



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## DIPLOMARBEIT

Kreislauffähige Bauwerke  
Portrait eines progressiven  
Entwurfsparameters

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs | Diplom-Ingenieurin  
unter der Leitung

Univ.Prof. Dott.arch. Wilfried Kühn

E253-03

Institut für Architektur und Entwerfen  
Forschungsbereich für Raumgestaltung und Entwerfen

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von  
Jacopo Deplano  
01329241

Wien, am 03.04.2024

Unterschrift

## ABSTRACT

November 3, 2022.

According to calculations by the United Nations, we have reached the threshold of eight billion people on our planet. The associated challenges for humanity and the environment are omnipresent. Finite resources collide with the needs and material consumption of a rapidly growing world population. Our construction activity is a sector that has been largely overlooked by society so far, yet it significantly contributes to environmental pollution, being responsible for 60% of global resource consumption, 50% of global waste production, 50% of global greenhouse gas emissions, and 35% of global energy consumption.

For millennia, building has been closely intertwined with the location and the materials available. Humans, as part of nature, whose system is based on the basic principle of the cycle, in which all substances and energy sources are reused, and which knows no waste or losses. Only the achievements of industrialization and scientific progress in the fields of energy, metallurgy, and chemistry opened up an unprecedented variety of applications that allowed us to abandon this system. A process of detachment accompanied by materials that are unknown to nature, for which its cycle-based system has no use. As manufacturers of these materials, we must take full responsibility and cannot absolve ourselves of that responsibility through the concept of waste. From this idea, this work portrays design parameters of a circular architecture, in which materials, products, or constructions are reintroduced into closed loops after their period of use, without any loss of quality or value.

## ABSTRAKT

3. November 2022.

Laut Berechnungen der Vereinten Nationen haben wir die Schwelle von acht Milliarden Menschen auf unserer Erde erreicht.<sup>1</sup> Die damit verbundenen Herausforderungen für Mensch und Umwelt sind allgegenwärtig. Endliche Ressourcen kollidieren mit den Bedürfnissen und dem Materialverbrauch einer rasant steigenden Weltbevölkerung.

Unsere bauschaffende Tätigkeit ist ein bisher gesellschaftlich kaum beachteter Bereich, der maßgeblich zur Umweltbelastung beiträgt, indem er für 60% des weltweiten Ressourcenverbrauchs, 50% des weltweiten Abfallaufkommens, 50% der globalen klimaschädlichen Gase und 35% des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich ist.<sup>2</sup>

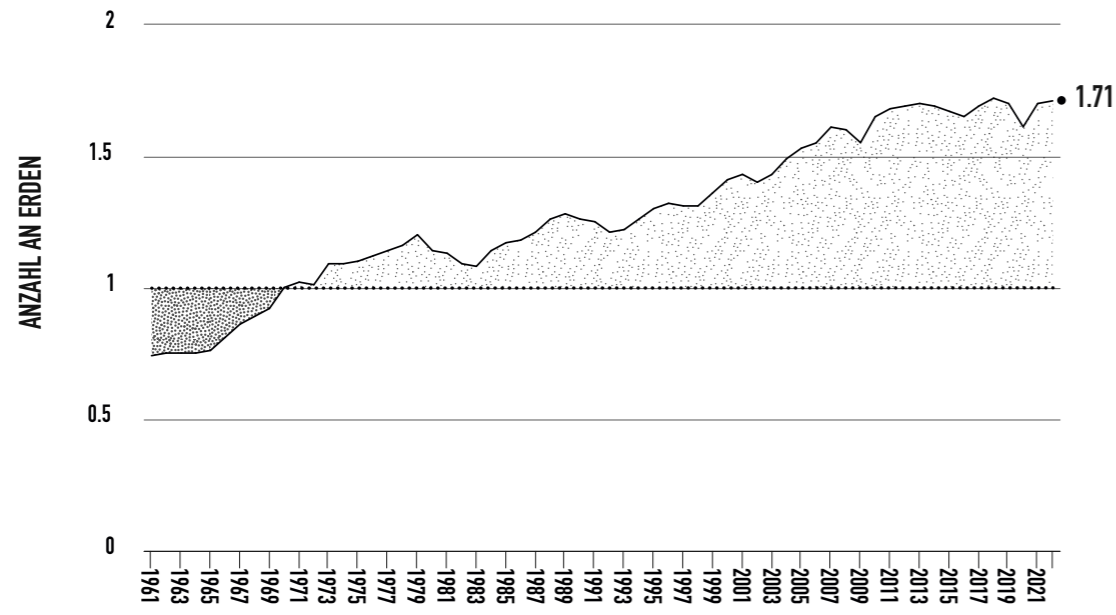
Jahrtausende lang war das Bauen eng mit dem Ort und den jeweils zur Verfügung stehenden Materialien verwoben. Der Mensch als Teil der Natur, dessen System auf dem Grundprinzip des Kreislaufes basiert, bei dem alle Stoffe und Energiequellen wiederverwendet werden und dass keine Abfälle oder Verluste kennt. Erst die Errungenschaften der Industrialisierung und der wissenschaftliche Fortschritt in den Gebieten der Energie, Metallurgie und Chemie eröffneten eine ungeahnte Vielfalt an Anwendungen, die es uns ermöglichten dieses System zu verlassen. Ein Loslösungsprozess begleitet von Materialien, die der Natur unbekannt sind, für die ihr kreislaufbasiertes System keine Verwendung hat. Wir als Hersteller dieser Materialien müssen die volle Verantwortung übernehmen und können uns nicht, durch das Konzept des Abfalls, jener Verantwortung entledigen.

Aus diesem Gedanken heraus werden im Rahmen dieser Arbeit Entwurfparameter einer kreislaufgerechten Architektur portraitiert, in der Materialien, Produkte oder Konstruktionen nach ihrer Nutzungsdauer wieder in geschlossene Kreisläufe eingeführt werden, ohne dass es zu Qualitäts- oder Wertverlusten kommt.

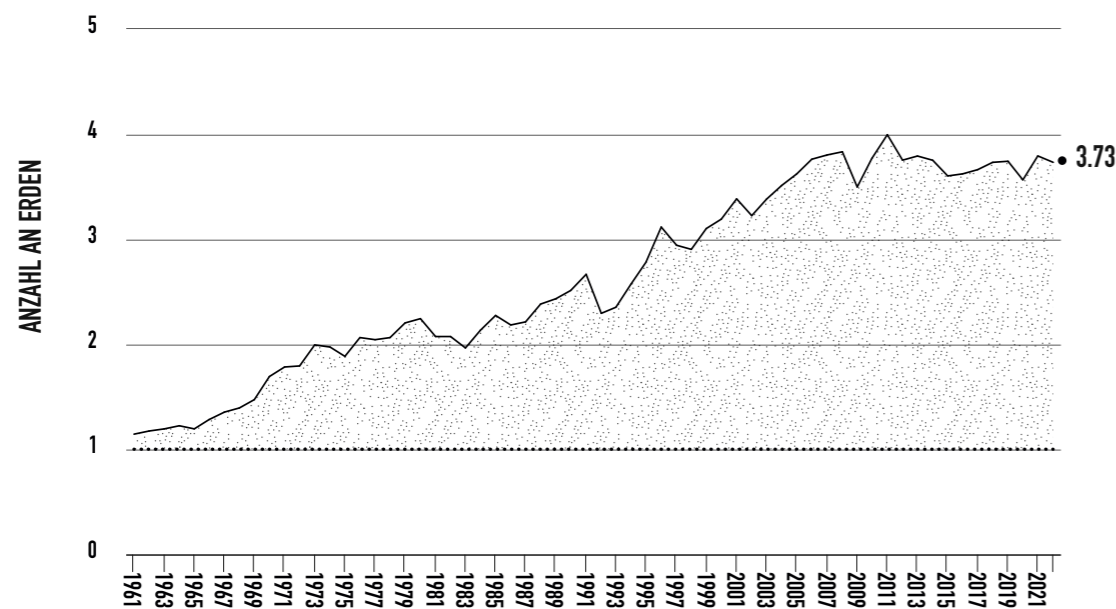
<sup>1</sup> „8 Milliarden Menschen – 8 Milliarden Chancen“, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, zugegriffen 23. Februar 2023, <https://www.bmz.de/de/aktuelles/aktuelle-meldungen/8-milliarden-menschen-8-milliarden-chancen-127434>.

<sup>2</sup> Werner Sobek, Non nobis-über das Bauen in der Zukunft--Buch 1. Ausgehen muss man von dem, was ist (Stuttgart: Avedition, 2022). Seite 18

# WELT



# ÖSTERREICH



## ÖKOLOGISCHER FUSSABDRUCK

Ist ein Maß dafür, wie viel Fläche an biologisch produktivem Land und Wasser ein Individuum, eine Bevölkerung oder eine Aktivität benötigt, um alle Ressourcen zu produzieren, die es verbraucht, und die Abfälle zu absorbieren, die es erzeugt, unter Verwendung der vorherrschenden Technologie und Ressourcenmanagementpraktiken. Der Ökologische Fußabdruck wird normalerweise in globalen Hektar gemessen. Da der Handel global ist, umfasst der Footprint einer Person oder eines Landes Land- oder Meeresflächen in der ganzen Welt. Ohne weitere Spezifizierung bezieht sich der Ökologische Fußabdruck im Allgemeinen auf den Ökologischen Fußabdruck des Konsums.<sup>I</sup>

## ÖKOLOGISCHES DEFIZIT / ÖKOLOGISCHE RESERVE

Die Differenz zwischen der Biokapazität und dem Ökologischen Fußabdruck einer Region oder eines Landes. Ein ökologisches Defizit liegt vor, wenn der Fußabdruck einer Bevölkerung die Biokapazität des für diese Bevölkerung verfügbaren Gebiets übersteigt. Umgekehrt liegt eine ökologische Reserve vor, wenn die Biokapazität einer Region den Fußabdruck der Bevölkerung übersteigt. Wenn es ein regionales oder nationales ökologisches Defizit gibt, bedeutet dies, dass die Region Biokapazität durch Handel importiert, regionale ökologische Ressourcen liquidiert oder Abfälle in ein globales Gemeingut wie die Atmosphäre emittiert. Im Gegensatz zum nationalen Maßstab kann das globale ökologische Defizit nicht durch Handel kompensiert werden und ist daher per Definition gleichbedeutend mit einem sog. Overshoot.<sup>II</sup>

## BIOKAPAZITÄT

Die Fähigkeit von Ökosystemen, jenes zu regenerieren, was der Mensch von diesen Flächen verlangt. Das Leben, einschließlich des menschlichen Lebens, konkurriert um Raum. Die Biokapazität einer bestimmten Fläche entspricht ihrer Fähigkeit, das zu regenerieren, was der Mensch nachfragt. Die Biokapazität ist also die Fähigkeit der Ökosysteme, biologische Materialien zu produzieren, die vom Menschen genutzt werden, und vom Menschen erzeugte Abfallstoffe zu absorbieren, und zwar im Rahmen der derzeitigen Bewirtschaftungssysteme und Gewinnungstechnologien. Die Biokapazität kann sich von Jahr zu Jahr ändern, was auf das Klima, die Bewirtschaftung und auch darauf zurückzuführen ist, welche Anteile als nützliche Inputs für die menschliche Wirtschaft angesehen werden.<sup>III</sup>

<sup>I</sup> „Glossary“, Global Footprint Network, zugegriffen 24. April 2023, <https://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/>.

<sup>II</sup> „Glossary“.

<sup>III</sup> „Glossary“.

Abb. 1 u. 2 erstellt auf der Grundlage von <https://data.footprintnetwork.org>

# INHALT

## KREISLAUFWIRTSCHAFT EINE BEGRIFFERLÄUTERUNG FÜR DAS BAUWESEN

|  |              |
|--|--------------|
| Wirtschaften in Kreisläufen gemäß<br>Walter R. Stahel                              | <b>09-15</b> |
| Das „Cardle to Cardle“ Prinzip<br>gemäß Micheal Braungart u.<br>William McDonough. | <b>16-19</b> |

## SCHLIESSEN VON KREISLÄUFEN IM BAUSEKTOR

|  |              |
|--|--------------|
| Langlebige u. flexible Planung von<br>Gebäuden | <b>20-26</b> |
| Reversibilität planen                          | <b>27-28</b> |

## DER NORDWESTBAHNHOF WIEN ALS ANTHROPOGENE SEKUNDÄRROHSTOFFQUELLE

|                  |              |
|------------------|--------------|
| Historie         | <b>30-31</b> |
| Bestandsaufnahme | <b>32-47</b> |

## REVITALISIERUNG DER EHEMALIGEN TRANSPAK-HALLE

|  |              |
|--|--------------|
| Konzeption einer resilienten<br>Primärstruktur | <b>48-59</b> |
| Nutzungsszenarien im Wandel<br>der Zeit        | <b>60-81</b> |

## KREISLAUFFÄHIGKEIT QUANTIFIZIEREN

|   |              |
|---|--------------|
| Material- und<br>Gebäudekreislauffähigkeitsbericht<br>der ehemaligen Transpak-Halle | <b>82-95</b> |
|---|--------------|

## ABSCHLUSS

|   |                |
|---|----------------|
| Fazit                                   | <b>97</b>      |
| Danksagung                              | <b>98</b>      |
| Literatur- und<br>Abbildungsverzeichnis | <b>100-103</b> |

# KREISLAUFWIRTSCHAFT EINE BEGRIFFERLÄUTERUNG FÜR DAS BAUWESEN

## WIRTSCHAFTEN IN KREISLÄUFEN GEMÄSS WALTER R. STAHEL

Ein äußerst vielversprechender Anwärter um das Lexikon architektonischer Modebegriffe zu erweitern, könnte in Zukunft durch den Begriff „Kreislauffähigkeit“ repräsentiert werden. Ein Trend der keineswegs verwerflich ist, vielmehr ist er ein Indiz dafür, dass diesem Terminus eine zunehmend wichtiger werdende Rolle zugesprochen wird. Vor dem Hintergrund, eine kreislaufgerechte Geisteshaltung im architektonischen Kontext zu etablieren, wird nachfolgend die bedeutende Arbeit diverser Schlüsselfiguren auf diesem Gebiet vorgestellt.

Die erste Persönlichkeit ist der Architekt und Umweltwissenschaftler Walter R. Stahel, dieser leistete Pionierarbeit auf dem Gebiet der Kreislaufwirtschaft, prägte den Begriff der „Leasinggesellschaft“ und entwickelte das Konzept der „Performance Economy“ auf welches im weiteren Verlauf dieses Kapitels noch eingegangen wird. Seit den 1980er-Jahren ist er gleichzeitig als Gründer und Direktor des Instituts für Produktdauer-Forschung und in der Risikomanagement-Forschung der Genfer Vereinigung tätig. Als anerkannter Experte berät er Unternehmen, Regierungen und Organisationen in Fragen der nachhaltigen Entwicklung und dem Ressourcenmanagement.

Gemäß seiner Arbeit, zielt die Kreislaufwirtschaft auf eine optimierte Nutzung von Objekten ab, nicht deren Produktion. Sie strebt danach, den Nutzwert von Objekt-, Komponenten- und Molekülbeständen auf ihrem höchsten Nutzungs- und Wertniveau zu erhalten und diese Bestände rentabel im Wettbewerb mit anderen Wirtschaftsmodellen zu verwalten.

Die Entwicklungsgeschichte der Kreislaufwirtschaft wird von Stahel in drei Phasen gegliedert, die weiterhin koexistieren: natürliche Stoffkreisläufe, menschengemachte Materialströme und ein gesamtgesellschaftliches Nachhaltigkeitsverständnis.<sup>3</sup>

Die erste Phase, bezieht sich auf all jene Güter die aus dem kreislaufbasierten System der Natur stammen. Es sind natürliche Einwegprodukte aus nachwachsenden oder regenerativen Ressourcen, welche am Ende ihres Lebenszyklus wieder als Ausgangsmaterial für beispielsweise Nährstoff- oder Sauerstoff-Kohlenstoffdioxidkreisläufe dienen. Eine Differenzierung erfolgt bei mineralischen und metallischen Stoffen, so sind diese zwar natürlichen Ursprungs und entstehen bzw. entstanden durch natürliche abiotische Prozesse, gelten jedoch aufgrund ihrer sehr langen Entstehungs- und Erneuerungszeiträume, im Verhältnis zur menschlichen Zeitspanne, als endlich. Daher bilden Güter in denen jene Stoffe enthalten sind einen technischen Kreislauf, auf den im weiteren Verlauf noch detailliert eingegangen wird. Bezeichnend für frühe Gesellschaftsformen ist, dass diese in einem symbiotischen Verhältnis mit dem kreislaufbasierten System der Natur lebten. Den Naturgewalten ausgesetzt, lebten sie aus einer Notwendigkeit heraus in kreislauforientierten Gemeinschaften, um ihre Bedürfnisse zu decken. Geprägt von Knappheit und Mangel wurden die lokalen Ressourcen so effizient wie möglich genutzt. Wiederverwendung, Reparatur und Anpassung an die bestehenden Gegebenheiten waren essenziell. Ein Handlungsansatz der auch zivilisierte Kulturen stets begleitete, so überdauerten Infrastruktur Bauten der Antike oder Befestigungsanlagen des Mittelalters lange Zeiträume, weil sie für nachfolgende Generationen von Nutzen waren und stets repariert und Instandgehalten wurden. Gleiches gilt für die Wiederverwendung von aufwendig gefertigten Baumaterialien

<sup>3</sup> Walter R. Stahel, Wirtschaften in Kreisläufen, in: Heisel und Habel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 33

aus Naturstein oder Holz von repräsentativen Bauten, die aufgrund eines Regimewechsels obsolet wurden. So diente das Kolosseum im Verlauf des gesamten Mittelalters bis zur Renaissance- und Barockepoche wiederholt als Steinbruch für Bauprojekte der katholischen Kirche und den herrschenden Familien Roms. Erst im 18. und 19. Jahrhundert, durch die industrielle Revolution bedingt, wird die zweite Phase des Wirtschaftens in Kreisläufen eingeleitet und mit ihr die menschgemachten Materialströme.

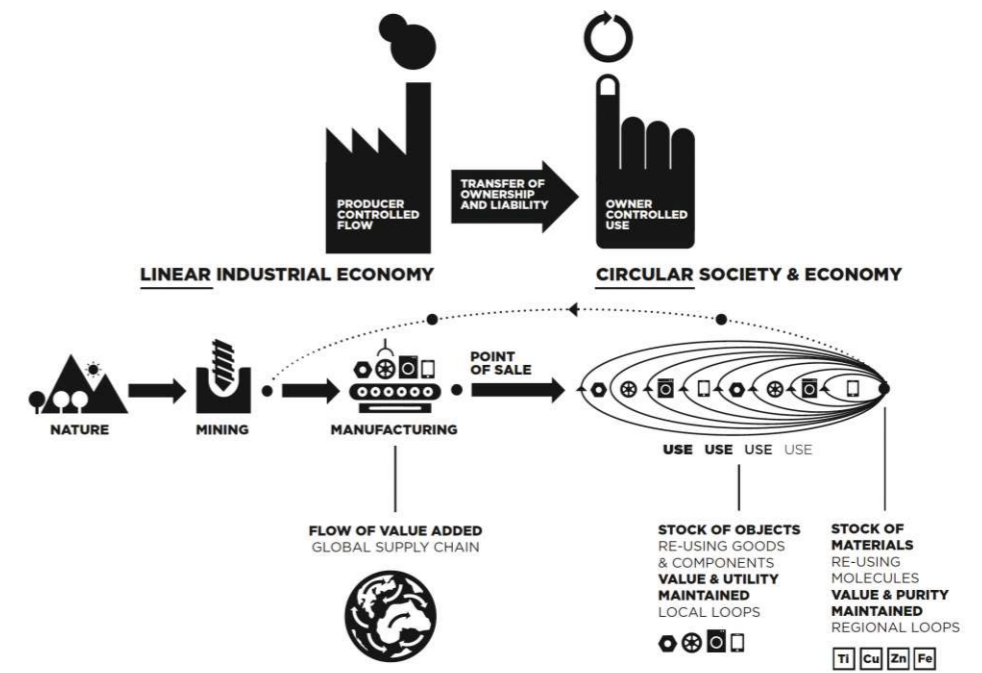
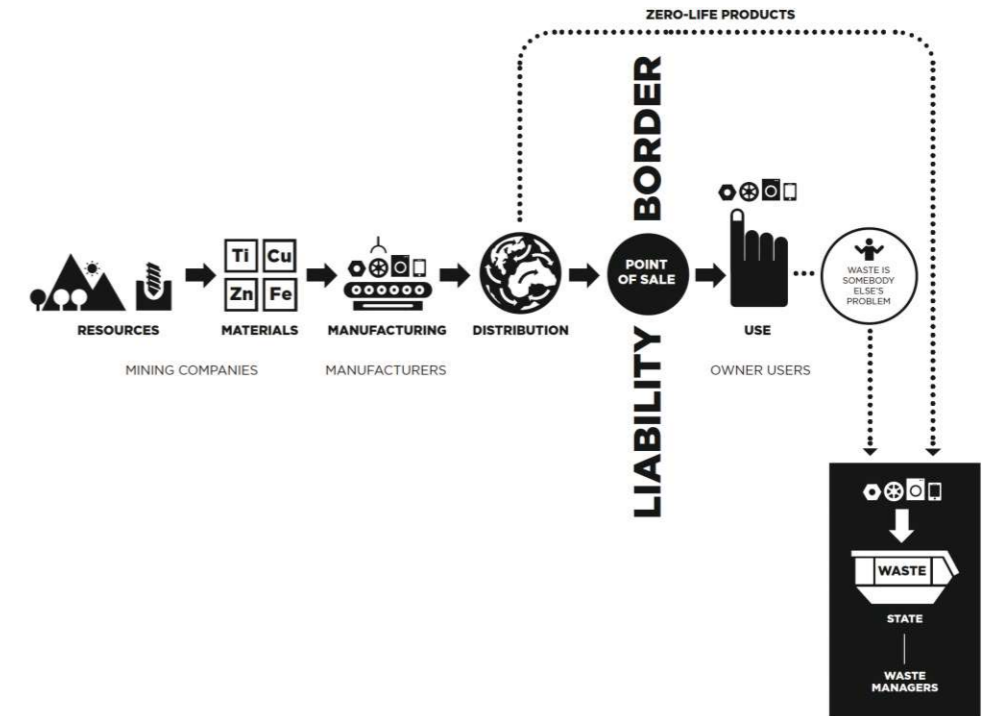
Ein Loslösungsprozess, der uns dazu befähigt hat in Unabhängigkeit von der Natur zu leben. Eine Zeit in der maschinelle Produktionsprozesse und die Massenproduktion von Gütern zunehmend an Bedeutung gewinnen. Begleitet von wissenschaftlichem Fortschritt in den Bereichen Energie, Metallurgie und Chemie, die den Menschen bisher ungeahnten Anwendungsmöglichkeiten eröffneten und dies bei einer gleichzeitigen Senkung der Anwendungskosten aufgrund der globalen Massenfertigung.

Mit dem Beginn der linearen Fertigungswirtschaft wird auch das Anthropozän eingeleitet, eine geologische Epoche in der die Menschheit erstmalig einen so starken Einfluss auf die Erde ausübt, dass sie zu einem entscheidenden geologischen Faktor wird. In dem neuen Reichtum an Gebrauchsgütern, Infrastruktur und Bauwerken industrialisierter Länder sieht Stahel die Grundlage für die Ablösung einer „Kreislaufgesellschaft des Mangels“ durch eine Bestandsbewirtschaftung in einem Wirtschaften in Kreisläufen.<sup>4</sup>

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zwischen den natürlichen Stoffkreisläufen und den menschgemachten Stoffströmen beruht auf der Tatsache, dass die von Menschen erzeugten Materialien, wie zum Beispiel synthetische Produkte, der Natur unbekannt sind und ihr kreislaufbasiertes System keine Verwendung für diese hat. Der Mensch als Hersteller jener Produkte trägt die volle Verantwortung über den Verbleib dieser Produkte und kann sich nicht durch das Konzept von Abfall seiner Verantwortung entledigen. Auf diesem Verantwortungsbewusstsein beruht die Grundlage für ein industrielles Wirtschaften in Kreisläufen, dass auf einen Erhalt von Reichtum abzielt, ohne der Umwelt zu schaden indem durch die Verlängerung der Nutzungsdauer von Gütern keine CO<sub>2</sub>-Emissionen und kein Abfall entstehen und die Rückgewinnung und der erneute Einsatz von reinen Molekülen die Ausbeutung der Natur und die damit verbundenen Beeinträchtigungen der Umwelt vermindern.

Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist auf den Herstellungsprozess menschgemachter Stoffe zurückzuführen. Umgangssprachlich als graue Energie bekannt, geht es um den Primärenergiegehalt, also all jene Energiemenge die bis zur Erstellung oder Fertigstellung von Materialien oder Gütern verbraucht wird. Sie ist permanent und unsichtbar in den Gütern enthalten und um ein Vielfaches höher als die enthaltene Energiemenge in Gütern handwerklicher Herstellung aus natürlichen Materialien. Lange Zeit wurden die Eigenschaften menschgemachter Stoffströme von einer auf Wachstum ausgerichteten Politik ignoriert, was zu einer Gesellschaft des Überflusses, Abfalls und potenzieller Ressourcenknappheit führte, in der die globalisierte Produktion den Wohlstand nicht mehr steigert, sondern vorhandener Wohlstand lediglich durch Neues ersetzt wird.

Um das Erbe einer Konsumgesellschaft des Überflusses zu überwinden, bedarf es ein gesamtgesellschaftliches Nachhaltigkeitsverständnis, welches die dritte Entwicklungsstufe repräsentiert und von Stahel als ausgereiftes industrielles Wirtschaften in



<sup>4</sup> Walter R. Stahel, Wirtschaften in Kreisläufen, in: Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 35

Abb. 3 u. 4 Walter R. Stahel, The Circular Economy: A User's Guide (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019).

Kreisläufen bezeichnet wird.<sup>5</sup> In diesem System werden immaterielle Faktoren, unsichtbare Ressourcen und Themen der Haftung, Ethik und Verhaltenssoziologie berücksichtigt. Die Struktur eines ausgereiften industriellen Wirtschaftens in Kreisläufen ist in zwei Hauptbereiche unterteilt, dem Sektor ‚R‘ und dem Sektor ‚D‘, die wiederum durch einen geschlossenen Haftungskreislauf, durch die Rückgabe von Waren an ihre Hersteller:in, mit einander verknüpft sind.

Der Sektor R beginnt am Verkaufspunkt von einem Produkt und zielt auf eine verlängerte Nutzungsdauer durch deren Reparatur, Wiederverwendung, Wiederaufbereitung, Umprogrammierung oder technisches Hochrüsten ab. Die Hauptakteure in diesem Bereich sind die Eigentümer:innen-Nutzer:innen der Güter, sie haben einen maßgeblichen Einfluss auf den Erhalt von Wert, Qualität und Quantität der Güterbestände. Auf ökologischer Ebene bewirken Güter aus R-Aktivitäten ein verringertes Abfallaufkommen und eine Reduktion grauer Energie, da diese bereits in den Waren eingebettet ist. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit sind Güter der Massenproduktion aus R-Aktivitäten im Durchschnitt um 40 Prozent günstiger als gleichwertige neu hergestellte Produkte.<sup>6</sup>

Die mit R-Aktivitäten verbundenen Dienstleistungen sind besonders arbeitsintensiv, angefangen bei der schonenden Sammlung und werterhaltenden Demontage gebrauchter Güter, bis hin zur Analyse von Reparatur- und Wiederaufbereitungsoptionen für jede demontierte Komponente.

Der Sektor ‚D‘ tritt in Kraft, sobald sämtliche R-Aktivitäten für gebrauchte Güter ausgeschöpft wurden, mit dem Ziel Bestände von Molekülen und Atomen auf höchstmöglichen Wert- bzw. Reinheitsniveau zu verwalten. In welchem Ausmaß dies geschieht hängt im Wesentlichen von der Abfallgesetzgebung und funktionierenden Märkten zwischen den Besitzer:innen der gebrauchten Güter und den Wirtschaftsakteuren:in in den beiden Sektoren „R“ und „D“ ab. Spätestens seitdem China, eine der größten abfallverwertenden Nationen weltweit, im Jahr 2017 jeglichen Import von gemischten Abfällen aus dem Ausland verboten hat, gehört die jahrzehntelang praktizierte Export-Abfallwirtschaftsstrategie Europas der Vergangenheit an.<sup>7</sup> Mehrere asiatische Länder haben Chinas Politik ebenfalls übernommen, was den Druck auf Regierungen, Industrie und Forschung in Europa erhöht hat, um Methoden zur Rückgewinnung reiner hochwertiger Atome und Moleküle zur Wiederverwendung zu entwickeln bzw. zu fördern.

Dies betrifft Verfahren wie die Depolymerisation von Kunststoffen, derzeit durchgeführt bei Nylon, fluorhaltigen Polymeren (PTFE) oder der Wiederverwertung von Kunststoffen wie HDPE.

Der Entlinkung von Metalllegierungen, für die es gegenwärtig keine Verfahren gibt die eine vollständige Entlinkung ohne thermische Behandlung ermöglichen.

Kohlefaser-Verbundwerkstoffen, welche vermehrt in der Produktion von Flugzeugen, Automobilen oder Windturbinenflügeln verwendet werden und für die derzeit in Europa keine Technologien eingesetzt werden, um die Verbundwerkstoffe zu trennen und die Moleküle zurückzugewinnen.

Bei dem Verfahren der Devulkanisierung von Reifen zur Rückgewinnung von

<sup>5</sup> Walter R. Stahel, Wirtschaften in Kreisläufen, in: Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 35

<sup>6</sup> Walter R. Stahel, Wirtschaften in Kreisläufen, in: Heisel und Hebel. Seite 36

<sup>7</sup> Walter R. Stahel, The Circular Economy: A User's Guide (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019). Seite 43

Gummi und Stahl existieren diverse Technologien, jedoch wird ihre Kommerzialisierung durch Subventionen für die Verbrennung von Altreifen behindert.

Eine intelligente Dekonstruktion von bestehenden Infrastruktur- und Bauwerken die es ermöglicht technische Ausrüstung und Innenausstattung zu demonstrieren und einen Teil der Energie zurückzugewinnen, die in den ursprünglichen Bau investiert wurde<sup>8</sup>

Die Struktur eines ausgereiften Wirtschaftens in Kreisläufen wird durch die Schließung der Haftungskreisläufe komplettiert und basiert auf dem von Walter R. Stahel entwickelten Prinzip der „Performance-Wirtschaft“. Ein Modell in dem eine volle Herstellerhaftung für sämtliche der Natur unbekanntes Materialien, Güter und den für die Herstellung miteingeschlossenen Ressourcen besteht.

Das Ziel ist es durch jene Maßnahme Anreize für wirtschaftliche Akteure zu schaffen ihre Produkte so zu gestalten, dass Ressourcen effizienter genutzt und Umweltauswirkungen reduziert werden. Als haftende Eigentümer für sämtliche Risiken und Abfälle soll so ein großes finanzielles Interesse an Schadenverhütung und Abfallvermeidung ihrer hergestellten Waren entstehen.<sup>9</sup> Durch diesen Hebel sollen Geschäftsmodelle gefördert werden die nicht auf Gewinne durch den Verkauf von Gütern abzielen, sondern durch dessen Nutzung bzw. Leistung. Das derartige Geschäftsstrategien erfolgreich umgesetzt werden können zeigt sich anhand diverser Unternehmen.

So bietet Rolls-Royce für ihre Flugzeugmotoren seit 1962 ihren Kunden die Kaufoption von „Power by the Hour“ an. Anstatt den Fluggesellschaften ihre Motoren zu verkaufen gibt es einen umfassenden Antriebs- und Zubehöraustauschservice auf der Grundlage einer festen Kostenpauschale pro Flugstunde. Ein ähnlicher Ansatz wird für LKW-Reifen von dem Reifenhersteller Michelin verfolgt, hier zahlen die Lkw-Besitzer auf Basis der tatsächlichen Nutzung der Reifen, in Form von gefahrenen Kilometern. Auch die Firma Xerox hat ihre Geschäftsstrategie angepasst, indem sie nicht mehr nur Kopiermaschinen verkauft, sondern den Fokus auf den Verkauf von Kopien legt. Kunden können Kopien in gewünschter Menge erwerben, ohne selbst in teure Kopiermaschinen investieren zu müssen.<sup>10</sup>

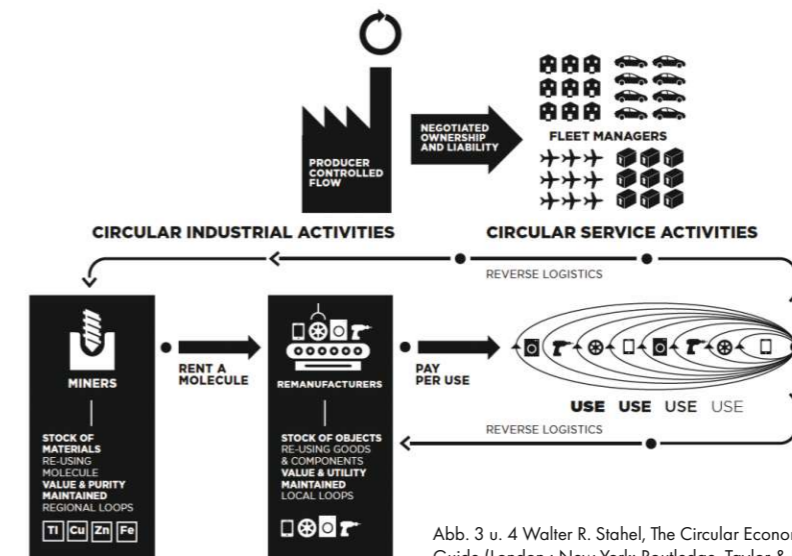
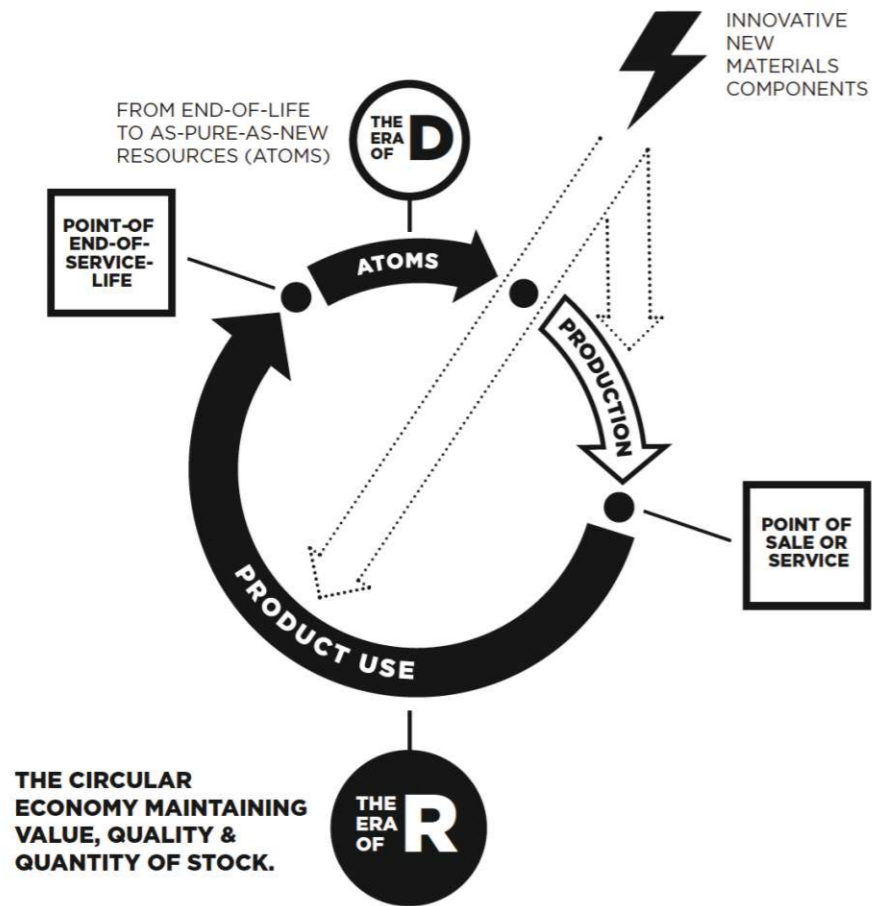


Abb. 3 u. 4 Walter R. Stahel, The Circular Economy: A User's Guide (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019).

<sup>8</sup> Walter R. Stahel, The Circular Economy: A User's Guide (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019). Seite 26-46

<sup>9</sup> Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 38-39

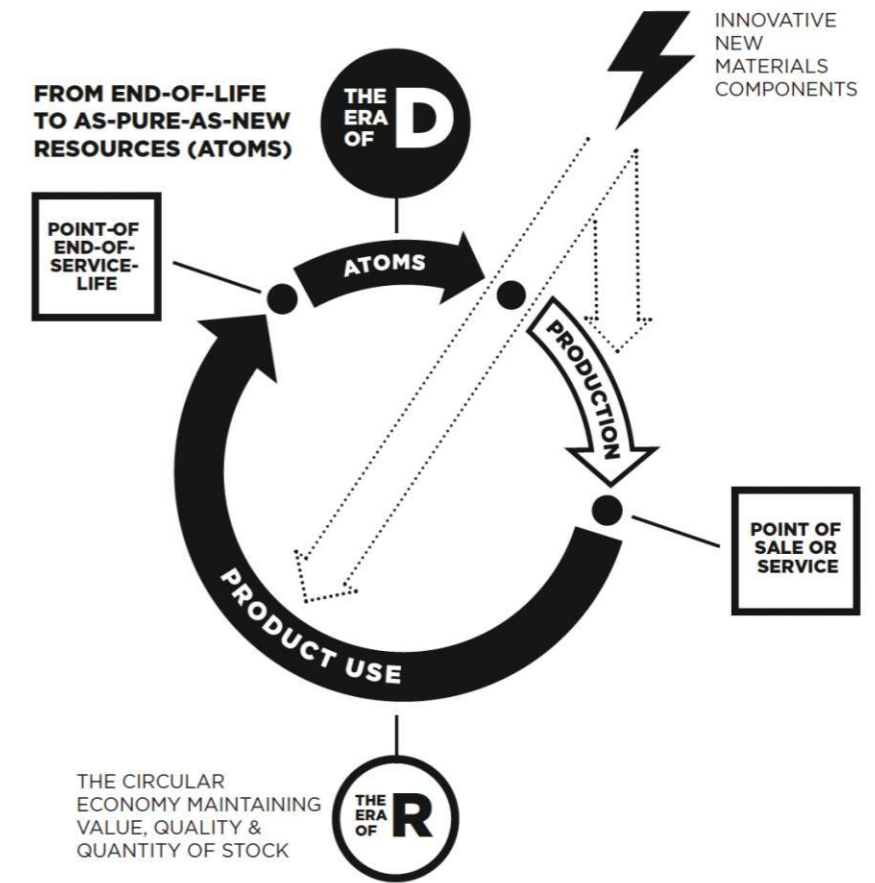
<sup>10</sup> Stahel, The Circular Economy. Seite 70



**THE ERA OF 'R'**

Techno-commercial strategies to keep goods and components at highest value level through:

- Reuse
- Repair
- Remarket
- Remanufacture
- Re-refine
- Reprogramme goods, and



**THE ERA OF 'D'**

Technologies and actions to recover atoms and molecules at highest quality (purity and value) level as pure as virgin:

- De-polymerise,
- De-alloy,
- De-laminate,
- De-vulcanise,
- De-coat materials and
- De-construct high-rise buildings and major infrastructure.



## DAS „CARDLE TO CARDLE“ PRINZIP GEMÄSS MICHAEL BRAUNGART U. WILLIAM MCDONOUGH

Ein weiterer Protagonist auf dem Gebiet der Kreislaufwirtschaft ist der Wissenschaftler Michael Braungart. Der studierte Chemiker beschäftigt sich mit der Idee der perfekten stofflichen Wiederverwertung von Molekülen. Im Fokus seiner Arbeit steht das „Cradle to Cradle“ Prinzip (dt. von der Wiege zurück zur Wiege). Er und Stahel tauschten bereits in den 80er Jahren ihre Ideen an diversen Konferenzen in Deutschland aus, jedoch priorisierten sie zu jener Zeit unterschiedliche Wege:

Stahel betonte die Wichtigkeit der Produktdauer, im Sinne einer langlebigen Nutzung von Gütern und Komponenten, in einem kreislaufbasierten System, also „von der Wiege zurück zur Wiege“ auf der Ebene der Güter; Braungart hingegen, eine stoffliche Wiederverwertung auf der Ebene der Moleküle.<sup>11</sup>

Das die verfolgten Ansätze beider Parteien durch ihre langjährige Forschungsarbeit dazu beigetragen haben den Begriff der Kreislaufwirtschaft stetig zu schärfen, zeigt sich an der hohen Schnittmenge der vertretenen Prinzipien auf diesem Gebiet.

Die Parallelen werden durch einen Blick auf das von der Ellen MacArthur Foundation entwickelte „butterfly diagram“ ersichtlich, welches die Kreislaufwirtschaft auf der Grundlage des Buches „Cradle to Cradle“ von Micheal Braungart und dem Architekten William McDonough visualisiert.

Das Grundprinzip von C2C („Cradle to Cradle“) beruht darauf Materialien und die daraus produzierten Güter so zu entwerfen, dass sie am Ende ihres Lebenszyklus wieder in einen biologischen oder technischen Kreislauf zurückgeführt werden können, ohne dabei Abfall oder Schadstoffe zu erzeugen. Die Unterscheidung zwischen Verbrauchsprodukten und Gebrauchsprodukten ist in diesem Kontext von großer Bedeutung. Die Bestandteile von Verbrauchsprodukten gelangen während der Nutzung zwangsläufig in die Biosphäre und müssen daher vollständig biologisch abbaubar sein. Dies betrifft hauptsächlich Produkte die konsumiert werden, wie Lebensmittel, Kosmetika oder Medikamente. Jedoch können auch andere biologisch abbaubare Materialien wie Baumwolle oder Holz irgendwann aus dem technischen Kreislauf in den biologischen Kreislauf gelangen, sobald sie sich soweit zersetzt haben, dass sie nicht mehr zur Herstellung neuer Produkte verwendet werden können. Das Konzept der Regeneration bildet das zentrale Element im biologischen Kreislauf. Anstatt die Natur kontinuierlich abzubauen, wie es in der linearen Wirtschaft gängige Praxis ist, zielt die Kreislaufwirtschaft darauf ab Prozesse zu fördern um natürliches Kapital aufzubauen.

Die Bestandteile von Gebrauchsprodukten, die nicht in den biologischen Kreislauf gelangen, müssen endlos in technischen Kreisläufen zirkulieren können. Dafür ist eine sortenreine Trennbarkeit notwendig, sodass sie mit mindestens gleichbleibender Qualität wiederverwertet und als neue Ressource eingesetzt werden können. Bevor es dazu kommt existieren innerhalb des technischen Kreislaufes verschiedene Phasen die es ermöglichen, dass Gebrauchsprodukte länger in Verwendung bleiben, bevor sie in ihre Bestandteile zerlegt und auf Molekularer Ebene wiederverwertet werden. In welcher Reihenfolge ein Gebrauchsprodukt die jeweiligen Phasen durchläuft wird am Beispiel eines Smartphones ersichtlich:

Ein funktionierendes Telefon ist mehr wert als die Summe seiner Einzelteile, da die Zeit und Energie, die in seine Herstellung investiert wurden, nicht verloren gehen. Daher greifen die Phasen Teilen (sharing), Warten (maintain/prolong) und

Wiederverwenden (reuse/redistribute) vor den Phasen, in denen das Produkt zerlegt und neu hergestellt wird (refurbish/remanufacture/recycle).

Ein wesentlicher Aspekt für funktionierend technische Kreisläufe ist, dass jede Phase nur dann voll ausgeschöpft werden kann, wenn die Produkte dafür konzipiert wurden. Das kann bedeuten, dass Produkte, die für sharing oder reuse bestimmt sind, langlebiger entworfen werden, um einer intensiveren Nutzung standzuhalten. Es kann bedeuten, Produkte so zu gestalten, dass sie leicht repariert werden können, modulare Produkte zu entwerfen, bei denen Komponenten ausgetauscht und wiederaufbereitet werden können, oder die Sortenreinheit der verwendeten Materialien in den Produkten gewährleistet ist, um eine leichte Wiederverwertung zu ermöglichen.<sup>12</sup>

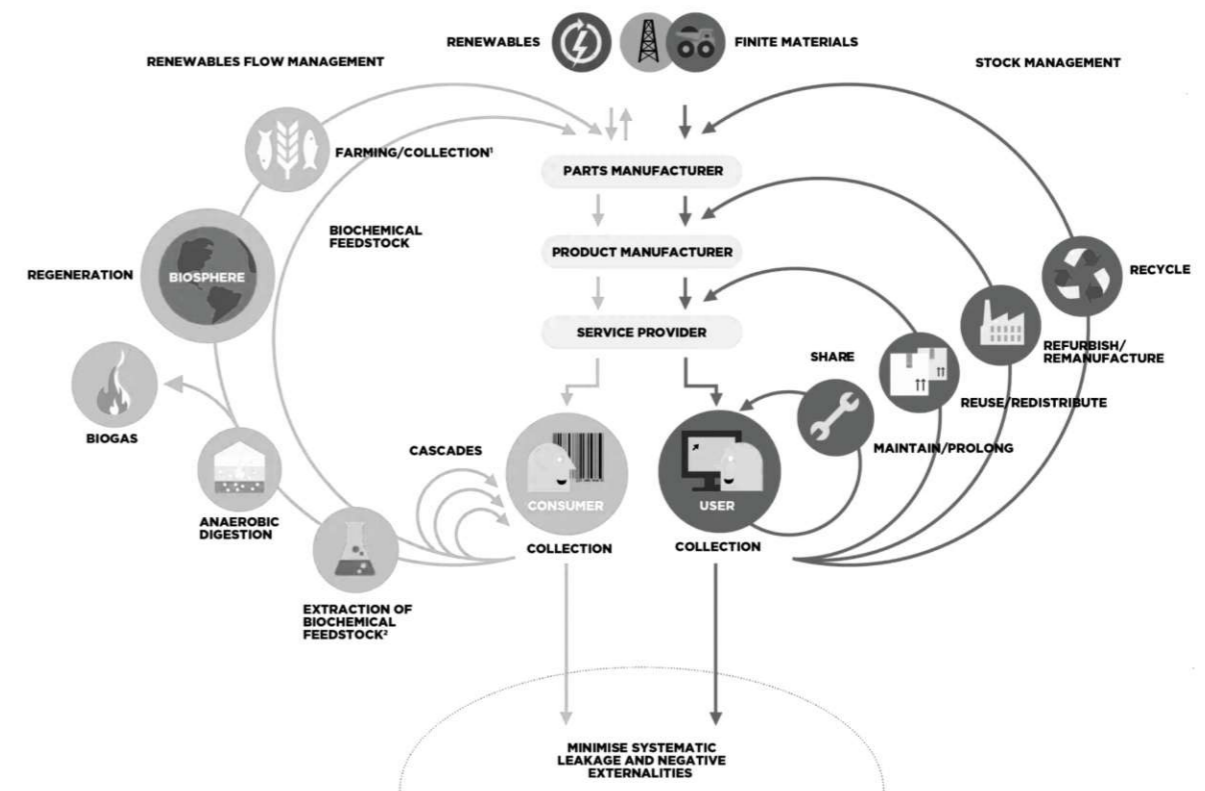


Abb. 7: Das „butterfly diagram“ der Kreislaufwirtschaft, entwickelt von der Ellen MacArthur Foundation, auf der Grundlage von Braungart & McDonough „The Circular Economy in Detail“, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>.

<sup>12</sup> „The Circular Economy in Detail“, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>.

<sup>11</sup> „Von der Wiege zurück zur Wiege - Cradle to Cradle“, zugegriffen 28. März 2024, <http://www.product-life.org/de/cradle-to-cradle>.

## Share

Das Teilen von Produkten aus der Technosphäre zielt wie vorab erwähnt, auf eine effektivere Nutzung von Gebrauchsgütern ab. Ein bezeichnendes Beispiel dafür sind privat genutzte Werkzeuge. Laut dem Bericht «Optimierung der Lebens- und Nutzungsdauer von Produkten» des schweizerischen Bundesrates, beträgt die durchschnittliche effektive Nutzungsdauer von privaten Bohrmaschinen über die Jahre ca. 11 Minuten.<sup>13</sup> Eine schockierende Unterauslastung, der durch gemeinschaftlich genutzte Werkzeugbibliotheken in Ballungsräumen entgegengewirkt wird. Die Nutzer:in zahlen eine Abonnementgebühr, welche Ihnen Zugang zu hochwertigen Werkzeugen gewährt, die sie sich selbst nicht kaufen würden und entlasten dabei gleichzeitig ihr Zuhause. Das Teilen von Gebrauchsgütern kann auf verschiedene Arten angewendet werden. Zu den bekanntesten Beispielen gehören Car-Sharing-Systeme, die seit Anfang der 2000er durch umfassende digitale Lösungen den Nutzer:innen ermöglichen Fahrzeuge über mobile Apps zu finden, zu reservieren und zu entsperren.<sup>14</sup>

## Maintain Prolong

Während das Teilen auf eine höhere Nutzungsintensität von Gebrauchsgütern abzielt, ist die Wartung eine Methode, um den Wert eines Produkts zu maximieren und dessen Nutzungszeit zu verlängern. Mit dem Ziel die Qualität von Produkten zu erhalten und Ausfällen oder Verschlechterungen vorzubeugen. Der Wartungsansatz wird, im Fall von einem Auto das regelmäßig zur Inspektion gebracht wird, durchaus schon praktiziert, jedoch greift die Wartung prinzipiell bei allen Verbrauchsprodukten die Verschleißerscheinungen aufweisen.<sup>15</sup>

## Reuse Redistribute

Die nächste Schleife innerhalb des technischen Kreislaufes ist die Wiederverwendung. Ebenso wie in den vorangegangenen Schleifen von Teilen und Warten, behält das Produkt in dieser Phase seine ursprüngliche Form und seinen ursprünglichen Verwendungszweck bei. Geschäftsmodelle für die Wiederverwendung entstehen in allen Bereichen der Wirtschaft. Insbesondere wiederverwendbare Verpackungen sind eine der effektivsten Möglichkeiten, Verpackungsabfall zu reduzieren und werden im Bereich von Lebensmitteln und Getränken bis hin zu Kosmetika und Haushaltsreinigung, angenommen. Ein weiterer florierender Sektor für die Wiederverwendung ist die Textilbranche. Immer mehr Menschen verkaufen ihre unerwünschte Kleidung und kaufen Kleidung von Wiederverkaufsplattformen oder Secondhandshops, oft zu einem Bruchteil der Kosten für Neuware. Dies verringert einerseits die Notwendigkeit ein neues Produkt herzustellen und andererseits verhindert es die Verschwendung unerwünschter Kleidungsstücke. Gleiches gilt für die Umverteilung von Produkten, mit dem Unterschied das es sich dabei nicht zwangsläufig um gebrauchte Waren handeln muss. So können, um im Bereich der Textilindustrie zu bleiben, Modeunternehmen unverkaufte Kleidung von einem Geschäft in ein anderes umverteilen.<sup>16</sup>

<sup>13</sup> <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/37479.pdf>

<sup>14</sup> „The Circular Economy in Detail“.

<sup>15</sup> „The Circular Economy in Detail“.

<sup>16</sup> „The Circular Economy in Detail“.

## Refurbish Remanufacture

Das Aufarbeiten von Produkten ist ein weiterer Prozess der als Hebel für eine verlängerte Nutzungsdauer wirken kann. In dieser Schleife der technologischen Kreisläufe werden Produkte repariert, Komponenten ausgetauscht, Spezifikationen aktualisiert und das äußere Erscheinungsbild aufgearbeitet.

Auf die Aufbereitungsprozesse folgt die Wiederaufbereitung von Produkten innerhalb der technischen Kreisläufe. Jene Prozesse sind arbeitsintensiver und mit erhöhten Kosten verbunden, verglichen mit Aufarbeitungsprozessen, da die betreffenden Produkte funktionsuntüchtig bzw. defekt sind. Das Ziel der Wiederaufbereitung ist es, das Produkt in einen Zustand zu versetzen der dem eines neuen Produkts möglichst nahekommt. Dazu werden Komponenten durch neue oder überholte Teile ersetzt, um eine höhere Leistung, Zuverlässigkeit und Langlebigkeit zu gewährleisten. Dies ist häufig in Industriezweigen wie der Automobilindustrie oder bei industriellen Maschinen der Fall. Auch wenn Investitionen in Anlagen und Maschinen anfänglich erforderlich sind, bedeutet es aber, dass Produkte und Komponenten nicht zu Abfall werden und in der Wirtschaft verbleiben können, was eine Kostenersparnis für Unternehmen und Kunden bedeutet. China hat in diesem Kontext die Kreislaufwirtschaft seit den späten 2000er Jahren zu einer nationalen Priorität erklärt und die Wiederaufbereitung von Fahrzeugen als strategischen Sektor identifiziert.<sup>17</sup>

## Recycling

Die äußerste und letzte Schleife der technischen Kreisläufe betrifft Prozesse der Wiederverwertung. Dies betrifft all jene Produkte, welche die vorangegangenen Schleifen nicht mehr durchlaufen können oder für diese nicht geeignet sind. Es ist die letzte Möglichkeit, die Materialien aus den ein Produkt hergestellt wurde weiter zu verwenden, damit sie nicht zu Abfall werden. Wiederverwertungsprozesse bedeuten immer den Verlust des Produktwerts als Ganzes und die in seine Herstellung investierte Zeit und Energie, jedoch ermöglichen sie auch ein Produkt oder ein Bauteil in seine Grundstoffe oder Substanzen umzuwandeln, um diese zu neuen Materialien zu verarbeiten.<sup>18</sup>

<sup>17</sup> „The Circular Economy in Detail“.

<sup>18</sup> „The Circular Economy in Detail“.

# SCHLIESSEN VON KREISLÄUFEN IM BAUSEKTOR

Unsere bauschaffende Tätigkeit ist ein bisher gesellschaftlich kaum beachteter Bereich, der maßgeblich zur Umweltbelastung beiträgt, indem er für 60% des weltweiten Ressourcenverbrauchs, 50% des weltweiten Abfallaufkommens, 50% der globalen klimaschädlichen Gase und 35% des weltweiten Energieverbrauchs verantwortlich ist. Die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft bieten zahlreiche Ansatzpunkte, um den enormen Ressourcen- und Energieverbrauch unserer gebauten Umwelt zu optimieren. Im folgenden Abschnitt werden sowohl Hebel als auch Hürden behandelt, die dazu beitragen können, eine Architektur zu etablieren, die den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft folgt.<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Werner Sobek, Non nobis-über das Bauen in der Zukunft-- Buch 1. Ausgehen muss man von dem, was ist (Stuttgart: Avedition, 2022). Seite 18

## LANGLEBIGE UND FLEXIBLE PLANUNG VON GEBÄUDEN

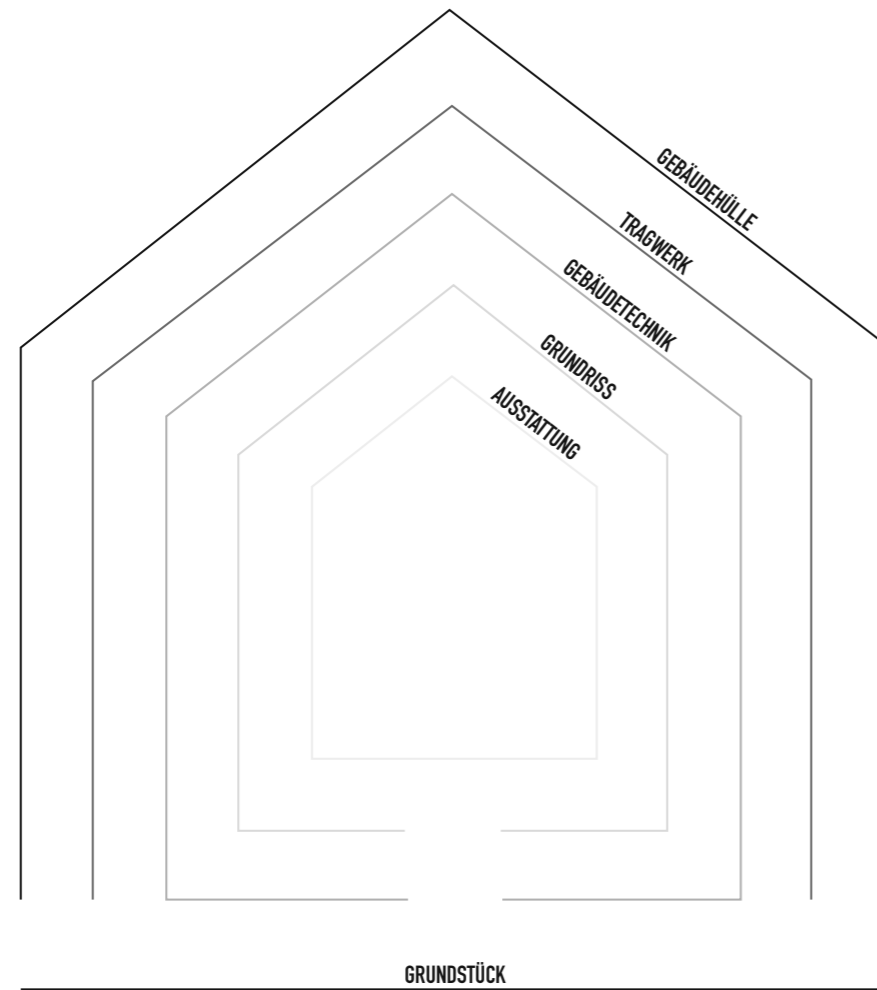
Ein wesentlicher Aspekt um in Zukunft zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und einer verlängerten Lebensdauer von Materialien und Bauteilen beizutragen, beruht auf einer dynamischen Betrachtungsweise unserer Bauwerke, welche wiederum einen maßgeblichen Einfluss auf die angewendeten Entwurfsstrategien im Planungsprozess hat. In dem von Stewart Brand verfassten Buch „How Buildings Learn: What Happens After They’re Built“ wird die Bedeutung von Zeit in Bezug auf die Anpassungsfähigkeit von Gebäuden thematisiert. Mit dem Zitat „Alle Gebäude stellen Prognosen dar. Alle Prognosen sind falsch.“<sup>19</sup> verdeutlicht Brand, dass die einzige beständige Kraft die fortwährende Veränderung ist. Dieser Gedanke gewinnt besonders an Relevanz, wenn er auf die vermeintliche Beständigkeit unserer gebauten Umwelt angewendet wird. Daher fordert Brand, dass Architektur nicht auf Unveränderlichkeit abzielt, sondern vielmehr Veränderung und Anpassungsfähigkeit ermöglicht. Veranschaulicht wird diese These durch das Schichtenmodell von Gebäuden, welches erstmals in den 1970er Jahren von dem Architekten Frank Duffy vorgeschlagen und in den 1990er Jahren von Brand weiterentwickelt wurde.

„Unser grundlegendes Argument ist, dass es so etwas wie ein Gebäude nicht gibt. Ein Gebäude, das richtig konzipiert ist, besteht aus mehreren Schichten von Komponenten, die jeweils unterschiedliche Nutzungs- und Erneuerungszeiträume haben“<sup>20</sup>  
(übersetztes Zitat von Frank Duffy)

Demnach bestehen Gebäude aus separaten und miteinander verknüpften Schichten, von denen jede eine unterschiedliche Lebensdauer hat. Die Abb. 8 zeigt Brands Modell, das sechs Schichten umfasst: Site (Grundstück); Structure (Tragwerk); Skin (Gebäudehülle); Services (Gebäudetechnik); Space Plan (Grundriss); Stuff (Ausstattung). Als kreislauforientierte Entwurfsstrategie durchaus bekannt, jedoch kaum verbreitet, bedeutet das Bauen in Schichten mit Elementen unterschiedlicher Lebensdauer, dass langlebigere Elemente weiterhin genutzt werden können, selbst wenn solche mit kürzerer Lebensdauer ausgetauscht werden müssen. Zum Beispiel können Fassaden oder Heizsysteme als eigenständige Einheiten entworfen und in das Gebäudesystem integriert werden, ohne mit der Bausubstanz verwoben zu sein. Außerdem ermöglicht es, dass Bestandteile eines Gebäudes zu unterschiedlichen Zeiten repariert, ausgetauscht, versetzt oder angepasst werden können, ohne das gesamte Gebäude zu beeinträchtigen. Gegenwärtig bedeutet eine veraltete Haustechnik oftmals den Abriss eines Gebäudes, weil diese derartig mit der Gebäudestruktur verwoben ist, dass eine Anpassung an aktuelle Anforderungen unmöglich beziehungsweise zu hohe Kosten verursachen würde.

<sup>19</sup> Stewart Brand, How Buildings Learn: What Happens after They’re Built (New York, NY: Penguin Books, 1995). Seite.365

<sup>20</sup> Stewart Brand, How Buildings Learn: What Happens after They’re Built (New York, NY: Penguin Books, 1995). Seite.35



### ERNEUERUNGSZYKLEN

|                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| Grundstück     | Ewig                             |
| Tragwerk       | 30 Jahre bis mehrer Jahrhunderte |
| Gebäudehülle   | 20 Jahre bis mehrer Jahrhunderte |
| Gebäudetechnik | 7 Jahre bis mehrer Jahrzehnte    |
| Grundriss      | 3 Jahre bis mehrer Jahrzehnte    |
| Ausstattung    | 1 Tag bis mehrer Jahre           |

Das von Brand entwickelte Schichtenmodell bildet eine Basis, mit der bereits in der Planungsphase, kreislaufgerechte Prozesse im Bauwesen antizipiert werden können. In diesem Zusammenhang ist es wichtig die verschiedenen Parameter zu identifizieren, welche Auswirkungen auf die Lebensdauer von einem Bauwerk und dessen Bauteile haben. Hierzu wird grundsätzlich zwischen materieller und immaterieller Alterung unterschieden.

Die immaterielle Alterung bezieht sich auf Wertverluste, die unter anderem auf die wachsenden oder sich verändernden Ansprüche und Anforderungen der Nutzer sowie auf neue technisch und wirtschaftlich verbesserte Elemente zurückzuführen sind. Neben dem technologischen Fortschritt können Faktoren wie Änderungen im Markt- und Konsumentenverhalten oder rechtliche Veränderungen die immaterielle Alterung beeinflussen.

Obwohl keine Abnutzung, durch chemische oder physikalische Vorgänge, des Bauwerks bzw. der Bauteile vorliegen, führt die immaterielle Alterung zu einem Wertverlust, der bis zu einem vorzeitigen Ersatz von vollfunktionsfähigen Bauwerken bzw. Bauteilen führen kann.

Die materielle Alterung ist selbsterklärend und wird u.a. durch Abnutzung, chemische Reaktionen, mechanische Einwirkungen oder aufgrund von altersbedingter Elementveränderung verursacht. Durch die Faktoren Ermüdung, Verschleiß, Korrosion und Alterung erreicht ein Bauteil zu einem gegebenen Zeitpunkt seine Abnutzungsgrenze, die dessen Ausfall bedeutet.

Es gilt zu beachten, dass die wirtschaftliche Nutzungsdauer in der Regel kürzer als die technische Lebensdauer eines Bauwerks ist. In Bezug auf einen ressourceneffizienten Materialeinsatz im Bauwesen, ist dies eine problematische Tatsache. Laut dem Endbericht des Forschungsprojekts „Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen“ gilt: „Je besser ein Gebäude, ein Bauteil bzw. eine Anlage sich an wechselnde Anforderungen anpassen lässt, desto positiver wirkt sich dies auf die wirtschaftliche Lebensdauer aus.“<sup>21</sup> Dies betrifft insbesondere die Abhängigkeiten der Bauteile untereinander, sowohl Nutzungsmöglichkeiten und Nutzungsansprüche eines Bauwerks.

Die Ausführung der Tragstruktur eines Gebäudes nimmt in diesem Zusammenhang eine Schlüsselrolle ein, sie enthält 75% des ursprünglichen Material-, Energie- und Wasseraufwands als unsichtbare graue Ressourcen [] und sollte im Idealfall Nutzungsansprüchen standhalten, die im Entwurfsprozess noch nicht abzusehen sind. Derartige Flexibilität kann beispielsweise durch den Skelettbau gewährleistet werden. Dieser ermöglicht in der horizontalen Fläche eine freie Raumdefinition durch die Reduktion von tragenden Wänden auf ein Stützen-Trägersystem. Gleichzeitig sind zukünftige Verbindungen in der Vertikalen planbar, sodass geschossübergreifend neue Raumkonfigurationen realisiert werden können, ohne die Primärstruktur berühren zu müssen.

Ein herausragendes Bauwerk, das die Vielseitigkeit und Anpassungsfähigkeit des Skelettbaus demonstriert, ist das von Architekt Giacomo Mattè-Trucco entworfene FIAT-Werk im Stadtteil Lingotto in Turin, das zwischen 1916 und 1926 errichtet wurde. Der 510m lange und 72m tiefe Baukörper ist durch vier großzügige Innenhöfe gegliedert und gehört bis heute zu den pulsierenden Zentren Turins. Die Primärstruktur aus Beton basiert auf einem 6x6m Stützenraster, der einst Raum für die

<sup>21</sup> Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen“, BBSR, zugegriffen

21. August 2023, [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauen-Bauqualitaet/2009/LebensNutzungsdauer/01\\_start.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauen-Bauqualitaet/2009/LebensNutzungsdauer/01_start.html).

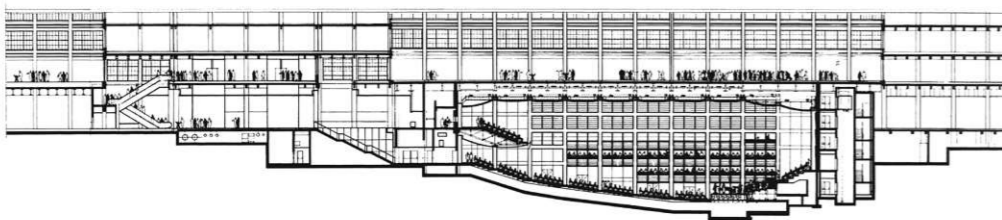
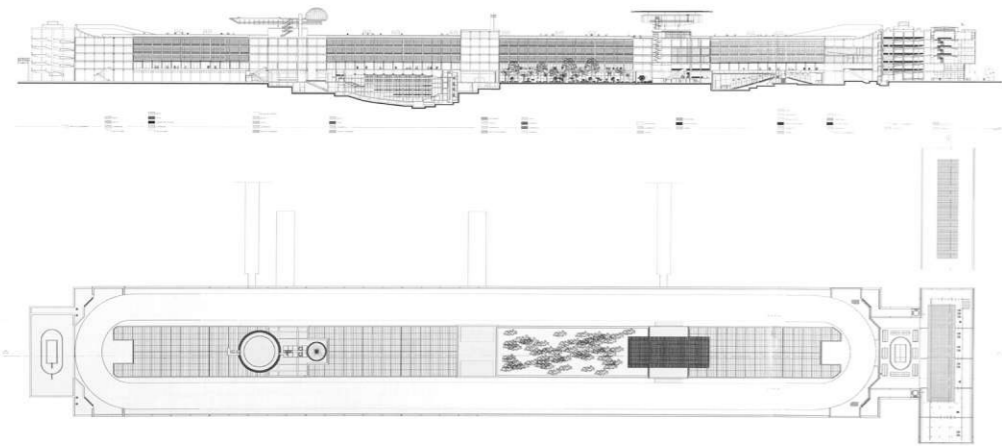


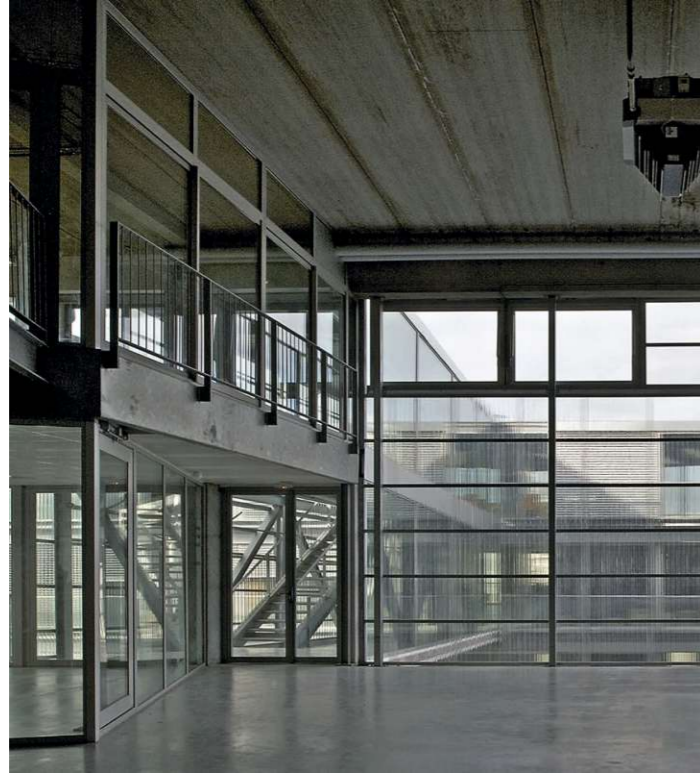
Abb. 9-10  
<https://www.atlasofplaces.com/architecture/lingotto-factory/>

wichtigste Autofabrik Italiens schaffte und heute, 100 Jahre später, Museum, Hotel, Universität, und Geschäftszentrum in einem ist. Nicht etwa die ikonische Rennbahn auf dem Dach, sondern die Anpassungsfähigkeit der Skelettkonstruktion war es, die das Bauwerk tauglich für die Ewigkeit machte.

Außerdem bieten multifunktional angelegte Rohbauräumhöhen einen Hebel, um eine erweiterte Lebensdauer der Primärstruktur zu gewährleisten. Die Umnutzung eines Wohnbaus zu einem Gewerbe- oder Bürobau erfordert häufig die Installation von Kabelkanälen, Belüftungs-, Klimatisierungs- oder Brandschutzsystemen, so dass ein Nachrüsten mit Hohlrumböden und abgehängten Decken notwendig ist. Gegenwärtig werden die Rohbauräumhöhe durch Mindesthöhen determiniert, die lediglich einen monofunktionalen Nutzen erlauben. Die gleichen Überlegungen gilt es für die Dimensionieren tragender Bauteile, hinsichtlich ihrer potenziellen Nutzlasten, zu tätigen.

Die Konzeption der Gebäudehülle ist ein weiterer bedeutsamer Faktor, der die Nutzungsdauer bzw. Nachnutzungsszenarien eines Gebäudes maßgeblich beeinflussen kann. Als physikalische Grenze zwischen Innen- und Außenraum sind die Anforderungen an die Gebäudehülle weitreichend. Die Fassade eines Büro- oder Gewerbegebäudes muss andere Charakteristika aufweisen als ein Wohnbau. Erstere Typologie benötigt beispielsweise eine gleichmäßig hohe, blendfreie Belichtung der Arbeitsplätze, wohingegen eine Wohnnutzung im Schlaf-Badbereich Privatsphäre und im Wohnbereich Loggien oder Balkone erfordern kann. Darüber hinaus wachsen die Ansprüche an die thermische Hülle stetig weiter, sowohl in Bezug auf die Energieeffizienz, als auch in ihrer Funktion, dass betrifft Themen wie z.B. die Hülle als Energieerzeuger oder als Grünflächenangebot zur Förderung der Biodiversität bzw. Kühlung des Mikroklimas. Vervollständigt wird die Gebäudehülle durch die Dachflächen eines Bauwerks, die sogenannte fünfte Fassade erfordert eine ebenso sorgsame Planung wie die der vertikalen Fassaden. Nun gibt es keine universale Gebäudehülle, die sämtliche Anforderungsbereiche für alle Gebäudetypologien abdecken kann. Jedoch besteht die Möglichkeit, durch ein Zusammenspiel von variablen Bauteilen und Materialien die Fassade langfristig bei Bedarf oder technischen Entwicklungen zu optimieren. Dazu ist es sinnvoll, die Gebäudehülle als eine eigenständige Schicht eines Bauwerks zu betrachten, deren Bauteile auf Austauschfreundlichkeit und Rückbaubarkeit ausgelegt sind.

Die Architekturfakultät in Nantes, entworfen im Jahr 2008 vom Pariser Architekturbüro Lacaton & Vassal, zeigt wie ein Gebäude in Schichten gedacht werden kann, um so für künftige Entwicklungen seiner Nutzung offen zu bleiben. In diesem Sinn präsentiert sich das Gebäude auch nach außen. Es wirkt bewusst unfertig und tritt als eine industrielle Infrastruktur in Erscheinung, gesäumt von den vielen Lagerhallen des Hafens in dem es errichtet wurde. Die Primärstruktur besteht aus überdimensionierten 80x80cm starken vorgefertigten Betonstützen und Hohlkörperdecken. Ein System, das für den Bau oberirdischer Parkhäuser zum Einsatz kommt. Die Betonplatten tragen jeweils bis zu 1t/m<sup>2</sup>, wodurch dem Gebäude in ihrer Funktion als Architekturfakultät, den Studierenden die Möglichkeit gegeben wird im M.1:1 zu experimentieren. Die drei Hauptgeschoße sind zwei bis dreistöckig ausgeführt, dadurch ergibt sich das Potenzial die im Wettbewerb geforderte Ausgangsfläche, durch das Einfügen von Zwischengeschoßen in Stahlbauweise, zu verdreifachen. Verbunden werden die Geschoße durch eine Auffahrt und eine öffentliche Rampe, die durch das Innere des Gebäudes bis auf das Belvedere-Dach führt.



Die Gebäudehülle aus vorgehängten Fassadenelementen ist sehr leicht und transparent. Sie besteht aus verzinktem Stahl, Glas und Polycarbonat. Die Innenräume mit einfacher Geschoßhöhe werden durch Trennwände aus Glas und Aluminium thermisch isoliert und spannen eine Wintergartensituation in den überhöhten Räumen auf. Diese sind frei von jeglichem Raumprogramm und können von den Nutzer:innen individuell beansprucht werden. Sämtliche Gebäudetechnik ist sichtbar, demontierbar und erweiterbar. Durch die dem Gebäude eingeschriebene Adaptierbarkeit, entzieht es sich nur einer einzigen Leseart und bietet sich an als Palimpsest, dessen aktuelle Erscheinung nur eine Momentaufnahme ist.

## REVERSIBILITÄT PLANEN

Eine wohlmöglich sensible Thematik für viele Architekturschaffende betrifft die Rückbaubarkeit ihrer eignen Kreationen. Angesichts des enormen Arbeitsaufwands, der erforderlich ist, um diesen überhaupt eine Existenzberechtigung zu verleihen, ist es durchaus verständlich, dass Unmut entstehen kann, wenn bereits im Entwurfsprozess darüber nachgedacht werden muss, wie ein Gebäude in Zukunft Rückgebaut werden könnte, obwohl dessen Errichtung noch bevorsteht.

Dieser Eindruck relativiert sich, wenn man die gegenwärtige Situation unserer gebauten Umwelt betrachtet, die von vielen Fachleuten als die größte (Sonder-) Mülldeponie aller Zeiten betitelt wird. Die bei Rückbaumaßnahmen entstehenden Bauabfälle, in Ländern wie Deutschland oder Österreich, bilden den größten Teil des jährlichen Massenmüllaufkommens.<sup>22</sup> Die Gründe dafür sind auf diverse Faktoren zurückzuführen und betreffen wirtschaftliche, rechtliche sowie technische Aspekte, die wiederum einander bedingen und beeinflussen. Im Folgenden werden technische Aspekte beleuchtet, die im Planungsprozess eines Gebäudes als Hebel dienen können, um das enorme Aufkommen von Bauabfällen zu reduzieren.

Der gegenwertige Modus in dem Materialien verbaut werden, erfolgt größtenteils durch das Einbetonieren, Vermörteln, Verputzen, fugendichtenden Schäumen, Anstreichen, Lackierungen und unzähligen weiteren Baustoffkombinationen. Es geht um Verbundwerkstoffe, die aus zwei oder mehreren Materialien mit unterschiedlichen Werkstoffeigenschaften bestehen und miteinander durch stoffschlüssige Verbindung, in seltenen Fällen durch formschlüssige Verbindung, unlösbar verbunden sind. Das Ziel besteht darin, bestimmte Eigenschaften der verbauten Elemente zu verbessern oder zu gewährleisten, wie zum Beispiel mechanische oder Brandschutzeigenschaften.

Über Jahrzehnte hinweg wurde außer Acht gelassen, dass eine sortenreine Trennung von Verbundwerkstoffen und Verbundkonstruktionen während Um- und Rückbauphasen praktisch unmöglich ist, da allein die genaue Identifizierung der verwendeten Materialien schwierig ist, mit dem Resultat, dass Gebäude nicht rückgebaut, sondern abgerissen werden. Das Thema Recycling im Bauwesen befindet sich noch in den Anfängen und ist kaum im Bewusstsein der Allgemeinheit verankert, weshalb in diesem Sektor bis heute Sondermüll in kaum noch zu überblickenden Mengen produziert werden kann. In diesem Zusammenhang ist es wichtig den aus dem englischen stammenden Begriff von Recycling zu präzisieren. Es gilt zu unterscheiden zwischen

<sup>22</sup> Sobek, Non nobis-über das Bauen in der Zukunft--Buch 1.

Ausgehen muss man von dem, was ist. Seite 174

den Prozessen der Wiederverwendung, Wiederverwertung, Weiterverwendung und Weiterverwertung. Die sehr ähnlich klingenden Wortpaare beschreiben differenzierte funktionale und stoffliche Behandlungsszenarien von Produkten oder Materialien.

Am Beispiel von einem Behälterglas werden die diversen Behandlungsszenarien verdeutlicht. So beschreibt die Wiederverwendung eine mehrmalige Verwendung einer (Pfand-)Flasche, die Produktgestalt bleibt erhalten und erfüllt dieselbe Funktion. Eine Weiterverwendung ist gegeben, wenn zum Beispiel Senfgläser als Trinkgläser eingesetzt werden, in diesem Fall bleibt die Produktgestalt erhalten, jedoch erfüllt es eine andere Funktion. Die Wiederverwertung bedeutet die Auflösung der Produktgestalt, welche in weiterer Folge dieselbe Funktion erfüllt. Die Herstellung von neuen Glasflaschen aus Altglas fällt unter jene Kategorie.

Das letzte Behandlungsszenario ist die Weiterverwertung, darunter fällt der Einsatz von Altglas als Streugut, hier wird die Produktgestalt aufgelöst und eine neue Funktion erfüllt.<sup>23</sup>

Diese ausführlichen Begriffserläuterungen sind wichtig, da nicht jede Form des Recyclings gleichermaßen zur Ressourcenschonung beiträgt oder das Abfallaufkommen reduziert. Insbesondere im Bauwesen gibt es hohe Recycling-Quoten, die sich ausschließlich auf die Weiterverwertung beziehen. Die derzeit verbauten Materialgemische aus verschiedenen Stoffgruppen ermöglichen lediglich Downcycling oder Kaskadennutzungen, aus denen Produkte von minderer Qualität hervorgehen. Besonders betroffen davon sind mineralische Massenbaustoffe und Materialien fossilen oder erdölbasierten Ursprungs. Ein hervorragendes Beispiel dafür sind die weitverbreiteten Wärmedämmverbundsysteme.

Im schlechtesten Fall bedeutet Recycling im Bauwesen die thermische Verwertung von Bauabfällen. Selbst das Material Glas, welches technisch vollständig wiederverwertet werden kann, erreicht innerhalb der Bauindustrie eine durchschnittliche Wiederverwertungsquote von nur 20%, die größtenteils auf Produktionsabfälle zurückzuführen ist. Ein ernüchternder Wert, wenn man ihn mit einer Wiederverwertungsquote von bis zu 90% in der Behälterglasindustrie in Deutschland vergleicht.

<sup>24</sup>Diese Diskrepanz ist darauf zurückzuführen, dass die erforderlichen Grenzwerte für die Wiedereinführung von Glas aus der Abriss- oder Rückbauphase von Gebäuden in die Flachglasproduktion in der Regel aufgrund von Verunreinigungen durch die Konstruktion und während des Sammelprozesses nicht erreicht werden.

In vier Phasen gegliedert, werden in den folgenden Kapiteln die zuvor beschriebenen Parameter einer kreislauffähigen Architektur anhand eines konkreten Entwurfs auf dem Nordwestbahnhof Gelände in Wien, soweit es möglich ist, angewendet.

<sup>23</sup> Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 46-47

<sup>24</sup> Sibylle Wilke, „Glas und Altglas“, Text, Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, 6. August 2013), <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/glas-altglas>.

# DER NORDWESTBAHNHOF WIEN ALS ANTHROPOGENE SEKUNDÄRROHSTOFFQUELLE

Der Nordwestbahnhof, als letzter der großen Kopfbahnhöfe in Wien gebaut, markiert im Jahr 1872 den Abschluss des Streckennetzes der Österreichischen Nordwestbahn in Wien. Ursprünglich wurde der Bahnhof errichtet, um die nordböhmischen Industrieregionen mit Wien zu verknüpfen. In der Folgezeit wurde das Streckennetz erweitert, um auch eine direkte Verbindung zwischen Wien, Berlin und den Nordseehäfen herzustellen.<sup>25</sup>

Dem Voraus geht die Stadterweiterung Wiens von 1868 bis 1875, die auf das Ende der Grundherrschaft im Jahr 1849 zurückgeht und die Stadt in einen städtebaulichen Wandel versetzt, der mit der Mauerschleifung von 1859 seinen Höhepunkt erreichte. Ein weiterer entscheidender Faktor für die Entwicklung des Nordwestbahnhofs und großer Bereiche des 2. und 20. Bezirks war die erste große Donauregulierung. Durch diese Maßnahme wurde das Land erstmals bebaubar und wirtschaftlich nutzbar gemacht, was zu einer nachhaltigen Veränderung der Stadtlanschaft Wiens führte.<sup>26</sup>

Fast 50 Jahre nach der Eröffnung der repräsentativen Halle auf dem Bahnhofsgelände folgt die Einstellung des Personenverkehrs. Infolgedessen kam es zu diversen Zwischennutzungen, unter anderem einer Skihalle im Jahr 1927. Etwa 10 Jahre später nutzte die NSDAP die Außen- und Innenräume für eine Propagandaveranstaltung, bei der die Führungsriege des Regimes sprach. Gleichzeitig fand eine antisemitische Wander-Ausstellung „Der ewige Jude“ statt.<sup>27</sup> Während des Krieges dienten die Magazine und Depots auf dem Bahnhofsareal als Lager für das nationalsozialistische Regime. Der Güterverkehr blieb bestehen, und sogar der Personenverkehr wurde zeitweise wieder aufgenommen. Am Ende des Krieges erlitt der Nordwestbahnhof sowie die meisten Lagerhallen auf dem Gelände Kriegsschäden durch Bombenangriffe. Der Kopfbahnhof wurde jedoch erst im Jahr 1952 endgültig abgerissen. Der letzte Personenzug verkehrte im Jahr 1959. Der Güterbahnhof blieb größtenteils erhalten und wurde in den 1970er Jahren renoviert, bevor er im Jahr 2022 vollständig außer Betrieb genommen wurde.<sup>28</sup>

Der aus dem Blickfeld der Bevölkerung geratene Nordwestbahnhof erfreute sich bis vor kurzem diverser Zwischennutzungen durch Künstlerkollektive oder Theatervereine wie das „brut“. Aber auch andere Aktivitäten auf dem Areal trugen zur Heterogenität durch Zwischenutzung und Aneignung auf dem Gelände bei. Diese Erkenntnis ist größtenteils auf die Arbeit von Tracing Spaces zurückzuführen, einem künstlerischen Projekt von Michael Zinganel und Michael Hieslmair. Tracing Spaces beschäftigt sich seit geraumer Zeit mit Mobilitätsräumen und arbeitet diese durch Mappings, Performances und Ausstellungsprojekte auf. Dabei liegt der Fokus darauf, vergessene städtische Räume sichtbar zu machen und das Bewusstsein dafür zu schärfen.

Dennoch hat der Nordwestbahnhof in den vergangenen Jahren einen umfangreichen Planungsprozess durchlaufen, bei dem die Stadt Wien gemeinsam mit der ÖBB, den Grundstücksbesitzern, ein neues Stadtentwicklungsgebiet plant. Auf dem 44 Hektar großen Areal sollen 6500 Wohnungen für 14-16.000 Menschen und 4000 Arbeitsplätze entstehen. Im April 2024 beginnt die erste Abrissphase der bestehenden Bausubstanz.<sup>29</sup>

Der nachfolgende Abschnitt dieser Arbeit konzentriert sich auf die Bestandsaufnahme verschiedener Hallen auf dem Gelände des Nordwestbahnhofs. Zwischen Abriss, Rückbau und Erhalt wird auf Gebäude- und Bauteilebene untersucht, welche Möglichkeiten bestehen, um einerseits die Erinnerung an diesen geschichtsträchtigen Ort zu bewahren und andererseits zur Ressourcenschonung im Sinne der Kreislaufwirtschaft beizutragen.



Schwarzplan Wien M.1:200 000

<sup>25</sup> Bernhard Hachleitner, Michael Hieslmair, und Michael Zinganel, *Blinder Fleck Nordwestbahnhof: Biografie eines innenstadtnahen Bahnhofsareals* (Wien: Falter Verlag, 2022). Seite 17

<sup>26</sup> Hachleitner, Hieslmair, und Zinganel. Seite 35

<sup>27</sup> Hachleitner, Hieslmair, und Zinganel. Seite 98-99

<sup>28</sup> Hachleitner, Hieslmair, und Zinganel. Seite 17

<sup>29</sup> „Stadtentwicklungsgebiet Nordwestbahnhof - Projektübersicht“, Stadtplanung, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.wien.gv.at/stadtplanung/nordwestbahnhof>.



# STÜCKGUTHALLE

Die Stückguthalle der ÖBB EC-Logistics GmbH entstand im Jahr 1950 durch die Überdachung von zwei ehemaligen Magazinreihen.<sup>29</sup> Die Abbildung 13 zeigt die Backstein-Magazine, die von einer imposanten gebogenen Holzkonstruktion überspannt werden. So wie auch die fünf bereits erfassten gründerzeitlichen Hallen, gehört dieser Abschnitt der Stückguthalle zu dem Ensemble jener Fragmente auf dem Areal, die das Potenzial bieten, revitalisiert zu werden und als solche erhalten zu bleiben. Im Gegensatz dazu ist der Zubau der Stückguthalle auf Abbildung 14 deutlich anders gestaltet. Er besteht aus einer simplen Dachkonstruktion, die sich aus verschiedenen Stahlprofilen und Strebenfachwerkträgern zusammensetzt und von massiven Stahlbetonstützen getragen wird. Die Massivität der Stützen ist darauf zurückzuführen, dass sie einst eine Kranbahn auf ihren Konsolen trugen. Auf einer Fläche von ca. 12.600 m<sup>2</sup> sind hier Ressourcen verbaut, die das Potenzial der Wiederverwendung auf Bauteilebene bieten.



Abb.13: Stückgut-Halle



Abb.14: Zubau Stückgut-Halle

<sup>29</sup> Hachleitner, Hieslmair, und Zinganel. Seite 164



Abb.14: Außenraum Panalpina-Halle

## EHEMALIGE PANALPINA-HALLE

Über 350 m hinweg bilden Betonfertigteileplatten, die in regelmäßigen Abständen von leuchtend gelben Stahltores unterbrochen werden, die scheinbar endlose Fassade der ehemaligen Panalpine-Halle. Lediglich ein verblasster Unternehmensschriftzug erinnert an das Logistikunternehmen, das die Halle auf dem ehemaligen Personenverkehrsgelände im Jahr 1973 errichten ließ.<sup>30</sup> Mittlerweile haben Künstlerinnen die West-Fassade bunt bemalt, sie diente als Leinwand für ihre kreativen Werke. Im Inneren ist die Halle in einem desolaten Zustand. In Bezug auf eine etwaige Wiederverwendung der Bauteile könnten die gelben Stahltores von Bedeutung sein.



Abb.15: Innenraum Panalpina-Halle

<sup>30</sup> Hachleitner, Hieslmair, und Zinganel. Seite 164



Abb.16: Gründerzeitlichen Bebauung, Halle 33, Halle 32



Abb.17: Links im Bild die ehemalige Transpak-Halle, rechts im Bild die Props-Halle

# RELIKTE VERGANGENER ZEITEN

Einige gründerzeitliche Hallen erinnern noch an jene Zeit, als der Nordwestbahnhof ein innerstädtischer Infrastruktorknotenpunkt war und über ihn Güter aus aller Welt ihren Weg nach Wien fanden. Obwohl die charakteristischen Hallen mit ihrem robusten Ziegelmauerwerk das Potenzial haben, als Identitätsträger für den Ort zu dienen, wird dieses in dem städtebaulichen Leitbild für das 44 Hektar große Areal weitgehend ignoriert. In diesem Zusammenhang existieren bereits verschiedene Diplomarbeiten der TU Wien, die wertvolle Beiträge geleistet haben, durch welche die Hallen als Kultureinrichtungen revitalisiert werden können.



Abb.18: Halle 34



Abb.19: Ensemble der gründerzeitlichen Bebauung



Abb.20: Außenraumfoto der ehemaligen Transpak-Halle



Abb. 21: Innenraumfoto der ehemaligen Transpak-Halle

## ANBAU DER EHEMALIGEN TRANSPAK-HALLE



Abb.22: Anbau an die ehmealige Transpak-Halle

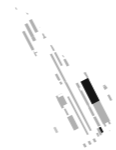
Der Anbau an die ehemalige Transpak-Halle erstreckt sich über eine Länge von 50 m und eine Breite von 20 m, einst genutzt, um die eintreffenden Güterwaggons zu entladen. Die Materialien für den Bau der Halle beschränken sich auf ein Tragwerk, bestehend aus Stahlstützen und Strebenfachwerkträgern, ebenfalls aus Stahl, in Verbindung mit einer schützenden Trapezblechdeckung. Die Bauteilverbindung erfolgt über Schraubverbindungen. Aufgrund der offenen Struktur sind sämtliche Anschlusspunkte gut erreichbar und ermöglichen einen unbedenklichen Rückbau der Bauteile, die noch für eine Wiederverwendung von Interesse sein könnten.

# STAHLBETONSTÜTZE STÜCKGUTHALLE



## KENNDATEN

|         |            |             |                     |
|---------|------------|-------------|---------------------|
| Menge   | ca. 64 Stk | Dimension   | 60cm X 60cm X 860cm |
| Gewicht | -          | Profil Dim. | -                   |
| Baujahr | nach 1950  | Material    | Stahlbeton          |
|         |            | Oberfläche  | -                   |



### FÜGUNGSPRINZIP

Lotrecht zum Stützenkopf sind über eingelassene Gewindestangen die Strebenfachwerkträger des Hallendaches mit den Stützen verschraubt. Rückschlüsse auf die Ausbildung des Einzelfundaments sind augenscheinlich nicht möglich.

### DEMONTAGE

Die Dachkonstruktion ist dementsprechend einfach von den Stützen zu trennen. In Abhängigkeit der Fundamentausführung ist der Rückbau äußerst zeitaufwendig und arbeitsintensiv. Dies hängt mit der schweren Verarbeitbarkeit von Beton zusammen. Die Trennung oder Freilegung der Elementverbindungen ist nur mit schwerem

Gerät wie einer Stahlbetonsäge und einem Presslufthammer möglich.

### PRÜFUNG

Um eine sichere Wiederverwendung zu gewährleisten, sind diverse Prüfverfahren erforderlich. Dazu gehören beispielsweise die Druckprüfung von entnommenen Betonprobekörpern, um die Betonfestigkeit zu bestimmen, sowie Tests zur Überprüfung des Korrosionsschutzes, um Informationen über die Carbonatisierung des Betons zu erhalten. Gegebenenfalls sind auch Bewehrungsscans notwendig, falls Informationen über das betreffende Bauteil unzureichend sind.

### AUFBEREITUNG

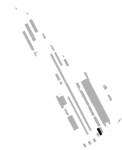
Gegebenenfalls müssen neue Schraubverbindungen konzipiert werden, um eine Rekonfiguration der Bauteile zu ermöglichen. Dies ist aufgrund der Materialeigenschaften des Betons, wie bereits bei der Demontage, zeitaufwändig und arbeitsintensiv.

# FASSADENBLECH ANBAU TRANSPAK-HALLE



## KENNDATEN

|         |                      |            |                                    |
|---------|----------------------|------------|------------------------------------|
| Menge   | ca.700m <sup>2</sup> | Dimension  | var.                               |
| Gewicht | -                    | Material   | Aluminium o. feuerverzinktem Stahl |
| Baujahr | -                    | Oberfläche | var. lackiert                      |



### FÜGUNGSPRINZIP

Verschraubt an Stahlunterkonstruktion

### DEMONTAGE

Ist ohne erheblich Aufwand möglich und kann zerstörungsfrei erfolgen

### PRÜFUNG

keine

### AUFBEREITUNG

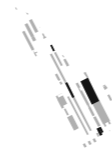
keine

# STAHLBAUTEILE DIVERSER HALLEN



## KENNDATEN

|         |   |             |       |
|---------|---|-------------|-------|
| Menge   | - | Dimension   | var.  |
| Gewicht | - | Profil Dim. | var.  |
| Baujahr | - | Material    | Stahl |
|         |   | Oberfläche  | -     |



### FÜGUNGSPRINZIP

Nach augenscheinlicher Betrachtung sind die meisten Stahlbauteile miteinander verschraubt, in seltenen Fällen geschweißt.

### DEMONTAGE

Die Demontage erfolgt durch das Lösen der Schraubverbindungen. Aufgrund der simplen und offenen Bauweise der Halle sind die Anschlusspunkte leicht zugänglich.

### PRÜFUNG

Wenn die Bauteile nicht als Schrott wiederverwertet, sondern direkt wiederverwendet werden sollen, gilt es zu überprüfen, ob eine CE-Kennzeichnung vorliegt. Diese ermöglicht

es, den Produzenten und das Alter des Bauteils festzustellen sowie die Eigenschaften in Konstruktionsrichtlinien nachzuschlagen. Ist keine CE-Kennzeichnung gegeben beziehungsweise der bestimmte Profiltyp oder das Alter unbekannt sind, werden konservative Annahmen bezüglich der Baustatik getroffen. Dabei werden aus Gründen der Haftpflicht und aufgrund der derzeit noch nicht existierenden Prüfzeugnisse für Ausbauelemente in der Regel zusätzliche chemische und zerstörende Prüfungen in externen Laboren oder zerstörungsfreie Prüfungen an mobilen Geräten durchgeführt.

### AUFBEREITUNG

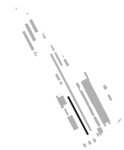
Je nach Wiederverwendungsszenario können unterschiedliche Maßnahmen wie Trennen, Schweißen oder Bohren erforderlich sein. Insbesondere Oberflächenbehandlungen, um Korrosions- und Brandschutzanforderungen zu erfüllen, sind dabei ausschlaggebend.

# STAHLTOR PANALPINA-HALLE



## KENNDATEN

|         |         |            |                          |
|---------|---------|------------|--------------------------|
| Menge   | 18 Stk. | Dimension  | ca.350cm X 300cm X 6cm   |
| Gewicht | -       | Material   | Stahlblech               |
| Baujahr | -       | Oberfläche | verzinkt,lackiert/bemalt |



### FÜGUNGSPRINZIP

Das Stahltor ist oben in eine Laufschiene eingehängt und unten in die Führungsschiene eingesetzt.

### DEMONTAGE

Ist ohne erheblich Aufwand möglich und kann zerstörungsfrei erfolgen

### PRÜFUNG

keine

### AUFBEREITUNG

keine



Im folgenden Kapitel wird aufbauend auf der Bestandsaufnahme des Areal der Versuch unternommen, mit dem zu arbeiten, was weder erhaltenswert im Sinne der Denkmalpflege noch besondere architektonische Qualitäten aufweist. Der Fokus liegt einzig auf dem Ressourcenwert der verbauten Materialien, die infolge der bevorstehenden Abrissarbeiten verloren gehen würden. Als Ausgangspunkt dient die ehemalige Transpak-Halle, eine plump wirkende Lagerhalle, charakterisiert durch graue Betonfassadenplatten, die das rechteckige Volumen mit flachem Satteldach ummanteln. Für die Entwicklung einer Primärkonstruktion ist es das Ziel, Bauteile, die bereits vor Ort vorhanden sind, wiederzuverwenden und in den neuen Entwurf zu integrieren. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei den massiven Betonfertigteilstützen aus der Stückguthalle sowie der Vielzahl an vorgefundenen Stahlbauteilen, die für die Errichtung der Dachkonstruktionen der Hallen genutzt wurden. Alle notwendigen konstruktiven Komponenten, die nicht in ausreichender Weise auf dem Gelände verfügbar sind, werden als neue, wiederverwendbare Bauteile konzipiert und in den Entwurf integriert.

## KONZEPTION EINER RESILIENTEN PRIMÄRSTRUKTUR

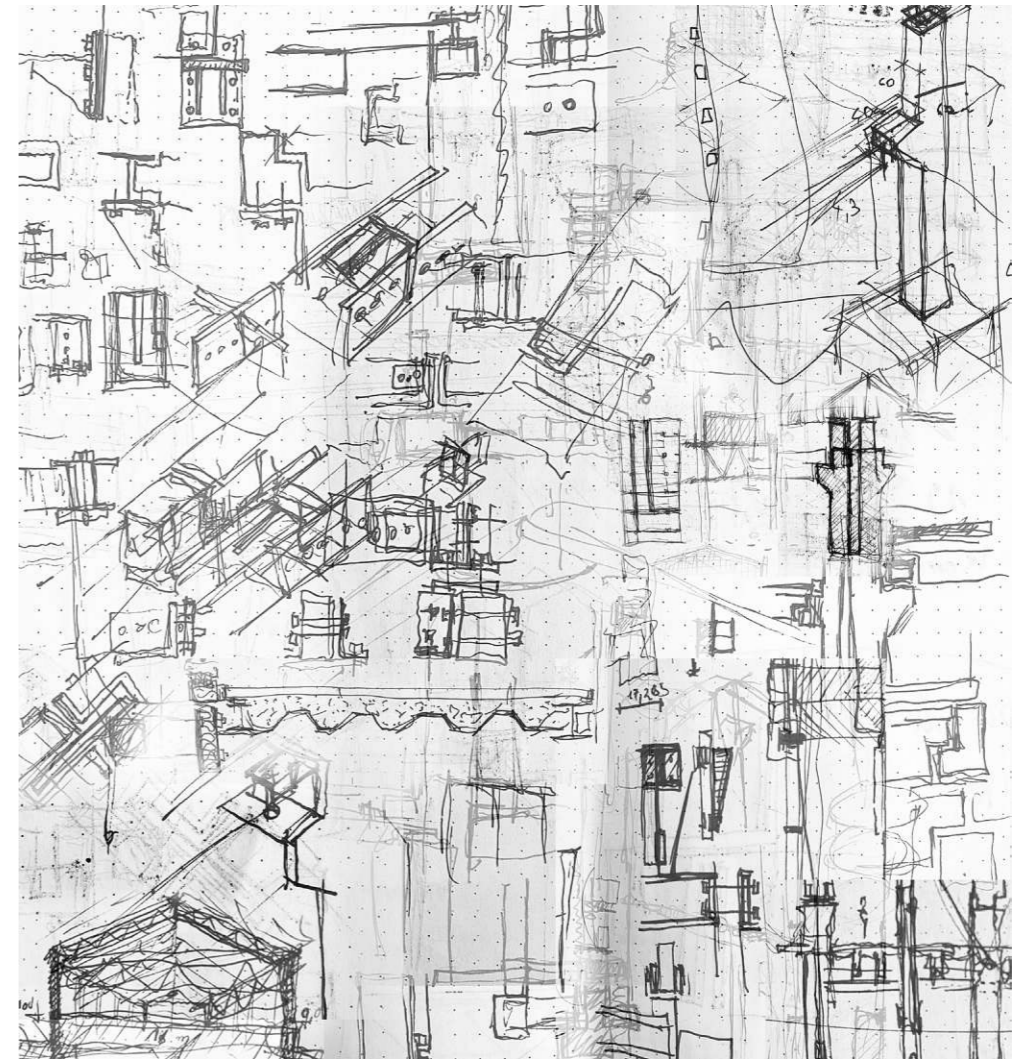
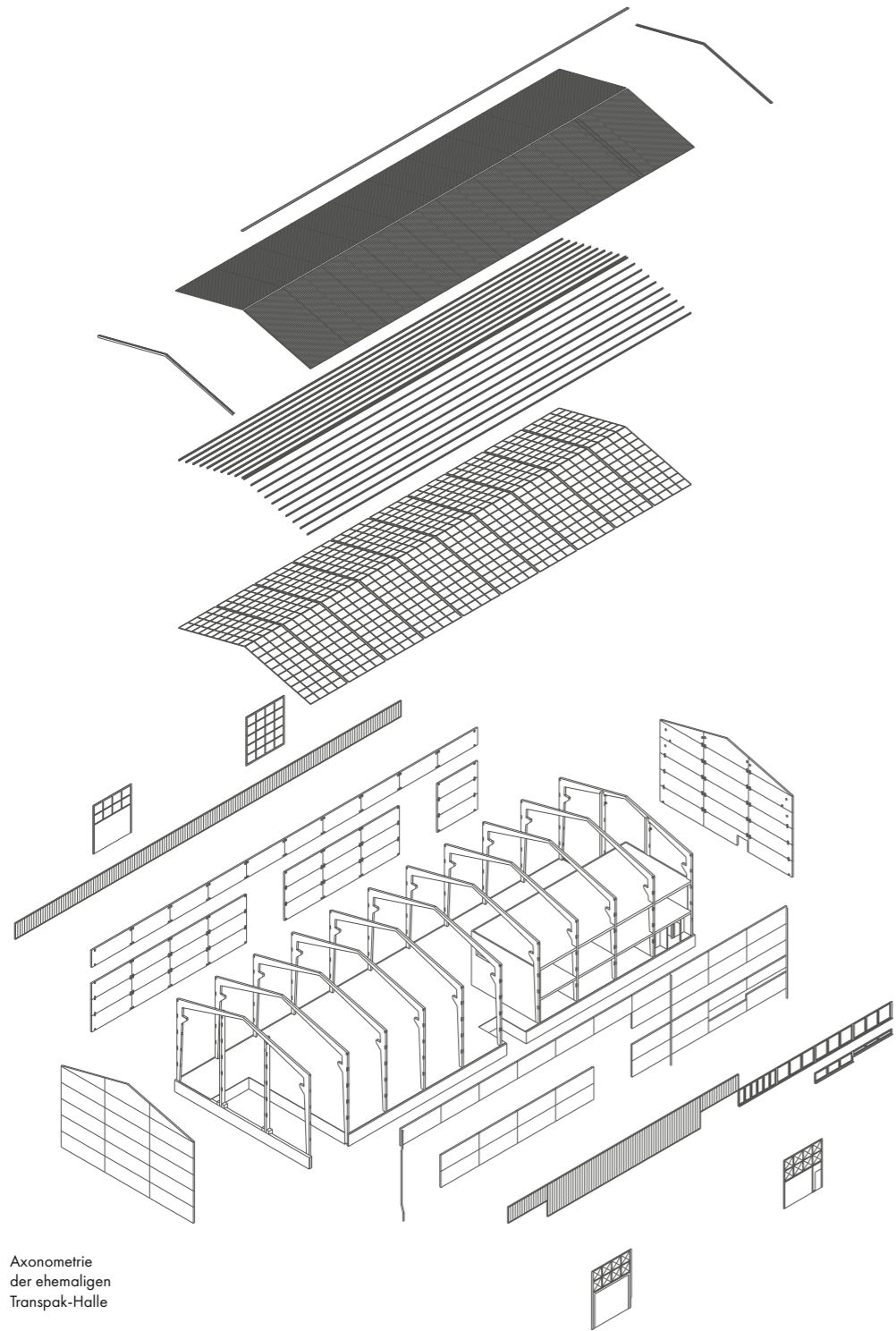


Abb.23: Collage diverser Skizzen aus dem Entwurfsprozess



Die ehemalige Transpak-Halle erstreckt sich über eine Länge von 50 m und eine Breite von 17,50 m. Zwei Betonstützen an den Stirnseiten der Halle und 11 Betonrahmen bilden gemeinsam mit den Betonfasadenplatten die Kubatur. An den Längsseiten verläuft im oberen Drittel ein Profilglas-Fensterband zur Belichtung der Halle. Ein im Jahr 1982 errichteter Büro- und Personaltrakt nimmt etwa 1/4 der Grundfläche im Inneren der Halle ein. Die Dachkonstruktion besteht vermutlich aus Asbest-Dachplatten, die auf einer Unterkonstruktion aus IPE-Profilen montiert sind. Diese wiederum halten ein Abhangdeckensystem.



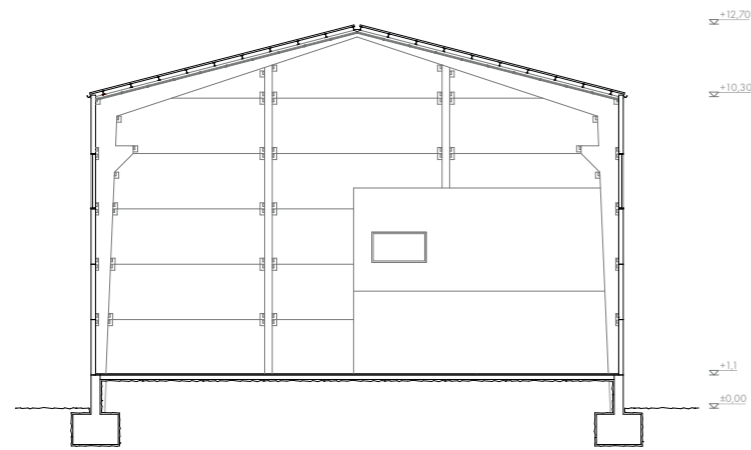
Abb.24: Außenraumfoto der ehemaligen Transpak-Halle



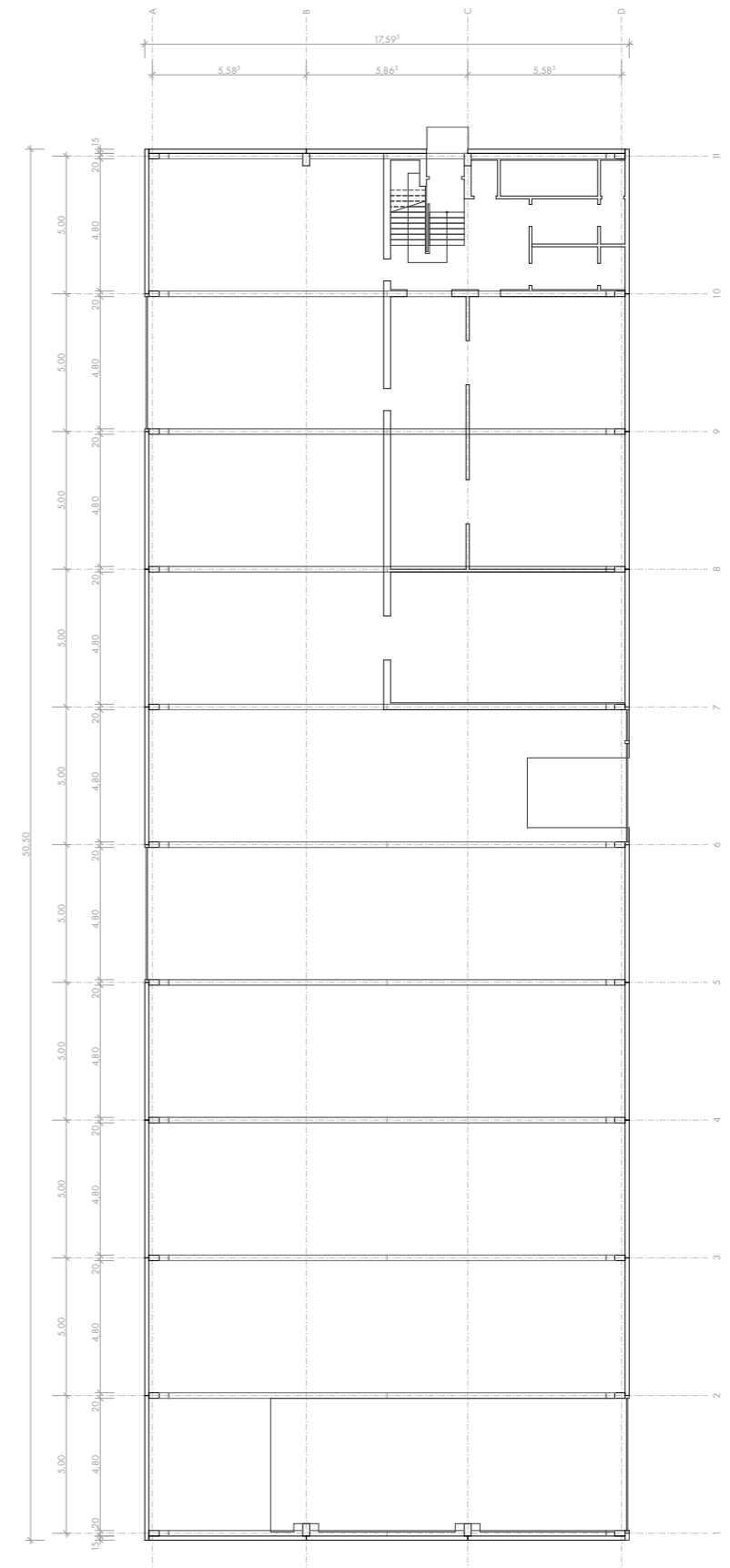
Abb.25: Innenraumfoto der ehemaligen Transpak-Halle



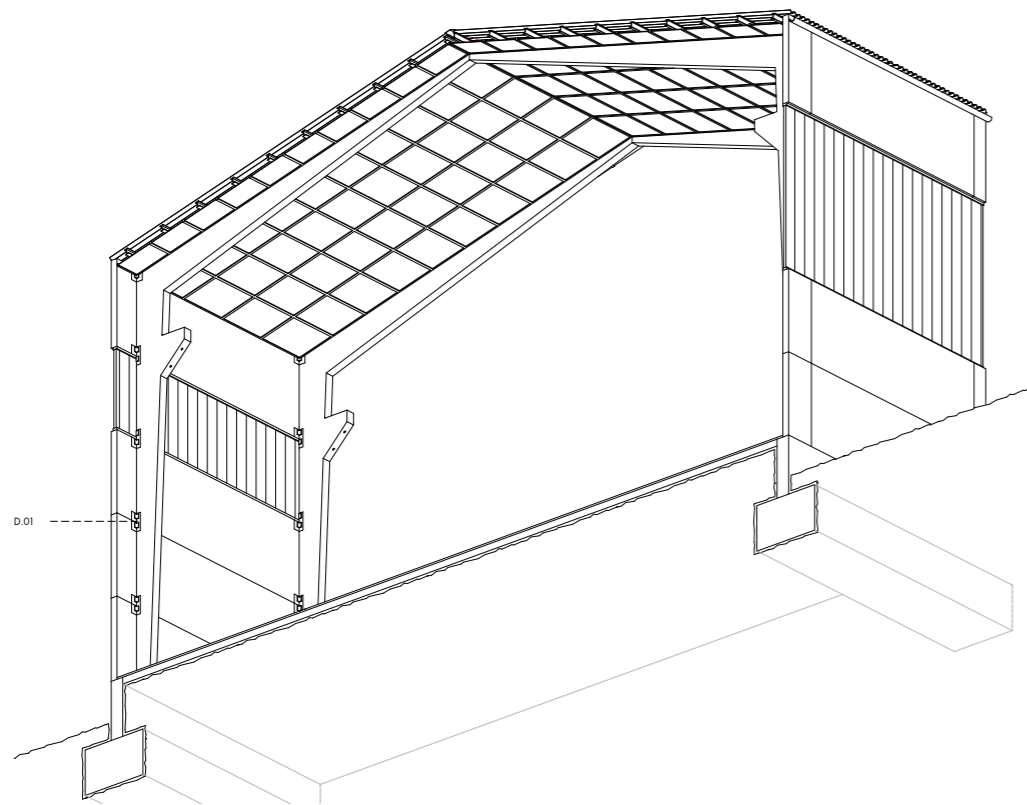
Abb.26: Innenraumfoto der ehemaligen Transpak-Halle



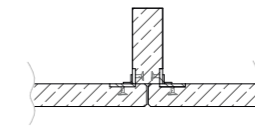
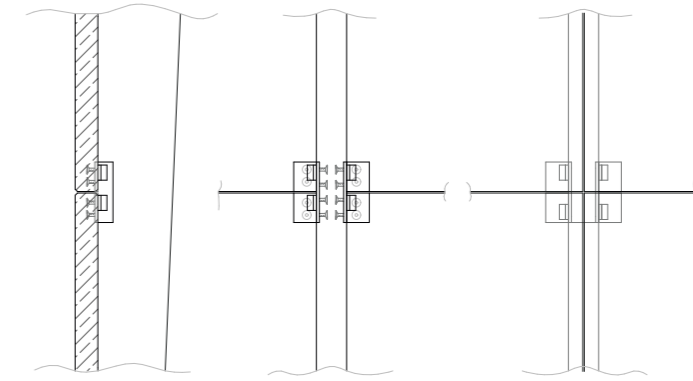
Querschnitt der Bestandshalle M.1:200



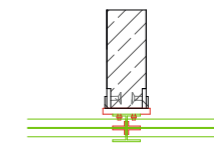
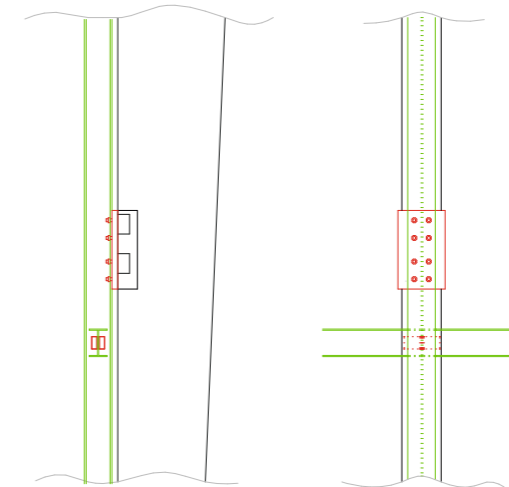
EG Grundriss der Bestandshalle M.1:250



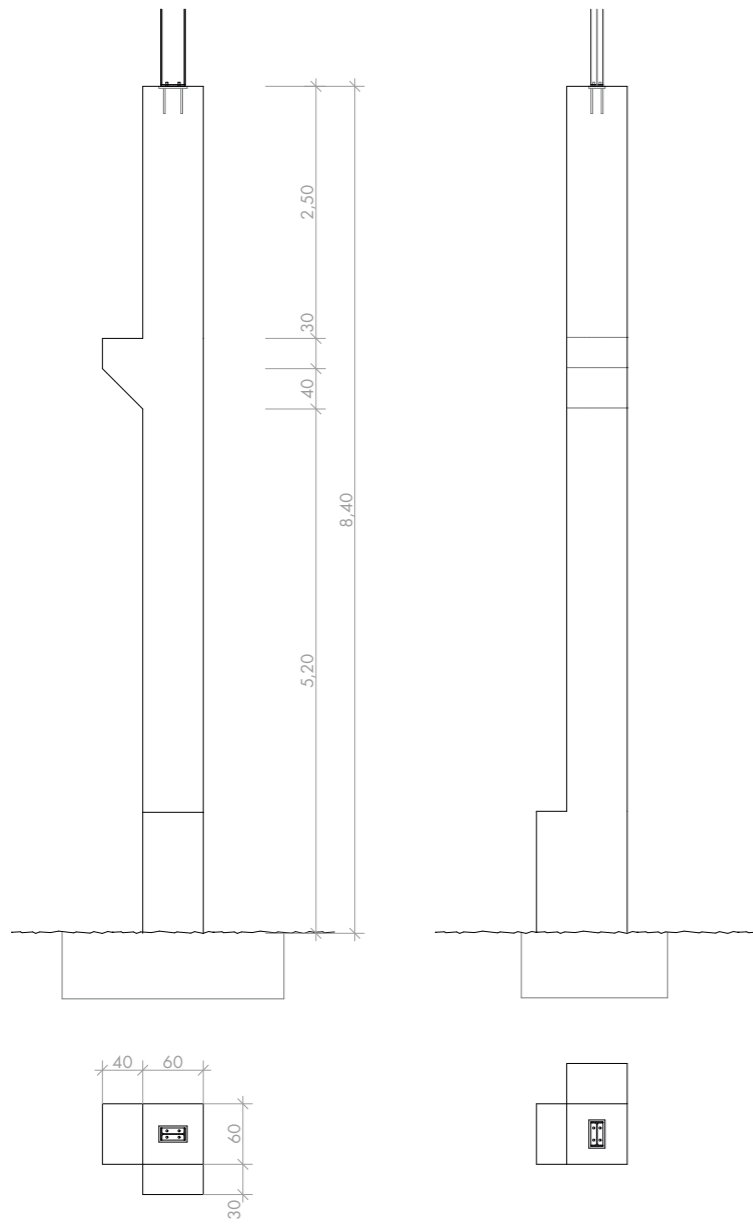
Sowohl die Betonfassadenplatten als auch die Betonrahmen verfügen über eingelassene Ankerplatten, die durch Stahlwinkel miteinander verschweißt wurden und so ein statisches System bilden (vgl. Detail 01). Nach Rücksprache mit einem Statiker wird davon ausgegangen, dass die Tragfähigkeit der Rahmenstruktur auf das beschränkt ist, was sie derzeit leistet, und somit im Entwurfsprozess berücksichtigt werden muss. Dennoch bieten die eingelassenen Ankerplatten das Potenzial, neue Anschlusspunkte für die Unterkonstruktion einer neuen Fassade zu bilden. Die alten Schweißverbindungen lassen sich mithilfe einer Flex lösen, sodass die Fassadenplatten abgetragen werden können. Detail 02 zeigt, wie eine neue Stahlplatte mit Gewinde (rot) an die eingelassenen Ankerplatten angeschweißt wird und somit den Anschlusspunkt für die Stahlunterkonstruktion aus wiederverwendeten Stahlprofilen bildet (grün).



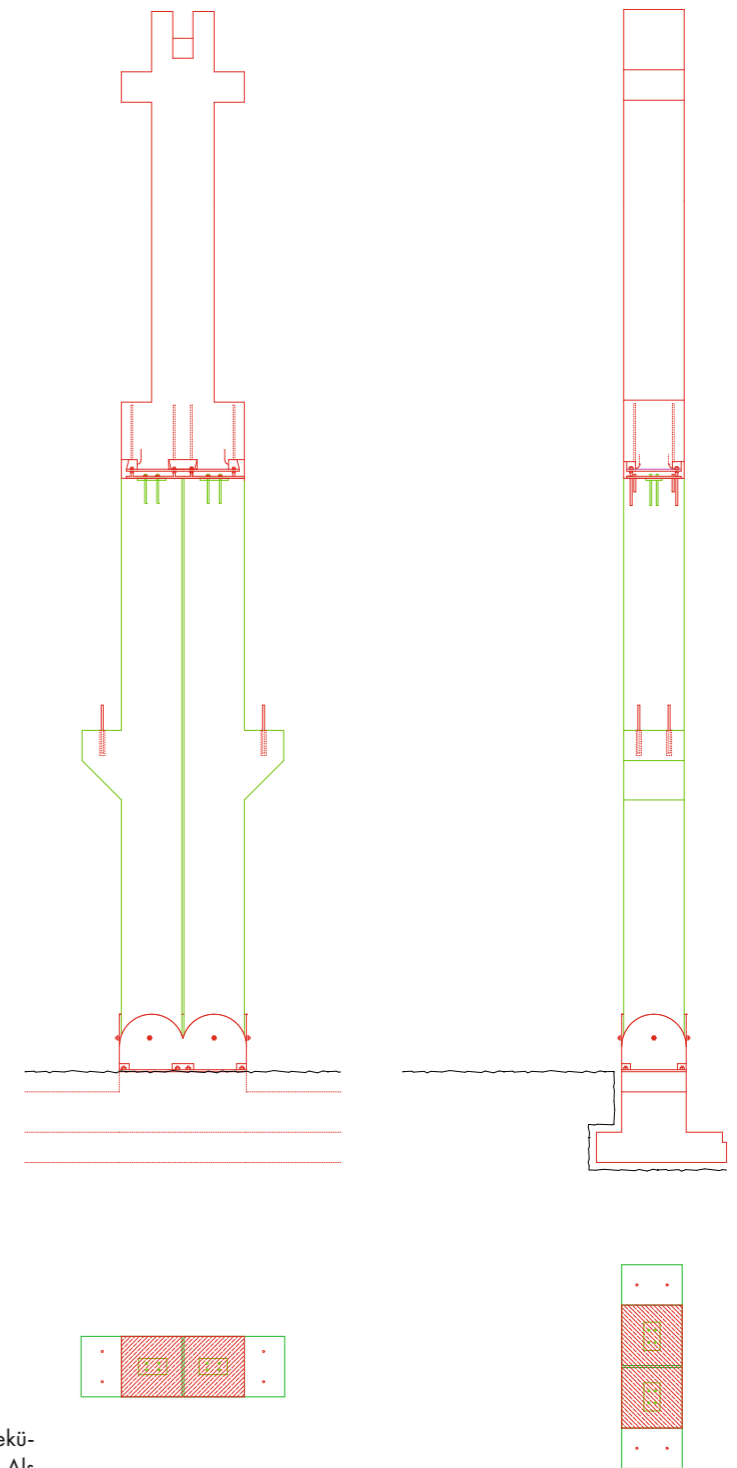
Detail 01



Detail 02



Die Wiederverwendung von Stahlbetonbauteilen, die nicht dafür konzipiert wurden, ist im Vergleich zu anderen Baumaterialien wie Holz oder Stahl äußerst aufwendig. Daher wird es in Zukunft umso wichtiger sein, dieses unverzichtbare Baumaterial aus dem Bauwesen so zu gestalten, dass es am Ende seiner Nutzungsdauer als Bauteil wieder in den Umlauf gebracht werden kann. In diesem Zusammenhang sind Betonfertigteile mit werkseitig eingelassenen Schraubverbindungen äußerst vielversprechend. Die Betonfertigteile-Stützen aus der Stückguthalle müssen verschiedene Aufbereitungsschritte durchlaufen, bevor sie in der neuen Primärkonstruktion wiederverwendet werden können.



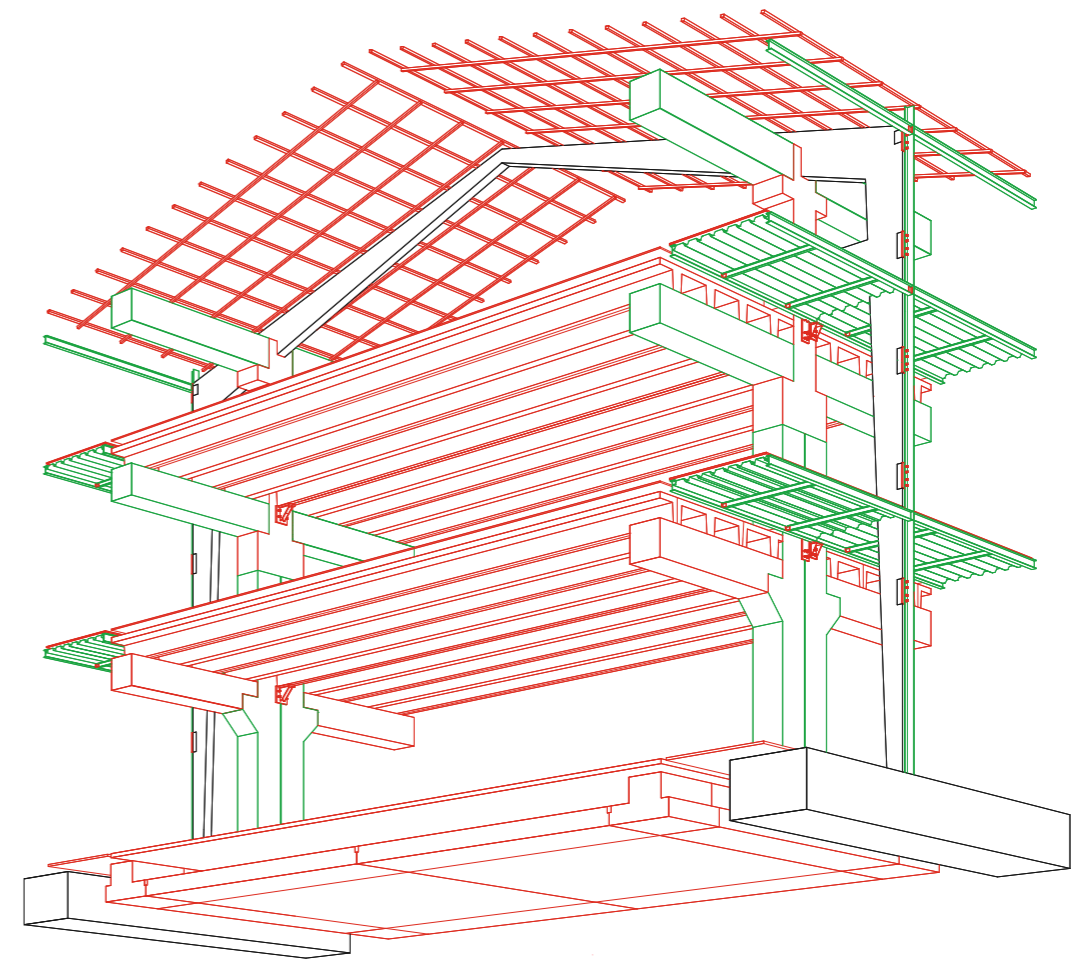
Die Stützen aus der Stückguthalle (grün) werden gekürzt, um die benötigte Geschosshöhe anzupassen. Als Referenzpunkte dienen die Konsolen, auf denen die Träger liegen werden, um die Geschosdecken zu tragen. Für den Anschluss an das neue (rot) Schraubfundament werden die Stützen ähnlich wie im Holzbau in Stahlschuhe eingelassen. Diese Stahlschuhe werden dann über Schraubverbindungen mit dem Fertigteilfundament verbunden. Die Verbindung zwischen dem Stahlschuh und der Stütze erfolgt über nachträglich eingelassene Schwerlastanker. Dasselbe gilt für die Anschlusspunkte im Bereich der Konsolen. Die vorhandenen Ankerplatten am Stützenkopf können als Anschlusspunkte für die neuen, wiederverwendbaren Stützen mit Schraubverbindungen verwendet werden.



Grundriss-Schema M.1:250

Sowohl die Rahmenstruktur als auch die Fassadenplatten an den Stirnseiten der ehemaligen Transpakhalle bleiben erhalten. Durch einen Versatz um 2,1 m entsteht im Inneren ein neues Tragwerk. Auf den Konsolen der wiederverwendeten Stützen aus der Stückguthalle ruhen massive Betonträger. Mit einer Spannweite von 12,8 m erzeugt eine Rippendecke einen Raum frei von lastabtragenden Wänden oder Stützen. Die einzelnen Elemente der Rippendecke sind durch eingelassene Spannschlösser miteinander verbunden. Eine Stahlunterkonstruktion aus wiederverwendeten Profilen bildet in Kombination mit einem Unterbau aus Trapezblechen die Grundlage für einen begehbaren Außenbereich zwischen der Rahmenstruktur und der neuen Primärkonstruktion.

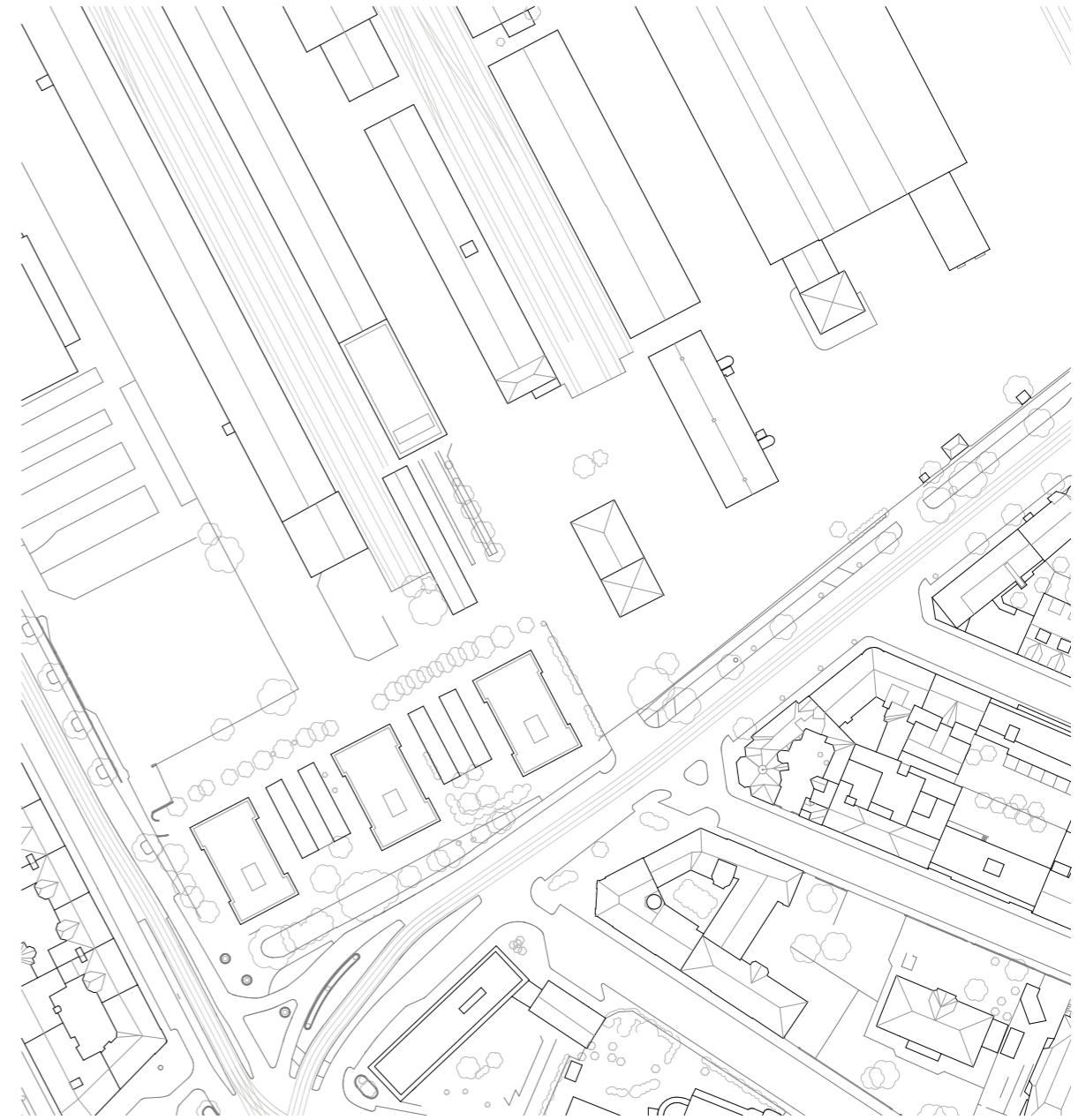
- Schwarz = Bestand
- Grün = Alt wiederverwendet
- Rot = Neu wiederverwendbar



Tragwerks-Axonometrie

# NUTZUNGSSZENARIEN IM WANDEL DER ZEIT

Über Jahrhunderte hinweg wurden Bauwerke konzipiert, um dauerhaft zu sein und Generationen zu überdauern. Doch wie in vielen anderen gesellschaftlichen Bereichen hat auch in der Bauindustrie die Schnelllebigkeit und Austauschbarkeit Einzug gehalten. Oftmals werden Gebäude, obwohl sie technisch noch voll funktionsfähig sind, aus wirtschaftlichen Motiven oder wechselnder Nutzungsansprüche vorzeitig abgerissen. Auch stetig ändernde Regulierungen bezüglich Energieeffizienz innerhalb des Lebenszyklus führen nicht selten zu einem Abriss anstatt Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen. Um dieser Dynamik entgegenzuwirken, wurde darauf geachtet diverse Nutzungsszenarien in der ehemaligen Transpak-Halle zu gewährleisten. Ein wesentlicher Faktor dafür ist die tragwerksbedingte freie Grundrissgestaltung in der Horizontalen, die ein hohes Maß an Flexibilität bietet. Des Weiteren wird eine lichte Raumhöhe von 3,1m nicht unterschritten, um auch Büro-, Bildungs- oder Gewerbenutzungen zu ermöglichen. Durch Doppelböden wird auch hinsichtlich der Verlegung von Leitungen ein hohes Maß an Flexibilität geboten. Die Fassade wurde als unabhängige Gebäudeschicht im Sinne von Steward Brands «Six Layers Modell» entwickelt (vgl.S.23-25).



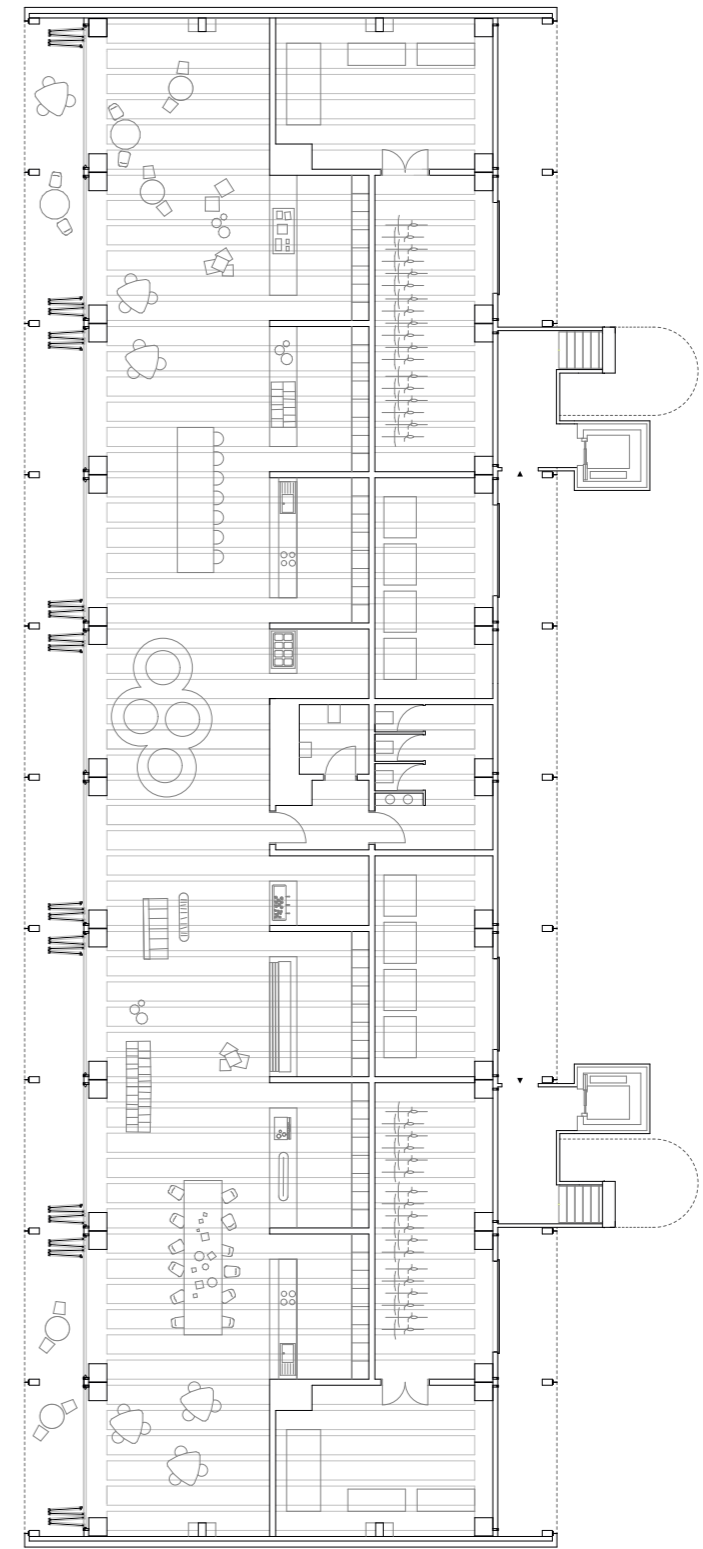
Lageplan M.1:2000



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.

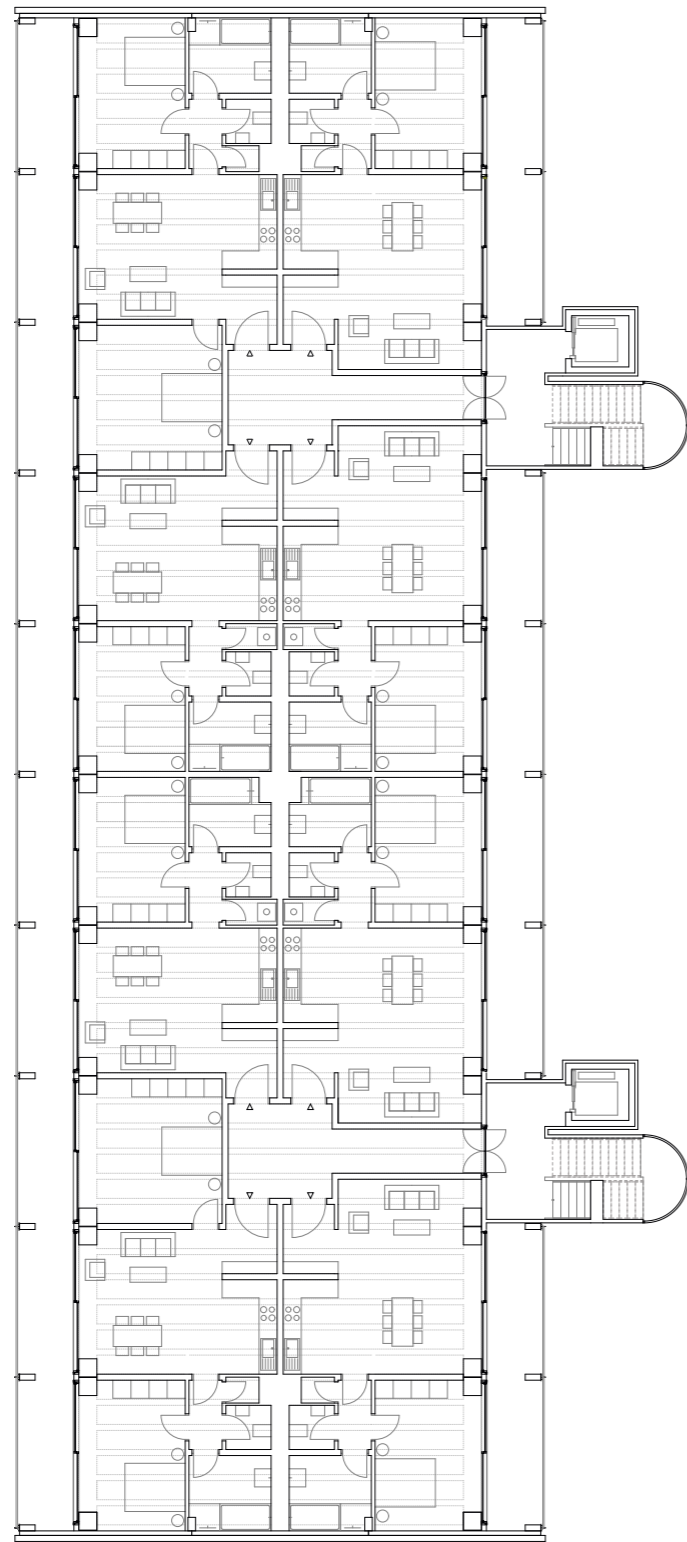


Abb.27: Visualisierung der öffentlichen Erdgeschoßzone

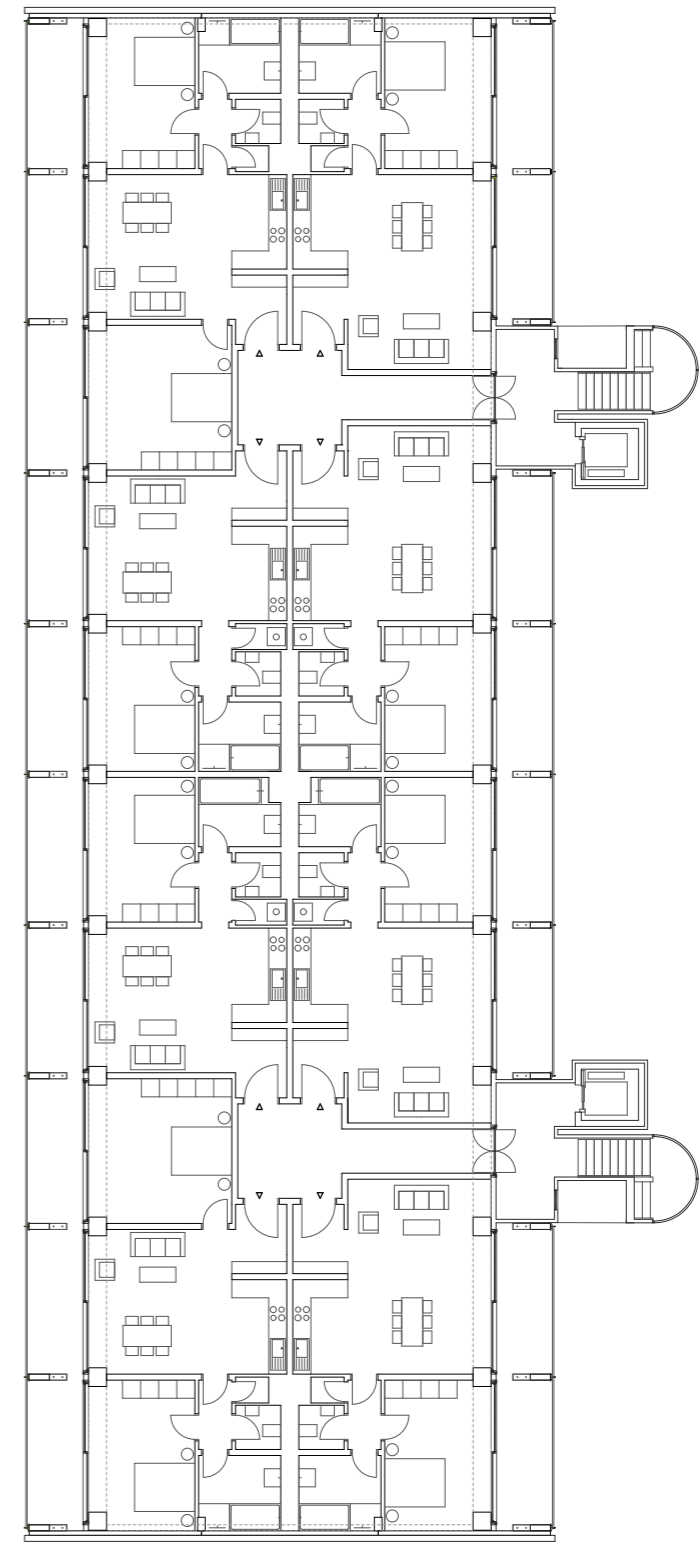


Grundriss EG M.1:250

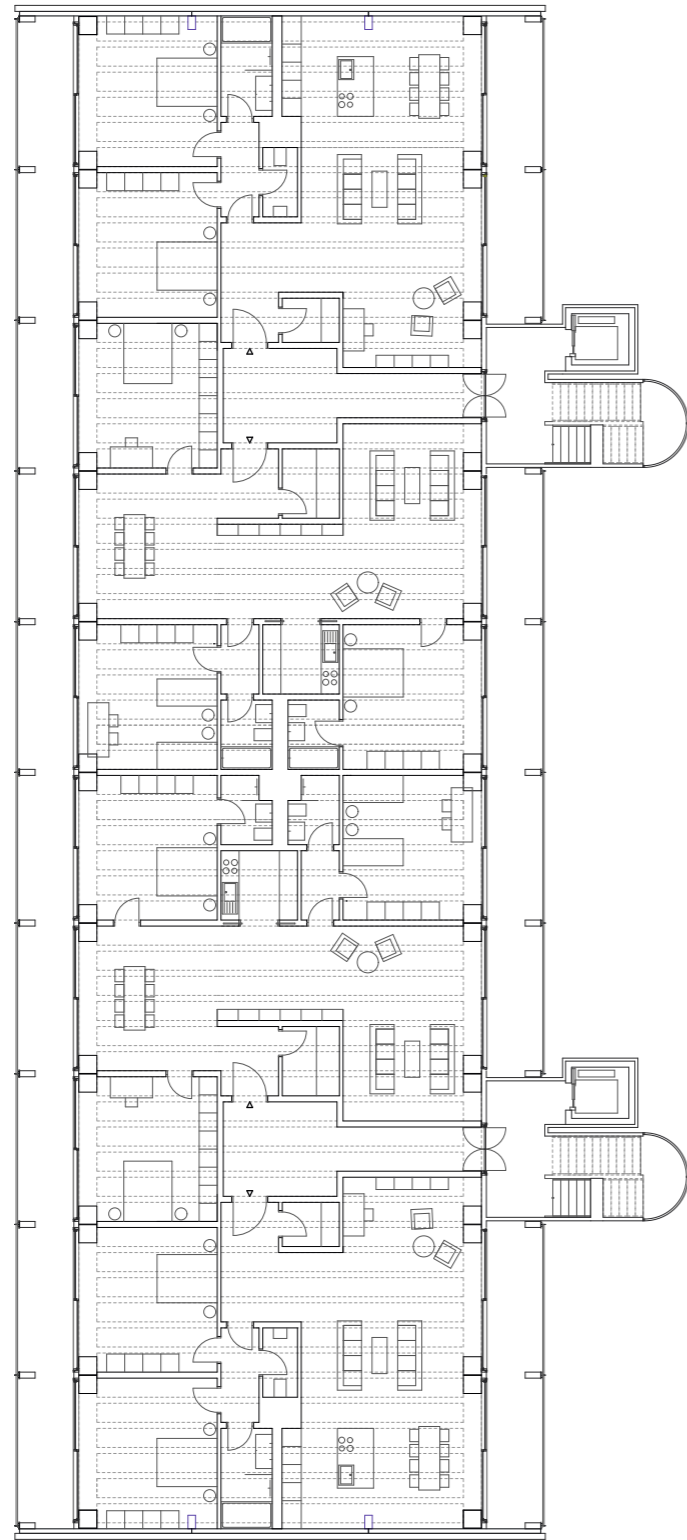




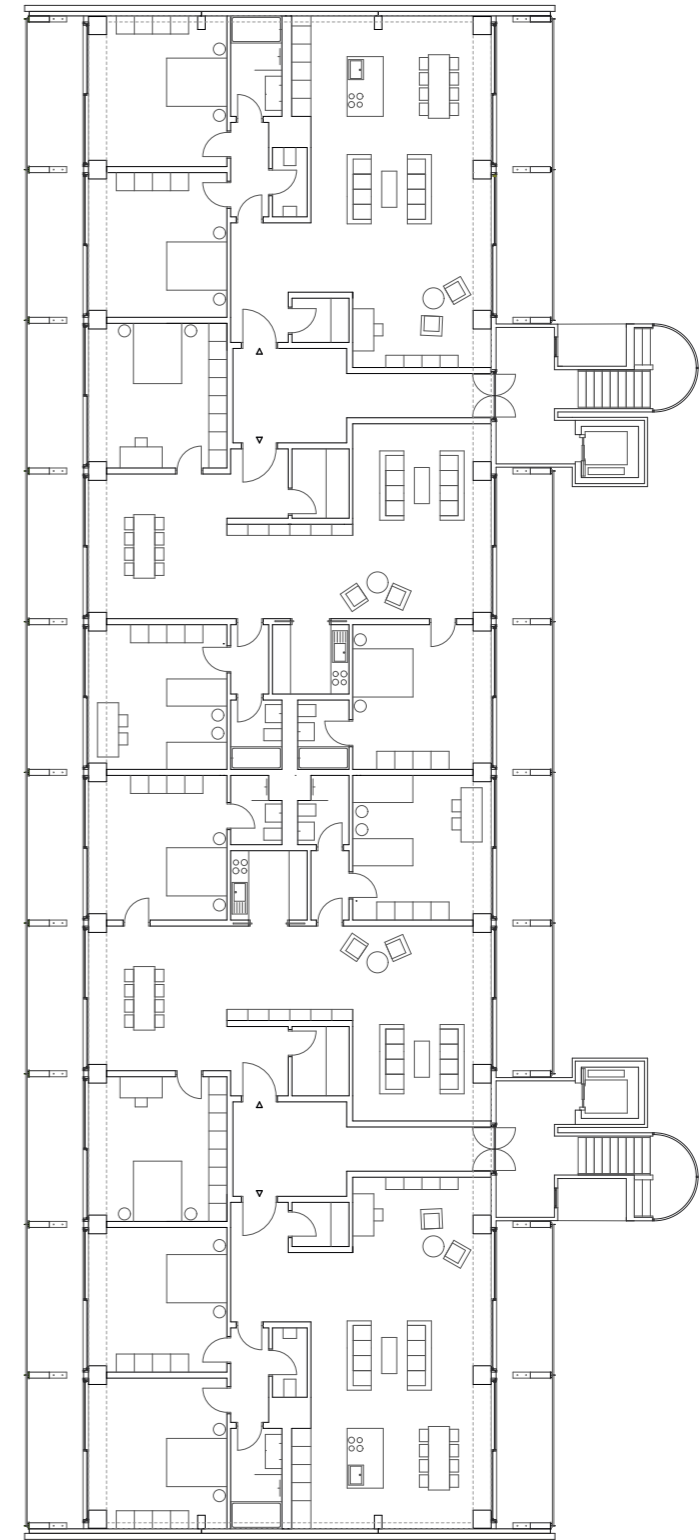
Grundriss Var. Wohnen OG 1 M.1:250



Grundriss Var. Wohnen OG 2 M.1:250

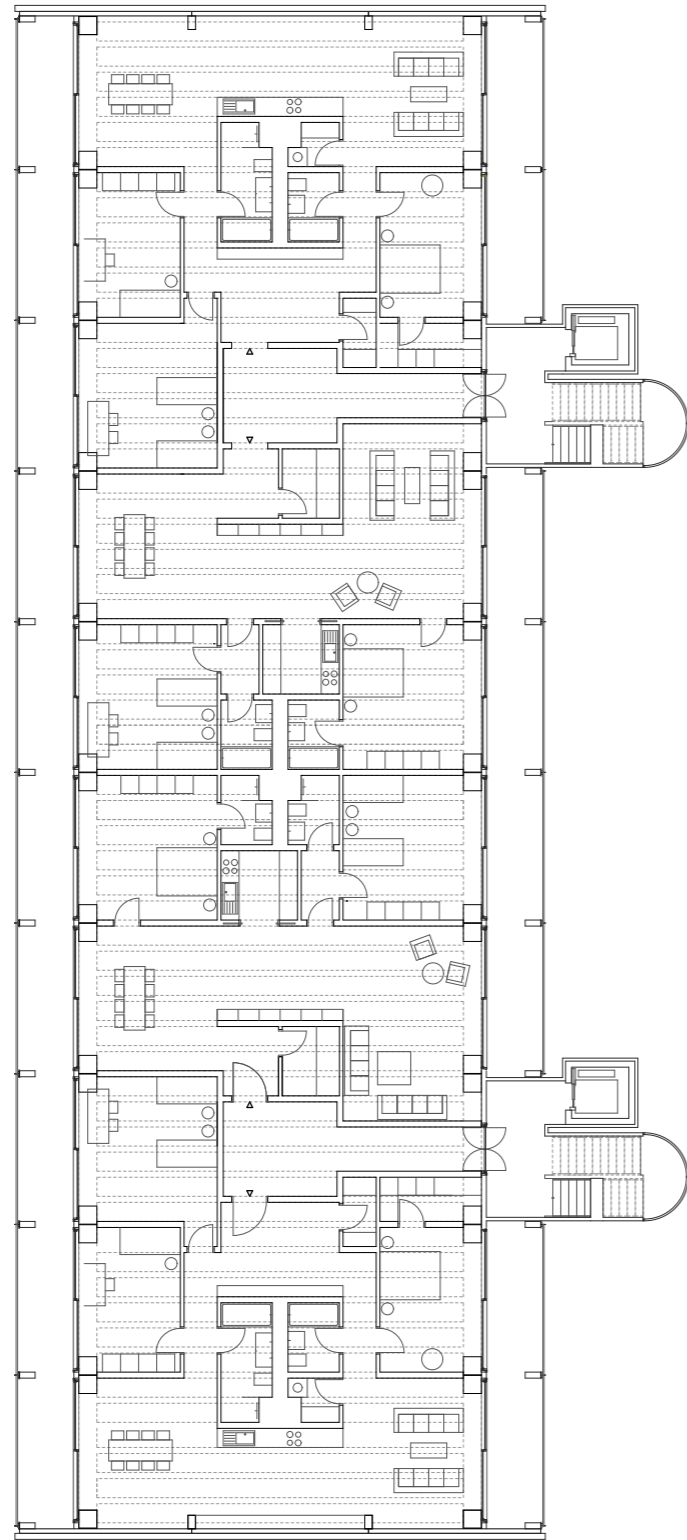


Grundriss Var. Wohnen OG 1 M.1:250

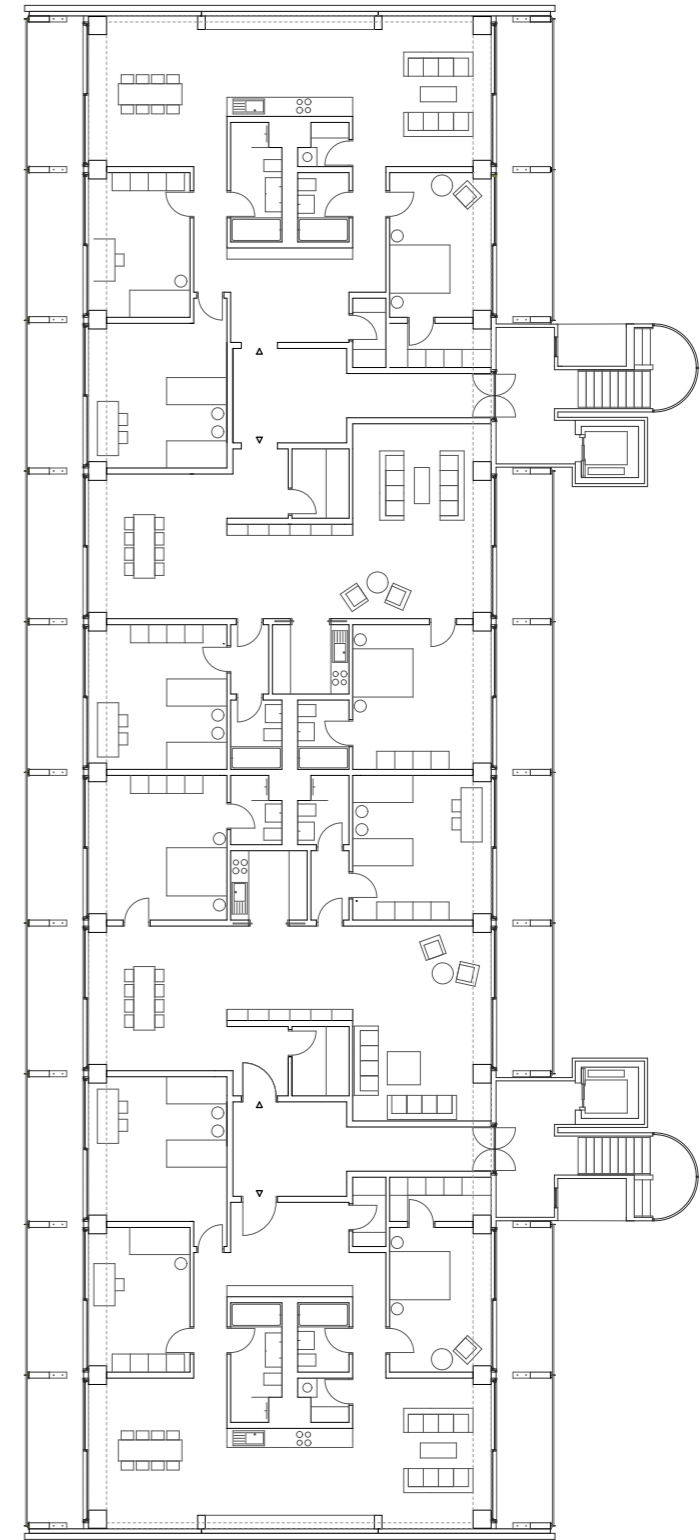


Grundriss Var. Wohnen OG 2 M.1:250

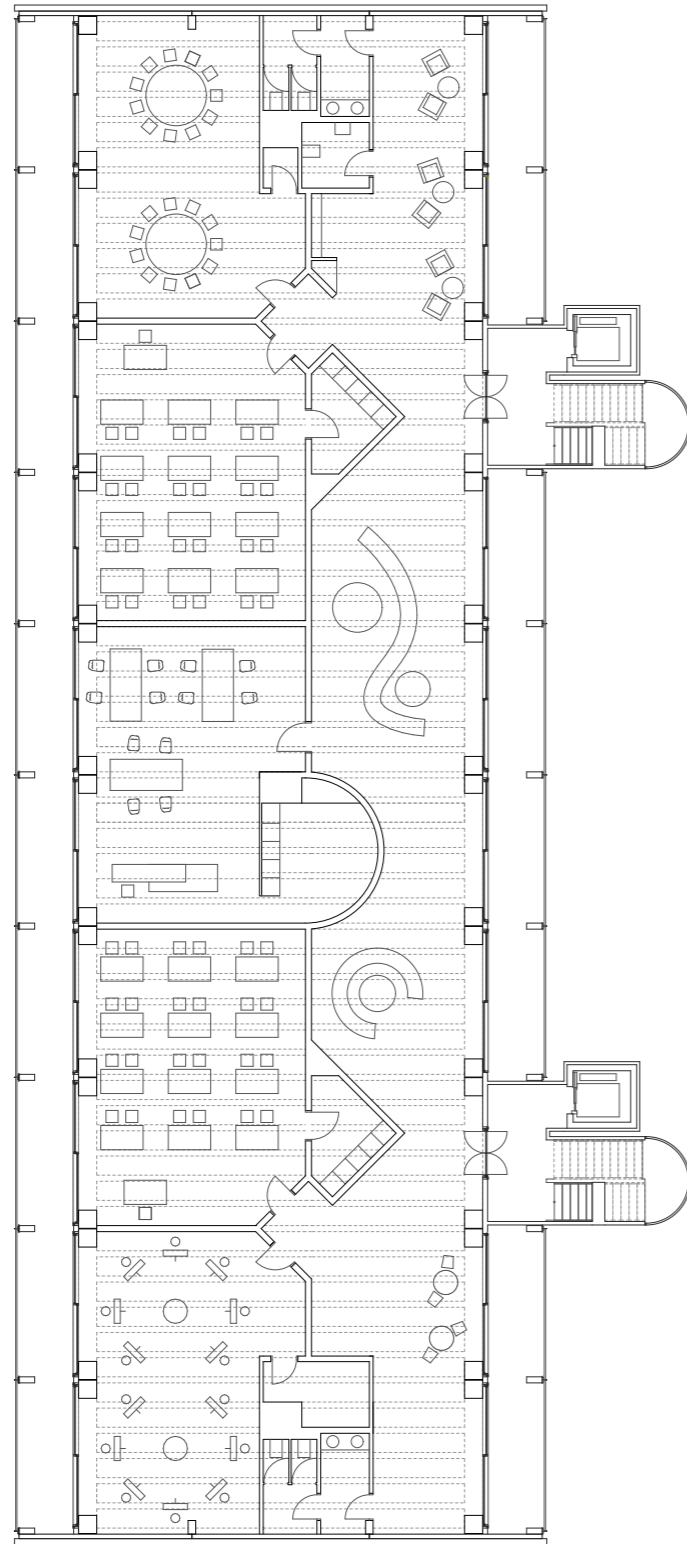
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



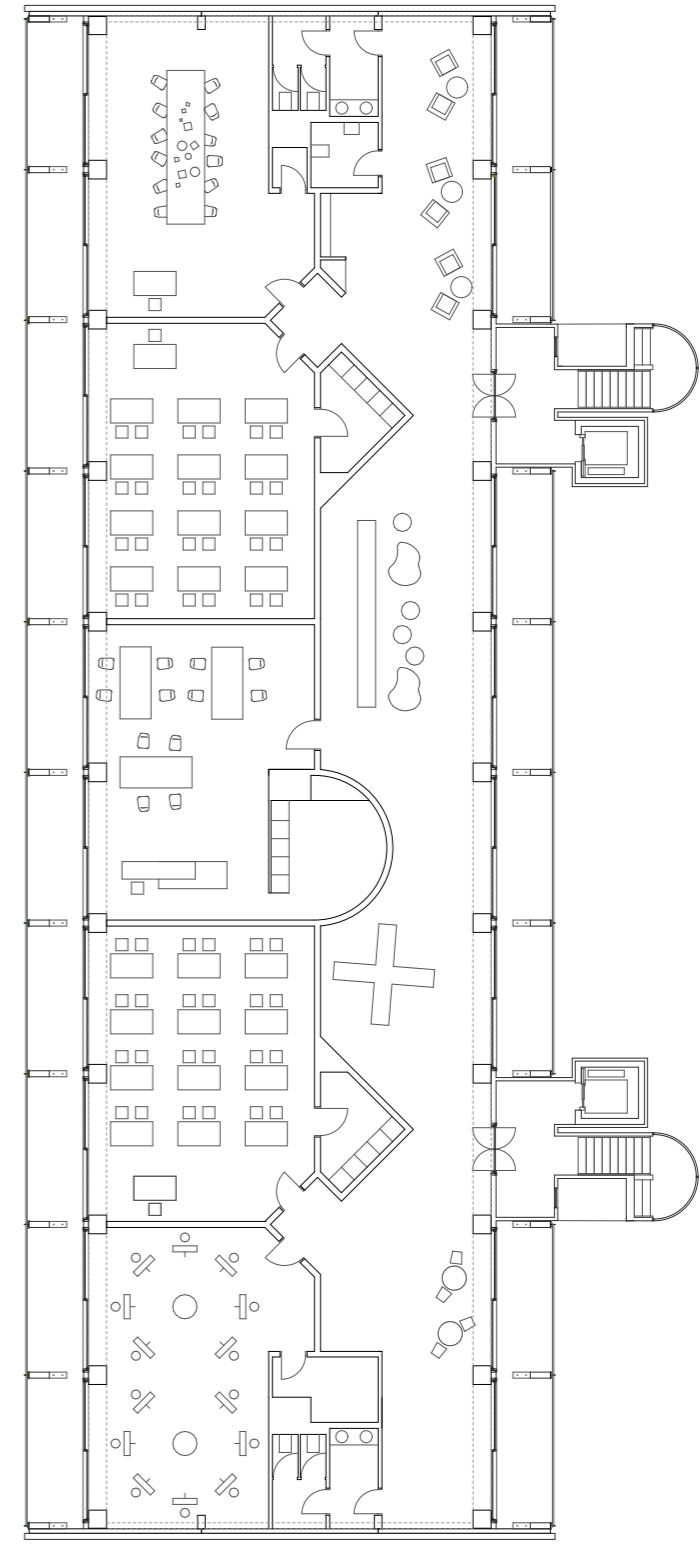
Grundriss Var. Wohnen OG 1 M.1:250



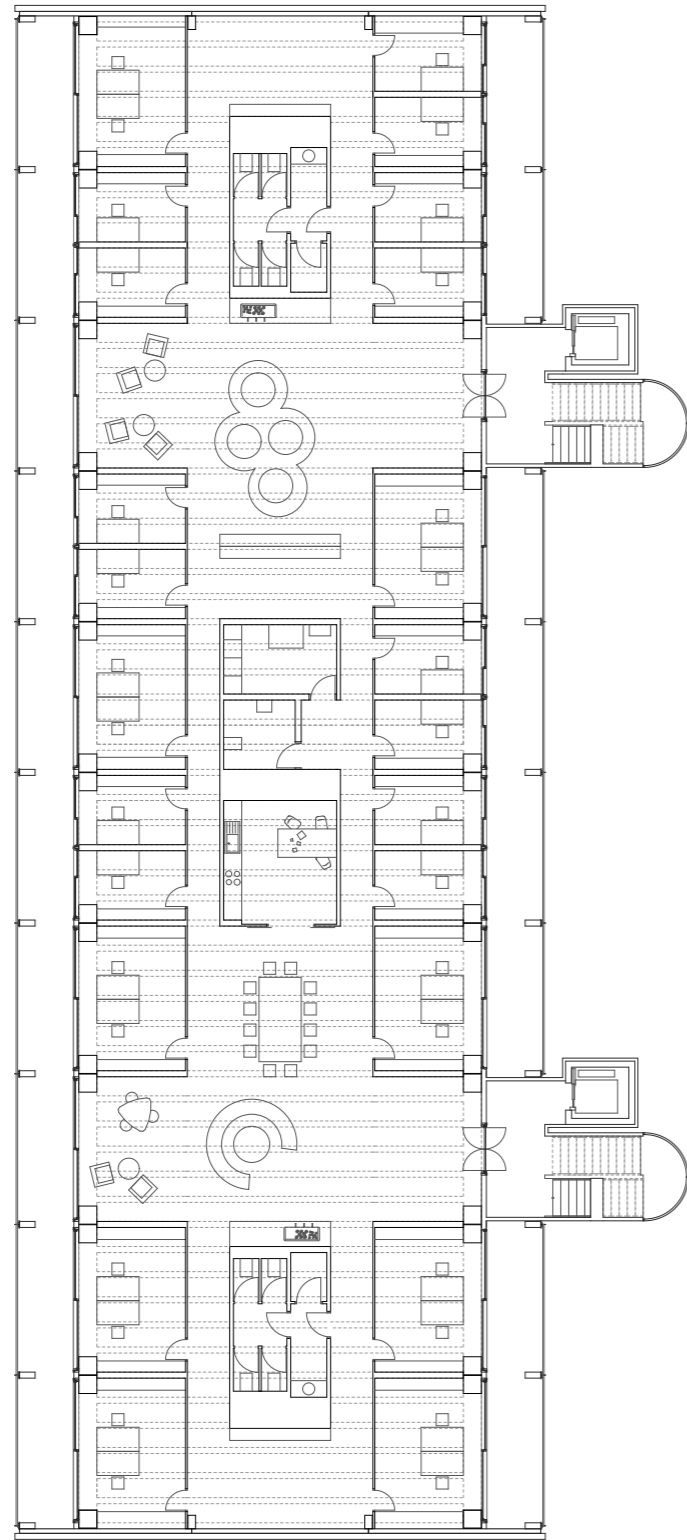
Grundriss Var. Wohnen OG 2 M.1:250



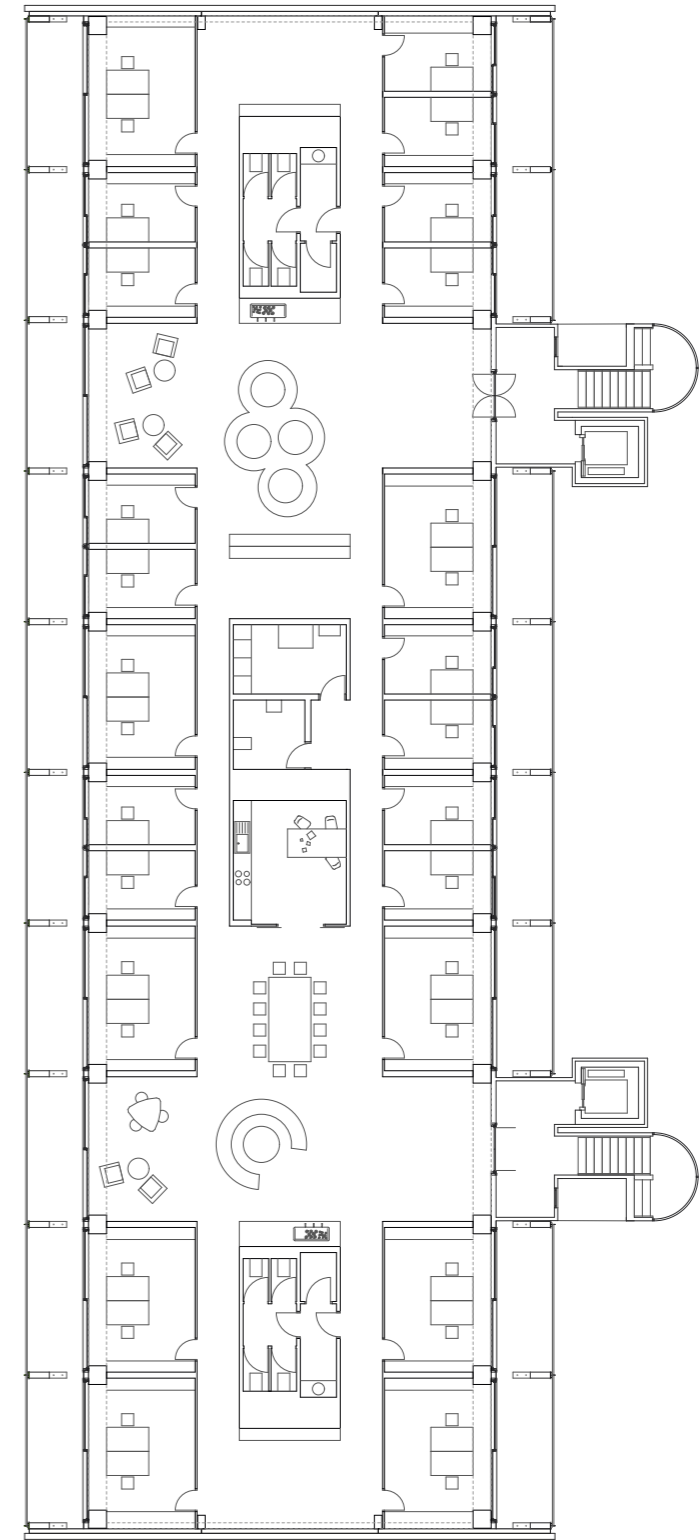
Grundriss Var. Bildung OG 1 M.1:250



Grundriss Var. Bildung OG 2 M.1:250



Grundriss Var. Arbeit OG 1 M.1:250



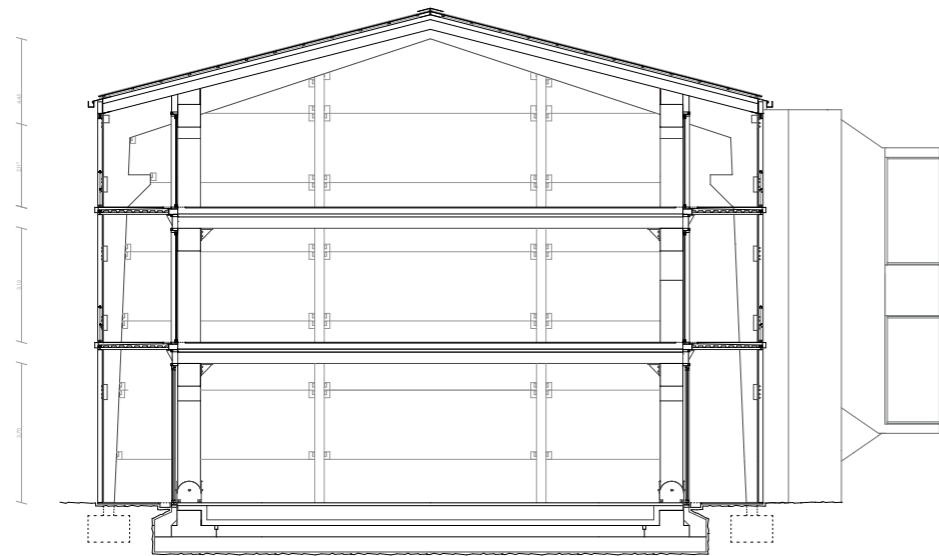
Grundriss Var. Arbeit OG 2 M.1:250

**SCHÜTZEN**  
Trapezblech Stahl, korrosionsgeschützt  
Pfosten-Riegel-Konstruktion

**DÄMMEN**  
Hanfdaemung  
Schaumglasplatten

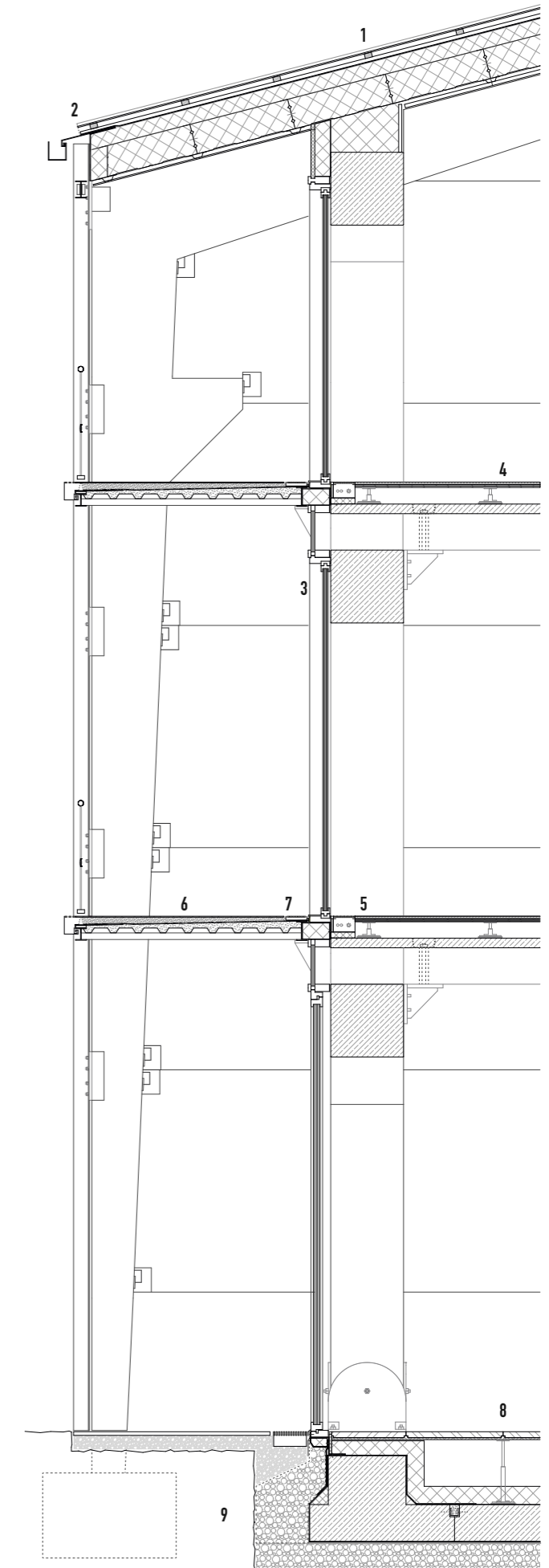
**TRAGEN**  
Fertigteile Stahlbeton,  
wiederverwendete Stahlbetonteile

**DICHTEN**  
Abdichtungsbahn EPDM, PE-Folie  
Unterspannbahn



Querschnitt M.1:200

- 1 Dachaufbau:  
Trapezblech Stahl, korrosionsgeschützt, in Negativlage, verschraubt  
Vollholzlattung, verschraubt  
Konterlattung / Hinterlüftung, verschraubt Unterspannbahn, winddicht, diffusionsoffen, min. 30 cm überlappend verlegt  
Daemung Hanf, mit Daemstoffdübeln an Systemkassetten verankert  
Systemkassette Stahlblech mit Schaumglas daemung, gekantet, korrosionsgeschützt, an die bestehenden Stahlbeton Rahmen montiert  
Abhangdeckensystem: Hut-Federschiene Stahlblech, korrosions geschützt, verschraubt  
Lehmplatte mit Lehmputz, verschraubt
- 2 Insektenschutzgitter Stahlblech, korrosionsgeschützt, verschraubt auf Schalung und Konterlattung
- 3 Fenster:  
Dreifachverglasung eingesetzt in Pfosten-Riegel-Konstruktion, mit Pressleiste und Deckprofil Aluminium, wiederverwendet Trockendichtung Kunststoff, sortenrein
- 4 Geschossdeckenaufbau:  
Dielen Altholz, in Feder verdeckt verschraubt Trockenstrich Gipsfaserplatten, zweilagig, gegeneinander versetzt angeordnet, verschraubt  
Schalung auf Kanthölzern und Nivellierstelzen Stahl, höhenverstellbar; Auflager aus sortenreinen Kunststoff  
Rippendecke Fertigteil Stahlbeton, verschraubt, wiederverwendbar
- 5 Unterluftkonvektor mit Revisionsklappe
- 6 Deckenaufbau Außenbereich:  
Fußbodenbelag Natursteinplatten, Ausgleichsschüttung Sand, Abdichtungsbahn EPDM, Masseschüttung Sand, zwischen Sicken des Trapezblechs geschüttet und mit quadratischem Stahlhohlprofil verschraubt
- 7 IPE Profil, mit thermisch getrennten Stahlanschluss verschraubt, Unterbaudaemprofil in IPE Profil geklemmt und mit L-Stahlprofil an Stahlbetondecke geschraubt.
- 8 Fußbodenbelag Natursteinplatten auf Nivellierstelzen Stahl, höhenverstellbar; Auflager Kunststoff, sortenrein; Holzweichfaserplatte, ligningebunden PE-Folie, diffusionshemmend, min. 30 cm überlappend verlegt; Bodenplatte Fertigteil Stahlbeton, wiederverwendbar; Abdichtungsbahn gegen Bodenfeuchte EPDM, materialhomogen verschweißt, min. 30 cm überlappend, lose verlegt; Sauberkeitsschicht Sand; Perimeterdaemung Schaumglasschotter, lose geschüttet
- 9 Perimeterdaemung Schaumglasschotter, in Säcken aus Textilgewebe als Montagehilfe, mechanisch befestigt an Stahlbeton; Abdichtungsbahn gegen Bodenfeuchte EPDM, materialhomogen verschweißt, lose verlegt; Sockel Stahlbeton-Fertigteil, wiederverwendbar, über Schraubverbindung an Bodenplatte gekoppelt



Fassadenschnitt M.1:50



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

**TU WIEN**  
bibliothek  
TU Wien Technologie Hub

Abb.28: Visualisierung der Ost-Fassade

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.



Abb. 29: Visualisierung der Begegnungszone im 1OG in der Nutzung als Bildungseinrichtung





# KREISLAUFFÄHIGKEIT QUANTIFIZIEREN

Ein wesentlicher Grundpfeiler, um unseren linearen Ressourcenverbrauch innerhalb der Baubranche zu überwinden, ergibt sich aus einer präzisen Dokumentation unserer Materialbestände. Hierbei geht es darum, in Zukunft Datensätze zu erzeugen, um die komplexen Materialflüsse zu erfassen und zu verstehen. Einen solchen Ansatz zur Bewertung der Kreislauffähigkeit von Materialien und Produkten präsentierte im Jahr 2015 die Ellen MacArthur Foundation. Die Methodik basiert auf der Quantifizierung von Materialströmen anhand von vier Grundprinzipien:

Verwendung von Material aus erneuerbaren oder wiederverwerteten Quellen bei der Herstellung.

Wiederverwendung oder Weiterverwendung von Komponenten oder Materialien nach der Nutzung.

Verlängerung der Nutzungszeit von Produkten, beispielsweise durch Reparatur.

Intensivierung der Produktnutzung durch Dienstleistungsmodelle.

Ein abgeleiteter Indikator soll zeigen, inwieweit der lineare Materialfluss minimiert und der kreislaufbasierte Fluss maximiert wurde. Dabei wird auch die Dauer und Intensität der Nutzung im Vergleich zu ähnlichen Produkten betrachtet. Der Indikator setzt sich hauptsächlich aus drei Produktmerkmalen zusammen: der Masse des bei der Herstellung verwendeten Primärrohstoffs, der Masse nicht zurückgewinnbarer Abfälle, die dem Produkt zugeschrieben werden, und einem Nutzungsfaktor, der die Nutzungsdauer und -intensität berücksichtigt.<sup>32</sup>

Basierend auf der Arbeit der Ellen MacArthur Foundation hat die Madaster Foundation den Zirkularitätsindikator entwickelt, der speziell an die Bauindustrie angepasst ist. Dieser Indikator bewertet den Grad der Kreislauffähigkeit von Gebäuden auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent anhand verfügbarer BIM (Building Information Modeling) Informationen. Ein Gebäude, das aus neu gewonnenen Materialien erbaut und nach einer kurzen Nutzungsdauer auf der Deponie entsorgt wird, erhält eine niedrige Bewertung von 0%. Im Gegensatz dazu erhält ein Gebäude, das aus wiederverwendeten oder regenerativen Materialien besteht und leicht demontiert und an anderer Stelle wiederverwendet werden kann, eine hohe Bewertung von 100% und gilt als vollständig kreislauffähig.<sup>33</sup>

Die Digitalisierung von Bauwerken ermöglicht eine intelligente Verwaltung zukünftiger Ressourcen und die Bereitstellung von Informationen für deren Weiternutzung. Aktuelle Prozesse in Bezug auf Materialien unserer Gebäudebestände sind jedoch oft unzureichend. Es fehlen Informationen über die ausgebauten Materialien oder Bauteile, was deren Wiederverwendung erschwert.

Durch digitale Werkzeuge und die Verwaltung großer Datensätze werden die Grundlagen für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft geschaffen. Dies beinhaltet die Entwicklung von Materialpässen für Gebäude sowie die Integration von Bewertungsparametern für die Kreislauffähigkeit in frühen Entwurfsphasen. An solchen Entwurfswerkzeugen forscht das Circular Construction Lab (CCL) der Cornell University unter der Leitung von Felix Heisel.<sup>34</sup>

In Phase 4 des Entwurfs wurde mithilfe von RhinoCircular, einem derartigen Entwurfswerkzeug des Circular Construction Labs, ein Zirkularitätsreport für den Entwurf der ehemaligen Transpak-Halle ermittelt. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass nur tragwerksrelevante Bauteile für die Ermittlung herangezogen wurden.

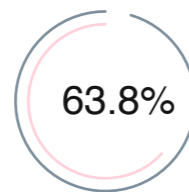
## Material and Building Circularity Report

Created using RhinoCircular V1.0, an application by the Circular Construction Lab of Cornell University.

Assembly: Transpak Halle  
Location: Wien  
Date: 03/15/2024

### CI Total Building

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 1882759.8 | 63.8   |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 38116.7   | 95.4   |
| Mineral: | 1844643   | 63.1   |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |

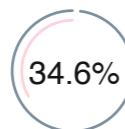


### Pathways

|                | Mass (kg) | CI (%) |
|----------------|-----------|--------|
| Reused:        | 640631.3  | 34     |
| Recycled:      | 10634.6   | 0.6    |
| Renewable:     | 0         | 0      |
| Virgin:        | 1231493.9 | 65.4   |
| Reusable:      | 1470879.4 | 78.1   |
| Recyclable:    | 338961.6  | 18     |
| Biodegradable: | 0         | 0      |
| Landfill:      | 72918.7   | 3.9    |

### CI Production

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 651265.9  | 34.6   |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 37316.3   | 97.9   |
| Mineral: | 613949.6  | 33.3   |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



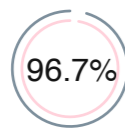
### CI End of Use

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 1809841   | 91.6   |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 37964.3   | 94.7   |
| Mineral: | 1771876.8 | 91.6   |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |

### Shearing Layers

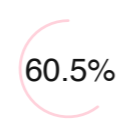
#### CI Skin

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 170084.4  | 96.7   |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 38116.7   | 95.4   |
| Mineral: | 131967.7  | 97.1   |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



#### CI Structure

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 1712675.4 | 60.5   |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 0         | 0      |
| Mineral: | 1712675.4 | 60.5   |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



#### CI Service

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 0         | 0      |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 0         | 0      |
| Mineral: | 0         | 0      |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



### CI Spaceplan

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 0         | 0      |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 0         | 0      |
| Mineral: | 0         | 0      |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



### CI Stuff

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 0         | 0      |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 0         | 0      |
| Mineral: | 0         | 0      |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



### CI Unknown

|          | Mass (kg) | CI (%) |
|----------|-----------|--------|
| Total:   | 0         | 0      |
| Glass:   | 0         | 0      |
| Plastic: | 0         | 0      |
| Metal:   | 0         | 0      |
| Mineral: | 0         | 0      |
| Organic: | 0         | 0      |
| Timber:  | 0         | 0      |



<sup>32</sup> Felix Heisel und Sabine Rau-Oberhauer, Materialpässe und Materialkataster für die Dokumentation und Planung in: Heisel und Heibel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 158-160

<sup>33</sup> ebd.

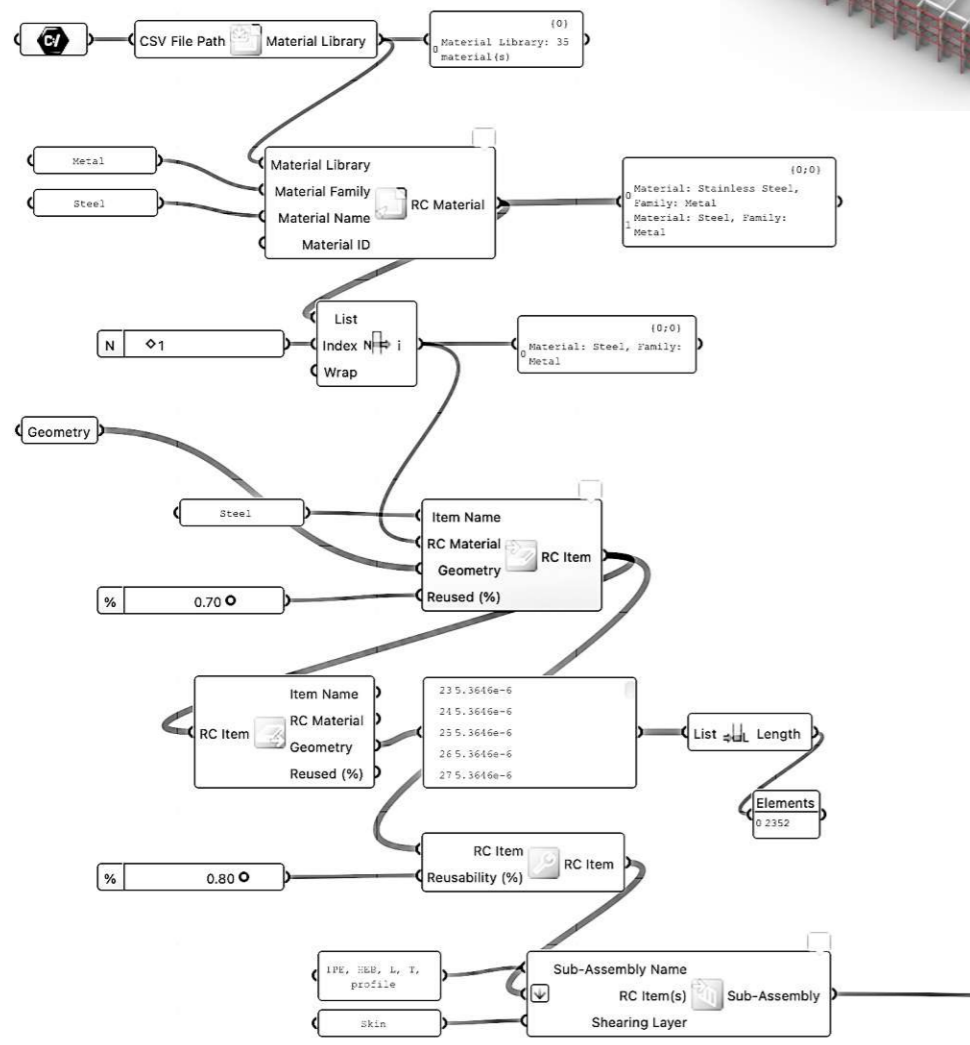
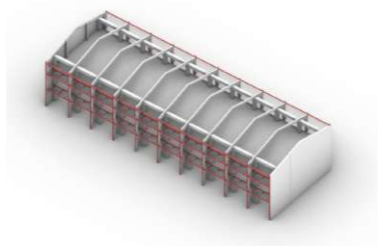
<sup>34</sup> Dirk Heibel u. a., Hrsg., Sortenrein Bauen: Methode – Material – Konstruktion, 1. Auflage (München: Detail Business Information GmbH, 2023). Seite 97

Der vorliegende Datensatz wurde vom Circular Construction Lab an der Cornell University als Ausgangspunkt für die Berechnung der Kreislauffähigkeit von Materialien und Komponenten unter Verwendung von RhinoCircular zusammengestellt. Umweltproduktdeklarationen (EPDs) sind die Hauptreferenz im veröffentlichten Datensatz. Der geografische Geltungsbereich dieses Datensatzes ist auf Nordamerika beschränkt.

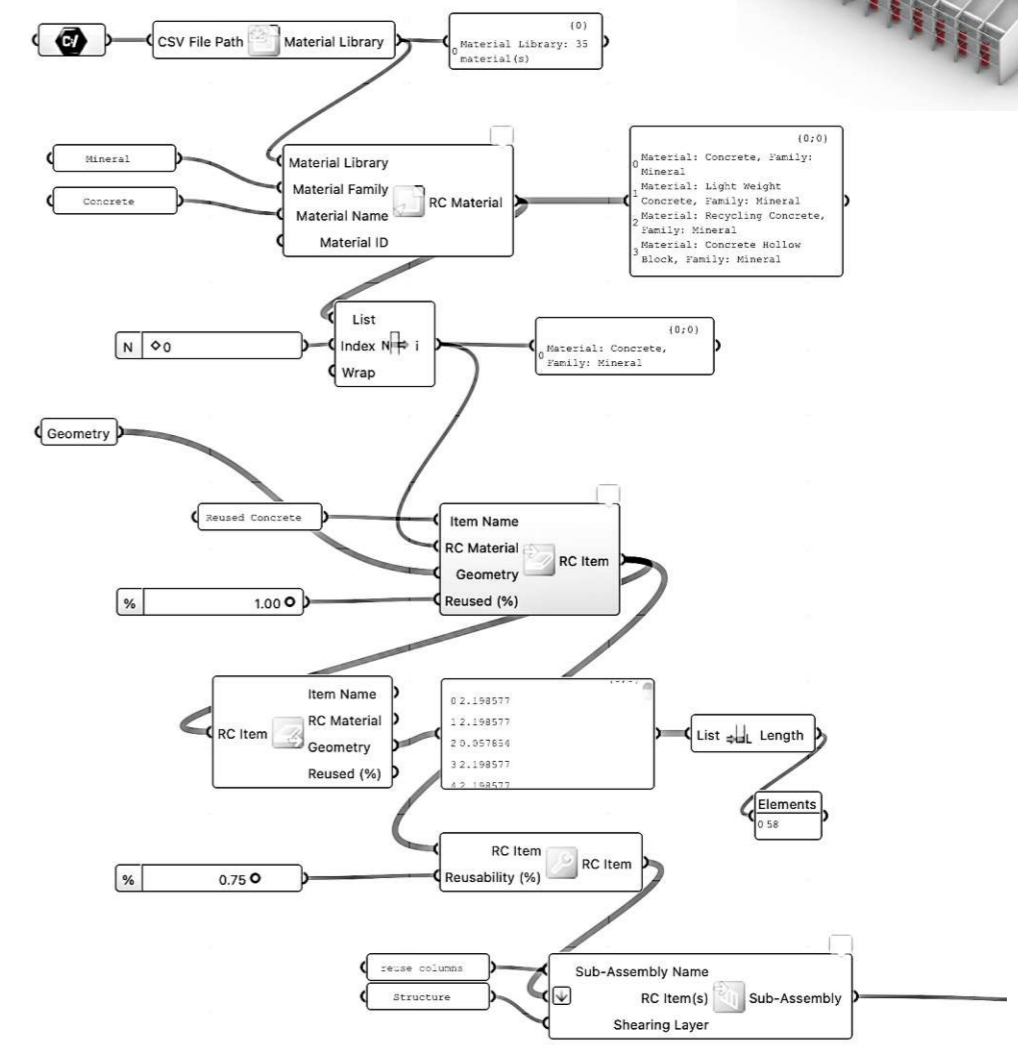
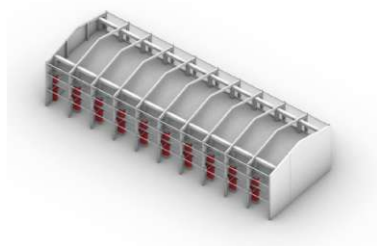
| Name                             | Density [kg/m <sup>3</sup> ] | Prod. Recycled [%] | Prod. Renewable [%] | Prod. Efficiency [%] | EoU Recycling [%] | EoU Energy Rec. [%] | EoU Composting [%] | EoU Efficiency [%] |
|----------------------------------|------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| Pine Wood                        | 513                          | 0                  | 100                 | 85                   | 3                 | 18                  | 6                  | 80                 |
| Douglas Fir                      | 530                          | 0                  | 100                 | 85                   | 3                 | 18                  | 6                  | 80                 |
| Oak                              | 466                          | 0                  | 100                 | 85                   | 3                 | 18                  | 6                  | 80                 |
| Spruce                           | 525                          | 0                  | 100                 | 85                   | 3                 | 18                  | 6                  | 80                 |
| Larch                            | 570                          | 0                  | 100                 | 85                   | 3                 | 18                  | 6                  | 80                 |
| Oriented Strand Board            | 620                          | 0                  | 96                  | 75                   | 0                 | 18                  | 0                  | 75                 |
| Medium Density Fiberboard        | 782                          | 90                 | 0                   | 97                   | 0                 | 18                  | 0                  | 75                 |
| Concrete                         | 2400                         | 0                  | 0                   | 97                   | 82                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Light Weight Concrete            | 1750                         | 0                  | 0                   | 97                   | 82                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Recycling Concrete               | 1773                         | 30                 | 0                   | 75                   | 21                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Concrete Hollow Block            | 1900                         | 26                 | 0                   | 75                   | 82                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Asphalt Shingles                 | 2478                         | 0                  | 8                   | 75                   | 14                | 1                   | 0                  | 75                 |
| Cement Screed                    | 2000                         | 4                  | 0                   | 75                   | 82                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Brick                            | 2120                         | 0                  | 0                   | 75                   | 13                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Adobe                            | 1464                         | 0                  | 0                   | 90                   | 80                | 0                   | 0                  | 90                 |
| Rammed Earth                     | 1950                         | 0                  | 0                   | 95                   | 90                | 0                   | 0                  | 95                 |
| Natural Stone                    | 2508                         | 0                  | 0                   | 75                   | 69                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Mineral Wool Insulation          | 88                           | 63                 | 0                   | 47                   | 0                 | 0                   | 0                  | 60                 |
| Gypsum Board                     | 657                          | 7                  | 0                   | 75                   | 2                 | 0                   | 9                  | 75                 |
| Ceramics                         | 4135                         | 7                  | 0                   | 88                   | 0                 | 0                   | 0                  | 50                 |
| Wood Fiber Insulating Board      | 240                          | 42                 | 49                  | 92                   | 3                 | 20                  | 0                  | 80                 |
| Cork                             | 135                          | 15                 | 85                  | 97                   | 30                | 21                  | 0                  | 75                 |
| Cellulose Insulation             | 30                           | 85                 | 0                   | 73                   | 0                 | 0                   | 0                  | 75                 |
| Foam Glass                       | 115                          | 60                 | 0                   | 90                   | 0                 | 0                   | 0                  | 90                 |
| Glass                            | 2500                         | 25                 | 0                   | 75                   | 11                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Reinforcement Bars               | 7850                         | 97                 | 0                   | 75                   | 62                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Stainless Steel                  | 8030                         | 84                 | 0                   | 75                   | 92                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Steel                            | 7800                         | 93                 | 0                   | 75                   | 98                | 0                   | 0                  | 75                 |
| Copper                           | 8960                         | 84                 | 0                   | 80                   | 90                | 0                   | 0                  | 80                 |
| Aluminium                        | 2750                         | 68                 | 0                   | 78                   | 95                | 0                   | 0                  | 80                 |
| High Density Polyethylene (HDPE) | 970                          | 0                  | 0                   | 75                   | 10                | 12                  | 0                  | 75                 |
| Low Density Polyethylene (LDPE)  | 920                          | 0                  | 0                   | 75                   | 7                 | 12                  | 0                  | 75                 |
| Extruded Polystyrene Foam (XPS)  | 32                           | 44                 | 0                   | 75                   | 0                 | 0                   | 0                  | 75                 |
| Polyurethane Insulation (PUR)    | 37                           | 0                  | 0                   | 75                   | 0                 | 0                   | 0                  | 75                 |
| Polyvinyl Chloride (PVC)         | 1300                         | 0                  | 0                   | 50                   | 0                 | 0                   | 0                  | 50                 |

Abb.31: Heisel, Felix, Anita Lin, Shubha Singh, and Joseph McGranahan. 2023. "RhinoCircular Material Circularity Database V1.0." Material Database. Ithaca, NY: Circular Construction Lab. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14063.92326/2>.

GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER STAHLBAUTEILE



GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER WIEDERVERWENDETEN BETONSTÜTZEN

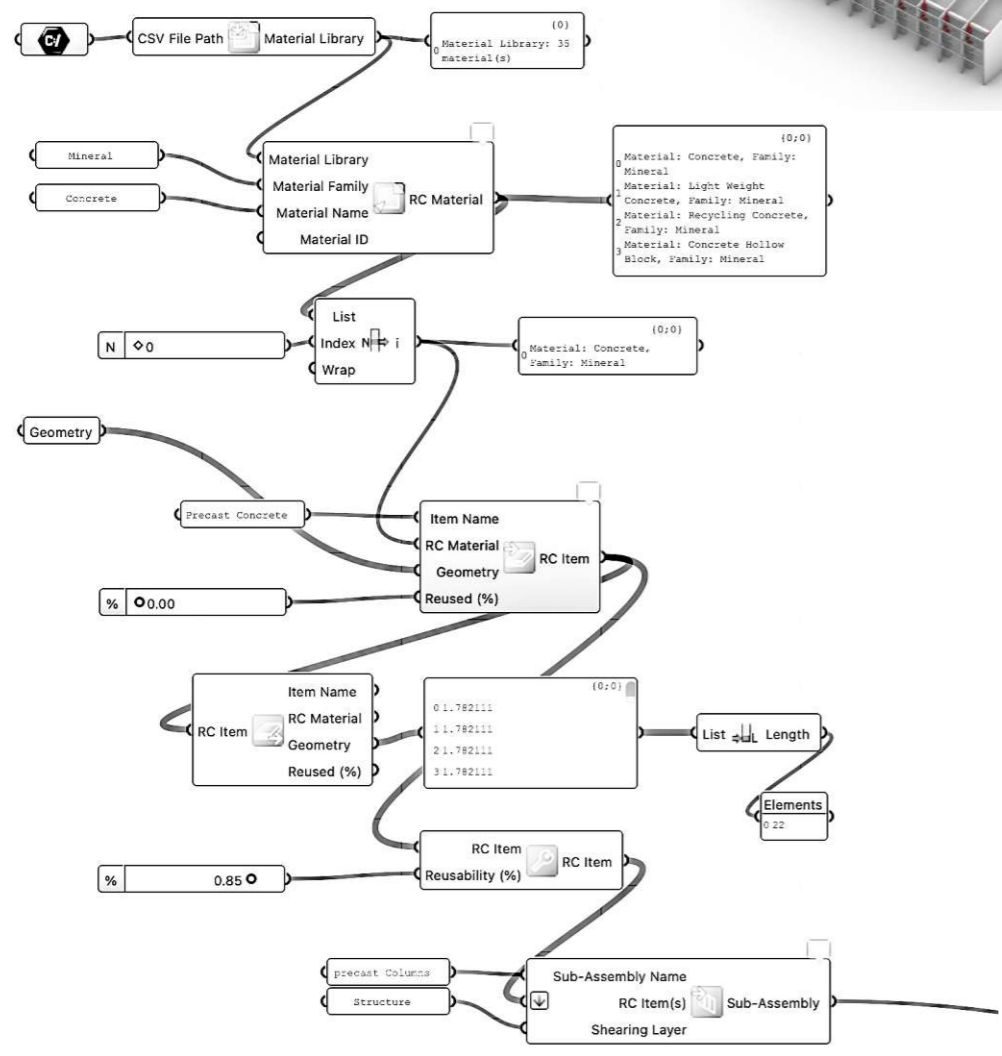
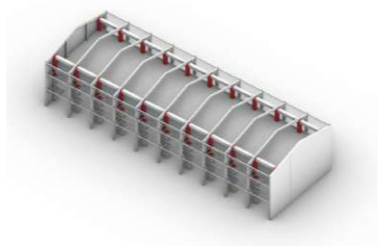


Die Abb.32-42 zeigen ein Grasshopper-Skript, das mit Rhino-Circular erstellt wurde, einem Plug-in des Circular Construction Labs der Cornell University für die Modellierungssoftware Rhinoceros. Es dient dazu, in frühen Entwurfsphasen Materialdaten in die Geometrien einzuspeisen, um Informationen über die Kreislauffähigkeit der verwendeten Bauteile zu generieren.

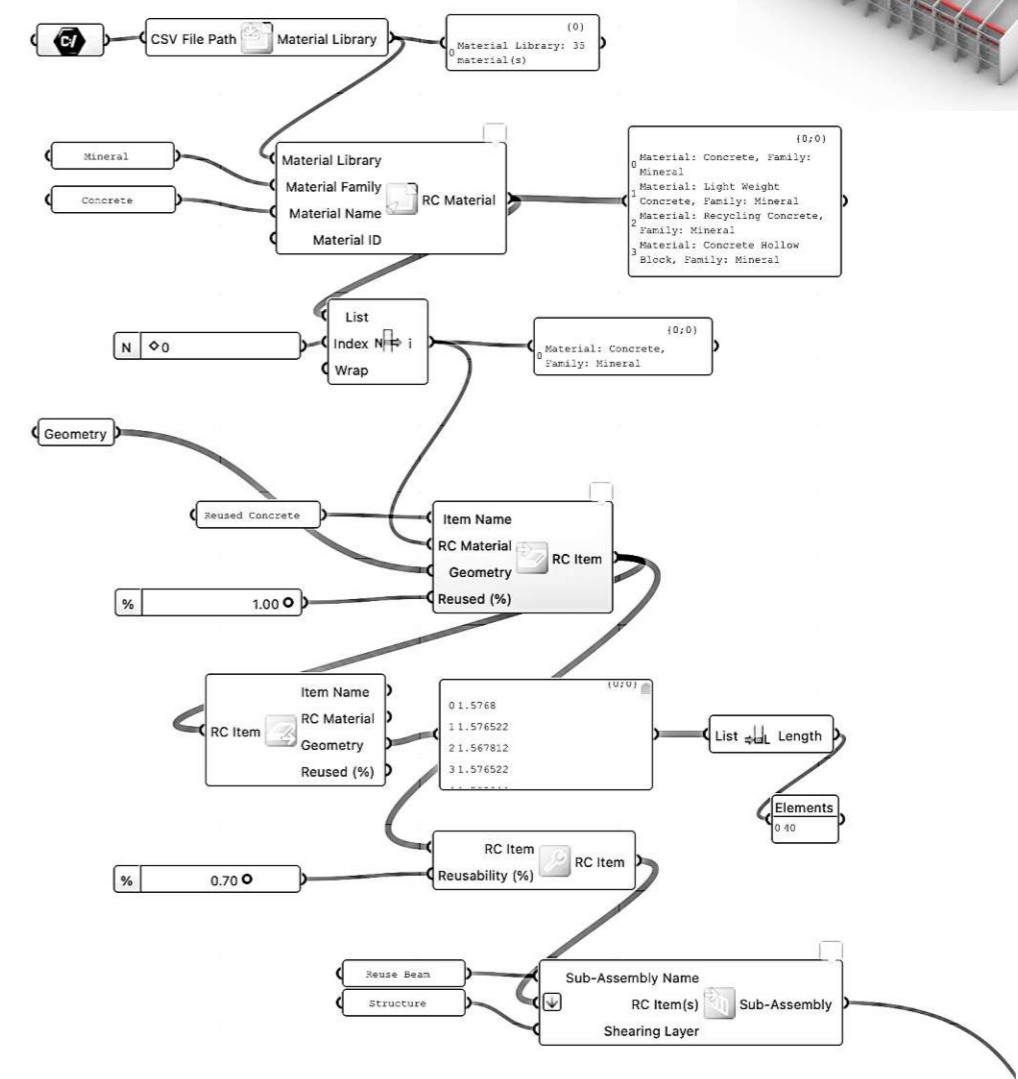
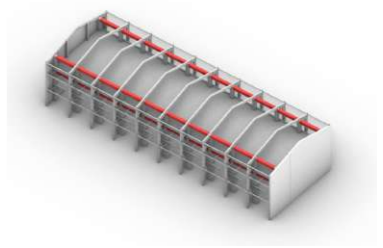
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



### GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER BETONFERTIGTEILSTÜTZEN



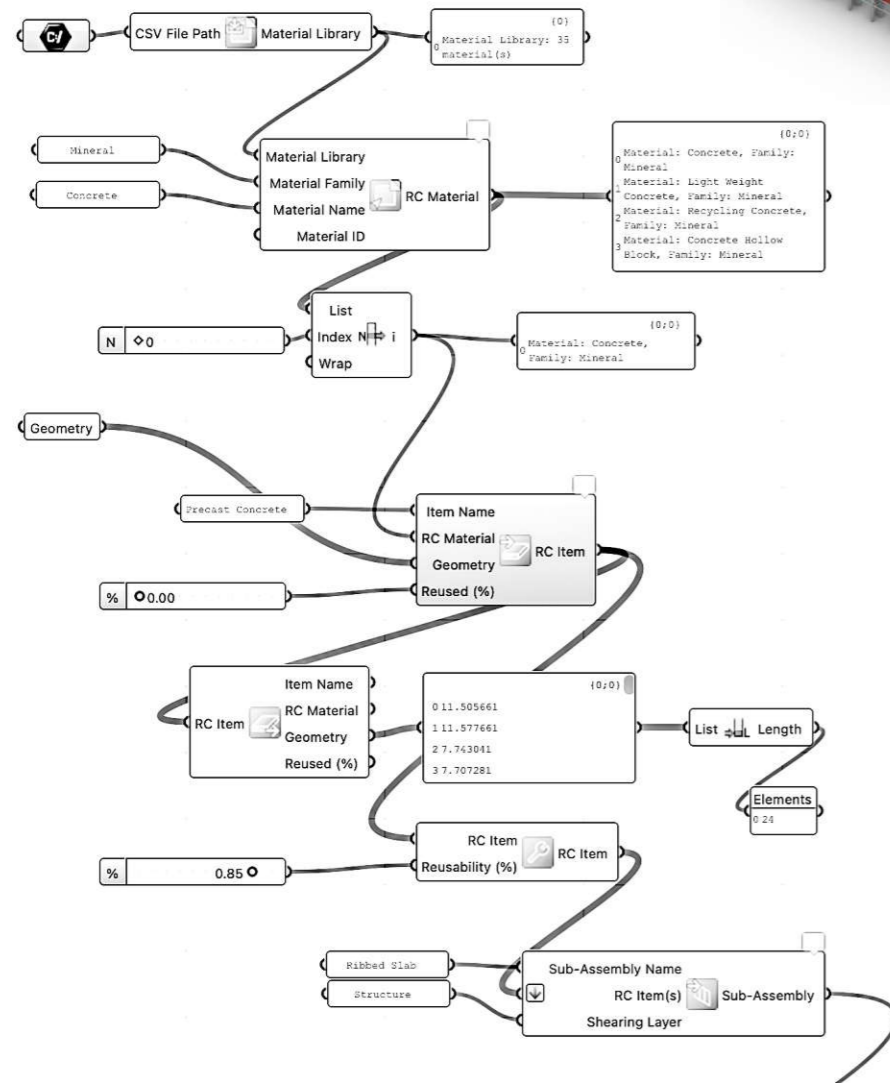
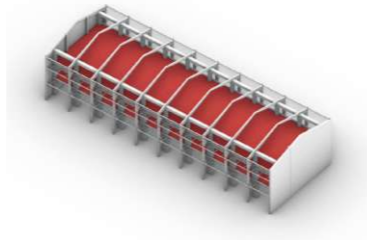
### GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER WIEDERVERWENDETEN BETONTRÄGER



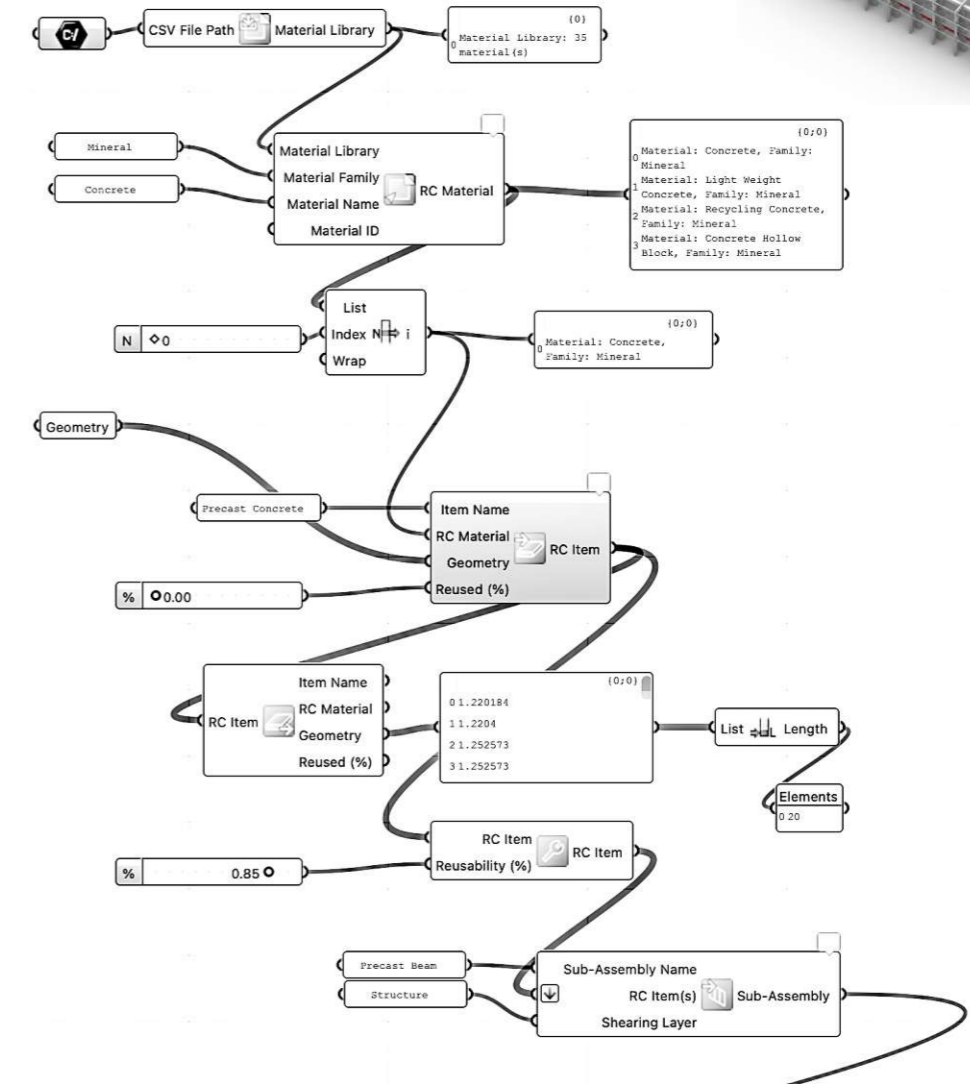
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER BETONRIPPENDECKE



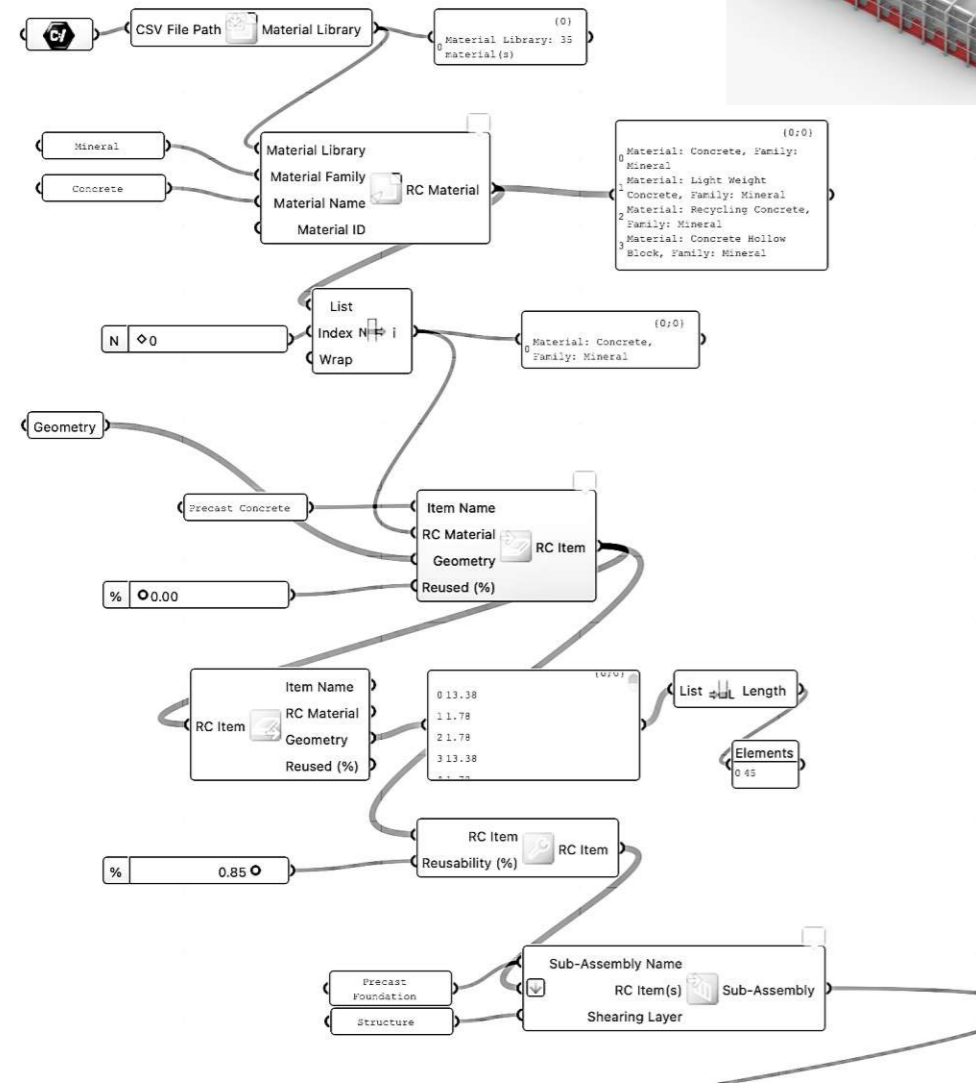
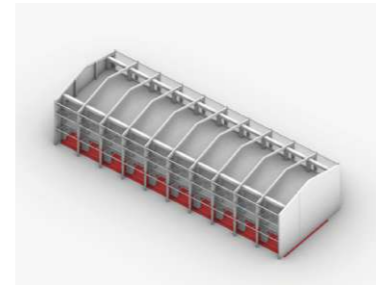
GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER BETONFERTIGTEILTRÄGER



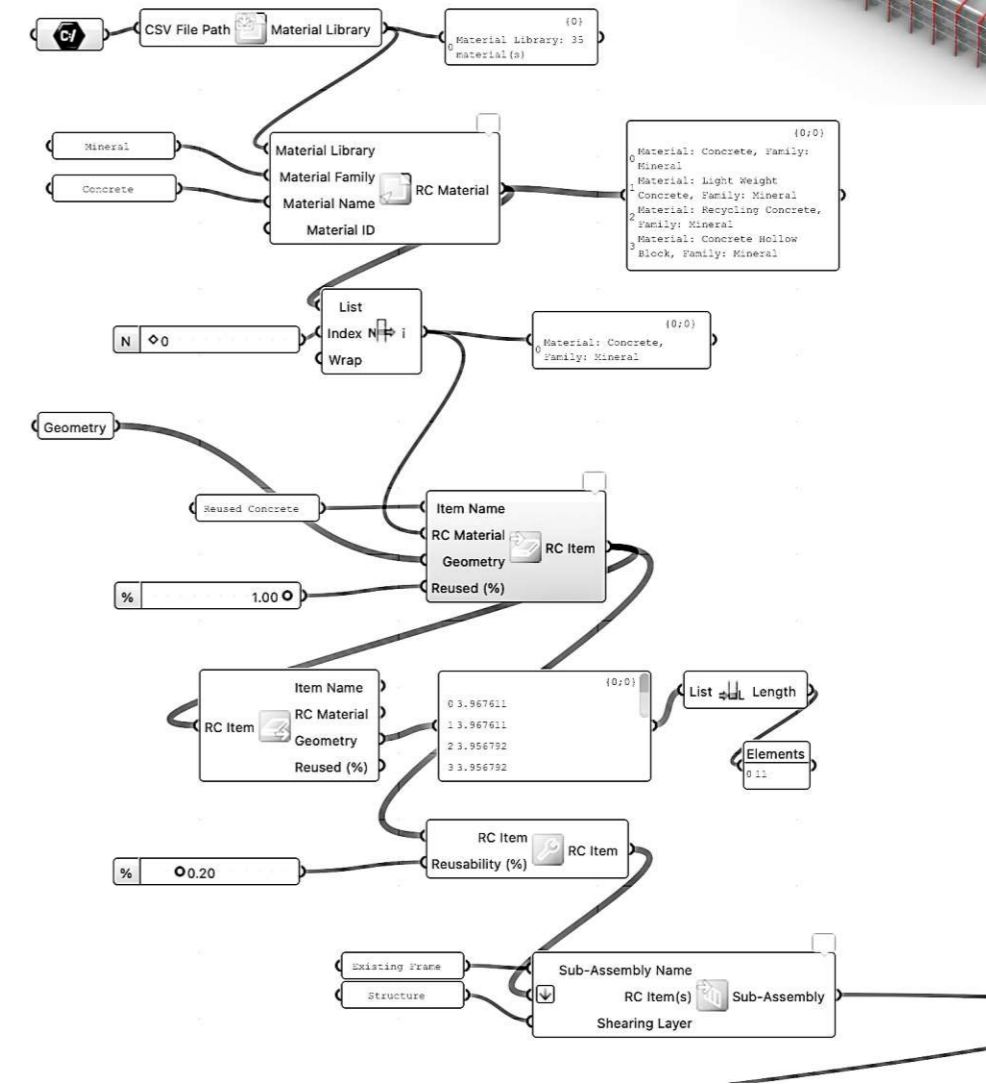
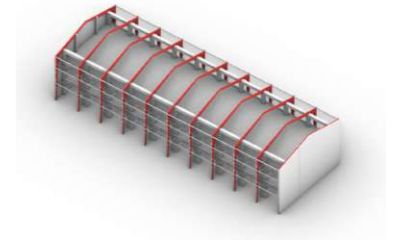
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar. The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.



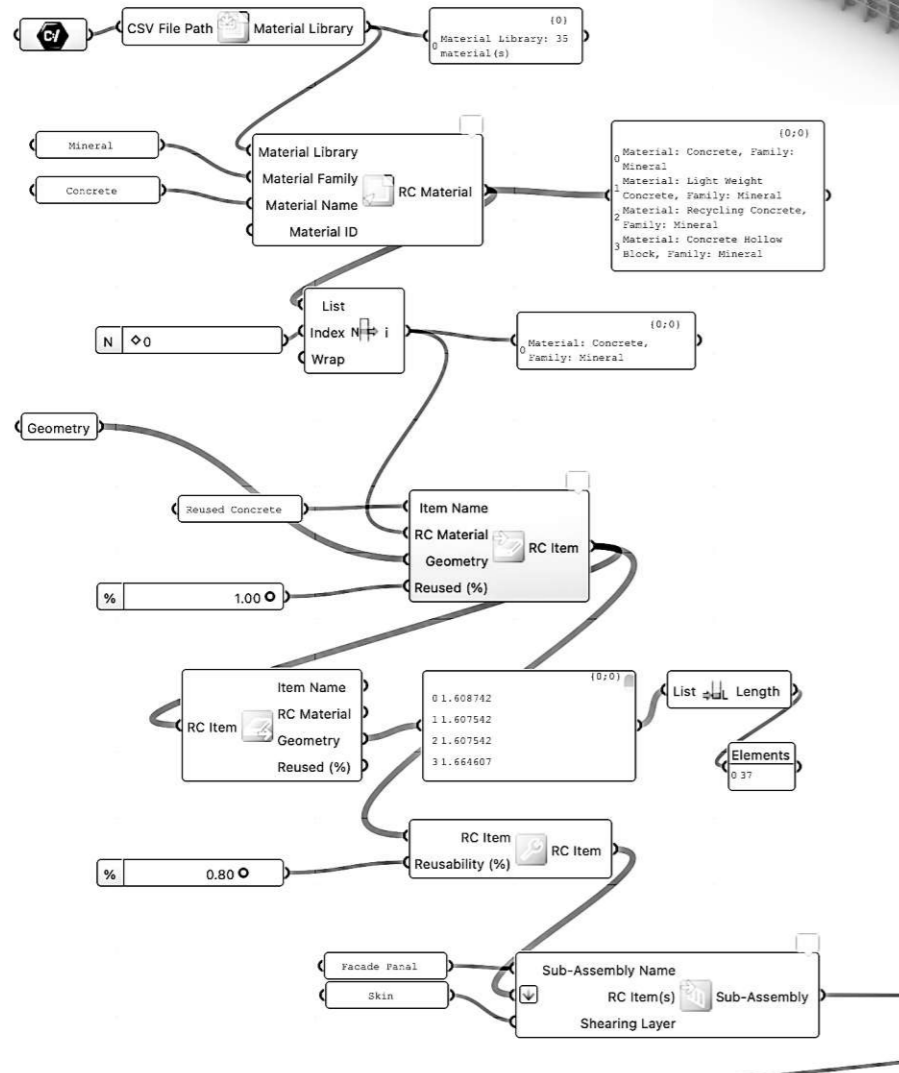
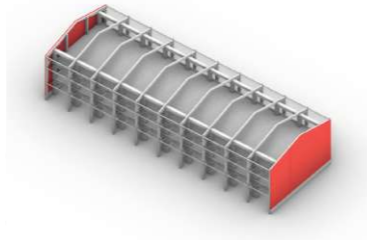
### GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER BETONFUNDAMENTFERTIGTEILE



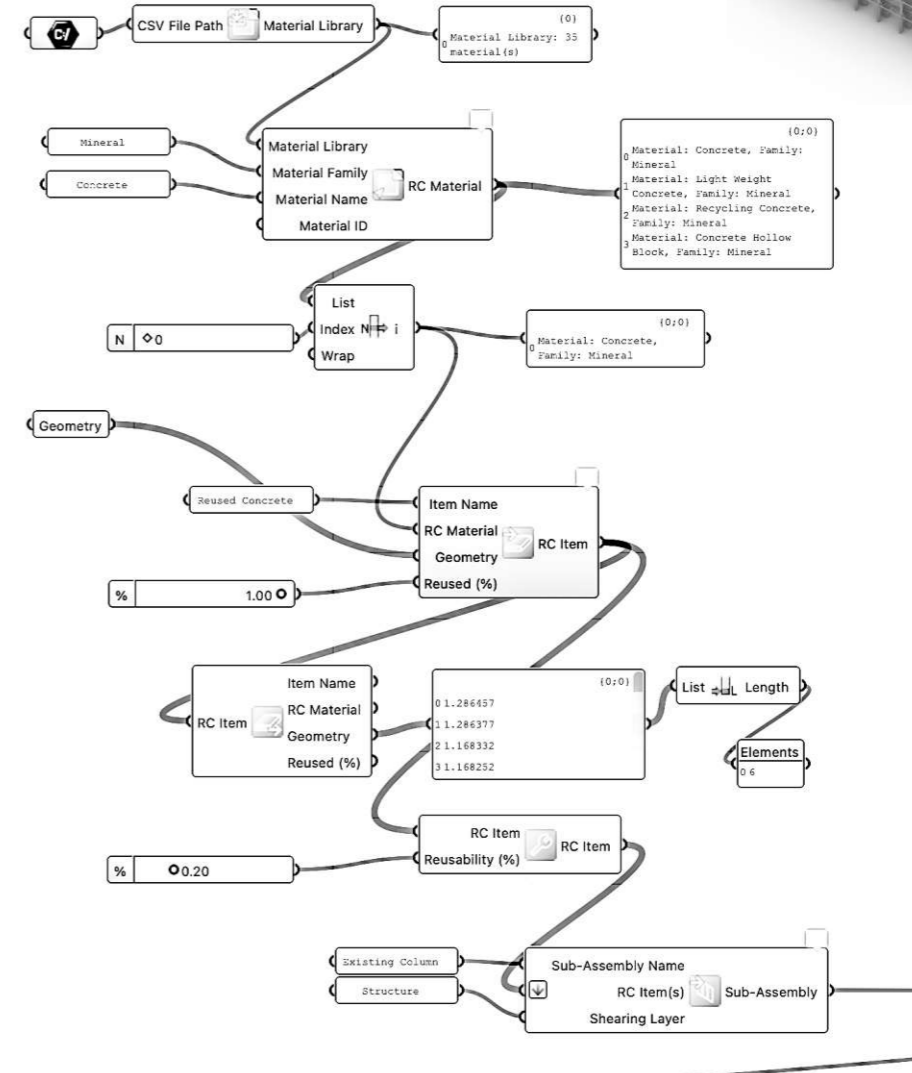
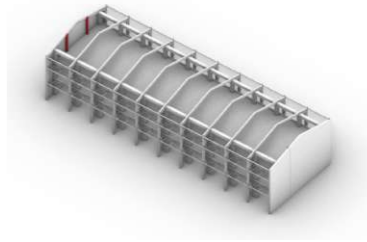
### GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE BESTANDS-BETONRAHMENKONSTRUKTION



GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER BESTANDS-BETONFASSADENPLATTEN



GRASSHOPPER-SKRIPT FÜR DIE DIE KREISLAUFFÄHIGKEIT DER BESTANDS-BETONSTÜTZEN



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.



## FAZIT

Die vorliegende Arbeit verdeutlicht das bedeutende Potenzial der Etablierung von Entwurfsparametern für eine kreislauffähige Architektur, um unserem immensen Ressourcenverbrauch in der Baubranche entgegenzuwirken. Die Implementierung von Kreislaufwirtschaftskonzepten bietet die Möglichkeit, Ressourcen zu schonen, Abfälle zu reduzieren und den ökologischen Fußabdruck von Bauprojekten signifikant zu verringern. Durch die Prozesse der Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung und Weiterverwertung von Baumaterialien können wertvolle Ressourcen im Bauprozess zurückgewonnen und in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden.

Es ist jedoch anzumerken, dass die erfolgreiche Umsetzung von kreislaufwirtschaftlichen Prinzipien im Bauwesen eine Vielzahl von Herausforderungen mit sich bringt. Dazu gehören technologische, rechtliche und finanzielle Hürden, die überwunden werden müssen. Die Hauptschwierigkeit besteht darin, dass unsere gebaute Umwelt nicht im Geiste einer kreislauffähigen Architektur konzipiert wurde. Daher sind die Umsetzung von Wieder- oder Weiterverwendungsszenarien von Gebäuden mit einem hohen Aufwand verbunden, verglichen mit konventionellen Bautätigkeiten.

Meiner Meinung nach besteht die größte Chance, einen kreislauffähigen Handlungsansatz in Zukunft zu etablieren, darin, einerseits die rechtlichen Rahmenbedingungen zu schaffen, die eine Zertifizierung von wiederverwendeten Bauteilen zulassen, um aufwendige Prüfverfahren nach dem Rückbau von Bauteilen zu vermeiden. Andererseits ist es wichtig, die genaue Datenerfassung der verbauten Materialien in unseren Bauwerken voranzutreiben, um das Kreislaufpotenzial zu optimieren. Schließlich sollte das Bewusstsein in der Lehre und in der Praxis für eine kreislaufgerechte Geisteshaltung geschärft werden, sodass Parameter einer kreislaufgerechten Architektur bereits in der frühen Entwurfsphase berücksichtigt werden können. Nur so können wir in Zukunft eine gebaute Umwelt schaffen, in der die Potenziale der Kreislaufwirtschaft voll ausgeschöpft werden können.

# DANKSAGUNG

Abschließend möchte ich die Gelegenheit nutzen, meinen aufrichtigen Dank auszusprechen an all die Personen, die mich durch mein Studium begleitet haben.

Ein besonderer Dank gebührt meinem Diplombetreuer, Wilfried Kühn, für seine fachkundige Anleitung und wertvollen Gespräche während des gesamten Forschungsprozesses.

Ebenso möchte ich meiner Familie meinen tiefsten Dank aussprechen, insbesondere meiner Mutter, Claudine Furiani. Ever bedingungsloser Glaube an mich hat mir die nötige Kraft und Motivation gegeben, um diesen Prozess abzuschließen.

Ein herzliches Dankeschön möchte ich auch meiner Freundin, Julia Staber, aussprechen. In dieser nicht immer einfachen Phase meines Studiums hast du mich stets ermutigt und mir auf jegliche erdenkliche Art und Weise den Rücken freigehalten.

Zuletzt möchte ich noch all meinen Freunden danken, die mich auf ihre eigene Art und Weise unterstützt haben. Insbesondere möchte ich Falk-Joseph Oswald, Leonard-Ruben Brinkmann, Ägidius Vockenhuber und Hans-Niclas-Benjamin Koch erwähnen und ihnen meinen aufrichtigen Dank aussprechen

## QUELLEN

[1] „8 Milliarden Menschen – 8 Milliarden Chancen“, Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, zugegriffen 23. Februar 2023, <https://www.bmz.de/de/aktuelles/aktuelle-meldungen/8-milliarden-menschen-8-milliarden-chancen-127434>.

[2] Werner Sobek, Non nobis-über das Bauen in der Zukunft--Buch 1. Ausgehen muss man von dem, was ist (Stuttgart: Avedition, 2022). Seite 18

[I] „Glossary“, Global Footprint Network, zugegriffen 24. April 2023, <https://www.footprintnetwork.org/resources/glossary/>.

[II] ebd.

[III] ebd.

[3] Walter R. Stahel, Wirtschaften in Kreisläufen, in: Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 33

[4] ebd. Seite 34

[5] ebd. Seite 35

[6] ebd. Seite 36

[7] Walter R. Stahel, The Circular Economy: A User's Guide (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019). Seite 43

[8] ebd. Seite 26-46

[9] Walter R. Stahel, Wirtschaften in Kreisläufen, in: Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 38-39

[10] Walter R. Stahel, The Circular Economy: A User's Guide (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019). Seite 70

[11] „Von der Wiege zurück zur Wiege - Cradle to Cradle“, zugegriffen 28. März 2024, <http://www.product-life.org/de/cradle-to-cradle>.

[12] „The Circular Economy in Detail“, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>.

[13] „Optimierung der Lebens- und Nutzungsdauer von Produkten“, zugegriffen 08. Juli 2023 <https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/37479.pdf>

[14] „The Circular Economy in Detail“, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>.

[15] ebd.

[16] ebd.

[17] ebd.

[18] ebd.

[19] Stewart Brand, How Buildings Learn: What Happens after They're Built (New York, NY: Penguin Books, 1995). Seite.365

[20] ebd. Seite 35

[21] Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen“, BBSR, zugegriffen 21. August 2023, [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2009/LebensNutzungsdauer/01\\_start.html](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2009/LebensNutzungsdauer/01_start.html).

[22] Sobek, Non nobis-über das Bauen in der Zukunft--Buch 1. Ausgehen muss man von dem, was ist. Seite 174

[23] Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 46-47

[24] Sibylle Wilke, „Glas und Altglas“, Text, Umweltbundesamt (Umweltbundesamt, 6. August 2013), <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/glas-altglas>.

[25] Bernhard Hachleitner, Michael Hieslmair, und Michael Zinganel, Blinder Fleck Nordwestbahnhof: Biografie eines innenstadtnahen Bahnhofsareals (Wien: Falter Verlag, 2022). Seite 17

[26] ebd. Seite 35

[27] ebd. Seite 98-99

[28] ebd. Seite 17

[29] „Stadtentwicklungsgebiet Nordwestbahnhof - Projektübersicht“, Stadtplanung, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.wien.gv.at/stadtplanung/nordwestbahnhof>.

[30] Bernhard Hachleitner, Michael Hieslmair, und Michael Zinganel, Blinder Fleck Nordwestbahnhof: Biografie eines innenstadtnahen Bahnhofsareals (Wien: Falter Verlag, 2022). Seite 164

[31] ebd. Seite 164

[32] Felix Heisel und Sabine Rau-Oberhauer, Materialpässe und Materialkataster für die Dokumentation und Planung in: Heisel und Hebel, Urban Mining und kreislaufgerechtes Bauen. Seite 158-160

[33] ebd

[34] Dirk Hebel u. a., Hrsg., Sortenrein Bauen: Methode – Material – Konstruktion, 1. Auflage (München: Detail Business Information GmbH, 2023). Seite 97

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Bis auf die folgenden Abbildungen handelt es sich um eigene Darstellungen/Grafiken/Fotos:

Abb.1-2: erstellt auf der Grundlage von <https://data.footprintnetwork.org>

Abb.3-6: Walter R. Stahel, *The Circular Economy: A User's Guide* (London ; New York: Routledge, Taylor & Francis, 2019)

Abb.7:

Das "butterfly diagram" der Kreislaufwirtschaft, entwickelt von der Ellen MacArthur Foundation, auf der Grundlage von Braungart & McDonough „The Circular Economy in Detail“, zugegriffen 28. März 2024, <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/the-circular-economy-in-detail-deep-dive>.

Abb.8: Die sechs Gebäudebereiche inkl. der Erneuerungszyklen (in Anlehnung an das Six Layers Modell nach Brand, 1994)

Abb.9-10: <https://www.atlasofplaces.com/architecture/lingotto-factory/>

Abb.11-12: <https://arquitecturaviva.com/works/escuela-de-arquitectura-de-nantes-2>

Abb.31: Heisel, Felix, Anita Lin, Shubha Singh, and Joseph McGranahan. 2023. "RhinoCircular Material Circularity Database V1.0." Material Database. Ithaca, NY: Circular Construction Lab. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14063.92326/2>.

