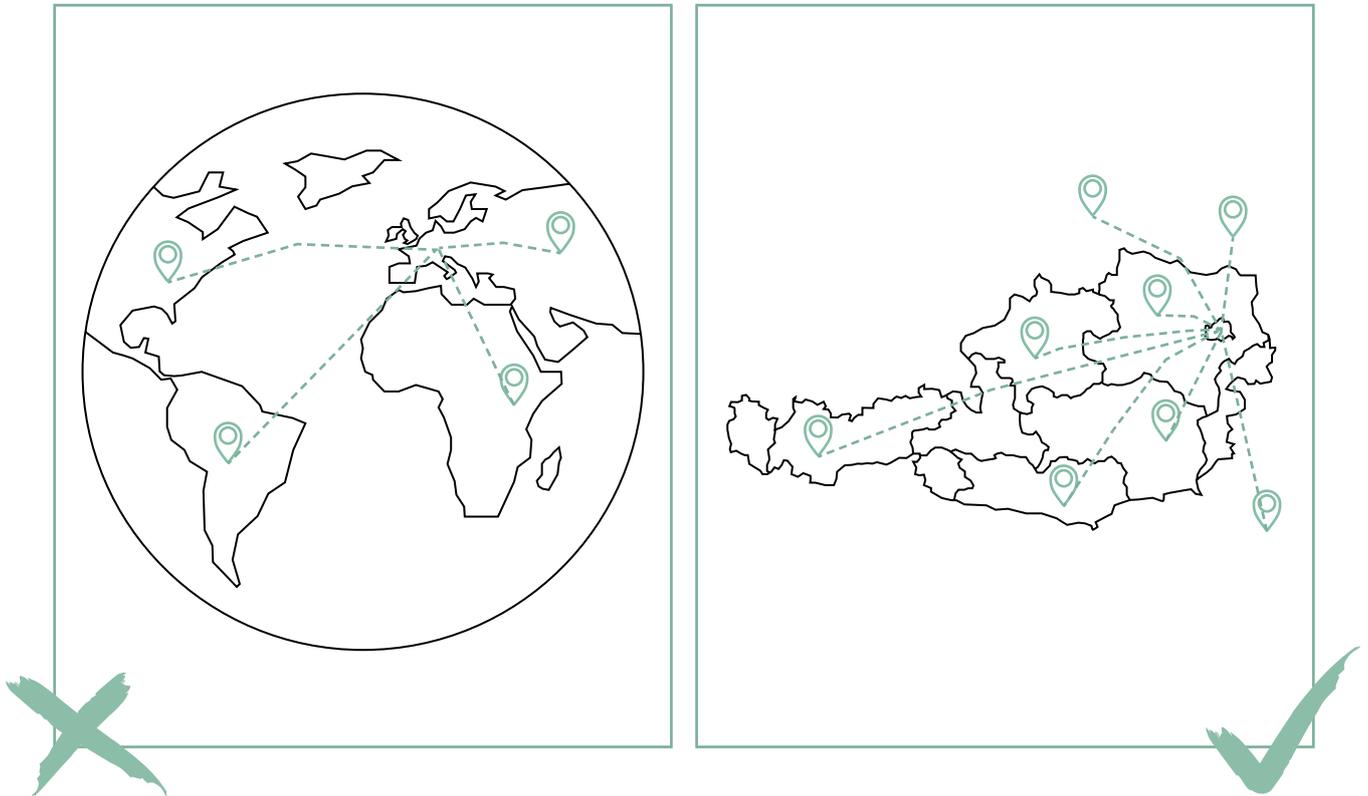


Abb. 3-4: links: Negativbeispiel internationaler Import von Ressourcen; rechts: Nutzung lokaler Ressourcen

²³² Schneider et al., 2011, S. 182.



3.2.3 Nachhaltige Gewinnung

In Anbetracht der immer knapper werdenden, endlichen Rohstoffe und der mit deren Gewinnung und Verarbeitung verbundenen negativen Umwelteinflüsse, ist die Aktivierung der urbanen Mine unumgänglich. Aber auch wenn wir Baumaterialien aus dem anthropogenen Lager nutzen, ist das lange nicht genug. Um den Bedarf an Baumaterialien zukünftig umweltverträglich bereitstellen zu können, sind kultivierte Baumaterialien von zentraler Bedeutung.

Eine nachhaltige Gewinnung ist dabei ausschlaggebend, denn der biologische Kreislauf ist in sich nur dann geschlossen, wenn die aus der Natur ‚geliehenen‘ Rohstoffe nach der Nutzung wieder **schadstofffrei**  an diese zurückgegeben werden, um verrotten zu können, und erneut aus nachhaltiger Bewirtschaftung nachkommen können. Die Kultivierung dieser so genannten NAWAROs für Baustoffe darf die Biodiversität und das Ökosystem nicht beeinträchtigen.

Es muss also kontrolliert geerntet werden, damit der Rohstoff die benötigte Zeit bekommt, sich wieder zu regenerieren und nachzuwachsen.

Wenn davon ausgegangen wird, dass der Kreislauf des **Recyclings** kurzlebiger ist, und dass, biotische Rohstoffe bestenfalls eine Kaskadennutzung durchlaufen, dann besteht schlussfolgernd v.a. im biotischen Kreislauf ein Bedarf an regelmäßigem Nachschub. Dieser sollte allemal aus nachhaltiger Gewinnung hervorgehen. Insbesondere bei nicht nachhaltig kultivierten biotischen Materialien, also bei einem nicht geschlossenen biologischen Kreislauf, sollte immerhin eine Nachnutzung angestrebt werden.

Baustoffe für **Re-Use** bestehen v.a. mit ihrer **Langlebigkeit** . Es kann davon ausgegangen werden, dass die lange Beständigkeit im Kreislauf dieser Materialien, die Auswirkungen für deren Gewinnung relativiert. Insofern ist eine nachhaltige Gewinnung nicht zwingend. Dies gilt v.a. für Materialien im technischen Kreislauf aus der urbanen Mine, die dank sorgfältiger Planung sowie **effizienter und zerstörungsfreier Demontage** , mehrere Lebenszyklen durchlaufen können und den Kreislauf nicht als Abfall verlassen müssen.



Eisenmenger et al. (2011):
„Unsere Erde ist begrenzt, also auch die natürlichen Ressourcen, und die Ökosysteme sind nicht unendlich belastbar. Eine nachhaltige Nutzung sollte daher das natürliche System nicht überbeanspruchen.“²³³

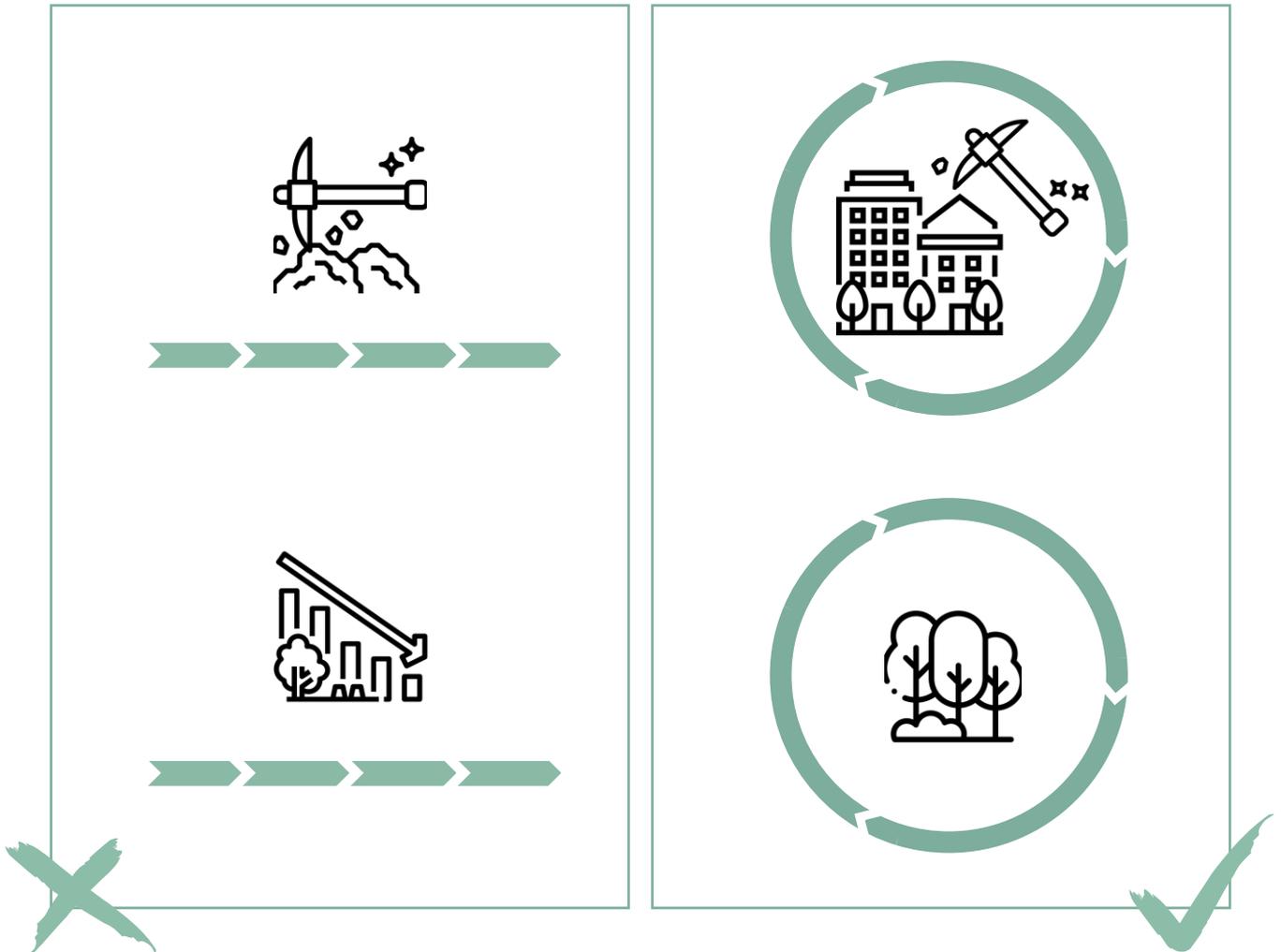


Abb. 3-5: links: Ressourcenraub durch Abbau; rechts: optimale Ressourcennutzung im Kreislauf

²³³ Eisenmenger, Nina / Anke Schaffartzik / Fridolin Krausmann / Eva Milota: Ressourcennutzung in Österreich: Bericht des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), Wien, 2011, S.14.



3.2.4 Wertbeständigkeit

Nach C2C Prinzip gelten Gebäude als enorme Materialdatenbanken, die zahlreiche Rohstoffe lagern. Viele dieser Rohstoffe haben, auch nach Nutzungsende des Gebäudes, noch einen signifikanten Wert. Heutzutage wird der Restwert eines Gebäudes vorwiegend negativ bilanziert. Nach ihrer Abschreibung werden Gebäude üblicherweise kostenintensiv abgebrochen, ohne Gebrauch von den darin verbauten Materialien zu machen und daraus Wert zu schöpfen. Vielmehr sollte das Ziel sein, die Wertbeständigkeit der Materialien in Gebäuden zu erhalten, indem sie so verbaut werden, dass sie durch eine **effiziente und zerstörungsfreie Demontage**  wieder entnommen und erneut genutzt werden können.

Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, Produkte auf möglichst hohem Niveau möglichst lange zu nutzen. Dies impliziert auch die Notwendigkeit einer Werterhaltung dieser Produkte. Was mit seinem Gebäude am Ende der Nutzungsphase passiert, obliegt dem Immobilienbesitzer. Wenn die im Gebäude enthaltenen Materialien einen hohen Wertbestand haben, steigt das Interesse, daraus Wert zu schöpfen.

Für ein **Recycling** ist die Wertbeständigkeit nur partiell von Bedeutung. Wichtig ist dennoch, die Wertigkeit der Materialien zu schätzen und im Sinne der Erhaltung im Kreislauf eine Verwertung anzustreben. Im Sinne der Werterhaltung bietet sich also an, Materialien zu wählen, für die etablierte Verwertungssysteme bestehen, um daraus Wert schöpfen zu können.

Die Wertbeständigkeit stellt neben der **Langlebigkeit**  die wichtigste Voraussetzung für ein **Re-Use** Szenario dar. Re-Use Baustoffe zeichnen sich über eine hohe Beständigkeit aus, die meist weit über die Nutzungsdauer des Gebäudes hinaus geht. Der Einsatz von beständigem Material oder eine hochwertige handwerkliche Bearbeitung eines Materials vergrößert die Chancen auf Wiederverwendung - es handelt sich um ein Material mit hohem materiellem Wert. Aber auch der ideelle Wert eines Materials kann Einfluss auf die Wertbeständigkeit haben. Des Weiteren kann eine Wertbeständigkeit aus Ressourcenknappheit oder in Anbetracht einer teuren Herstellung entstehen. Je größer die Wertbeständigkeit, desto größer ist die Chance auf Wiederverwendung.



Hillebrandt et al. (2018):
„Von der rein stofflichen Ebene aus betrachtet, besteht also jede Immobilie aus Wert- oder Abfallstoffen, für die am Nutzungsende der Immobilienbesitzer die Verantwortung trägt. [...] Ein großer Teil des Werts einer Immobilie wird sich – unabhängig vom Standort – nur erhalten, wenn sie aus Materialien errichtet wurde, die auf gleicher Qualitätsstufe recyclingfähig sind.“²³⁴

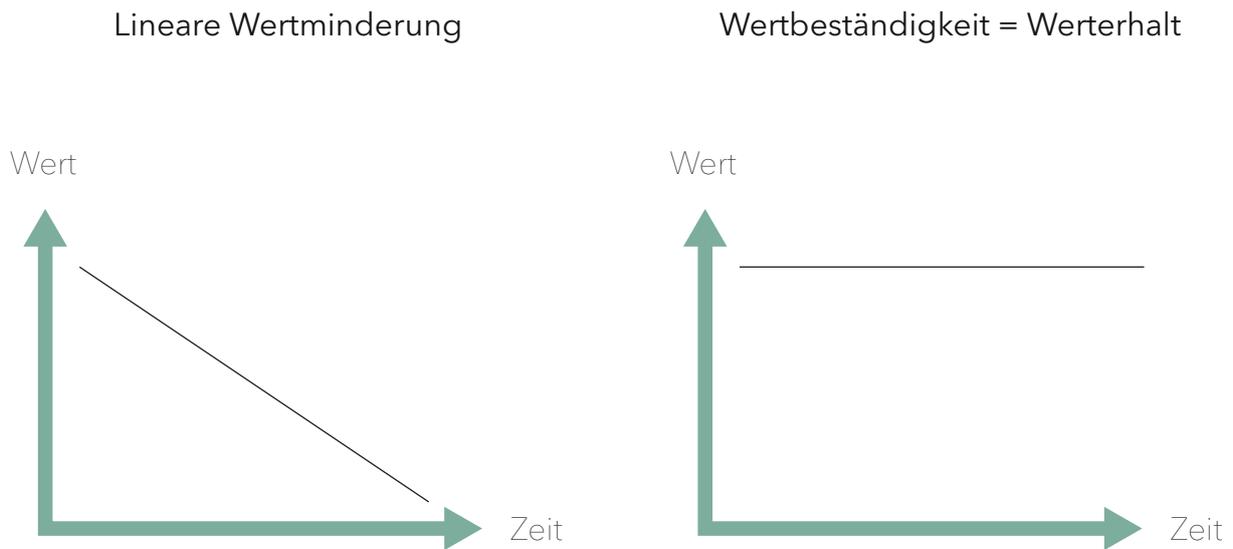


Abb. 3-6: Gegenüberstellung gängiger Praxis zu wünschenswerter Praxis in Richtung Wertbeständigkeit & -erhalt

²³⁴ Hillebrandt et al., 2018: S. 58.



3.2.5 Langlebigkeit (Lebenszyklus)

Die Langlebigkeit bzw. lange Nutzungsdauer eines Materials und die sich dadurch ergebende geringe Austauschhäufigkeit führt dazu, dass Ressourcen gespart werden können und des Weiteren auch monetär positive Effekte entstehen.

Eine hohe Langlebigkeit eines Baustoffs erlaubt es ihm, mehrere Male verwendet zu werden, also mehrmals im Kreislauf zu zirkulieren, ohne verwertet werden zu müssen.

Die Lebensdauer eines Materials steht stark in Abhängigkeit zu den in der **Bauteilzusammensetzung**  vorhandenen anderen Materialien. Die Nutzungsdauer kann nur jeweils so hoch sein, wie die des in einem Bauteil vorhandenen Materials mit der geringsten Nutzungsdauer. Etabliert hat sich hier der Terminus ‚Schicksalsgemeinschaft‘: betroffene Schichten/Materialien, die das Schicksal der Erneuerung teilen müssen, obwohl deren „Normal“-Nutzungsdauern noch nicht verbraucht sind.

Eine Optimierung des Materials mit dem Ziel, die Langlebigkeit zu erhöhen, kann außerdem die **Materialreinheit**  beeinflussen.

Die Langlebigkeit ist vorrangig für das **Re-Use** Szenario entscheidend. Je länger die Nutzungsdauer des Baustoffs bzw. -teils, desto länger kann er in seiner ursprünglichen Form im Kreislauf gehalten und mehrmals wiederverwendet werden. Gepaart mit dem Parameter **Wertbeständigkeit**  ist die Langlebigkeit der wichtigste materielle Parameter für die Gewährleistung eines Re-Use Szenarios. Eine hohe Langlebigkeit spielt auch in Anbetracht der grauen Energie eine große Rolle: der Einsatz von Materialien mit einer hohen grauen Energie ist u.a. dann vertretbar, wenn diese über einen langen Zeitraum im Kreislauf geführt werden können und somit die Herstellung von mehreren Ersatzmaterialien vermieden wird.

Für das **Recycling** stellt die Langlebigkeit keine besondere Relevanz dar, da der Baustoff nach Nutzungsdauer verwertet werden kann. Gewissermaßen kann sich eine hohe Langlebigkeit sogar nachteilig für ein Recycling erweisen, weil kein Material zur Verwertung nachkommt. Bei Verwendung von Materialien mit einer kurzen Lebensdauer sollte die graue Energie idealerweise gering sein.



Re-Use

Recycling

Technische Lebensdauer definiert lt. ISO 15686: „Lebensdauer eines Baustoffs bzw. Bauteils, die als die Zeitspanne zwischen dem Einbau und dem Erreichen bzw. Überschreiten der Grenzanforderungen an die technischen Nutzungsvoraussetzungen definiert wird.“²³⁵

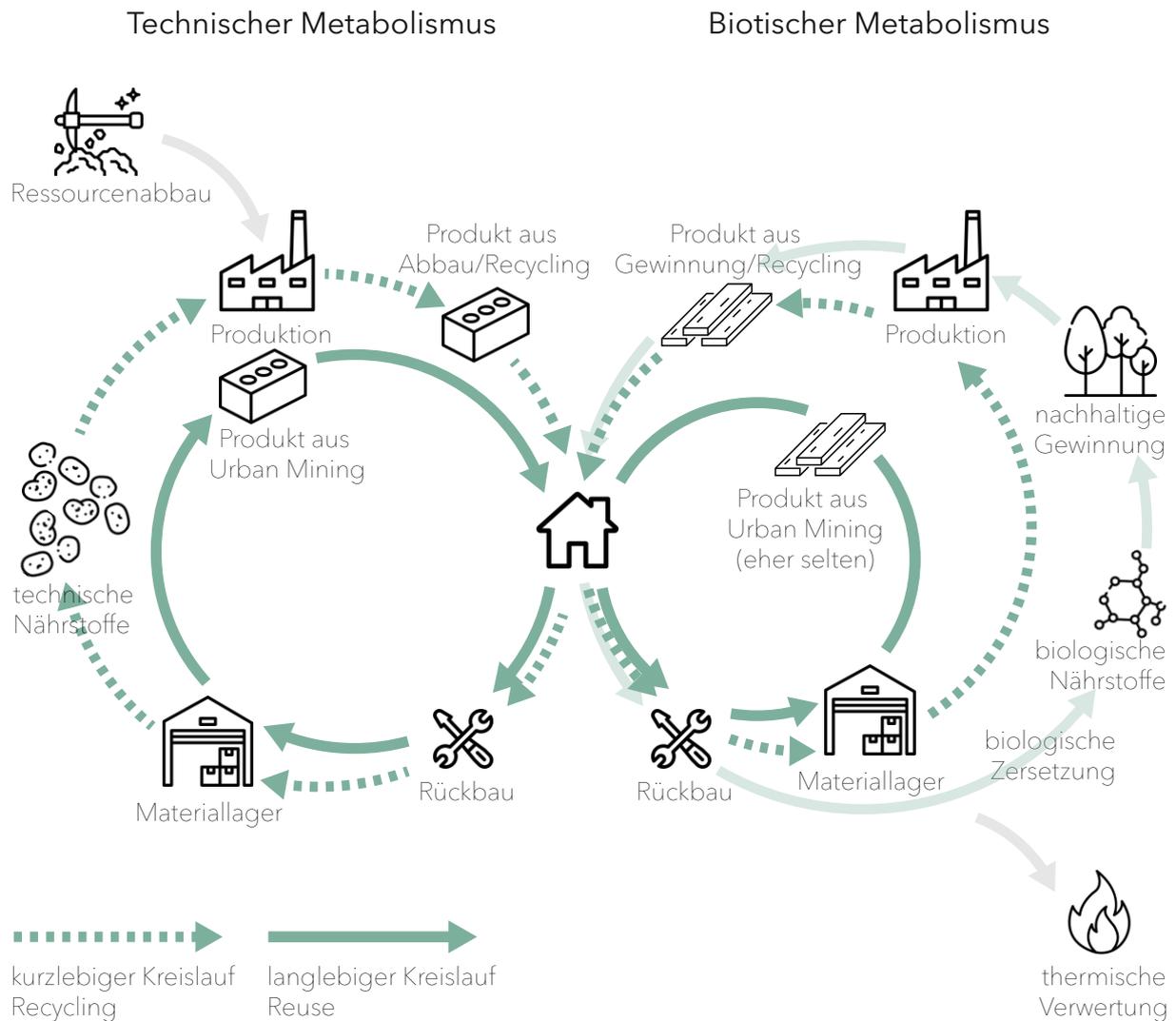


Abb. 3-7: langlebige & kurzlebige Kreisläufe im technischen & biotischen Metabolismus

²³⁵ Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen: Nachhaltig massiv, 3. Arbeitspaket, in: IBO: Ökologisch Bauen, Gesund Wohnen, Forschungsprojekte, o.D., <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/erweiterung-des-oi3-index-um-die-nutzungsdauer-von-baustoffen-und-bauteilen> (abgerufen am: 04.05.2021).

3.3 Konstruktive Handlungsparameter



3.3.1 Lösbarkeit/trennbare Verbindung

Heutzutage werden an Gebäude hohe Ansprüche gesetzt. Bauteile müssen sowohl bauphysikalisch als auch brandschutztechnisch hohe Anforderungen erfüllen, was dazu geführt hat, dass die zu leistenden Funktionen auf eine Vielzahl von aufeinanderfolgenden Schichten aufgeteilt werden.

Derartige Optimierungen der Konstruktionen erweisen sich jedoch oftmals als schwer lösbar, was wiederum eine sortenreine Trennung erschwert und Recycling bzw. Re-Use verhindert. Bei Bauteilen mit mehreren Schichten ist folglich darauf zu achten, dass diese über Anwendung von sortenreinen Verbindungstechniken gefügt werden. Generell sind lösbare Verbindungen, die in einer **effizienten und zerstörungsfreien Demontage**  resultieren, zu bevorzugen.

Konstruktionen mit lösbaren Verbindungen sind zudem in den meisten Fällen zeitlich und wirtschaftlich effektiver herzustellen. Außerdem sind während des Gebäudebetriebs Instandsetzungen und Modernisierungen in der Regel leichter und kostengünstiger durchzuführen.

Eine sortenreine Trennung der Baustoffe ist Voraussetzung für ein hochwertiges **Recycling**. Dies ist nur möglich, wenn sowohl die Bauteile als auch die einzelnen Materialien, die in einem Gebäude verbaut sind, lösbar gefügt sind. Ausschlaggebend bei der Fügung der Bauteile und deren Schichten ist in weiterer Folge auch die Berücksichtigung der Schicksalsgemeinschaft. Materialien mit unterschiedlicher Nutzungsdauer sollten unbedingt voneinander trennbar sein, denn die Nutzungsdauer eines einzelnen Glieds in der Kette, kann die Nutzungsdauer des jeweils anderen beeinflussen.

Für **Re-Use** ist eine lösbare Verbindung nur halb so maßgebend, da Bauteile im Ganzen wiederverwendet werden können. Vor allem bei Bauteilen mit einer hohen **Langlebigkeit**  und **Wertbeständigkeit** , ergo einem hohen Re-Use Potential, sind lösbare Verbindungen nicht zwingend geboten. Dennoch kann es aus logistischen Gründen förderlich sein, wenn sich Bauteile untereinander leicht trennen lassen bzw. zerlegt werden können.



Jäger et al. (2013):

„Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Austauschzyklen der jeweiligen Cluster und der unabhängigen Funktionstüchtigkeit ihrer angrenzenden Teile stellt ein System von lösbaren, zerstörungs- und rückstandsfreien Verbindungsmitteln ein Optimum dar.“²³⁶

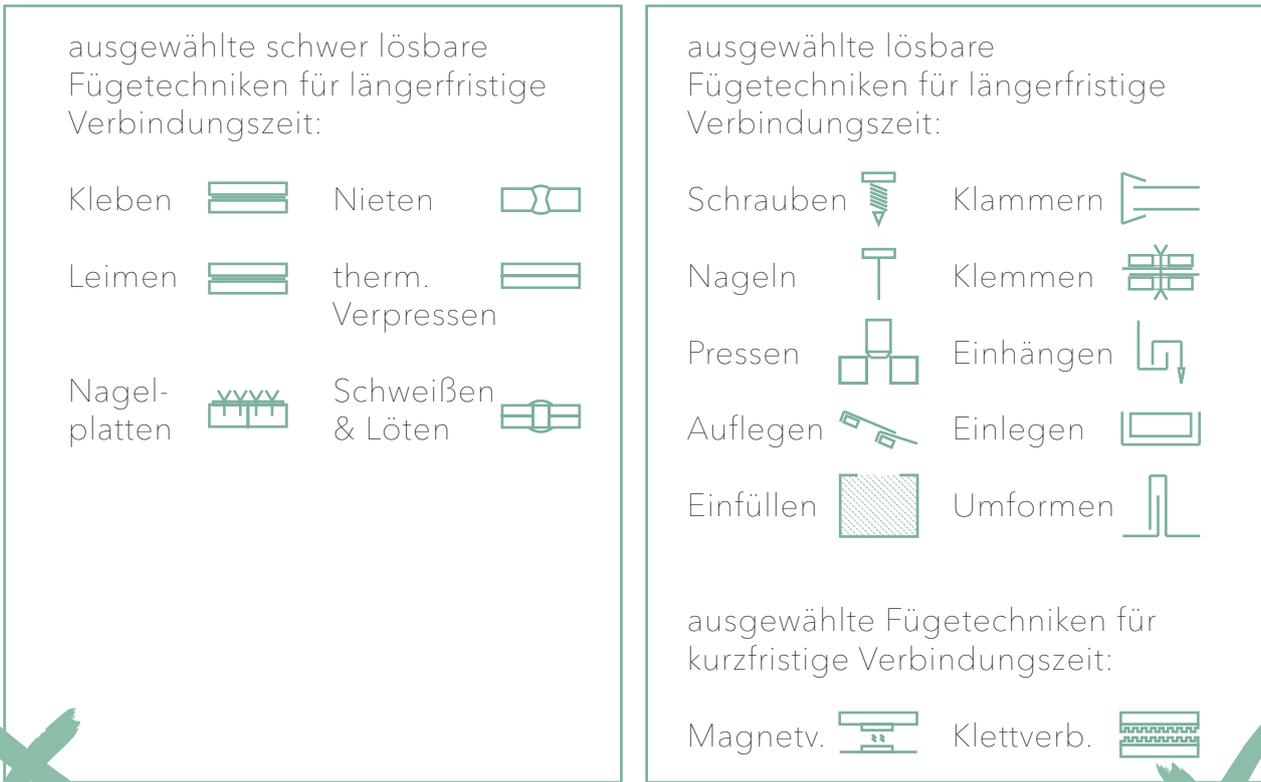


Abb. 3-8: Beispiele schwer lösbarer & leicht lösbarer Verbindungen

²³⁶ Jäger et al., 2013, S. 22.

3.3.2 Monomaterialität / einstoffliche Bauweise

Wenn ein Bauteil im Verbund aus dem gleichen Basismaterial besteht, kann auf lösbare Verbindungen verzichtet werden. Einstoffliche Verbindungen können somit als Alternative zu schwer lösbaren Verbundkonstruktionen dienen, denn ihre Monomaterialität stellt kein Hindernis für ein sortenreines Recycling dar. So ermöglichen Monomaterial-Konstruktionen meist eine **effiziente und zerstörungsfreie Demontage** , da eine aufwendige manuelle Demontage und Sortierung nur in geringem Maße oder gar nicht erforderlich ist. Meist sind lediglich kostengünstige Baggerarbeiten erforderlich. Grundsätzlich gilt: je geringer die Werkstoffvielfalt, desto leichter ist es, eine Kreislauffähigkeit zu erlangen. Außerdem kann eine monolithische Bauweise die **Flexibilität**  behindern.

Die Monomaterialität ist jedoch nicht überall realisierbar, an bestimmten Stellen des Gebäudes muss auf Funktionsschichten, wie zum Beispiel Abdichtungen zurückgegriffen werden. Hier ist es von höchster Bedeutung, dass diese unterschiedlichen Schichten über **lösbare Verbindungen**  gefügt werden.

Monomaterialsysteme erweisen sich für das **Recycling** Szenario als förderlich. Verbindungen, die aus demselben Ausgangsmaterial wie die zu verbindenden Materialien bestehen, können Schraub- oder Klebeverbindungen ersetzen, wodurch eine **Sortenreinheit**  gewährleistet wird, die ebenfalls das Recycling erleichtert. Die hohe Anzahl an gleichen Materialien bei Monomaterial-Konstruktionen resultiert in einer geringen Anzahl an Stoffströmen und Entsorgungswegen beim Abbruch.

Für ein **Re-Use** Szenario ist die Monomaterialität nachrangig wichtig. In manchen Fällen kann Monomaterialität Re-Use sogar fördern, da ein Bauteil im Ganzen demontiert werden kann und so leicht wieder an anderer Stelle eingesetzt werden kann. Neben den logistischen Vorteilen werden Bauteile aus massiven Monomaterialien im Laufe ihrer Nutzungsdauer meist kaum wertvernichtend beschädigt (**Langlebigkeit** ) und erhalten manchmal sogar erwünschte Gebrauchsspuren, was sie für Re-Use sogar interessanter macht.





3.3.3 Flexibilität

Die Nutzungsflexibilität stellt erhebliche Anforderungen an alle Bauteile. Die Flexibilität kann vom kleinen in den großen Maßstab übersetzt werden, wobei die übergeordnete, räumliche Flexibilität stark von den einzelnen, untergeordneten Elementen abhängig ist. Um ein großes Maß an Flexibilität zu erhalten kann es durchaus sinnvoll sein, die unterschiedlichen Schichten des Gebäudes in ihren Funktionen zu trennen (siehe Kapitel 2.5.6.2, S. 85). Wenn die Hülle vom Tragwerk eines Gebäudes entkoppelt ist (zum Beispiel vorgehängt), kann diese generell problemlos an unterschiedliche Nutzungen der dahinterliegenden Räume angepasst werden.

Die Wahl einer Skelettbauweise als Tragkonstruktion bietet optimale Voraussetzungen und ist in puncto Flexibilität dem Massivbau grundsätzlich vorzuziehen.

Ein hohes Maß an Flexibilität wirkt sich positiv auf die **Langlebigkeit**  des gesamten Gebäudes aus.

Heutzutage werden an die unterschiedlichen Schichten des Gebäudes hohe Ansprüche gesetzt. Neben bauphysikalischen, statischen und brandschutztechnischen Anforderungen kommen die sich verändernden Ansprüche der Nutzer hinzu. Ein flexibles System kann, wenn es gut durchdacht ist, all diese Anforderungen erfüllen und einen wesentlichen Beitrag in der modernen Stadt leisten. Denn ein hohes Maß an Flexibilität ist nicht nur nutzerfreundlich, sondern auch Urban-Mining-freundlich.

Eine flexible Struktur stellt auf Gebäudemaßstab eine Voraussetzung für ein zukünftiges **Re-Use** Szenario dar. Das erhöht in weiterer Folge auch die **Langlebigkeit**  eines Gebäudes, da ein flexibles System leicht an sich verändernde Bedingungen anzupassen ist und mehrere Nutzungen über einen langen Zeitraum erlaubt. Voraussetzung für Flexibilität sind **lösbare Verbindungen**  und eine **leichte und effiziente Demontage** .

Flexibilität ist für ein **Recycling** Szenario nachrangig von Bedeutung. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass flexible Systeme generell **leicht lösbare Verbindungen**  aufweisen, demnach leicht auseinanderzunehmen und sortenrein zu trennen sind, was sich für das Recycling als förderlich erweist.



Hillebrandt et al. (2018):
„Nutzungsflexibilität ist die erste Voraussetzung für zukünftigen Re-Use. Die Nutzungsflexibilität wird ganz wesentlich von der Gebäudestruktur bestimmt. [...] Grundrisse, frei von tragenden Wänden, ermöglichen jederzeit neue Raumaufteilungen. [...] Damit bietet der Skelettbau die Alternative zu schweren Massivbauwänden aus mineralischen Baustoffen, deren Recyclingpotenzial eingeschränkt ist, stellt aber auf der anderen Seite viel höhere Anforderungen an die Füge-techniken und Materialkenntnis.“²³⁸

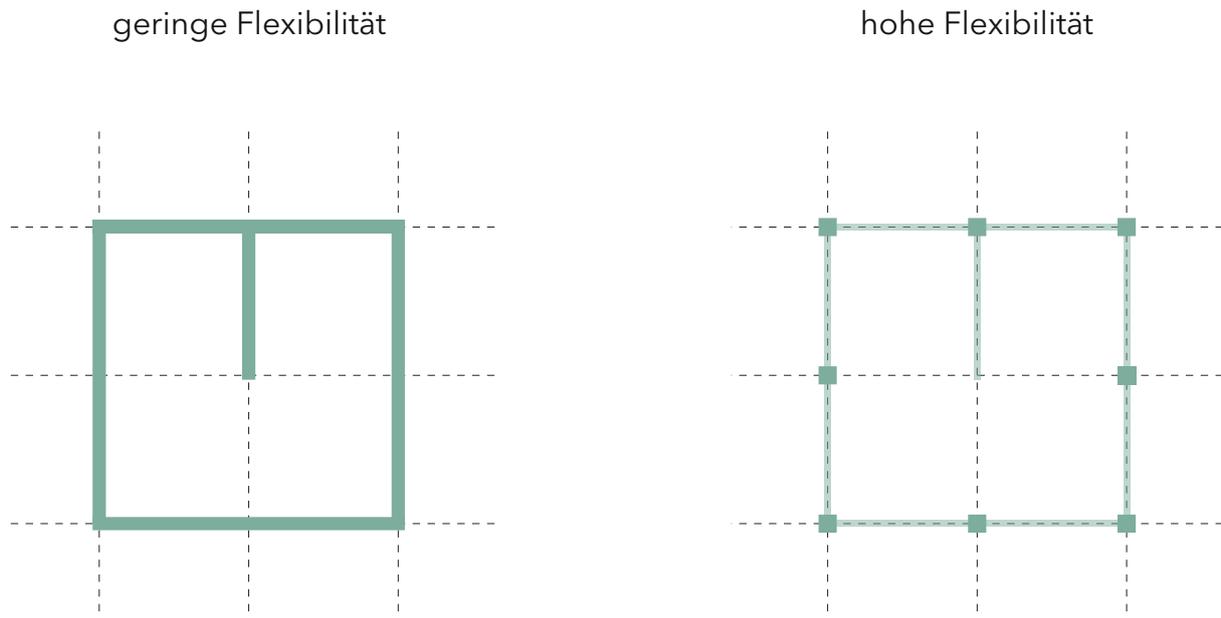


Abb. 3-10: Vergleich Grundriss Massivbau zu Skelettbau

²³⁸ Hillebrand et al., 2018, S. 12.



3.3.4 Vorfertigung und modulare Bauweise

Die Vorfertigung im Bauwesen hat zum Ziel, Bauteile unter möglichst optimalen und gleichbleibenden Bedingungen herzustellen. Das führt zu mehreren Vorteilen, u.a. zu einer höheren Präzision, einer Reduzierung der Baustellenzeit und Witterungsunabhängigkeit auf der Baustelle. Ein hohes Maß an Vorfertigung ist auch für eine ressourcengerechte Planung von großer Bedeutung, denn ein modularer Aufbau erhöht die Chancen auf spätere Wieder- oder Weiterverwendung der einzelnen Bauteile.

Ein modulares System bzw. ein vorgefertigter und standardisierter Aufbau erhöht ebenfalls die **Flexibilität** . Sich wiederholende Bauteile mit den gleichen Maßen sowie vereinheitlichte Details und Verbindungen sind leicht zu replizieren, bieten oftmals eine Vielfalt an Gestaltungsvarianten und sind leicht auszutauschen. Außerdem resultiert ein modularer Aufbau in den meisten Fällen in **effizienter und zerstörungsfreier Demontage**  - Stichwort ‚Design for Disassembly‘.

Vor allem der Holzbau weist gegenwärtig einen hohen Grad an Vorfertigung auf.

Vorfertigung und modulare Bauweise sind sowohl für **Recycling** als auch für **Re-Use** gewichtig. Die Standardisierung hat für beide Szenarien erhebliche Vorteile.

Bei einer Vorfertigung werden Entscheidungen meistens in einem frühen Stadium des Projekts getroffen und sorgfältig geplant - das verringert das Risiko, dass vor Ort (auf der Baustelle) schnelle, unüberlegte Entscheidungen getroffen werden, die eventuell gängige Praxis sind, jedoch ein Wiederverwendungs- bzw. Verwertungsszenario negativ beeinflussen könnten.

Der Einsatz standardisierter Materialien führt zu einer Klarheit über die eingesetzten Stoffgruppen und somit über die möglichen Verwertungswege. Außerdem können Produkte oder Bauteile, die ein standardisiertes Maß haben, auf dem Re-Use Markt durch ihr vermehrtes Aufkommen bestehen. In der Stadtverdichtung erfordert die Vorfertigung bzw. im speziellen der Modulbau aufgrund des Platzmangels höchste Präzision.



Wolfgang Aigner zitiert nach Isopp (2013):
„Die Vorteile der Vorfertigung sind die Produktion von Wand-, Decken- und Dachelementen unter kontrollierten Bedingungen. Das bedeutet kein Improvisieren auf der Baustelle, hohe Produktqualität, schnelle Montagezeiten, sehr genau kalkulierbare Zeit- und Ablaufpläne, Unfallprävention usw. Dadurch entwickeln sich für den Holzbau »neue« Einsatzgebiete, in denen oben genannte Kriterien zum Tragen kommen. So bietet der Holzbau speziell auch im innerstädtischen Bereich Vorteile, wo schnelle Bauzeiten, ein trockener Baustoff et cetera eine wichtige Rolle spielen.“²³⁹

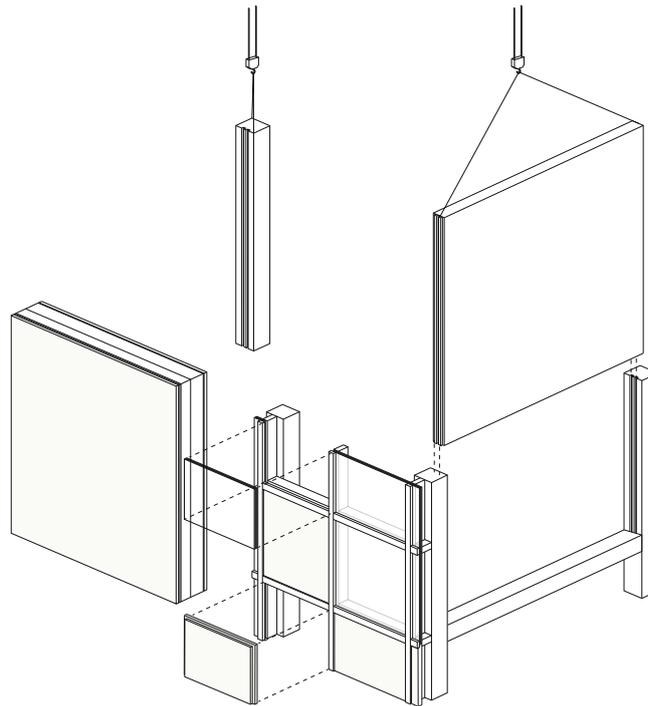


Abb. 3-11: Beispiel einer flexiblen Vorfertigung bzw. modularen Bauweise

²³⁹ Isopp, Anne: Nachgefragt Welches Potenzial steckt in der Vorfertigung?, in: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 50, 2013, S. 16.



3.3.5 Effiziente und zerstörungsfreie Demontagemöglichkeit

Sowohl die strengeren Trennvorschriften welche sich der Recycling-Baustoffverordnung ergeben als auch die Verpflichtung zur Einhaltung von Qualitätskriterien sind Anzeichen dafür, dass der selektive Rückbau in Zukunft mehr an Bedeutung gewinnen wird. Da der Ausbau von wiederverwendbaren Materialien einem maschinellen Rückbau jedenfalls vorzuziehen ist und ein wesentlicher Teil der Recycling-Baustoffverordnung die Begutachtung der vorhandenen Bausubstanz zum Ziele der optimierten Wiederverwendung und -verwertung voraussetzt, ist außerdem daraus zu schließen, dass je besser das Bauvorhaben dokumentiert ist, desto leichter auch daraus wieder Wert geschöpft werden kann. Daraus resultiert, dass bereits in der Planung, die spätere Demontage mitgedacht werden muss. Bestenfalls funktioniert die Demontage umgekehrt zur Montage. **Lösbare Verbindungen**  sollten nachvollziehbar platziert, instand gehalten und leicht zugänglich sein.

Für ein Recycling Szenario muss die Demontage effizient und vor allem **sortenrein**  möglich sein. Die Stoffströme müssen auf der Baustelle in Fraktionen getrennt werden, sodass das Recycling nicht behindert wird. Hilfreich kann dabei ein Abrissplan bzw. Demontageplan sein. Heutzutage werden BIM-Modelle immer populärer. Diese sogenannten ‚as-built‘ Modelle können, als digitale Bauwerksmodelle für die Abbildung des tatsächlich ausgeführten Zustands, eine Demontage erleichtern.

Eine leichte Demontage resultiert in einer hohen Reversibilität was sich wiederum vorteilhaft auf eine Adaptierung und **Re-Use** auswirkt. Sind ganze Bauteile leicht und unbeschadet zu demontieren, erhöht das somit die Wahrscheinlichkeit auf ein Re-Use Szenario. Eine effiziente Demontage erlaubt auch Adaptierungen während der Nutzungsdauer des Gebäudes, was hat eine höhere Flexibilität zur Folge hat. Durmisevic (2019) beschreibt die Interdependenz von Demontage zu Adaptierung und Re-Use als Kern der Reversibilität auf räumlicher, struktureller und materieller Ebene eines Gebäudes (siehe Abb. 3-12).²⁴⁰



²⁴⁰ Durmisevic, 2019, S. 19.

Recycling-Baustoffverordnung (2020):
 „Rückbau: der Abbruch eines Bauwerks im Allgemeinen in umgekehrter Reihenfolge der Errichtung eines Bauwerks, mit dem Ziel, dass die beim Abbruch anfallenden Materialien weitgehend einer Wiederverwendung, Vorbereitung zur Wiederverwendung von Bauteilen oder einem Recycling zugeführt werden können unter Trennung der anfallenden Materialien und unter Berücksichtigung der Schadstoffgehalte, sodass eine Vermischung und Verunreinigung der anfallenden Materialien minimiert und ein Entweichen von Schadstoffen verhindert wird.“²⁴¹

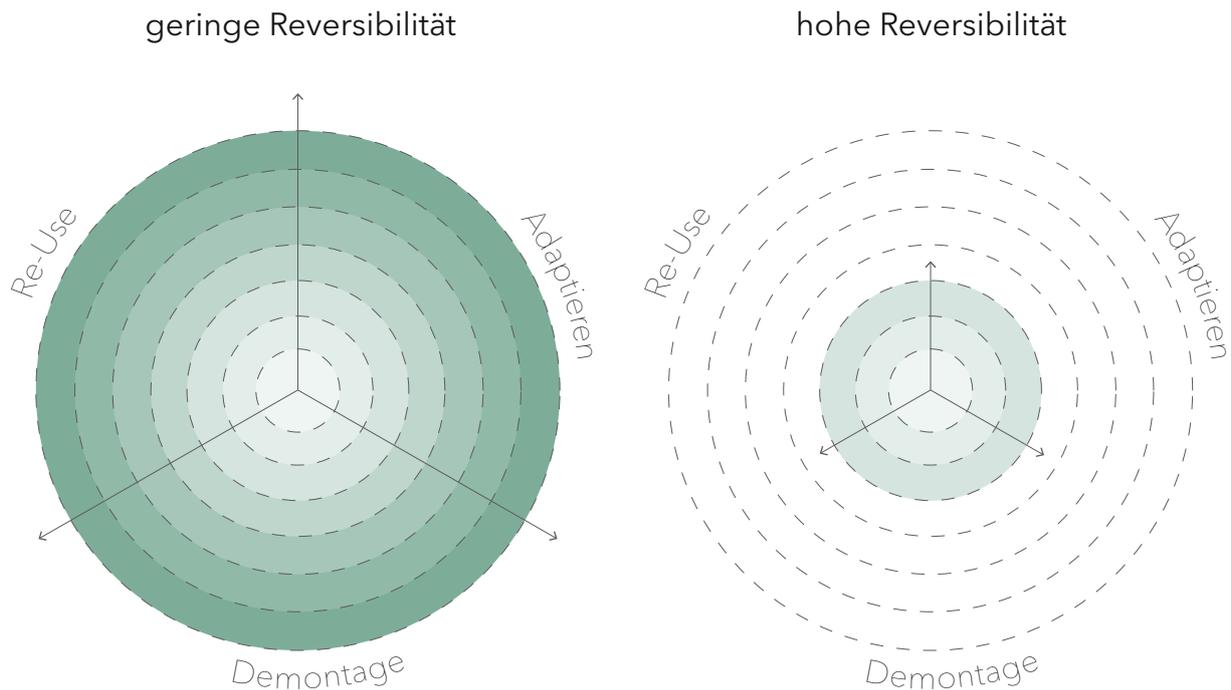


Abb. 3-12: Interdependenz von Demontage zu Adaptierung und Re-Use

²⁴¹ RBV, 2020, S. 2.

3.4 Gegenüberstellung Gewichtung

Recycling & Re-Use in Handlungsparametern

Die vorgenommene Gewichtung soll erläutern, wie sich die zuvor beschriebenen Parameter auf **Nachnutzungsszenarien** auswirken bzw. diese beeinflussen können. Im Umkehrschluss kann die Befolgung bzw. Zuhilfenahme der vorgestellten Parametermeter ein gewisses Szenario begünstigen. Unter Gewichtung ist im Folgenden die Bewertung einzelner Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Wichtigkeit gemeint. Das bedeutet, dass wichtigere Faktoren größeren Einfluss auf das Ergebnis haben.

Abbildung 3-13 schafft einen Überblick über diese **Interdependenzen**.

Daraus können u.a. beispielhaft folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

Je mehr auf die Sortenreinheit bei der Wahl eines Materials geachtet wird, desto eher und leichter kann dieses am Ende seiner Nutzung dem Recycling zugeführt werden.

Wenn ein Material gewählt wird, dessen Eigenschaften eine hohe Langlebigkeit ermöglichen, eignet sich dieses voraussichtlich gut für Re-Use.

Im Umkehrschluss kann auch folgende, beispielhafte Schlussfolgerung gezogen werden:

Wenn angenommen werden kann, dass ein Material nach heutiger gängiger Praxis ein End-of-Life Potenzial des Recyclings hat (zum Beispiel Metall oder Holz), sollten bei dessen Einsatz besonders folgende materielle Parameter beachten werden: Schadstofffreiheit, lokale Verfügbarkeit und nachhaltige Gewinnung. Außerdem sollte das Material mithilfe lösbarer Verbindungen und unter Zuhilfenahme von Vorfertigungstechniken eingebaut und die Möglichkeit einer effizienten Demontage gewährleisten werden.

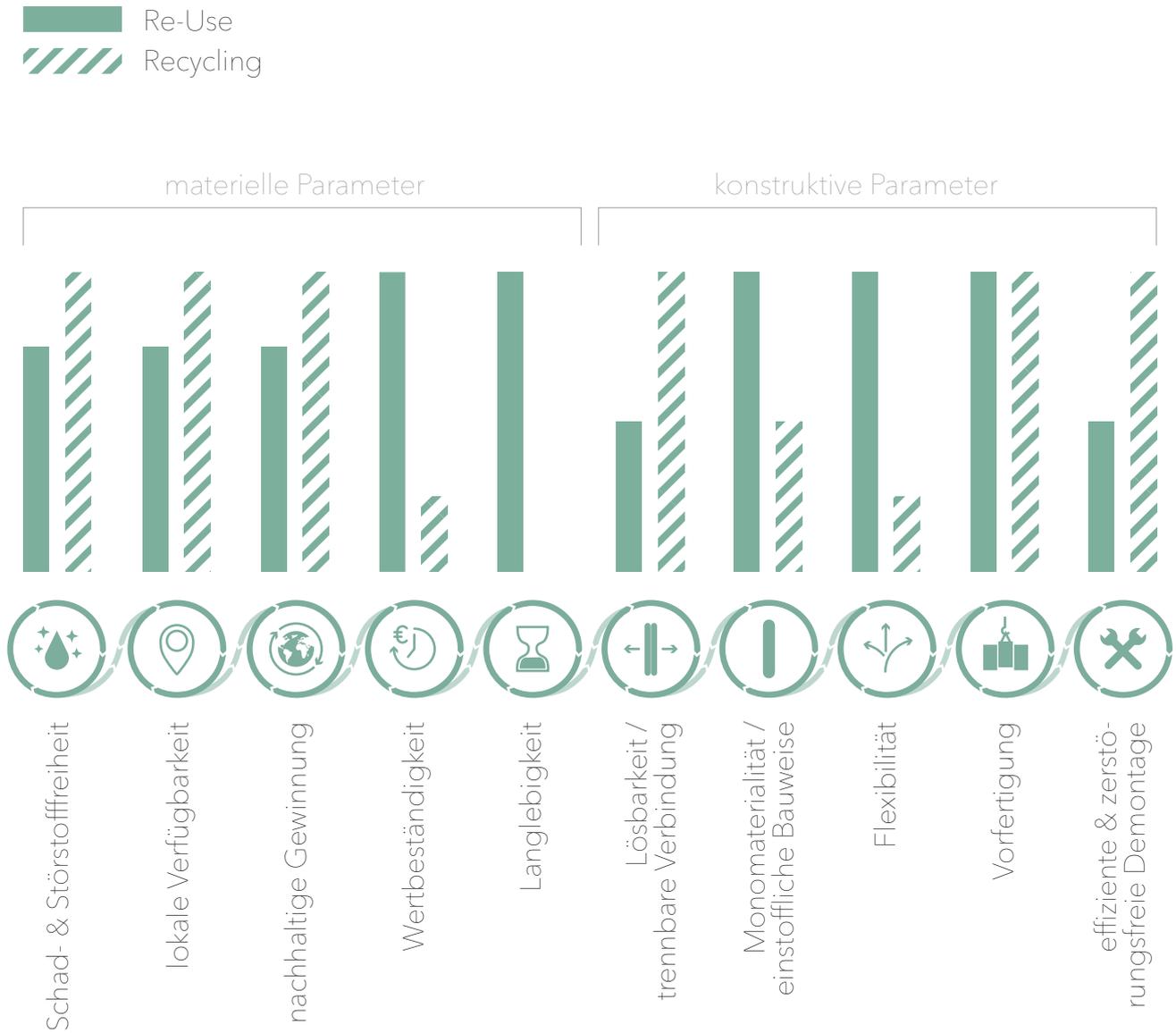
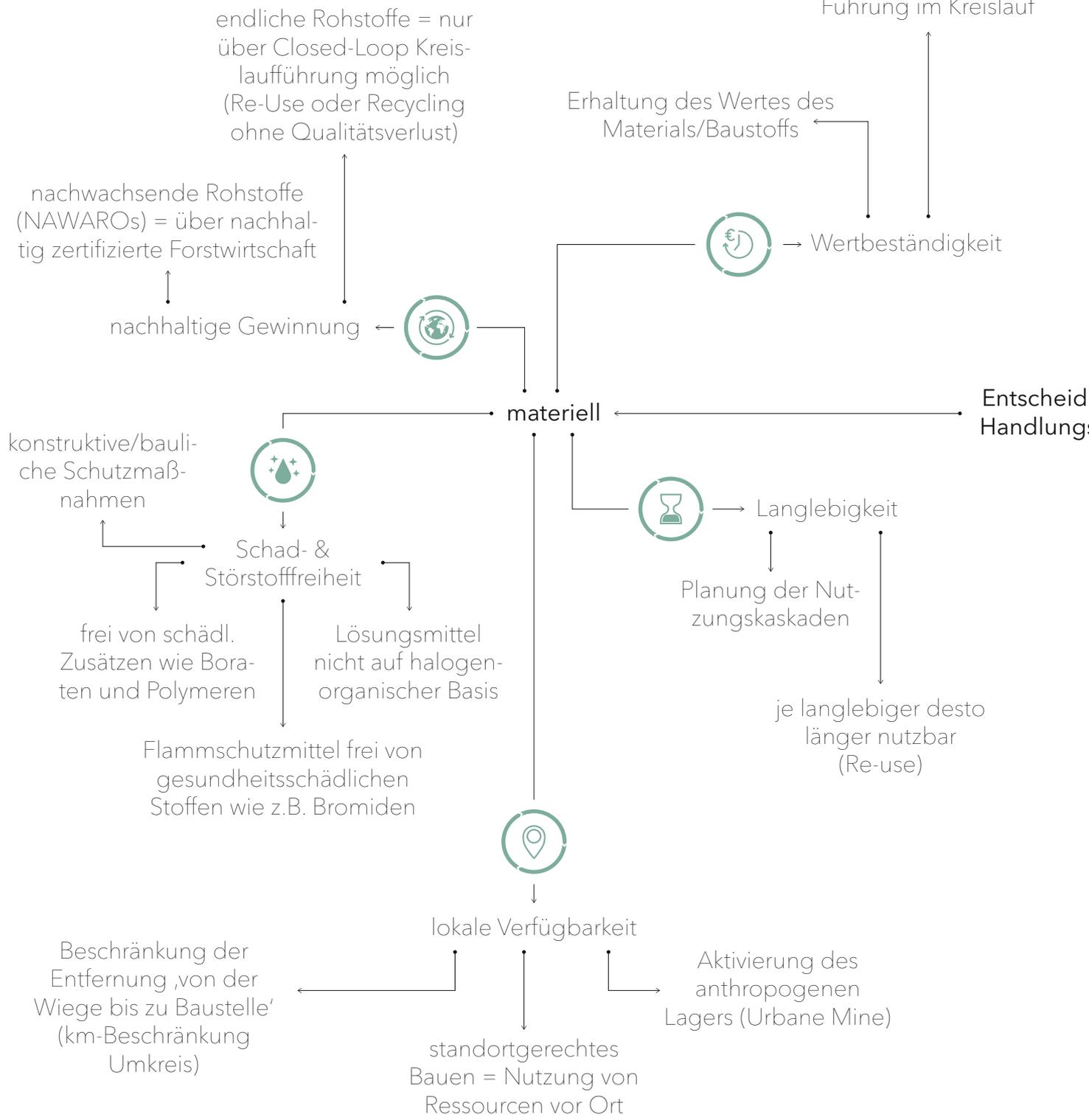


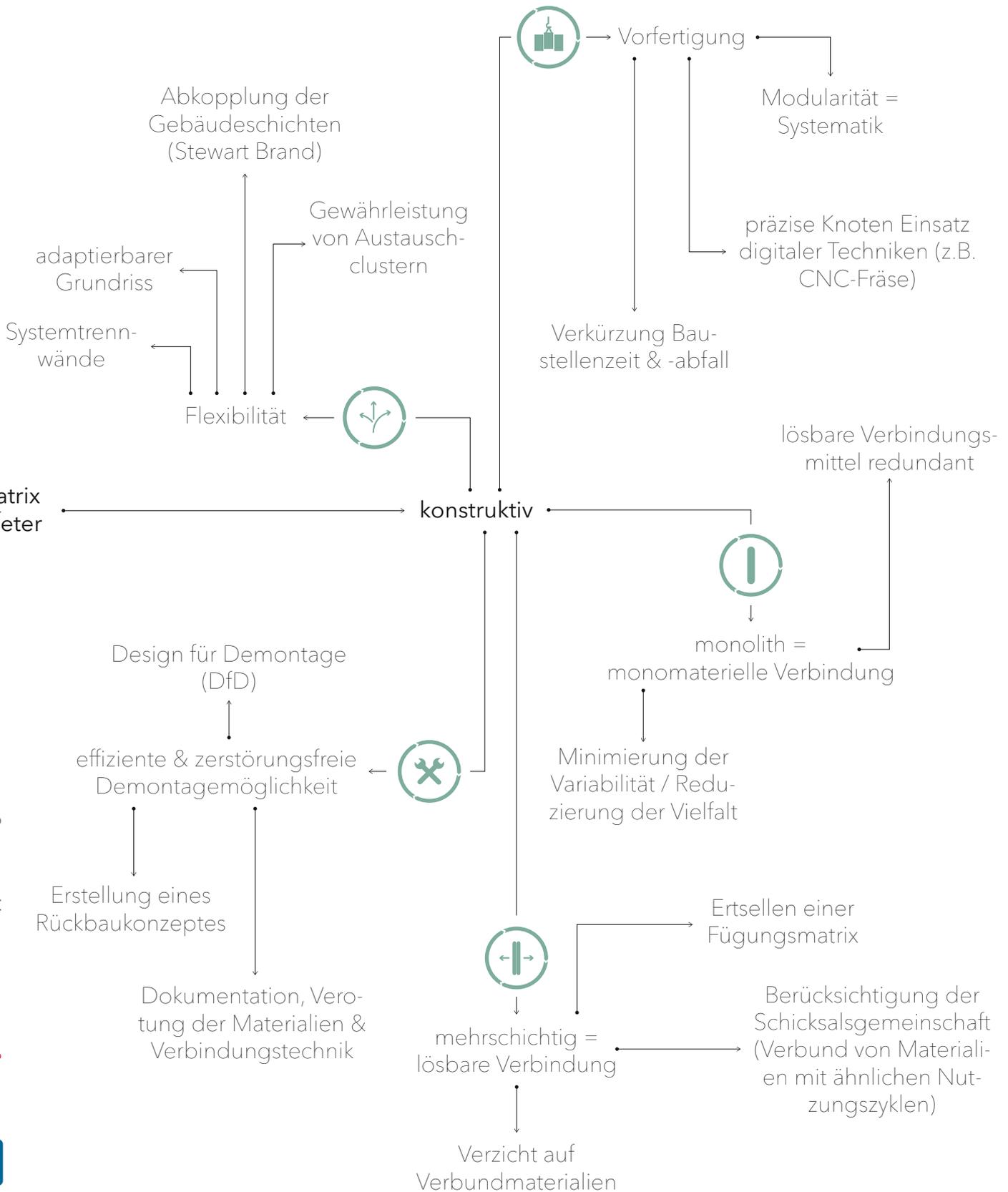
Abb. 3-13: Interdependenz von Re-Use & Recycling mit den materiellen und konstruktiven Handlungsparametern

3.5 Entscheidungsmatrix

Beispielhafte Anwendung der Handlungsparameter

je höher der Wertbestand, desto größeres Interesse an Wertschöpfung & Führung im Kreislauf





)4 Der Entwurf

1 Einleitung	S. 152
2 Architektonisches Konzept & Zieldefinition	S. 153-154
3 Raumprogramm & Ausstellungsführung	S. 155-160
4 Städtebaulicher Kontext	S. 161-165
5 Pläne/Konstruktion	S.166-194
5 Visualisierungen	S. 195-202
6 Skalierung	S. 203-210

4.1 Einleitung

Im Zuge der Diplomarbeit hat sich eine Zusammenarbeit mit der Baudirektion der Stadt Wien ergeben. Für das Strategieprogramm ‚DoTank Circular City Wien 2020-2030‘ wird in enger Zusammenarbeit mit der Projektleiterin Dr. Anna-Vera Deinhammer und dem Projektmitarbeiter Dipl. Ing. Klaus Kodydek ein mobiler Ausstellungspavillon ausgearbeitet, der die Strategien der Stadt Wien zur Etablierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen repräsentativ darstellen und somit als Kommunikationsmedium und real erlebbarer Materialspeicher AkteuRInnen in der Bauwirtschaft aber auch der breiten Öffentlichkeit präsentiert werden.

Der Pavillon soll den verantwortungsbewussten Umgang mit anthropogenen Ressourcen in Kombination mit einer ansprechenden Architektur transportieren und als skalierbares Vorbild und Anregung für Bau- und Sanierungsvorhaben dienen.

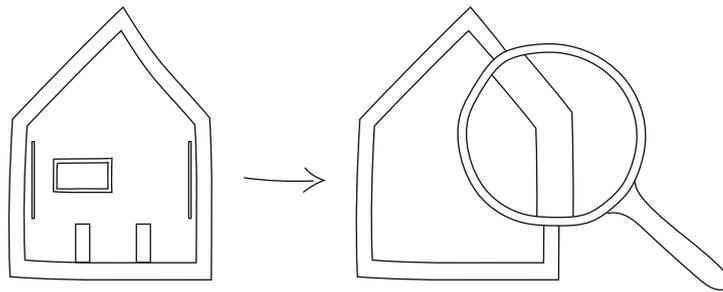
Dafür werden die im Toolkit ausgearbeiteten Handlungsparameter exemplarisch an der Bauaufgabe des DoTanks angewendet. Die sich daraus ergebende Architektursprache bringt ein Raumprogramm hervor, das den Kreislauf narrativ übersetzt und erlebbar macht. Somit werden die Gedankengänge, die sich am Anfang eines Projektes in Bezug auf die Kreislaufwirtschaft stellen sollten, forciert und in der Ausstellung programmatisch bespielt.

4.2 Architektonisches Konzept & Zieldefinition

Die in Kapitel 3 ausgearbeiteten materiellen und technischen Handlungsparameter werden beim Entwurf des gesamten DoTanks exemplarisch angewendet. Dazu finden sich zu jeweiligem Ausstellungsbereich sogenannte ‚Entscheidungstags‘ mit Informationen und Begründungen zur Auswahl des Materials bzw. der Konstruktion sowie ggf. auch Anmerkungen nach anderweitigen, übergeordneten Kategorien.

Neben der Verkörperung der im Ausstellungsbereich thematisierten Strategien soll die Konstruktion Sinn und Zweck der **temporären** Nutzung erfüllen, also **leicht auf- und abbaubar** sowie **transportabel** sein. Aus diesem Grund bietet sich eine Leichtbaukonstruktion an, die im Gegensatz zu schwerem Massivbau aus mineralischen Baustoffen, generell aus Aufbauten geplant werden kann, die ein breites Nachnutzungsspektrum aufweisen (siehe Kapitel 2.5).

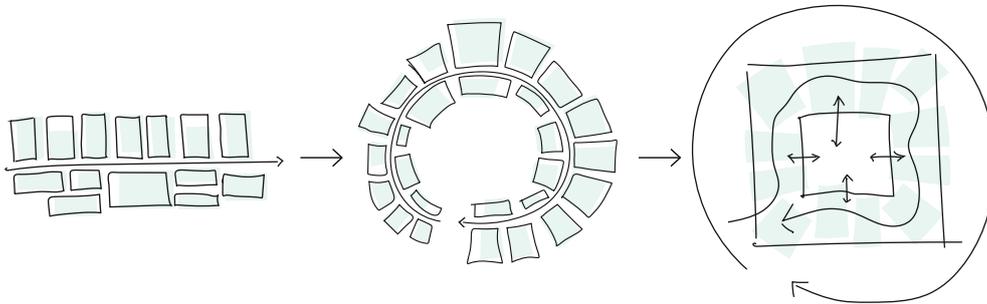
- Der gebaute DoTank ist somit ein reales Beispiel, das ein —
holistisches Verständnis der gebauten Umwelt veranschaulicht. Er dient nicht nur als Ausstellungsfläche, sondern wird
sogleich selbst zum Exponat im menschlichen Maßstab.



vom Ausstellungsraum zum Ausstellungsobjekt

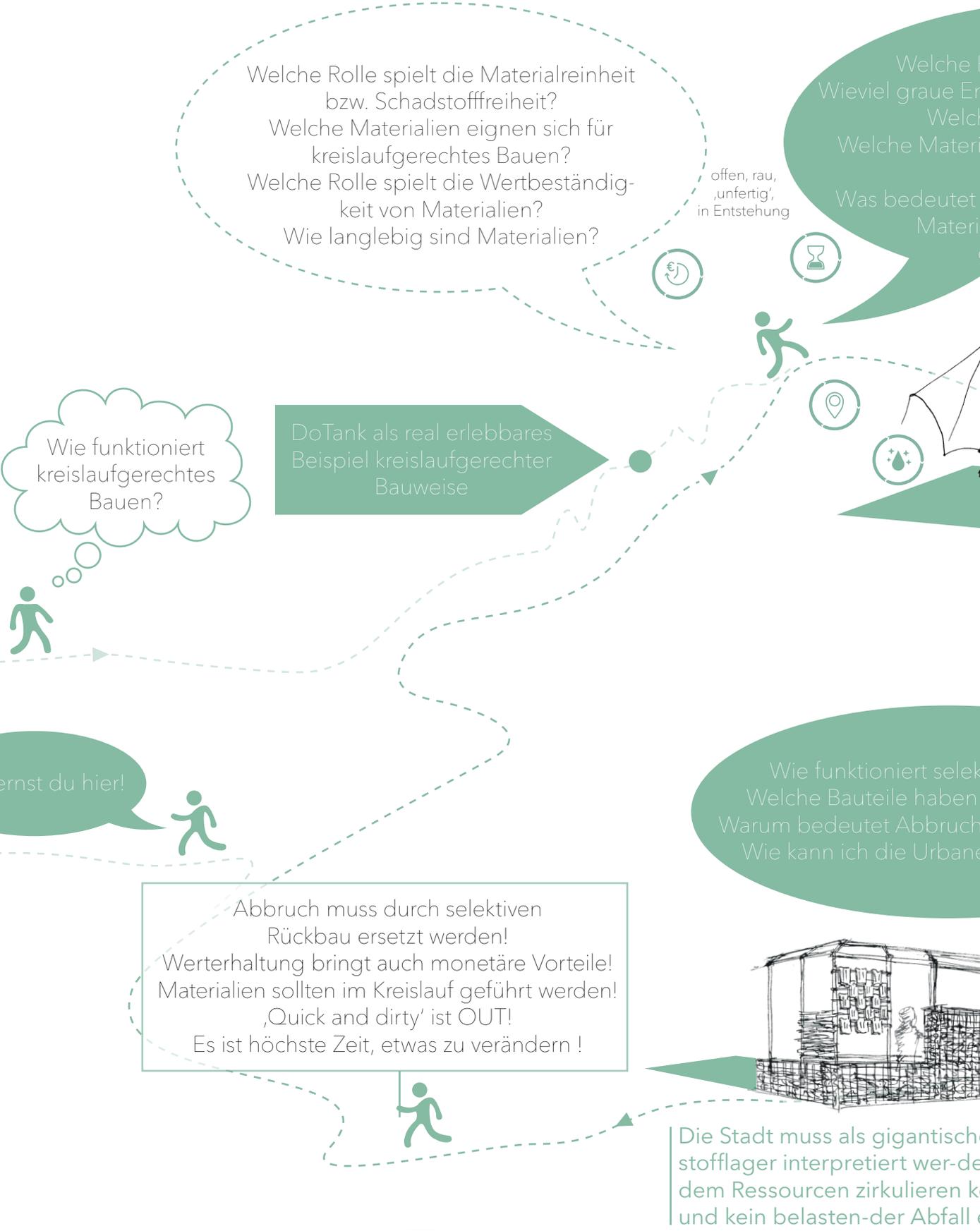
4.3 Raumprogramm & Ausstellungsführung

Der DoTank soll als Ausstellungsmedium dienen und den Entscheidungsweg während des Entwurfs eines kreislauffähigen Bauprojektes aufzeigen. Der Besucher soll narrativ durchgeleitet werden. Aus diesem Grund wurde der Pavillon auf Basis der Form eines Atriumhauses konzipiert, welche einen Rundgang ermöglicht und sich somit optimal zur Darstellung eines geschlossenen Kreislaufs eignet.



Die Ausstellung wird in 3 Bereiche gegliedert – der ‚Kokon‘, das ‚Studium‘ und die ‚Erkenntnis‘.
Die Ausstellung thematisiert in dem jeweiligen Bereich bestimmte Handlungsspielräume im kreislaufgerechten Bauen, die sich an die zuvor in Kapitel 3 beschriebenen materiellen und technischen Parameter des Toolkits anlehnen und diese beschreiben.





Herkunft haben Materialien?
 Energie steckt hinter den Materialien?
 Sind die Materialien lokal?
 Sind Materialien endlich, welche können
 nachwachsen?
 Nachhaltige Gewinnung & welche
 Materialien können auf diese Art
 gewonnen werden?

Materialien durchlaufen meist einen langen
 Gewinnungs- & Herstellungsprozess bis sie
 schlussendlich als Bauprodukte auf die Bau-
 stelle oder in ein Fertigungswerk gelangen.

Vulnerabilität, Entstehung,
 Ursprung, Inhalt, Herkunft,
 Entwicklung, Transformation

Welche Fügung ermöglicht eine
 sortenreine Demontage?
 Welche Konstruktion erlaubt einen
 selektiven Rückbau?
 Welche Verbindungsmittel können wie
 eingesetzt werden?
 Welche Vorteile hat die einstoffliche Bauweise?
 Welche Rolle spielen Vorfertigung und
 Flexibilität?

stabil, hüllend, 'fertig',
 in Benutzung

lösbare Verbindungs-
 techniken, Konstrukti-
 on, Nutzungsphase

alt, gebraucht,
 benutzt, 'mit Patina'

'End of Life', Rückbau, Verwen-
 dungs- & Verwertungsszenarien

Ob ein Material tatsächlich einem kreislauffähigen
 Nach-nutzungsszenario zugeführt werden
 kann, ist wesentlich von dessen Einsatz und
 der Fügung mit anderen Materialien abhängig.

Der erste Bereich der Ausstellung, der ‚**Kokon**‘, thematisiert die Relevanz der fundierten Auseinandersetzung mit Materialien bereits zu Beginn jedes Projektes bzw. Entwurfes. Die Besucher sollen hier mit Themen wie der Ressourcenknappheit, der Herkunft und Produktion von Materialien sowie der grauen Energie von Bauprodukten konfrontiert werden. Dazu werden Informationen und Materialproben in Ausstellungsboxen platziert, welche an der Pergola-ähnlichen Holzkonstruktion angebracht sind.

Der zweite Bereich der Ausstellung, das ‚**Studium**‘, thematisiert die konstruktive Ebene, also wie einzelne Materialien in Bauteilschichten, Bauelemente und Bauteile gefügt werden.

Auf konstruktiver Ebene sind u.a. die Demontierbarkeit sowie die Möglichkeit der sortenreinen Trennung von Materialien als Grundvoraussetzungen für die Kreislauffähigkeit zu nennen.

Der Besucher soll in diesem Bereich der Ausstellung mit unterschiedlichen konstruktiven Möglichkeiten in Berührung kommen., die eine Kreislaufführung der Materialien ermöglichen. Dies wird einerseits informativ mittels Hinweistafeln über Fertigungstechniken und Detailverbindungen vorgestellt, andererseits über ‚**Gucklöcher**‘ in der Konstruktion des DoTanks real erleb- & sichtbar gemacht.

Der dritte Bereich der Ausstellung, die ‚Erkenntnis‘, greift die aus den beiden vorgegangenen Bereichen thematisierten Strategien auf und setzt sie miteinander in Beziehung. In diesem abschließenden Teil des Pavillons soll nun verdeutlicht werden, welche Möglichkeiten sich durch kreislaufgerechte Planung unserer gebauten Umwelt ergeben können und wie Ressourcen nach Gebrauch wieder zu Ressourcen in einem weiteren Zyklus werden können.

Die Konstruktion selbst soll dies demonstrativ vermitteln und zum Reflektieren anregen – der Ausstellungsbereich wird umgeben von mineralischem Abbruchmaterial, das in Gabione gefüllt wird, die als Fundamente für ein Baugerüst dienen, an dem sich sukzessive Bauteile aus Re-Use Materialien hochranken sollen. Diese so aus dem Bauschutt ‚wachsende‘ Umhüllung soll den Besucher sensibilisieren und Möglichkeiten aufzeigen, wie aus vermeintlichem Abfall, Re-Use Elemente hergestellt werden können.

Der Ausstellungsbereich soll an den ‚Kokon‘ anschließen und damit verdeutlichen, dass eine Material- und Rohstoffbereitstellung aus Re-Use und Recycling viele Potenziale und Lösungsansätze für vorherrschende Probleme eröffnet – vor allem im dichten urbanen Gebiet.



4.4 Städtebaulicher Kontext

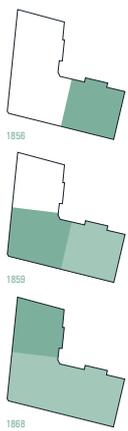
Verortung

Der Bauplatz befindet sich im 5. Wiener Gemeindebezirk an der Hofmühlgasse Ecke Mollardgasse. Das Gebiet ist **dicht besiedelt** und **pulsiert** – die Lage zwischen Gumpendorferstraße und Mariahilferstraße im Nordwesten und Margaretenplatz im Südosten sowie der Knotenpunkt der U-Bahn auf der Pilgramgasse schaffen eine äußerst **rege, städtische Situation**. Es handelt sich um ein Mischgebiet mit Bebauung vorwiegend zu Wohnzwecken. Entlang der **verkehrsreichen** Straßenzüge Hofmühl-/Pilgramgasse und der Wienzeile sind zahlreiche Versorger untergebracht, die die Erdgeschoßzone **beleben** und eine Schnittstelle zwischen Privat und Öffentlich darstellen. In nächster Umgebung sind weiters zahlreiche Museen und andere kulturelle Einrichtungen zu finden.

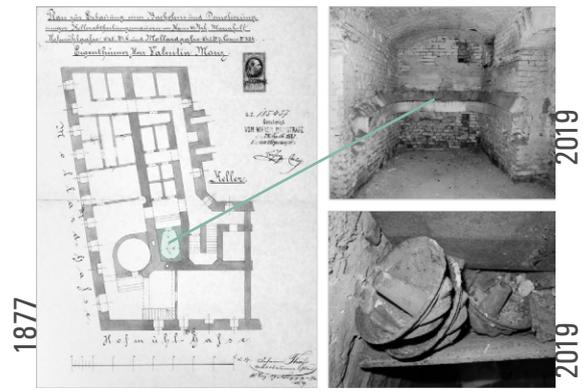
An der gegenüberliegenden Straßenseite der Mollardgasse befindet sich eine Grün- & Sportanlage. Durch den Abriss des Bestandsgebäudes am Bauplatz wurde diese freie Zone erweitert und bietet somit großes **Potenzial**, um eine prominente Nutzung zuzufügen, die einen Mehrwert für die Bevölkerung schafft und dem ‚Grätzel‘ einen neuen Charakter verleiht, der den Grundstein für ein neues, **kreislaufgerechtes Stadtgebiet** legt.



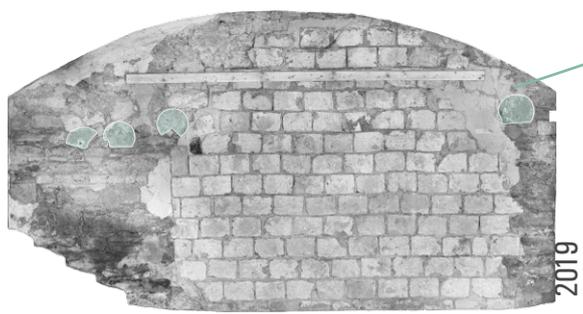
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien-Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien-Bibliothek.



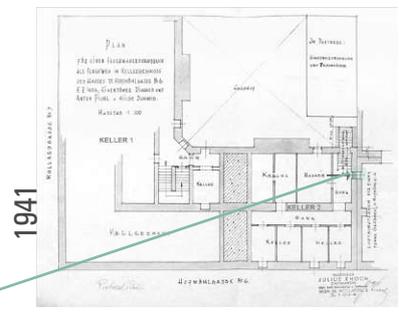
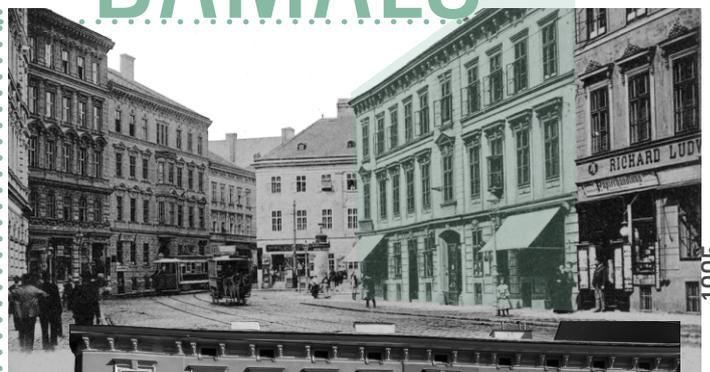
Bis Mitte des 19. Jh. war das Gebiet an den Ufern des Wienflusses Überschwemmungen ausgesetzt. Nach Regulierung der Wasserläufe und der Errichtung von Abwasserkanälen wurde das Gebäude in der Hofmühlgasse Ecke Mollardgasse in 3 Phasen errichtet.



Im Keller an der Mollardgasse befanden sich Arbeitsräume einer Bäckerei, 2019 waren sogar noch Spuren des alten Ofens erkennbar. Außerdem wurden Gugelhupfformen und ein Mehlsieb gefunden.



Historische Entwicklung DAMALS

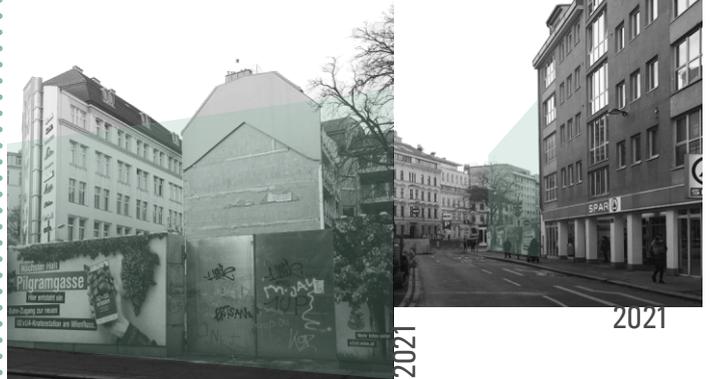


Im Keller an der Hofmühlengasse wurde eine Mauer von etwa 1856 gefunden, die Spolien in Form von fragmentierten Steinscheiben enthielt. „Es handelte sich um wiederverwendetes Baumaterial, das einst eine andere Funktion hatte.“ Auch eine breite Vermauerung mit Gewölbeziegeln der Wienerberger Ziegelei ist zu finden, die eine ehemalige Verbindung zum Nachbarkeller verschließt.

HEUTE



Die Stadt Wien wächst. Somit wird auch die Infrastruktur den neuen Anforderungen angepasst. Im Zuge der Bauarbeiten der neuen U2-Station Pilgramgasse wurde das Haus an der Ecke Hofmühlgasse/Mollardgasse Ende 2019 abgebrochen.



„Geplant ist ein Wohnhaus. Über die Architektur dieses Hauses ist noch nichts bekannt.“

Trotz erhaltener historischer Fassade des über 160 Jahre alten Gebäudes musste es weichen damit das Grundstück für die kommenden Bauarbeiten genutzt werden kann. Hier wird nun im östlichen Bauplatzbereich bis Ende 2028 ein neuer Stationszugang durch die Wiener Linien errichtet. Danach soll das restliche Grundstück veräußert und bebaut werden.

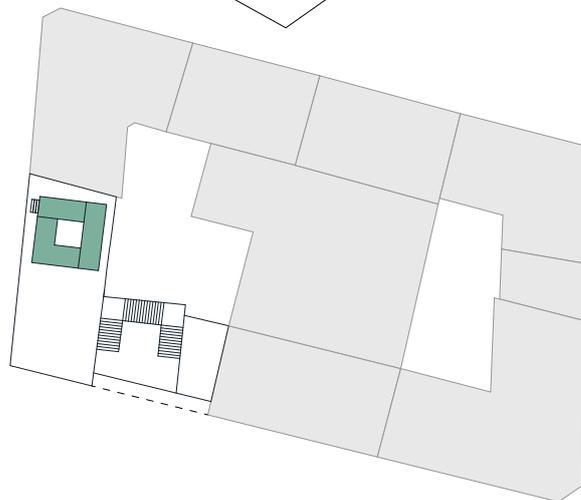
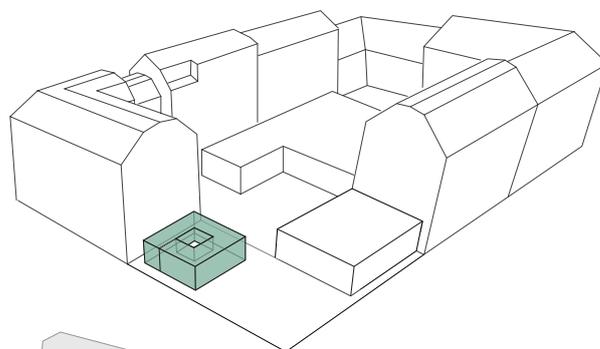
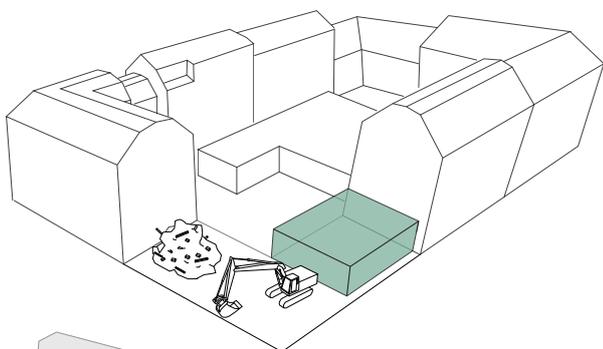


ZEITNAH

Im Juni 2020 wurden im neuen [Flächenwidmungsplan](#) u.a. die Bestimmungen für den Bauplatz festgelegt. Das den Bauplatz umgebende Gebiet ist vorwiegend von Wohn- und Schutzzonen geprägt.

Der [U-Bahn Zugang](#) soll im östlichen Teil des Bauplatzes entstehen. Es ist ein Treppenaufgang, Aufzüge, Betriebsräume und Räumlichkeiten für technische Anlagen geplant.

Der [DO-TANK Circular City](#) kann im nördlichen Teil des Bauplatzes entstehen. Er soll als Informationspavillon und interdisziplinärer Vermittler als skalierbares Vorbild für Bauvorhaben dienen.

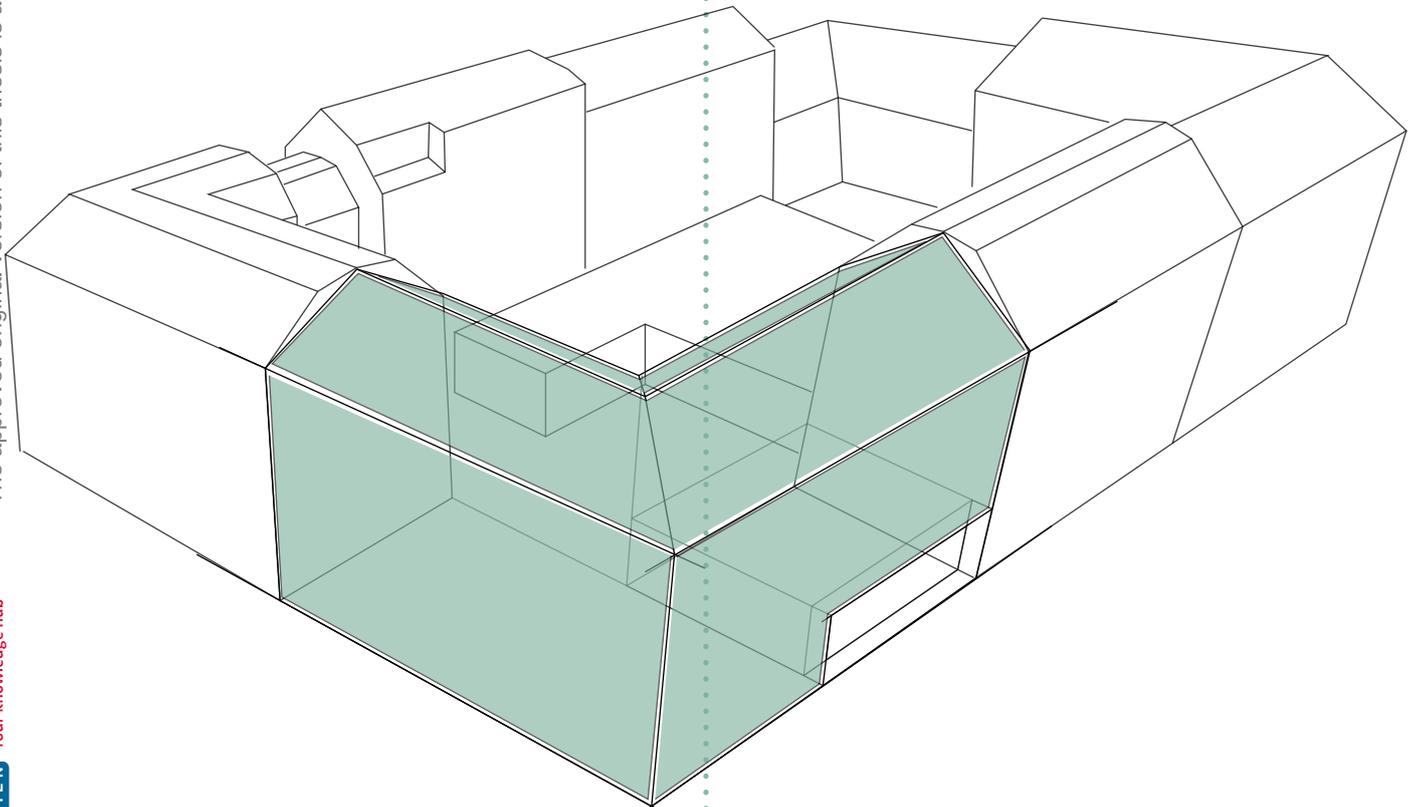


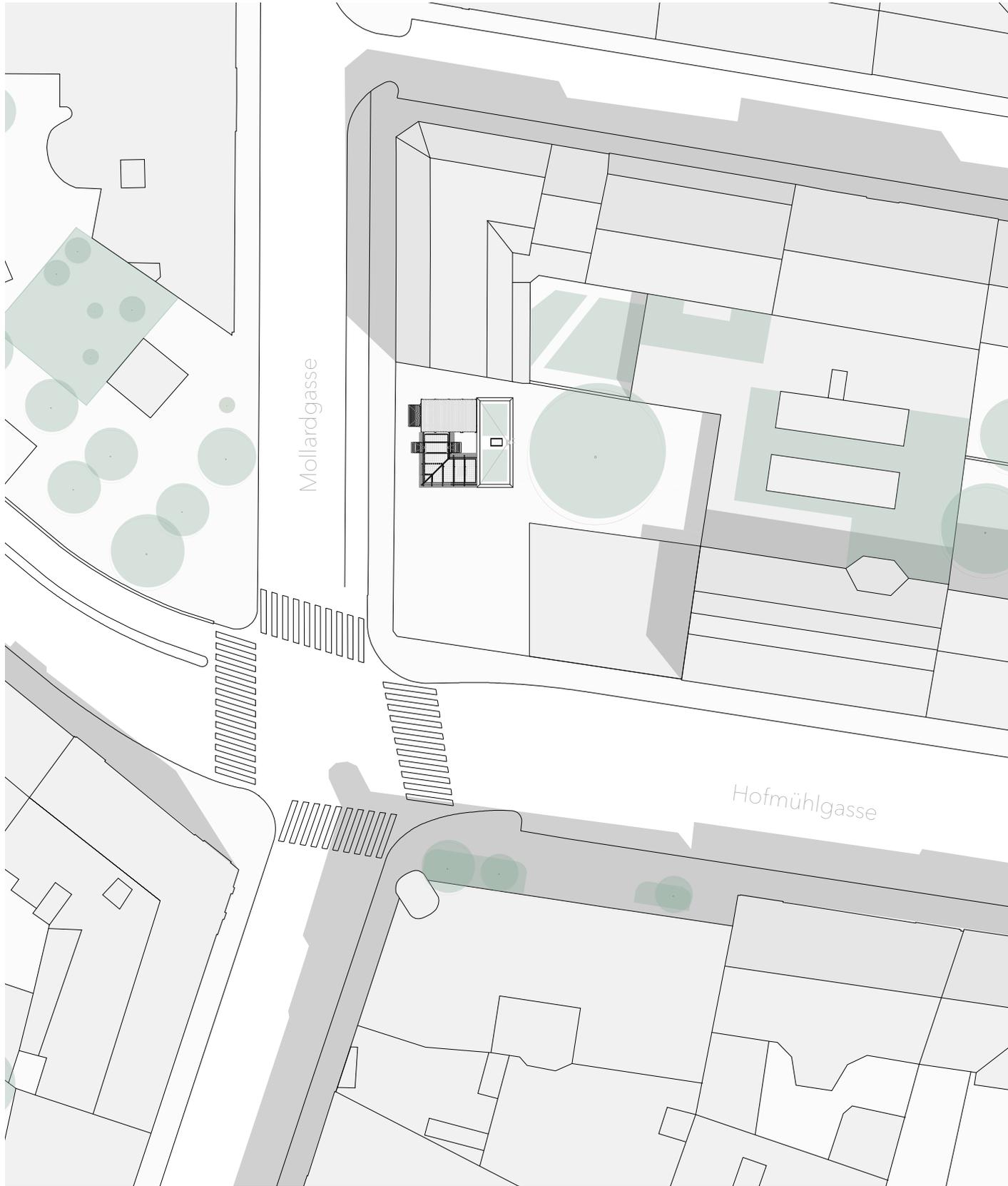
KÜNFTIG?

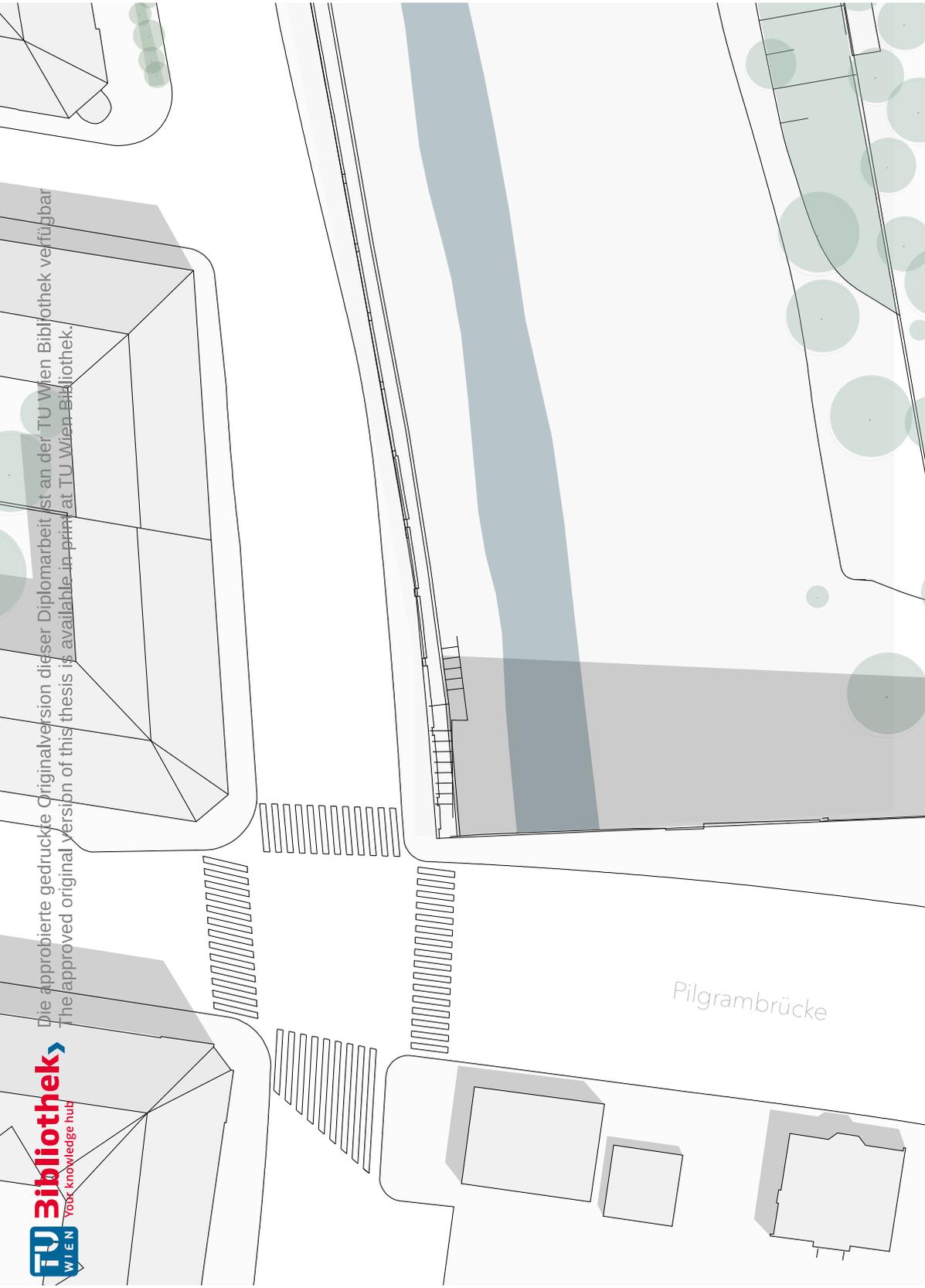
„Baulücken kreislaufgerecht schließen“ sollte als oberste Prämisse gelten. Dadurch könnte ein anthropogenes Lager und eine zukunftsweisende Architektur mit Mehrwert geschaffen werden.

Die Stadt Wien wächst. Folglich werden auch potentielle Lücken in der Stadt verdichtet. Wäre es in Anbetracht der klimatischen Herausforderungen nicht wichtig, diese Verdichtungen so zu vollziehen, dass sie nicht nur das Stadtbild aufwerten sondern auch Mehrwert schaffen?

Nach Fertigstellung der Bauarbeiten der Wiener Linien soll auf dem Bauplatz ein neues Gebäude entstehen. Es ist noch unklar, wie dieses aussehen bzw. welche Nutzung es bieten wird. Eins ist jedoch klar: der Neubau soll sich in das Umfeld einfügen, die vorhandenen Straßenzüge aufwerten und der prominenten Lage Tribut zollen.

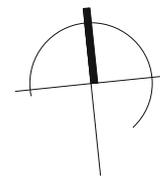






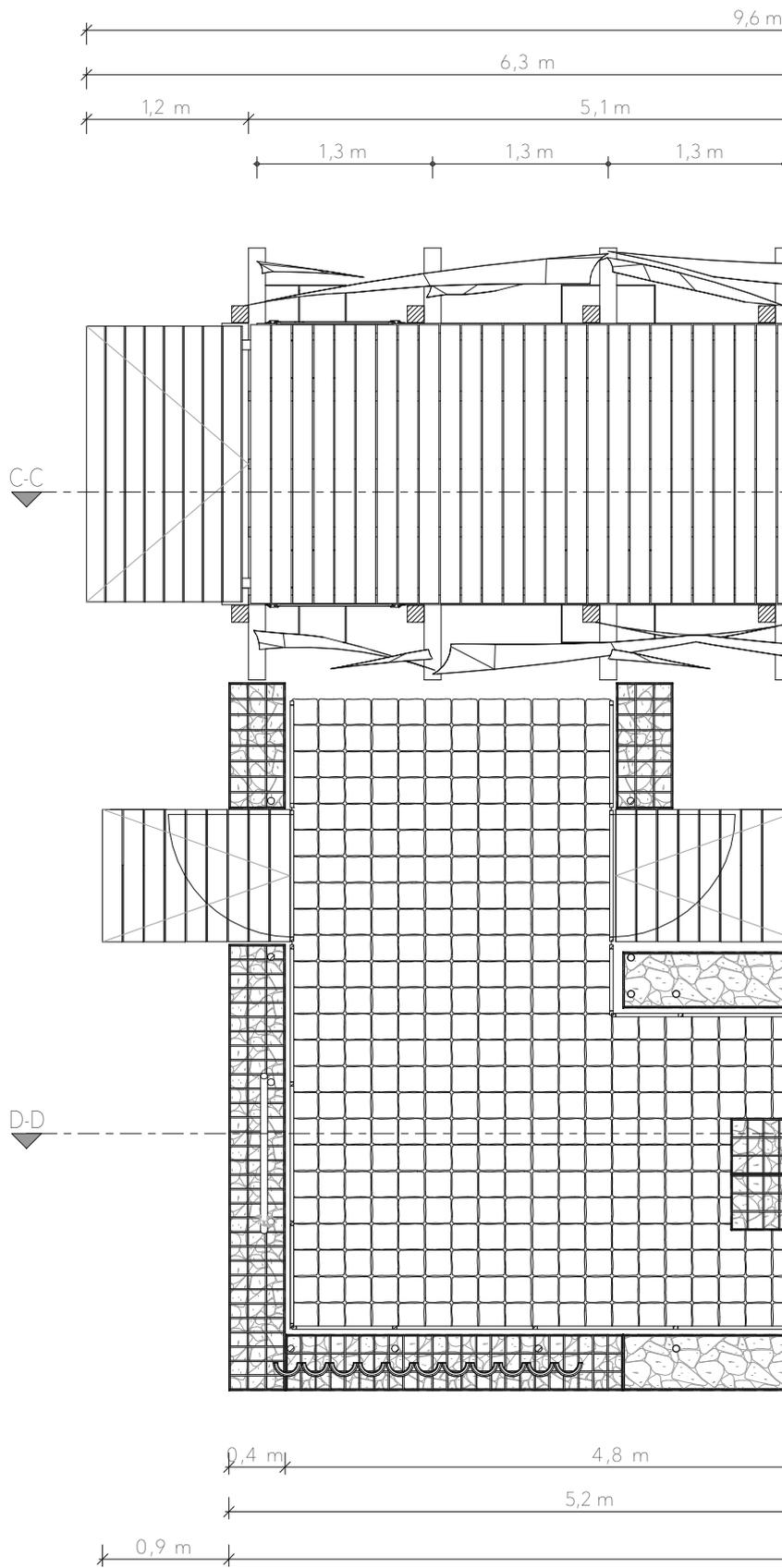
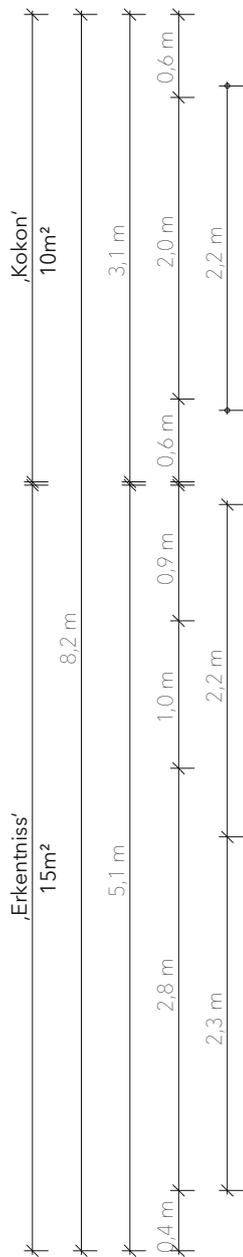
4.5 Pläne/Konstruktion

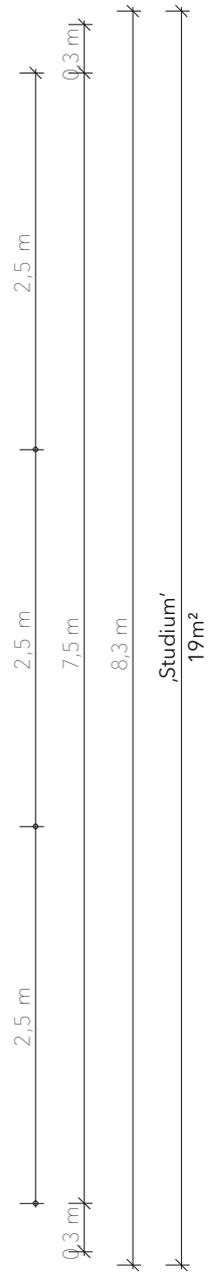
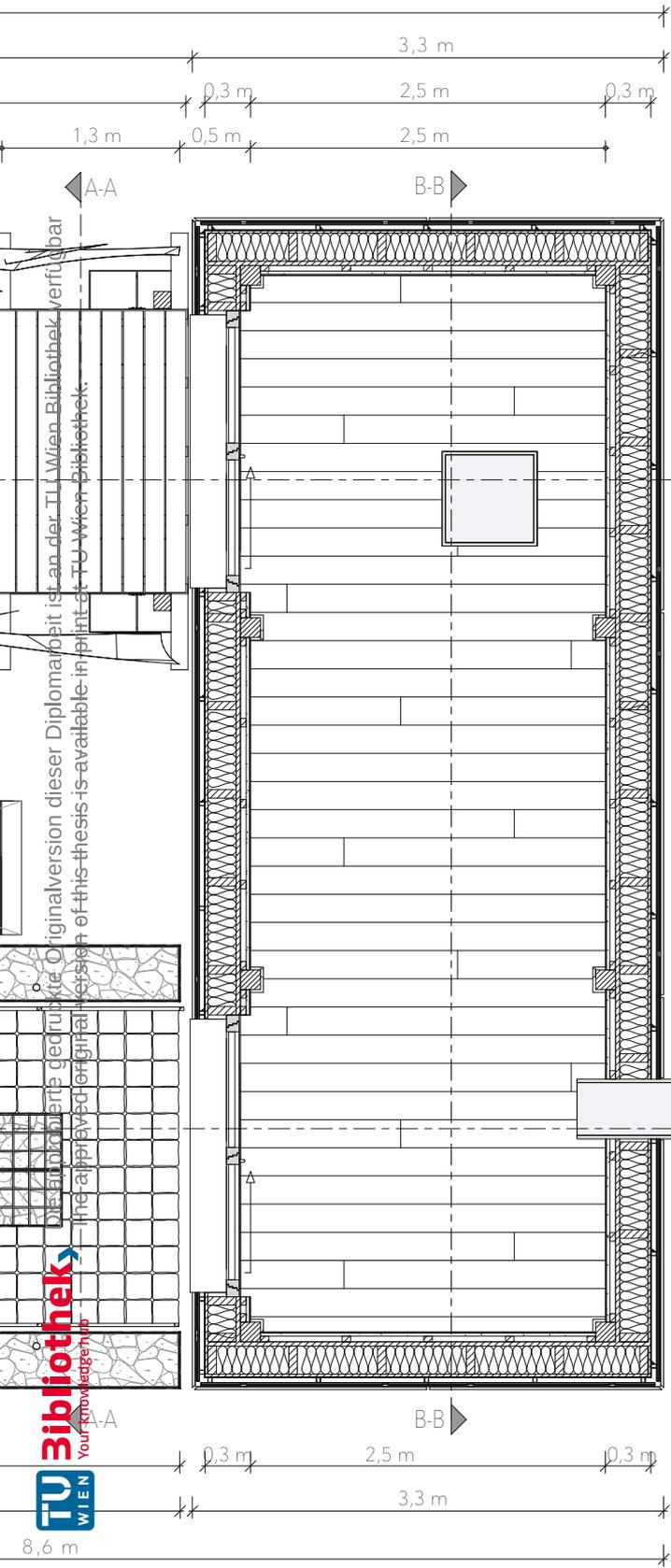
Lageplan
M 1:500



Grundriss

M 1:50





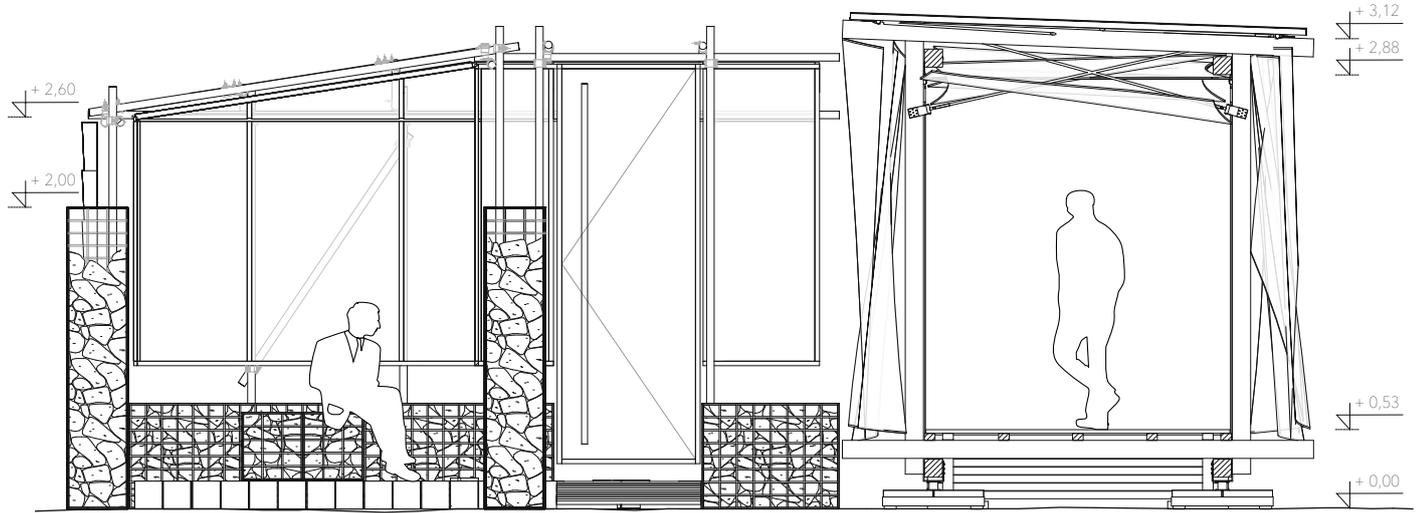
„Studium“
19m²



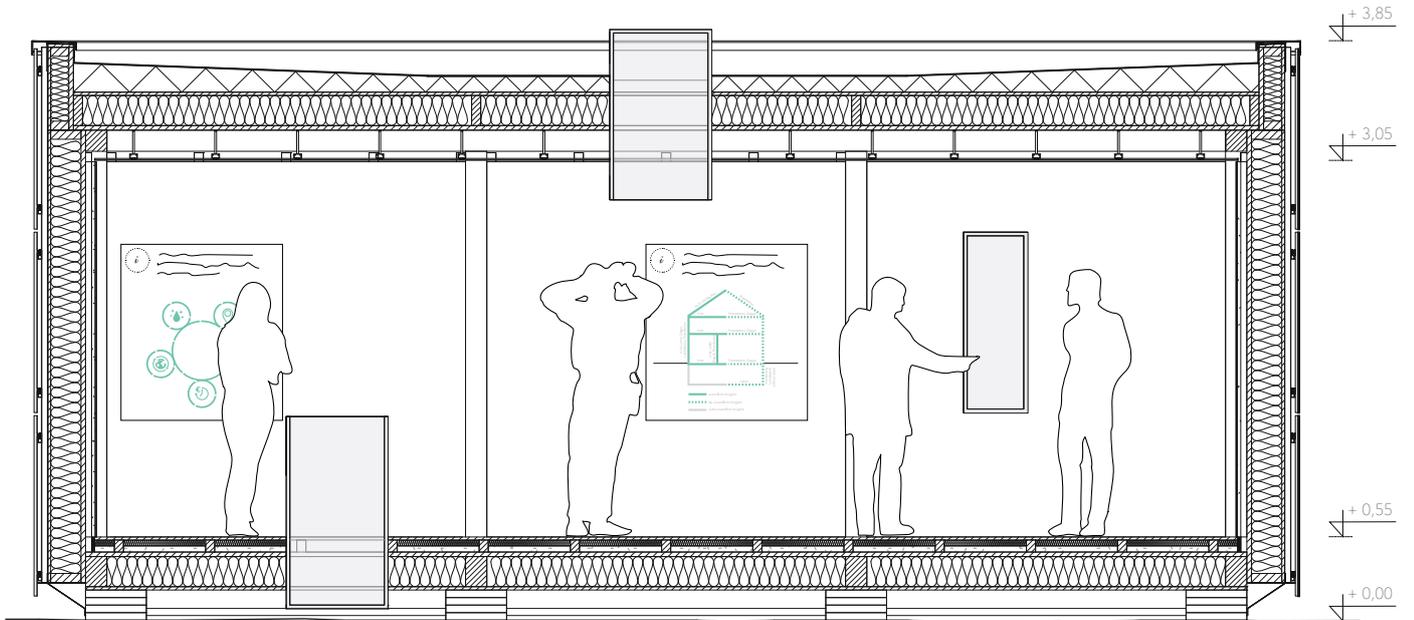
Schnitte

M 1:50

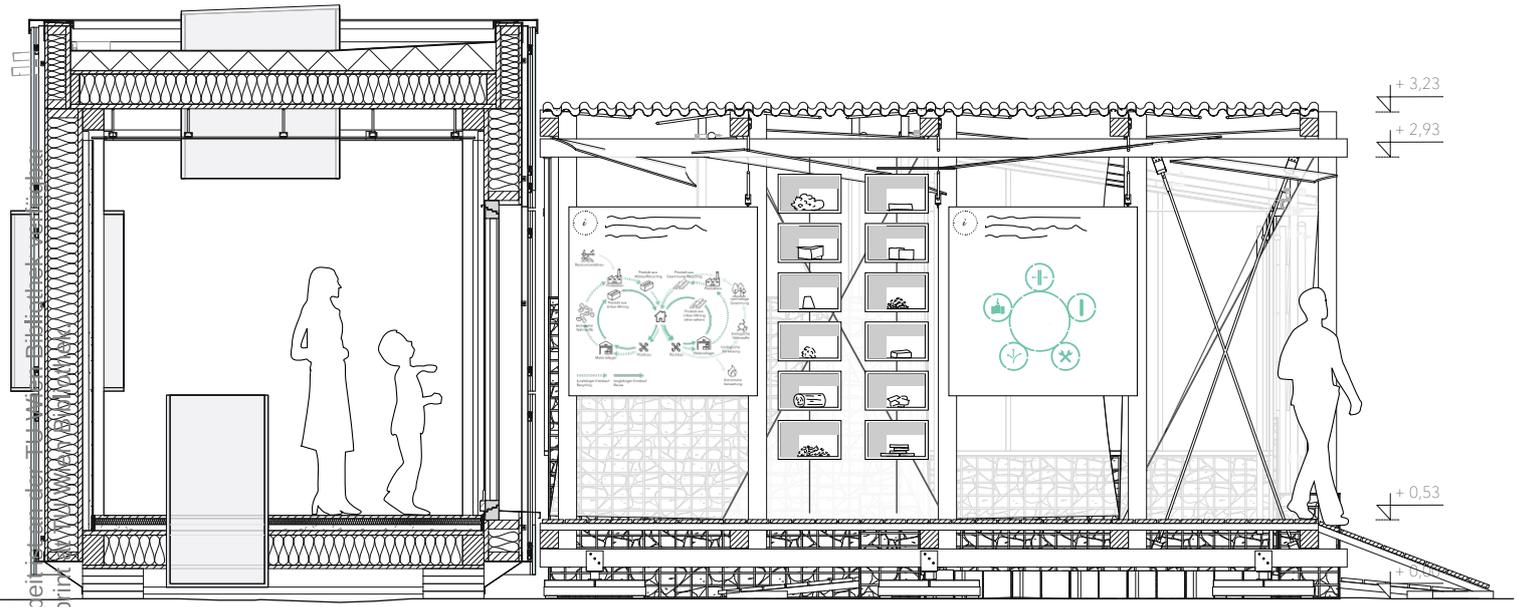
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



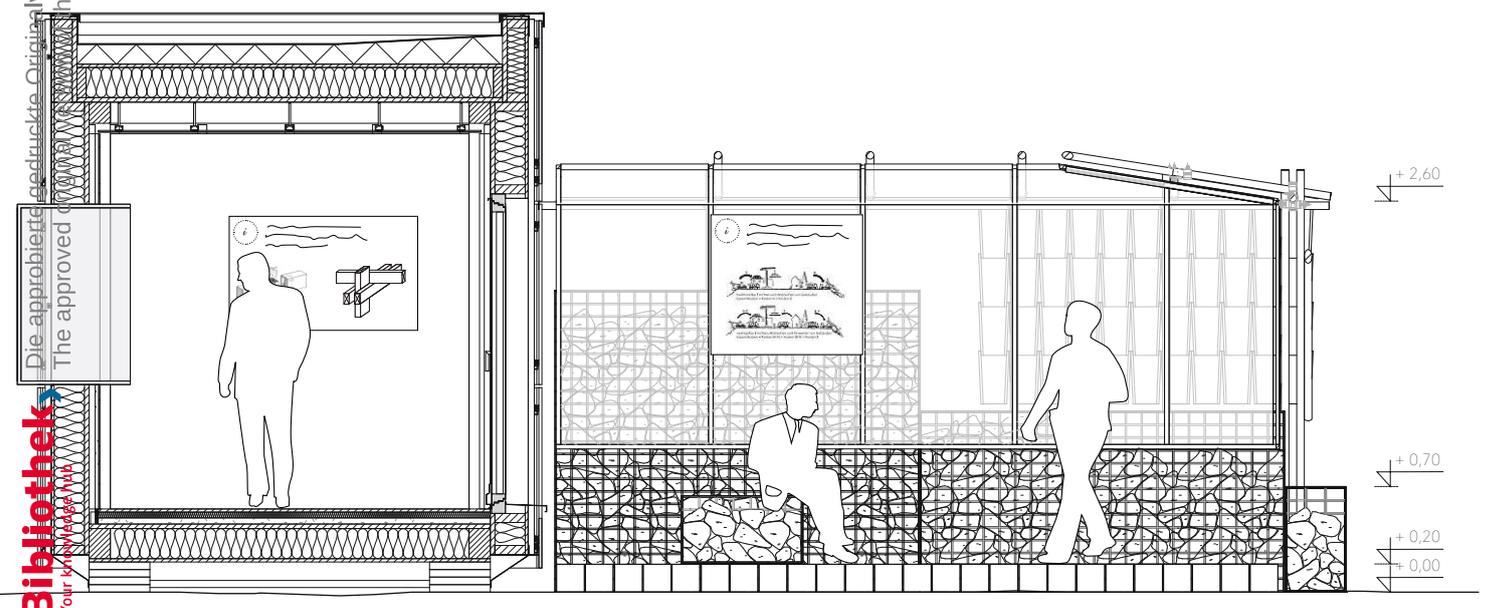
Schnitt A-A



Schnitt B-B



Schnitt C-C



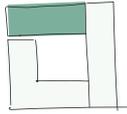
Schnitt D-D

Die approbierte Originalversion dieser Diplomarbeit
 in this thesis is available in print

Die approbierte
 The approved

Bibliothek
 Your knowledge partner

TU
 WIEN



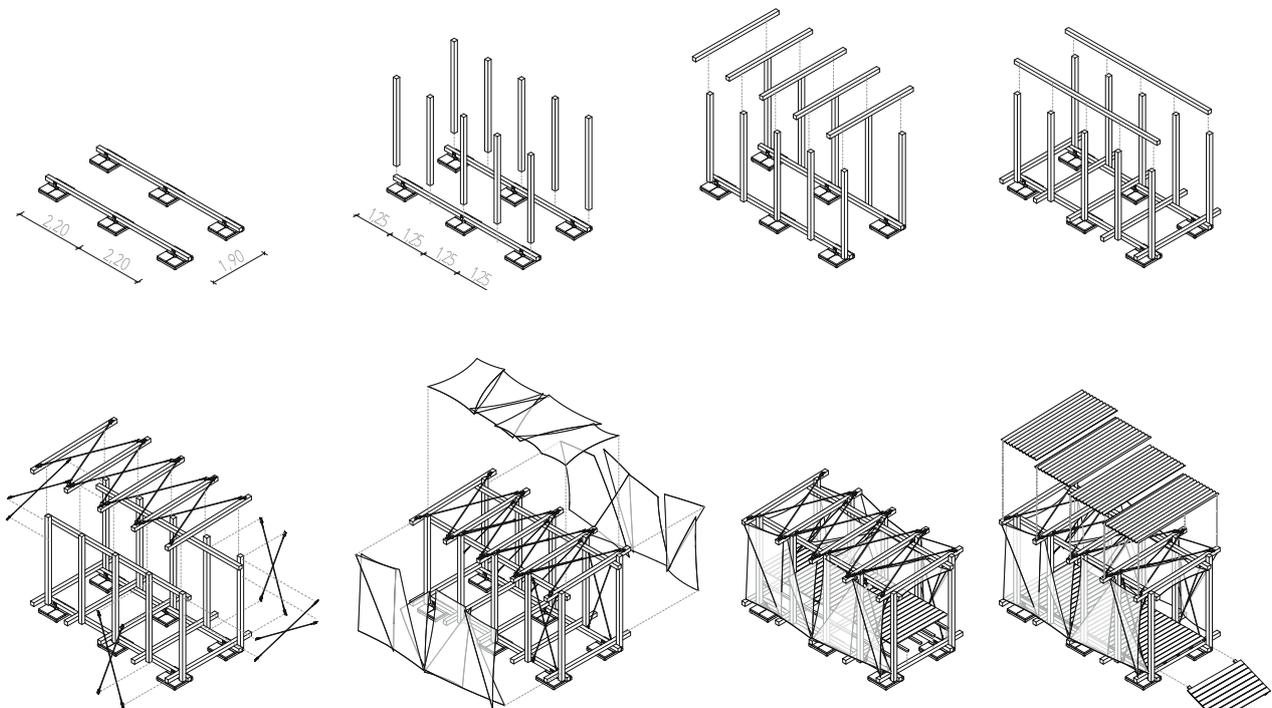
Konstruktion & Materialität 'Kokon'

Die Konstruktion des ‚Kokons‘ besteht aus einer Holzkonstruktion, die an eine Pergola erinnert. Das Tragwerk wird mittels U-Profilen in Sockelfundamenten, mit Betonsteinen beschwert, befestigt. Die Holzkonstruktion ist somit aufgeständert und gegen Witterungseinflüsse an der Bodenebene geschützt.

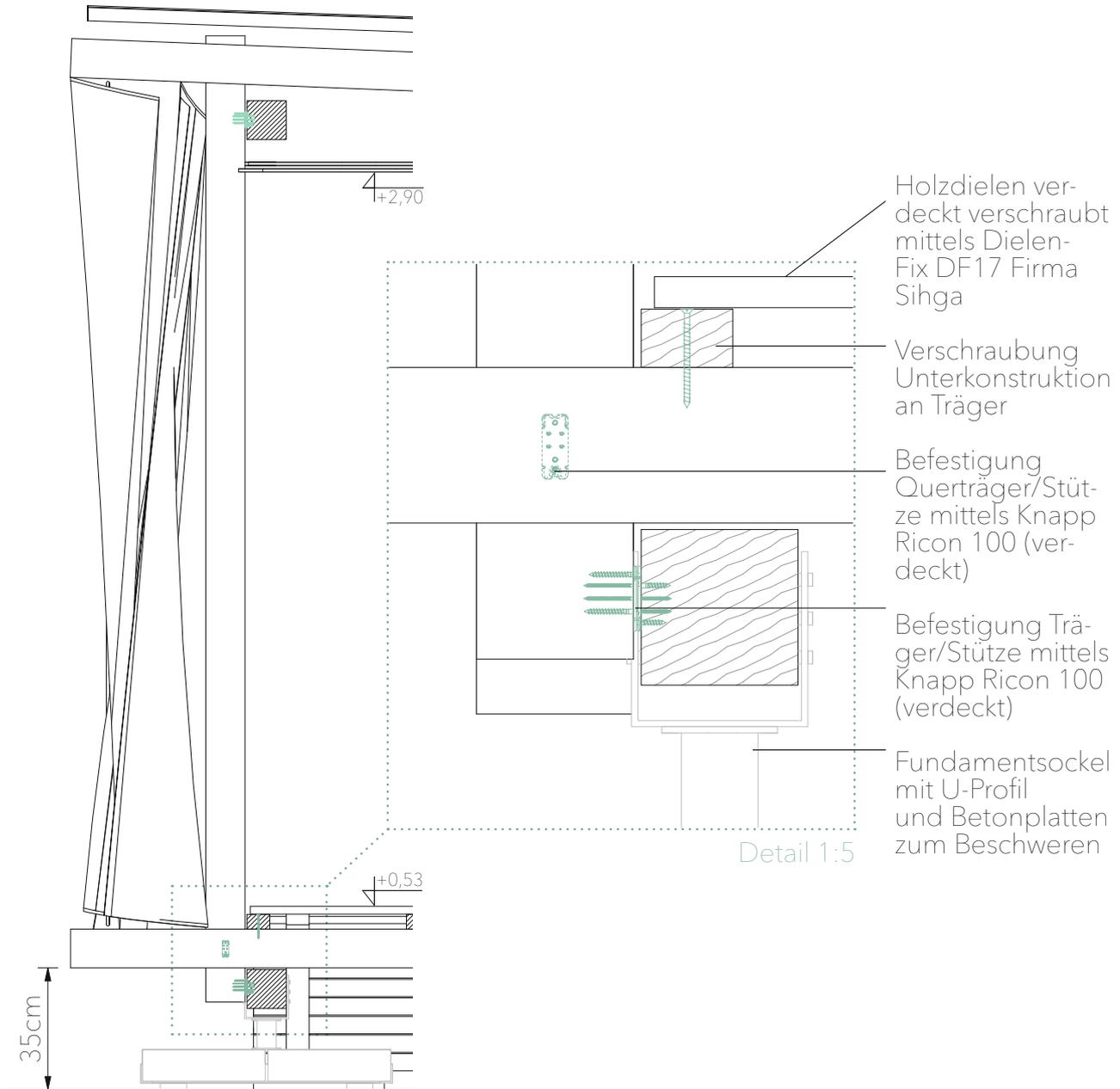
Vollständig recycelbare ETFE-Membranen bieten Witterungsschutz und hüllen die Konstruktion wie einen Kokon. Der Hersteller (NOWOFOL® Kunststoffprodukte GmbH & Co. KG) bietet eine Herstellerrücknahme an und führt alte Produkte erneut in den Produktionsprozess ein.

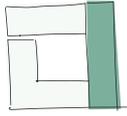
Das Dach wird mit Polycarbonat Wellplatten, die mittels Schraubverbindungen an der Konstruktion befestigt sind, eingedeckt, um einen Witterungsschutz und das Abführen von Wasser bzw. Schnee zu ermöglichen.

Polycarbonatplatten können i.d.R. einem hochwertigen, mehrfachen Recycling zugeführt werden.²⁴²



²⁴² Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 75.

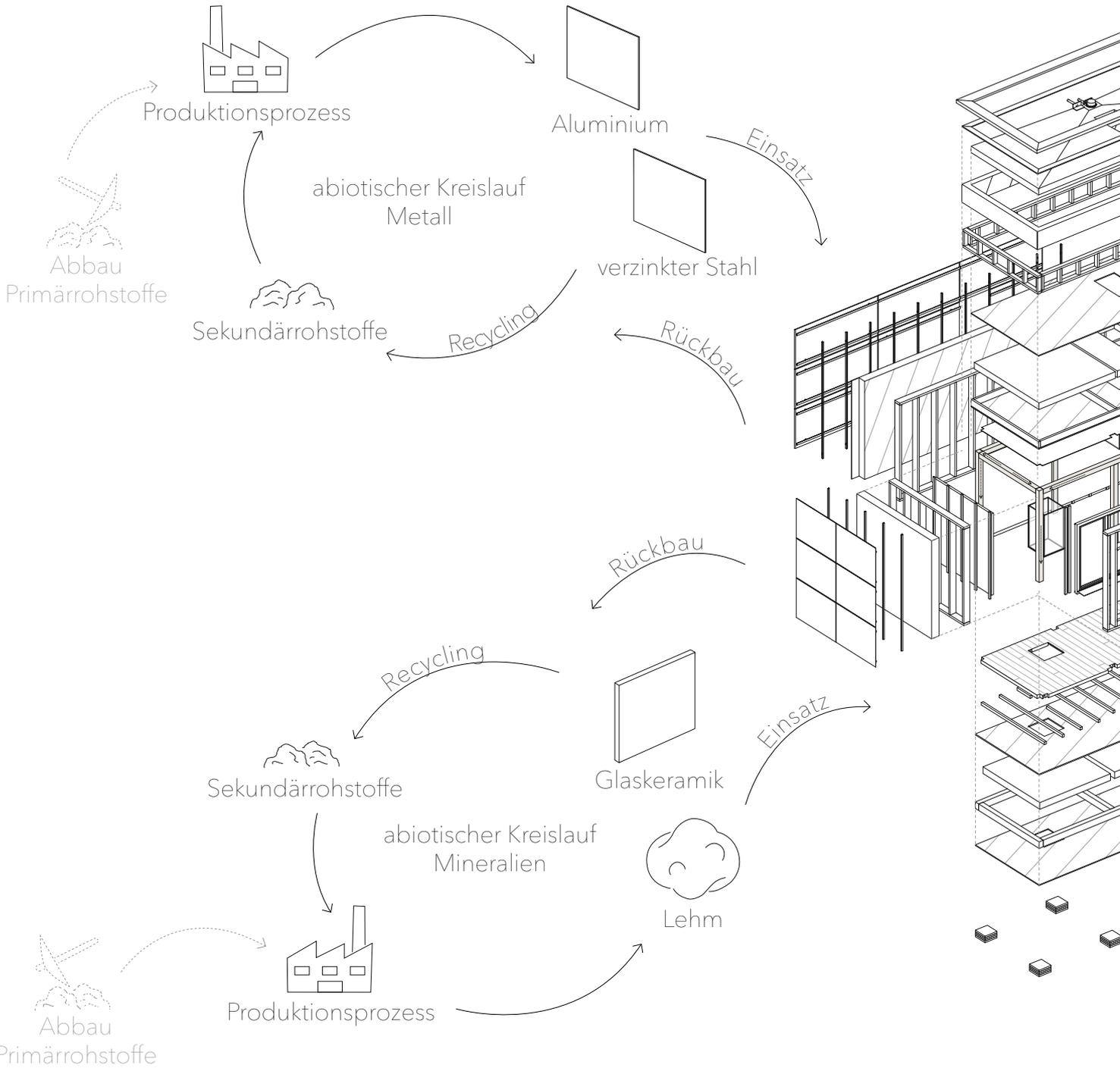




Konstruktion & Materialität

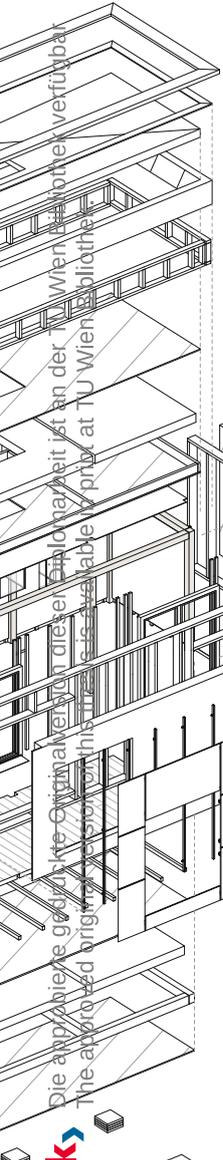
„Studium“

Materialkreisläufe

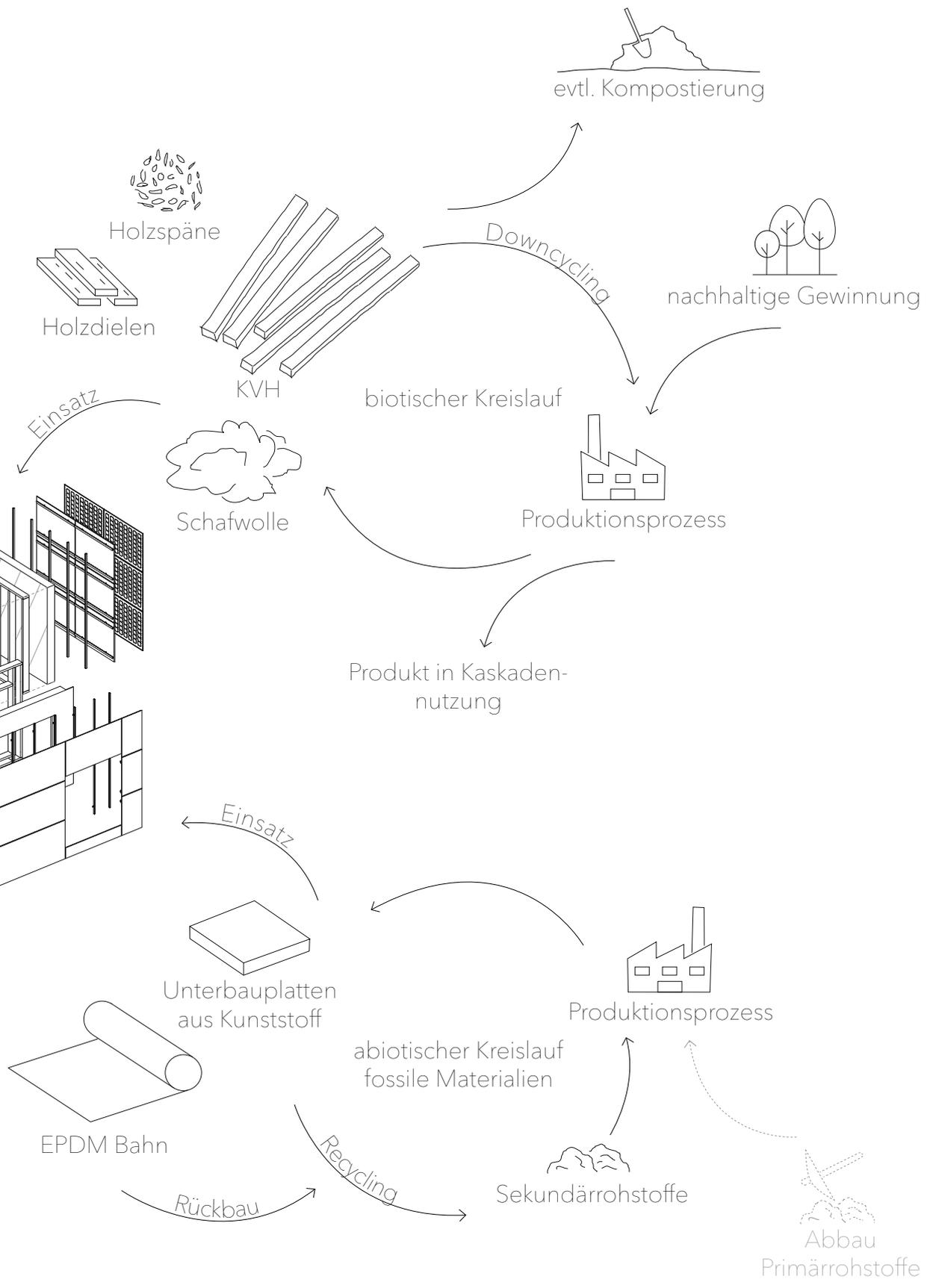


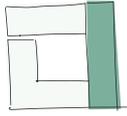
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.





Die abgebildete geographische Information ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
 The illustrated geographical information is available in print at TU Wien Bibliothek

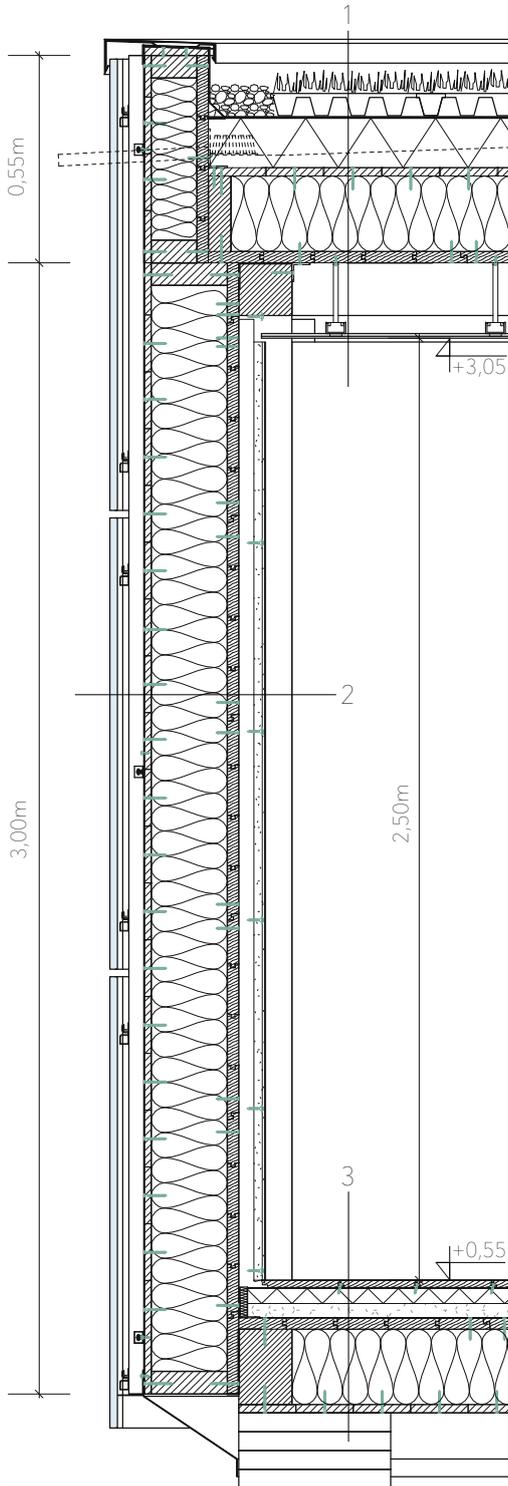




Konstruktion & Materialität 'Studium'

Fassadenschnitt M 1:20

Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



1. Dach (Aufbau von außen nach innen):

-  90 mm Sedum Kraut in Sedum-Kassette, *lose verlegt* / Randkiesstreifen
-  4 mm Dachabdichtungsbahn 2-lagig, 100% EPDM, sd: 140 m, homogene Verklebung der Stöße, wurzelfest, *lose verlegt*
-  100 mm Holzfaserdämmplatte im Gefälle (5-10cm), Lignin-gebunden (Nassverfahren), diffusionsoffen, $\lambda = 0,04$ W/mK, *lose verlegt*
-  20 mm Schalung, Fichte, unbehandelt, in Nut und Feder verbunden, *verschraubt*
-  200 mm Dachsparren Kantholz 200/60 mm, Fichte unbehandelt, *verschraubt*
-  dazwischen: Dämmbahn sortenreine Schafschurwolle, $\lambda = 0,036$ W/mK, *ingelegt*
-  30 mm Diagonalschalung Massivholzplatte, Weißtanne, Einzelbretter der Platte mit Schwalbenschwanz-Verbindung untereinander verbunden (luftdichte Nut-Feder-Verbindung mittels werkseitig eingeklemmter Quellbänder), *verschraubt*
-  140 mm Tragwerk KVH Träger 140x140mm, *verdeckt verschraubt & eingehängt* mittels Knapp Verbinder Ricon 100 aus verzinktem Stahl
-  180 mm UK abgehängte Decke, C-Profile 2 mm Aluminium, *verschraubt & eingehängt* dazwischen: Installationsebene Elektro für Beleuchtung
-  0,2 mm metallische Klettverbindung 30/2,5/0,2mm, Chrom-Nickel-Stahl, *magnetisch* an UK befestigt, in textile Deckenbespannung *ingenäht*
-  5 mm textile Deckenbespannung 5 mm, Schafwollefilz, Befestigung über *metallische Klettverbindung*

Dachrandabschluss:

-  2 mm Attikablech, Aluminium gekantet, auf Haufe *geklemmt*
-  EPDM Abdichtungshochzug mittels Attikablech *geklemmt*
-  12-20mm Holzgefällebohle, Fichte unbehandelt, *verschraubt*

2. Außenwand (Aufbau von außen nach innen):

	22 mm	Glaskeramiktafel, 100 % Altglas, mit Hinterschnittankern in Agraffenhalterung verdeckt verschraubt / Fassadenelemente mit integrierten PV-Modulen
	40 mm	Rechteckrohr 40/30/2 mm, Aluminium, verschraubt an Wandelementen über L-Winkel
	2 mm	Winddichtung Schafschurwollfilz auf Kraftpapier mit biologischem Kleber, diffusionsoffen, stoßüberlappend getackert
	18 mm	Schalung Fichte, unbehandelt, Nut-Feder-Verbindung, verschraubt
	200 mm	Rahmen Kantholz 200/100 mm, Fichte unbehandelt, verschraubt dazwischen: Holzhobelspandämmung mit Lehmummantelung, naturbelassene Holzspäne aus heimischem Fichtenholz, $\lambda = 0,042$ W/mK, werkseitig eingebaut
		
	30 mm	Diagonalschalung Massivholzplatte, Weißtanne, Einzelbretter der Platte mit Schwalbenschwanzverbindung untereinander verbunden (luftdichte Nut-Feder-Verbindung mittels werkseitig eingeklemmter Quellbänder), verschraubt
	140 mm	Tragwerk KVH Stütze 140x140mm, verschraubt mittels Winkel an Decke dazwischen: Lattung KVH Fichte 40/60 mm, unbehandelt, verschraubt
	22 mm	Lehmbauplatte (Speichermasse) verschraubt auf UK mit Lehmbauplattenschrauben im Abstand <20cm
	3 mm	Lehmfeinputz, gespachtelt mit naturbeschaffener Armierung aus Jutefaser, ingelegt in Mörtel
	3 mm	Lehmfeinputz weiß, gespachtelt

3. Deckenaufbau geg. Außenluft (Aufbau von innen nach außen):

	20 mm	Holzdielen Eiche, naturbelassen, in Nut und Feder, verdeckt verschraubt
	80 mm	Lagerhölzer 60/80 mm, Fichte, unbehandelt, lose verlegt auf Schafschurwollfilz dazwischen: 40 mm, Dämmbahn Schafschurwolle, $\lambda = < 0,036$ W/mK, lose verlegt auf Masseschüttung Lehm 40 mm, eingefüllt
		
	0,25 mm	Rieselschutz: Kraftpapier (100 % Zellulosefaser von langfaserigen Nadelhölzern) stoßüberlappend, lose verlegt
	20 mm	Randdämmstreifen aus 100 % Hanfstopfwolle, gestopft
	30 mm	Diagonalschalung Massivholzplatte, Weißtanne, Einzelbretter der Platte mit Schwalbenschwanzverbindung untereinander verbunden (luftdichte Nut-Feder-Verbindung mittels werkseitig eingeklemmter Quellbänder), verschraubt
	200 mm	Deckenbalken KVH 140/200 mm, heimische Fichte, unbehandelt, verschraubt dazwischen: Holzhobelspandämmung mit Lehmummantelung, naturbelassene Holzspäne aus heimischem Fichtenholz, $\lambda = 0,042$ W/mK, werkseitig eingebaut
		
	22 mm	Schalung Holz GK 2, Dauerhaftigkeitsklasse DC 2, Lärche, in Nut & Feder, verschraubt
	50 mm	Abstandhalter Bautenschutzmatte recyceltes Gummigranulat 10x10x5cm
	50 mm	4x Unterbauplatten aus recyceltem Kunststoff 40x40x5cm

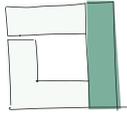
Legende: Verbindungsmittel

	Auflegen
	Schrauben
	Einlegen
	Einhängen
	Magnetverbindung
	Klettverbindung

	Klemmen
	Einfüllen
	Tackern/Nageln
	Auftragen
	Stopfen

vsl. End of Life Szenario (siehe Abb. 4.5.4-1)

	Wiederverwendung (Re-Use)		Weiterverwertung (Downcycling)
	Wiederverwertung (Recycling)		Herstellerrücknahme
	Weiterverwendung (Further Use)		Kompost
			therm. Verwertung



Konstruktion & Materialität

„Studium“

Optimierung & exemplarische Anwendung an Bauteil

Generell ist festzuhalten, dass die ausgearbeiteten Aufbauten und Konstruktionen nicht zwangsläufig unüblich sind, sondern lediglich Optimierungen für die Kreislauffähigkeit vorgenommen wurden. Dadurch soll auch der springende Punkt hinter dem kreislaufgerechten Planen und Bauen untermauert werden:

es geht nicht darum, eine neue Bauweise zu etablieren, sondern die Methoden und Vorgehensweisen so zu verbessern, dass aus kostbaren Ressourcen Wert geschöpft werden kann, ohne dass diese nach ihrem (oft nur einmaligem) Gebrauch als Abfall auf Deponien landen.

Durch Aufzeigen einer beispielhaften Optimierung des Bauteils Außenwand soll dies exemplarisch dargestellt werden (siehe Grafik rechts), wobei die gewählten Aufbauten bauphysikalisch und technisch miteinander vergleichbar sind.

Bei der Optimierung wurden die in Kapitel 3 beschriebenen Handlungsparameter zur Hilfe genommen.

Anschließend wird die Anwendung der konstruktiven und materiellen Parameter exemplarisch an einem Bauteil, der Außenwand, aufgezeigt. Dabei werden die Strategien bei der Wahl der Konstruktion und Materialien argumentiert.

Die Wahl der Baustoffe bzw. -produkte erfolgte nach intensiver Recherche der EPDs bzw. technischen Datenblätter sowie ggf. unter Absprache mit den Produzenten.

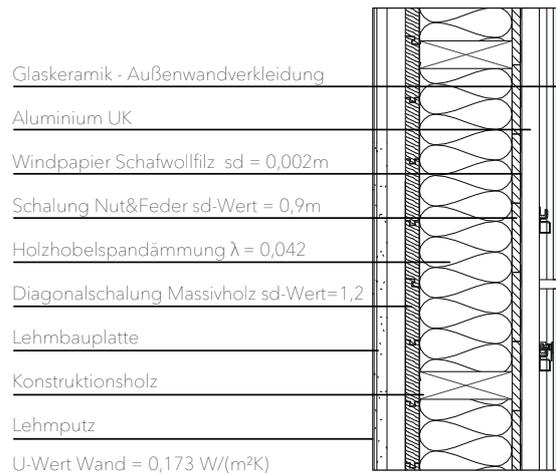
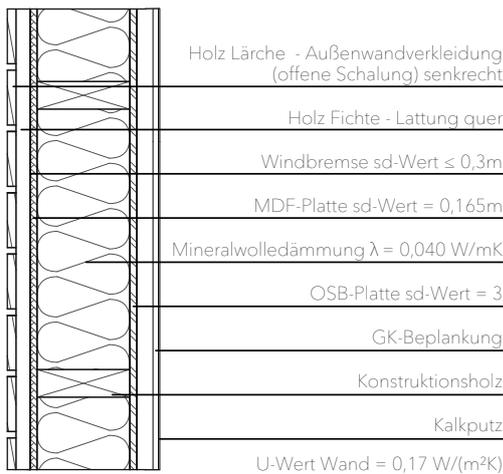
So wurden auch gezielt Informationen, die nicht in den Produktbeschreibungen vorhanden waren bzw. fehlten, nachgefragt (zum Beispiel: „Ist hier tatsächlich kein Brandschutzmittel vorhanden, dass die Sortenreinheit und somit eine spätere Verwertung beeinflusst?“). Der Kontakt zu den Firmen erfolgte telefonisch bzw. schriftlich per E-Mail.

das Holz wird am Lebenszyklusende aufgrund seines hohen Heizwerts vorwiegend der energetischen Verwertung zugeführt - kaum Wertbeständigkeit & Re-Use Potenzial

Austausch gegen Außenwandverkleidung mit hoher Wertbeständigkeit & Langlebigkeit um Anreiz für Re-Use zu schaffen

Mineralwolle: nicht sortenrein (viele untersch. Rohstoffe & Zusätze die Recycling behindern) keine nachwachsenden Rohstoffe

Austausch gegen Holzhobelspanndämmung (75% - nachwachsend) mit Lehmummantelung (25% - nicht nachw. aber behindert Recycling nicht)



Gips stellt in mineralischem Bauschutt einen Störfaktor dar (siehe Kapitel 2.5.2)

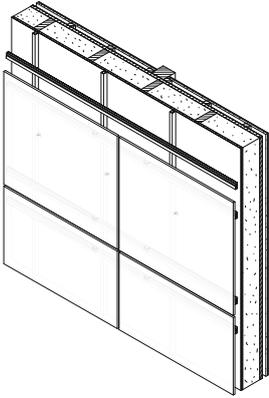
Lehmbaumaterialien lassen sich leicht replastifizieren; positive Wirkung auf Raumklima

MDF-Platten enthalten einen Bindemittelanteil von ca. 3 bis 15 %, welche die Sortenreinheit beeinflussen

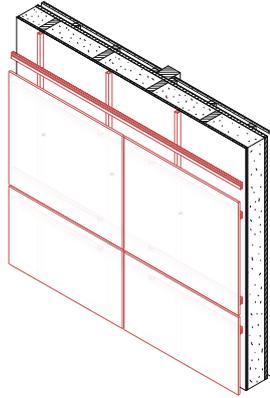
Austausch gegen naturbelassene Holzschalung mit Nut-Feder-Verbindung + Windpapier aus Schafwollfilz - Trennung in 2 Schichten

Die gegenübergestellten Aufbauten erfüllen beide ähnliche Anforderungen an Brandschutz, Diffusionsdichtheit und Wärmedämmung

Bauteil



Bauelement



Bauteilschicht/Konstruktion

1. Außenhaut/Bekleidung
2. Unterkonstruktion
dazw. Luftschicht

i

Vorgehängte Hinterlüftete Fassade (VHF):

- ⊕ Befestigung über gut lösbare Schraubverbindungen bzw. Agraffenhalterungen
- ⊖ - (kein monomaterieller Aufbau)
- ↕ VHF-Systeme bieten generell einen hohen Grad an Flexibilität, da die vorgehängten Platten beliebig austauschbar sind
- 🏠 Einzelbauteile sind vorgefertigt; von Witterung unabhängige Montage
- ✕ leichte Demontage; „Der Demontageaufwand steht in engem Zusammenhang mit dem Wert der Materialien.“²⁴³ - Glaskeramikplatten haben großes Potenzial zur Wiederverwendung = hoher Verwertungserlös ergibt lohnende Demontage

sonstiges: verbesserter sommerlicher Wärmeschutz und Schutz gegen Durchfeuchtung dank Luftschicht

²⁴³ Hillebrandt et al., 2018, S. 111.

Material

i

Glaskeramikplatte: Produkt Magna Glaskeramik GmbH; Zusammensetzung: zusammengesinteres Altglas

-  keine Schad-/Störstoffe
-  hergestellt aus 100% Altglas bzw. Industrieabfällen, lt. Hersteller kann das Produkt nach Nutzung vollständig dem Glasproduktionskreislauf zugeführt werden (pot. geschlossener Kreislauf)
-  Produktion in Teutschenthal, DE; Rohstoffe aus lokalen Altglassammelstellen
-  sehr lange Lebensdauer (50+)
-  repräsentativer, hochwertiger Charakter und auffälliges Erscheinungsbild

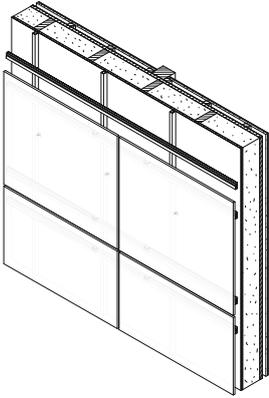
sonstiges: Cradle to Cradle Zertifikat Gold;
umweltbewusster Produktionsprozess: Großteil des Energiebedarfs über eigene Solaranlage generiert, Wasser aus Herstellungsprozess wird wiederaufbereitet und mehrfach verwendet; witterungsbeständig; BK A1

i

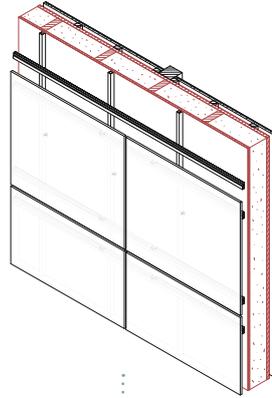
Alluminium:

-  organische Beschichtungen als Korrosionsschutz statt Legierungsbestandteile die Qualitätsverlust in Recycling verursachen
-  am häufigsten vorkommendes Metall, Verknappung des Primärrohstoffs nicht in Sicht ABER Herstellung von Primäraluminium aus Bauxiterz ist höchst umweltschädlich (giftiger Rotschlamm als Abfallprodukt) - daher nur Herstellung aus Sekundärrohstoffen vertretbar! (Urbane Mine)
-  keine Primärrohstoffvorkommen in Ö aber Recycling aus Sekundärstoffen ist etabliert - viele Sammelstellen & Produktionen in lokaler Umgebung
-  lange Nutzungsdauer, Langlebigkeit wird über Recycling unterstützt
-  Alu-Schrott i.d.R. gut recycelbar = wertschöpfende Rückgewinnung

Bauteil



Bauelement



Bauteilschicht/Konstruktion

1. winddichte äußere Beplankung
2. tragende Rahmenkonstruktion
dazw. Wärmedämmung
4. aussteifende, luftdichte innere
Beplankung

i

Holzrahmenbauelement:

- ⊕ Holzrahmenbauweise mit mehreren, lösbaren Schichten, Schraub- & Klemmverbindungen
- ↻ erlaubt flexible Gestaltung der Öffnungen für Türen/ Fenster
- 🏭 hoher Grad an Vorfertigung gegeben
- ⊗ Montage & Demontage kann leicht erfolgen

sonstiges: nach außen hin diffusionsoffener Aufbau
(Optimierung zu gängiger Bauweise siehe S. 184)

Material

i

Winddichtpapier aus Schafschurwollfilz auf Kraftpapier, Firma Woolin

-  mechanisch gefilzte Schafwolle (frei von Bindemittel und Stützfasern) geklebt mittels biologischem Kleber (Lösungsmittelfrei) auf Kraftpapier
-  Schafwolle ist ein Nebenprodukt der Schafzucht somit nachhaltig & nachwachsend, zudem können Kleinbauern unterstützt werden
-  lokales Produkt - Innervillgraten, Ö

i

Holzschalung Fichte Nut & Feder Verbindung & KVH Rahmenkonst. Fichte

-  unbehandelt (konstruktiver Holzschutz)
-  Möglichkeit der nachhaltigen Gewinnung aus zertifizierter Forstwirtschaft
-  lokales Produkt - Fichte: am häufigsten vorkommende Baumart in Ö

i

Holzhobelspäne: Produkt Naturdämmstoff Jasmin, Holz-Lehmhaus GmbH Zusammensetzung lt. Hersteller: 75 % Hobelspäne, 25 % Lehm

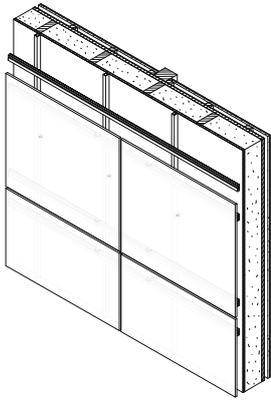
-  frei von kontaminierenden Zusätzen wie Borsalzen, Polymeren, Molke, Soda, Zement, Aluminiumsulfaten, Paraffin oder Ammoniumsulfaten
Lehmummantelung um Brandschutz zu erhöhen (beeinträchtigt eine Verwertung nicht)
-  aus biotischen (nachwachsend) & mineralischen (endlich) Rohstoffen
-  Rohstoffe & Produktion in Salem, DE

i

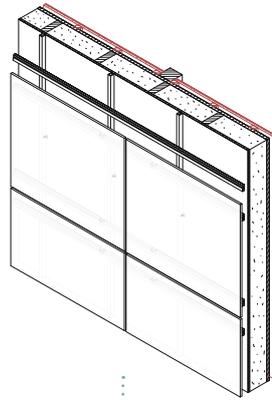
Massivholz-Schalung: Produkt GFM-Diagonalplatte Typ A, Massivholz Junker GmbH

-  unbehandelte Einzelbretter leimfrei mit Schwalbenschwanzverbindung zu Platte verbunden, luftdichte Nut-Feder-Verbindung einzelner Platten mittels werkseitig eingeklemmter Quellschichten
-  Schwarzwälder Weißtanne aus PEFC-zertifizierter Waldwirtschaft
-  Rohstoffe & Produktion in Nordach, DE

Bauteil



Bauelement



Bauteilschicht/Konstruktion

1. Traglattung vertikal mit Leitungsführung
2. Bepunktung
3. Armierungslage
4. Oberflächenfinish

i

Installationswand: Trennung Rohbau - Ausbau:

- ⊕ leicht lösbare Schraubverbindungen
- ⊕ Installationsebenen bieten grundsätzlich eine hohe Flexibilität
- ⊗ hohe Reparaturfreundlichkeit und einfache Demontage

Material

i

KVH Fichte

-  unbehandelt (konstruktiver Holzschutz)
-  Möglichkeit der nachhaltigen Gewinnung aus zertifizierter Forstwirtschaft
-  lokales Produkt - Fichte: am häufigsten vorkommende Baumart in Ö

i

Lehmbauplatte: Produkt Lehmbauplatte 22, Firma Andreas Zöchbauer GmbH Zusammensetzung lt. Hersteller: Lehm, Ton, Holzfaser, Stärke, Jutegewebe (wand- seitig)

-  keine Schad-/Störstoffe, reines Naturprodukt
 -  aus NAWAROs & endlichen Rohstoffen (Lehm) - Verknappung jedoch nicht in Sicht (Loop über Recycling)
 -  lokal verfügbare Rohstoffe, Abbau & Produktion in Winzing (NÖ)
- sonstiges: Luftfeuchtigkeitsregulierend, geringer Primärenergieaufwand bei der Herstellung (Pressverfahren), sehr gute Schallschutzeigenschaften

i

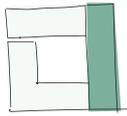
S&L Lehmfeinputz 0/2, Firma Andreas Zöchbauer GmbH Zusammensetzung lt. Hersteller: Lehm, Ton, Quarzsande, Körnung bis max. 2 mm

-  keine Schad-/Störstoffe, reines Naturprodukt
 -  endliche Rohstoffe, Verknappung aber nicht in Sicht (Loop über Recycling)
 -  lokal verfügbare Rohstoffe, Abbau & Produktion in Winzing (NÖ)
- sonstiges: Reversibilität der Tonbildung schafft Reparaturfreundlichkeit, gesundes Raumklima

i

Jutefaserarmierung

-  keine Schad-/Störstoffe, reines Naturprodukt
-  nachwachsender Rohstoff, zertifizierte Gewinnung mögl.
-  lokal verfügbar



Konstruktion & Materialität ,Studium'

Qualitative Bewertung der Kreislauffähigkeit der Konstruktion

Unter Zuhilfenahme des im Atlas Recycling vorgestellten Bewertungstools ',Urban-Mining-Index'', entwickelt im Zuge der Dissertation durch Dr. Ing. Anja Rosen (siehe Kapitel 2.5.6.6.4, S. 99), werden die Nachnutzungspotenziale aller verbauten Materialien entsprechend ihres End-of-Life Szenarios (siehe Kapitel 2.5.4, Tab. 2-3) als ',End-of-Life-Potenzial' ausgewiesen und wie folgt dargestellt:

 <p>Wiederverwendung / Re-Use Kommt ein Produkt zum ursprünglichen Zweck erneut zum Einsatz, handelt es sich um Wiederverwendung/Re-Use. Hier eingeordnet werden Baustoffe, die langlebig, modular oder großformatig sind und/oder für die ein Markt existiert oder zukünftig angenommen werden kann, z. B. hochwertige Hölzer wie Eichenbalken, Naturstein- und Glasplatten, Klinker oder formstabile bzw. verrottungsfeste Schüttgüter wie Sand oder Schaumglasschotter.</p>	 <p>Wiederverwertung / Recycling Werden aus Altstoffen unter Auflösung der Produktgestalt in einem nahezu geschlossenen Verwertungskreislauf neue Ausgangsstoffe für Werkstoffe der gleichen Qualitätsstufe hergestellt, handelt es sich um Wiederverwertung/Recycling. Dazu eignen sich alle Closed-Loop-Materialien, also vor allem Metalle, aber auch biotische oder mineralische Stoffe wie z. B. Kork oder Lehm.</p>
 <p>Weiterverwendung / Further Use Lässt sich ein altes Bauteil oder Bauprodukt zwar nochmals einsetzen, jedoch nicht für den ursprünglichen Zweck, handelt es sich um Weiterverwendung/Further Use. Alle Baustoffe, die zur Wiederverwendung geeignet sind, lassen sich selbstverständlich auch für einen anderen Zweck, möglicherweise auf geringerer Qualitätsstufe, weiterverwenden.</p>	 <p>Weiterverwertung / Downcycling Kann ein Stoff aus einem Verwertungsprozess nur unter Qualitätsverlust wieder entnommen werden, so handelt es sich um Weiterverwertung. Hier werden Stoffe eingeordnet wie z. B. Beton, stofflich verwertbare Hölzer wie geschützt eingebaute Hölzer und Althölzer, die schon wiederverwendet worden sind, sortenreine Kunststoffe, deren Nutzung und Verwertung immer mit Qualitätsverlust im Recycling verbunden ist.</p>
 <p>Herstellerrücknahme Hier besteht die Zusage des Herstellers, seine Produkte/Materialien nach der Nutzung zum Zweck des Recyclings im geschlossenen Produktkreislauf zurückzunehmen. Gleichzeitig werden diese Materialien aber auch alternativ einem Verwertungskreislauf zugeordnet.</p>	 <p>Kompostierung Die Kompostierung naturbelassener Baumaterialien in Kompostierungsanlagen ist heute noch nicht üblich, wird aber als zukünftige Verwertungsmöglichkeit angenommen.</p>
 <p>energetische Verwertung Der energetischen Verwertung werden z. B. der Witterung ausgesetzte Hölzer, Holzwerkstoffe und biotische Dämmungen (Ende der Nutzungskaskade, sofern nicht kompostierbar) oder nicht masserelevante Baustoffe (Klebbänder, Dübel, Silikon, Elastomerauflager und weniger sortenreiner Kunststoff-folien) zugeführt.</p>	 <p>Deponie Klasse 0/Verfüllung Inertstoffe (z. B. gering belastete mineralische, nicht recyclingfähige Materialien), die auf einer Deponie der Klasse 0 abgelagert werden müssen, werden in den hier vorgestellten Konstruktionen vermieden.</p>
 <p>Deponie Klasse I und II Baustoffe, die ausschließlich deponierbar sind, wurden in den hier ausgewählten Konstruktionen nicht verwendet.</p>	 <p>Deponie Klasse III und IV / Gefahrstoffe Gefahrstoffe sind in den hier gezeigten Konstruktionen nicht enthalten.</p>

Abb. 4-1: Nachnutzungspotenziale nach Recyclingweg - ',End-of-Life-Potenzial'

Dabei weist das Nachnutzungspotential aus, was lt. aktuellem Stand der Technik, nach bester Möglichkeit, am Ende des Lebenszyklus mit einem Baustoff geschieht. Gegebenenfalls wurde dies auch lt. Angabe des jeweiligen Produktherstellers angepasst.



Wiederverwendung / Re-Use

Lehmschüttung, Glaskeramiktafel*, Holzhebelspandämmung*, Sedum-Kassette, Holzdielen Eiche, Unterbauplatten, Kies (Randstreifen Dach), PV-Modul samt UK, Bautenschutzmatte



Wiederverwertung / Recycling (auf gleicher Qualitätsstufe)

Lehmbauplatte*, Glaskeramiktafel (nachrangig)*, UK abgeh. Decke Aluminium, metallische Klettverbindung, Attikablech Aluminium, UK Aluminium Fassade



Weiterverwendung / Further Use



Weiterverwertung / Downcycling (Qualitätsverlust)

Lagerhölzer Fichte, KVH Fichte, Lattung, Diagonalschalung Massivholzplatte*, Holzschalung, Dachabdichtungsbahn EPDM*, Schafschurwollfilzbespannung & Trittschalldämmschutzstreifen, Holzgefällebohle



Herstellerrücknahme

Holzhebelspandämmung Jasmin*, Membranen aus PTFE*



Kompostierung

Hanfstopfwohle, Dämmbahn aus Schafschurwolle, Holzfaserdämmplatte, Lehmbauplatte*, Lehmfeinputz*



Energetische Verwertung

Rieselschutz Kraftpapier Zellulosefaser, Winddichtung Schafschurwolle auf Kraftpapier



Deponie Klasse 0 / Verfüllung

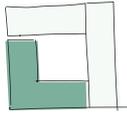


Deponie Klasse I und II



Deponie Klasse III und IV / Gefahrstoffe

*lt. Angabe Hersteller



Konstruktion & Materialität ,Erkenntnis'

Der Ausstellungsbereich ,Erkenntnis' soll den Umgang mit unserer gebauten Umwelt thematisieren und die Themen Rückbau, Abbruch, End-of-Life und Abfallproduktion thematisieren.

Wie in Kapitel 2 beschreiben, ist der Abbruch von Gebäuden heute immer noch gängige Praxis, wodurch viel, hauptsächlich mineralischer, Bauschutt entsteht. Dazu kommt, dass dieser Bauschutt aufgrund von mangelnder Vorselektierung Schad- und Störstoffe enthält, die ein Recycling verhindern. So enden viele Materialien auf Depo-nien, gehen uns also als Wertstoffe verloren.

Um dieses problematische Thema kritisch zu beleuchten, wird in diesem Teil des Pavil-lons mineralisches Abbruchmaterial in Gabione gefüllt und so ein ,gestaffelter Sockel' gebildet der den Ausstellungsbereich umhüllt. Die in den beschwerten Gabionen be-festigte Stahlkonstruktion aus Baugerüstelementen soll als ,Rankgerüst' für Re-Use Ma-terialien dienen, die aus der gebauten Stadt von Abbrucharbeiten gewonnen werden. In Workshops rund um den Pavillon können Materialien gerettet und neue Bauteile, wie z.B. Fassadenelemente, spielerisch entwickelt werden und dadurch ein zweites Le-ben erhalten. Die folgend angeführten Beispielprojekte zeigen wie Re-Use Bauele-mente in Workshops entwickelt wurden.

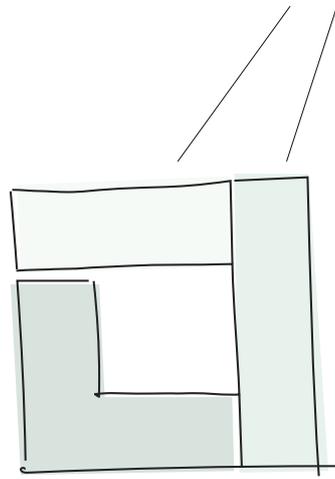
Dieser Teil der Ausstellung soll demnach nicht nur thematisieren, welche Vorteile die Anwendung der zuvor in den beiden Ausstellungsbereichen ,Kokon' und ,Studium' vor-gestellten materiellen und konstruktiven Strategien bringt, sondern auch den Einsatz von Re-Use Materialien und Bauteilen propagieren.

1.

Durch Auswahl geeigneter Materialien und Verbindungstechniken wurde ein Materiallager geschaffen!
Die Pavillonbereiche ‚Kokon‘ und ‚Studium‘ konnten detailliert geplant werden.

3.

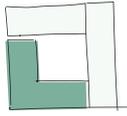
‚Erkenntnis‘ dockt an ‚Kokon‘ an
→ Schließung des Kreislaufs!
Materialien können in einen zweiten, dritten, vierten Nutzungszyklus übergehen und ergänzen als Re-Use oder Recyclingmaterial Rohstoffe aus der Primärgewinnung



2.

ABER: Welche Möglichkeiten eröffnen sich, wenn auch Materialien aus der Urbanen Mine genutzt werden? (Re-Use)

→ Ergebnis ist (mit jetzigem Stand) nicht 100% planbar (es kann nur das verbaut werden, was in der Urbanen Mine gefunden wird) → dieser Pavillonteil soll sukzessive wachsen (Workshops vor Ort)!



Konstruktion & Materialität

„Erkenntnis“

Lasst uns Bauen!

Rund um den Pavillon sollen Workshops zum Thema Re-Use und Urban Mining stattfinden. Die so entstehenden Re-Use Bauelemente können auf oder um den „Erkenntnis“-Teil des Pavillons platziert werden. Das Baugerüst bietet die Möglichkeit z.B. Fassadenelemente daran zu befestigen.

Der partizipative Bauprozess soll den Diskurs rund um das Bauen mit „Vorgefundenem“ anregen. Solche Projekte haben sich in der Vergangenheit als durchaus positiv herausgestellt (siehe Beispiele).

Fallbeispiel 1: Rebeauty – TU Wien
Im Rahmen der Entwerfen „Rebeauty I+II“ sind an der TU-Wien alte Materialien aus Abbruchgebäuden „gemined“ und neu interpretiert worden. Dabei entstanden zahlreiche 1:1 Bauteil-Prototypen wie z.B. Fassadenelemente für Vorhangfassaden (siehe Abb. 4-2 u. Abb. 4-3). Die Studierenden haben sich besonders mit den Materialeigenschaften der vorgefundenen Elemente auseinandergesetzt, um ein Gefühl dafür zu entwickeln, wie diese beschaffen sind, wie man sie bearbeiten kann und wie sie in einen neuen Kontext gesetzt werden können. So lautete eine zentrale Fragestellung: „Was will das Material sein?“²⁴⁴



Abb. 4-2: Re-Use Bauelemente aus alten Wandverkleidungen, abgehängten Decken und anderen „geschürften“ Werkstoffen



Abb. 4-3: Fassadenpaneel aus Aluminium-Lamellen alter Jalousien

²⁴⁴ Aufschnaiter, Hannah / Carola Stabauer: rebeauty: design for disassembly and reuse S 2018, Wien: Eigenverlag Abteilung Raumgestaltung und Entwerfen, 2019, S. 103, S.131.

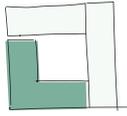
Fallbeispiel 2: Nordic Wood Waste for Good - Nordisk Kulturfond

Die Workshops rund um das laufende Projekt ‚Nordic Waste Wood for Good‘ finden in Dänemark, Finnland, Schweden und Norwegen statt. Dabei will man einen kulturellen Austausch anregen, bei dem die Studierenden mit Experten und Expertinnen aus unterschiedlichen Disziplinen zusammen an Ideen zum Re-Use von Altholz arbeiten. Dabei wird ein Schwerpunkt auf Architektur und kulturelle Werte gelegt. Die Projektinitiatoren wollen, angesichts der Aktualität des Themas der Ressourceneffizienz und zirkulärer Strategien, gezielt auf kulturelle, ästhetische und gesellschaftliche Aspekte im Zusammenhang mit Altholz und dessen Verwendung aufmerksam machen sowie ein umfassenderes Verständnis der Ressourcennutzung in der Gesellschaft anregen. Beim ersten Workshop Anfang September in Kopenhagen entstanden im Rahmen eines Workshops spannende Fassadenelemente aus Altholz (siehe Abb. 4-4).²⁴⁵



Abb. 4-4: Fassadengestaltungen aus Altholz, Nordic Waste Wood Workshop, Kopenhagen

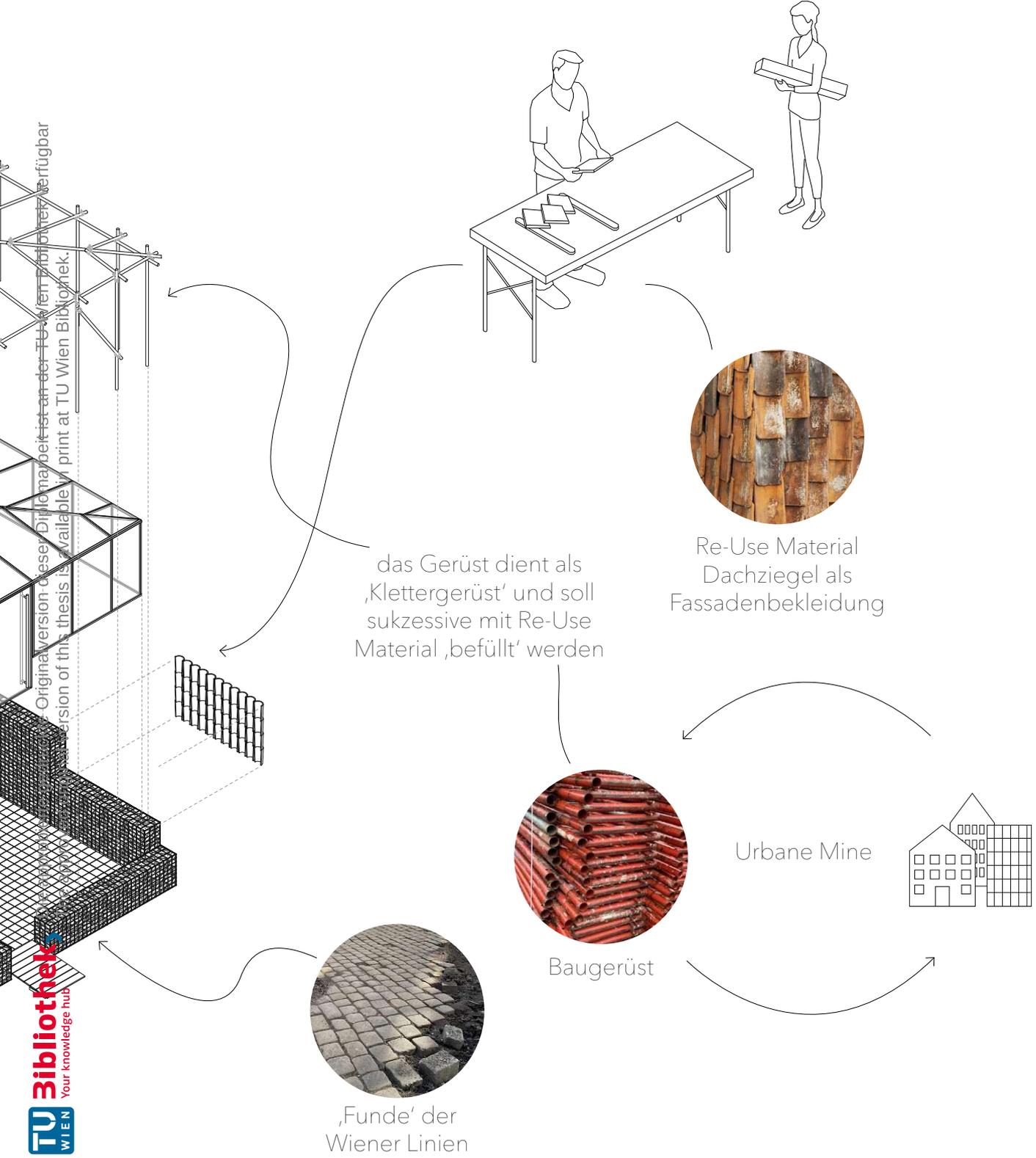
²⁴⁵ Leppänen, Nina: Waste Wood for Good: Bridging Nordic Culture and Technique, in: Nordisk Kulturfond, Stand: 07.05.2020, <https://www.nordiskkulturfond.org/inspirationsprojekter/waste-wood-for-good-bridging-nordic-culture-and-technique/> (abgerufen am: 16.09.2021).



Konstruktion & Materialität ,Erkenntnis' Zusammensetzung



Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar.
Original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



das Gerüst dient als „Klettergerüst“ und soll sukzessive mit Re-Use Material „befüllt“ werden

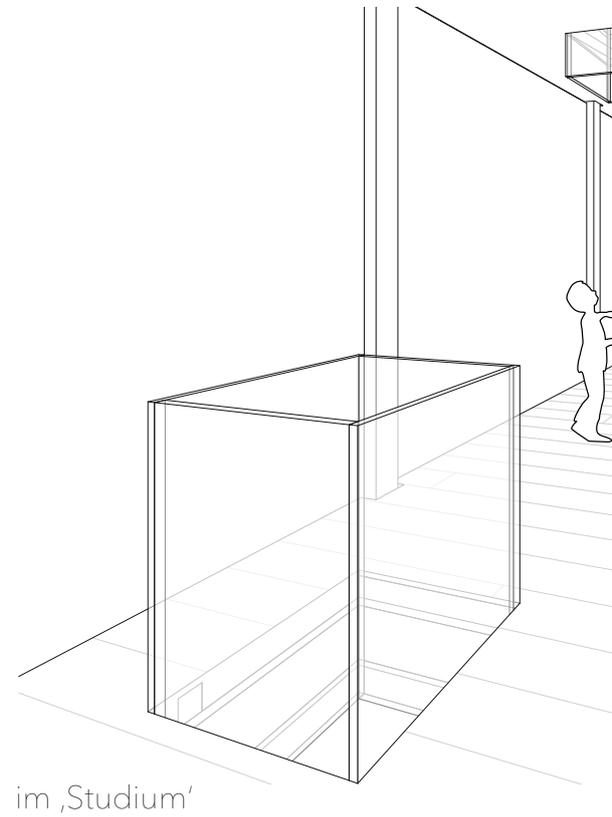
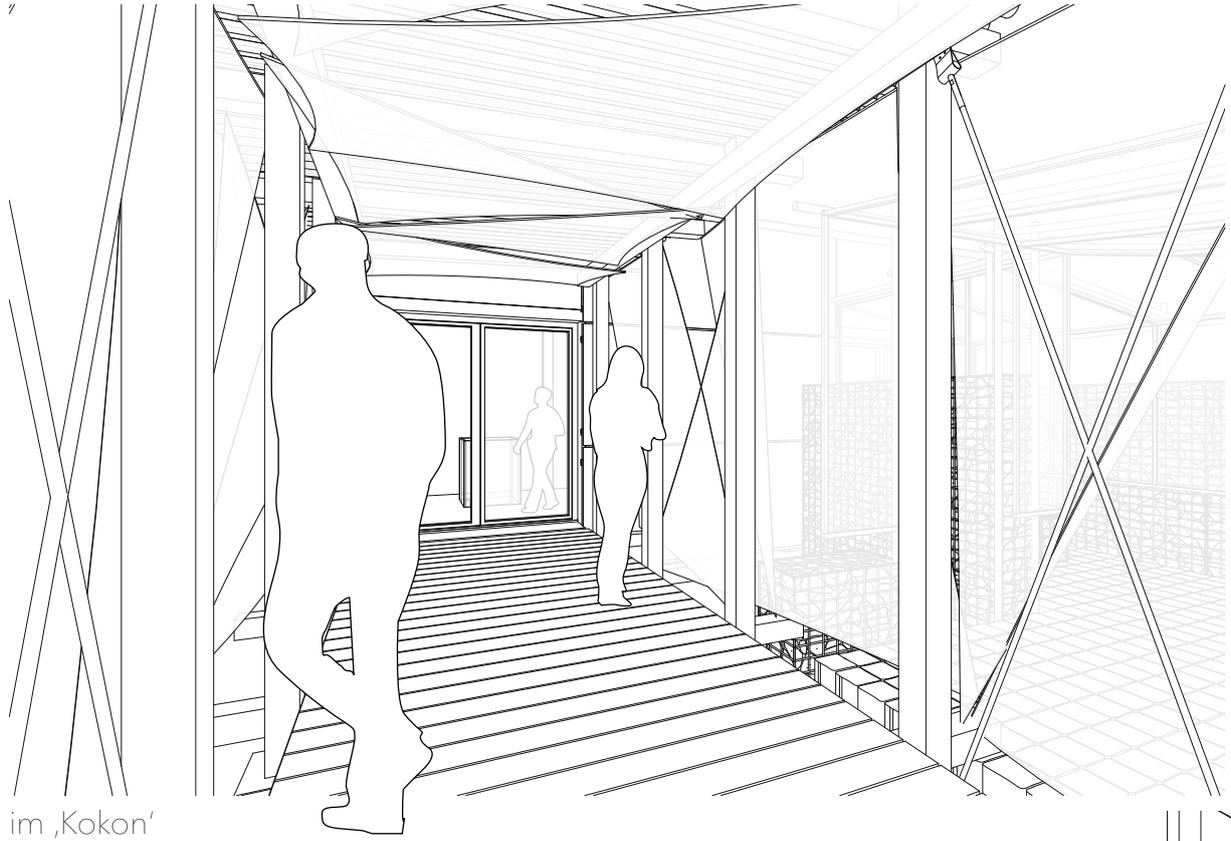
Re-Use Material
Dachziegel als
Fassadenbekleidung

Urbane Mine

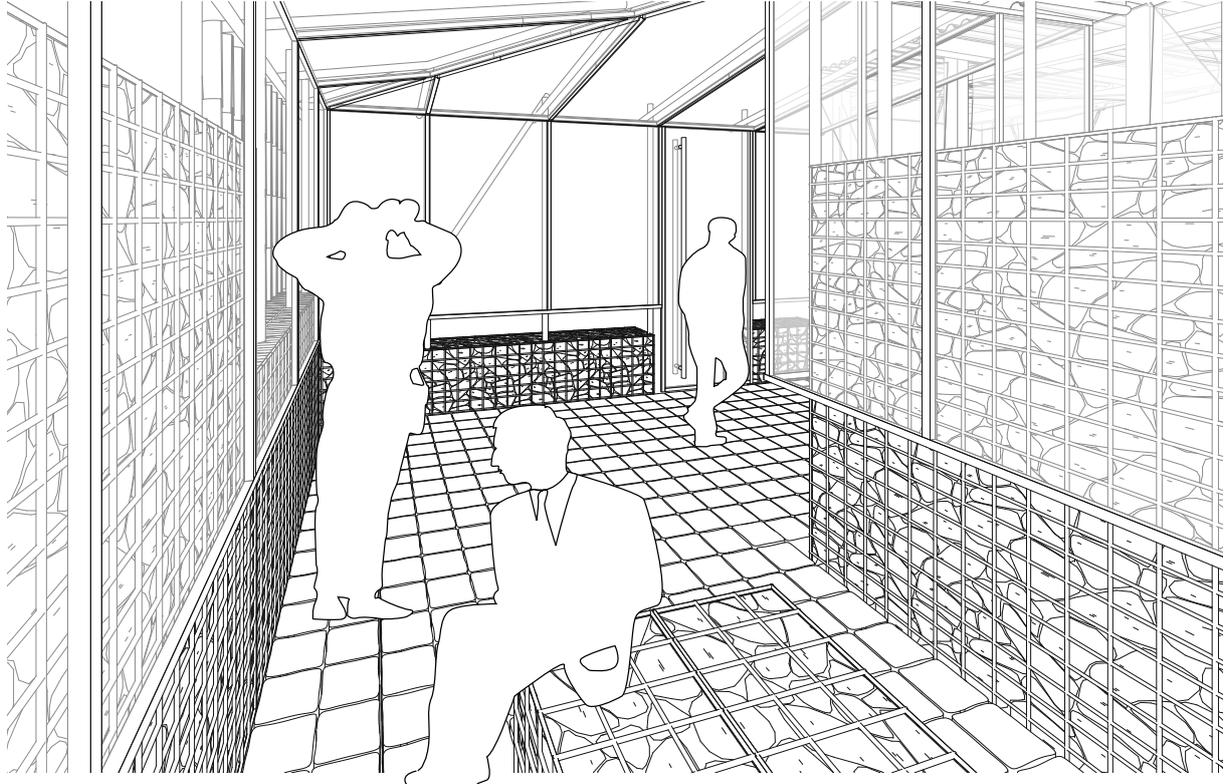
Baugerüst

„Funde“ der
Wiener Linien

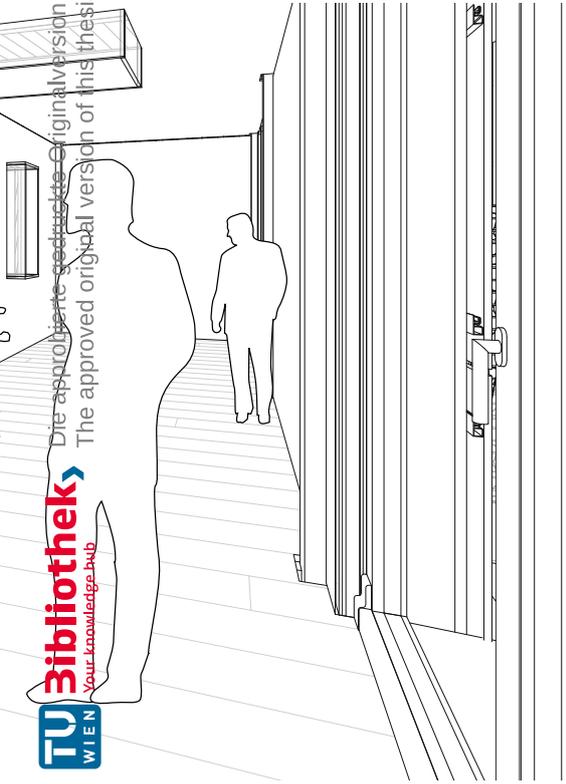
4.6 Visualisierungen

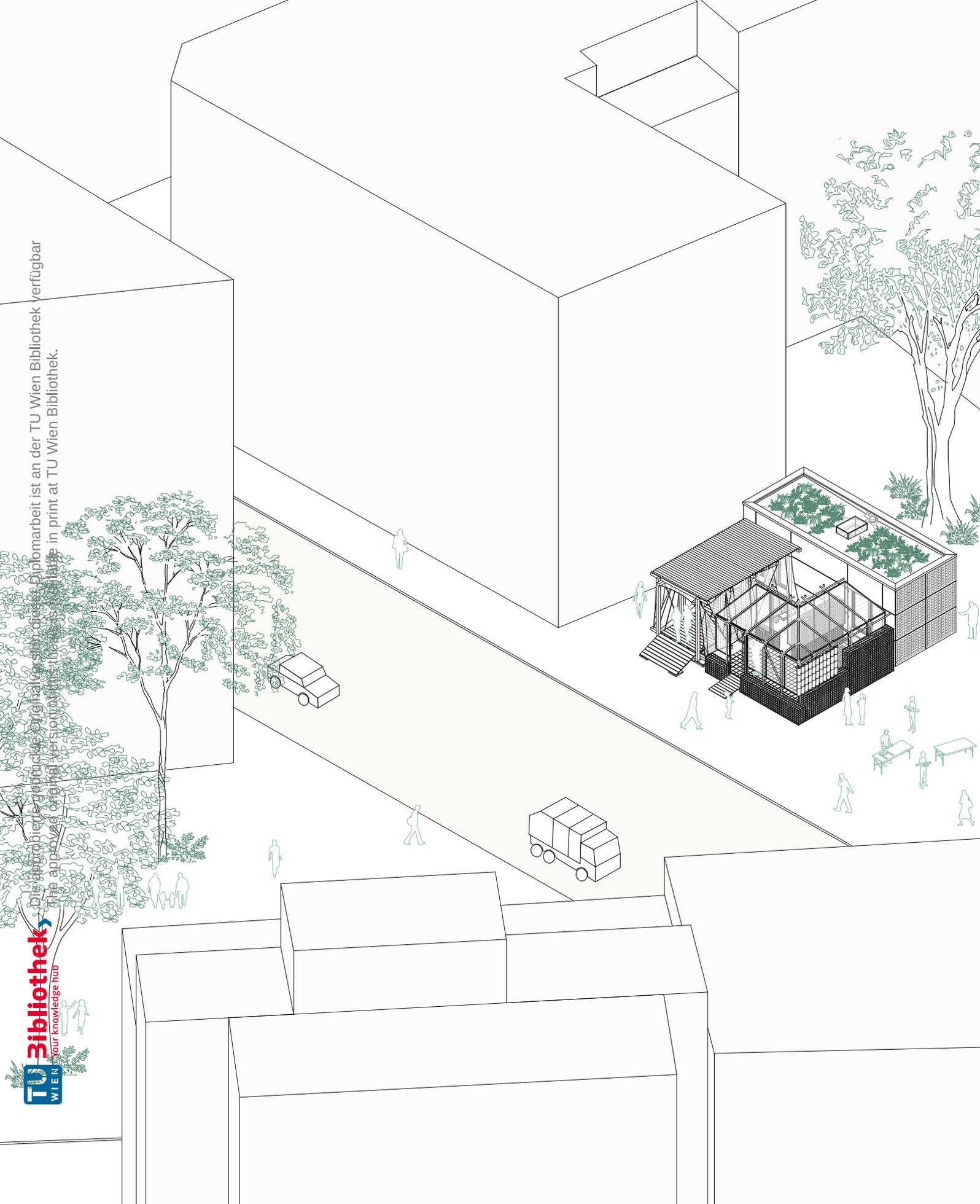


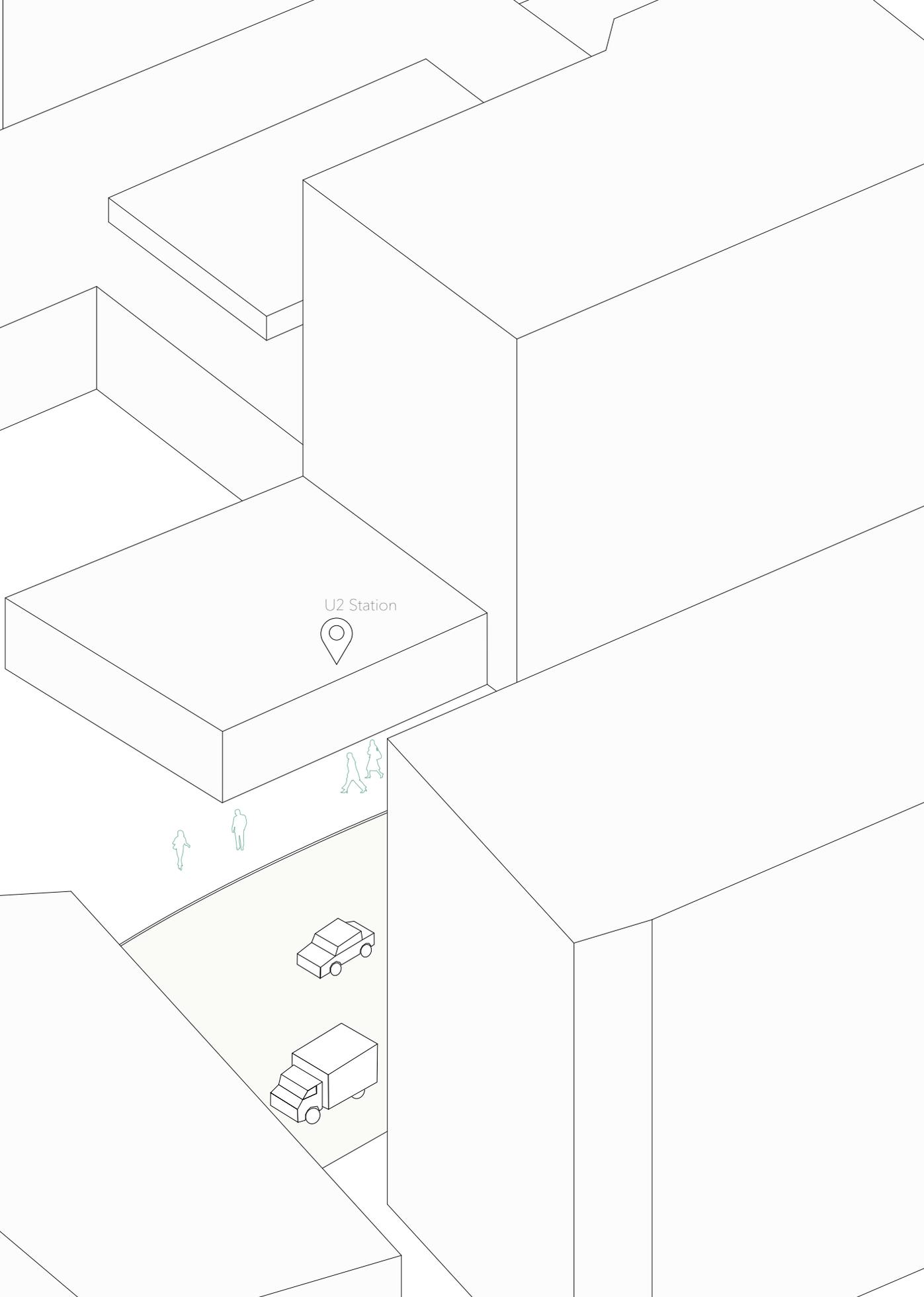
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



in der ‚Erkenntnis‘



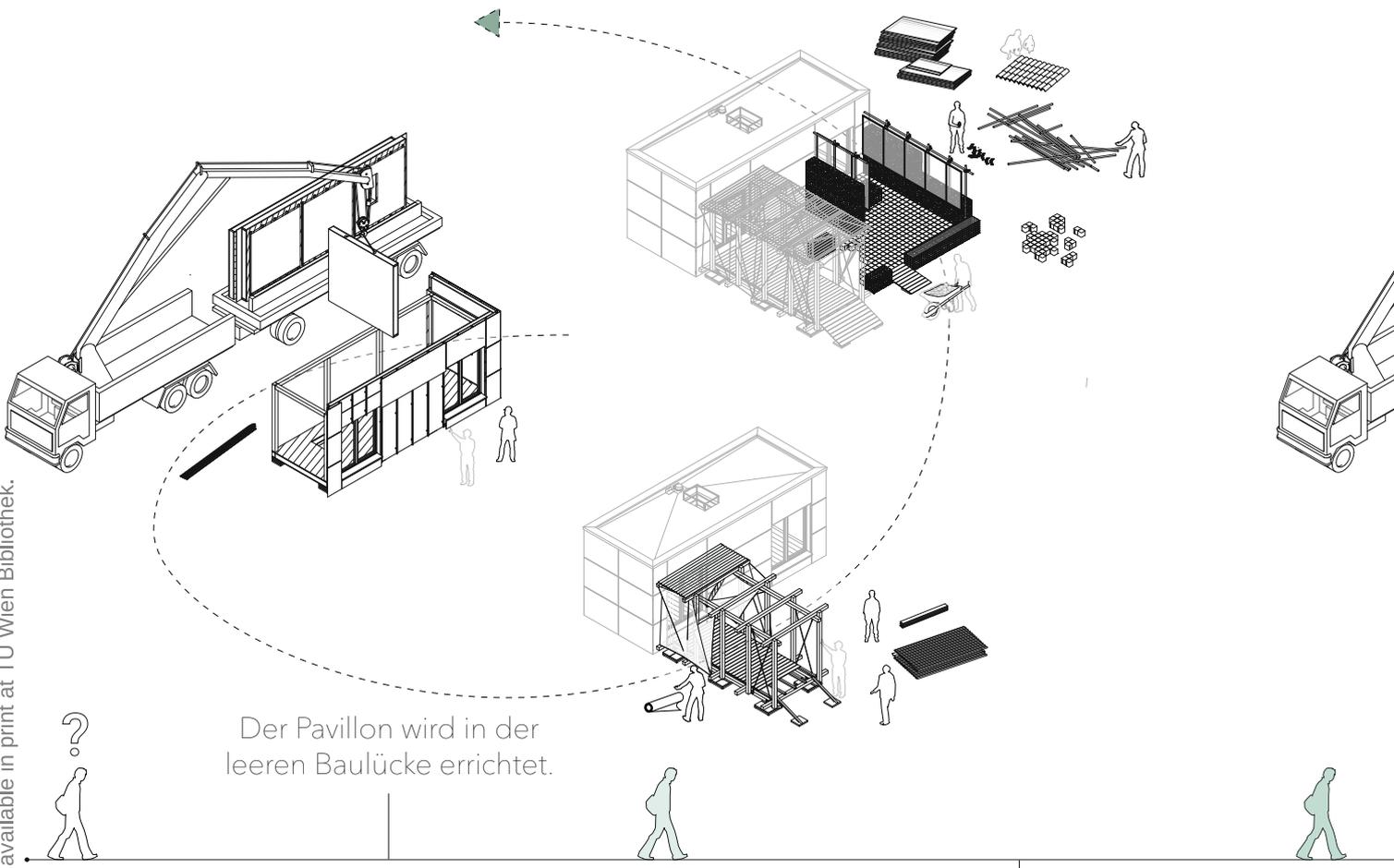






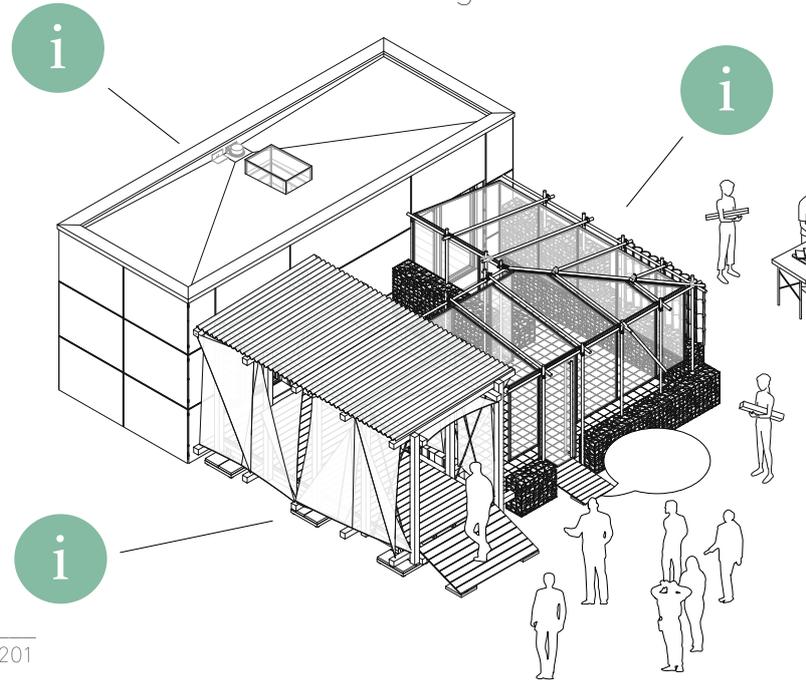
Druckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



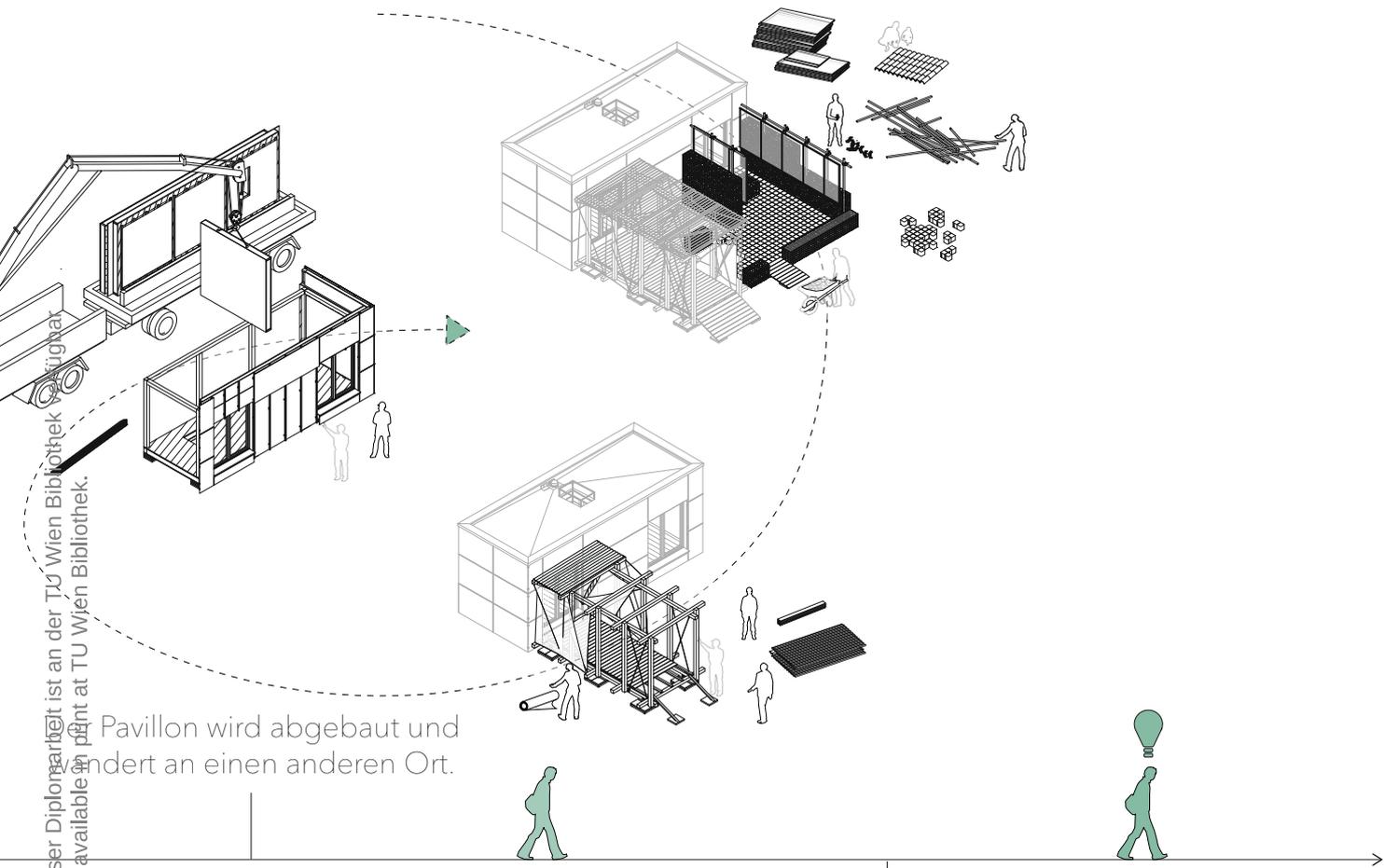


Der Pavillon wird in der leeren Baulücke errichtet.

Der Pavillon informiert vor Ort über das kreislaufgerechte Bauen, es finden Workshops und Informationsveranstaltungen statt.

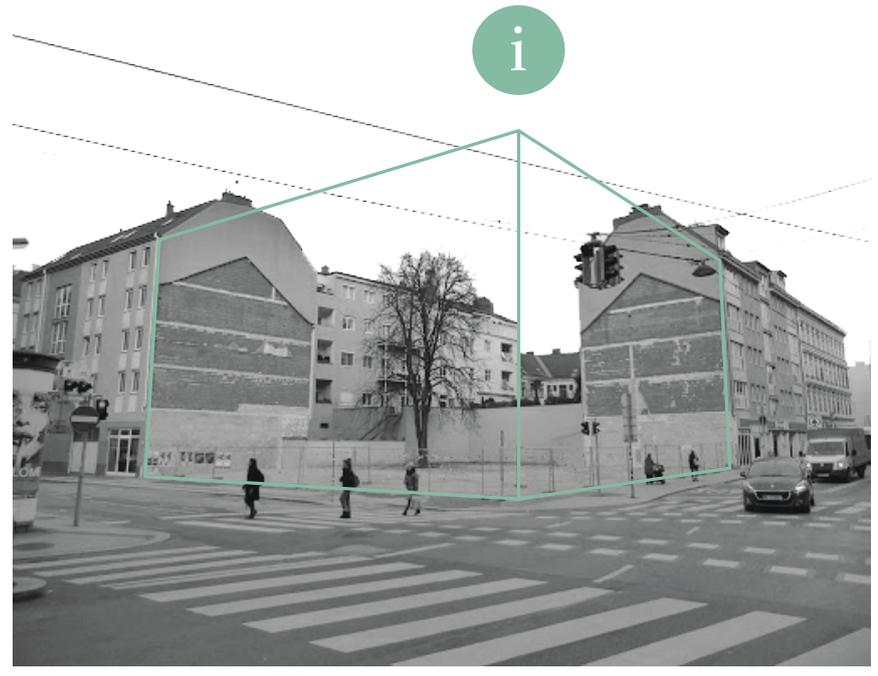


Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek erhältlich.
The approved original version of this thesis is available at TU Wien Bibliothek.



Der Pavillon wird abgebaut und wandert an einen anderen Ort.

Der Pavillon geht, die Ideen bleiben.



4.7 Skalierung

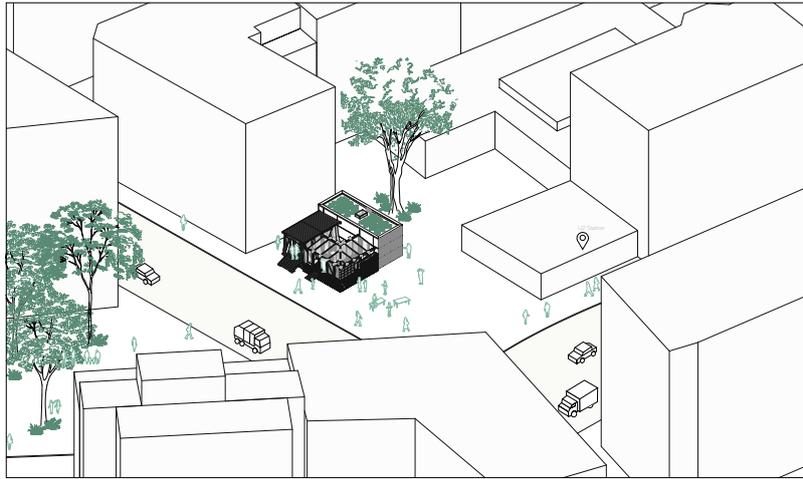
Der gesamte Pavillon wird als rückbaubare Konstruktion entworfen und Materialien eingesetzt, die eine Führung im geschlossenen Stoffkreislauf oder auch eine Kaskadennutzung (nachwachsende Rohstoffe) ermöglichen.

Der geschlossene Raum im Ausstellungsbereich des ‚Studiums‘ wird als skalierbarer Prototyp für zukünftige Projekte der Stadtentwicklung entworfen. Dies versteht sich nicht auf Maßstab des 3D Moduls, sondern der einzelnen Bauteilschichten und Fügungen auf 2D Ebene. Generell kann eine Möglichkeit zur Skalierbarkeit in folgenden Bereichen angenommen werden: Tragwerk, Verbindungen, Aufbauten (Bauphysik). Im Gegensatz dazu ist eine Veranschaulichung der Skalierbarkeit von brandschutz- und haustechnischen Lösungen und Komponenten nicht Ziel der Untersuchung, da dies sehr individuell vom jeweiligen Projekt und Maßstab abhängig ist.

In Anbetracht der voraussichtlich kurzen Nutzungsdauer von max. 10 Jahren, soll der Pavillon als **Ressourcenspeicher** dienen und die Funktion als **Materialbank** verkörpern. Nach Nutzung des Pavillons soll dieser demontiert werden und einzelne Materialien, Bauelemente und Bauteile für den Neubau (Bebauung Baulücke) zur Verfügung stehen. Damit soll die **Urban-Mining-Strategie** untermauert werden.

Um die Eckdaten zu identifizieren, wurde ein **Pflichtheft** ausgearbeitet, das den temporären Pavillon mit einer tatsächlichen, skalierten Bebauung der Baulücke gegenüberstellt. Da der Pavillon als Ausstellungsraum keine Anforderungen an z.B. Haustechnik stellt, kann dies nicht exemplarisch an der Bauaufgabe gezeigt werden (siehe Tab. 4-1)..

Dieses Kapitel hält Überlegungen Richtung ‚scale-up‘ fest und zeigt Möglichkeiten auf, wie kreislaufgerechtes Bauen an einer größeren Bauaufgabe angewendet werden kann.



Pflichtheft	DoTank Stadt Wien	Schnittstellen	Baulücke
Anforderungsliste	z.T. skalierbar		replizierbar
vsf. Nutzungsdauer	10 Jahre		100 Jahre
Standort	mobil (temporär, Einzelteile mit Kran + LKW transportierbar)		verortet
Ausrichtung	variabel (auf Standort bezogen)		Baulücke Eckbauplatz mit Süd-West Straßenfassade & Nord-Ost Innenhoffassade
vorrangige Nutzung	Ausstellungsraum, Wissensspeicher, Kommunikationsmedium real erlebbarer Materialspeicher als Vorzeigeprojekt der Stadt Wien	Pavillonbereich 'Studium' in Baulücke skalierbar	Verschattung Südfassade: evtl. baulich durch Balkone: wie Anschluss an Fassade? (Wärmebrücken) od. extra selbsttragendes System (Gerüst) nur punktuell angeschlossen an Fassade? evtl. 2te Hülle bzw. Wintergarten? (Bsp. Bikes and Rails Projekt Sonnenwenderteil)
Gebäudeklasse lt. OIB	GKI bzw. Sonderbau mögl.		Nutzung steht noch offen (Whrschl. Mischnutzung Wohnen & Arbeiten)
oberirdische Geschosse	1		max. GK5
BGF	ca. 70m²		max. 5
bauphysikalische Anforderungen	keine da kein dauerhafter Aufenthaltsraum & Veranstaltungsraum (Studium & Erkenntnis auf jeden Fall) barrierefreiheit, OIB6	trotdem: um Skalierbarkeit/Machbarkeit aufzuzeigen müssen Teile des DO-TANK Pavillons ('Studium') Anforderungen erfüllen (beispielhafte Aufbauten)	ca. 490m²/Geschoß
Sanitäreinrichtung	nein (Parasit) - entweder im umliegenden Bestand oder Versorgungscontainer		lt. Norm
Anforderungen/Brandschutz			ja (voll funktionstuchtiges Gebäude)
			lt. Norm
	aufgeständerte Bauweise (evtl. auf Rahmenkonstruktion)	hier wesentlicher Unterschied: DO-TANK ist mobil & temporär: also kein besonderer Eingriff in Standort. Trotzdem können beispielhafte Details im Ausstellungsraum des Pavillons gezeigt werden (siehe Skalierbarkeit)	reduzierte Versiegelung, Unterkellerung evtl. nur für Haustechnik? (keine Tiefgarage, Ausweg zu Stellplatzregelung: Shared Mobility, evtl. Bike Mobility Point im EG (von U-Bahn aufs Rad umsteigen))
Tragwerk	Grundgerüst aus Holz - 'Kolon' + 'Studium'		(Holz/Skelettbauweise um Flexibilität zu gewährleisten)
		Details von Do-Tank & Baulücke miteinander kombinieren: 'Studium' als Prototyp für Baulücke -> Aufbauten (tlw. Ganze 2D Module (nicht 3D) systemmatisch replizierbar (aufsprengen)	KVH statt BSH möglich? Weicher Ersatz für Leim? Ist Dübeln möglich? Ingenieursmäßige trennbare Verbindungen (Knoten) Aussteifung über flächige Elemente (z.Bsp.: BSH Wände & Decken (gedübelt, Massivholz, Bsp Thoma Holz 100))
	Knoten z.B. Zangenkonstruktion oder zimmermannsmäßige Holzverbindungen		eher ingenieursmäßige Verbindungen (Stahlknoten) well wirtschaftlich & aus statischen (Quetschung) und Brandschutzgründen
Dachdichtung/-ausführung	Dachgefälle Ablauf, Versickerung auf Gelände, evtl. Grunddach zur Retention?		Dachnutzung als (grüner) Freibereich (Bsp. E1 TU Wien oder BOKU TUM). Grauwassernutzung? Retention, Versickerung
Spezifika	leichte Demontage, die Wanderausstellung ermöglicht, effiziente Logistikmögl. (Maße für LKW-Transport beachten!), Transportthaken an Tragkonstruktion einplanen		Aufgang Wiener Linien muss eingeplant werden
Infrastruktur/Haustechnik	Haustechnik: keine besondere - evtl. DWR-Kl? Kein Wasser-/Kanalschluss nötig Stromanschluss -> evtl. autark über PV-Anlage über Verschattungselemente		vollumfänglich
Verschattung			z.B. über Balkone oder Fassadenintegrierte Verschattungselemente

Tab. 4-1: Pflichtheft Entwurfsaufgabe DoTank gegenübergestellt mit möglicher Skalierung in Zukunft

Tragwerk

Bei mehrgeschoßigem Holzbau ist besonders auf Querschnittsquetschungen aufgrund der höheren Lasten und erhöhte Brandschutzanforderungen zu achten. Dafür ist der Einsatz von Stahlknoten an den Verbindungsstellen des Tragsystems als praktische Lösung zu nennen (siehe Abb. 4-5 u. Abb. 4-6). Wichtig ist im Sinne der Gewährleistung einer sortenreinen Rückgewinnung und leichten Demontage darauf zu achten, dass auch bei diesen Systemen lösbare Schraubverbindungen zum Einsatz kommen.

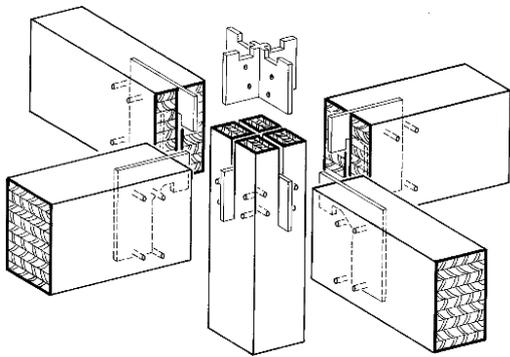


Abb. 4-5: Anschlussknoten mit Hakenplatten (System Bulldog)



Abb. 4-6: Anschluss Primärträger an Stützen über Stahlteile

Sinnvoll wäre auch, die Aussteifung des Tragwerks über vertikale & horizontale Scheiben, wie beispielweise Brettsperrholzelemente oder Brettstapelholzelemente, auszuführen. Im Sinne der Sortenreinheit sollten Produkte gewählt werden, die nicht verleimt, sondern gedübelt sind (siehe Abb. 4-7 u. Abb. 4-8).



Abb. 4-7: Brettsperrholzelement gedübelt z.B. Produkt Thoma Holz100



Abb. 4-8: Brettstapelholzelement gedübelt profilierte Ausführung zur Schallabsorption möglich

Eine aufgeständerte Bauweise ist im Sinne der minimalen Flächenversiegelung und minimal invasivem Eingriff in den Boden & dessen Organismen stets zu bevorzugen (siehe Kapitel 2.5.3).

Dennoch ist im dicht besiedelten, städtischen Raum der Bau von unterirdischen Geschossen und die Unterkellerung oftmals unvermeidbar.

Diese erdberührten Gebäudeteile bestehen meistens, entgegen kreislaufgerechter Kriterien, grundsätzlich aus mehreren Schichten erdölbasierter Materialien mit nicht bzw. schwer lösbaren Verbindungen (beispielweise Bitumenabdichtungen und geklebte Perimeterdämmung aus XPS).²⁴⁶

Hier kann im Sinne der Ermöglichung einer Kreislaufführung auf Schaumglasplatten bzw. -schotter (aus aufgeschäumtem Altglas) zurückgegriffen werden. Diese können, vorausgesetzt sie werden sortenrein rückgebaut, am Lebensende des Gebäudes wiederverwendet werden (siehe Abb. 4-9 u. Abb. 4-10).



Abb. 4-9: lastabtragende und kapillarbrechende Dämmung unter Bodenplatten aus Recycling-Schaumglas: links als verdichteter Schotterkoffer

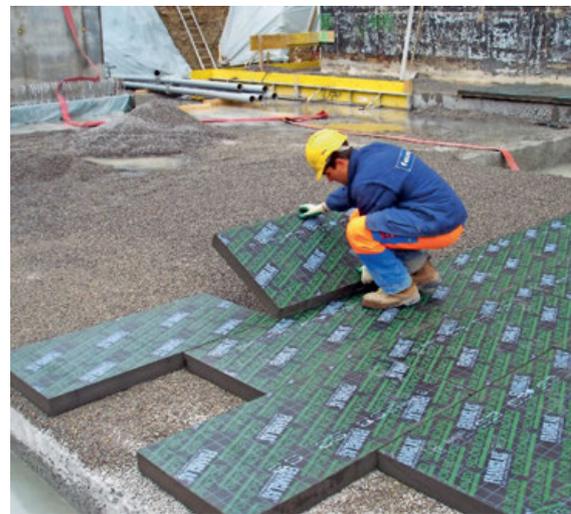


Abb. 4-10: Schaumglas als Plattenware, verlegt in Trockenbauweise

²⁴⁶ Vgl. Hillebrandt et al., 2018, S. 46f.

Haustechnik

Der temporäre Ausstellungsbereich des Pavillons ist kein Bereich für den dauerhaften Aufenthalt. Eine Beheizung und automatisierte Be- & Entlüftung ist deshalb nicht eingeplant worden. Die Haustechnik des Pavillons beschränkt sich demnach lediglich auf die Photovoltaikanlage im Fassadenbereich zur Bereitstellung von Strom aus Sonnenenergie für die Versorgung einer Belichtungsanlage im geschlossenen Ausstellungsbereich des ‚Studios‘. Für skalierbare Projekte kann vorweggenommen werden, dass heutzutage umfassende energiesparende Konzepte und verbesserte technische Anlagen, nicht nur den Energieverbrauch im Betrieb reduzieren, sondern auch Ressourcen schonen können.

Da Haustechnikkomponenten vorwiegend eine kürzere Nutzungsdauer als andere Gebäudeschichten aufweisen (siehe Kapitel 2.5.6.2, S. 85) sind im Sinne einer optimalen Flexibilität Systeme und Aufbauten vorzuziehen, die Wartungen bzw. einen Austausch problemlos erlauben. Derartige Systeme inkludieren Doppelböden oder angehängte Decken, die aus einem mehrschichtigen Aufbau bestehen und leicht trennbare Verbindungen der einzelnen Schichten und Elemente aufweisen (siehe Kapitel Aufbauten).

Ressource Wasser

Im Sinne der Nutzung von Ressourcen vor Ort kann hier ein umfassendes Wassermanagement genannt werden. Die Kaskadennutzung von Wasser im Gebäude erlaubt es, dass sogenanntes Grauwasser (Trinkwasser nach Gebrauch) vor Ort in einer Anlage gereinigt und zum Beispiel erneut zur Bewässerung von Grünflächen oder als Betriebswasser (Spül- oder Waschmaschine, WC-Spülung) verwendet werden kann, bevor es als Schwarzwasser das Gebäude wieder verlässt. Vor allem in Wohngebäuden, in denen der Trinkwasserverbrauch sehr hoch ist, kann eine Kaskadennutzung den Verbrauch stark senken.

Auch die Regenwasserspeicherung und Nutzung kann hier genannt werden. Die zunehmende Flächenversiegelung führt dazu, dass Oberflächenwasser über die Kanalisation abgeleitet werden und nicht an der Oberfläche verdunsten können, was jedoch zur Verbesserung des Mikroklimas in vor allem dicht bebautem Stadtgebiet

führen würde. Unversiegelte Flächen können beispielsweise durch Dachbegrünungen nachgeahmt werden und als Wasserrückhalt und zeitlich verzögerte Regenwasserabfluss (Retention) dienen (siehe Abb. 4-11). Somit kann die Kanalisation entlastet und die Ressource Regenwasser sinnvoll, beispielweise als Bewässerung für Pflanzen, genutzt werden. Derartige kreislaufgerechte Konzepte gewinnen vor allem in Städten zunehmend an Bedeutung.²⁴⁷

Ressource Energie

Energieautarkie spielt für die optimale Verwendung dieser Ressource eine wesentliche Rolle. Heutzutage gewinnen Konzepte zur dezentralen Erzeugung und Speicherung im Gebäude selbst immer mehr an Bedeutung. Grundvoraussetzung einer ressourcenschonenden Energiestrategie bleibt der minimierte Verbrauch durch entsprechende Endgeräte, LED-Beleuchtung und durch gute Wärmedämmung des Hauses, die durch neuartige Konzepte wie Wärmerückgewinnung zum Beispiel durch Grauwasser zur Kreislaufoptimierung ergänzt werden können. Bei der Planung der Versorgung sollte als im Sinne kreislaufgerechter Prinzipien eine gesamtheitliche Strategie durchdacht werden. Sämtliche Systeme können miteinander in Verbindung stehen und voneinander profitieren (siehe Abb. 4-11).

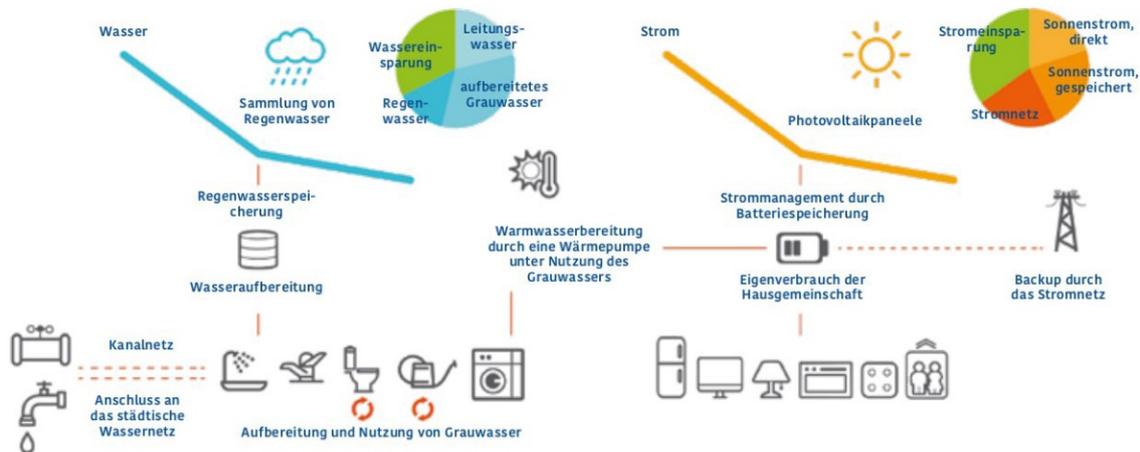


Abb. 4-11: Beispiel eines kreislaufoptimierten Energiekonzepts, Kombination Strom-Wasser, Demonstrationsgebäude EcoCité ABC - auto-nomous building for citizens, Grenoble, Valode & Pistre Architekten

²⁴⁷ Vgl. Nachhaltiges Regenwassermanagement, in: Stadt Wien: Umweltschutz, o.D., <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/regenwassermanagement.html> (abgerufen am: 27.09.2021).

Aufbauten

Hohlraumaufbauten stellen im Sinne kreislaufgerechter Kriterien optimale Systeme dar, da sie flexibel sind, Revisionen erlauben und grundsätzlich als trennbare Aufbauten konzipiert sind. Die unterschiedlichen Aufbauten in einem Gebäude sollten also im Idealfall aus mehreren Schichten mit lösbaren Verbindungen untereinander bestehen. Am Beispiel von Fußbodenheizungen können im Gegenteil zu schwer zu trennenden Verbundkonstruktionen wie zum Beispiel Nassestrich-Aufbauten mit integrierten Heizungsrohren aus Kunststoff, zerlegbare Fußbodenheizungssysteme genannt werden (siehe Abb. 4-12 u. Abb. 4-13).



Abb. 4-12: Fußbodenheizungssystem im Trockenaufbau aus Kupferrohren und aufgesteckten Aluminiumwärmeleitblechen



Abb. 4-13: Holzfaser-Trittschalldämmung mit integrierten Aluminium-Wärmeleitblechen als Fußbodenheizung

Des Weiteren kann sich die Nutzung der ‚fünften Fassade‘, also des Dachs, als nützlich erweisen. Die Ausbildung eines Gründachs bietet nicht nur wirtschaftliche und ökologische Vorteile, sondern kann auch die Notwendigkeit des Einsatzes einer geklebten Verbundkonstruktion überflüssig machen. Die mechanische Windsogsicherung durch Auflast wie z. B. Kies, Terrassenbelag oder ein Gründach kann eine Verklebung der Dachabdichtung mit der Dämmung (Verbundkonstruktion = nicht kreislaufgerecht da schwer lösbar) ersetzen.²⁴⁸

²⁴⁸ Vgl. Hillebrandt et al., S. 50.

5

Conclusio & Ausblick

Conclusio

Status-Quo

Städte sind Zentren von Wirtschaft und Verkehr sowie Kultur und Bildung und bieten Lebensräume für Millionen von Menschen. Angesichts des Populationszuwachses in Städten kann davon ausgegangen werden, dass immer mehr Wohn- und Arbeitsraum sowie Gebäude für soziale Infrastruktur benötigt werden. Dies impliziert auch die Notwendigkeit zur Nachverdichtung. Im Sinne der Gewährleistung der Befriedigung von Bedürfnissen der heutigen Generation, ohne die Möglichkeiten zukünftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen, ist eine nachhaltige Stadtverdichtung unerlässlich. Alarmierende Zahlen zu Abfallaufkommen und Ressourcenknappheit sowie die daraus resultierenden Lieferengpässe und Preiserhöhungen sind nur einige Gründe, die für einen notwendigen Paradigmenwechsel in der Bauwirtschaft sprechen. **Das Schicksal der zukünftigen Städte und ihrer Einwohner*innen liegt demnach zu einem großen Teil in den Händen der Bauwirtschaft.**

Zukunftsvisionen

Politik

Die Ergebnisse aus der Analyse der Theorie zeigen deutlich, dass die Potenziale zirkulärer Prozesse adressiert werden und auf politischer Ebene bereits Tendenzen in der Maßnahmensetzung zur Etablierung der Kreislaufwirtschaft zu erkennen sind. Ferner kann davon ausgegangen werden, dass sich dies in naher Zukunft verstärken wird, somit eine Umlenkung im Bauwesen früher oder später ohnehin einsetzen wird. Dabei orientiert sich die österreichische Umweltpolitik maßgebend an den im u.a. Green Deal verankerten Zielen.

Die Verstärkung der rechtlichen Rahmenbedingungen kann, wie in Kapitel 2.3.3 beschrieben, wesentliche Hebel in die gewünschte Richtung setzen. Maßnahmen wie die Einführung einer CO₂-Steuer oder einer verpflichtenden Recyclingquote für Neubauten könnten maßgebende Impulse setzen, um eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren. Dennoch müssen neue Regelungen gewissenhaft formuliert werden, sodass Innovationen nicht behindert bzw. Akteure und Akteurinnen nicht ausgeschlossen werden. Die Verhandlungen neuer ‚Spielregeln‘ sollten also sanft, inklusiv und gewissenhaft erfolgen.

Metabolismus der Stadt

Da, wie Kapitel 2.2 verdeutlicht, das Bauwesen in urbanen Gebieten wesentlicher Verursacher regionaler, aber auch globaler Umweltbelastungen ist, kann die Etablierung ressourcenschonender Prozesse positive Auswirkungen haben.

Auf städtebaulicher Ebene sind die Ziele der Kreislaufwirtschaft vor allem in engem Zusammenspiel mit sozio-ökonomischen Werten zu verankern. Menschliche Handlungen, Bedürfnisse, Präferenzen, aber auch Konsummuster sind Triebkräfte, die bei der Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft beachtet werden müssen.

Des Weiteren setzt eine nachhaltige, räumlich-effiziente Stadtverdichtung, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, die Nutzung von Gebäudebestand und Baurestmassen voraus. So könnten sich Städte zukünftig durch eine nachhaltige Stadtverdichtung mit kreislaufgerechten Gebäuden von schonungslosen Verbrauchern enormer Mengen an Ressourcen zu bedeutenden Lagerstätten entwickeln. Die Bereitstellung gemeinschaftlich genutzter Räume wie z.B. Werkstätten oder Co-Working Spaces würde nicht nur den Wohnflächenbedarf pro Kopf und somit den Ressourcenverbrauch reduzieren, sondern auch das Zusammenleben verbessern und Vernetzungen fördern. Städte können somit wesentliche **Treiber von Innovationen** für die Kreislaufwirtschaft sein.

Dabei spielen, wie aus Kapitel 2.5.6.5 hervorgeht, Datenbanken wie beispielweise Madaster eine wesentliche und unentbehrliche Rolle bei der **digitalen Inventarisierung der Materialien und Ressourcen in den Städten**. Die kontinuierliche Speisung dieser Datenbanken mit Informationen könnte die Umsetzung kreislaufwirtschaftlicher Strategien Schritt für Schritt begleiten. Ähnlich wie bei Kataster für Liegenschaften, könnten dadurch zukünftig großflächig relevante Informationen über den Hochbau und die gebaute Stadt gespeichert und abgerufen werden, wenn dies benötigt wird, z.B. im Falle eines Rückbaus eines Gebäudes. So wie die Einführung der Energieausweis-Vorlagepflicht wäre künftig die Verpflichtung zur Erstellung eines Ressourcenpasses sinnvoll, der zeigt, was im Gebäude steckt und welche Emissionen dadurch entstehen. Die Einführung der Plattform Madaster steht in Österreich bevor, es bleibt demnach abzuwarten, welche Effekte dies haben wird.

Digitalisierung

Die Inventarisierung und Kartierung von Ressourcen kann wesentlich zur Etablierung geschlossener Stoffströme beitragen. Viele der in Kapitel 2.5.6 vorgestellten Tools und Strategien erweisen sich als sinnvoll im Zusammenspiel mit einem digitalen Modell. Zukünftig könnten Programme zum Modellieren von Gebäuden standardmäßig Add-Ins enthalten, bzw. an andere Programme andocken, um die darin enthaltenen Daten direkt auszuwerten und daraus wichtige Informationen über das Bauprojekt zu erhalten. Zwangsläufig nimmt BIM dabei eine zentrale Rolle ein und wird auch zukünftig immer mehr an Bedeutung gewinnen. Das Entwurfsprojekt in Kapitel 4 wurde unter Zuhilfenahme einer BIM-Planungssoftware erstellt. Dadurch konnten Bauteil- und Materiallisten erstellt und für einen Teil der Materialien exemplarisch Parameter wie End-of-Life-Szenario hinterlegt werden. Die Anwendung dieses digitalen Tools erwies sich demnach als überaus hilfreich. Dennoch wäre es wünschenswert Programme hinsichtlich Dateneinspeisung kreislauffähiger Informationen weiter auszubauen, bzw. als Open-Source anzubieten.

Ökologie & Kreislaufgerechte Baustoffe

Im Modell der Kreislaufwirtschaft spielt die Umwelt eine zentrale Rolle. Durch die Aktivierung der Urbanen Mine und Förderung des Einsatzes kreislaufgerechter Materialien im Bauwesen können sich überlastete Ökosysteme regenerieren. Denn kreislaufoptimierte Systeme minimieren nicht nur die Nachfrage nach Primärrohstoffen, sie sind auch **regenerativ**, weil sie sich an neue Bedingungen und Begebenheiten relativ schnell anpassen und ohne externen Ressourceninput überleben können.

Die Analyse kreislauffähiger Baustoffe in Kapitel 2.5.4 ergab, dass vor allem nachwachsenden Rohstoffen eine bedeutende Rolle zuteilwird, da der Stoffkreislauf unbehandelter biotischer Materialien an sich von Natur aus geschlossen ist (Verrottung, siehe Kapitel 2.5.4, Tab. 2-2). Voraussetzung dafür ist allerdings eine Gewinnung aus zertifiziertem Anbau und die Vermeidung von Kultivierung, da dies mit der Herabsetzung der Biodiversität, und der Beeinträchtigung ganzer Ökosystemen einhergehen kann. Angesichts dessen und unter Annahme, dass sich dies zukünftig erhöhen wird, ist ein

gewissenhafter Umgang mit regenerativen Rohstoffen, die derzeit nicht verknappen, dennoch bei Erhöhung des Bedarfs zu verknappen drohen, essenziell.

Folglich sollte eine **Balance zwischen der Ressourcenbeschaffung aus dem biologischen und dem technischen Kreislauf** gefördert werden.

Das kreislaufgerechte Bauen setzt somit eine fundierte Auseinandersetzung mit Materialien und Baustoffen voraus. Es ist davon auszugehen, dass die Einbindung von **Materialexperten und Materialexpertinnen** in den Planungsprozess zukünftig an Bedeutung gewinnen wird.

Akteure und Akteurinnen

Um eine Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu etablieren, ist eine Sensibilisierung und Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Akteuren und Akteurinnen entlang der gesamten Wertschöpfungskette unerlässlich.

Unternehmen, Organisationen und Abnehmer*innen sind im Wirtschaftssystem untereinander verbunden. Das bedeutet auch, dass jede Handlung eines Akteurs oder einer Akteurin einen Effekt auf die anderen Akteure und Akteurinnen hat.

Des Weiteren könnten sich im Zuge der Implementierung einer Kreislaufwirtschaft neue Handlungs- und Tätigkeitsfelder ergeben. Nicht nur die Arbeitsweisen von Produkthersteller*innen, Rohstoffbereiter*innen oder Planer*innen würden sich ändern, es könnten auch neue, zukunftsweisende Jobs entlang der Wertschöpfungskette entstehen, wie z.B. Materialflussmanager*in oder Ressourcenmanager*in.

Auch die Rolle der Abrissunternehmen könnte sich zukünftig grundlegend ändern, denn die neue Aufgabe wäre, Werte der Materialien eines Gebäudes zu sichern, anstatt sie zu beseitigen.

Wichtig für die Vernetzung von Akteuren und Akteurinnen ist sicherlich eine offene Kommunikation und Vernetzung, sowie Austausch von relevanten Informationen und gemeinsame Entwicklung und Umsetzung von Innovationen.

Ökonomische Aspekte

Die theoretische Auseinandersetzung bestätigte, dass die Transformation linearer Prozesse zu einer Kreislaufwirtschaft auch wirtschaftliche Vorteile bringen muss. Unter anderem anhand des Urban Minings (siehe Kapitel 2.4.3.3) hat sich bestätigt, dass ökologische Motive oft zu wenig Anreize bieten, um Akteure und Akteurinnen in der Bauwirtschaft zu einem anderen Handeln zu bewegen. Hier können Maßnahmen auf politischer Ebene weitaus zielführendere Ergebnisse bringen.

Dennoch: **kreislaufgerechtes Bauen muss sich auszahlen!**

Und das kann es auch. Der ausschlaggebende Faktor für Wertzuwachs oder -minderung einer Immobilie ist aktuell die Lage. Doch das kann sich zukünftig ändern, wenn die verbauten Ressourcen zugleich ein **Wertdepot** darstellen und auch für neue Projekte zur Verfügung gestellt werden können.

Zukünftige, kreislaufgerechte Gebäude sind nach einer bestimmten Nutzungsdauer nicht lediglich abgeschrieben, sondern enthalten eine Menge wertbringender Materialien von denen Wert geschöpft werden kann und sollte. Dass **Gebäude zu wertvollen Rohstofflagern** werden können, bestätigen Pioniere wie z.B. Rau und Oberhuber (2019) mit ihrem Turntoo-Modell (siehe Kapitel 2.5.6.5.2).

Weiters ging aus Kapitel 2.5.5 hervor, dass die Wirtschaftlichkeit des Rückbaus eine zentrale Rolle spielt. Eine qualitative Wertschöpfung im Bauwesen ist nur aufbauend auf einem verwertungsorientierten Rückbau und/oder speziellen Rückgabesystemen möglich. Um einen funktionierenden Ablauf zu gewährleisten, erfordert dies wiederum eine Bereitstellung von Örtlichkeiten zur Zwischenlagerung, Säuberung und Reparatur der aus dem Rückbau gewonnenen Produkte und Materialien.

Das in Kapitel 2.5.5 beschriebene EU-Projekt RE4 konnte des Weiteren aufzeigen, dass sich bei kreislaufgerecht geplanten Gebäuden nicht nur Einnahmen durch die Verwertung der Bauelemente erzielen lassen, sondern auch Kosten für den Rückbau reduziert werden können. Dies könnte zukünftig einen ausschlaggebenden Anreiz für kreislaufgerechtes Bauen darstellen.

Der Do Tank Circular City Wien

Es gibt Bestrebungen, den in Kapitel 4 vorgestellten Entwurf des Do Tanks detaillierter auszuarbeiten und zu realisieren. Die Stadt Wien möchte den Pavillon als Kommunikationsmedium und Ausstellungsraum nutzen, um die Ziele für die Stadt Wien über die kommenden Jahre nach außen zu tragen. Dies könnte wesentlich zur Anregung eines öffentlichen Diskurses zum Thema der Kreislaufwirtschaft in der Stadt beitragen.

Kreislaufgerechtes Entwerfen

Aus der Ausformulierung des Toolkits und der darin enthaltenen Handlungsparameter in Kapitel 3 ging hervor, dass bereits und vor allem auf den untersten Ebenen der Gebäudehierarchie und entsprechenden Maßnahmensetzungen der Entwurf in eine zielführende Richtung geleitet werden könnte. Die Stellschrauben Materialität und Konstruktion erweisen sich als wichtigste Parameter bei der Planung von kreislaufgerechten Gebäuden. Dabei ist eine grundlegende Auseinandersetzung mit diesen Parametern seitens der Planer und Planerinnen erforderlich. Für die Wahl der Materialien und Konstruktionen für den Entwurf des DoTanks wurden viele EPDs und technische Datenblätter durchstöbert, sowie gegebenenfalls Kontakt zu herstellenden Firmen aufgenommen und kritische Fragen gestellt. Die Tatsache, dass EPDs meist nur die Umweltwirkungen in der Systemgrenze ‚cradle to gate‘ (Modul A) abbilden, erschwert den Planungsprozess. Für die Zukunft wäre es demnach hilfreich und durchaus sinnvoll, wenn EPDs den gesamten Produktlebenszyklus ‚**von der Wiege bis zur Bahre**‘ inklusive der Recyclingpotenziale & -vorteile (Module A bis D) abdecken und damit wichtige Informationen über v.a. das **End-of-Life** von Bauprodukten enthalten.

Der DoTank wurde anhand der zuvor analysierten und ausgearbeiteten Strategien geplant. In einem weiteren Schritt könnte man die Kreislauffähigkeit mittels Anwendung der in Kapitel 2.5.6.6 Tools bewerten bzw. messen. Eine qualitative Bewertung konnte für einen Teil des Pavillons erstellt werden (siehe S. 177-178), und ergab, dass alle im Projekt eingesetzten Materialien entweder Wiederverwendet oder -verwertet werden können (überwiegend im Closed-Loop Szenario Re-Use & Recycling).

Außerdem ist anzumerken, dass die architektonische Freiheit durch das kreislaufgerechte Entwerfen keineswegs eingeschränkt ist. Vielmehr kann eine fundierte Auseinandersetzung mit Materialität und Konstruktion eine Formensprache unterstützen, die einer Vielzahl von Gestaltungsanforderungen gerecht wird.

Während der Auseinandersetzung mit kreislaufgerechtem Bauen ist eine wesentliche Sichtweise auf diese ‚neuartige‘ Entwurfspraxis untermauert worden:

Das kreislaufgerechte Entwerfen mit dem Ziel der gewissenhaften Ressourcenschonung und -nutzung verkörpert ein, von Planern und Planerinnen prinzipiell verinnerlichte Intention: und zwar Gebäude zu schaffen, die gesund für die Nutzer*innen sind und gleichzeitig keinen Schaden an der Umwelt anrichten. Darin ist durchaus eine moralische Aufgabe zu erkennen. Obendrein bereitet es Freude, etwas ‚Gutes‘ zu entwerfen! Denn, um mit den zu Beginn der Arbeit einleitenden Worten abzuschließen:

*„Jeder Eingriff setzt eine Zerstörung voraus,
zerstöre mit Verstand und mit Freude.“²⁴⁹*

Luigi Snozzi, Schweizer Architekt und Professor
für Architektur, über das Architekturschaffen.

²⁴⁹ Rimmel, 2015, S. 54.

16 Anhang

1 Literaturverweise	S. 223-226
2 Abbildungsverzeichnis	S. 227-230
3 Tabellenverzeichnis	S. 231

6.1 Literaturverweise

68% of the world population projected to live in urban areas by 2050, says UN: in: United Nations News, 2018, www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html (abgerufen am: 30.01.2021).

Achatz, Astrid / Eva Margelik / Thomas Romm / Thomas Kasper / Dirk Jäger: KreislaufBAUwirtschaft: Projekt Endbericht, Wien: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) - V/6 (Abfallvermeidung, -verwertung und -beurteilung), 2021.

Allesch, Astrid / David Laner / Caroline Roithner / Karin Fazeni-Fraisl / Johannes Lindorfer / Simon Moser / Markus Schwarz: Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 2019.

Aufschnaiter, Hannah / Carola Stabauer: rebeauty: design for disassembly and reuse S 2018, Wien: Eigenverlag Abteilung Raumgestaltung und Entwerfen, 2019.

Benkö, Linda: Der Name als Programm, in: ubm Magazin, o.D., www.ubm-development.com/magazin/the-cradle/ (abgerufen am: 22.10.2021).

Bernhardt, Antonia / Fritz Kleemann / Christian Neubauer / Milla Neubauer / Birgit Walter: Datenanalyse zur Behandlung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen in Österreich: Detailstudie zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Wien: Umweltbundesamt GmbH, 2019.

BMK Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Abteilung V/3: Abfallwirtschaftsplanung, Abfallbehandlung und Altlastensanierung: Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich (Statusbericht 2020, Referenzjahr 2018), Wien: BMK, 2020.

Brand, Stewart: How Buildings Learn: What Happens After They're Built, New York: Viking (Viking Penguin), 1994.

Braungart, Michael / William McDonough: Cradle to Cradle: Einfach intelligent produzieren, 2. Aufl., Berlin: Bloomsbury Verlag GmbH, 2016.

Brenner, Valentin: Recyclinggerechtes Konstruieren: Konzepte für eine abfallfreie Konstruktionsweise im Bauwesen, Stuttgart, 2010.

Bürogebäude The Cradle in Düsseldorf: Gesamtlebenszyklusbetrachtung und BIM erstmals vereint, in: Baunetz_Wissen, o. D., www.baunetzwissen.de/bim/objekte/buero-verwaltung/bueroegebaeude-the-cradle-in-duesseldorf-7450135 (abgerufen am: 15.09.2021).

Circular Economy JETZT: Wie Bauteile wiederverwendet werden können: in: IBO Ökologisch Bauen Gesund Wohnen, www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/circular-economy-jetzt (abgerufen am: 05.04.2021).

Circularity Gap Report: Austria, Wien: Altstoff Recycling Austria AG, 2019.

Cutieru, Andreea: A Guide to Design for Disassembly, Stand: 10.06.2020, <https://www.arch-daily.com/943366/a-guide-to-design-for-disassembly> (abgerufen am: 03.25.2021).

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: zur Änderung der Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle, Amtsblatt der Europäischen Union, 2018, eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A32018L0851 (abgerufen am: 29.09.2020).

DBZ Deutsche BauZeitschrift: Modulbau: Wir haben nachgefragt: Was sagen Architekten zum Modulbau?, Gütersloh: Bauverlag BV GmbH, 2018.

DETAIL Green 01/12: Recyclinggerechtes Bauen, Solartechnik in Gebäudehüllen, Nullenergiekonzepte für Gebäude, München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG., 2012.

Digitales Bauwerksmodell, in: Baunetz_Wissen_, o.D., <https://www.baunetzwissen.de/glossar/d/digitales-bauwerksmodell-5314315> (abgerufen am: 23.09.2021).

Durmisevic, Elma: Circular Economy in Construction: Design Strategies for Reversible Buildings, Netherlands, 2019, www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjy2YhPzzAhU1hv0HHb4aD2EQFnoECAUQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.bamb2020.eu%2Fwp-content%2Fuploads%2F2019%2F05%2FReversible-Building-Design-Strategies.pdf&usq=AOvVaw2nFhNSK-mzPUgQe42gBEPi (abgerufen am: 20.09.2021).

EI KON - Entsorgungsindikator für Bauteile, EI10 - Entsorgungsindikator für Gebäude: Leitfaden zur Berechnung des Entsorgungsindikators EI Kon von Bauteilen und des Entsorgungsindikators EI10 auf Gebäudeebene (für Neubauten, Sanierungen und Bestandsgebäude), Version 2.1, Wien: IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 2020, www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/EI10_Berechnungsleitfaden_V2.01_2020.pdf (abgerufen am: 16.05.2021).

Eisenmenger, Nina / Barbara Plank / Eva Milota / Sylvia Gierlinger: Ressourcennutzung in Österreich: Bericht des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) und des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (BMLRT), Band 3, Wien, 2020.

Eisenmenger, Nina / Anke Schaffartzik / Fridolin Krausmann / Eva Milota: Ressourcennutzung in Österreich: Bericht des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ), Wien, 2011.

El khoul, Sebastian / Viola John / Martin Zeumer: Nachhaltig konstruieren: Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl - Gebäude ökologisch bilanzieren und optimieren (DETAIL Green Books), 1. Aufl., München: Detail Business Information GmbH, 2014.

Ellen MacArthur Foundation / ARUP: Circular Economy Cities: Project Guide, 2019.

Entwerfen für den Material-Kreislauf, in: natureplus.org: natural sustainable building, Stand: 12.07.2020, www.natureplus.org/index.php?id=11&L=2&tx_news_pi1%5Bnews%5D=1211&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=964b95b0b06d94b84fe9cbd8045de378 (abgerufen am: 08.08.2021).

European Commission: Principles for Building Design, Brüssel: Europäische Kommission, 2020, ec.europa.eu/docsroom/documents/39984 (abgerufen am: 12.02.2021).

Europäische Kommission: Den Kreislauf schließen: Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft, Brüssel: Europäische Kommission, 2015, ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_19_1480 (abgerufen am: 25.09.2020).

Europäische Kommission: Der neue Grüne Deal, Brüssel: Europäische Kommission, 2019, eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF (abgerufen am: 25.10.2020).

Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen: Nachhaltig massiv, 3. Arbeitspaket, in: IBO: Ökologisch Bauen, Gesund Wohnen, Forschungsprojekte, o.D., <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/erweiterung-des-oi3-index-um-die-nutzungsdauer-von-baustoffen-und-bauteilen> (abgerufen am: 04.05.2021).

Fehringer, Roland / Bernd Brandt / Hans Daxbeck / Stefan Neumayer / Heinz Buschmann / Andreas Gassner: Schaffung von rechtlichen Potenzialen für Urban Mining im Abfallrecht: Abschlussbericht der Arbeitspakete AP2: Kategorisierung des Urban Mining Potenzials AP3: Analyse der Prozesskette, Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), 2014.

Figl, Hildegund / Oliver Kusche: ÖKOBAUDAT-Handbuch: Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank, Version 1.1, Berlin, Wien, Freiburg: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), 2020.

Heisel, Felix / Dirk Hebel: Urban Mining und Kreislaufgerechtes Bauen: Die Stadt als Rohstofflager, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021.

Hestermann, Ulf / Ludwig Rongen: Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 1, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015.

Hillebrandt, Annette / Petra Riegler-Floors / Anja Rosen / Johanna-Katharina Seggewies: Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource (Detail Atlas), München: Detail Business Information GmbH, 2018.

Isopp, Anne: Nachgefragt Welches Potenzial steckt in der Vorfertigung?, in: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 50, 2013.

Infozentrale auf dem Vollgut, o.D., www.infozentrale.berlin/infozentrale (abgerufen am 05.10.2021).

Introduction Madaster, Stand: 23.02.2017, www.rau.eu/2017/02/introduction-madaster/ (abgerufen am: 08.08.2021).

Jäger, Wolfram / Robert Masou / Tammam Bakeer / Sebastian Ortlepp / Werner Sobek / Walter Haase / Christian Bergmann / Heide Schuster / Leman Altinisik / Valentin Brenner / Simone Mörtl / Thomas Thümmler: Entwicklung der Grundprinzipien für voll rezyklierbare, modulare, massive Bauweisen in Breitenanwendung auf 0-Energiebasis, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2013.

Kaufmann, Hermann / Stefan Krötsch / Stefan Winter: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau: DETAIL Atlas, 1. Aufl., München: Detail Business Information GmbH, 2017.

Keily, Laura: Acetylierung: Was ist das und was ist acetyliertes Holz?, Stand: 23.01.2019, www.ac-coya.com/de/acetylierung-was-ist-das-und-was-ist-acetyliertes-holz/ (abgerufen am: 10.09.2021).

Kolb, Bernhard: Stahl – Ökobilanz: in: Forum | Nachhaltiges Bauen, 2021, nachhaltiges-bauen.de/bau-stoffe/Stahl (abgerufen am: 11.03.2021).

König, Holger / Niklaus Kohler / Johannes Kreißig / Thomas Lützkendorf: Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung: Grundlagen, Berechnungen, Planungswerkzeuge, München: Detail Business Information GmbH, 2009.

Kranner, Brigitte: Urban Mining: Rohstoffe in der Stadt, in: Urban Mining, Stand: 22.10.2015, urbanmining.at/urban-mining-rohstoffe-in-der-stadt/6712 (abgerufen am: 03.03.2021).

Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile, in: Europäisches Parlament, Aktuelles, Stand: 07.01.2021, www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile (abgerufen am: 28.07.2021).

Kreislaufwirtschaft statt Wegwerfgesellschaft: in: Umweltbundesamt, 2020, www.umweltbundesamt.at/kreislaufwirtschaft (abgerufen am: 05.11.2020).

Krichmayr, Karin: Die Stadt als Rohstofflager der Zukunft, in: BMK Infothek, 2018, infothek.bmk.gv.at/die-stadt-als-rohstofflager-der-zukunft/ (abgerufen am: 20.05.2021).

Kurzinformation DoTank Circular City Wien 2020 -2030: Kreislaufwirtschaft in der gebauten Umwelt, o.D., Wien: Magistratsdirektion Bauten und Technik, www.wien.gv.at/bauen/dotankcircularcity/publikationen.html (abgerufen am: 01.10.2021)

Lahtinen, Sonja: This isn't an ordinary Monday (but why it should be in a circular economy), Stand: 03.12.2019, www.sonjalahtinen.fi/whitemonday (abgerufen am: 02.10.2020).

Land der Sammler, in: Umweltbundesamt: Home: Umweltthemen: Abfall: Aufkommen: Neue Recyclingquoten, o.D., www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/abfall/abfallaufkommen/neue-recyclingquoten (abgerufen am: 03.05.2021).

Lehrmaterialien zu Kreislaufwirtschaft und Abfallvermeidung im Baubereich, TU Wien, Forschungsbereich E-codesign, 2020.

Leppänen, Nina: Waste Wood for Good: Bridging Nordic Culture and Technique, in: Nordisk Kulturfond, Stand: 07.05.2020, <https://www.nordiskkulturfond.org/inspirationsprojekter/waste-wood-for-good-bridging-nordic-culture-and-technique/> (abgerufen am: 16.09.2021).

Lemaitre, Christine / Anna Braune: DGNB System – Kriterienkatalog Gebäude Neubau, 3. Aufl., Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen – DGNB e.V, 2018.

Level(s): European framework for sustainable buildings, in: European Commission: Environment. Home: Level(s), o.D., https://ec.europa.eu/environment/levels_en (abgerufen am 03.10.2021).

MA 18 / WWTF / TINA Vienna / ÖIR: Smart City Wien Rahmenstrategie, 2. Aufl., Wien: Magistrat der Stadt Wien, 2016.

Madaster Österreich: Lösung zur Challenge: Von der Planung bis zum Abriss – den Baukreislauf neu organisieren, in: IÖB Innovationsplattform, o.D., <https://www.ioeb-innovationsplattform.at/challenges/detail/von-der-planung-bis-zum-abriss-den-baukreislauf-neu-organisieren/detail/idea/madaster-oesterreich-1/> (abgerufen am: 14.07.2021).

Mit welchen Indikatoren wird der Fortschritt hin zur Kreislaufwirtschaft überwacht?, in: Eurostat: der Schlüssel zur europäischen Statistik - Abfallwirtschaft, o.D., ec.europa.eu/eurostat/de/web/circular-economy/indicators (abgerufen am 30.08.2021).

Müller, Anette: Baustoffrecycling: Entstehung – Aufbereitung – Verwertung, Weimar: Springer Vieweg, 2018.

Müller, Felix / Christian Lehmann / Jan Kosmol / Hermann Keßler / Til Bolland: Urban Mining: Ressourcenschonung im Anthropozän, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2017.

New rules for greener and smarter buildings will increase quality of life for all Europeans: in: European Commission, 2019, ec.europa.eu/info/news/new-rules-greener-and-smarter-buildings-will-increase-quality-life-all-europeans-2019-apr-15_en (abgerufen am: 05.05.2021).

Nachhaltiges Regenwassermanagement, in: Stadt Wien: Umweltschutz, o.D., <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/regenwassermanagement.html> (abgerufen am: 27.09.2021).

Ökobilanzierung von Gebäuden, in: DBZ (Deutsche BauZeitschrift), Ausgabe 12/2019, www.dbz.de/artikel/dbz_oekobilanzierung_von_Gebaeuden_3467321.html (abgerufen am: 13.05.2021).

ÖNORM B3151 – Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode, 2014.

Pech, Anton / Martin Aichholzer / Matthias Doubek / Bernd Höfferl / Karlheinz Hollinsky / Alexander Passer / Martin Teibinger / Richard Woschitz. Holz im Hochbau. Theorie und Praxis, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2016.

Pereira, Beverly: From 'take-make-waste' to sustainability!, Stand: 01.04.2017, globalhop.indiaartndesign.com/2017/04/from-take-make-waste-to-sustainability.html (abgerufen am: 04.08.2021).

Rau, Thomas / Sabine Oberhuber: Material Matters: Wie wir es schaffen, die Ressourcenverschwendung zu beenden, die Wirtschaft zu motivieren, bessere Produkte zu erzeugen, und wie Unternehmen, Verbraucher und die Umwelt davon profitieren, aus dem niederländischen ins Deutsche übersetzt von Ira Wilhelm, 2. Aufl., Berlin: Econ Verlag, 2019.

RE4 | Europäisches Forschungsvorhaben, in: ZRS Forschung und Labor, o.D., <https://www.zrs.berlin/de/project/re4-europaeisches-forschungsprojekt/> (abgerufen am: 05.06.2021).

Recycling-Baustoffverordnung (RBV). In: BGBl. II Nr. 290/2016 idF BGBl. II Nr. 290/2016.

Rimmel, Maximilian: Luigi Snozzi: 25 Aphorismen zur Architektur, 2. Aufl., MuttENZ: Schwabe AG, 2015.

Rosen, Anja: Urban Mining Index: Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2021.

Ruiz Durán, Christine / Christine Lemaître / Anna Braune: Circular Economy: Kreisläufe schließen, heißt zukunftsfähig sein, Stuttgart: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB e.V., 2019.

Saad, Ramy / Emilie Tourenne: Energieautarke Gebäude Vom Konzept zur Umsetzung, in: erneuerbare energie: Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie Dachverband, 2020, www.aee.at/innovative-demonstrations-gebaeude/104-zeitschrift/zeitschriften/2020-03-nt/1241-energieautarke-gebaeude-vom-konzept-zur-umsetzung (abgerufen am: 22.09.2021).

Schneider, Ursula / Margit Böck / Hildegund Mötzl: Recyclingfähig Konstruieren: Subprojekt 3 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“, Wien: Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), 2011.

Schober, Peter: Die Logik der Vorfertigung: eine Systemübersicht, in: in: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 50, 2013.

Sigmund, Bettina: Wohnmodul aus Recycling-Material, in: DETAIL Research: Energie & Ressourcen, Stand: 25.04.2018, <https://www.detail.de/artikel/wohnmodul-aus-recycling-material-32134/> (abgerufen am: 12.10.2021).

Smith, Stuart: The Circular Building The most advanced reusable building yet, Stand: 16.11.2016, www.arup.com/perspectives/the-circular-building (abgerufen am: 29.08.2021).

Sobek, Werner / Valentin Brenner / Petra Michaely: Das Gebäude als Ressourcenspeicher: Recyclinggerechtes Bauen in der Praxis, Artikel in DETAILGreen Ausgabe 01/2012, 2012.

The Circular Building, in: Archinect Firms, o.D., <https://archinect.com/aruparchitects/project/the-circular-building> (abgerufen am: 01.10.2021).

The Cradle, in: HPP Architekten Rethinking Architecture, o. D., www.hpp.com/projekte/fallstudien/the-cradle/#!/cb426 (abgerufen am: 22.10.2021).

Von der Wiege zur Wiege – Produktionsprozesse neu denken., in: Epea Switzerland: Cradle to Cradle, o.D., www.epeaswitzerland.com/cradle-to-cradle (abgerufen am: 09.09.2020).

Wiener Abfallwirtschaftsgesetz, 2020, www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrW&Gesetzesnummer=20000141 (abgerufen am: 10.09.2020).

Trinius, Wolfram / Julia Sievert / Eva Schmincke / Frak Grootens / Nora Pankow / Andrea Untergutsch / Julia Görke / Frank Werner / Thomas Lützkendorf / Alexander Passer / Susanne Bergius: Grundlagen und Empfehlungen zur Beschreibung der Rückbau-, Nachnutzungs- und Entsorgungsphase von Bauprodukten in Umweltproduktdeklarationen: Ein Leitfaden für Bauproduktindustrie und Normungsgremien zur Ausgestaltung der Module C und D in EPD und PCR, Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2020.

Umnutzung Lysbüchelareal: Kultur- & Gewerbehäus ELYS, <https://www.insitu.ch/projekte/229-umnutzung-lysbuechelareal> (abgerufen am: 13.10.2021), S.1.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: links: lineares Wirtschaftssystem; rechts: kreislauffähiges Wirtschaftssystem (eigene Darstellung) ..16	
Abb. 2-2: Gegenüberstellung der Wirtschaftsmodelle über Veranschaulichung der Abfallvermeidung (Lahtinen, Sonja: This isn't an ordinary Monday (but why it should be in a circular economy), Stand: 03.12.2019, sonjalahtinen.fi/whitemonday (abgerufen am 02.10.2020)).....	17
Abb. 2-3: biologischer und technischer Kreislauf lt. Cradle to Cradle-Modell (Von der Wiege zur Wiege – Produktionsprozesse neu denken., in: Epea Switzerland: Cradle to Cradle, o.D., www.epeaswitzerland.com/cradle-to-cradle (abgerufen am: 09.09.2020) (grafisch angepasst)).....	18
Abb. 2-4: Schema des gesellschaftlichen Metabolismus (Eisenmenger et al., 2020, S. 16, grafisch angepasst).....	22
Abb. 2-5: Material-Fußabdruck nach Wirtschaftssektoren im Jahr 2015 (Werte sind gerundet, Rundungsdifferenzen wurden nicht ausgeglichen) (in Anlehnung an: Eisenmenger et al., 2020, S. 37)	24
Abb. 2-6: Abfälle aus wirtschaftlichen Tätigkeiten und von Haushalten, EU-28, 2016 (in Anlehnung an: Archive:Abfallstatistik: Abfallaufkommen insgesamt, in: Eurostat statistics explained, Stand: 17.12.2019, https://ec.europa.eu/eurostat/statistics- explained/index.php?title=Archive:Abfallstatistik&oldid=463400#Abfallaufkommen_insgesa mt (abgerufen am: 20.09.2020))	25
Abb. 2-7: Prozentuales Abfallaufkommen in Österreich 2018 nach Abfallgruppen (in Anlehnung an: BMK, 2020, S.14).....	26
Abb. 2-8: Übersicht über die Zusammensetzung der Bau- und Abbruchabfälle im Jahr 2018 (Vgl. BMK, 2020, S.66, grafisch angepasst).....	27
Abb. 2-9: Verwertung und Beseitigung von Abfällen 2018 in Österreich ohne Aushubmaterialien (in Anlehnung an: Vgl. BMK, 2020, S.16).....	28
Abb. 2-10: Überblick über Recyclingraten von verschiedenen Abfallströmen in der EU im Jahre 2018 (Der Indikator ist Teil des ‚Indikatorensets Kreislaufwirtschaft‘. Dieser dient der Überwachung der Fortschritte hin zu einer Kreislaufwirtschaft im Themenbereich „Abfallwirtschaft“. Der Indikator wird ermittelt als das Verhältnis von Bauabfall und Bauschutt, der wiederverwendet, recycelt, oder dessen Material zur Verfüllung wiederverwertet wird, dividiert durch die Gesamtmenge an behandelten Bauabfall und Bauschutt, wie definiert gemäß Verordnung (EC) Nr. 2150/2002 zur Abfallstatistik. Es handelt sich dabei ausschließlich um nicht gefährlichen Abfall) (in Anlehnung an: Mit welchen Indikatoren wird der Fortschritt hin zur Kreislaufwirtschaft überwacht?, in: Eurostat: der Schlüssel zur europäischen Statistik - Abfallwirtschaft, o.D., ec.europa.eu/eurostat/de/web/circular-economy/indicators (abgerufen am 30.08.2021))	29
Abb. 2-11: EU-Recyclingziele für ausgewiesene Stoffströme im Vergleich zu den Kennzahlen in Österreich (Land der Sammler, in: Umweltbundesamt: Home: Umweltthemen: Abfall: Aufkommen: Neue Recyclingquoten, o.D., www.umweltbundesamt.at/umweltthemen/abfall/abfallaufkommen/neue-recyclingquoten (abgerufen am: 03.05.2021))	30
Abb. 2-12: Gegenüberstellung der Bauwerkerrichtung ohne und mit Verwertung von Recycling- Baustoffen (Lauritzen 1998, bezogen aus Müller, 2018, S. 7.).....	31
Abb. 2-13: Kompetenzbereich der Ziele nach Lebenszyklus-Tools und Zielgruppe (übersetzt aus dem Englischen, European Commission, 2020, S.7).....	36
Abb. 2-14: Veranschaulichung der verschiedenen Elemente des Europäischen Grünen Deals (Europäische Kommission, 2019, S.4).....	37
Abb. 2-15: Abfallhierarchie der Kreislaufwirtschaft lt. Wiener Abfallwirtschaftsgesetz (in Anlehnung an Wr. AWG S.3).....	41
Abb. 2-16: Zielplan DoTank Circular City Wien (Kurzinformation DoTank Circular City Wien 2020 -2030, S. 3, grafisch angepasst).....	48

Abb. 2-17: Urban Mining als Sekundärrohstoff-Management (Kranner, Brigitte: Urban Mining: Rohstoffe in der Stadt, in: Urban Mining, Stand: 22.10.2015, urbanmining.at/urban-mining-rohstoffe-in-der-stadt/6712 (abgerufen am: 03.03.2021), grafisch angepasst)	50
Abb. 2-18: Anthropogener Stoffwechsel mit der natürlichen Umwelt (Müller et al., 2017, S.11 (grafisch angepasst)).....	52
Abb. 2-19: Vergleich Primärbergbau mit Urban Mining (Müller et al., 2017, S.22, grafisch angepasst)	53
Abb. 2-20: Räumliche Verteilung von mineralischen Rohstoffen in Wien (in Kilogramm pro Quadratmeter)	56
Abb. 2-21: Aufstockung des Kopfbaus der Halle 118 auf dem Winterthurer Sulzerareal (Pintos, Paula: K118 Kopfbau Halle 118 / baubüro in situ, in: Archdaily, Stand: 16.09.2021, www.archdaily.com/968958/k118-kopfbau-halle-118-hauburo-in-situ (abgerufen am: 13.10.2021)).....	58
Abb. 2-22: Fertiggestelltes Fassadenelement (Umnutzung Lysbüchelareal: Kultur- & Gewerbehäus ELYS, o.D., www.insitu.ch/doc/377 (abgerufen am: 13.10.2021), S.2).....	59
Abb. 2-23: Fenster aus Restposten (Umnutzung Lysbüchelareal: Kultur- & Gewerbehäus ELYS, o.D., www.insitu.ch/doc/377 (abgerufen am: 13.10.2021), S.2).....	59
Abb. 2-24: Verhältnis der Umweltwirkung aus der Nutzungsphase zu den Umweltwirkungen aus den eingesetzten Baumaterialien von links nach rechts: in der Vergangenheit, aktuell, zukünftige Prognose (Ökobilanzierung von Gebäuden, in: DBZ (Deutsche BauZeitschrift), Ausgabe 12/2019, www.dbz.de/artikel/dbz_oekobilanzierung_von_Gebaeuden_3467321.html (abgerufen am: 13.05.2021)).....	61
Abb. 2-25: Dimensionen der Nachhaltigkeit im Bauwesen (El Khouli et al., 2014, S. 14, grafisch angepasst).....	62
Abb. 2-26: lösbare Verbindung Holztragwerk (Cutieru, Andreea: A Guide to Design for Disassembly, Stand: 10.06.2020, www.archdaily.com/943366/a-guide-to-design-for-disassembly (abgerufen am: 03.25.2021))	66
Abb. 2-27: Systemskizze Verbindungsschema gedübeltes Brettsperrholz (So funktioniert Holz100: Ein kurzer Überblick über die Grundlagen der Holz100 Bauweise, in: Thoma-Startseite-Thoma Haus-Das ist Holz100-Bauphysik, o.D., www.thoma.at/bauphysik/ (abgerufen am: 21.09.2021)).....	67
Abb. 2-28: Vollholzelement Holz100 verbunden mittels Holzdübel (Holz100 ist 100 Prozent Holz, in: Thoma: Startseite-Thoma Haus-Das ist Holz100-Holz100 ist 100 Prozent Holz, o.D., www.thoma.at/100-prozent-holz/ (abgerufen am: 05.10.2021)):	67
Abb. 2-29: Vorgefertigte, form- und kraftschlüssige Holzverbindung, DGJ Architektur (Reich, Katja: Re-cycle, Re-use, Köln // Rückblende, in: Detail: Veranstaltungen: Die Zukunft des Bauens, Stand: 27.03.2018, www.detail.de/artikel/re-cycle-re-use-koeln-rueckblende-32504/ (abgerufen am: 22.09.2021))	68
Abb. 2-30: Vorfertigungsgrad in Relation zur Gestaltungsfreiheit (Schober, Peter: Die Logik der Vorfertigung: eine Systemübersicht, in: in: Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz, Nr. 50, 2013, S. 12)	69
Abb. 2-31: End-Of-Life-Szenarien verschiedener Wertstoffe zur Qualifizierung der Kreislauffähigkeit (Rosen, 2021, S. 92, grafisch angepasst)	73
Abb. 2-32: mögliche Nutzungs- und Lebenszyklen von Baustoffen (Hillebrandt et al., 2018, S. 59, grafisch angepasst).....	77
Abb. 2-33: biotischer und technischer Verwertungskreislauf im Bauwesen (Hillebrandt et al., 2018, S. 60, grafisch angepasst).....	78
Abb. 2-34: Beispiele und Anforderungen für das Recycling auf unterschiedlichen Verwertungsniveaus (Müller, 2018, S. 13, grafisch angepasst)	79
Abb. 2-35: Recyclingpotenziale verschiedener Materialien (Hillebrandt et al., 2018, S. 63, grafisch angepasst).....	80
Abb. 2-36: Scherschichten & Lebensdauern nach Stewart Brand (in Anlehnung an Stewart Brand, 1994, S. 13).....	86
Abb. 2-37: Beispiel eines reversiblen Gebäudedesigns (Durmisevic, 2019, S. 14)	90

Abb. 2-38: Recyclingbezogene Kriterien in den etablierten Zertifizierungssystemen (Hillebrandt et al., 2018, S. 25)	94
Abb. 2-39: Ökobilanzierungsmodule A-D (Rosen, 2021, S. 29)	96
Abb. 2-40: Entsorgungswege mit jeweiliger 5-stufiger Klassifizierung (Bewertungsmatrix)	97
Abb. 2-41: Struktur eines Beispiel-Bauwerks in verschiedenen Ebenen als Grundlage zur Bewertung des Kreislaufpotenzials nach dem Urban-Mining-Index (Rosen, 2021, S. 157)	99
Abb. 2-42: Fertiggestellte Infozentrale am Vollgut (www.instagram.com/infozentrale_berlin/)	105
Abb. 2-43: Re-use des Holzes eines alten Dachstuhls (www.instagram.com/infozentrale_berlin/)	105
Abb. 2-44: Herstellung der Wandmodule (www.instagram.com/infozentrale_berlin/)	106
Abb. 2-45: Materiallager nach der Fertigstellung, nicht benötigtes Material wurde verschenkt (www.instagram.com/infozentrale_berlin/)	106
Abb. 2-46: The Circular Building in London (The Circular Building, o.D.)	107
Abb. 2-47: Konstruktionsdetails (Pereira, 2017)	107
Abb. 2-48: Anwendung des Schichtenmodells von Stewart Brand am Circular Building (Smith, Stuart: The Circular Building The most advanced reusable building yet, Stand: 16.11.2016, www.arup.com/perspectives/the-circular-building (abgerufen am: 29.08.2021))	108
Abb. 2-49: NEST Gebäude mit UMAR Unit auf 2. Geschoß (Heisel, Felix: Urban Mining and Recycling (UMAR) Unit, in: Circular Construction Lab, o.D., ccl.aap.cornell.edu/urban-mining-and-recycling-umar-unit/ (abgerufen am: 29.09.2021))	109
Abb. 2-50: lösbare Steckverbindungen aus Holz (Sigmund, 2018)	110
Abb. 2-51: Sammlung der in der UMAR-Unit verbauten Materialien (Kreislaufwirtschaft im Bauwesen - ein Bericht von Greenpeace, in: Werner Sobek, Home: News, Stand: 24.08.2021, www.wernersobek.com/de/news/circularity-in-the-built-environment-a-report-by-greenpeace/ (abgerufen am: 13.09.2021))	110
Abb. 2-52: Vorfertigung der Module in der Fabrik (Sigmund, 2018)	111
Abb. 2-53: Montage der vorfabrizierten Unit (Sigmund, 2018)	111
Abb. 2-54: Visualisierung The Cradle (INTERBODEN Gruppe/HPP Architekten; Visualisierung: bloomimages (per Email erhalten am: 18.10.2021))	112
Abb. 2-55: Reversible Steckverbindung der Fassadenelemente (The Cradle, o.D.)	114
Abb. 2-56: Tragelemente an der Fassade, im EG aus Beton, in den OGs aus Holz (Vultaggio, Antonio: Re-cycle, Re-use - Mehrfachnutzung von Werkstoffen und baulichen Strukturen, o. D., www.detail.de/fileadmin/uploads/10-PDFs/The-Cradle-Duesseldorf-Vultaggio-HPP-ZdB-Koeln.pdf (abgerufen am: 12.10.2021))	114
Abb. 2-57: Prallscheibe für Holzschutz (in blau dargestellt)	114
Abb. 3-1: Betrachtete Ebenen der Gebäudestruktur in Zusammenhang mit den Ebenen der Parameter (schematische Darstellung ohne Anspruch auf Vollständigkeit) (eigene Darstellung)	121
Abb. 3-2: Gewichtung Auswirkung des jeweiligen Parameters auf Nachnutzungsszenario (eigene Darstellung)	123
Abb. 3-3: Parameter für kreislaufgerechte Planung (eigene Darstellung)	124
Abb. 3-4: links: Negativbeispiel internationaler Import von Ressourcen; rechts: Nutzung lokaler Ressourcen (eigene Darstellung)	128
Abb. 3-5: links: Ressourcenraub durch Abbau; rechts: optimale Ressourcennutzung im Kreislauf (eigene Darstellung)	130
Abb. 3-6: Gegenüberstellung gängiger Praxis zu wünschenswerter Praxis in Richtung Wertbeständigkeit & -erhalt (eigene Darstellung)	132
Abb. 3-7: langlebige & kurzlebige Kreisläufe im technischen & biotischen Metabolismus (eigene Darstellung)	134
Abb. 3-8: Beispiele schwer lösbarer & leicht lösbarer Verbindungen (in Anlehnung an Hillebrandt et al., 2018, S. 44)	136
Abb. 3-9: Vergleich von Bauweisen (Materialien) hinsichtlich der Möglichkeit zur einstofflichen Herstellung (in Anlehnung an Hillebrandt et al., 2018, S. 106)	138
Abb. 3-10: Vergleich Grundriss Massivbau zu Skelettbau (eigene Darstellung)	140
Abb. 3-11: Beispiel einer flexiblen Vorfertigung bzw. modularen Bauweise (eigene Darstellung)	142

Abb. 3-12: Interdependenz von Demontage zu Adaptierung und Re-Use (in Anlehnung an Durmisevic, 2019, S.19)	144
Abb. 3-13: Interdependenz von Re-Use & Recycling mit den materiellen und konstruktiven Handlungsparametern (eigene Darstellung).....	146
Abb. 4-1: Nachnutzungspotenziale nach Recyclingweg - ‚End-of-Life-Potenzial‘ (Hillebrandt et al., 2018, s. 136).....	187
Abb. 4-2: Re-Use Bauelemente aus alten Wandverkleidungen, abgehängten Decken und anderen ‚geschürften‘ Werkstoffen (Kooperation TU Wien und materialnomaden, o.D., www.materialnomaden.at/process/rebeauty-i/ (abgerufen am: 20.09.2021)	191
Abb. 4-3: Fassadenpaneel aus Aluminium-Lamellen alter Jalousien (www.enster.at/rebeauty/ (Stand: 20.09.2021)).....	191
Abb. 4-4: Fassadengestaltungen aus Altholz, Nordic Waste Wood Workshop, Kopenhagen (eigene Aufnahme).....	192
Abb. 4-5: Anschlussknoten mit Hakenplatten (System Bulldog) (Hestermann, Ulf / Ludwig Rongen: Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 1, Wiesbaden: Springer Vieweg Verlag, 2015, S. 258)	206
Abb. 4-6: Anschluss Primärträger an Stützen über Stahlteile (Kaufmann, Hermann / Stefan Krötsch / Stefan Winter: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau: DETAIL Atlas, 1. Aufl., München: Detail Business Information GmbH, 2017, S. 42)	206
Abb. 4-7: Brettsperrholzelement gedübelt z.B. Produkt Thoma Holz100 (Hillebrandt et al., 2018, S. 48)...	206
Abb. 4-8: Brettstapelholzelement gedübelt profilierte Ausführung zur Schallabsorption möglich (Hillebrandt et al., 2018, S. 48).....	206
Abb. 4-9: lastabtragende und kapillARBRECHENDE DÄMMUNG unter Bodenplatten aus Recycling-Schaumglas: links als verdichteter Schotterkoffer (Hillebrandt et al., 2018, S. 47).....	207
Abb. 4-10: Schaumglas als Plattenware, verlegt in Trockenbauweise (Hillebrandt et al., 2018, S. 47).....	207
Abb. 4-11: Beispiel eines kreislaufoptimierten Energiekonzepts, Kombination Strom-Wasser, Demonstrationsgebäude EcoCité ABC - auto-nomous building for citizens, Grenoble, Valode & Pistre Architekten (Saad, Ramy / Emilie Tourenne: Energieautarke Gebäude Vom Konzept zur Umsetzung, in: erneuerbare energie: Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie Dachverband, 2020, www.aee.at/innovative-demonstrationsgebäude/104-zeitschrift/zeitschriften/2020-03-nt/1241-energieautarke-gebäude-vom-konzept-zur-umsetzung (abgerufen am: 22.09.2021)).....	209
Abb. 4-12: Fußbodenheizungssystem im Trockenaufbau aus Kupferrohren und aufgesteckten Aluminiumwärmeleitblechen (Hillebrandt et al., 2018, S. 55).....	210
Abb. 4-13: Holzfaser-Trittschalldämmung mit integrierten Aluminium-Wärmeleitblechen als Fußbodenheizung (Hillebrandt et al., 2018, S. 55)	210

6.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Nachnutzungskonzepte auf 3 Maßstabsebenen (in Anlehnung an Brenner, 2010, S. 43).....	63
Tab. 2-2: Materialgruppen im Bauwesen (in Anlehnung an Hillebrandt et al., 2018, S. 58f.).....	71
Tab. 2-3: Verwertungsszenarien im Bauwesen nach Materialgruppe (in Anlehnung an Hillebrandt et al., 2018, S. 58f.)	72
Tab. 4-1: Pflichtheft Entwurfsaufgabe DoTank gegenübergestellt mit möglicher Skalierung in Zukunft (selbst erstellt).....	205