Universität Zürich[UZH]

Abschlussarbeit

zur Erlangung des

Master of Advanced Studies in Real Estate

Gebäude mit Materialpass

Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf die Immobilienbewertung

Verfasserin:	Kindermann Madeleine Bremgartnerstrasse 81, 8003, Zürich info@madeleinekindermann.com +41 (0)78 793 90 53
Eingereicht bei:	Rainer Marti, MSc ETH
Abgabedatum:	09.09.2021

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis ..... **IV**

Abbildungsverzeichnis ..... **V**

Tabellenverzeichnis ..... **VI**

Executive Summary ..... **VII**

1. Einleitung **1**

1.1 Problemstellung und Ausgangslage 1

1.2 Zielsetzung 2

1.3 Abgrenzung des Themas 3

1.4 Methodisches Vorgehen 3

1.5 Aufbau der Arbeit 4

2. Rechtliche und wissenschaftliche Grundlagen **5**

2.1 Grundlagen der Kreislaufwirtschaft 5

2.1.1 Lebenszyklusbetrachtung 6

2.1.2 Wiederverwendbarkeit der Materialien 8

2.1.3 Gesetzliche Grundlagen der Kreislaufwirtschaft 9

2.1.4 Wirtschaftliche Grundlagen der Kreislaufwirtschaft 10

2.1.5 Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie 11

2.2 Grundlagen der DCF-Immobilien-Marktwertermittlung 12

3. Methodik **14**

3.1 Datengrundlage 14

3.2 Definition des Musterobjekts 15

3.2.1 Konventionell-lineare Konstruktion 15

3.2.2 Kreislauffähige C2C-Konstruktion 16

3.2.3 Ermittlung der Baukosten 17

3.3 Erstellen des Materialpasses 19

3.3.1 Finanzieller Wert 20

3.3.2 Zirkulärer Wert 28

3.4 Definition der Erneuerungsstrategien 33

3.5 Marktwertermittlung mit DCF-Modell 37

3.5.1 Eingabeparameter des DCF-Modells 38

3.5.2 Annuität der Lebenszykluskosten 40

4. Resultate und Erkenntnisse 43

4.1 Sensitivitätsanalyse 45

5. Schlussbetrachtung 48

5.1 Fazit 48

5.2 Diskussion und Ausblick 50

Literaturverzeichnis 55

Anhang 61

Abkürzungsverzeichnis

C2C	Cradle to Cradle
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BFU	Bundesamt für Umwelt
BR	Schweizer Bundesrat
CES	Circular Economy Switzerland
DGBC	Dutch Green Building Council
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
FPRE	Fahrländer Partner AG
IP BAU	Impulsprogramm Bau des Bundesamts für Konjunktur
ISO	Internationale Organisation für Normung
KBOB	Koordinationskonferenz Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
LIK	Landesindex für Konsumentenpreise
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SIREA	Swiss Institute of Real Estate Appraisal
SIV	Schweizer Immobilienschätzer-Verband
SVKG	Schweizerische Vereinigung kantonaler Grundstückbewertungsexperten
VMWG	Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen
WEF	World Economics Forum
WGBC	World Green Building Council

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Biologische und technische Kreisläufe des C2C-Prinzips 6

Abbildung 2: Beinflussbarkeit der Lebenszykluskosten nach Nutzungsphase 7

Abbildung 3: Kategorien des Recyclings 8

Abbildung 4: Entwicklung der Umwelt- und Gesamtwirtschaft in der EU 10

Abbildung 5: Mengenerfassung der Aussenwandbekleidung des C2C-Musterobjekts 19

Abbildung 6: Ermittlung des reinen Rohstoffwerts am Beispiel des Materials Stahl 21

Abbildung 7: Verfügbarer Rohstoffwert am Beispiel des Materials Aluminium 25

Abbildung 8: Verfügbare finanzielle Werte des C2C-Musterobjekts 27

Abbildung 9: Zirkularität-Index für die Musterobjekte C2C und Linear 28

Abbildung 10: Rohstoffeinsätze der Gebäudehülle beider Musterobjekte 29

Abbildung 11: Zirkularität-Index der Lebensdauer für beide Musterobjekte 32

Abbildung 12: Zyklische Sanierungsaufwendungen in % des Linear-Gebäudeneuwerts 35

Abbildung 13: Zyklische Sanierungsaufwendungen in % des C2C-Gebäudeneuwerts 37

Abbildung 14: C2C-Lebenszykluskosten und Erträge in % des Gebäudeneuwerts 41

Abbildung 15: Lebenszykluskosten im Verhältnis zu Erstellungskosten 52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gegenüberstellung der eBKP-Kostenermittlungen 18

Tabelle 2: Wertermittlung des verfügbaren Rohstoffwerts Stahl 22

Tabelle 3 Lockerungsindex für den Korrekturfaktor der Rückbaukosten 23

Tabelle 4: Wertangaben für die Korrekturfaktoren Transport und Aufarbeitung 24

Tabelle 5: Materialverhältnisse für den ZI-Index des C2C-Objekts 30

Tabelle 6: Zyklische Sanierungsaufwendungen des Linear-Objekts 34

Tabelle 7: Zyklische Sanierungsaufwendungen des C2C-Objekts 36

Tabelle 8: DCF-Parameter: Diskontsatz, Bewirtschaftungskosten und Mieterträge 38

Tabelle 9: Vergleich Lebenszyklus-Aufwendungen in % des Gebäudeneuwerts 42

Tabelle 10: DCF-Bewertung C2C-Objekt (gekürzte Darstellung) 43

Tabelle 11: DCF-Bewertung Linear-Objekt (gekürzte Darstellung) 44

Tabelle 12: Sensitivitätsanalyse bei gleicher Veränderung des C2C- und Linear-Objekts 45

Tabelle 13: Sensitivitätsanalyse bei einseitiger Veränderung des C2C-Objekts 46

Tabelle 14: Sensitivitätsanalyse der C2C-Lebenszykluskosten 47

Executive Summary

Die Bauindustrie gehört zu den ressourcenintensiven Wirtschaftszweigen. In der Schweiz allein werden jährlich über achtzig Prozent des gesamten Abfallaufkommens im Bausektor produziert. Es besteht massiver Handlungsdruck, die Produktionssysteme, die ihre Wurzeln in der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts haben, zu überarbeiten. Als Lösungsansatz wurde in der letzten Dekade das Konzept der Kreislaufwirtschaft entwickelt. Es beschreibt ein geschlossenes System, in dem die Ressourcen zirkulieren und am Ende ihrer Nutzung wieder in die Wertschöpfungskette zurückgeführt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, welchen Einfluss die Kreislaufwirtschaft auf die Immobilienbewertung haben kann. Das Kernkonzept der Kreislaufwirtschaft hat den langfristigen Werterhalt der Güter zum Ziel. Ein Ansatz, der nicht nur aus ökologischer Perspektive ins Rampenlicht gerät, er gibt der Bauindustrie auch eine Mehrzahl an ökonomischen Hebeln.

Für die Untersuchung wurde ein standardisiertes Musterobjekt in einer linearen und einer kreislauffähigen Konstruktionsweise moduliert und mittels DCF-Verfahren bewertet. Es werden die finanziellen und zirkulären Werte der Materialien erfasst und mit dem Materialpass ausgewertet. Die resultierenden Lebenszyklus-Kosten und Erträge werden über die Summe der jährlichen Rückstellungen in die Marktwertermittlung übertragen. Für das Kreislaufobjekt werden die Austauschzyklen der unterschiedlichen Gebäudeschichten in der Planung berücksichtigt. Der Fokus wird auf den Einsatz von leicht trennbaren und irreversiblen Verbindungen gelegt. Es kommen herkömmliche heute im Bauwesen standardisierte und etablierte Fertigungsprozesse zur Anwendung. Die Grundrisse und dementsprechend das resultierende Flächenangebot werden durch die Anpassungen des Konstruktionsprinzips nicht verändert.

Die Bewertung der beiden Musterobjekte hat gezeigt, dass trotz der erhöhten Erstellungskosten des kreislauffähigen Objekts ein deutlicher Mehrwert von +9.6 % in der Marktwertermittlung erzielt wird. Der Hauptwerttreiber für die DCF-Bewertung ist die Differenzierung der Lebenszykluskosten. Die jährlichen Aufwendungen können beim C2C-Objekt um 39 % reduziert werden. Zusätzlich werden durch die verfügbaren finanziellen Materialwerte positive Kapitalflüsse im Lebenszyklus verbucht. Der Mehrwert des Kreislaufobjekts ist auch bei Änderung der einzelnen Werttreiber beständig. Den grössten Einfluss auf den C2C-Effekt haben die Erstellungskosten und die Erneuerungsstrategien. Für die Materialaktivierung können über 23 % des Gebäudeneuwerts in der Annuitätsrechnung berücksichtigt werden. Die Stellschraube der Risikobewertung und dementsprechend die Adjustierung des Diskontsatzes werden für die Auswertung nicht verwendet. Der C2C-Effekt wird rein über die Erträge und Kosten im Lebenszyklus erwirtschaftet. Die Arbeit zeigt das ökonomische Potenzial einer kreislauforientierten Bauwirtschaft auf und leistet somit einen wichtigen Beitrag für weitere Untersuchungen.

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Ausgangslage

Die Bauindustrie gehört zu den ressourcenintensiven Wirtschaftszweigen weltweit. In der Schweiz werden jährlich über achtzig Prozent des gesamten Abfallaufkommens durch das Bauwesen produziert (Fischer, 2020, S. 13). In Deutschland werden jährlich 517 Millionen Tonnen mineralischer Rohstoffe verbaut. Das entspricht neunzig Prozent der gesamten inländischen Entnahme (Statistisches Bundesamt, 2019, S. 39). Es wird mittlerweile von über 15 Milliarden Tonnen verbauten Materialen im Gebäudebestand ausgegangen (Zentrum Ressourceneffizienz, 2017). Das Europäische Parlament verabschiedete 2018 ein EU-Kreislaufwirtschaftspaket und geht von einer weiteren Verdopplung des globalen Ressourcenbedarfs bis 2045 aus (Europäische Kommission, 2019, S. 11). Der Bauindustrie wird eine Schlüsselrolle im Wandel zur Nachhaltigkeit zugeschrieben.

Übergeordnet wird das Konzept der Nachhaltigkeit als Nutzung eines regenerierbaren Systems etikettiert. Zielsetzung ist es, die wesentlichen Eigenschaften der Güter langfristig zu erhalten und die verwendeten Ressourcen weitgehend zu verwerten (Meinhold, 2011, S. 1). Der Grundgedanke der Nachhaltigkeit kann nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Perspektive auf das Gut der Immobilie überlagert werden. Jede Investition ist abhängig von einer ganzheitlichen Nutzen-Kosten-Betrachtung. Die Ermittlung muss aufgrund aller im Nutzungszyklus relevanten Aufwände und Erträge erfolgen. Es müssen die Errichtungskosten, die künftigen Gebrauchskosten und die Rückbau- und Entsorgungskosten berücksichtigt werden.

Das in den letzten Dekaden entwickelte Konzept der Kreislaufwirtschaft bedingt, dass das Gut der Immobilie rezyklierbar, schadstofffrei und demontierbar wird. Die Austauschzyklen der unterschiedlichen Gebäudeschichten werden in der Planung berücksichtigt. Die Hauptgebäudegruppe der Tertiärstruktur (Innenausbau), der Sekundärstruktur (Gebäudehülle) und der Primarstruktur (Tragkonstruktion) sind durch einfache Trennbarkeit gekennzeichnet. Es kommen vorwiegend modulare und vorfabrizierte Elemente zur Anwendung. Die Umsetzung ist heute mit herkömmlichen, im Bauwesen standardisierten und etablierten Fertigungsprozessen möglich.

Die verwendeten Materialien werden mit dem Cradle to Cradle®-Prinzip, nachfolgend C2C genannt, nicht als verbraucht, sondern als zirkulierbar betrachtet. Die gesamte bebaute Umwelt agiert in der finalen Konsequenz als ein Depot der Rohstoffe (Kommer, 2002, S. 36). Das notwendige hohe Mass an Rezyklierbarkeit bedingt nicht nur einen Wandel am Anfang des Lebenszyklus, bei der Planung, sondern auch am Ende, beim Recycling. In der Bau- und Immobilienbranche findet beim Ableben eines Gebäudes meist ein Qualitätsverlust durch ein sogenanntes Downcycling statt. Ziel des C2C-Prinzips ist es, dass stoffliche Gut der Materialien zu erhalten und über ein Upcycling wieder an den Markt zurückzuführen.

Die Lebenszyklusbetrachtung sowie der potenzielle finanzielle Wert der zirkulierbaren Materialien bietet der Immobilienindustrie einen markanten Wettbewerbsvorteil. Die über den Lebenszyklus anfallenden Kosten können optimiert werden und am Ende des Zyklus können die kostspieligen Entsorgungskosten reduziert werden. Die Bauteile werden über den Lebenszyklus modular ersetzt und als Sekundärrohstoff wieder an den Markt zurückgeführt. Steigende Rohstoffpreise und die Teuerung der Entsorgungskosten heben die Attraktivität der Zirkulierbarkeit weiter an (Brenner, 2015, S. 5).

Mit den Möglichkeiten der digitalen Planung werden die ersten Werkzeuge geschaffen, um das notwendige Wissen über die Materialflüsse eines Gebäudes zu dokumentieren und langfristig zu sichern. Dem Wert der Materialien wird eine Identität gegeben. Das Katalogisieren der Materialien erfolgt über einen Materialpass, der anlog eines jeden Reisepasses die persönlichen Merkmale der Gebäudeidentität ausweist (Madaster, 2021a, S. 3). Die verfügbaren Rohstoffwerte der Materialien sollen zur massgebenden Grösse der Immobilienbewertung werden und letztlich genauso ausschlaggebend zur Marktwertermittlung beitragen wie der Flächenertrag oder die Leerstandsquote. Je mehr sich das Konzept der Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie etabliert, desto grösser wird der Druck, die Materialaktivierung (Kerbrat, 2016, S. 32) und die Reduktion der Nutzungs- und Rückbaukosten im Lebenszyklus zu berücksichtigen.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist es, den Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf die Immobilienbewertung zu ermitteln. Dabei soll untersucht werden, welches monetäre Potenzial die C2C-Eigenschaften bieten und wie diese in den standardisierten DCF-Bewertungsprozess integriert werden können.

Anhand eines Musterobjekts werden die Auswirkungen des kreislauffähigen Bauens gegenüber einem konventionell-linearen Vorgehen analysiert. Die Effekte auf die Kapitalflüsse und dementsprechend auf die Bewertung werden ausgearbeitet, quantifiziert und schliesslich bewertet.

Folgende Forschungsfragen sind im Rahmen der Arbeit zu beantworten:

- Kann durch das C2C-Konstruktionsprinzip ein Mehrwert gegenüber dem konventionellen Vorgehen in der DCF-Marktwertermittlung ausgewiesen werden?
- Welchen Einfluss hat der finanzielle und zirkuläre Wert des Materialpasses auf den Bewertungsprozess?

Aktuell liegen nur wenige Auswertungen von kreislauffähigen Objekten in der Immobilienbewertung vor. Mit dieser Arbeit wird ein erster Ansatz publiziert, um die methodische Lücke zu schliessen. Die kreislaufwirtschaftlichen Eigenschaften sollen quantifiziert werden und eine Methodik für die Bewertung soll aufgezeigt werden.

1.3 Abgrenzung des Themas

Für die Auswertung dieser Arbeit wird eine Case-Study-Analyse gewählt, die sich auf den Standort Schweiz und die Anlageklasse von Wohnliegenschaften beschränkt. Der Fokus der Arbeit wurde auf die im Lebenszyklus anfallenden Erträge und Kosten gelegt. Da für die C2C-Immobilien noch keine langfristigen Untersuchungen bezüglich der detaillierten Lebenszyklusaufwendungen existieren, wird für die Vergleichbarkeit der beiden Musterobjekte mit linearen Erneuerungsstrategien gearbeitet. Es wird für die Untersuchung des Linear-Objekts das heute angewendete konventionelle Vorgehen angewendet. Die Bewertung des Linear-Objekts erfolgt demzufolge ohne Berücksichtigung der Materialaktivierung. Als Grundlage der Untersuchung werden Erfahrungen und Auswertungen der Firmen Drees&Sommer, MADASTER, Implenia, der CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung) und Fahrländer Partner FRPE verwendet.

In der Betrachtung werden relevante Nachhaltigkeitsaspekte wie Graue Energie, CO_2-Emissionen und Toxizität der Baumaterialien nicht berücksichtigt. Ebenfalls werden die Einflüsse der technischen Anlagen für die Untersuchung nicht ausgewertet. In der Arbeit geht es primär darum, einen ersten methodischen Ansatz für die Bewertung des C2C-Konstruktionsprinzips aufzuzeigen. Auf die Implementierung von weiteren Parametern wurde zur Reduzierung der Unschärfe verzichtet.

Für die Bewertung wird ausschliesslich zwischen den Erträgen und Kosten im Lebenszyklus der Musterobjekte unterschieden. Der Einfluss einer Nachhaltigkeitszertifizierung des C2C-Prinzips wird im Rahmen des Ausblicks diskutiert, jedoch nicht monetär erfasst. Die Stellschraube der Risikobewertung und dementsprechende Adjustierung des Diskontsatzes werden für die Auswertung der Musterobjekte nicht verwendet. Die potenzielle Hebelwirkung der Werttreiber wird mittels Sensitivitätsanalyse in Kapitel 4.1 untersucht und ausgewertet.

1.4 Methodisches Vorgehen

In einem ersten Schritt wird der aktuelle Stand der Forschung zum Thema der Kreislaufwirtschaft untersucht. Die Begrifflichkeiten und Definitionen werden erläutert, die rechtlichen wie wirtschaftlichen Vorrausetzung werden aufgezeigt und die Relevanz für die Immobilienbewertung wird herausgearbeitet. Anschliessend werden die gewählte ökonomische Bewertungsmethode vorgestellt und die Grundlagen für die DCF-Modellierung ausgewiesen.

Basierend auf den Erkenntnissen der Grundlagen werden die Rahmenbedingungen der Musterobjekte definiert und die leitenden Konstruktionsprinzipien des Linear- und C2C-Objekts aufgezeigt. Anhand der Planungsgrundlagen wird mit der digitalen Plattform Madaster der Materialpass erstellt. Die einzelnen Schritte der Materialpass-Auswertung werden systematisch ausgeführt und erläutert.

In einem dritten Schritt werden die Angaben des Materialpasses verwendet, um die gebäudespezifischen Lebenszyklus-Kosten und Erträge zu ermitteln. Hierzu werden zuerst die verfügbaren finanziellen Werte am Ende der jeweiligen Nutzungsphasen ausgewertet. Anschliessend werden die Erneuerungsstrategien definieret und die daraus resultierenden Instandsetzungskosten ermittelt. Die gesamten Lebenszyklus-Aufwendungen werden als Annuität in die Kapitalflüsse des DCF-Bewertungsmodells integriert. Die Parameter der DCF-Bewertung des Diskontierungssatzes, der Bewirtschaftungskosten und der Mieterträge werden quantifiziert.

In einem vierten Schritt werden die resultierenden Marktwerte der DCF-Bewertung verglichen. Die Hebelwirkung der verschiedenen Werttreiber wird mittels Sensitivitätsanalyse untersucht. In der Schlussbetrachtung werden, neben einer kurzen Zusammenfassung, die kritischen Punkte der Untersuchung diskutiert und im Ausblick weitere Forschungsaspekte aufgezeigt.

1.5 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit ist in fünf Kapitel gegliedert. In Kapitel 1 werden die Relevanz des Themas und die Ausgangslage aufgezeigt. In Kapitel 2 erfolgen eine Erläuterung der Begrifflichkeiten, ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung und die rechtlichen wie wirtschaftlichen Grundlagen. Anschliessend wird in Kapitel 3 das methodische Vorgehen beschrieben und die notwendigen Berechnungsschritte werden systematisch vorgestellt. Die Resultate werden in Kapitel 4 präsentiert und mittels Sensitivitätsanalyse untersucht. Das Thema wird in Kapitel 5 mit einer Schlussbemerkung und einem Ausblick gewürdigt.

2. Rechtliche und wissenschaftliche Grundlagen

2.1 Grundlagen der Kreislaufwirtschaft

Die Begrifflichkeit der Kreislaufwirtschaft ist vor allem als Kritik an dem vorherrschenden linearen Fertigungssystem der Industrialisierung des 19. Jahrhunderts zu verstehen. Geprägt durch den Fordismus[1] der 1920er, wurde die industrielle Warenproduktion als lineare Kette konzipiert. Die Dinge werden hergestellt, verwendet und schliesslich entsorgt. In der finalen Konsequenz landen die Ressourcen in Verbrennungsanlagen oder Deponien und gelten als verbraucht. Die einhergehende Wohlstandsentwicklung der Industrialisierung führte überdies zu einer markanten Steigerung der Nachfrage. Der weltweite Verbrauch der Rohstoffe ist zwischen 1900 und 2015 um das Vierzehnfache gestiegen. Eine weitere Verdopplung des Verbrauchs wird bis 2045 prognostiziert (Europäische Kommission, 2019, S. 11).

Der Architekt William McDonough skizzierte mit dem Buch 'Hannover Principles' (1992) die ersten Umrisse des Cradle to Cradle®-Prinzips. Gemeinsam mit dem Gründer und ehemaligen Leiter der Chemieabteilung von Greenpeace, Michael Braungart, entstand 2002 das Buch 'Cradle to Cradle-Remaking the way we make things'. Ihr Konzept 'von der Wiege bis zur Wiege' kritisiert die damalige Bemühung der Öko-Effizienz, die zwar ressourcenschonend agiert, jedoch weiterhin innerhalb desselben linearen Systems funktioniert (McDonough & Braungart, 1998, S. 3). Die Anstrengung der Vereinten Nationen, die 1987 mit ihrem Bericht 'Our Common Future' die effiziente Ressourcennutzung massgeblich zur Umweltschonung betonen, konnte sich aus der Sicht der Autoren nicht vom tiefer liegenden Problem des bestehenden Systems lösen. Die hohen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Kosten des Lebenszyklus werden vernachlässigt. Die Gewinnung sowie die Verarbeitung und die Nutzung, bis zur Wiederverwendung und Entsorgung müssen miteinbezogen werden.

Der Kerngedanke des C2C-Prinzips besteht darin, den Wert von Produkten, Materialien und Ressourcen in der Wirtschaftskette zu erhalten. Für McDonough und Braungart entwickelt sich ein System der Öko-Effektivität, in der die Werte der Ressourcen regeneriert und nicht erschöpft werden (McDonough & Braungart, 1998, S. 5). Das C2C-Prinzip beschreibt zwei Kreisläufe, einmal den biologischen Kreislauf, in dem die Güter biologisch abbaubar sind und so wieder in den Nährstoffkreislauf integriert werden können. Der zweite Kreislauf der technischen Produkte bedingt die sortenreine Trennung der Ausgangstoffe. Die Güter können so ohne Qualitätsverlust für die Fertigung neuer Güter wiederverwendet werden. In Abbildung 1 werden die zwei Kreisläufe mit ihren jeweiligen Zwischenschritten der Wiederverwendung dargestellt. Die

[1] industriepolitische Konzeption der weitestgehenden Rationalisierung und Standardisierung der Produktion, benannt nach dem Industriellen Henry Ford.

Abbildung 1 wurde von der Ellen MacArthur Foundation EMF erstellt. Die Stiftung ist seit 2009 ein globaler Vordenker und treibende Kraft der Kreislaufwirtschaft.

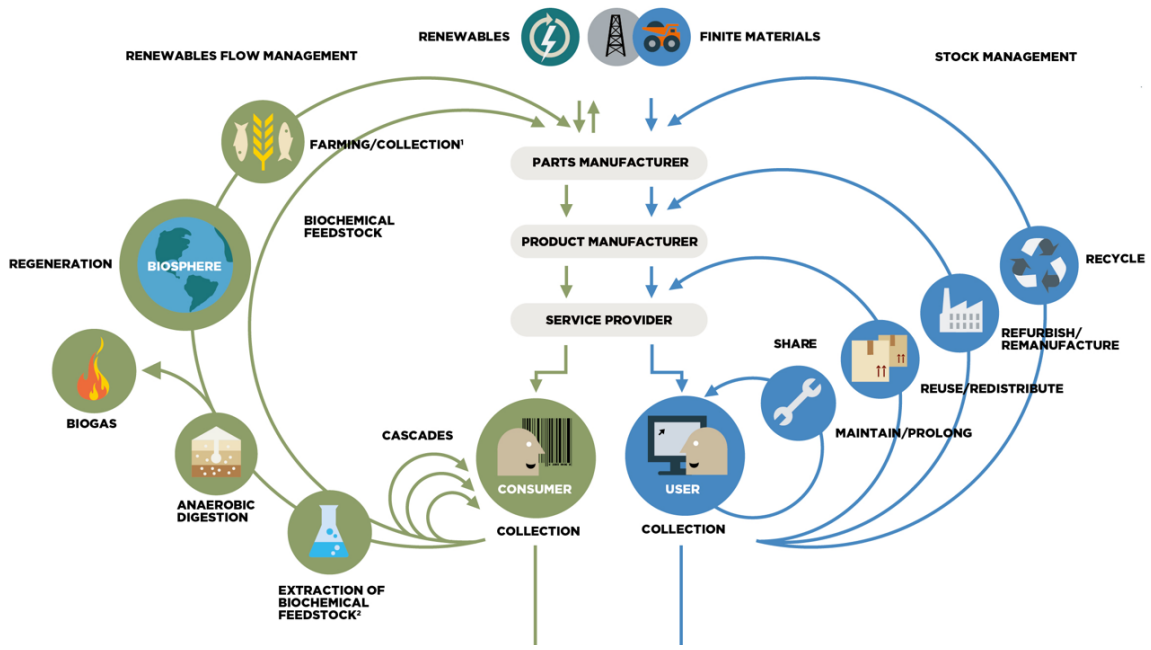


Abbildung 1: Biologische und technische Kreisläufe des C2C-Prinzips (Quelle: EMF, 2012, S. 24)

2.1.1 Lebenszyklusbetrachtung – *Relevanz für die Immobilienbranche*

Die Lebenszyklusbetrachtung der Güter ist für das Cradle-to-Cradle®-Prinzip massgebend und findet nicht nur wegen des Aspekts der Öko-Effektivität, sondern auch wegen der langfristigen Kosten des Lebenszyklus in der Immobilienbranche Anklang. Für den Werterhalt jedes Gutes und somit auch das Gut der Immobilie sind die Lebenszyklusaufwendungen von entscheidender Bedeutung. Canonica betont in seinem Buch des Schweizerischen Immobilienschätzer-Verbands, dass die 'Erneuerungskosten wegen der vorgängig erforderlichen Abbruch-, Demontage- und Enstorgungskosten oft höher als die im Bauwesen üblichen Neubaukosten' ausfallen (Canonica, 2009, S. 250). Ein FM Benchmarking-Bericht der Uwe Rotermund Ingenieurgesellschaft hat bereits im Jahr 2014 anhand eines Büro-Musterobjekts gezeigt, dass über einen Betrachtungszeitraum von 70 Jahren mehr als das sechsfache der Erstellungskosten für die Nutzungskosten aufgebracht werden müssen (Rotermund, 2014, S. 2). Der KBOB betont, dass die Betriebskosten die Investitionskosten meist markant übersteigen (KBOB, 2017, S. 1). In einer Auswertung der Professuren für Architektur und Bauprozess der ETH Zürich steigen die Lebenszykluskosten, je nach Nutzungsart, bereits nach 35 Jahren über 200 % der Erstellungskosten (Menz, 2019, S. 2). Die Auswertung wird in Abbildung 15 des Kapitels 5.2 im Ausblick der Arbeit weiterführend aufgegriffen.

Es ist zu resümieren, dass die Betriebskosten, abhängig vom Immobilientyp, oft nach wenigen Jahren die Investitionskosten übersteigen. Die Beeinflussbarkeit der langfristigen Kosten liegt in

der frühen Phase der Planung. In den späteren Projektphasen sind die Kosten nur mehr marginal anpassbar (Hofer, 2019, S. 49). In Abbildung 2 wird die Beinflussbarkeit der Lebenszykluskosten über die gesamte Lebensphasen der Immobilie dargestellt.

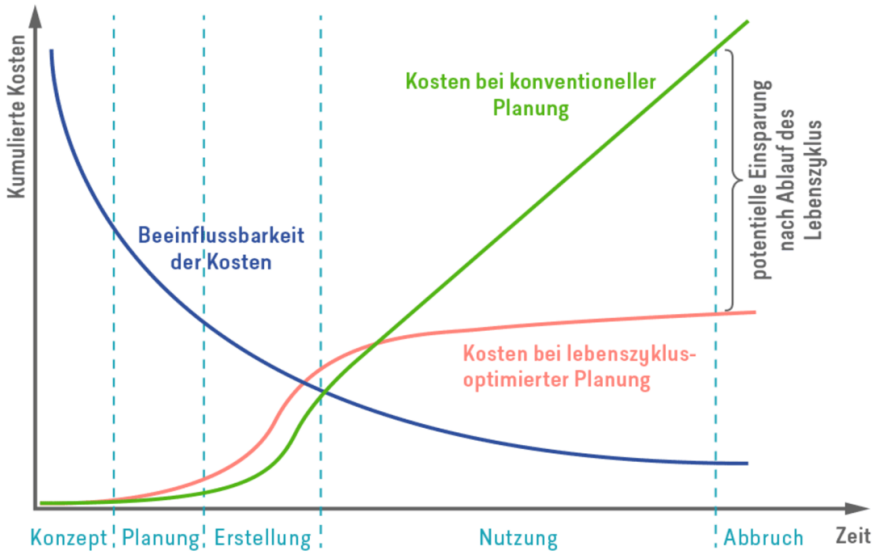


Abbildung 2: Beinflussbarkeit der Lebenszykluskosten nach Nutzungsphase (Quelle: Marks, 2015, S. 1)

In Abbildung 2 wird ersichtlich, dass bei einer frühen Berücksichtigung der Lebenszykluskosten eine erhebliche Optimierung der Gesamtinvestitionskosten erzielt werden kann. Das vom C2C eingeführte Prinzip der Kreislaufwirtschaft bedingt den langfristen Werterhalt der verwendeten Materialien und somit die Optimierung der Lebenszyklusaufwendungen. In der Konsequenz für die Bauindustrie bedeutet dies, dass die Lebenszyklen der unterschiedlichen Bauteile und Materialschichten in der Planung berücksichtigt werden müssen. Das Produkt der Immobilie soll so konstruiert werden, dass die Bauteile leicht zugänglich, modular austauschbar und leicht reparierbar sind (KBOB, 2017, S. 1). Die Hauptgebäudegruppen der Tertiärstruktur (Innenausbau), Sekundärstruktur (Gebäudehülle) und der Primarstruktur (Tragkonstruktion) sind durch einfache Trennbarkeit gekennzeichnet. Die Umsetzung ist heute mit herkömmlichen im Bauwesen standardisierten und etablierten Fertigungsprozessen möglich. In Kapitel 3.2.2 wird das Vorgehen anhand des C2C-Musterobjekts detaillierter ausgeführt.

Das kreislauffähige Konstruktionsprinzip führt durch die Optimierung der Lebenszykluskosten zu einer Reduzierung der Instandsetzungskosten – ein wesentlicher Faktor für den Investitionsbedarf der Immobilie. Aus der Perspektive des Investors werden durch das Kreislaufprinzip die langfristigen Kosten reduziert und der Marktwert der Immobilie erhöht. Es entsteht ein ökonomischer Anreiz, die Prinzipien der Kreislaufwirtschaft anzuwenden. Zusätzlich können die Baumaterialien am Ende des Lebenszyklus wieder in der Wertschöpfungskette zirkuliert werden. Eine sortenreine Trennung der Materialien ermöglicht, dass die Rohstoffe am Sekundärmarkt gehandelt werden. Die zukünftigen Erträge können in die Marktwertermittlung einfliessen. Durch die Rohstoffaktivierung fallen nicht nur Kosten, sondern auch Erträge im Lebenszyklus an.

2.1.2 Wiederverwendbarkeit der Materialien – *Upcycling vs. Build-in-Osbolsence*

Die Rezyklierbarkeit der Materialien ist die Basis der kreislauforientierten Bauwirtschaft. Diese bedingt die technische Machbarkeit (Stand der Technik) und eine dauerhaft gesicherte Nachfrage im Sekundärmarkt (Swiss Recycling, 2021, S. 20). Ebenfalls muss berücksichtigt werden, in welchem Verhältnis der ökologische sowie ökonomische Aufwand zum Ertrag stehen. Das Ziel des C2C-Prinzips ist, dass die Materialien ihre Qualität erhalten und über ein sogenanntes Upcycling wieder an den Markt zurückgeführt werden können. Dies unterscheidet sich vom heute üblichen Downcycling, in dem die Materialien über einen Qualitätsverlust in die Wertschöpfungskette geführt werden. So werden zum Beispiele Teile vom Abbruch wieder als rezyklierte Gesteinskörnung für Arbeiten mit geringer Druckfestigkeitsanforderung verwendet. Das Downcycling von Materialien auf niedriger Qualitätsstufe bedingt, dass die Ressourcen nicht unmittelbar deponiert werden. Jedoch bleibt die unweigerliche Entsorgung der Rohstoffe in einem folgenden Schritt nicht aus (Kerbrat, 2016, S. 9).

Die Recyclingfähigkeit der Materialien wird übergeordnet in vier Kategorien unterteilt. Das Prinzip der Kreislaufwirtschaft basiert auf dem Upcycling, danach folgen das Downcycling, die energetische Nutzung und schliesslich die Deponierung. In Abbildung 3 werden die vier Stufen des Recyclings kurz beschrieben.

Recycling / Upcycling	Das Material kann ohne Qualitätsverlust recycelt werden und somit einen Primärrohstoff von mindestens gleicher Materialqualität ersetzten
Downcycling	Durch die stoffliche Verwertung erfährt das Material einen erheblichen Verlust an Materialqualität
Energetische Nutzung	Durch die stoffliche Verwertung erfährt das Material einen erheblichen Verlust an Materialqualität
Thermische Beseitigung / Deponierung	Das Material wird ohne jede energetische Nutzung verbrannt oder entsorgt

Abbildung 3: Kategorien des Recyclings (Daten: Drees&Sommer, 2013, S. 3)

Das Upcycling bedingt den Erhalt des stofflichen Gutes. Das Produkt muss ‘die industriellen und heute eingesetzten Prozesse durchlaufen und am Ende wieder als Rezyklat, ohne überdurchschnittliche Materialverluste, eingesetzt werden können. Dadurch werden Neuwaren in einem äquivalenten Markt ersetzt’ (Geisselhardt & Schelker, 2020, S. 9). Produkte müssen von Anfang an so konzipiert werden, dass sie recycelt und upcycled werden können. Wie Braungart und McDonough (1998) jedoch hervorheben, werden nur sehr wenige Gegenstände des modernen Konsums im Hinblick auf das Recycling entwickelt (S. 4). Zentral für die Umsetzung ist die Zusammenarbeit der gesamten Wertschöpfungskette von Rohstofflieferanten, über Produzenten und Planer, bis zum Konsumenten.

Die Zirkularität bedingt ein markantes Umdenken der etablierten Strukturen. Eine bisher vorherrschende Fertigungsmethodik der Industrie stützt sich auf die 'Verkürzung der Austauschzyklen' (Bidgoli, 2010, S. 296) zur Sicherung des langfristigen Verkaufsvolumens. Das vorherrschende Konzept wird als Built-in-Obsolescence bezeichnet und basiert auf der künstlichen Begrenzung der Nutzungsdauer. Der Konsument ist zum Kauf eines Funktionsersatzes gezwungen (Slade, 2006, S. 5). Dieses Konzept entspringt der Automobilindustrie und der Begriff der geplanten Obsoleszenz wird 1924 Alfred P. Sloan, dem damaligen Leiter von General Motors, zugeschrieben (Babaian, 1998, S. 97). Heute findet dieses Vorgehen in zahlreichen Konsumgütern von Druckern, Waschmaschinen, Küchen, Möbeln, Smartphones, bis Turnschuhen Verwendung.

Im Jahr 2015 wurde zum ersten Mal durch einen Gesetzgeber das Vorliegen der geplanten Obsoleszenz anerkannt (Stamminger, 2016, S. 21). Die französische Nationalversammlung bestimmte eine Freiheitsstrafe von bis zu zwei Jahren für Hersteller, die den Ausfall ihrer Produkte planen. Diese Techniken können 'eine absichtliche Einführung eines Fehlers, einer Schwäche, eines geplanten Stopps, einer technischen Einschränkung, einer Inkompatibilität oder anderer Hindernisse für die Reparatur' umfassen (Prince, 2016).

2.1.3 Gesetzliche Grundlagen der Kreislaufwirtschaft

Um das Gedankengut der linearen Fertigungssysteme wurden am Anfang des letzten Jahrzehnts mehre gesetzliche Grundlagen geschaffen. Im April 2016 wurde das Circular Economy Package 'Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaf' verabschiedet. Es werden für alle Phasen des Produktlebenszyklus eine Vielzahl an Vorschlägen ausgearbeitet. 2018 folgt das EU-Kreislaufwirtschaftspaket, um den Übergang von einer linearen zu einer kreislauforientierten Wirtschaft zu erreichen. Es wird von einer Verdopplung des globalen Ressourcenbedarfs ausgegangen, weshalb die EU-Kommission den Wirtschaftskreislauf forciert und die Industrie stärker in die Verpflichtung nimmt. Die Deponierichtlinien sehen zum Beispiel vor, dass 2035 nur noch 10 % des gesamten Siedlungsabfalls deponiert werden dürfen. Die EU-Ziele bis 2030 werden in Anhang A.8 zusammengefasst (Europäische Kommission, 2018).

Die Ziele des EU-Pakets werden in den jeweiligen europäischen Ländern unterschiedlich aufgefasst. Die Niederlande wollen bis 2050 nicht nur die Bauwirtschaft, sondern die gesamte Wirtschaft kreislauforientieren. In der Schweiz wurde bereits 2014 eine Volksinitiative 'Für die nachhaltige und ressourceneffiziente Wirtschaft' eingereicht. Bund, Kantone und Gemeinden sollten Massnahmen ergreifen, damit die Wirtschaft Ressourcenverbrauch optimiert. Die Initiative wurde damals abgelehnt. Auch 2019 gab es mehrere Interventionen zum Thema der Verlängerung des Lebenszyklus. Prisca argumentiert in seiner Anfrage zur Verbesserung und Kennzeichnung der Reparaturfreundlichkeit von Produkten, dass wenn 'Produkte so konstruiert sind, dass sie reparierbar sind, entlastet dies die Umwelt, weil weniger Rohstoffe für

Neuproduktion verbraucht werden' (Prisca, 2019, S. 1). In der Stellungnahme bekundet der Bundesrat, dass er den Forderungen vorbehaltlich der Entwicklungen des Europarechts mit einem Gesetzentwurf entspreche.

Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Schweizer Bundesamt für Umwelt 2014 eine ausführliche Studie zur 'Optimierung der Lebens- und Nutzungsdauer von Produkten' erarbeitet hat. Die Studie kommt zum Schluss, dass Massnahmen zur Optimierung der Lebens- und Nutzungsdauer von Produkten am wirksamsten sind, wenn sie von den Produzenten, vom Handel und dem Konsumenten selbst ausgehen. Der Bundesrat hat sich deshalb gegen zusätzliche Regulierungen in diesem Bereich ausgesprochen und setzt auf freiwillige Anstrengungen der Wirtschaft (Schweizer Bundesrat, 2017).

2.1.4 Wirtschaftliche Grundlagen der Kreislaufwirtschaft

In der Wirtschaft haben sich in den letzten zwei Jahrzenten eine Vielzahl von Unternehmungen im Nachhaltigkeitssektor aufgezeigt. In der EU entwickelte sich zwischen 2000 und 2015 die Zahl der Beschäftigten im Umweltbereich um ein Fünffaches schneller als die der Gesamtwirtschaft. In Abbildung 4 wird das Wachstum der Umwelt- und Gesamtwirtschaft in der EU verglichen.

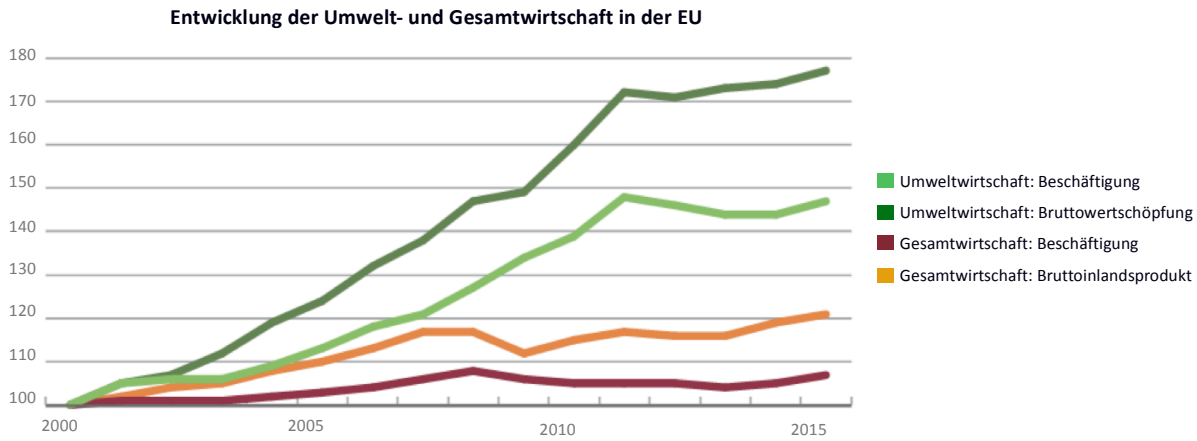


Abbildung 4: Entwicklung der Umwelt- und Gesamtwirtschaft in der EU (Quelle: EU-Kommission, 2019, S. 17)

In der Schweiz haben sich in diesem Zeitraum eine Vielzahl an Projekten im Bereich der Kreislaufwirtschaft aufgetan. Private Unternehmen und öffentliche Organisationen verfolgen das Ziel, die Schweizer Wirtschaft zirkulärer zu gestalten (CES, 2021). Bereits 1990 wurde der Verband der 'arv Baustoffrecycling Schweiz' gegründet. Die zusammengeschlossenen Unternehmen haben sich auf die Rückgewinnung, die Aufbereitung und die Wiederverwertung von Bauabfällen spezialisiert (Baustoffrecycling Schweiz, 2020). Das Unternehmen des Swiss Recycling lancierte 2018 das Projekt 'Drehscheibe Kreislaufwirtschaft Schweiz', das sich der Förderung von Recyclingsystemen widmet. Die Schweizer Plattform des 'Circular Hub' begleitet seit 2019 kleine und mittlere Unternehmen, die zirkuläre Geschäftsmodelle realisieren. Berater wie 'Circular Building Zoë' unterstützen seit 2017 die Schweizer Baubranche bei der Umsetzung

von zirkulären Baukonzepten. Das NEST, ein modulares Forschungs- und Innovationsgebäude der beiden Schweizer Forschungsinstitute EMPA und EAWAG, hält mit 97 % zirkulären Baustoffen den Weltrekord in der Bauwirtschaft (EMPA, 2016).

Die Vielzahl an privaten und öffentlichen Unternehmungen zeigt auf, dass das Thema der Kreislaufwirtschaft den Standort der Schweiz in den nächsten Jahren vorherrschend begleiten wird.

2.1.5 Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie – *der Materialpass*

Damit das zirkuläre Geschäftsmodell funktioniert, müssen nicht nur die technischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Bedingungen der Rezyklierbarkeit gegeben sein, auch das Wissen über die Materialflüsse muss vorhanden sein. Dazu gehören Informationen darüber, woraus Produkte bestehen, in welchen Mengen sie verfügbar sind und an welchem Standort sie sich in welchem Zustand befinden.

Für den Bausektor bedeutet dies das sorgfältige Dokumentieren der verwendeten Baumaterialien und Montageprozesse. Die Planung eines jeden Bauwerks setzt die detaillierten Kenntnisse hierüber voraus. Die notwendigen Materialmengen müssen für Ausschreibung und Kostenerfassung detailliert dokumentiert und optimiert werden. Das erarbeitete Wissen zum Zeitpunkt der Planung und der Ausführung wurde bis jetzt jedoch nur selten in den weiteren Lebenszyklus überliefert. Die Kenntnisse über die Materialien und deren Montageprozesse gehen am Anfang der Nutzungsphase verloren.

Mit den Möglichkeiten der digitalen Planung werden die ersten Werkzeuge geschaffen, um das erarbeitete Wissen weiterzuführen. Digitale Bibliotheken wie 'BAMB Buildings As Material Banks' oder 'MADASTER Material-Kataster' bieten dem Bausektor die Möglichkeiten, die verwendeten Materialien langfristig zu dokumentieren und mit den marktrelevanten Informationen zu verlinken. Die digitalen Plattformen wurden entwickelt, um Daten über die Qualität, Herkunft und den Standort, aber auch zirkuläre und finanzielle Werte zu erfassen (Madaster, 2019). Auf der Grundlage der Materialdaten werden sogenannte Materialpässe erstellt. Diese enthalten Informationen zu allen Teilen und Materialien eines Gebäudes. Die gewonnen Erkenntnisse tragen langfristig dazu bei, den Werterhalt der Immobilie zu sichern.

Im März dieses Jahres (2021) wurde im Schweizerischen Ständerat eine Anfrage zur Einführung der Gebäude-Materialpässe gestellt. Goumaz betont, dass die 'Informationen unerlässlich sind, um das volle Potenzial der Kreislaufwirtschaft im Bereich der nachhaltigen Ressourcennutzung auszuschöpfen' (Goumaz, 2021, S. 1). In der Stellungnahme des Bundesrates wird unter anderem darauf hingewiesen, dass sich durch die Einführung von Produkt- und Materialpässen neue Geschäftsmodelle für die Wiederverwendung und Verwertung auftun. Zugleich unterstützt das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Entwicklung von Grundlagen für einen Materialkataster von Immobilien (Interpellation 21.3196 BR).

Die Weiterentwicklung des Materialpasses ist von langfristigem Interesse für die Immobilienwirtschaft, denn auch unabhängig von einer kreislaufwirtschaftlichen Betrachtung bieten die Informationen erhebliches Potenzial, die Lebenszykluskosten zu reduzieren. Der Mehrwert wäre bereits heute bei einem linearen Konstruktionsprinzip gegeben. Wie Brauer (2013) bereits betonte, werden künftig nachhaltige und langfristige Werte über die Immobilien-investitionen entscheiden (S. 49–50).

2.2 Grundlagen der DCF-Immobilien-Marktwertermittlung

Das Discounted-Cash-Flow (DCF) ist ein international anerkanntes Verfahren für die Marktwertermittlung von Renditeliegenschaften. Das in der Schweizer Praxis etablierte Bewertungsverfahren errechnet den Marktwert aus den zukünftig anfallenden Kapitalflüssen der Immobilienunternehmung. Der Marktwert wird als Wert definiert, für den ein Immobilien-vermögen am Tag der Bewertung gehandelt werden kann (SVKG, 2019, S. 20). Für dieses Verfahren wird keine Unterscheidung bezüglich des Bodenwertes und der baulichen Anlage vorgenommen.

Die zukünftigen Zahlungsströme werden im DCF-Verfahren auf den heutigen Betrachtungszeitrum diskontiert. Der mathematische Hintergrund der Methodik ist die Tatsache des Zeitwerts des Geldes und die damit verbundenen Opportunitätskosten. Ein zukünftig anfallender Geldbetrag ist weniger wert als ein heute erhaltener Betrag. Der heute erhaltene Geldbetrag kann Zins- und Zinseszinszahlungen akkumulieren. Für die Berechnung werden dementsprechend die zukünftig anfallenden Beträge um den entfallenen Zins korrigiert. Hierzu kommt der Diskontierungssatz zur Anwendung.

Die Ermittlung des Marktwerts erfolgt mit folgender Formel (SVKG, 2019, S.60):

$$\mathrm{PV} = \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

PV	Present Value, Marktwert
CF_n	Cash Flow, zum Zeitpunkt n
r	Diskontierungssatz
n	Laufzeit, Jahre

Für die Immobilien-Marktwertermittlung werden zusätzlich, zum prognostizierten Wachstum der Zinszahlungen, auch die Werttreiber der Inflation und das Risiko der Investition im Diskontierungssatz berücksichtigt. In der Praxis werden hierzu die zukünftig prognostizierten Chancen und Risiken durch Ab- und Zuschläge auf einem Basiszinsatz abgebildet (Hersberger, 2008, S. 49–51). Das Vorgehen wird als Risikokomponentenmodell beschrieben. Der Basiszinssatz wird als risikolose Investition, meist aus einer mehrjährigen festverzinslichen Bundesobligation, bestimmt.

Der Diskontierungssatz entspricht dem Risiko, das mit dem jeweiligen Cashflow verbunden ist. Für die Immobilienbewertung bildet der Diskontierungssatz die aktuellen Marktverhältnisse, die Makro- und Mikrolage sowie die Objekteigenschaften der Immobilie ab (Wüest & Partner, 2005, S. 6). Es ist zu berücksichtigen, dass im Diskontierungssatz nur die Risiken angerechnet werden, die nicht bereits im Cashflow abgebildet sind.

Zur Bestimmung der zukünftigen Cashflows werden auf der Ertragsseite die heutigen und bevorstehenden Mieteinahmen ermittelt. Hierzu werden die Markt- und Standortanalyse der Immobilie ausgewertet. Es werden Neubaubautätigkeiten und Leerstandsziffern der Region sowie die steuerlichen und infrastrukturellen Bedingungen berücksichtigt. Die Bevölkerungsstruktur, insbesondere Alter, Ausbildung und Kaufkraft geben Rückschlüsse auf Mietsteigerungspotenzial. Es ist zu berücksichtigen, dass ein struktureller Leerstand entsprechend dem Angebot und der Nachfrage einbezogen wird. Für die Bestimmung der Ausgabenseite werden die nicht auf den Mieter überwälzbaren Eigentümerlasten ermittelt. Es werden die Erstellungskosten sowie Aufwendungen für Versicherung, Steuer, Bewirtschaftung mit Instandhaltung angerechnet. Zusätzlich werden für die zukünftig anfallenden Lebenszyklusaufwendungen jährliche Rückstellungen gebildet. Diese dienen zur Wiederherstellung der Sicherheit und der Gebrauchstauglichkeit der Bauteile (SIA 469, S. 5).

Für das Berechnungsverfahren wird ein Zweiperiodenmodell gewählt. Dieses unterteilt die Bewertung in zwei Detaillierungsphasen. In der ersten Periode werden die Kapitalflüsse jährlich abgebildet und diskontiert. In der zweiten Periode werden nach zehn Jahren die künftig anfallenden Cashflows zu einem Residualwert zusammengeführt. Das Zweiperiodenmodell gehört zu den etablierten Methoden in der Praxis. Die Unschärfe der künftigen Kapitalflüsse über eine Laufzeit von achtzig bis hundert Jahren eines Gebäudelebenszyklus führte zur Unterteilung des Zweiperiodensystems.

Der Residualwert, auch als Exit Value bekannt, ist der Barwert aller verbleibenden Cashflows bis zum Ende der Gesamtlebensdauer (Hersberger, 2008, S. 35–47). Der Barwert wird auf den Bewertungsstichtag diskontiert. Hierzu wird der Diskontierungssatz um die Wachstumsrate der Inflation bereinigt. Der Residualwert wird anschliessend mit dem Present Value der ersten Periode addiert. Der Exit Value bestimmt zwischen 40–70 % des Marktwerts, abhängig von der expliziten Planungsperiode (Cheridito & Schneller, 2004, S. 735).

Der Marktwert (Present Value) im Zweiperiodensystem wird über diese Formel ermittelt:

$$\mathrm{PV} = \underbrace{\left[\frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \cdots + \frac{CF_{10}}{(1+r)^{10}}\right]}_{\textit{1 Periode}} + \underbrace{\left[CF_{11} * \left(\frac{1}{i} - \frac{1/i}{(1+i)^n}\right)\right]}_{\textit{2 Periode}}$$

PV	Present Value, Marktwert	r	Diskontierungssatz
$CF_{1\text{-}10}$	Cash Flow, im Jahr 1 bis 10	i	Kapitalisierungszinssatz $(r - g_{Wachstum})$
CF_{11}	Cash Flow, im Jahr 11	n	Laufzeit, Jahre

3. Methodik

In diesem Kapitel werden die Methodik, die zugrunde liegenden Annahmen und das Vorgehen beschrieben.

Die Untersuchung unterteilt sich in drei Schritte:

1. In einem ersten Schritt werden in Kapitel 3.2 die Angaben der Musterobjekte definiert. Die unterschiedlichen Konstruktionsarten C2C und Linear werden ausgearbeitet und die resultierenden Baukosten werden ermittelt. Basierend auf diesen Angaben werden in Kapitel 3.3 die Materialpässe erstellt. Der finanzielle und zirkuläre Wert der Materialaktivierung werden ausgewertet. Dabei kommt die digitale Plattform des Unternehmens Madaster zur Anwendung.
2. Im zweiten Schritt werden in Kapitel 3.4 die Angaben des Materialpasses verwendet, um die gebäudespezifischen Erneuerungsstrategien zu definieren. Die daraus resultierenden Instandsetzungskosten werden für beide Musterobjekte ermittelt.
4. Anschliessend werden in Kapitel 3.5 die gewonnen Angaben in die Marktwertermittlung des DCF-Modells übertragen und verglichen.

3.1 Datengrundlage

Für das Erstellen des Musterobjekts wurden folgende Datenquellen zur Verfügung gestellt:
Die Ausarbeitung und Detaillierung der Konstruktionsarten wurden in Fachgesprächen mit den Beratern der Firmen Drees&Sommer und Madaster erarbeitet.
Für die Ermittlung der Baukosten wurde sich auf die Projektdatenbank von Drees&Sommer sowie auf die Standards für das Bauwesen (CRB) gestützt.
Das Erstellen des Materialpasses und somit die Angaben zum finanziellen und zirkulären Wert der Materialien sowie die technische Lebensdauer der Bauteile wurden mithilfe der Madaster-Plattform ermittelt. Das Vorgehen wird detailliert in Kapitel 3.3 aufgeführt.
Die Erneuerungsstrategie und die damit verbundenen Instandsetzungskosten wurden anhand der Materialpass-Angaben erstellt und mit den Beratern von Drees&Sommer diskutiert und präzisiert.
Die Parameter für die DCF-Bewertung wurden mit den Beratern von Fahrländer Partner (FPRE) diskutiert.

3.2 Definition des Musterobjekts

Für die Analyse dieser Arbeit wurde ein standardisiertes Musterobjekt entwickelt, das es ermöglicht, mehrere Konstruktionsprinzipien neutral gegenüberzustellen. Hierzu wurde im Massstab 1:100 die vorangestellte Grundrisstypologie definiert. Die Detaillierung erfolgt für die jeweiligen Bauweisen im separaten Massstab 1:50. Die Plangrundlagen werden im Anhang A.1 ausgewiesen. Die Grundrisse und die angebotene Wohnfläche, somit auch der Kapitalfluss der Mieterträge, bleiben unverändert durch die Abänderung der Konstruktionsart.

Das entwickelte Musterobjekt steht repräsentativ für eine Wohnliegenschaft, die als Renditeobjekt an zentraler Lage im Urbanzentrum der Schweiz errichtet wird. Die Nutzung wurde aus zwei Gründen gewählt: Einerseits bedingt der Renditesektor eine hohe Kostensensibilität, andererseits bietet die Wohnnutzung mit über 51 % der jährlichen Bauinvestitionen der Schweiz (BFS, 2020a) eine der grössten Plattformen für die Optimierung des C2C-Ansatzes.

Das Multi-Tenant-Objekt verteilt 22 Wohnungen auf vier Obergeschosse und ein Attikageschoss. Die Wohnungen werden über eine gemeinsame Tiefgarage verbunden. Es werden 25 Parkplätze für die Vermietung erstellt.[2] Die Grundrisse sind modular um einen wiederholenden Zweispänner-Kern aufgebaut. Der Wohnungstyp ist durchgesteckt, nord-südorientiert und bietet für die 3.5- und 4.5-Zimmer Flächen zwischen 75 m^2 und 105 m^2 an. Dies entspricht der durchschnittlichen Wohnfläche nach Zimmerzahl in den vier grössten Städten der Schweiz Zürich, Genf, Basel und Lausanne (BFS, 2020b).

Der Ausbaustandard wird für beide Bauarten im mittleren Segment angesetzt. Bei der Gebäudetechnik wird nicht zwischen den beiden Musterobjekten unterschieden. Der Fokus der Analyse liegt auf den Auswirkungen der Konstruktionsprinzipien und deren Materialien. Um die Effekte des C2C-Ansatzes zu verdeutlichen, wird das Musterobjekt sowohl in einer kreislauffähigen als auch in einer linearen Bauart ausgeführt. Das Linear-Objekt agiert als Vergleichswert, um das erfasste Ergebnis einzuordnen.

3.2.1 Konventionell-lineare Konstruktion

Für das Linear-Musterobjekt wird ein konventionelles Vorgehen gewählt, das dem heutigen Stand der Technik entspricht. Es kommt eine Massivbauweise aus Mauerwerk und Stahlbeton zur Anwendung. Die Innen- und Aussenwände sind bis auf die Vorwandschalung der Nasszellen tragend. Es werden überwiegend Primärrohstoffe in der Konstruktion verwendet.

---

[2] Besucherparkplätze werden oberirdisch angeordnet und für die Kostenermittlung sowie Bewertung nicht berücksichtigt.

Die Lebenszyklen der unterschiedlichen Bauteile und Materialschichten werden in der Planung nicht berücksichtigt. Dementsprechend sind die ausgewählten Verbindungen der Materialschichten chemisch verankert und zu einem späteren Zeitpunkt nicht sortenrein trennbar. Die Hauptgebäudegruppe der Tertiärstruktur (Innenausbau), der Sekundärstruktur (Gebäudehülle) und der Primarstruktur (Tragkonstruktion) sind schwierig teilbar. Die Gebäudehülle wird mit einem Wärmedämm-Verbundsystem erstellt. Es werden Mauerwerk, Wärmedämmung und Kunstharzputz miteinander verleimt. Für den Abschluss der Gebäudehülle werden Polyvinylchlorid-Kunststoff-Fensterrahmen eingesetzt. Diese werden durch Montageschaum mit dem restlichen Fassadenaufbau verbunden. Die inneren Oberflächen werden durch Putz, Feinkeramik und einen Unterlagsboden mit Klebeparkett bestimmt. Die Einbauküchen und Blockfuttertüren werden aus Holzwertstoffplatten gefertigt. Im Küchenbereich werden diese mit Melaminharz beschichtet.

Es wird für die Untersuchung des Linear-Objekts das heute angewendete konventionelle Vorgehen angewendet. Demzufolge wird die Bewertung ohne Berücksichtigung der Materialaktivierung erstellt. Die Materialien werden beim Rückbau nicht für das Recycling aufgearbeitet und beim Erstellen des Materialpasses wird den Materialien kein finanzieller Wert beigemessen. Das Messverfahren wird detailliert in Kapitel 3.3 aufgeführt.

3.2.2 Kreislauffähige C2C-Konstruktion

Für das kreislauffähige Musterobjekt wird eine Holzhybrid-Bauweise gewählt. Es werden die Erschliessungskerne und die unterirdische Tragstruktur in Stahlbeton gefertigt. Oberirdisch kommen Brettschichtholzstützen mit vorfabrizierten Hohlkastenelementen zur Anwendung. Die innen liegende Tragstruktur wird in einem freien Stützenraster angeordnet. Die Aussen- und Innenwände werden so mehrheitlich von der Lastenabtragung befreit. Die Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur sind durch eine einfache Trennbarkeit gekennzeichnet. Die Grundrissorganisation ist flexibel und kann mit geringen Eingriffen in die Bausubstanz verändert werden.

Die Lebenszyklen der unterschiedlichen Bauteile und Materialschichten werden in der Planung berücksichtigt. Dementsprechend werden nach Möglichkeit reversible Verbindungsmittel gewählt. Die verbauten Materialien sind vorwiegend leicht demontierbar und sortenrein trennbar. Für den Aufbau der Gebäudehülle wird mit einem hinterlüfteten Fassadensystem gearbeitet. Das Konstruktionsprinzip ist modular aufgebaut und erfüllt alle drei Kategorien der Wiederverwendbarkeit (Madaster, 2021a, S. 5):

1. Die Befestigungs- und Montagemethode des Produkts ist standardisiert und vorgefertigt.
2. Das Produkt kann mit handelsüblichen (Hand-)Werkzeugen demontiert werden, ohne das Produkt oder die am Produkt angebrachten Produkte zu beschädigen.
3. Die Befestigungen sind zugänglich und das Produkt kann entfernt werden, ohne dass andere Teile des Gebäudes entfernt oder beschädigt werden.

Die elementierte Fassade wird aus Sekundär- und aus Primärrohstoffen hergestellt. Die Aluminium-Unterkonstruktion und die Fassadenplatten aus Keramik werden zu einem Drittel aus recyceltem Material gewonnen. Metall-Fensterprofile aus Aluminium mit einem Drittelanteil an recyceltem Metall komplementieren den Aufbau. Übergänge werden mit Seidenzopf gestopft und mit Fugenbändern abgedichtet. Der Fassadenaufbau ist zerstörungsfrei demontierbar, sortenrein trennbar und recyclingfähig. Die reversiblen Verbindungsmittel ermöglichen den Teilersatz einzelner Bauteile.

Die Dämmebene wird durch modulare Holz-Ständerelemente erstellt. Für die Deckenkonstruktion kommen zusätzlich Holz-Hohlkastenelemente zur Anwendung. Beide werden zu zwei Dritteln aus erneuerbaren Rohstoffen vorfabriziert. Die Holzelemente können in einer Kaskadennutzung mehrmalig verwendet werden (Arnold & Geibler, 2009, S. 19). Als Kaskadennutzung wird hier die aufeinanderfolgende, wiederholte Nutzung eines Rohstoffs zur Herstellung von Produkten verstanden. Die Recyclingfähigkeit der Holzelemente hat unter anderem zur Folge, dass die Industrie die ersten Rücknamegarantien gewährleistet (Derix Gruppe, 2021). Für die Untersuchung wird mit einer reduzierten Abnehmergarantie des Herstellers von 45 % und einer 50 %-Recyclingquote gerechnet. Der innen liegende Abschluss der Gebäudehülle wird mit einer Installationsebene erstellt (siehe Abbildung 5 des Aussenwandaufbaus). Diese ermöglicht es, die Leitungsführungen flexibel auf die wandelnden Nutzerbedürfnisse anzupassen ohne grosse Aufwendungen in der Bausubstanz. Beim Stahlbeton der Tragkonstruktion wird für das C2C-Musterobjekt mit einem Drittel rezyklierbarer Rohstoffe gerechnet.

Die inneren Oberflächen werden durch Malerarbeiten, Feinkeramik und einen geschliffenen Unterlagsboden bestimmt. Die Einbauküchen werden modular aus standardisierten Stahlelementen gefertigt. Die verwendeten Verbindungselemente der Küchenelemente sind reversibel und ermöglichen den einfachen Teilersatz der Bauteile. Es wird für die Untersuchung angenommen, dass die Materialien des C2C-Objekts beim Rückbau für das Recycling aufgearbeitet werden können. Die Materialaktivierung wird dementsprechend bei der Bewertung berücksichtigt. Das Messverfahren wird detailliert in Kapitel 3.3.1 aufgeführt.

3.2.3 Ermittlung der Baukosten

Basierend auf den erfassten Angaben zu Konstruktion der Bauteile werden die Baukosten für die beiden Musterobjekte ermittelt. Hierzu wird die Unterteilung des elementbasierten Baukostenplans eBKP angewendet. Das genormte Gliederungssystem des CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung) gehört zu den etablierten Methoden der Kostenermittlung in der Schweiz. Die Aufteilung erfolgt hierarchisch in vier Ebenen: Hauptgruppe, Elementgruppe, Element und Teilelement. Für die Kostenkennzahlen wird sich auf die Projektdatenbank von Drees&Sommer sowie auf die CRB-Standards für das Bauwesen gestützt. In Tabelle 1 sind die Baukosten mit Kurzbeschrieb aufgelistet. Eine detaillierte Aufschlüsselung der Kostenkennwerte wird im Anhang A. 6–7 ausgewiesen.

ERSTELLUNGSKOSTEN		LINEAR			C2C		
eBKP		**Beschreibung** Linear	**Kosten** Linear	%	**Beschreibung** C2C	**Kosten** C2C	%
A	**Grundstrück**		**- CHF**			**- CHF**	
B	**Vorbereitungsarbeiten**		**711'458.33 CHF**	10.7%		**711'458.33 CHF**	9.5%
C	**Konstruktion Gebäude**		**1'630'275 CHF**	24.6%		**1'433'246 CHF**	19.2%
C1	Bodenplatte, Fundament	Kanalisation Gebäude; Stahlbetonarbeiten Bodenplatte	193'307 CHF		Kanalisation Gebäude; Stahlbetonarbeiten Bodenplatte	193'307 CHF	
C2	Wandkonstruktion	Backstein- und Kalksandstein; Stahlbetonarbeiten	810'756 CHF		vorfabrizierte Holzrahmen-konstruktion (inkl. Dämmung)	469'366 CHF	
C3	Stützen	Stahlbetonstützen inkl. Stahlpilz	22'500 CHF		Brettschichtholz Stützen üT; Stahlbetonstützen inkl. Stahlpilz	59'600 CHF	
C4	Decken, Dachkonstruktion	Stahlbetonkonstruktion	603'712 CHF		vorfabrizierten Hohlkasten-elemente (inkl. Dämmung)	710'973 CHF	
D	**Technik**		**923'750 CHF**	13.9%		**923'750 CHF**	12.4%
		Elektroinstallation und -apparate; Fernwärmesystem; Heizleitungen; Sanitäranlagen, Abluftanlagen TG/Nasszellen, Personenaufzüge	943'750 CHF		Elektroinstallation und -apparate; Fernwärmesystem; Heizleitungen; Sanitäranlagen, Abluftanlagen TG/Nasszellen, Personenaufzüge	943'750 CHF	
E	**Äussere Wandbekleidung**		**644'217 CHF**	9.7%		**1'122'118 CHF**	15.0%
E1	Äussere Wandbekleidung uT	Abdichtung unter Terrain	30'054 CHF		Abdichtung unter Terrain	30'054 CHF	
E2	Äussere Wandbekleidung üT	Verputzte Aussenwärmedämmung (Verbundsystem)	167'890 CHF		vorfabriziertes Fassaden-Panelsystem	586'364 CHF	
E3	Einbaute zu Aussenwand	Fenster und Fenstertüren aus Kunststoff/Metall	446'273 CHF		Fenster und Fenstertüren aus Recycle-Aluminium	505'700 CHF	
F	**Bedachung Gebäude**		**182'747 CHF**	2.8%		**155'003 CHF**	2.1%
F1	Dachhaut	Flachdachaufbau mit Folienabdichtung	182'747 CHF		Flachdachaufbau mit Folienabdichtung	155'003 CHF	
G	**Ausbau Gebäude**		**984'965 CHF**	14.9%		**1'256'646 CHF**	16.8%
G1	Trennwand, Tür, Tor	Rahmen-bzw. Schiebetüren mit Türblatt aus	189'442 CHF		Rahmen-bzw. Schiebetüren mit Türblatt aus	211'023 CHF	
G2	Bodenbelag	Klebeparkett auf Unterlagsboden	433'263 CHF		Unterlagsboden geschliffen	355'660 CHF	
G3	Wandbekleidung	Keramikplatten Nasszellen	36'563 CHF		Keramikplatten Nasszellen	101'552 CHF	
G4	Decken- und Dachbekleidung	Glaswolle kaschiert uT	15'698 CHF		Holzlattung und Gipsfaserpl.üT	98'411 CHF	
G5	Einbauten	Einbauküchen: Holzwerkstoff, Melaminharz beschichtet	310'000 CHF		Einbauküchen: Stahl, Pulver beschichtet	490'000 CHF	
I	**Umgebung**		**192'942 CHF**	2.9%		**218'487 CHF**	2.9%
		Geländeanpassungen, Gärtnerar.			Geländeanpassungen, Gärtnerar.		
V	**Planungskosten**		**948'664 CHF**	14.3%		**1'193'245 CHF**	16.0%
W	**Nebenkosten**		**405'817 CHF**	6.1%		**459'836 CHF**	6.2%
		Bewilligungen, Gebühren, Verkauf			Bewilligungen, Gebühren, Verkauf		
Y	**indirekte Kosten**		**- CHF**			**- CHF**	
		Reserve, Teuerung			Reserve, Teuerung		
Total exkl. MwSt			6'624'835 CHF	100%		7'473'788 CHF	100%
MwSt.	7.70%		510'112 CHF			575'482 CHF	
Total inkl. MwSt.			**7'134'947 CHF**			**8'049'270 CHF**	
Vergleich inkl. MwSt.			7'134'947 CHF	100%		+ 914'322.74 CHF	13%

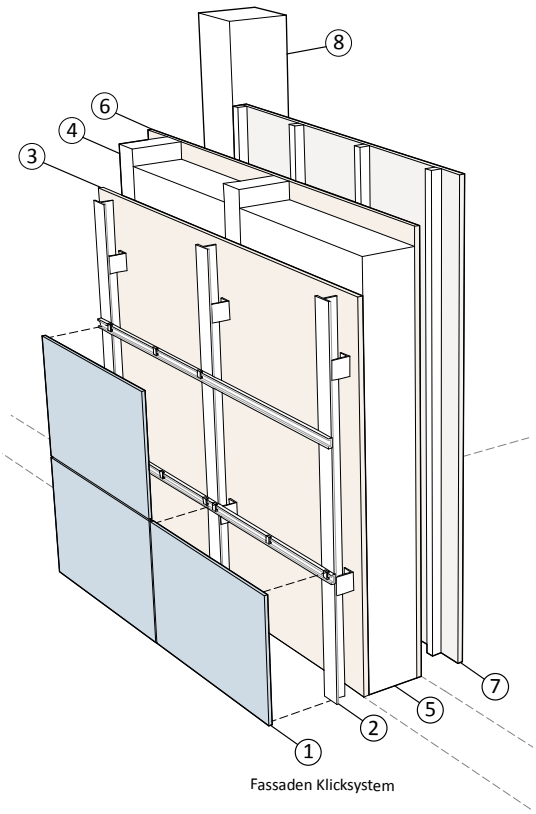
Tabelle 1: Gegenüberstellung der eBKP Kostenermittlungen

Das kreislauffähige Konstruktionsprinzip des C2C-Objekts spiegelt sich in der Kostenermittlung wider. Die gewählte Holzhybrid-Konstruktion mit modularem Aufbau und reversiblen Verbindungsmitteln des Fassadensystems führt zu einer 13 %-Kostenerhöhung gegenüber dem Linear-Objekt. Ein Zuschlag wird ebenfalls beim Innenausbau und den Planungskosten des C2C-Gebäudes angesetzt. Die indirekten Kosten sowie die Grundstückkosten werden für die Investitionsrechnung nicht berücksichtigt.

3.3 Erstellen des Materialpasses

Das Erstellen der Materialpässe erfolgt anhand der Konstruktionsgrundlage der beiden Musterobjekte. Es werden in diesem Schritt der finanzielle und zirkuläre Wert der Materialaktivierung erfasst. Für die Untersuchung kommt die digitale Plattform des Unternehmens Madaster zur Anwendung.

In einem ersten Schritt werden die Mengen aller im Gebäude verbauten Materialien und Produkte ausgewiesen. Das Erfassen der Volumenmengen ermöglicht die weitere finanzielle Bewertung der Materialaktivierung. Es wird analog der Baukostenermittlung in Kapitel 3.2.3 eine Unterteilung des elementbasierten Baukostenplans eBKP verwendet. Für jedes Element oder Teilelement der Konstruktion werden die Material- und Volumenverhältnisse bestimmt. Die Angaben werden auf der Madaster-Plattform hinterlegt und mit den Mengenauszügen verknüpft.[3] Im Anhang A. 3–4 werden die Auswertungen aller Gebäudeelemente der beiden Musterobjekte ausgewiesen. Exemplarisch wird in Abbildung 5 die Mengenerfassung anhand eines Modules der C2C-Gebäudehülle dargestellt.



E Äussere Wandbekleidung Gebäude

E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain

E2 050 - Aussenwand OG (nt)

	Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
1	Klicksytem: Keramikplatten	0.02	0.020	**9%**
2	Metallständerwerk Alu.	0.025	0.007	**3%**
	Windpapier			
3	Hartfaserplatte	0.01	0.01	**5%**
4	Holzständer *(160x60mm)*	0.16	0.034	**16%**
5	Wärmedämmung *(Ebene Holzständer)*		0.126	**60%**
6	Holzwerkstoff, Sperrholz	0.015	0.015	**7%**
		0.230	0.212	100%

G Ausbau Gebäude

G3 090 - Wandbekleidung

	Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
7	Installationslattung	0.04	0.008	**35%**
	Ekopanely (Strohbauplatte)	0.015	0.015	**65%**
	Glasfasertapete gestrichen			
		0.055	0.023	100%

C Konstruktion Gebäude

C3 031 - Stützen OG

	Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Element (m3)	Verhältnis
8	Brettschichtholz 25/25	0.25	0.175	**100%**
		0.25	0.175	100%

Abbildung 5: Mengenerfassung der Aussenwandbekleidung des C2C-Musterobjekts

[3] Es werden zwei Arten von Quelldaten verarbeitet: IFC-Dateien (basierend auf 3D-/BIM-Modell) oder Excel-Dateien. Diese werden automatisch auf Vollständigkeit der Materialbeschreibung, Klassifizierung und geometrische Daten geprüft. Für die Untersuchung wurde die Excel-Schnittstelle verwendet.

Nach Erfassen der Materialmengen werden der finanzielle und zirkuläre Wert der Materialien bestimmt. Die Angaben bieten die Grundlagen für das Erstellen des Materialpasses. In den zwei nachfolgenden Kapiteln werden die Methoden und Annahmen der beiden Wertermittlungen detailliert aufgezeigt.

3.3.1 Finanzieller Wert

Als finanzieller Wert wird der Wert bestimmt, den das Produkt oder Material am Ende seines Lebenszyklus am freien Markt erzielen kann. Dieser Wert wird auch als Materialaktivierung gekennzeichnet. Für die Wertermittlung wird zwischen dem *reinen* Rohstoffwert und dem *verfügbaren* Rohstoff-Restwert im Gebäude unterschieden (Madaster, 2021a, S. 3). Für das Erstellen des Materialpasses und somit den Einfluss auf die Marktwertermittlung ist der verfügbare Rohstoff-Restwert massgebend.

Schritt 1: Berechnen des reinen Rohstoffwerts

In einem ersten Schritt wird der reine Rohstoffwert ermittelt unabhängig von der Verarbeitungsart im Gebäude. Es werden die Rohstoffpreise basierend auf den Mengenauszügen bewertet. Madaster verlinkt hierzu die erfassten Mengenangaben mit aktuellen Finanzdatensätzen. Für Metalle werden zum Beispiel die Tagessätze der London Metal Exchange und für Holz die täglichen Angaben des Holzindex der Weltbank verwendet. In Tabelle 4 werden die Quellenangaben für die einzelnen Materialgruppen ausgewiesen.

Für die Materialien, für die es keinen globalen Absatzmarkt gibt, wird die Preisermittlung aufgrund des lokalen Angebots und der lokalen Nachfrage bestimmt. Dieses ist unter anderem bei Materialien der Fall, die lokal hergestellt werden. Steinige Materialien weisen zum Beispiel relativ hohe Transport- und Verarbeitungskosten im Verhältnis zu ihrem Wert auf und werden überwiegend in einem lokalen Markt gehandelt (Madaster, 2021a, S. 8).

Die Formel zur Ermittlung des reinen Rohstoffwerts lautet wie folgt (Madaster, 2021a, S. 4):

$$\mathrm{W}_{k.1;t=0} = M_{k.1} * P_{k.1}$$

$\mathrm{W}_{k.1;t=0}$	Wert des reinen Materials K.1 zum Zeitpunkt t=0
$\mathrm{M}_{k.1}$	Masse des Materials k.1 im Gebäude
$\mathrm{P}_{k.1}$	Einheitspreis des Materials k.1 zum Zeitpunkt t=0

In Abbildung 6 wird die Preisermittlung des reinen Rohstoffwerts am Beispiel des Materials Stahl zum Zeitpunkt der Gebäudeerstellung dargestellt. Der Rohstoffwert von 10'982 Euro basiert auf dem ermittelten Einheitspreis der Madaster-Plattform zum Bewertungsstichtag von 0.296 Euro/kg, dem Materialgewicht 7’800 kg/m^3 und einer erfassten Volumenmenge von 4’756 m^3. In Abbildung 6 von Madaster werden die Einheitspreise in Mt und US-Dollar ausgewiesen.

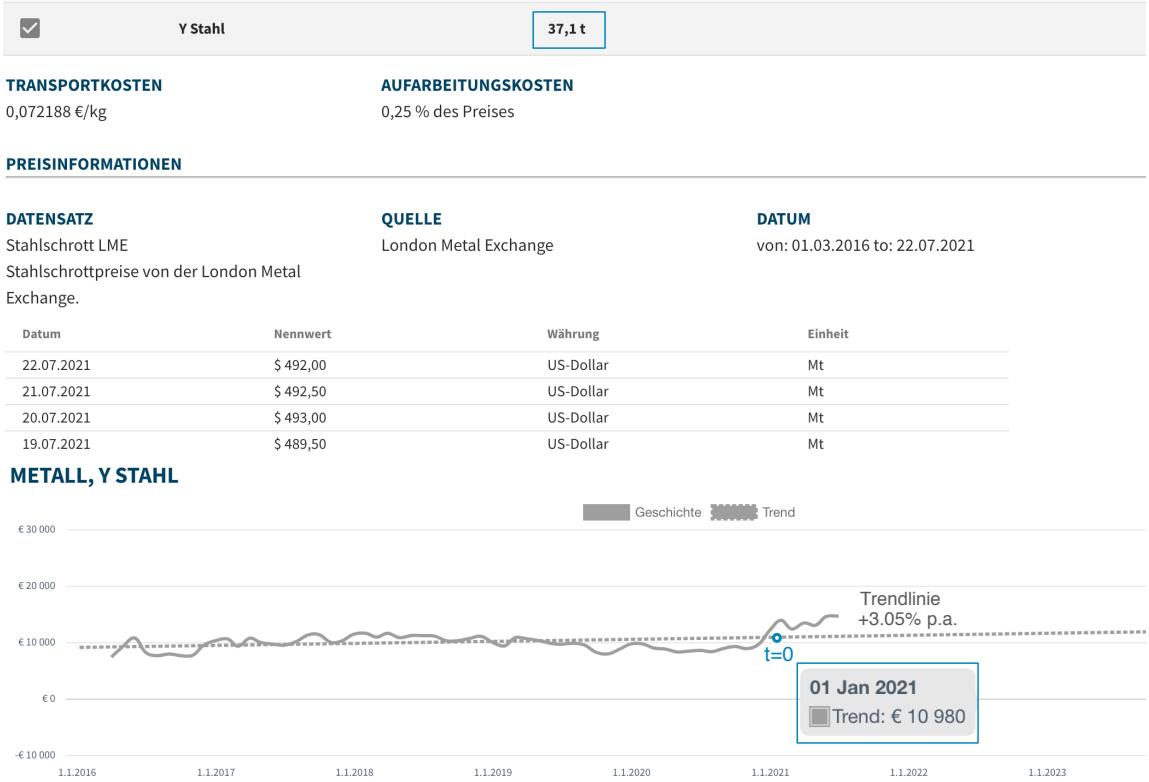


Abbildung 6: Ermittlung des reinen Rohstoffwerts am Beispiel des Materials Stahl (Quelle: Madaster, 2021b)

Schritt 2: Berechnen des verfügbaren Rohstoffwerts

In diesem Schritt wird der Materialwert berechnet, der dem Rohstoff im Gebäude gegeben werden kann. Dieser Wert wird als *verfügbarer* Rohstoffwert am Ende des Lebenszyklus ausgewiesen und ist immer niedriger als der zuerst ermittelte *reine* Rohstoffwert. Der verfügbare Wert ist abhängig von der Verarbeitungsart im Gebäude und der Wiederverwendbarkeit des Materials (Vliet & Teunizen, 2021, S. 4). Die Wiederverwendbarkeit wird durch die Montageart und die daraus resultierenden Rückbauaufwendungen bestimmt. Die nachfolgenden Aufarbeitungskosten beim Verarbeiter und die notwendigen Transportaufwendungen für die Wiederverwendung werden ebenfalls eingepreist. Die reinen Rohstoffwerte werden in diesem Schritt um mehrere Korrekturfaktoren reduziert.

Die Formel für die Berechnung des *verfügbaren* Rohstoffwerts (Madaster, 2021a, S. 3) lautet:

$$W_{K;t=0} = W_{k.1} - F_{k.1.1} - F_{k.1.2} - F_{k.1.3}$$

$W_{K;t=0}$	Wert des verfügbaren Materials K.1 zum Zeitpunkt t=0
$W_{k.1}$	Wert des reinen Materials K.1
$F_{k1.1}$	Korrekturfaktor Rückbaukosten
$F_{k1.2}$	Korrekturfaktor Transportkosten
$F_{k1.3}$	Korrekturfaktor Aufarbeitungskosten

Die Korrekturfaktoren beeinflussen den finanziellen Wert massgeblich. Abhängig vom Rohstoff und von der Verarbeitungsart wird der Wert um mehr als ein Drittel korrigiert. Im Fall von diversen Kunststoffen wird aufgrund der hohen Aufarbeitungskosten der Wert um über 90 % reduziert. Im Fall von Asbest schwenkt der Rohstoffwert ins Negative, da für die Aufarbeitungskosten die Entsorgung des Schadstoffs mit eingepreist wird. In Tabelle 2 ist am Beispiel des Materials Stahl die Wertermittlung des verfügbaren Rohstoffwerts zum Zeitpunkt der Gebäudeerstellung aufgezeigt. Es wird dargestellt, dass der Rohstoffwert durch die Aufwendungen des Rückbaus und die Verarbeitung um 44 % reduziert werden.

Menge (t)	Preis (€/kg)			**reiner Rohstoffwert**	**100%**
Mk.1	Pk.1			Wk.1;t=0	
37.1	0.296			**10’982 €**	**12’118 CHF**

Menge (t)	Gesamtabbruch- und Rückbaukosten (€)	Gesamtmasse Gebäude (kt)	Lockerungsindex des Materials	Rückbaukosten	
Mk.1	GRK	GM	Lik.1	FK1.1;t=0	
37.1	102’450	4.69	0.13	702 €	775 CHF

Menge (t)	Transportentfernung (km)	Transportkosten (€ pro kg und km)	Transportkosten	
Mk.1	Dk.1	TKk.1	FK1.2;t=0	
37.1	150	0.00048	2’678 €	2’956 CHF

Menge	Aufarbeitungskosten (Faktor von Pk.1)	Aufarbeitungskosten (€/kg)	Aufarbeitungskosten	
M K1.1		Akk.1	FK1.3;t=0	
37.1	25%	0.07	2’745 €	3’029 CHF

Menge (t)	Rückbaukosten (€)	Transportkostent (€)	Aufarbeitungskosten (€)	**verfügbarer Rohstoffwert**	**44%**
Mk.1	F K1.1	F K1.2	F K1.3	WK;t=0	
37.1	702	2678	2745	**4’856 €**	**5’358 CHF**

Tabelle 2: Wertermittlung des verfügbaren Rohstoffwerts Stahl

Ermittlung der Korrekturfaktoren: Fk1.1 Rückbaukosten

Die Rückbaukosten stehen in direkter Abhängigkeit zur gewählten Montageart. Sind die Verbindungen reversibel zugänglich und leicht demontierbar, fallen die Rückbaukosten weniger stark aus. Um die Reversibilität oder auch Demontagefähigkeit der Verbindungen zu bestimmen, wird mit einer einheitlichen Indexierung gearbeitet. Der Lockerungsindex (Vliet et al., 2021, S. 13) zeigt auf, wie leicht die Bauelemente am Ende ihres Lebenszyklus demontiert werden können. Ein Index von 1 ermöglicht den kompletten sortenreinen Rückbau; hingegen ist bei 0 die Demontage ohne Beschädigung des Materials nicht möglich. Tabelle 3 stellt den vom Dutch Green Building Council DGBC entwickelten Index dar.

Die Ermittlung der Rückbaukosten erfolgt aufgrund folgender Formel (Madaster, 2021a, S. 4):

$$\mathrm{F}_{K1.1;t=0} = \left(\frac{RK_{Gebaede}}{M_{Gebaeude}}\right) * M_{k.1} * (1 - LI_{k.1})$$

$F_{K1.1;t=0}$	Abbruch- und Demontagekosten des Materials k.1 zum Zeitpunkt t=0
$RK_{Gebäude}$	Gesamtabbruch- und Rückbaukosten eines Gebäudes
$M_{Gebäude}$	Gesamtmasse des Gebäudes
$M_{k.1}$	Masse des Materials k.1 im Gebäude
$LI_{k.1}$	Lockerungsindex des Materials

Für die Gesamtabbruch- und Rückbaukosten wird für den Korrekturfaktor ein vordefinierter Standard von 30 CHF/m^2 BGF angenommen. Dieser entspricht dem Mittelwert der Vorgaben seitens des SVKG Schweizerische Vereinigung kantonaler Grundstückbewertungsexperten (SVKG, 2019, S. 398). Für das Rechnungsbeispiel des Materials Stahl in Tabelle 2 wird mit einem Lockerungsindex von 0.13 gearbeitet, einer harten chemischen Verbindung.

Verbindungstyp		Index
Trockenanschluss	Lose (kein Befestigungsmaterial)	1.00
	Klickverbindung	
	Klettverbindung	
	Magnetverbindung	
Verbindung mit Zusatzelementen	Schraubverbindung	0.80
	Bolzen-Mutter-Verbindung	
	Federverbindung	
	Eckverbindungen	
	Anschlüsse mit hinzugefügten Verbindungsselementen	
Direktintegral Verbindung	Stift- oder Pinverbindungen	0.60
	Nagelverbindung	
Weiche chemische Verbindung	Kit-Anschluss	0.20
	Schaummasse (PUR)	
Harte chemische Verbindung	Klebeverbindung	0.10
	Schweißverbindung	
	Eingussanschluss	
	Chemische Anker	
	Eingussanschluss	
	zementgebunden Verknüpfung	

Tabelle 3 Lockerungsindex für den Korrekturfaktor der Rückbaukosten (Daten: Vliet et al., 2021, S. 13)

Ermittlung der Korrekturfaktoren: Fk1.2 Transportkosten

Die Transportkosten werden anhand von vordefinierten Standards geschätzt. Diese geben die durchschnittliche Distanz zum Verarbeitungsort sowie die Kosten der Transportaufwendungen an. In Tabelle 4 werden die von Madaster angenommen Werte ausgewiesen.

Die Ermittlung der Transportkosten erfolgt aufgrund folgender Formel (Madaster, 2021a, S. 5):

$$F_{K1.2;t=0} = TK_{k.1} * D_{k.1}$$

FK1.2;t=0	Transportkosten bis zum Verarbeiter zum Zeitpunkt t=0
TKk.1	Transportkosten pro kg und km des Materials k.1
Dk.1	Distanz zum Verarbeiter des Materials k.1

Ermittlung der Korrekturfaktoren: Fk1.3 Aufarbeitungskosten

Die Kosten für die Behandlung und Verarbeitung des Materials werden ebenfalls mit vordefinierten Standards ermittelt. Die Angaben werden durch den Vergleich mehrerer Anbieter und das lokale Angebot und die lokale Nachfrage bestimmt. In Tabelle 4 werden die von Madaster angenommen Werte ausgewiesen.

Die Ermittlung der Aufarbeitungskosten erfolgt mit folgender Formel (Madaster, 2021a, S. 5):

$$F_{K1.3;t=0} = AK_{k.1} * M_{k.1}$$

FK1.3;t=0	Aufarbeitungskosten des Verarbeiters zum Zeitpunkt t=0
AKk.1	Prozesskosten pro kg des Materials k.1
Mk.1	Masse des Materials k.1 im Gebäude

Materialgruppe	Aufarbeitungskosten (€/kg)	Finanzdatensatz
Kunststoff	0.75	Angebot & Nachfrage
Metalle	25%-35% des Werts	London Metal Exchange
Hartholz Stamm	0.05	Holzindex der Weltbank
B-Holz	0.10	Holzindex der Weltbank
Weichholz Stamm	0.10	Holzindex der Weltbank
Beton Granulat	0.01	Federal Reserve Economic Data
Mischgranulat	0.01	Federal Reserve Economic Data
Gips	0.02	Federal Reserve Economic Data
Schotter	0.00	Federal Reserve Economic Data
Asbest	8.00	Experten Interview
Glas flach	0.20	Federal Reserve Economic Data

	Kunstoff	Metalle	Holz	Stein	Glas	Bio
Transportentfernung (km)	150	150	50	20	120	150
Transportkosten (€ pro kg und km)	*0.00048*	*keine Unterscheidung der Materialgruppen*				

Tabelle 4: Wertangaben für die Korrekturfaktoren Transport und Aufarbeitung (Daten: Madaster, 2021a, S. 9)

Schritt 3: Berechnen des verfügbaren Rohstoffwerts zum Ende des Lebenszyklus

Die Auswertung des Materialwerts innerhalb des Gebäudes zum Zeitpunkt der Erstellung ist bereits sehr innovativ und wertvoll (Madaster, 2021a, S. 6). Der eigentliche Mehrwert für die Marktwertermittlung wird jedoch geschaffen, indem der Wert ermittelt wird, der zum Zeitpunkt des Rückbaues erzielt werden kann. Dies ist eine der komplexesten Aufgaben des Materialpasses, da der Wert anhand von mehreren Unbekannten im Sekundärmarkt bestimmt werden muss. In der Diskussion in Kapitel 5.2 wird auf die Problematik und potenzielle Lösungsansätze detaillierter eingegangen. In der weiteren Auswertung wird, bedingt durch diese Unschärfe, mit einem zusätzlichen Korrekturfaktor von -15 % der zukünftigen finanziellen Werte gerechnet.

Zur Ermittlung des finanziellen Werts am Ende des Lebenszyklus wird für die Untersuchung mit den von Madaster prognostizierten Rohstoffpreisen gerechnet. Hierzu wird basierend auf der historischen Preisentwicklung eine Trendline für die zukünftige Wertentwicklung bestimmt. Es wird die Methode der kleinsten Quadrate, die Regressionsanalyse (Madaster, 2021a, S. 6), angewandt. In Abbildung 7 wird die Veränderung für das C2C-Musterobjekt am Beispiel des Materials Aluminium über eine Periode von zehn Jahren dargestellt. Basierend auf der historischen Preisentwicklung sinkt der Wert des Aluminiums um 59 % in diesem Zeitraum.

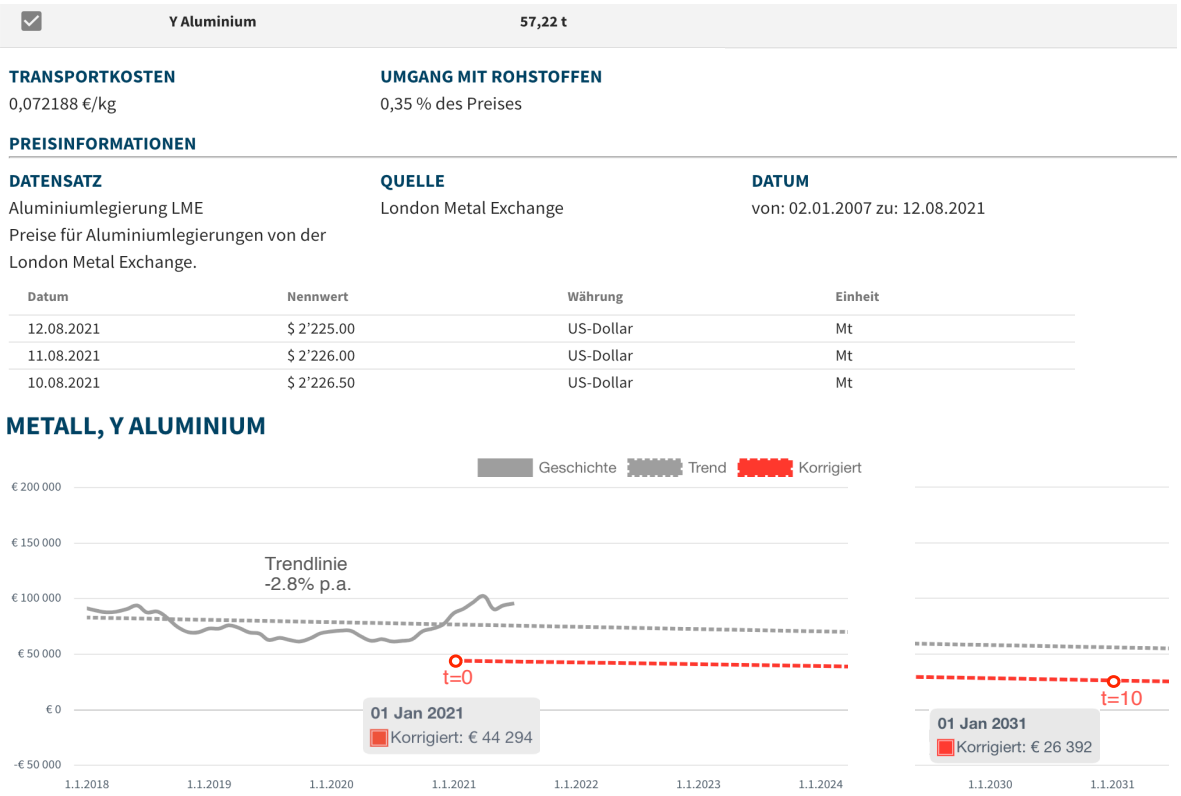


Abbildung 7: Verfügbarer Rohstoffwert am Beispiel des Materials Aluminium (Quelle: Madaster, 2021b)

Die Rohstoffpreise und die Korrekturfaktoren werden für die Marktpreisentwicklung um den Wert der Inflation bereinigt. Die Rückbaukosten entwickeln sich in Abhängigkeit des Baupreisindex, die Transport- und Aufarbeitungskosten mit dem Landesindex des Konsumentenpreises. Für die Untersuchung wird für beide Werte mit den halbjährlichen Mittelwerten der Periode Oktober–April 2020/2021 des schweizerischen Bundesamtes für Statistik gearbeitet (BFS, 2021a–b).

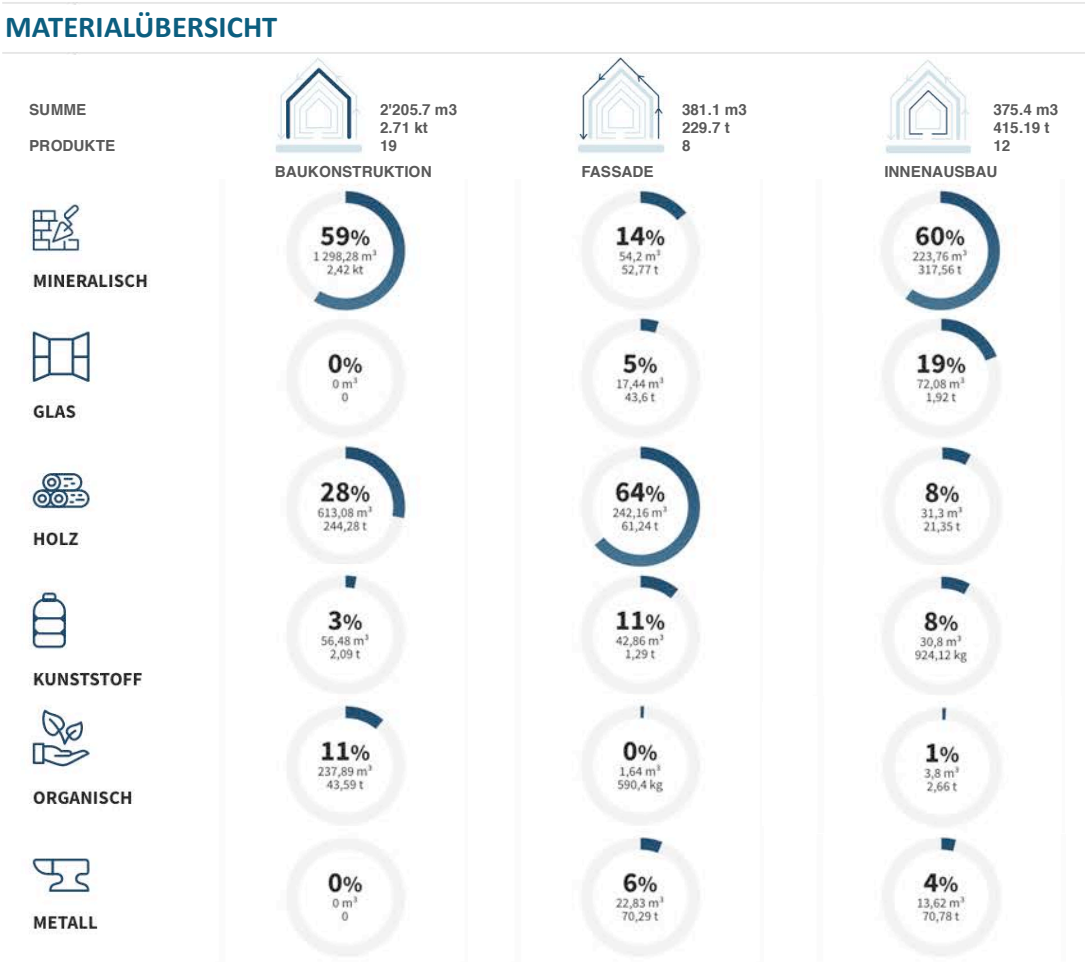
Einpreisen von Hersteller-Rücknahmegarantien

Unabhängig von der Rohstoffpreisentwicklung kann einem Material ein finanzieller Mehrwert zugeschrieben werden – dann wenn es nach dem Rückbau ohne Qualitätsverluste als Produkt wieder vom Verarbeiter recycelt werden kann. Dies setzt die rigorose Montage mit reversiblen Verbindungen, die sortenreine Trennung der Materialschichten und eine Bereitschaft der Industriepartner voraus. Wie in Kapitel 3.2.2 zur Konstruktionsweise beschrieben, können so Materialien in einer Kaskadennutzung mehrmalige Verwendung finden (Arnold et al., 2009, S. 19). Bedingt durch die Recyclingfähigkeit der im C2C-Musterobjekt verwendeten Holzelemente werden die ersten Hersteller-Rücknamegarantien der Industrie eingepreist (Derix Gruppe, 2021). Für die Untersuchung wird mit einer reduzierten Abnehmgarantie des Herstellers von 45 % des Beschaffungspreises und einer 50 %-Recyclingquote gerechnet. Die Preise werden am Ende des Lebenszyklus entsprechend der übrigen Wertermittlung um die Inflation bereinigt.
Für das vorfabrizierte Fassadensystem wird basierend auf dem standardisierten und modularen Aufbau ebenfalls eine direkte Wiederverwendung am Markt angestrebt. Es wird für die Untersuchung exemplarisch mit einer 15 %-Abnehmgarantie und einer 70 %-Recyclingquote am Ende des Lebenszyklus gerechnet. Für alle weiteren Materialien wird der von Madaster ermittelte verfügbare Rohstoffwert in die Marktwertermittlung eingesetzt.

Aufteilung in die Hauptgebäudegruppe

Im letzten Schritt werden die ermittelten Werte aller Materialien und Produkte zum Ende ihres Lebenszyklus summiert und in ihre Hauptgebäudegruppen aufgeteilt. Es wird analog der eBKP-Gliederung zwischen der Tragkonstruktion, der Gebäudehülle und dem Innenausbau unterschieden. Der Zeitpunkt des Rückbaus wird in Abhängigkeit der Lebensdauer und der gebäudespezifischen Erneuerungsstrategien festgelegt. Im Kapitel 3.4 wird das Vorgehen zur Definition der Strategien ausgewiesen.

Es wird für die Untersuchung angenommen, dass die Materialien beim Rückbau für das C2C-Musterobjekt aufgearbeitet werden. In Abbildung 8 werden die Summen der Materialaktivierung für das C2C-Musterobjekt ausgewiesen.
Für das Linear-Objekt wird das heute angewendete konventionelle Vorgehen, ohne Berücksichtigung der Materialaktivierung, angewendet. Demzufolge wird dem Linear-Objekt in der Bewertung kein finanzieller Wert der Materialien beigemessen.



FINANZIELLER WERT	Ablaufjahr	korrigierter Nennwert (im Ablaufjahr)
Baukonstruktionen	100	€ 718 236
Fassade	45	€ 314 296
Technische Anlagen	0	€ 0
Innenausbau	15	€ 47 669
Parameter	Inflation 1,16%	BDB-Index 1,4%

Abbildung 8: Verfügbare finanzielle Werte des C2C-Musterobjekts (Quelle: Madaster 2021b)

Die korrigierten Nennwerte basieren auf den inflationsbereinigten verfügbaren Rohstoffpreisen und Herstellergarantien. Sie bilden die Erträge der Materialaktivierung. Der Bewertungsstichtag wird durch den Moment des Rückbaus definiert. Für diese Untersuchung wird den technischen Anlagen kein finanzieller Wert beigemessen. Es wird von keinem Mehrwert ausgegangen und nur die Kosten der Erneuerungen und des Rückbaus berücksichtigt. Der Fokus der Analyse liegt auf den Auswirkungen der Konstruktionsprinzipien und den verwendeten Materialien.

3.3.2 Zirkulärer Wert

Der Zirkularität-Wert berechnet den Grad der Kreislauffähigkeit des Gebäudes. Es werden Angaben über die Herkunft (Input), die Nutzung (Use) und die zukünftige Verwertung (Output) der Materialien ausgewertet. Eine einheitliche Bewertung, der ZI-Index, wird unter Berücksichtigung aller Angaben für das Gebäude erstellt. In Abbildung 9 werden die übergeordneten ZI-Indexe für beide Musterobjekte ausgewiesen.

Die zugrunde liegenden Prinzipien hinter der Bewertung lauten wie folgt (Madaster, 2021c, S. 3):

- *Materialherkunft*: gibt Aufschlüsse auf das Verhältnis zwischen dem Volumen an Primärrohstoffen und dem Volumen an recycelten, wiederverwendbaren oder erneuerbaren Materialien in der Bauphase.
- *Lebensdauer*: vergleicht die erwartete Lebensdauer der Materialien und Produkte mit dem Branchendurchschnitt der Nutzungsphasen.
- *Materialverwertung*: gibt Angaben über das Verhältnis zwischen der Menge an ‚Abfall' und der Menge an wiederverwendbaren und/oder recycelbaren Materialien und Produkten am Ende der erwarteten Lebensdauer.

Ziel der ZI-Bewertung ist, den Einsatz von recycelten und wiederverwendeten Materialien zu fördern (Madaster, 2021c, S. 5). Ebenfalls werden die Konstruktionsarten, die den Teilersatz einzelner Bauteile ermöglichen und so die Lebensdauer der gesamten Gebäudeschicht erhöhen, positiv bewertet.

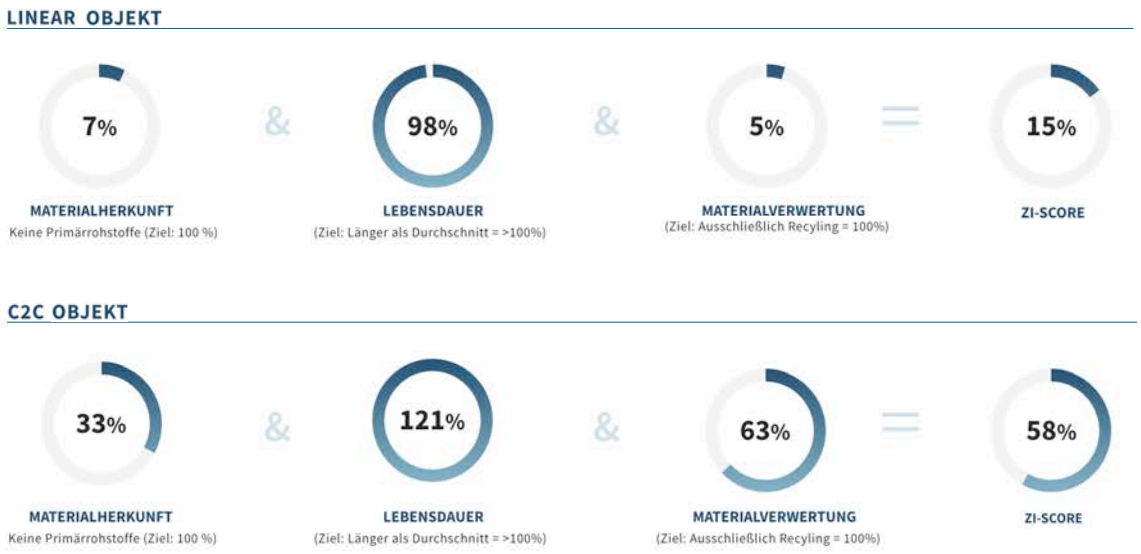


Abbildung 9: Zirkularität-Index für die Musterobjekte C2C und Linear (Quelle: Madaster 2021b)

Als Datengrundlage für den ZI-Index werden die Materialzusammensetzungen der einzelnen Bauteile und Produkte berücksichtigt. Es werden der Anteil an Primär- und Sekundärrohstoffen, die Lebensdauer und die Demontagefähigkeit berücksichtigt. In Abbildung 10 wird am Beispiel der Aussenwandkonstruktion der beiden Musterobjekte die Auswertung aufgezeigt. Die Kategorien der Demontagefähigkeiten beziehen sich auf die in Kapitel 3.2.2 (S. 16) ausgewiesenen Forderungen.

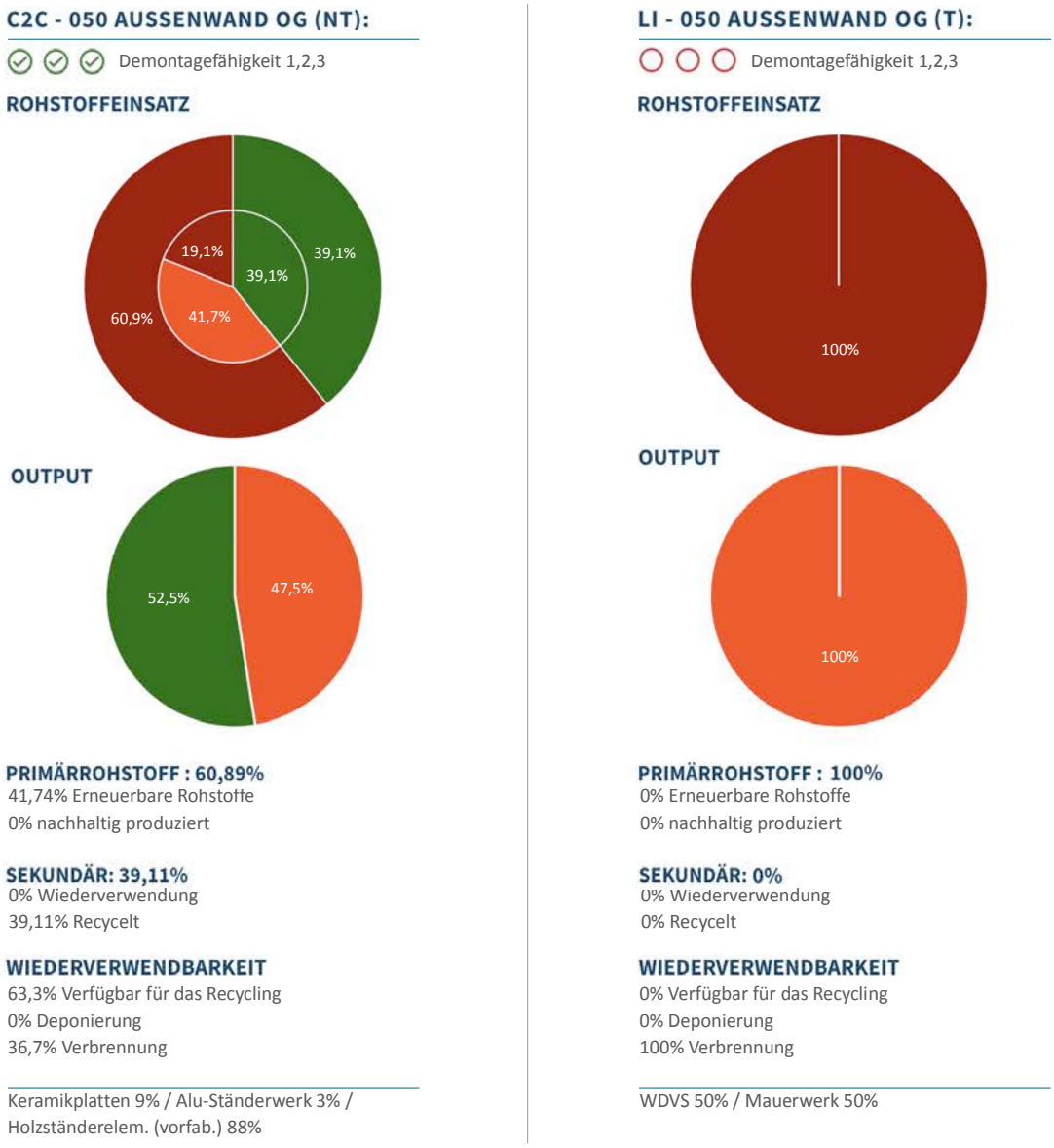


Abbildung 10: Rohstoffeinsätze der Gebäudehülle beider Musterobjekte (Quelle: Madaster 2021b)

Das Wärmedämm-Verbundsystem WDVS des Linear-Mustergebäudes besteht zu 100 % aus Primärrohstoffen und kann beim Rückbau zu 0 % wiederverwendet werden. Das Fassadensystem des C2C-Objekts wird aus 60.9 % Primär- und aus 39.1 % Sekundärrohstoffen gefertigt. Die verwendeten Bauteile können am Ende des Lebenszyklus an den Markt zurückgeführt werden.

Der Rohstoffeinsatz und die damit verbundene Wiederverwendbarkeit werden für alle Bauteile erfasst. Die zugrunde liegenden Verhältnisse für das Erstellen des Materialpasses in Madaster werden in Tabelle 5 für das C2C-Objekt ausgewiesen.

	Gebäudeelement		**Input** Material-Herkunft			**Use** *Bauteil* -Nutzung	**Output** Material-Verwertung		
			Primärrohstoffe		**Sekundär-rohstoffe**	**Lebensdauer**	**Kat.**	**Abfall**	**Kreislauf**
	Bauteilgruppe	*Haupt-Materialgruppen*	*Erneuerbar %*	*nicht-Erneuerbar %*	*Wiederverwendung oder Recycling*	*im Verhältnis zum Branchendurch.*		*Verbrennung oder Deponierung %*	*Wiederver. oder Recycling %*
	Baukonstruktion								
C.1	Bodenpl., Fundament	*Stahlbeton DK1*	-	72%	28%	100%	-	26%	74%
C.2	Aussenwand (uT)	*Stahlbeton DK1*	-	71%	29%	100%	-	26%	74%
C.2	Innenwand (uT)	*Kalksandstein*	-	100%	-	100%	-	100%	-
C.2	Innenwand (üT)	*Stahlbeton*	-	61%	39%	100%	-	35%	65%
		Ekopanely / DSP	47%	27%	26%	100%	-	53%	47%
		vfb.Holzständer.	47%	15%	38%	100%	*2.3*	61%	39%
C.3	Stützen	*Stahlbeton*	-	61%	39%	100%	-	*35%*	65%
		Brettschichtholz	95%	5%	-	100%	-	55%	45%
C.4	Decken, Dach	*Stahlbeton*	-	61%	39%	100%	-	35%	65%
		vfb. Hohlkasten	72%	13%	*15%*	100%	*2.3*	50%	50%
		Holzsparren	43%	46%	11%	100%	-	62%	38%
	Durchschnitt *(nicht gewertet)*					**100%**			
	Gebaudehülle								
E.2	Aussenwand (üt)	*Keramikplatten*	-	61%	39%	168%	*1,2,3*	48%	52%
	Klicksystem -	*Alu-Unterkonstr.*	-	61%	39%	168%	*1,2,3*	48%	52%
	hinterlüf.	*vfb. Holzständer*	41%	59%	-	100%	*2.3*	48%	52%
E.3	Fenster, Fenstertürer	*recy. Aluminium*	-	54%	46%	138%	*1*	53%	47%
	Absturzsicherung	*Stahl beschichtet*	-	51%	50%	121%	*1,2*	42%	59%
F.1	Bedachung, Flach.	*Bitumen*	-	100%	-	100%	-	100%	-
	Durchschnitt *(nicht gewertet)*					**132%**			
	Innenausbau								
G.1	Innenwand (üT)	*Ekopanely / Stahl.*	33%	31%	36%	122%	*1,2,3*	29%	71%
G.1	Türen	*Holzwerkstoff.*	*67%*	18%	15%	100%	-	62%	38%
G.2	Bodenbelag	*Holzdeck / Alu*	54%	19%	27%	100%	-	54%	46%
		UB geschliffen	2%	69%	29%	147%	-	100%	-
G.3	Wand-Deckenbekl.	*Ekopanely / Holz.*	67%	6%	27%	100%	-	54%	46%
		Keramikplatten	-	61%	39%	100%	-	70%	30%
G.5	Einbauküchen	*Stahl, beschichtet*	-	57%	43%	180%	*1,2,3*	26%	74%
	Durchschnitt *(nicht gewertet)*					**121%**			

Kat. = Kategorie Demontagefähigkeit
C2C Bauteil: hohe Trennbarkeit der Bauteilschichten / hohe Recyclingfähigkeit des Produkts

Tabelle 5: Materialverhältnisse für den ZI-Index des C2C-Objekts

Zur Berechnung des ZI-Index stützt sich Madaster auf die Messmethode des ‘Material Circularity Indicator’ der Ellen MacArthur Foundation. Dieser verwendet die Verteilung des gewichteten Durchschnitts. Der gewichtete Mittelwert basiert auf der Masse der verwendeten Materialien und Produkte. Elemente, die einen höheren Anteil an der Gesamtmasse aufweisen, fallen somit stärker ins Gewicht. Die Ergebnisse werden für die einzelnen Gebäudeschichten und für das ganze Gebäude berechnet (Brand, 1995, S. 20). Die ZI-Faktoren werden für die Materialherkunft, Lebensdauer und Materialverwertung separat bewertet.

Auswertung des ZI-Index für die DCF-Marktwertermittlung

In dieser Untersuchung werden für die Marktwertermittlung nur die Angaben des ZI-Faktors der Lebensdauer ausgewertet. Die Lebensdauerangaben tragen massgeblich zur Definition der Erneuerungsstrategien und folglich den Instandsetzungskosten bei. Das Vorgehen wird detailliert im anschliessenden Kapitel 3.4 erläutert.

Die Angaben zur Materialherkunft und Materialverwertung des ZI-Index werden für die Analyse nicht monetär für die DCF-Bewertung ausgewertet. Es besteht Potenzial, zukünftig auch diese Angaben in der Marktwertermittlung zu berücksichtigen. Eine Zertifizierung des Index kann die qualitative Objektbewertung beeinflussen und den Diskontierungssatz adjustieren. In der Untersuchung zum Einfluss von Nachhaltigkeitsbewertungen hat McGarth bereits 2013 aufgezeigt, dass Liegenschaften mit einem Nachhaltigkeitszertifikat einen tieferen Diskontierungssatz aufweisen als nicht zertifizierte Liegenschaften (McGrath 2013, S. 22). Der World Green Building Council kommt 2013 ebenfalls zum Ergebnis, dass nachhaltige Gebäude tiefere Risikoprämien aufweisen (WGBC, 2013, S. 80–89). Die Schlussfolgerungen werden von Kempf und Hens (2016) bestätigt (S. 72–75). Da sich die Risikoauswertungen der kreislauffähigen Materialherkunft und Materialverwertung für das DCF-Modell noch am Anfang befinden und keine Langzeitauswertungen bestehen, werden die Parameter für die Untersuchung hier nicht weiterverfolgt.

Die Ermittlung der Lebensdauerzirkularität erfolgt mit folgender Formel (Madaster, 2021c, S. 13):

$$ZI_{Leb.} = \frac{L_{k.1}}{L_{av}}$$

$ZI_{Leb.}$	Zirkularität-Index der Lebensdauer
$L_{k.1}$	Potenzieller funktionaler Lebenszyklus eines Produktes (Jahre)
L_{av}	Branchendurchschnittlicher Lebenszyklus einer Gebäudeschicht (Jahre)

Die Lebensdauervergleiche werden für alle im Gebäude erfassten Bauteile ausgeführt und für die einzelnen Gebäudeschichten summiert. In Abbildung 11 sind die Werte für die übergeordneten Gebäudegruppen der Tragkonstruktion, der Fassade und dem Innenausbau der Musterobjekte ausgewiesen.

Das C2C-Objekt weist eine überdurchschnittliche Nutzungsperiode der Gebäudehülle und des Innenausbaus auf. Das vorfabrizierte Konstruktionsprinzip ermöglicht den Teilersatz einzelner Bauteile und trägt positiv zur Bewertung bei. Die klare Trennung der Primär-, Sekundär- und Tertiärstruktur fällt ebenfalls positiv ins Gewicht. Beim Linear-Objekt werden für das chemisch verankerte Wärmeverbundsystem der Gebäudehülle leichte Abschläge gemacht. Die langfristige Tragkonstruktion wird für beide Musterobjekte entsprechend dem Durchschnitt bewertet.

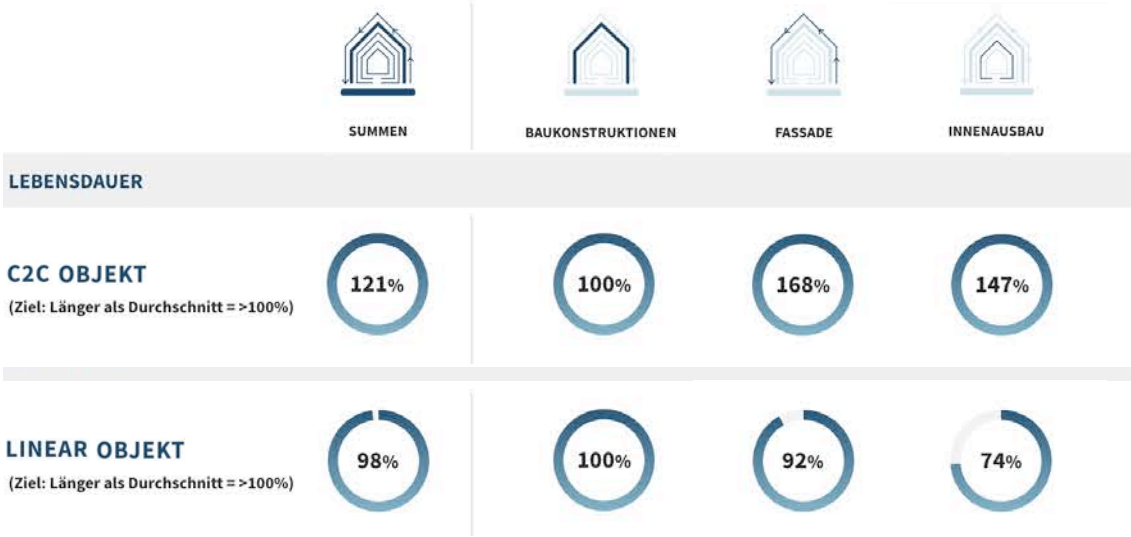


Abbildung 11: Zirkularität-Index der Lebensdauer für beide Musterobjekte (Quelle: Madaster 2021b)

Die erwarteten funktionalen Nutzungsperioden werden mit der Periode des Branchendurchschnitts gemessen. Für die Untersuchung werden für L_{av} der branchenüblichen Lebensdauer die Vorgaben des SVKG sowie der CRB-Standards für das Bauwesen benutzt (SVKG, 2019, S. 407; CRB, 2012c, S. 12–14). Die verwendeten Benchmarks wurden anschliessend mit den Beratern von Drees&Sommer diskutiert und präzisiert. Die angewendeten Standards von Madaster liegen für das C2C-Objekt unter den der Schweizer Vorgaben. Die Prozentsätze des ZI-Index in Abbildung 11 liegen demzufolge über den in Tabelle 5 aufgezeigten Grundlagen. Für die weitere Bewertung wird mit den in Tabelle 5 ausgewiesenen Schweizer Standards gearbeitet.

3.4 Definition der Erneuerungsstrategien

Im zweiten Schritt werden die Angaben des Materialpasses verwendet, um die gebäudespezifische Erneuerungsstrategie zu definieren. Die daraus resultierenden Instandsetzungskosten werden anschliessend ermittelt.

Die Erneuerungsstrategie definiert die periodischen Zeitabstände für die Sanierung der Bausubstanz. Es wird eine Instandsetzung zur Wiederherstellung der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit der Bauteile angestrebt (SIA 469, S. 5). Die Zeitdauer zwischen den Instandsetzungen, d. h. der Erneuerungszyklus, ist von mehreren Faktoren beeinflusst. Die Lage, die Witterungseinflüsse und die Nutzungsintensität des Objekts beeinflussen den Rhythmus. Es sind vor allem aber die Bauqualität und die Materialresistenz, die für den Zeitpunkt der Erneuerung massgebend sind (Canonica, 2009, S. 268). In der Praxis werden die Zyklen aufgrund der Lebensdauer der Angaben der Bauteilgruppen und anhand von Qualitätsgutachten der Substanz definiert (SVKG, 2019, S. 207).

Die Instandsetzungen betreffen jene Bauteile, die im Laufe der Zeit durch Abnutzung ihre Gebrauchstauglichkeit verlieren. Die Grundsubstanz der Tragstruktur bleibt bis zum Ende der Gebäudelebensdauer erhalten und ist von den Massnahmezyklen der Instandsetzung nicht betroffen. Vereinfachend wird die Erneuerungssubstanz in die drei eBKP-Hauptgruppen Gebäudehülle, Installationen und Ausbau gegliedert (Canonica, 2009, S. 268). Das Sanierungsausmass variiert je nach Substanz und Eingriffstiefe. Der Innenausbau sowie ein Teilersatz von der Gebäudehülle oder den technischen Installationen erfolgt in kürzeren Intervallen als die grosszyklischen Gesamtsanierungen.

Für die weitere Untersuchung werden aufgrund der Lebensdauerangabe des ZI-Index die Sanierungsperioden und die Eingriffstiefe definiert. Dies erfolgt anhand von gleichmässigen Massnahmezyklen, die sich linear über die Gebäudelebensdauer verteilen. Es werden Erneuerungspakete erstellt, welche die technisch zusammengehörenden Bauteile verknüpfen und entsprechend ihrer Alterung gemeinsam sanieren. Es ist zu berücksichtigen, dass die linearen Massnahmenzyklen eine starke Vereinfachung des Lebenszyklus einer Immobilie darstellen. In der Realität können die Zyklen weit unregelmässiger anfallen und sind stärkeren Schwankungen ausgesetzt. Wie Pfründer (2010) in seiner Untersuchung der Instandhaltungsstrategien darlegt, sind bei Wohngebäuden mietrechtliche Vorschriften und sich wandelnde Finanzierungssituationen oft ein grösserer Einfluss auf den Zeitpunkt der Instandsetzungsmassnahme als der konkrete Bedarf (S. 38). Da für das C2C-Kreislaufobjekt jedoch noch keine langfristigen Untersuchungen bezüglich der detaillierten Lebenszyklusaufwendungen existieren, wird, um die Vergleichbarkeit der beiden Musterobjekte zu gewährleisten, mit vereinfachten Erneuerungsstrategien gearbeitet. Die Resultate wurden anschliessend anhand von Benchmarks plausibilisiert und mit den Beratern von Drees&Sommer harmonisiert.

Sanierungszyklen des Linear-Musterobjekts

Für das Linear-Musterobjekt wird ein konventionelles Vorgehen gewählt. Die Bausubstanz wird übergeordnet in die Hauptgruppen der Tertiärstruktur (Innenausbau), der Sekundärstruktur (Gebäudehülle, Installationen) und der Primarstruktur (Tragkonstruktion) unterteilt. Basierend auf den Auswertungen des ZI-Index zur Lebensdauer des Innenausbaus wird ein erster Massnahmenzyklus von 15 Jahren angesetzt. Dies betrifft die Erneuerung der Ausbauten und Oberflächen mit mittlerer Beständigkeit. Die grosszyklischen Sanierungen der Sekundär- und Tertiärstruktur fallen im zweiten Zyklus von 30 Jahren an. Dieser Zeitraum liegt minimal etwa 15 % unter dem Branchendurchschnitt. Das Vorgehen deckt sich mit der Auswertung der Sekundärstruktur des ZI-Index. In Tabelle 6 werden die Erneuerungsmassnahmen und die zugrunde liegenden Angaben des Index ausgewiesen.

ERNEUERUNGSSTRATEGIE LINEAR

Erneuerungszyklus	Bausubstanz
15 Jahre	**Tertiärstruktur** (Innenausbau) Erneuerung und Renovation von: - Ausbauten mittlerer Lebensdauer: Boden-, Wand- und Deckenbeläge - Kücheneinbauten kurzer Lebensdauer inkl. fest eingebaute Geräte - Elektrische Installationen
30 Jahre	**Sekundärstruktur** (Gebäudehülle / Hauptverteilung / Installationen) Gesamtheitliche Erneuerung und umfassende Renovationen von: - Dacheindeckung, Fassadenkonstruktion inkl. Fenster mittlerer Lebensdauer - Erneuerung Liftaufzüge, Sanitär Apparate - Hauptverteilungsleitungen, zentrale Installationen - Ausbauten mittlerer Lebensdauer inkl. Schreinerarbeiten, Türen
80-100 Jahre	**Primarstruktur** (Tragstruktur) Bauteile bleiben bis zum Ende der Gebäudelebensdauer erhalten: - Fundation, Pfählungen, Grundleitungen - Tragkonstruktion aus Beton

ZI-INDEX LEBENSDAUER

Bausubstanz	Verhältnis zum Branchendurch.	Branchendurchschnitt		
	%	von	∅	bis
Tertiärstruktur	74	10	17.5	25
Sekundärstruktur	92	25	35	45
Primarstruktur	100	60	80	100

Tabelle 6: Zyklische Sanierungsaufwendungen des Linear-Objekts

Anhand der Erneuerungsstrategie werden die Instandsetzungskosten über den Lebenszyklus ermittelt. Hierzu werden die periodisch anfallenden Kosten in Abhängigkeit der Eingriffstiefe ausgewertet. In Abbildung 12 sind die zyklischen Aufwendungen des Linear-Objekts dargestellt.

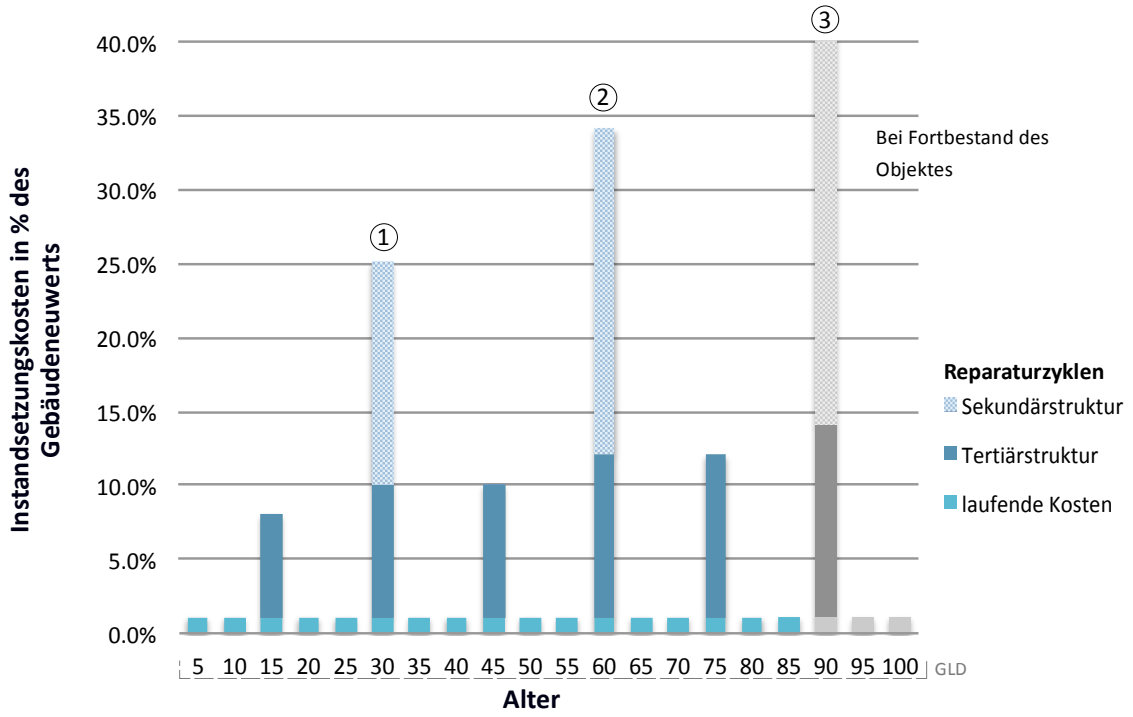


Abbildung 12: Zyklische Sanierungsaufwendungen in % des Linear-Gebäudeneuwerts

Die summierten Aufwendungen für die Instandsetzungen in der ersten grosszyklischen Periode von 30 Jahren entsprechen ca. 31 % des Gebäudeneuwerts. Das Ausmass des dritten Hauptsanierungszyklus im 90. Lebensjahr der Immobilie muss in Abhängigkeit der bestehenden wirtschaftlichen Nutzung abgeschätzt werden. Für die Untersuchung wird, entsprechend dem ZI-Index, mit einer Fortführung beider Objekte und einer Lebensdauer von 100 Jahren gerechnet. Es werden keine grossmassstäblichen Eingriffe in die Primärstruktur einkalkuliert. Über die gesamte Lebensdauer von 100 Jahren wird mit einer Investitionssumme von 129.6 % des Gebäudeneuwerts gerechnet.

Die einbezogenen laufenden Kosten beziehen sich auf regelmässig anfallende Instandhaltungs-aufwendungen. Diese beinhalten kleinmassstäbliche Reparatur- und Unterhaltsmassnahmen, die dazu beitragen, das Objekt im gebrauchsfähigen Zustand zu halten. Die Kosten werden separat mit den Bewirtschaftungskosten in der DCF-Bewertung berücksichtigt. Das Vorgehen wird in Kapitel 3.5.1 der Marktwertermittlung dargelegt.

Sanierungszyklen des C2C-Musterobjekts

Die Sanierungszyklen des C2C-Objekts werden ebenfalls in die Hauptgruppen der Teritär-, Sekundär- und Primarstruktur unterteilt. Die Zykluslängen von 15 Jahren werden beibehalten und das Ausmass der Aufwendung wird folglich dem ZI-Index angepasst. Die überdurchschnittliche Lebensdauer des Innenausbaus und der Gebäudehülle führen beim C2C-Objekt dazu, dass sich der Hauptsanierungszyklus um eine Periode verlängert. Dies bedingt den gezielten Teilersatz einzelner Bauteilgruppen im davorliegenden Zyklusjahr. Die kreislauffähige Konstruktion der vorfabrizierten irreversiblen Verbindungen der Bauteile gewährleistet den zusätzlichen Schritt.

In Tabelle 7 werden die periodischen Sanierungsmassnahmen und die zugrunde liegenden Angaben des Index ausgewiesen. Die grosszyklischen Sanierungen der Sekundär- und Tertiärstruktur fallen im dritten Zyklus von 45 Jahren an. Dieser Zeitraum liegt etwa 29 % über dem Branchendurchschnitt. Die notwendigen Aufwendungen für den Teilersatz des Innenausbaus und der Fassadenelemente werden in der zweiten Zyklusphase berücksichtigt. Die Kosten für Erneuerung der Innenausbauten mittlerer Lebensdauer werden tiefer angesetzt als beim Vergleichsobjekt.

Die aus der Erneuerungsstrategie resultierenden Instandsetzungskosten werden in Abbildung 13 ausgewiesen. Die summierten Aufwendungen für die Instandsetzungen in der ersten grosszyklischen Periode von 45 Jahren entsprechen ca. 42 % des Gebäudeneuwerts. Davon fallen 28 % im letzten Zyklus an. Das Ausmass des zweiten Hauptsanierungszyklus muss analog dem Linear-Objekt im 90. Lebensjahr abgeschätzt werden. Für die Untersuchung wird, entsprechend dem ZI-Index, mit einer Fortführung beider Objekte und einer Lebensdauer von 100 Jahren gerechnet. Über die gesamte Lebensdauer wird mit einer Investitionssumme von 120.6 % des Gebäudeneuwerts gerechnet.

ERNEUERUNGSSTRATEGIE C2C

Erneuerungszyklus	Bausubstanz
15 Jahre	**Tertiärstruktur** (Innenausbau) Erneuerung und Renovation von: - Ausbauten mittlerer Lebensdauer: Boden-, Wand- und Deckenbeläge - Elektrische Installationen
30 Jahre	**Sekundärstruktur** (Gebäudehülle / Hauptverteilung / Installationen) Teilersatz und Erneuerung von: - Kücheneinbauten inkl. fest eingebaute Geräte - Fassadenelemente Klicksystem hinterlüft. Keramikplatten - Erneuerung Liftaufzüge, Sanitär Apparaten - Flachdacheindeckung, Spenglerbleche
45 Jahre	**Sekundärstruktur** (Gebäudehülle / Hauptverteilung / Installationen) Gesamtheitliche Erneuerung und umfassende Renovationen von: - Dacheindeckung, Fassadenkonstruktion inkl. hochwertiger Fenster (Holz-Metall) - Hauptverteilungsleitung, zentrale Installationen - Erneuerung Liftaufzüge, Sanitär Apparaten - Kücheneinbauten hochwertiger Lebensdauer inkl. fest eingebaute Geräte
80-100 Jahre	**Primarstruktur** (Tragstruktur) Bauteile bleiben bis zum Ende der Gebäudelebensdauer erhalten: - Fundation, Pfählungen, Grundleitungen - Tragkonstruktion aus Beton, Stahl, Holz

ZI-INDEX LEBENSDAUER

Bausubstanz	Verhältnis zum Branchendurch.	Branchendurchschnitt		
	%	von	∅	bis
Tertiärstruktur	121	10	17.5	25
Sekundärstruktur	132	25	35	45
Primarstruktur	100	60	80	100

Tabelle 7: Zyklische Sanierungsaufwendungen des C2C-Objekts

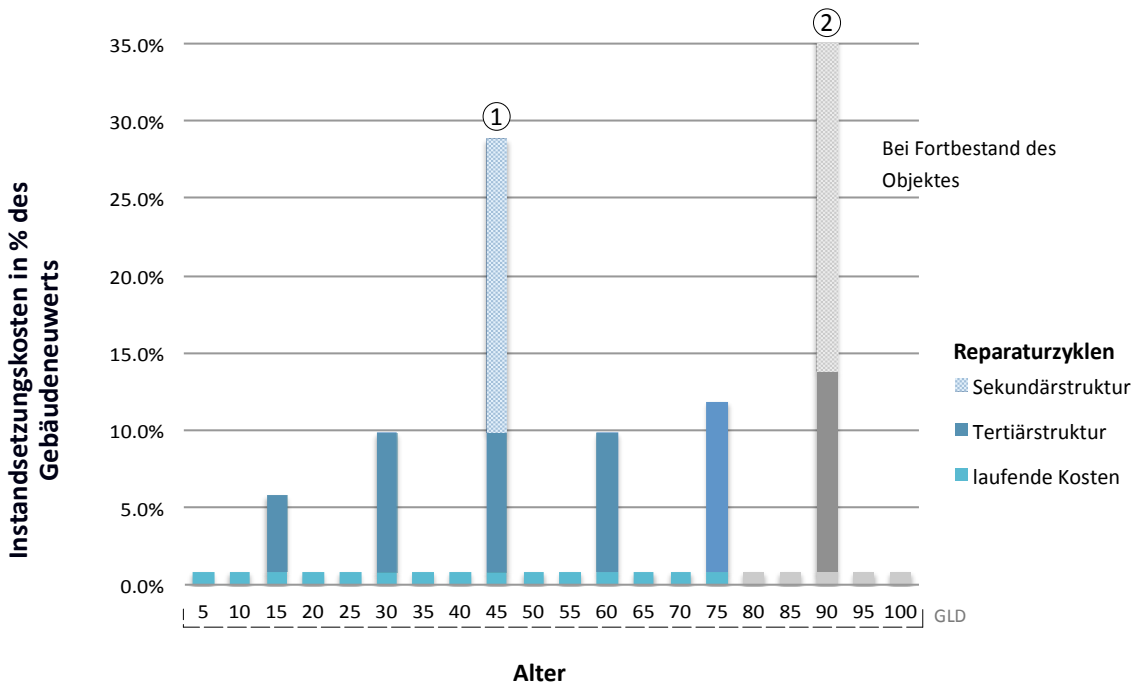


Abbildung 13: Zyklische Sanierungsaufwendungen in % des C2C-Gebäudeneuwerts

3.5 Marktwertermittlung mit DCF-Modell

Die gewonnenen Angaben des Materialpasses und die daraus resultierende Erneuerungsstrategie wird in die Marktwertermittlung übertragen. Für die DCF-Marktwertermittlung wird das in den Grundlagen in Kapitel 2.2 erläuterte 2-Phasen-Modell des Discounted Cash Flow verwendet.

In einem ersten Schritt werden die Eingabeparameter, Annahmen und Ausgrenzungen des Untersuchungsmodells definiert. In einem zweiten Schritt werden die gewonnen Angaben aus dem Materialpass in die Bewertung übertragen. Hierzu werden die Auswertungen zu Erträgen und Kosten des Lebenszyklus verwendet. Die resultierenden Lebenszyklus-Aufwendungen werden als Annuität in die Kapitalflüsse des DCF-Bewertungsmodelles integriert. Es werden folgende Kapitalflüsse für die Ermittlung der Lebenszyklus-Aufwendungen berücksichtigt:

1. Als Ertrag wird die Materialaktivierung der finanziellen Werte (Kapt. 3.3.1) gerechnet.
2. Als Kosten werden die periodischen Instandsetzungen (Kapt, 3.4) ausgewertet.

In einem letzten Schritt werden in Kapitel 4 die resultierenden Marktwerte beider Musterobjekte ermittelt und verglichen. Die Hebelwirkung der DCF-Parameter werden mittels Sensitivitäts-analyse untersucht.

3.5.1 Eingabeparameter des DCF-Modells

Für die DCF-Bewertung werden die Kapitalflüsse über die Gesamtlebensdauer erfasst und auf den Bewertungsstichtag diskontiert. Die Eingabeparameter sind abhängig von den Investitionskosten, den Mieterträgen, den Bewirtschaftungs- und Lebenszykluskosten. Für die Diskontierung muss eine Einschätzung der aktuellen Marktsituation erfolgen. Dies wird anhand der gegenwärtigen Einflussgrössen der Immobilienbranche und einer Auswertung der wirtschaftlichen Lage bestimmt. Die Werttreiber der Bewertung wurden mit den Beratern von FPRE diskutiert und präzisiert. Die in Tabelle 8 ausgewiesenen Parameter wurden für die DCF-Bewertung bestimmt.

Diskontsatz		
	Risikoprämie	Bemerkung
Basis (nominal)	2.23%	10 jährige Bundesobligationen
Illiquidität	0.90%	Allg.Kapital-Illiquidität von Liegenschaften
Nutzung	0.90%	Wohnen
Makro	-0.19%	Stadt Zürich
Mikro	-0.09%	Zentrumslage
Diverse Risiken	0.10%	
Diskontsatz (nominal)	**3.85%**	
Indexierung	100%	
Inflation	1.16%	
Kapitalisierungssatz (netto)	**2.69%**	

Bewirtschaftungskosten p.a. der Sollmiete	
Betriebskosten	5.5%
Verwaltungskosten	4.4%
Instandhaltung	7.5%
Total Bewirtschaftungskosten	**17%**

Mietertrag pro Nutzung

Nutzung	Anzahl Zimmer	Geschoss	HNF nach SIA *m2*	CHF/m2 *Monat*	Mietertrag *Monat*	Anz.	Mietertrag (Soll) *Jahr*
Wohnen	4.5 Zi	EG	104.0	27	2'807 CHF	2	67'360 CHF
Wohnen	3.5 Zi	EG	85.3	27	2'302 CHF	2	55'242 CHF
Wohnen	4.5 Zi	1.OG	104.0	29	3'015 CHF	2	60'000 CHF
Wohnen	4.5 Zi	1.OG	104.0	29	3'015 CHF	2	72'349 CHF
Wohnen	4.5 Zi	2.OG	104.0	29	3'015 CHF	2	60'000 CHF
Wohnen	4.5 Zi	2.OG	104.0	29	3'015 CHF	2	72'349 CHF
Wohnen	4.5 Zi	3.OG	104.0	29	3'015 CHF	2	60'000 CHF
Wohnen	4.5 Zi	3.OG	104.0	29	3'015 CHF	2	72'349 CHF
Wohnen	3.5 Zi	DG	75.4	31	2'336 CHF	2	60'000 CHF
Wohnen	3.5 Zi	DG	86.4	31	2'677 CHF	2	64'244 CHF
Parkplätze innen					255 CHF	25	6'375 CHF
TOTAL							**650'269 CHF**
						Sockelleerstand	3.75%

Tabelle 8: DCF-Parameter: Diskontsatz, Bewirtschaftungskosten und Mieterträge

Diskontierungssatz

Der Diskontierungssatz setzt sich gemäss einem Risikokomponentenmodell zusammen. Der Kapitalisierungssatz zur Ermittlung des Exit Values wird als Subtraktion der Wachstumsrate, der Inflation, vom Diskontierungssatz ermittelt. Für die Untersuchung wird angenommen, dass die Mietverträge des Wohnobjekts unbefristet sind und dem Mechanismus der anteilsmässigen Indexierung nicht ausgesetzt werden. Der Effekt der Indexierung würde für beide Musterobjekte

gleich ins Gewicht fallen, ohne dass eine Differenzierung der beiden Marktwertermittlungen bewirkt wird. Der gleiche Umgang wird für die Überwälzung von wertvermehrenden Arbeiten der grosszyklischen Sanierungen gewählt. Als wertvermehrend werden qualitätssteigernde Verbesserungen der Mietsache verstanden. Bei diesen könnten eine Verzinsung des investierten Kapitals, die Amortisation und die neuen Unterhaltskosten auf den Mietzins überwälzt werden (Art. 14 Abs. 2 VMWG). Für die Vergleichbarkeit beider Musterobjekte wird nicht zwischen den Kapitalflüssen der Mieterträge differenziert. Der Effekt der Überwälzung würde sich ausgleichen und wird für die Untersuchung nicht weiter berücksichtigt.

Bewirtschaftungskosten

Für die Bewirtschaftungskosten werden die regelmässig notwendigen Betriebs-, Verwaltungs- und Instandhaltungsaufwendungen berücksichtigt. Diese fallen zulasten des Eigentümers und können über historische Daten plausibilisiert werden. Die Kosten werden als Prozent der jährlichen Nettomietzinsen angegeben. Für die gewählte Immobilienklasse werden die in Tabelle 8 abgebildeten Prozentsätze bestimmt. Diese orientieren sich an den historischen Mittelwerten der Migros-Pensionskasse von 10'500 Wohnungen und wurden mit den Beratern von FPRE diskutiert (IP BAU, 1994, S. 60).

Mieterträge

Für die Kalkulation der zukünftigen Mieterträge wird eine Markt- und Standortanalyse gemäss Kapitel 2.2 durchgeführt. Die Mieterträge werden einzeln abgebildet und um die Einnahmen der gedeckten Parkplätze ergänzt. Ein struktureller Leerstand wird entsprechend der Immobilienklasse eingepreist.

Ausgrenzung weiterer Kosten

Für die Investitionsrechnung werden die Kosten, die für das Grundstück anfallen, nicht berücksichtigt. Für die DCF-Modellierung werden in der Untersuchung die Finanzierungs-, und Steuerkosten nicht einbezogen. Der Fokus der Analyse liegt auf den Auswirkungen der Konstruktionsprinzipien und den verwendeten Materialien.

3.5.2 Annuität der Lebenszykluskosten

Für die zukünftig anfallenden Lebenszyklusaufwendungen werden in der DCF-Bewertung jährliche Rückstellungen gebildet. Diese werden durch die Erträge der Liegenschaft gedeckt und dienen zur Vorfinanzierung der Erneuerung. Der Betrag der jährlichen Rückstellungen ist abhängig von der Summe der Lebenszykluskosten und der Dauer der Hauptsanierungszyklen. Die Berechnung erfolgt als Annuitätsrechnung und setzt sich aus dem Element der Tilgung und des Zinses zusammen.

Es wird das Standardvorgehen des SIV Schweizerischen Immobilienschätzer-Verbands für die Berechnung der Annuität angewendet. Hierzu wird in einem ersten Schritt ein standardisierter Satz von 40 % bis 50 % der gesamten Lebenszykluskosten auf den Zeitraum der Haupterneuerungsperiode übertragen (Canonica, 2009, S. 268). Bei diesem Vorgehen wird nicht zwischen dem Linear- oder C2C-Objekt unterschieden. Es wird für beide Musterobjekte die gleiche Rechnungsmethode angewendet. In einem zweiten Schritt werden die jährlichen Rückstellungen mittels Tilgungsfaktor berechnet.

Für die Berechnung der Annuität kommt folgende Formel zur Anwendung (Canonica, 2009, S. 274):

$$\mathrm{A_{en}} = LCC_{Faktor} * \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1}\right)$$

A_{en}	Annuität der Lebenszykluskosten
LCC_{Faktor}	Lebenszykluskosten pro Haupterneuerungsperiode
i	Kapitalisierungszinssatz
n	Laufzeit der Haupterneuerungsperiode

Die Umwandlung der Lebenszykluskosten in eine Annuität ist vor allem durch das 2. Phasensystem der Bewertungsmethodik bedingt. Der Residualwert bestimmt 60–70 % des gesamten Marktwerts der Untersuchung und muss dementsprechend die bevorstehenden Lebenszykluskosten berücksichtigen. Es ist zu beachten, dass durch die Umlagerung in eine Annuität die Gewichtung der langen Diskontierungshorizonte weniger stark ausfällt. Um den Effekt der Diskontierung exakt abzubilden, müssen die Kapitalflüsse einzeln im DCF-Modell über die Gesamtlebensdauer erfasst und diskontiert werden. Für die Untersuchung wird das vereinfachte 2. Phasenverfahren gewählt, da die Implikationen für beide Musterobjekte gleich ausfallen und die Ergebnisse der Analyse nicht massgebend beeinflusst werden.

Zur Ermittlung der Lebenszykluskosten wird die Summe aller Erträge und Kosten des Lebenszyklus verwendet. Die laufenden Kosten der Instandhaltung werden separat als Teil der jährlichen Eigentümerlasten im DCF-Modell berücksichtigt.

Zur Ermittlung der Summe der Lebenszykluskosten kommt folgende Formel zur Anwendung:

$$\mathrm{LCC_{Total}} = \sum_{M=1}^{n} IN_{M.1} + RK_{M.1} - MA_{M.1}$$

$\mathrm{LCC_{Total}}$	Total Lebenszykluskosten
$\mathrm{IN_{M.1}}$	Instandsetzungskosten der Gebäudeschicht M.1
$\mathrm{RK_{M.1}}$	Gesamtabbruch- und Rückbaukosten der Gebäudeschicht M.1
$\mathrm{MA_{M.1}}$	Materialaktivierung finanzieller Wert der Gebäudeschicht M.1

Für das Linear-Objekt fallen keine Erträge der Materialaktivierung an, somit besteht das $\mathrm{LCC_{Total}}$ aus den Kosten der Instandsetzung und den Kosten des Rückbaus. Für das C2C-Objekt kann der Ertrag der Materialaktivierung dazu gerechnet werden. In Abbildung 14 werden die Kosten und Erträge des gesamten Lebenszyklus des kreislauffähigen C2C-Objekts gegenübergestellt.

Beim C2C-Objekt wird mit einem 175 % Zuschlag für die Abbruch- und Rückbaukosten gerechnet. Dies basiert auf dem prognostizierten Mehraufwand einer sorgfältigen Demontage der Bauteile. Ein erster Abschlag für die Rückbau- und Aufarbeitungskosten wird in der Materialaktivierung (Kapitel 3.3.1, S. 22) berücksichtigt. Für die Analyse wird überdies mit einer 15 % Reduktion aller verfügbaren finanziellen Werte der Materialaktivierung im C2C-Objekt gerechnet. Dieser Korrekturfaktor dient der Berücksichtigung von grösseren Ungewissheiten in der Rohstoffpreisentwicklung am Sekundärmarkt.

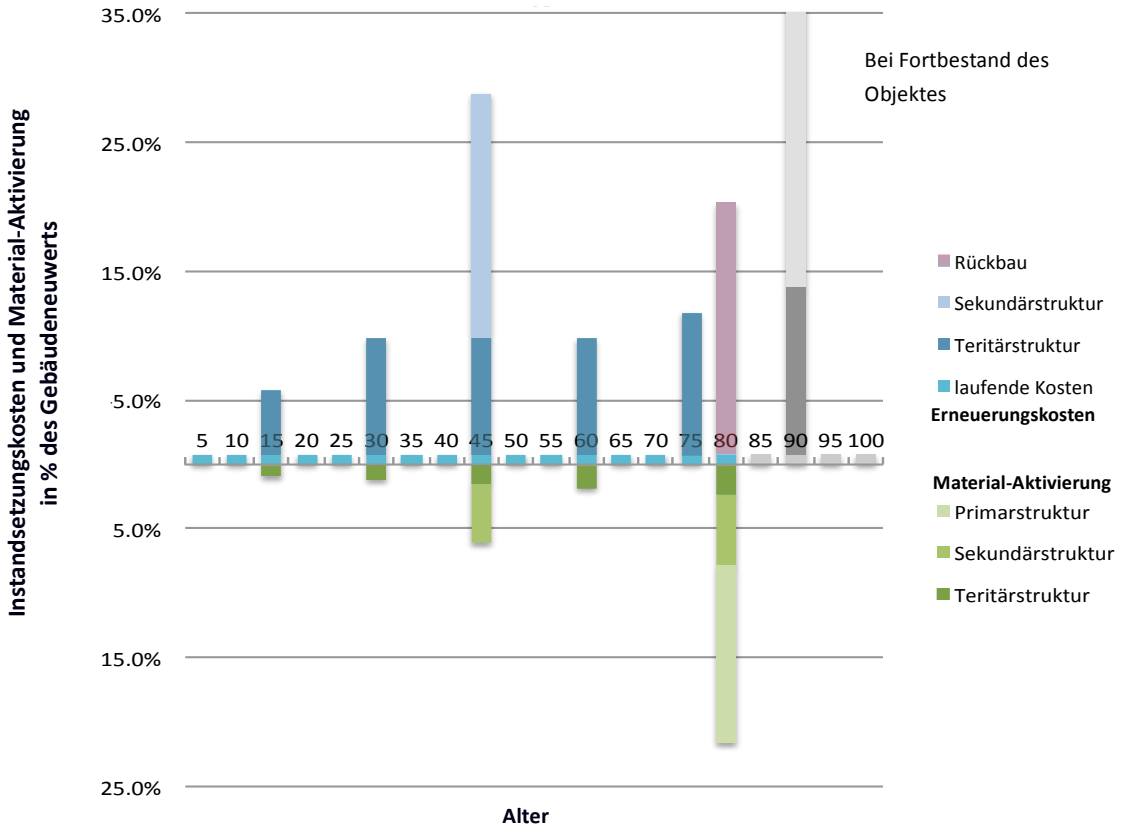


Abbildung 14: C2C-Lebenszykluskosten und Erträge in % des Gebäudeneuwerts

Die resultierenden jährlichen Rückstellungen für das C2C-Objekt betragen 0.57 % des Gebäudeneuwerts. Beim Linear-Objekt fallen jährlich 1.43 % des Gebäudeneuwerts an. Die Kennzahlen der Annuitätsrechnungen werden in der folgenden Tabelle 9 dargestellt. Im Anhang A. 5 wird die Datengrundlage beider Musterobjekte dargestellt.

Musterobjekt	**Kosten** Instandsetzung	**Kosten** Abbruch- und Demontage	**Total Kosten** (Instandsetzung und Abbruch-Demontage)	**Total Erträge** Materialaktivierung	**Laufzeit** grosszyklische Sanierung (Jahre)	**Annuität**
Lebensdauer 100 Jahre / Angaben in % des Gebäudeneuwerts						
Linear-Objekt	124%	5.6%	129.6%	0.0%	30	**1.43%**
C2C-Objekt	102%	18.6%	120.6%	23.9%	45	**0.57%**

Tabelle 9: Vergleich Lebenszyklus-Aufwendungen in % des Gebäudeneuwerts

Um die jährlichen Aufwendungen ins Verhältnis zu setzen, wurden mehrere Richtwerte der Immobilienklasse konsultiert. Die Untersuchung des 'Impulsprogramm Bau' von 10'500 Wohnungen der Migros-Pensionskasse rechnet mit 1.6 % bis 2.6 % des Gebäudeversicherungswerts für die Instandsetzung (IP BAU, 1994, S. 18). Eine eigene Auswertung des Schlussberichtes des Bundesamtes für Energie (BFE) zu 'Lebenszykluskosten' hat eine ähnliche Bandbreite von 1.7 % bis 2.2 % des Gebäudeneuwerts ergeben (BFE, 2020, S. 33–55). Die Richtwerte des Swiss Institute of Real Estate Appraisal (SIREA) hingegen rechnen, in Abhängigkeit der Bausubstanz, mit Rückstellungen von 0.7 % bis 1.3 % des Gebäudeneuwerts. Bei Wohngebäuden kommt eine zusätzlich bekannte Näherung, die sogenannte 'Petersche Formel' zur Anwendung. Diese besagt, dass der 1,5-fache Wert der Baukosten für die Instandsetzung anfällt (Peters, 1984, S. 144). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt Krug (1985), der mit jährlichen Instandsetzungskosten von 1.5 % des Nettoanlagevermögens für Wohngebäude und Gebäude mit wohngebäudeähnlicher Baustruktur rechnet (S. 2).

Bei den Vergleichswerten ist zu berücksichtigen, dass es sich um approximative Kennzahlen handelt. Es wird mit einem linearen Kostenverlauf und gleichmässiger Diskontierung gerechnet. Da, wie bereits in Kapitel 3.4 erläutert, für das C2C-Kreislaufobjekt noch keine langfristigen Untersuchungen bezüglich der detaillierten Lebenszyklusaufwendungen existieren, wird für die Vergleichbarkeit der beiden Musterobjekte mit linearen Erneuerungsstrategien gearbeitet.

Es ist zu resümieren, dass die jährlichen Aufwendungen des C2C-Objekts deutlich niedriger als die Benchmarks ausfallen. Dies ist auf die überdurchschnittliche Laufzeit der Haupterneuerungsperiode und den Ertrag der Materialaktivierung zurückzuführen. Die Hebelwirkung der jeweiligen Parameter wird in der Sensitivitätsanalyse in Kaptitel 4.1 detaillierter untersucht. Das Linear-Objekt fällt mit 1.43 % minimal niedriger als der Durchschnitt der Benchmarks aus.

4. Resultate und Erkenntnisse

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Case-Study-Marktwertermittlung präsentiert und analysiert. Das Linear-Objekt agiert als Vergleichswert, um die erfassten Ergebnisse des kreislauffähigen C2C-Objekts einzuordnen. In einer anschliessenden Sensitivanalyse werden die Hebelwirkungen der Werttreiber untersucht.

Die Bewertung der beiden Musterobjekte hat gezeigt, dass trotz der erhöhten Erstellungskosten des kreislauffähigen Objekts ein deutlicher Mehrwert von +9.6 % des Marktwerts erzielt wird. Der Hauptwerttreiber für die DCF-Bewertung ist die Differenzierung der Lebenszykluskosten. Wie in Kapitel 3.5.2 erläutert, setzen sich die Kosten aus den Erträgen der Materialaktivierung, den Aufwendungen der Erneuerung und den Rückbaukosten zusammen. Die Angaben werden basierend auf den Informationen des Materialpasses und den daraus resultierenden Erneuerungsstrategien bestimmt. Das Vorgehen wird detailliert in den Kapiteln 3.3 und 3.4 aufgeführt.

Die komplette DCF-Bewertung ist im Anhang A. 2 zu finden. Nachfolgend werden in Tabelle 10 und 11 die Berechnungen gekürzt, von Periode 0 bis 2 Jahre und von Jahr 10 bis zum Residualwert, für das Linear- und C2C-Objekt dargestellt.

	DCF MARKTWERTERMITTLUNG C2C Objekt		**0** 2022 *Erstellung*	**1** 2023 *Vermietung*	**2** 2024 *Vermietung*	…	**10** 2032 *Vermietung*	**11** 2033 ***Residualwert***
1	Diskontsatz (nominal)		3.85%	3.85%	3.85%		3.85%	
2	Kapitalisierungssatz (netto)							2.69%
3	Lebensdauer (Jahre)							100
4	Mieterträge		- CHF	650’269 CHF	650’269 CHF		650’269 CHF	650’269 CHF
5	Sockelleerstand	3.75%	- CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF		- 24’385 CHF	- 24’385 CHF
6	**Total Mieterträge**		**- CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**		**625’884 CHF**	**625’884 CHF**
7	**Bewirtschaftungskosten**	17%	**- CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**		**113’147 CHF**	**113’147 CHF**
8	**Lebenszykluskosten Annuität**			**36’942 CHF**	**36’942 CHF**		**36’942 CHF**	**36’942 CHF**
9	in % des Gebäudeneuwerts	0.57%						
10	**Erstellungskosten**		**8’049’270 CHF**					
11	**Total Ertrag**		- CHF	625’884 CHF	625’884 CHF		625’884 CHF	625’884 CHF
12	**Total Aufwand**		8’049’270 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF		150’088 CHF	150’088 CHF
13	**CASHFLOW**		**- 8’049’270 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**		**475’795 CHF**	**475’795 CHF**
14	**PRESENT VALUE**		**- 8’049’270 CHF**	**458’156 CHF**	**441’171 CHF**		**326’103 CHF**	**16’443’457 CHF**
15	Abzinsfaktor / Rentenbarwert Faktor		1.000	0.963	0.927		0.685	34.560
	MARKTWERT C2C					…		**12’282’290 CHF**
	Marktwert Linear							11’204’002 CHF
	Mehrwert C2C						9.6%	**+ 1’078’288 CHF**

Tabelle 10: DCF-Bewertung C2C-Objekt (gekürzte Darstellung)

DCF MARKTWERTERMITTLUNG Linear Objekt		0 2022 *Erstellung*	1 2023 *Vermietung*	2 2024 *Vermietung*	…	10 2032 *Vermietung*	11 2033 ***Residualwert***
1 Diskontsatz (nominal)		3.85%	3.85%	3.85%		3.85%	
2 Kapitalisierungssatz (netto)							2.69%
3 Lebensdauer (Jahre)							100
4 Mieterträge		- CHF	650'269 CHF	650'269 CHF		650'269 CHF	650'269 CHF
5 Sockelleerstand	3.75%	- CHF	- 24'385 CHF	- 24'385 CHF		- 24'385 CHF	- 24'385 CHF
6 **Total Mieterträge**		**- CHF**	**625'884 CHF**	**625'884 CHF**		**625'884 CHF**	**625'884 CHF**
7 **Bewirtschaftungskosten**	17%	**- CHF**	**113'147 CHF**	**113'147 CHF**		**113'147 CHF**	**113'147 CHF**
8 **Lebenszykluskosten Annuität**			**83'572 CHF**	**83'572 CHF**		**83'572 CHF**	**83'572 CHF**
9 in % des Gebäudeneuwerts	1.43%						
10 **Erstellungskosten**		**7'134'947 CHF**					
11 **Total Ertrag**		- CHF	625'884 CHF	625'884 CHF		625'884 CHF	625'884 CHF
12 **Total Aufwand**		7'134'947 CHF	196'719 CHF	196'719 CHF		196'719 CHF	196'719 CHF
13 **CASHFLOW**		**- 7'134'947 CHF**	**429'164 CHF**	**429'164 CHF**		**429'164 CHF**	**429'164 CHF**
14 **PRESENT VALUE**		**- 7'134'947 CHF**	**413'254 CHF**	**397'934 CHF**		**294'143 CHF**	**14'831'903 CHF**
15 Abzinsfaktor / Rentenbarwert Faktor		1.000	0.963	0.927		0.685	34.560
MARKTWERT LINEAR					…		**11'204'002 CHF**
Marktwert C2C							12'282'290 CHF
Minderwert LINEAR						-9.6%	**- 1'078'288 CHF**

Tabelle 11: DCF-Bewertung Linear-Objekt (gekürzte Darstellung)

Wie in den Reihen 8–10 der Tabelle 10 und 11 ersichtlich, werden die Unterschiede in der Bewertung durch die Erstellungskosten und die Annuität der Lebenszykluskosten erreicht. Die Hebelwirkung der jährlichen Rückstellungen bedingt, dass trotz eines 13 %-Zuschlags der Erstellungskosten ein Mehrwert von 9.6 % für das C2C-Objekt erzielt wird.

Für das C2C-Objekt wird mit jährlichen Aufwendungen von 0.57 % des Gebäudeneuwerts gerechnet. Beim Linear-Objekt hingegen fallen jährlich 1.43 % an. Der Vergleich mit branchenüblichen Kennwerten in Kapitel 3.5.2 (S. 42) hat gezeigt, dass beim C2C-Objekt die Annuität deutlich niedriger ausfällt als die Benchmarks der Immobilienklasse. Die Summe der Materialaktivierung von 23.9 % des Gebäudeneuwerts trägt positiv zur Reduktion bei. Überdies wird in der gesamten Lebensdauer von 100 Jahren für das Linear-Objekt mit einer weiteren Investitionssumme von 129.6 % des Gebäudeneuwerts gerechnet. Beim C2C-Objekt hingegen fallen die Lebenszykluskosten mit 120.6 % des Gebäudeneuwerts niedriger aus. Es werden die Instandsetzung und die Abbruch- und Rückbaukosten berücksichtigt. Für das C2C-Objekt wird mit einem 175 %-Zuschlag der Abbruch- und Rückbaukosten gerechnet. Dies basiert auf dem prognostizierten Mehraufwand einer sorgfältigen Demontage der Bauteile.

Die laufenden Kosten der Instandhaltung werden separat als Teil der jährlichen Eigentümerlasten abgebildet und für beide Objekte gleich bewertet. Die Differenzierung der Erneuerungsstrategie, welche die Anzahl der Sanierungszyklen des C2C-Obejkts um ein Drittel kürzt und so den Zeitraum der Rückstellungen um eine Periode verlängert, trägt ebenfalls positiv zur Bewertung der jährlichen Lebenszyklus-Aufwendungen bei.

4.1 Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse ermöglicht die Analyse der Hebelwirkung der DCF-Eingabeparameter auf die Marktwertermittlung. Es wird untersucht, wie solide der Effekt des C2C-Objekts gegenüber Veränderung anderer Werttreiber ist. Die Sensitivität des Marktwerts wird bei gleicher Veränderung des Linear- und C2C-Objekts durchgeführt. Eine einseitige Veränderung des C2C-Objekts wird separat untersucht. Die Werttreiber der Lebenszykluskosten werden in einer dritten Analyse aufgezeigt.

Sensitivität auf Marktwert: gleiche Veränderung der Musterobjekte

Sensitivität auf Marktwert			**Relative Sensitivität bei gleichmässiger Veränderung**						
			3.10%	*3.35%*	*3.60%*	*3.85%*	*4.10%*	*4.35%*	*4.60%*
Diskontierungssatz			-0.75%	-0.5%	-0.25%	0.0%	0.25%	0.5%	0.75%
	Delta								
Soll-Mieterträge	+	10%	9.6%	9.1%	8.6%	8.0%	7.5%	6.9%	6.2%
(p.a.)	+	5%	10.4%	9.9%	9.3%	8.8%	8.2%	7.5%	6.8%
	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-5%	12.5%	11.9%	11.3%	10.7%	10.0%	9.3%	8.5%
	-	-10%	13.9%	13.3%	12.6%	12.0%	11.2%	10.5%	9.6%
Instandhaltung	+	0.50%	11.5%	10.9%	10.4%	9.7%	9.1%	8.4%	7.7%
(p.a.)	+	0.25%	11.4%	10.9%	10.3%	9.7%	9.0%	8.4%	7.6%
	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-0.25%	11.3%	10.7%	10.2%	9.6%	8.9%	8.2%	7.5%
	-	-0.50%	11.2%	10.7%	10.1%	9.5%	8.9%	8.2%	7.5%
Lebenszyklus-	+	30%	18.4%	17.8%	17.2%	16.5%	15.8%	15.1%	14.3%
kosten	+	10%	13.5%	13.0%	12.4%	11.8%	11.1%	10.4%	9.7%
(p.a.)	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-10%	9.3%	8.8%	8.2%	7.6%	7.0%	6.3%	5.6%
	-	-30%	5.5%	5.0%	4.5%	3.9%	3.3%	2.6%	1.9%

Tabelle 12: Sensitivitätsanalyse bei gleicher Veränderung des C2C- und Linear-Objekts

In einem ersten Schritt wird an der identischen Risikoabschätzung beider Musterobjekte festgehalten. Die Eingabeparameter werden für beide Musterobjekte einheitlich verändert und der Mehrwert des C2C-Objekts wird ausgewiesen. In Tabelle 12 werden die Resultate präsentiert.

Die Analyse hat gezeigt, dass der Mehrwert des C2C-Objekts auch bei markanter Veränderung des Diskontierungssatzes bestehen bleibt. Bei einem Risikozuschlag von 75 Basispunkten (+0.75 %) wird der Mehrwert des C2C-Objekts um nur 21 % von 9.6 % auf 7.6 % reduziert.

Sinkende Mieterträge und dementsprechend ein sinkender Immobilienwert verstärken den C2C-Effekt weiter. Dies bedingt, dass Objekte auch an nicht zentralen Lagen mit höherem Risikozuschlag und niedrigeren Mieteinahmen vom Effekt der Kreislauffähigkeit profitieren. Dieses setzt die gleichbleibenden Erstellungs- und Lebenszykluskosten voraus.

Der Mehrwert des C2C-Objekts wird marginal bei steigenden Eigentümerlasten der Instandhaltung verstärkt. Der Effekt fällt jedoch im Verhältnis zum Diskontierungssatz nicht entscheidend ins Gewicht. Die Zunahme der Lebenszykluskosten hingegen bedingt eine massgebliche Steigerung des C2C-Effekts. Bei einer gleichmässigen Zunahme von einem Drittel

wird, in Abhängig des Diskontierungssatzes, der C2C-Marktwert verdoppelt. Der Effekt trifft auch in der Umkehrrichtung ein; mit einer 30 %-Reduktion der Kosten wird der C2C-Mehrwert halbiert. Es wird ersichtlich, dass die präzise Ermittlung der zukünftigen Instandsetzungskosten ausschlaggebend für den Wirkungsgrad des C2C-Effekts ist.

Sensitivität auf Marktwert: einseitige Veränderung des C2C-Musterobjekts

Sensitivität auf Marktwert			**Relative Sensitivität bei einseitiger Veränderung des C2C-Objekts**						
			3.10%	*3.35%*	*3.60%*	*3.85%*	*4.10%*	*4.35%*	*4.60%*
Diskontierungssatz			-0.75%	-0.5%	-0.25%	0.0%	0.25%	0.5%	0.75%
	Delta								
Soll-Mieterträge	+	10%	29.5%	29.4%	29.3%	29.2%	29.1%	29.0%	28.9%
(p.a.)	+	5%	20.4%	20.1%	19.8%	19.4%	19.0%	18.6%	18.2%
	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-5%	2.3%	1.5%	0.7%	-0.2%	-1.1%	-2.1%	-3.1%
	-	-10%	-6.8%	-7.8%	-8.8%	-9.9%	-11.1%	-12.4%	-13.8%
Instandhaltung	+	0.50%	10.2%	9.6%	9.0%	8.4%	7.7%	7.0%	6.2%
(p.a.)	+	0.25%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%	6.9%
	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-0.25%	11.9%	11.4%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.2%
	-	-0.50%	12.5%	12.0%	11.4%	10.9%	10.3%	9.6%	8.9%
Lebenszyklus-	+	30%	6.6%	6.2%	5.8%	5.4%	4.9%	4.4%	3.8%
kosten	+	10%	9.8%	9.3%	8.8%	8.2%	7.6%	7.0%	6.3%
(p.a.)	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-10%	12.9%	12.3%	11.7%	11.0%	10.3%	9.6%	8.8%
	-	-30%	16.1%	15.4%	14.6%	13.9%	13.1%	12.2%	11.4%
Erstellungskosten	+	10%	5.9%	4.8%	3.7%	2.4%	1.1%	-0.3%	-1.7%
(Total)	+	5%	8.6%	7.8%	6.9%	6.0%	5.1%	4.0%	2.9%
	+	0%	11.3%	10.8%	10.2%	9.6%	9.0%	8.3%	7.6%
	-	-5%	14.1%	13.8%	13.5%	13.2%	12.9%	12.6%	12.2%
	-	-10%	16.8%	16.8%	16.8%	16.8%	16.8%	16.9%	16.9%
Linear-Objekt	Delta								
Diskontierungssatz	+	0.0%	47.4%	33.3%	20.7%	9.6%	-0.3%	-9.1%	-17.0%

Tabelle 13: Sensitivitätsanalyse bei einseitiger Veränderung des C2C-Objekts

In einem zweiten Schritt wird die Risikoabschätzung gegenüber dem Benchmark für das C2C-Objekt differenziert. Die Werttreiber der DCF-Bewertung werden einseitig für das C2C-Objekt verändert. In Tabelle 13 werden die Resultate präsentiert.

Die Analyse hat gezeigt, dass eine veränderte Zahlungsbereitschaft für das C2C-Objekt den Mehrwert weiter ausbaut. Eine 5 %-Erhöhung der Mieterträge steigert den Mehrwert um 100 %. Diverse Studien haben in der Vergangenheit gezeigt, dass die Zahlungsbereitschaft für nachhaltige Gebäude ansteigt. Salvi zeigt 2010 auf, dass die Bereitschaft für Minergie-Wohnungen um 6 % höher liegt als bei konventionellen Wohnungen (S. 7–15). Die Risikoadjustierung des Diskontierungssatzes fällt ebenfalls stark ins Gewicht. Wie in Kapitel 3.3.2 (S. 31) dargestellt, kann die qualitative Objektbewertung durch eine Nachhaltigkeits-Zertifizierung eine Risikobewertung massgeblich beeinflussen. Der Effekt wird in der letzten Reihe der Tabelle 13 aufgezeigt. Eine Reduktion um 25 Basispunkte führt zu einer Verdopplung des Mehrwerts.

Es wird ebenfalls bestätigt, dass die Erstellungskosten ein wichtiger Hebel für den C2C-Mehrwert sind. Eine 10 %-Erhöhung gegenüber dem Linear-Objekt führt in Abhängigkeit des Diskontierungssatzes zu einer Reduktion von etwa zwei Drittel.

Sensitivität auf Marktwert: Lebenszykluskosten des C2C-Objekts

Sensitivität LCC C2C			**Veränderung LCC Total**	**LCC Total**	**Mehrwert C2C**
Diskontierungssatz		3.85%	%	% von GdN	%
	Delta				
Materialaktivierung	+	50%	-12.3%	0.50%	11.4%
(Total)	+	30%	-7.4%	0.52%	10.7%
	+	15%	-3.7%	0.54%	10.1%
	+	0%	0%	0.57%	9.6%
	-	-15%	3.7%	0.59%	9.1%
	-	-30%	7.4%	0.61%	8.6%
	-	-50%	12.3%	0.64%	7.9%
Laufzeit	+	10	-30%	0.39%	13.9%
Sanierungszyklen	+	5	-17%	0.47%	12.0%
(Jahre)	+	0	0%	0.57%	9.6%
	-	-5	22%	0.69%	6.6%
	-	-10	50%	0.85%	2.5%
Lebenszyklus-	+	30%	30%	0.73%	5.4%
kosten	+	10%	10%	0.62%	8.2%
(Total)	+	0%	0%	0.57%	9.6%
	-	10%	-10%	0.51%	11.0%
	-	30%	-30%	0.40%	13.9%

Tabelle 14: Sensitivitätsanalyse der C2C-Lebenszykluskosten

In einem letzten Schritt werden die Werttreiber der Lebenszykluskosten des C2C-Objekts analysiert. Der Einfluss der Annuität ist massgebend für den Mehrwert des Kreislaufobjekts. Es werden die Materialaktivierung, die Erneuerungsstrategie und die Summe der Lebenszyklus-kosten isoliert untersucht. In Tabelle 14 werden die Resultate der Sensitivitätsanalyse präsentiert.

Die Analyse hat gezeigt, dass der C2C-Mehrwert entscheidend durch die Höhe der Kosten und die Laufzeiten der Erneuerungsstrategien bestimmt wird. Eine Kürzung der Nutzungsperiode von fünf Jahren führt so zu einer Halbierung des Mehrwerts. Die Materialaktivierung beeinflusst den Marktwert, jedoch reagiert dieser weniger sensibel. Eine Verdopplung der Materialerträge führt in Abhängigkeit des Diskontierungssatzes zu einem Wertgewinn von etwa einem Viertel gegenüber dem Benchmark des Linear-Objekts.

Es ist anzumerken, dass auch bei einer erheblichen Veränderung der Wertreiber die Annuität mit maximal 0.73 % im Verhältnis zum Gebäudeneuwert deutlich unter den Aufwendungen des Linear-Objekts mit 1.43 % liegt. Eine eigene Risikobewertung des C2C-Diskontierungssatzes und der Zahlungsbereitschaft des Markts bietet Potenzial, den C2C-Effekt weiter auszubauen.

5. Schlussbetrachtung

5.1 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit wurde analysiert, ob infolge des kreislauffähigen Konstruktionsprinzips ein positiver Effekt auf die Marktwertermittlung verzeichnet werden kann. Hierzu wurde ein standardisiertes Musterobjekt, sowohl in einer linearen als auch kreislauffähigen Konstruktionsweise, moduliert und mittels DCF-Verfahren bewertet. Die Grundrisse und dementsprechend die resultierende Wohnfläche werden durch die Anpassungen des Konstruktionsprinzips nicht verändert. Das entwickelte Musterobjekt steht repräsentativ für eine mittelgrosse Wohnliegenschaft, die als Renditeobjekt an zentraler Lage im Urbanzentrum der Schweiz errichtet wird.

Für das Linear-Objekt wurde ein konventionelles Vorgehen gewählt, das dem heutigen Stand der Technik entspricht. Es kommt eine Massivbauweise aus Mauerwerk und Stahlbeton zur Anwendung. Die ausgewählten Verbindungen der Materialschichten sind überwiegend chemisch verankert und die Gebäudegruppen der Teritär-, Sekundär- und Primärstruktur sind zu einem späteren Zeitpunkt nicht trennbar. Für das kreislauffähige Objekt wurde eine Holzhybrid-Bauweise gewählt. Die Bauteile sind mehrheitlich vorfabriziert und mit einem modularen sowie standardisierten Aufbau konstruiert. Die verschiedenen Gebäudeschichten können durch reversible Verbindungsmittel leicht demontiert und sortenrein getrennt werden. Die C2C-Konstruktion basiert auf herkömmlichen, im Bauwesen standardisierten und etablierten Fertigungsprozessen.

Für die DCF-Bewertung wurden die Kapitalflüsse über die Gesamtlebensdauer erfasst und auf den Bewertungsstichtag diskontiert. Es kommt ein 2-Phasen-Bewertungsmodell mit einem Residualwert nach zehn Jahren zur Anwendung. Die initialen Erstellungskosten, die Erträge der Mieten sowie die Eigentümerlasten der Bewirtschaftung wurden für die Bewertung definiert.

Zusätzlich wurden für die Untersuchung der finanzielle sowie zirkulare Wert der verwendeten Materialien und Bauteile mittels Madaster-Materialpass ermittelt. Für das Linear-Objekt kommt das heute angewendete konventionelle Vorgehen, ohne Berücksichtigung eines zukünftigen finanziellen Werts der Materialien zur Anwendung. Für die Marktwertermittlung wurden die Erträge und die Kosten im Lebenszyklus gegenübergestellt und als Annuität in die DCF-Bewertungsmodelle integriert. Die Instandsetzungskosten und die gebäudespezifischen Erneuerungsstrategien wurden über die Angaben des Zirkularität-Werts zur Lebensdauer der Gebäudeschichten definiert.

Die Untersuchungen dieser Case-Study haben ergeben, dass bei der Ermittlung des Marktwerts der C2C-Immobilie ein deutlicher Mehrwert von +9.6 % gegenüber dem heute angewendeten linearen Vorgehen erzielt werden kann. Infolge des kreislauffähigen Konstruktionsprinzips konnte, trotz der 13 % höheren Erstellungskosten, der positive Effekt verzeichnet werden. Die Optimierung der Lebenszykluskosten und dementsprechend das Berücksichtigen der unterschiedlichen Austauschzyklen der Bauteile führen zu einer Reduzierung der jährlichen Rückstellungen. Im Laufe des Lebenszyklus muss sowohl für das konventionelle Linear, also auch für das kreislauffähige Objekt über das Doppelte der Neubaukosten für die Instandsetzung investiert werden. Beim C2C-Objekt konnte über die gesamte Lebensdauer von 100 Jahren eine Reduktion von 22 % der Instandsetzungskosten ausgewiesen werden. Zusätzlich werden durch das Erfassen aller Materialien und die Auswertung der finanziellen Werte weitere Erträge im Lebenszyklus verbucht. Insgesamt 23.9 % des C2C-Gebäudeneuwerts konnten für die Materialaktivierung gutgeschrieben werden.

Der Mehrwert des C2C-Effekts wird zusammengefasst über die Summe der jährlichen Rückstellungen in den Bewertungsprozess des DCF-Verfahrens integriert. Mit der einfachen Herangehensweise wird bestätigt, dass der C2C-Ansatz ein Wertsteigerungspotenzial für Immobilienanlagen darstellt. Für die Annuitätsrechnung werden die Erträge und die Kosten über einen einheitlichen Tilgungsfaktor diskontiert. Die Rechnungsmethode wird in Kapitel 3.5.2 aufgezeigt.

Die Ausarbeitung der Case-Study hat gezeigt, dass die Informationen des Materialpasses über den finanziellen Wert der Materialien (Kapit. 3.3.1) und den Zirkularität-Index der Lebensdauer (Kapit. 3.3.2) massgebend für den Mehrwert des C2C-Objekts sind. Die überdurchschnittlichen Nutzungsperioden der C2C-Gebäudehülle und des Innenausbaus von 132 % und 121 % ermöglichen die Reduzierung der Hauptsanierungszyklen um ein Drittel. Dies bedingt, dass der Zeitraum der Rückstellungen um eine Periode verlängert werden kann. Zusammen mit den Erträgen der Materialaktivierung können die jährlichen Aufwendungen um 39 % gesenkt werden. Die angewendete lineare Methode zur Quantifizierung der Erneuerungsaufwendungen hat sich für die Erhebung bewährt, auch wenn langfristige Datengrundlagen für das C2C-Objekt noch mangelhaft sind. Die Ausarbeitung der gebäudespezifischen Erneuerungsstrategien wird in Kapitel 3.4 dargestellt.

Die Untersuchungen der einzelnen Werttreiber des C2C-Effekts haben ergeben, dass der Wirkungsgrad entscheidend durch die Laufzeiten der Austauschzyklen und die Erstellungskosten der Immobilie bestimmt wird. Eine Kürzung der Nutzungsperioden um fünf Jahre führt zu einer Halbierung des Mehrwerts. Eine 10 %-Erhöhung der Erstellungskosten gegenüber dem Linear-Objekt führt in Abhängigkeit des Diskontierungssatzes zu einer Reduktion von etwa zwei Drittel. Die Summe der Materialaktivierung beeinflusst den Mehrwert, jedoch reagiert der Marktwert mit 0.33 % je 10 % zusätzlichem Ertrag weniger sensibel.

Es ist anzumerken, dass auch bei einer markanten Veränderung des Diskontierungssatzes der Mehrwert des C2C-Objekts bestehen bleibt. Ein Risikozuschlag von 75 Basispunkten (+0.75 %) reduziert den Mehrwert um weniger als 21 %. Das Potenzial einer eigenen Risikobewertung des C2C-Objekts kann in zukünftigen Forschungen analysiert werden. Die Case-Study-Analyse hat gezeigt, dass ein Abschlag von 25 Basispunkten (–0.25 %) für das C2C-Objekt einen Wertgewinn von 100 % bewirkt.

Es ist zu resümieren, dass die präzise Ermittlung der zukünftigen Lebenszykluskosten und deren unbeschönigte Berücksichtigung in der DCF-Bewertung ausschlaggebend für den Wirkungsgrad des C2C-Effekts sind. Die ermittelten Lebenszykluskosten führen bei beiden Musterobjekten zu deutlichen Mehrkosten gegenüber den initialen Erstellungskosten. Durch die Optimierung der Nutzungsphasen sowie eine Berücksichtigung der finanziellen Werte im Lebenszyklus ermöglicht das kreislauffähige Konstruktionsprinzip, die zukünftigen Aufwendungen zu reduzieren und dementsprechend den Marktwert zu steigern.

5.2 Diskussion und Ausblick

Mit dieser Arbeit wird ein erster Ansatz aufgezeigt, um die kreislaufwirtschaftlichen Eigenschaften für die DCF-Bewertung zu quantifizieren. Der Fokus der Arbeit wurde auf die im Lebenszyklus anfallenden Erträge und Kosten gelegt.

Es ist festzuhalten, dass für das C2C-Kreislaufobjekt noch keine langfristigen Untersuchungen bezüglich der detaillierten Lebenszyklusaufwendungen existieren. Dementsprechend wird, um die Vergleichbarkeit der beiden Musterobjekte zu gewährleisten, mit vereinfachten Erneuerungsstrategien gearbeitet. Diese stützen sich auf die Lebensdauerangaben der Gebäudegruppen. Es wird mit einem linearen Kostenverlauf und gleichmässiger Diskontierung über den gesamten Lebenszyklus gerechnet. Um den Effekt der Diskontierung exakt abzubilden, müssen die Kapitalflüsse einzeln über den gesamten Lebenszyklus im DCF-Modell erfasst und diskontiert werden. Je umfangreicher die Datengrundlagen, desto detaillierter und präziser können die Auswertung und schlussendlich die Marktwertermittlung sein. Zum jetzigen Zeitpunkt wurde für den Vergleich der Case-Study ein vereinfachtes 2. Phasenverfahren der DCF-Bewertung gewählt.

Unsicherheiten der Rohstoffpreisentwicklung

Die Arbeit ist eine empirische Untersuchung, die sich auf Annahmen stützt, so auch die zukünftigen Rohstoffwerte der Materialien. Hierzu wurde in der Madaster-Plattform eine Trendline für die weitere Wertentwicklung basierend auf der historischen Preisentwicklung bestimmt. Die zukünftige Abnehmerbereitschaft am Sekundärmarkt ist jedoch starken Schwankungen ausgesetzt und kann erheblich von der historischen Preisentwicklung abweichen. Panzer und Söderholm (2012) untersuchten zum Beispiel eine 40 bis 60 %-Steigerung der Rohstoffpreisentwicklung in den nächsten Dekaden (S. 4). Das World Economics Forum WEF prognostiziert sogar eine weitere Verdreifachung der Materialverknappung (Brenner, 2015, S. 5).

Für die Erstellung des Materialpasses in Madaster ist die finanzielle Entwicklung der Materialwerte eine der grössten Unbekannten. Die Untersuchungen anhand der Case-Study haben zwar gezeigt, dass der Effekt der Materialaktivierung deutlich weniger Auswirkungen auf den Marktwert ausübt als die Werttreiber der Erneuerungsstrategien, jedoch steht das Ausmass der Materialaktivierung in Abhängigkeit zur Grössenordnung der Preisentwicklung. Die vom WEF prognostizierte Verdreifachung der Materialpreise würde einen erheblichen Hebel auf die Marktwertermittlung ausüben.

Die Risikoreduzierung der Preisermittlung bedingt eine ständige Aktualisierung sowohl der lokalen als auch globalen Marktentwicklung. Dies trifft auf die Rohstoffpreise sowie auf die Kosten der Korrekturfaktoren zu. Bedingt durch die Vielfalt der Abnehmermärkte und die Abhängigkeit zu sehr lokalen Verarbeitern ist dies mit erheblichem Aufwand für eine global agierende Plattform wie Madaster verbunden. Je präsenter und etablierter die Konstruktionsprinzipien der Kreislaufwirtschaft in der Bauindustrie werden, desto exakter können die zukünftigen Preise bestimmt werden. Für die Vergleichbarkeit der Marktwertermittlung wird ein einheitliches und standardisiertes Vorgehen zur Wertbestimmung der Gebäudematerialwerte unabdingbar. Das Etablieren von Abnehmergarantien der Hersteller für Produkte wird zur Standardisierung der Preisermittlung beitragen. Der finanzielle Mehrwert liegt nicht rein im Material, sondern in der Wiederverwendbarkeit der Produkte.

Es ist hervorzuheben, dass für die Untersuchung mit einer durchschnittlichen Reduzierung von 55 % gegenüber dem reinen Rohstoffwert gerechnet wird. Dies entspricht einem sehr konservativen Vorgehen und bietet weitgehend Potenzial, den C2C-Effekt mit einer Weiterentwicklung des Finanzmoduls auszubauen.

Anwendung für weitere Immobilienklassen

Die Case-Study-Analyse bedingt die Limitierung auf spezifische Rahmenbedingungen der Musterobjekte. Dies entspricht einer lokalen Verankerung im Schweizer Markt sowie der Festlegung der Nutzungsart und Projektgrösse. Von einer Übertragbarkeit in weitere Immobilienklassen und Standorte wird durch die universal anwendbaren Konstruktionsprinzipien

der Kreislaufwirtschaft ausgegangen. Das Ausmass des C2C-Effekts ist jedoch nicht validiert. Eine Skalierung der Projektgrösse muss nicht zwingend mit einer Skalierung des Marktgewinns einhergehen. Die Sensitivität des C2C-Mehrwerts bei Veränderung des Standorts, Projektgrösse und Nutzungsart der Immobilie müssen in einem weiteren Forschungsschritt analysiert werden.

Potenzial für einen Wertgewinn bei einer Abänderung der Immobilienklasse wird durch die verhältnismässig niedrigen Lebenszykluskosten der Wohnnutzung aufgezeigt. In Abbildung 15 werden die Aufwendungen der unterschiedlichen Nutzungen im Verhältnis zu ihren Erstellungskosten dargestellt. Über einen Zeitraum von 45 Jahren wird für eine Wohnimmobilie mit einer zusätzlichen Investition von etwa 50 % der Erstellungskosten gerechnet. Bei einem Bürogebäude fallen bereits über 300 % der initialen Kosten an und bei einer Spitalnutzung wird mit weit über 500 % kalkuliert. Die Hebelwirkung der C2C-Bauweise könnte sich auf die weiteren Immobilienklassen stärker auswirken als bei der klassischen Wohnnutzung.

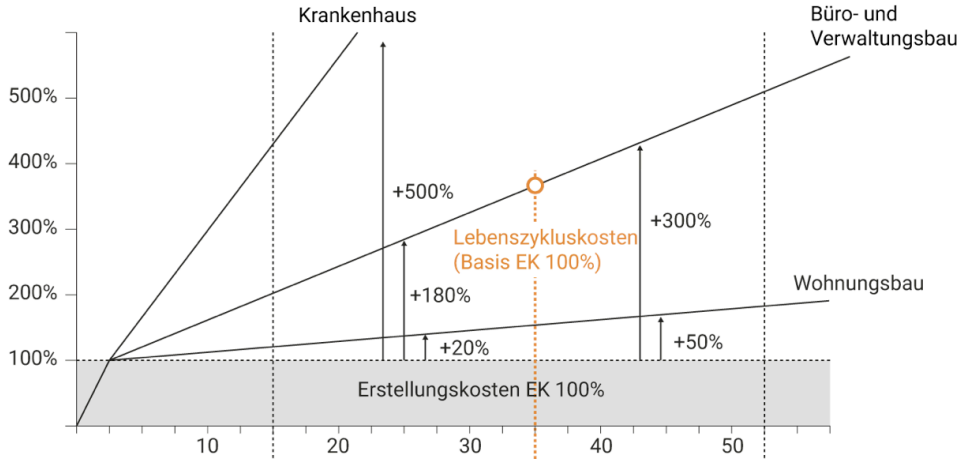


Abbildung 15: Lebenszykluskosten im Verhältnis zu Erstellungskosten (Quelle: Menz, 2019, S. 2)

Standardisierung und Normierung

Der C2C-Ansatz basiert auf einem Kreislauf, indem die Verbrauchsgüter nach ihrer Nutzung wieder in den Markt zurückgeführt werden können. Damit die Produkte und Materialien in einem globalen Abnehmermarkt ohne Verlust zirkuliert werden können, benötigt es einer einheitlichen Normierung der Montage- und Fertigungsprozesse. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, dass eine Standardisierung hinter dem aktuellen Geschehen hinterhergeht (Koller, 2021).

Es existieren eine Reihe von Organisationen, die für die Normierung und Standardisierung der Kreislaufwirtschaft im europäischen Raum verantwortlich sind. Der schweizerische Ingenieur- und Architektenverein SIA hat sich mit dem Positionspapier ‘Klimaschutz, Klimaanpassung und Energie’ im Oktober 2020 stark zu nachhaltigem Handeln positioniert, jedoch noch keinen direkten Bezug zur Standardisierung der Kreislaufwirtschaft vorgenommen. Das European Committee for Standardization CEN ist übergeordnet für die Harmonisierung der Normen für

Baustoffe und Produkte verantwortlich. Zum Zeitpunkt des Einreichens dieser Arbeit befindet sich die Norm (CEN/TC 207) zur 'Zirkularität – Anforderungen und Bewertungsmethoden für die Demontage/Remontage' im Aufbau. Diese Norm bezieht sich spezifisch auf die Produkte des Innenausbaus. In einem weiteren Schritt sollen Normen zur Konstruktion sowie zur äusseren Wandbekleidung folgen. Ein neues Technical Committee (ISO/TC 323) der International Organization for Standardization ISO wurde 2018 für die Normierung der Kreislaufwirtschaft ins Leben gerufen. Verschiedene Datenblätter des Komitees befinden sich zum Zeitpunkt des Einreichens dieser Arbeit im Aufbau (ISO/AWI 59040; ISO/WD 59020.2).

Die anstehenden Publikationen zeigen deutlich, dass mit einer fachlichen Weiterentwicklung in den nächsten 1–2 Jahren zu rechnen ist. Dies gibt Planern, Unternehmern, Produzenten und Verarbeitern ein gemeinsames Regelwerk, um die Transformation der Kreislaufwirtschaft zu bewerkstelligen.

Umdenken der Arbeitsmethodik

Um den ökonomischen Mehrwert des C2C-Prinzips zu erwirtschaften, bedingt es das rechtzeitige Einbinden von Informationen zu Erträgen und Kosten im Lebenszyklus. Eine automatisierte Verknüpfung der marktrelevanten Informationen durch die Schnittstelle des 'Building Information Modeling' BIM ermöglicht es, in den frühen Phasen die Lebenszykluskosten zu optimieren. Es wird eine digitale Entscheidungsgrundlage geschaffen werden, welche die Unschärfe für Investor, Planer und Bewerter bezüglich der künftig anfallenden Kosten verringert. Dies bedingt die Anpassung und Standardisierung der Arbeitsmethodik aller Beteiligten sowie die Professionalisierung der marktrelevanten Informationsträger. Die Schnittstelle des BIMs kann nur dann einen Mehrwert für die Kreislaufwirtschaft bieten, wenn die Informationsangaben ausreichend detailliert sind. Das Akkumulieren der Datengrundlagen für Plattformen wie Madaster werden entscheidend für den langfristigen Erfolg des Materialpasses sein.

Weitere Aspekte für die Optimierung des C2C-Ansatzes:

1. Eine Komponente, die nicht in die Betrachtung eingeflossen ist, ist die Entwertung infolge einer Veränderung des wirtschaftlichen Nutzens und der Verlust an Nutzungspotenzial der Immobilie. Die klare Trennung der Gebäudestrukturen und die Lastenbefreiung der Fassade ermöglichen eine verhältnismässige einfache Anpassung der C2C-Immobilie an zukünftige Bedürfnisse der Nutzer und des Markts. Es könnte mit einem gesteigerten Nutzungspotenzial sowie längerer Gesamtlebensdauer gerechnet werden. Der Mehrwert für die wirtschaftliche Entwertung müsste im Rahmen von zukünftigen Forschungen analysiert werden.

2. In der Ausarbeitung wurden die Leerstände während der Hauptsanierungszyklen nicht berücksichtigt. Es besteht Potenzial, dass durch die vereinfachten Instandsetzungsaufwendungen des C2C-Objekts verkürzte Leerstandszeiten im DCF-Modell angesetzt werden können.

3. Für die Untersuchung des Linear-Objekts wurde das heute angewendete konventionelle Vorgehen, ohne Materialaktivierung, verwendet. Es besteht auch hier Potenzial, die Materialien für das Recycling aufzuarbeiten. Auch wenn überwiegend ein Downcycling angesetzt wird, könnte ein finanzieller Wert in der Annuitätsrechnung der Lebenszyklusaufwendung berücksichtigt werden.

4. Eine Nachhaltigkeits-Zertifizierung des Kreislaufprinzips bietet Potenzial für weitere Stellschrauben in der DCF-Bewertung. Wie in Kapitel 3.3.2 (S. 31) dargestellt, könnte die qualitative Objektbewertung die Risikobemessung des Diskontsatzes massgeblich beeinflussen. Überdies besteht Potenzial, dass eine Zertifizierung eine finanzielle Förderung des Objekts begünstigt. Die Subventionierung könnte über direkte Fördergelder, verbesserte Kreditbedingungen oder steuerliche Begünstigungen verbucht werden. Das Ausmass wird sich im Rahmen der Professionalisierung der Kreislaufwirtschaft in den nächsten Jahren zeigen.

Literaturverzeichnis

Arnold, K., Geibler, J. (2009). *Kaskadennutzung von nachwachsenden Rohstoffen: ein Konzept zur Verbesserung der Rohstoffeffizienz und Optimierung der Landnutzung (Vol. 180).* Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie.

Babaian, S. (1998). *The Most Benevolent Machine: A Historical Assessment of Cycles in Canada*. Ottawa: National Museum of Science and Technology.

Baustoffrecycling Schweiz (2020). *Kreislaufwirtschaft als Fundament der Schweiz*. Gefunden unter https://www.spektrumbau.ch/portfolio/arv-baustoffrecycling-schweiz/

Bidgoli, H. (2010). *The Handbook of Technology Management, Supply Chain management, marketing and Advertising, and Global Management (Vol. 2)*. John Wiley & Sons.

Brand, S. (1995). *How buildings learn: What happens after they're built*. Penguin Group

Brauer, K. (2013). *Grundlagen der Immobilienwirtschaft*. *Recht Steuern Marketing Finanzierung Bestandsmanagement Projektentwicklung.* Wiesbaden: Springer Gabler Fachmedien

Brenner. V, (2015). Gebäude als Rohstoffdepots. *Präsentation anlässlich des 2015 Forum Ö Verband für nachhaltiges Wirtschaften*, Zürich.

Brundtland, G. H. (1987). Our common future—Call for action. *Environmental Conservation*, *14*(4), S.291-294.

Bundesamt für Energie BFE (2020. 31.Oktober). Lebenszykluskosten – eine effiziente und breite Anwendung. *Schlussbericht.* Bern: Autor.

Bundesamt für Statistik BFS (2020a). *Bauinvestitionen nach Kategorie der Bauwerke. September 28. 2020.* Gefunden unter https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/bau-wohnungswesen/ bautaetigkeit/bauausgaben.html

Bundesamt für Statistik BFS (2020b). *Durchschnittliche Wohnfläche nach Zimmerzahl und Kanton. Oktober 8.2020.* Gefunden unter https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/ statistiken/bau-wohnungswesen/wohnungen/ groesse.html

Bundesamt für Statistik BFS (2021a). *Landesindex der Konsumentenpreise (Dezember 2015= 100) Juli 01.2021*. Gefunden unter https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/ home/statistiken/preise/ landesindex-konsumentenpreise.html

Bundesamt für Statistik BFS (2021b). *Schweizerischer Baupreisindex - Aktuelle Resultate pro Grossregion. Juni 24.2021.* Gefunden unter https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/ preise/ baupreise/baupreisindex.html

Bundesamt für Umwelt (2014). *Optimierung der Lebens- und Nutzungsdauer von Produkten*. Gefunden unter https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/37479.pdf

Canonica, F. (2009). *Die Immobilienbewertung: Schätzerwissen im Überblick*. Schweizerischer Immobilienschätzer-Verband SIV.

Cheridito, Y., & Schneller, T. (2004). Der Residualwert in der Unternehmensbewertung. *Der Schweizer Treuhänder*, 2014(9), S.735-741.

Circular Economy Switzerland CES (2021). *Bewegung für eine Kreislaufwirtschaft*. Gefunden unter https://circular-economy-switzerland.ch

CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (2012a). *Objektarten-Katalog OAK: Kennwerte im Wohnungsbau*. Zürich. CRB

CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (2012b). *Objektarten-Katalog OAK: Wohnbauten im Vergleich*. Zürich. CRB

CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (2012c).*Handbuch LCC Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken*. Zürich. CRB

Derix Gruppe (2021). *Bauwende und 'Cradle to Cradle'. DERIX-Gruppe macht Rücknahme gebrauchter Bauteile zum Standard*. Gefunden unter https://www.derix.de/de/aktuelles/news/derix-gruppe-bauwende-und-cradle-to-cradle-jetzt

Drees und Sommer Gruppe (2013). *Jahresbericht 2013*. Gefunden unter https://www.dreso.ch/fileadmin/Presse/Mediathek/Berichte_und_Studien/drees-und-sommer-jahresbericht-2013.pdf

Ellen MacArthur Foundation (2012). *Circular Economy Diagram*. Gefunden unter https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram

EMPA (2016). *NEST-Innovationsobjekte in der Unit Urban Mining & Recycling*. Gefunden unter https://www.empa.ch/de/web/nest/urban-mining

Europäische Kommission (2015). *Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft. COM(2015) 614 final.* Brüssel: Autor.

Europäische Kommission (2018, 22.Mai). Kreislaufwirtschaft: Neue Vorschriften – EU übernimmt globale Vorreiterrolle in Abfallbewirtschaftung und Recycling. *Pressemittelung.* Brüssel: Autor.

Europäische Kommission (2019). *Reflexionspapier. Auf dem Weg zu einem nachhaltigen Europa bis 2030. COM(2019) 22 final*. Brüssel: Autor.

Fischer, M. (2020). *Circular Hub. Die offene Wissens- und Netzwerkplattform für die Kreislaufwirtschaft in der Schweiz.* Vorlesung des Studiengangs Master of Advanced Studies in Real Estate. Universität Zürich, CUREM.

Geisselhardt, P. & Schelker, R. (2020, 09. November). EvaluRec. Evaluation der Rezyklierbarkeit. *Drescheibe Kreislaufwirtschaft Swiss Recycling*, S.1-10

Goumaz, A. (2021). *Kreislaufwirtschaft. Wie bereitet sich die Schweiz auf die Einführung von Produktpässen oder Materialpässen vor?* Ständerat, Interpellation 21.3196

Hersberger, D. (2008). *Wertermittlung mit dem DCF-Verfahren bei Wohn- und Büroimmobilien in der Schweiz und Deutschland*. 1. Auflage. Wiesbaden: IZ Immobillienzeitung Verlag

Hofer, G. (2015). Die Lebenszykluskosten im Griff: Tool zur Berechnung von Lebenszykluskosten. *Netwerk Bau Wissen und Wission*. 2015 Gefunden unter https://www.stempkowski.at/wp-content/uploads/ 2015/05/NWB15_Hofer_LZKimGriff.pdf

Impulsprogramm Bau IP BAU (1994). *Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten: Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten*. Bern: Bundesamt für Konjunkturfragen

Prince, J. (2016) Interview: *The True Story of France's Fight against Planned Obsolescence*. Gefunden unter https://buymeonce.com/blogs/articles-tips/interview-france-fight-planned-obsolescence

Kempf, C., & Hens, T. (2016). *How Green Buildings Mitigate Risk.* Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis. University of Zurich

Kerbrat, Y. (2016). *Einfluss des Cradle to Cradle® Nachhaltigkeitskonzepts auf die Marktwertermittlung von Gebäuden*. Masterthesis zur Erlangung des Master of Advanced Studies in Real Estate, Universität Zürich, CUREM.

Koller, S. (Moderator) (2021, 14. April). F*olge 4: zirkuläres Bauen. SIA Norm und Ordnung* [Podcast]. Gefunden unter https://norm-und-ordnung.simplecast.com/episodes/norm-und-ordnung-folge-4-zirkulares-bauen

Kommer, J. (2020). *Gebäuderecyclierung. Cradel to Cradel.* Vorlesung des Studiengangs Master of Advanced Studies in Real Estate. Universität Zürich, CUREM.

Koordinationskonferenz Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB (2017, 27. November). Lebensyzkluskosten. *Faktenblatt zum Nachhaltigen Immobilienmanagement*

Krug, K. (1985). *Wirtschaftliche Instandhaltung von Wohngebäuden durch methodische Inspektion und Instandsetzungsplanung*. Doctoral dissertation Ph. D. Thesis. Universität Braunschweig, Fachbereich für Bauingenieur und Vermessungswesen

Libaert, T. & Haber, J. (2014). Stellungnahme des Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschusses Für einen nachhaltigeren Konsum: die Lebensdauer von Industrieprodukten und die Verbraucher information zugunsten eines neuen Vertrauens. *Amtsblatt der Europäischen Union*. 2014 (67/05) S.23-26

Madaster (2019, 4. März). Schweizer Lösung für Kreislaufwirtschaft in der Bau- und Immobilien branche gelauncht. *Pressemittelung.* Zürich: Autor.

Madaster (2021a). *Madaster Finanzielles Modul*. *Eine Erläuterung des Finanzmoduls innerhalb der Madaster-Plattform*. Gefunden unter https://docs.madaster.com/de/de/

Madaster (2021b). *Materialpass Auswertung auf digitaler Plattform: Finanzieller und Zirkulärer-Wert*. Gefunden unter: https://platform.madaster.com/

Madaster (2021c). *Madaster Zirkularitätsindikator. Der Zirkularitätsindikator innerhalb der Madaster-Plattform* Juni 21.2021. Gefunden unter https://docs.madaster.com/de/de/

Marks, D. (2015). *Lebenszykluskosten eines Gebäudes optimieren*. Gefunden unter https://bautipps. almondia.com /bauplanung/hausplanung/lebenszykluskosten-gebaeude/

McDonough, W., & Braungart, M. (1992). The Hannover Principles. *William McDonough Architects*, *640*.

McDonough, W., & Braungart, M. (1998). The next industrial revolution. *The Atlantic Monthly*, *282*(4).

McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. New York: North point press.

McGrath, K. M. (2013). The effects of Eco-Certification on office properties: A Cap Rates-based analysis. *Journal of Property Research, 30(4)*, S. 345–365.

Meinhold, K. (2011). Der ökologische Fußabdruck. Ein ganzheitlicher Bewertungsansatz von Nachhaltigkeit. *Zeitschrift für Fach- Lehr und Beratungskräfte (2011)* Heft 1, S. 2-7.

Menz, S. (2019, 20. Oktober). Lebenszykluskosten. *Professur für Architektur und Bauprozess.* Gefunden unter https://map.arch.ethz.ch/artikel/47/lebenszykluskosten

Panzer, C., & Söderholm, P. (2012). *Investitionen erneuerbarer Energietechnologien unter dem Einfluss schwankender Rohstoffpreise–eine ökonometrische Analyse*. Präsentation der Energy Economics Group. Wien, Technische Universität

Peters, H. (1984). *Instandhaltung und Instandsetzung beim Wohnungseigentum*. Wiesbaden: Bau-Verlag.

Pfründer, U. (2010). *Empiriegestützte, lebenszyklusorientierte Instandhaltungsstrategien für Immobilien der öffentlichen Hand*. Doktorarbeit Fakultät für Bauingenieur-, Geo-und Umweltwissenschaften, Universität Karlsruhe

Prisca, B. (2019). *Kreislaufwirtschaft. Verbesserung und Kennzeichnung der Reparatur-freundlichkeit von Produkten*. Ständerat, Motion 19.4597

Rotermund Ingenieure (2014, 27. Feb). Nutzungskosten unterschätzt: FM Benchmarking Bericht 2014. *Immobilien Zeitung*. S.2 Gefunden unter https://www.immobilien-zeitung.de/125377/nutzungskosten-unterschaetzt

Salvi, M. (2010). *Der Minergie-Boom unter der Lupe: Eine Marktanaylse der ZKB*. Zürich: Center for Corporate Responsibility and Sustainability (CCRS) an der Universtität Zürich.

Schweizer Bundesversammlung (2014, 12.Februar). Für eine nachhaltige und ressourcen-effiziente Wirtschaft (Grüne Wirtschaft). Volksinitiative und indirekter Gegenvorschlag. *Geschäft des Bundesrat* 14.019.

Schweizer Bundesversammlung (2017, 15.Juni). Die Chancen der Kreislaufwirtschaft nutzen. Steuerlicher Anreize und weiterer Massnahmen. *Stellungnahme des Ständerat.* Interpellation 21.3196.

Schweizer Bundesversammlung (2021, 16.März). Kreislaufwirtschaft. Wie bereitet sich die Schweiz auf die Einführung von Produktpäs- sen oder Materialpässen vor? *Stellungnahme des Ständerat.* Postulat 17.3505.

Schweizerische Vereinigung kantonaler Grundstückbewertungsexperten SVKG (2019). *Das Schweizerische Schätzerhandbuch; Bewertung von Immobilien*. 5. Auflage. Verlag SVKG

Schweizerischer Ingenieur- und Archtitektenverein SIA (1997). *SIA Ordnung 469, Erhaltung von Bauwerken*. Zürich

Schweizerischer Ingenieur- und Archtitektenverein SIA (2020, 23.Oktober). Klimaschutz, Klimaanpassung und Energie. Die Ziele des SIA für den Gebäude- und Infrastrukturpark im Angesicht des Klimawandels. *Positionspapier*. Zürich: Autor

Slade, G. (2006). *Made to Break: Technology and Obsolescence in America*. Harvard University Press.

Stamminger, R. (2016). Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen Obsoleszenz *Universität Bonn, Institut für Landtechnik. UBA Texte*. 2016 (11)

Statistische Bundesamt (2019). *Umwelt Abfallbilanz. Abfallaufkommen/-verbleib, Abfall-intensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen.* Gefunden unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-mwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/_inhalt.html

Swiss Recycling (2021). *Leitfaden. Drehscheibe Kreislaufwirtschaft. Kennzeichnung und Produktebeschriftung.* Gefunden unter http://www.swissrecycling.ch/dienstleistungen/

Vliet, M. & Teunizen, J. (2021). Circular Buildings Meetmethodiek Losmaakbaarheid. Versie 2.0 Gefunden unter https://www.dgbc.nl/publicaties/circular-buildings-een-meetmethodiek-voor-losmaakbaarheid-v20-41

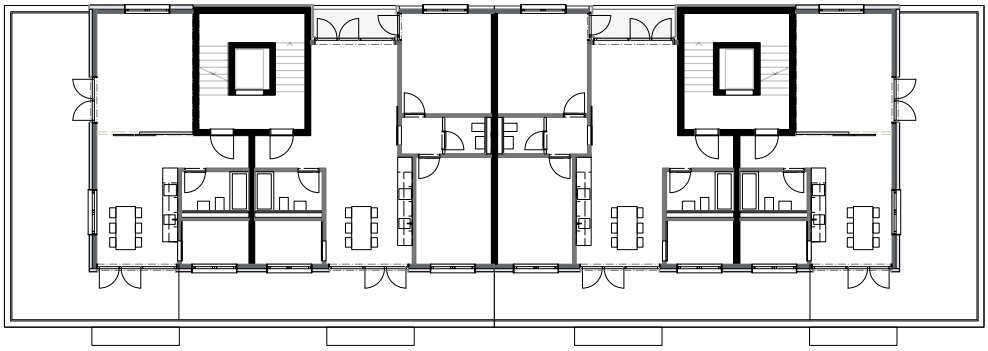
World Green Building Council WGBC. (2013). *The business case for green building: A review of the costs and benefits for developers, investors and occupants*. London: Autor.

Wüest & Partner (2005): *Immobilienbewertung nach der Discounted-Cashflow- Methode (DCF)*. Zürich:Autor

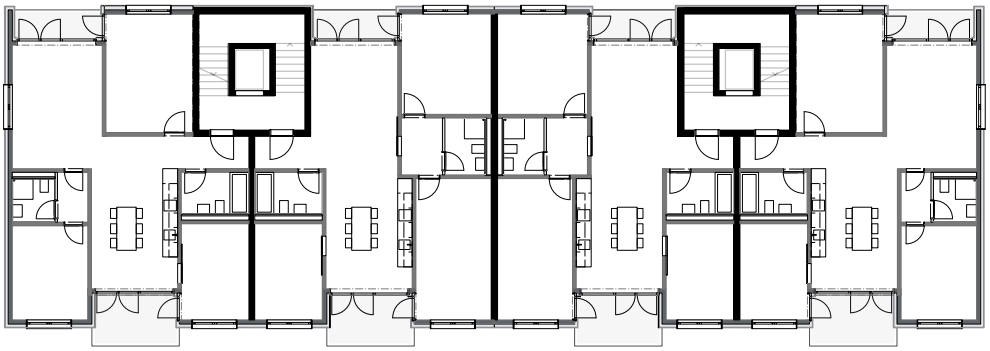
Zentrum Ressourceneffizienz (2017). *Ressourceneffizienz im Bauwesen*. Gefunden unter https://www.ressource -deutschland.de/themen/bauwesen/

Anhang

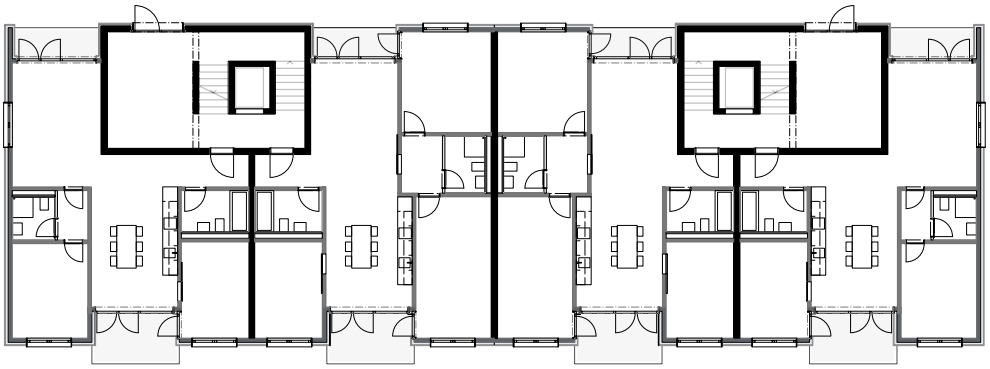
A. 1a) Plangrundlagen des Musterobjekts



Attika

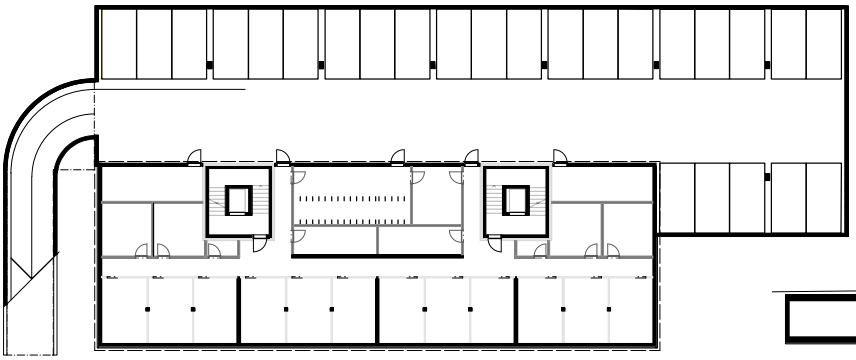


1.-3.OG



EG

Mstb. 1:200

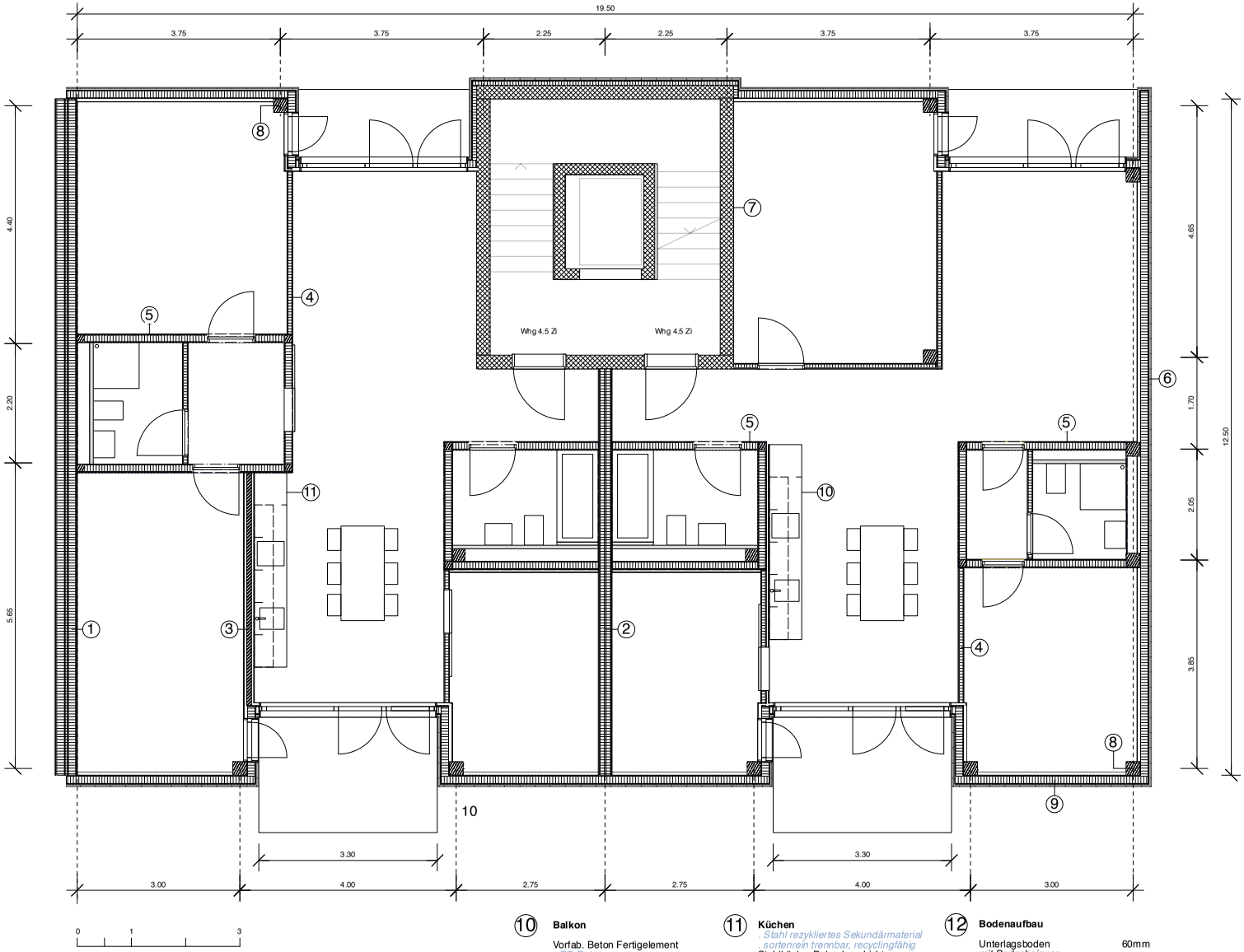


UG

SN

freier Mstb.

A. 1b) C2C-Objekt Holzhybrid: Grundriss Konstruktion



1 Brandabschnittwand (tragend)

Ekopanely heavy.	15mm
Ekopanely heavy.	15mm
Holzständer	140x60mm
Zellulosedämmwolle	140mm
Ekopanely heavy.	15mm
Mineralfaserdämmung	40mm
Ekopanely heavy.	15mm
Zellulosedämmwolle	140mm
Holzständer	140x60mm
Ekopanely heavy.	15mm
Ekopanely heavy.	15mm
	410mm

2 Wohnungstrennwand

Ekopanely heavy.	15mm
Ekopanely light.	15mm
Holzständer	80x40mm
Zellulosedämmwolle	80mm
Mineralfaserdämmung	30mm
Zellulosedämmwolle	80mm
Holzständer	80x40mm
Ekopanely light.	15mm
Ekopanely heavy.	15mm
	250mm

3 Innenwand stabilisierend

Ekopanely light.	15mm
Installationslattung	40x40mm
Ekopanely heavy.	15mm
Dreischichtplatte 20/20/20	60mm
Ekopanely heavy.	15mm
Installationslattung	40x40mm
Ekopanely light.	15mm
	200mm

4 Innenwand nicht tragend.

Gipsfaserplatte	15mm
Stahlständer	70x50mm
Mineralfaserdämmung	70mm
Gipsfaserplatte	15mm
	100mm

5 Innenwand Nasszellen (tragend)

Vorfab. Holzständerwand:

Dreischichtplatte	15mm
Holzständer	125x80mm
Mineralfaserdämmung	125mm
Dreischichtplatte	15mm
	155mm

6 Fassade (nicht tragend)

Keramikplatten	20mm
Hinterlüftung	25mm
. Aluminium Unterkonstruktion	
Windpapier	
Hartfaserplatte	10mm
Holzständer	160x40mm
Wärmedämmung	160mm
Holzwerkstoffplatte	15mm
. Sperrholz, dampfdicht	
Installationslattung	40x40mm
Gipsfaserplatte	15mm
Glasfasertapete gestrichen	
	265mm

7 Stahlbetonwand 250mm

. ÖKO-Beton

8 Brettschichtholz Stütze 25/25

. Primärrohstoff-Holz 100% erneuerbarer Rohst
. sortenrein trennbar, recyclingfähig

9 Fenster / Aussentüren

Aluminium Fenster, 3-fach Wärmeschutzgläse
. rezykliertes Sekundärmaterial
. zerstörungsfrei demontierbar
. sortenrein trennbar, recyclingfähig

10 Balkon

Vorfab. Beton Fertigelement
. RC-Beton
Geländer Edelstahlnetz
. zerstörungsfrei demontierbar
. sortenrein trennbar, recyclingfähig

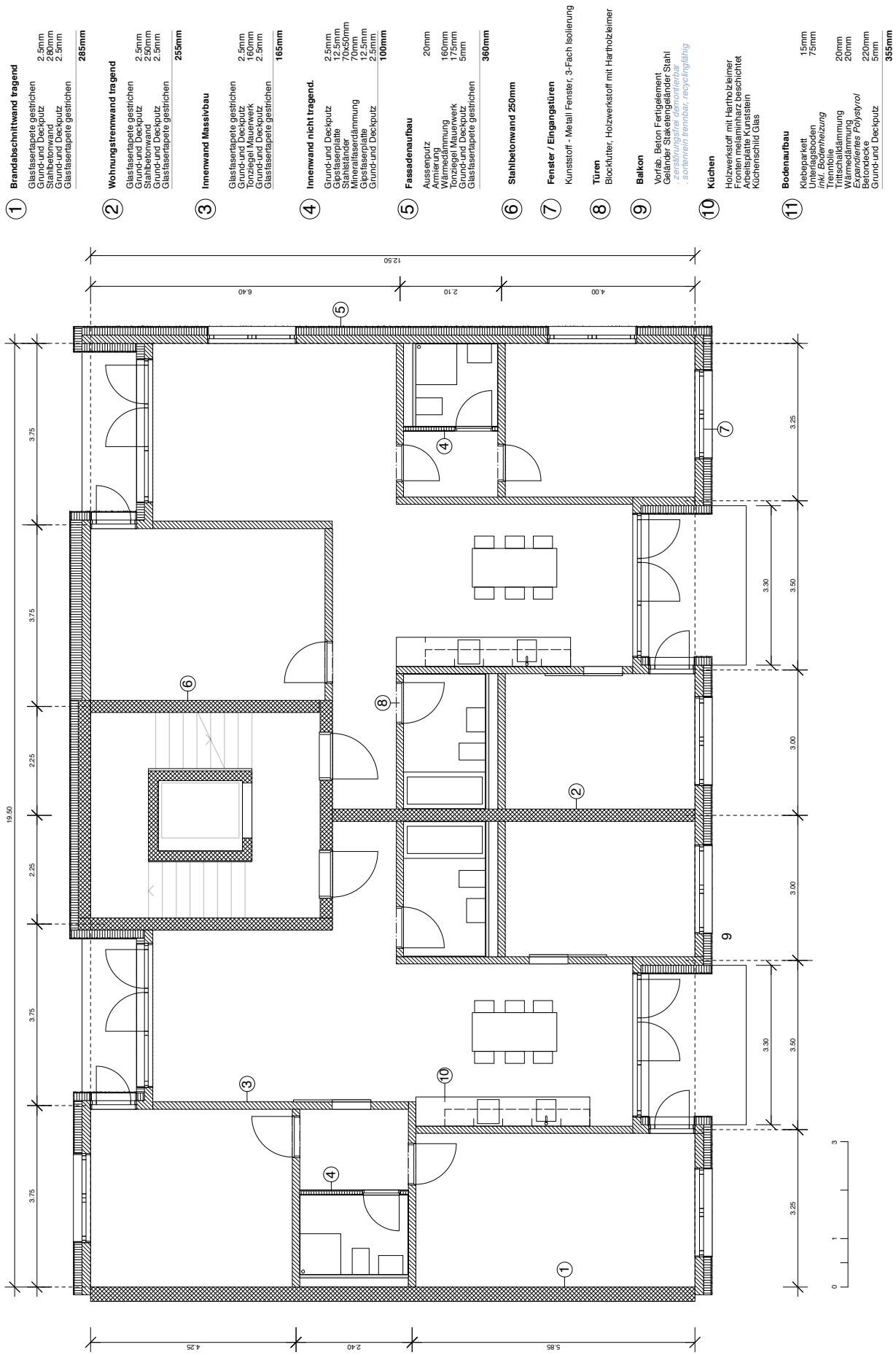
11 Küchen

. Stahl rezykliertes Sekundärmaterial
. sortenrein trennbar, recyclingfähig
Stahlküche, Pulverbeschichtung
Arbeitsplatte Edelstahl
Küchenschild Glas

12 Bodenaufbau

Unterlagsboden	60mm
mit Bodenheizung	
Trittschalldämmung	20mm
Wabbenschüttung	20mm
Hohlkastenelement	250mm
Lattung	30mm
Gipsfaserplatte	15mm
	395mm

A. 1c) Linear-Objekt Massivbau: Grundriss Konstruktion



A. 2a) DCF Marktwertermittlung – Linear Objekt

DCF MARKTWERTERMITTLUNG Linear Objekt		0 2022 *Erstellung*	1 2023 *Vermietung*	2 2024 *Vermietung*	3 2025 *Vermietung*	4 2026 *Vermietung*	5 2027 *Vermietung*	6 2028 *Vermietung*	7 2029 *Vermietung*	8 2030 *Vermietung*	9 2031 *Vermietung*	10 2032 *Vermietung*	11 2033 ***Residualwert***
Diskontsatz (nominal)		3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	
Kapitalisierungssatz (netto)													2.69%
Mieterträge		- CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF
Sockelleerstand	3.75%	- CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF
Total Mieterträge		**- CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**
Bewirtschaftungskosten													
Betriebskosten	5.5%	- CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF
Verwaltungskosten	4.4%	- CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF
Instandhaltung	7.5%	- CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF
Total Bewirtschaftungskoste	**17%**	**- CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**
Lebenszykluskosten Annuität			**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**	**83’572 CHF**
in % des Gebäudeneuwerts	1.43%												
Erstellungskosten		**7’134’947 CHF**											
Lebensdauer (Jahre)													100
Total Ertrag		- CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF
Total Aufwand		7’134’947 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF	196’719 CHF
CASHFLOW		**- 7’134’947 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**	**429’164 CHF**
PRESENT VALUE		**- 7’134’947 CHF**	**413’254 CHF**	**397’934 CHF**	**383’181 CHF**	**368’976 CHF**	**355’297 CHF**	**342’125 CHF**	**329’441 CHF**	**317’228 CHF**	**305’468 CHF**	**294’143 CHF**	**14’831’903 CHF**
Abzinsfaktor / Rentenbarwert Faktor		1.000	0.963	0.927	0.893	0.860	0.828	0.797	0.768	0.739	0.712	0.685	34.560

MARKTWERT LINEAR	**11’204’002 CHF**
Marktwert C2C	12’282’290 CHF
Minderwert LINEAR	**- 1’078’288 CHF**

A. 2b) DCF Marktwertermittlung – C2C Objekt

DCF MARKTWERTERMITTLUNG C2C Objekt		0 2022 *Erstellung*	1 2023 *Vermietung*	2 2024 *Vermietung*	3 2025 *Vermietung*	4 2026 *Vermietung*	5 2027 *Vermietung*	6 2028 *Vermietung*	7 2029 *Vermietung*	8 2030 *Vermietung*	9 2031 *Vermietung*	10 2032 *Vermietung*	11 2033 ***Residualwert***
Diskontsatz (nominal)		3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	3.85%	
Kapitalisierungssatz (netto)													2.69%
Mieterträge		- CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF	650’269 CHF
Sockelleerstand	3.75%	- CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF	- 24’385 CHF
Total Mieterträge		**- CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**	**625’884 CHF**
Bewirtschaftungskosten													
Betriebskosten	5.5%	- CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF	35’765 CHF
Verwaltungskosten	4.4%	- CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF	28’612 CHF
Instandhaltung	7.5%	- CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF	48’770 CHF
Total Bewirtschaftungskoste	**17%**	**- CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**	**113’147 CHF**
Lebenszykluskosten Annuität			**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**	**36’942 CHF**
in % des Gebäudeneuwerts	0.57%												
Erstellungskosten		**8’049’270 CHF**											
Lebensdauer (Jahre)													100
Total Ertrag		- CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF	625’884 CHF
Total Aufwand		8’049’270 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF	150’088 CHF
CASHFLOW		**- 8’049’270 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**	**475’795 CHF**
PRESENT VALUE		**- 8’049’270 CHF**	**458’156 CHF**	**441’171 CHF**	**424’816 CHF**	**409’066 CHF**	**393’901 CHF**	**379’298 CHF**	**365’237 CHF**	**351’696 CHF**	**338’658 CHF**	**326’103 CHF**	**16’443’457 CHF**
Abzinsfaktor / Rentenbarwert Faktor		1.000	0.963	0.927	0.893	0.860	0.828	0.797	0.768	0.739	0.712	0.685	34.560

MARKTWERT C2C		**12’282’290 CHF**
Marktwert LINEAR		11’204’002 CHF
Mehrwert C2C	9.6%	**1’078’288 CHF**

A. 3a) Materialverhältnis C2C-Objekt (1/2)

eBKP	Gebäude-Element	1

C Konstruktion Gebäude
C1 Bodenplatte, Fundament

C1 010 - Bodenplatte UG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Zementüberzug	0.03	0.030	**7%**
Stahlbeton DK1	0.3	0.300	**65%**
XPS Dämmung	0.08	0.080	**17%**
Magerbeton	0.05	0.050	**11%**
	0.460	0.460	100%

C1 011 - Bodenplatte TG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Hartbetonüberzug	0.03	0.030	**7%**
Stahlbeton DK1	0.38	0.380	**83%**
Magerbeton	0.05	0.050	**10%**
	0.460	0.460	100%

C2 Aussenwand

C2.1 020 - Aussenwand UG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlbeton DK1	0.25	0.788	**74%**
Bitumenanstrich	0.002	0.006	**1%**
XPS Dämmung	0.08	0.252	**24%**
Noppenbahn	0.005	0.016	**1%**
	0.337	1.062	100%

C2.1 021 - Aussenwand TG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlbeton DK1	0.25	0.788	**99%**
Bitumenanstrich	0.002	0.006	**1%**
	0.250	0.794	100%

C2 Innenwand

C2.2 023 Innenwand UG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Kalksandstein	0.15	0.42	**97%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.014	**3%**
	0.155	0.434	100%

C2.2 024 Innenwand OG (st)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Ekopanely heavy (Strohbaupl	0.03	0.0795	**22%**
Installationslattung	0.08	0.0424	**12%**
Ekopanely light (Strohbaupla	0.03	0.0795	**22%**
Dreischichtplatte 20/20/20	0.06	0.159	**44%**
	0.2	0.3604	100%

C2.2 025 Innenwand Nasszellen (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Dreischichtplatte	0.015	0.0398	**10%**
Holzständer (125x80mm)	0.125	0.099	**24%**
Mineralwolle (Ebene Holzständer)		0.232	**56%**
Dreischichtplatte	0.015	0.0398	**10%**
	0.155	0.4108	100%

eBKP	Gebäude-Element	2

C Konstruktion Gebäude
C2 Innenwand

C2.2 026 -Brandabschnittwand (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Ekopanely heavy (Strohbaupl	0.03	0.03	**7%**
Ekopanely heavy (Strohbaupl	0.06	0.06	**15%**
Holzständer (140x60mm)	0.28	0.06	**15%**
Mineralwolle	0.04	0.02	**5%**
Zellulosedämmwolle (Ebene Holzständer)		0.24	**59%**
	0.41	0.41	100%

C2.2 027 -Wohnungstrennwand (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Ekopanely heavy (Strohbaupl	0.03	0.03	**12%**
Ekopanely light (Strohbaupla	0.03	0.03	**12%**
Holzständer (80x40mm)	0.16	0.01	**4%**
Mineralwolle	0.03	0.03	**12%**
Zellulosedämmwolle (Ebene Holzständer)		0.15	**60%**
	0.25	0.25	100%

C2.2 028 - Kernwand (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlbeton	0.25	0.750	**98%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.015	**2%**
	0.255	0.765	100%

C3 Stützen

C3 030 - Stützen TG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton inkl. Stahlpilz	0.5	0.7	**100%**
	0.5	0.700	100%

C3 031 - Stützen OG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Brettschichtholz 25/25	0.25	0.175	**100%**
	0.25	0.175	100%

C4 Decken- und Dachkonstruktion

C4.1 040 - Decke UG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton DK1	0.28	0.280	**99%**
Bitumenanstrich	0.002	0.002	**1%**
	0.282	0.282	100%

C4.1 041 - Decke TG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton DK2	0.4	0.400	**99%**
Bitumenanstrich	0.004	0.004	**1%**
	0.400	0.404	100%

eBKP	Gebäude-Element	3

C Konstruktion Gebäude
C4 Decken- und Dachkonstruktion

C4.1 042 - Decke OG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Hohlkastenelement *inkl. Kalkschüttung*	0.25	0.250	**100%**
	0.250	0.250	100%

C4.2 043 - Treppenlauf inkl. Podest

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Vorfab. Betonelement		1.775	**100%**
		1.775	100%

C4.3 044 - Balkon 1

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
OSB Platte Qual. B/C	0.025	0.025	**10%**
Hohlkastenelement	0.22	0.220	**90%**
		0.245	100%

C4.4 045 - Dach

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Holzfaserplatte	0.06	0.060	**16%**
Sparren (280x140mm)	0.28	0.070	**19%**
Zellulosedämmwolle *(Ebene Holzsparren)*		0.210	**58%**
OSB Platte Qual. B/C	0.025	0.025	**7%**
	0.365	0.365	100%

C4.4 046 - Terrasse

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
OSB Platte Qual. B/C	0.025	0.025	**9%**
Hohlkastenelement *inkl. Kalkschüttung*	0.25	0.250	**91%**
	0.275	0.275	100%

E Äussere Wandbekleidung Gebäude
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain

E2 050 - Aussenwand OG (nt)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Klicksytem: Keramikplatten	0.02	0.020	**9%**
Metallständerwerk Alu.	0.025	0.007	**3%**
Windpapier			
Hartfaserplatte	0.01	0.01	**5%**
Holzständer *(160x60mm)*	0.16	0.034	**16%**
Wärmedämmung *(Ebene Holzständer)*		0.126	**60%**
Holzwerkstoff, Sperrholz	0.015	0.015	**7%**
	0.230	0.212	100%

E 2 050 - Absturzsicherung

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Staketengeländer Stahl (15x17.5mm)		0.0032	**100%**
		0.0032	100%

A. 3b) Volumenerfassung C2C-Objekt (2/2)

eBKP	Gebäude-Element	4

E Äussere Wandbekleidung Gebäude
E3 Einbaute zu Aussenwand

E3 051 -Fenstertür 1

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Aluminium Pfosten-Riegel (80x85mm)		0.15	**40%**
ISO-Verglasung (3Fach)		0.21	**56%**
Holz-Futter (Innen)		0.02	**4%**
		0.376	100%

E3 052 -Fenster

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Aluminium Pfosten-Riegel (80x85mm)		0.0685	**35%**
ISO-Verglasung (3Fach)		0.1060	**54%**
Holz-Futter (Innen)		0.0100	**5%**
Fensterbank, Wetterschenkel (3.5mm)		0.011	**6%**
		0.196	100%

E3 053 - Sonnenschutz

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Vertikalmarkisen Stoff		0.0061	**40%**
stranggepresst Aluminium		0.0051	**33%**
EPS Dämmung		0.004	**27%**
		0.015	100%

F Bedachung Gebäude
F1 Flachdach

F1 060 - Dach

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Drainageschicht	0.05	0.050	**31%**
Speichermatte	0.015	0.015	**9%**
Polymerbitumenbahn	0.01	0.010	**6%**
Dämmung inkl. Gefälle, EPS	0.084	0.084	**52.5%**
Dampfsperre	0.001	0.001	**0.5%**
	0.160	0.160	100%

F1 061- Terrasse

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Polymerbitumenbahn	0.01	0.010	**16%**
Dämmung inkl. Gefälle, EPS	0.05	0.050	**82%**
Dampfsperre	0.001	0.001	**2%**
	0.061	0.061	100%

F1 062-Balkon

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Polymerbitumenbahn	0.01	0.010	**25%**
Dämmung inkl. Gefälle, EPS	0.03	0.030	**75%**
		0.040	100%

G Ausbau Gebäude
Trennwand,Tür,Tor

G1 070 - Tür Blockfutter

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Blockrahmen	0.035	0.015	**18%**
Türblatt Holzwerkstoff	0.04	0.07	**82%**
		0.085	100%

eBKP	Gebäude-Element	5

G Ausbau Gebäude
G1 Trennwand,Tür,Tor

G1 071 - Tür Stahlzarge

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Stahlzarge (150mm)	0.035	0.008	**10%**
Türblatt Holzwerkstoff mit Hartholzeinleimer	0.04	0.07	**90%**
		0.078	100%

G1 072 - Tür Schiebetür

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
stranggepresst Aluminium	0.0025	0.0048	**6%**
Türblatt Holzwerkstoff mit Hartholzeinleimer	0.04	0.075	**94%**
		0.080	100%

G1 073 - Innenwand OG (nt)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlständer *(70x 50cm)*	0.07	0.035	**14%**
Mineralwolle *(Ebene Stahlständer)*		0.188	**73%**
Gipsfaserplatte	0.03	0.03	**13%**
	0.100	0.257	100%

G1 074 - Trennwand Keller

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
stranggepresst Aluminium	0.0025	0.0017	**9%**
Holzlattung	0.012	0.0168	**91%**
		0.019	100%

G Ausbau Gebäude
G2 Bodenbelag

G2 080 - Bodenbelag Balkon und Terrasse

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältniss
Holzdeck	0.02	0.020	**58%**
Alu Traverse inkl. Setzlager	0.044	0.015	**42%**
		0.035	100%

G2 081 - Bodenbelag OG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Unterlagsboden, geschliffen	0.075	0.075	**65%**
Trittschalldämmung	0.02	0.020	**17%**
Wabenschüttung	0.02	0.020	**17%**
	0.115	0.115	100%

G Ausbau Gebäude
G3 Wand- und Deckenbekleidung

G3 090 - Wandbekleidung Nasszellen

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Keramikplatten	0.0075	0.016	**100%**
		0.016	100%

eBKP	Gebäude-Element	6

G Ausbau Gebäude
G3 Wand- und Deckenbekleidung

G3 090 - Wandbekleidung

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Installationslattung	0.04	0.008	**35%**
Ekopanely light (Strohbaupla	0.015	0.015	**65%**
Glasfasertapete gestrichen			
	0.055	0.023	100%

G4 091 - Bekleidung Decke UG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Glaswolle kaschiert	0.16	0.160	**100%**
	0.160	0.160	100%

G4 092 - Bekleidung Decken OG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Holzlattung (30x30mm)	0.03	0.004	**22%**
Ekopanely light (Strohbaupla	0.015	0.015	**78%**
	0.045	0.019	100%

G Ausbau Gebäude
G5 Einbauküchen

G5 100 - Einbauküche 6tlg.

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Edelstahlplatte, gefalzt	0.005	0.009	**6%**
Stahl gefalzt, pulverbesch.		0.11	**78%**
stranggepresst Aluminium		0.0075	**5%**
Küchenschild Glas	0.01	0.0142	**10%**
		0.141	100%

A. 4a) Materialverhältnis Linear-Objekt (1/2)

eBKP	Gebäude-Element	1

C Konstruktion Gebäude
C1 Bodenplatte, Fundament

C1 010 - Bodenplatte UG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Zementüberzug	0.03	0.030	**7%**
Stahlbeton DK1	0.3	0.300	**65%**
XPS Dämmung	0.08	0.080	**17%**
Magerbeton	0.05	0.050	**11%**
	0.460	0.460	100%

C1 011 - Bodenplatte TG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Hartbetonüberzug	0.03	0.030	**7%**
Stahlbeton DK1	0.38	0.380	**83%**
Magerbeton	0.05	0.050	**10%**
	0.460	0.460	100%

C2 Aussenwand

C2.1 020 - Aussenwand UG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlbeton DK1	0.25	0.788	**74%**
Bitumenanstrich	0.002	0.006	**1%**
XPS Dämmung	0.08	0.252	**24%**
Noppenbahn	0.005	0.016	**1%**
	0.337	1.062	100%

C2.1 021 - Aussenwand TG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlbeton DK1	0.25	0.788	**99%**
Bitumenanstrich	0.002	0.006	**1%**
	0.250	0.794	100%

C2.1 022 - Aussenwand OG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Tonziegel Mauerwerk	0.175	0.175	**97%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.005	**3%**
	0.180	0.180	100%

C2 Innenwand

C2.2 023 Innenwand UG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Kalksandstein	0.15	0.42	**97%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.014	**3%**
	0.155	0.434	100%

C2.2 024 Innenwand OG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Tonziegel Mauerwerk	0.16	0.424	**97%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.013	**3%**
	0.165	0.437	100%

eBKP	Gebäude-Element	2

C Konstruktion Gebäude
C2 Innenwand

C2.2 026 -Brandabschnittwand (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton	0.28	0.280	**98%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.005	**2%**
	0.285	0.285	100%

C2.2 027 -Kernwand (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton	0.25	0.250	**98%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.005	**2%**
	0.255	0.255	100%

C3 Stützen

C3 030 - Stützen TG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Stahlbeton inkl. Stahlpilz	0.5	0.7	**100%**
	0.5	0.700	100%

C4 Decken- und Dachkonstruktion

C4.1 040 - Decke UG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton DK1	0.28	0.280	**99%**
Bitumenanstrich	0.002	0.002	**1%**
	0.282	0.282	100%

C4.1 041 - Decke TG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton DK2	0.35	0.350	**99%**
Bitumenanstrich	0.002	0.002	**1%**
	0.352	0.352	100%

C4.1 042 - Decke OG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton	0.22	0.220	**98%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.005	**2%**
	0.225	0.225	100%

C4.2 043 - Treppenlauf inkl. Podest

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Vorfab. Betonelement		1.775	**100%**
		1.775	100%

C4.3 044 - Balkon 1

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Vorfab. Betonelement	0.22	1.647	**97%**
Isokorb	0.08	0.055	**3%**
		1.702	100%

eBKP	Gebäude-Element	3

C Konstruktion Gebäude
C4 Decken- und Dachkonstruktion

C4.4 045 - Dach und Terrasse

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Stahlbeton	0.24	0.240	**98%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.005	**2%**
	0.245	0.245	100%

E Äussere Wandbekleidung Gebäude
E2 Äussere Wandbekleidung über Terrain

E2 050 - Aussenwand OG (t)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Haft-und Deckputz inkl. Armierung	0.02	0.020	**11%**
Steinwolle	0.16	0.160	**88%**
Schraubdübel	Stk.		
Klebemörtel	0.001	0.001	**1%**
	0.181	0.181	100%

E2 050 - Absturzsicherung

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Staketengeländer Stahl (15x17.5mm)		0.0032	**100%**
		0.0032	100%

E3 Einbaute zu Aussenwand

E3 051 -Fenstertür 1

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Kunststoff Rahmen-Flügel (80x85mm)		0.143	**39.5%**
Alu-Verkleidung (3.5mm)		0.00165	**0.5%**
ISO-Verglasung (3Fach)		0.2000	**55%**
Holz-Futter (Innen)		0.0170	**5%**
		0.362	100%

E3 052 -Fenster

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Kunstoff Rahmen-Flügel (80x85mm)		0.0685	**34.5%**
Alu-Verkleidung (1mm)		0.001	**0.5%**
ISO-Verglasung (3Fach)		0.1060	**53%**
Holz-Futter (Innen)		0.0120	**6%**
Fensterbank, Wetterschenkel (3.5mm)		0.011	**6%**
		0.199	100%

E3 053 - Sonnenschutz

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Vertikalmarkisen Stoff		0.0061	**40%**
stranggepresst Aluminium		0.0051	**33%**
EPS Dämmung		0.004	**27%**
		0.015	100%

A. 4b) Materialverhältnis Linear-Objekt (2/2)

eBKP	Gebäude-Element	4

F Bedachung Gebäude
F1 Flachdach

F1 060 - Dach

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Drainageschicht	0.05	0.050	**23%**
Speichermatte	0.015	0.015	**7%**
Polymerbitumenbahn	0.007	0.007	**3.5%**
Steinwolle	0.14	0.140	**66%**
Dampfsperre	0.001	0.001	**0.5%**
	0.213	0.213	100%

F1 061- Terrasse

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Hartbeton	0.03	0.030	**28%**
Polymerbitumenbahn	0.007	0.007	**6%**
Gefälledämmung	0.03	0.030	**28%**
Vakuumdämmung	0.04	0.040	**37%**
Dampfsperre	0.001	0.001	**1%**
	0.108	0.108	100%

F1 062 - Balkon

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Hartbeton	0.03	0.147	**21%**
Polymerbitumenbahn	0.007	0.007	**1%**
EPS Ausgleichdämmung	0.075	0.532	**78%**
		0.686	100%

G Ausbau Gebäude
Trennwand,Tür,Tor

G1 070 - Tür Blockfutter

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Blockrahmen (270mm)	0.035	0.024	**26%**
Türblatt Holzwerkstoff mit Hartholzeinleimer	0.04	0.07	**74%**
		0.094	100%

G1 071 - Tür Stahlzarge

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Stahlzarge (150mm)	0.035	0.008	**10%**
Türblatt Holzwerkstoff mit Hartholzeinleimer	0.04	0.07	**90%**
		0.078	100%

G1 072 - Tür Schiebetür

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
stranggepresst Aluminium	0.0025	0.0048	**6%**
Türblatt Holzwerkstoff mit Hartholzeinleimer	0.04	0.075	**94%**
		0.080	100%

eBKP	Gebäude-Element	5

G Ausbau Gebäude
G1 Trennwand,Tür,Tor

G1 073 - Innenwand OG (nt)

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Stahlständer *(70x 50cm)*	0.07	0.035	**13%**
Mineralwolle *(Ebene Stahlständer)*		0.188	**71%**
Gipsfaserplatte	0.025	0.03	**13%**
Grund-und Deckputz	0.005	0.008	**3%**
	0.100	0.265	100%

G1 074 - Trennwand Keller

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
stranggepresst Aluminium	0.0025	0.0017	**9%**
Holzlattung	0.012	0.0168	**91%**
		0.019	100%

G2 Bodenbelag

G2 081 - Bodenbelag OG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Klebeparkett	0.015	0.015	**12%**
Unterlagsboden	0.075	0.075	**58%**
Trittschalldämmung	0.02	0.020	**15%**
EPS Wärmedämmung	0.02	0.020	**15%**
	0.130	0.130	100%

G3 Wand- und Deckenbekleidung

G3 090 - Wandbekleidung Nasszellen

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro Lfm	Verhältnis
Keramikplatten	0.0075	0.016	**100%**
		0.016	100%

G4 091 - Deckenbekleidung UG

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro m2	Verhältnis
Glaswolle kaschiert	0.16	0.160	**100%**
	0.160	0.160	100%

G5 Einbauküchen

G5 100 - Einbauküche 6tlg.

Material	Aufbau (m)	Material Volumen pro	Verhältnis
Kunststeinplatte	0.025	0.036	**9%**
Melaminharz Beschichtung	0.002	0.013	**3%**
Holzwerkstoff mit Hartholzeinleimer	0.02	0.352	**83%**
stranggepresst Aluminium	0.01	0.0075	**2%**
Küchenschild Glas	0.01	0.0142	**3%**
		0.423	100%

A. 5a) Annuität der Lebenszykluskosten: C2C-Objekt

Umrechnung zur Annuität der Lebenszykluskosten C2C — **Gebäudeneuwert** **6'534'883 CHF**

inkl. Honorare für Planung und Ausführung der Erneuerungsarbeiten
Betriebskosten der Versorgung, Energie und Reinigung wurden nicht berücksichtigt

Jahr	1. laufende Kosten *Instandhaltung*	2.Tertiärstruktur *Instandsetzung*	3.Sekundärstruktur *Instandsetzung*	4. Primarstruktur *Demontage*	Total Lebenszykluskosten
5	*1.1%*				
10	*1.1%*				
15	*1.1%*	326'744 CHF			- 326'744 CHF
20	*1.1%*				
25	*1.1%*				
30	*1.1%*	588'139 CHF			- 588'139 CHF
35	*1.1%*				
40	*1.1%*				
45	*1.1%*	588'139 CHF	1'241'628 CHF		- 1'829'767 CHF
50	*1.1%*				
55	*1.1%*				
60	*1.1%*	588'139 CHF			- 588'139 CHF
65	*1.1%*				
70	*1.1%*				
75	*1.1%*	718'837 CHF			- 718'837 CHF
80	*1.1%*			1'217'925 CHF	- 1'217'925 CHF
85	*1.1%*				
90	*1.1%*	*849'535 CHF*	*1'764'418 CHF*		*- 2'613'953 CHF*
95	*1.1%*				
100	*1.1%*				

Total Material-Aktivierung	Primarstruktur *Tragkonstruktion*	Sekundärstruktur *Gebäudehülle*	Tertiärstruktur *Innenausbau*	Jahr
				5
				10
52'603 CHF			€ 47'669	15
				20
				25
66'222 CHF			€ 60'011	30
				35
				40
429'907 CHF		€ 314'296	€ 75'289	45
				50
				55
103'912 CHF			€ 94'166	60
				65
				70
				75
1'183'882 CHF	€ 542'987	€ 386'083	€ 143'773	80
				85
				90
				95
				100

Total Lebenszykluskosten	**- 7'883'506 CHF**
Total Lebenszykluskosten + Material-Aktivierung	CHF -6'322'458.14
% Faktor Erneuerungskosten (nach SIV)	50%
KapS. Netto	2.69%
gross Erneuerungszyklus (Jahre)	45
Jährliche Rückstellung	**36'942 CHF**
Jährlicher Aufwand in % des Gebäudeneuwert	0.57%

1'836'526 CHF	Total Ertrag Material-Aktivierung
85%	*Korrekturfaktor - Madaster in Bearbeitung*
CHF 1'561'047.41	

Umrechnung zur Annuität der Lebenszykluskosten LINEAR — **Gebäudeneuwert** **5'838'411 CHF**

inkl. Honorare für Planung und Ausführung der Erneuerungsarbeiten
Betriebskosten der Versorgung, Energie und Reinigung wurden nicht berücksichtigt

Jahr	1. laufende Kosten *Instandhaltung*	2.Tertiärstruktur *Instandsetzung*	3.Sekundärstruktur *Instandsetzung*	4. Primarstruktur *Demontage*	Total Lebenszykluskosten	Total Material-Aktivierung	Primarstruktur *Tragkonstruktion*	Sekundärstruktur *Gebäudehülle*	Tertiärstruktur *Innenausbau*	Jahr
5	*1.1%*									5
10	*1.1%*									10
15	*1.1%*	408'689 CHF	- CHF		- 408'689 CHF	- CHF				15
20	*1.1%*									20
25	*1.1%*									25
30	*1.1%*	525'457 CHF	875'762 CHF		- 1'401'219 CHF	- CHF				30
35	*1.1%*									35
40	*1.1%*									40
45	*1.1%*	525'457 CHF	- CHF		- 525'457 CHF	- CHF				45
50	*1.1%*									50
55	*1.1%*									55
60	*1.1%*	642'225 CHF	1'284'450 CHF		- 1'926'675 CHF	- CHF				60
65	*1.1%*									65
70	*1.1%*									70
75	*1.1%*	642'225 CHF	- CHF		- 642'225 CHF					75
80	*1.1%*			324'780 CHF	- 324'780 CHF	- CHF				80
85	*1.1%*									*85*
90	*1.1%*	758'993 CHF	1'576'371 CHF		*- 2'335'364 CHF*					*90*
95	*1.1%*									*95*
100	*1.1%*									*100*

Total Lebenszykluskosten	**- 7'564'409 CHF**
Total Lebenszykluskosten + Material-Aktivierung	CHF -7'564'409.13
% Faktor Erneuerungskosten (nach SIV)	50%
KapS. Netto	2.69%
gross Erneuerungszyklus (Jahre)	30
Jährliche Rückstellung	**83'572 CHF**
Jährlicher Aufwand in % des Gebäudeneuwert	1.43%

- CHF	Total Ertrag Material-Aktivierung
85%	*Korrekturfaktor - Unschärfe Madaster*
CHF -	

A. 6a) Kostenermittlung detailliert: C2C-Objekt (1/2)

ERSTELLUNGSKOSTEN — **C2C**

eBKP		Gebäudeelement		Ausmass m2	Kennwert CHF	Kosten CHF	%
A	**Grundstrück**					**- CHF**	
B	**Vorbereitungsarbeiten**					**711'458 CHF**	9.5%
		Bezugsmenge Grundstückfläche (GSF)		5'692	125 CHF		
		Geologischer Bericht, Erschliessung Werkleitungen, Baugrube, Sicherung, Gerüst					
C	**Konstruktion Gebäude**					**1'433'246 CHF**	19.2%
		Bezugsmenge Geschossfläche (GF)		3'415	420 CHF		
C1	Bodenplatte, Fundament					**193'307 CHF**	2.6%
		Bodenplattenfläche (BOF)		1'100	176 CHF		
		010 - Bodenplatte UG: Stahlbeton DK1, XPS		525	192 CHF	100'461 CHF	
		011 - Bodenplatte TG: Stahlbeton DK1		575	162 CHF	92'846 CHF	
C2	Wandkonstruktion					**469'366 CHF**	6.3%
		Wandfläch (WF)		2'561	183 CHF		
		Aussenwandfläche uT (AWFU)		429	215 CHF		
		020 - Aussenwand UG: Stahlbeton DK1, XPS	m2	191	232 CHF	44'264 CHF	
		021 - Aussenwand TG: Stahlbeton DK1	m2	238	202 CHF	47'985 CHF	
		Innenwandfläche uT (IWFU)		213	115 CHF		
		023 - Innenwand UG: Kalksandstein (t)	m2	213	115 CHF	24'443 CHF	
		Innenwandfläche üT (IWFO)		1'919	184 CHF		
		024 - Innenwand OG (stabilisierend): DSP-Hol	m2	316	173 CHF	54'512 CHF	
		025 - Innenwand Nasszellen (t): vf. Holzständ	m2	734	150 CHF	110'125 CHF	
		026 - Innenwand Brandabschnitt: vf.Holzst.	m2	366	263 CHF	96'141 CHF	
		027 - Innenwand Whg.Trennwand: vf. Holzst.	m2	208	173 CHF	35'941 CHF	
		028 - Innenwand Kern: Stahlbeton	m2	295	190 CHF	55'955 CHF	
C3	Stützen					**59'600 CHF**	0.8%
		Stützen (Stk.)		111	537 CHF		
		030 - Stahlbetonstützen inkl. Stahlpilz	Stk.	5	4'500 CHF	22'500 CHF	
		030 - Brettschichtholz Stützen (25x25)	Stk.	106	350 CHF	37'100 CHF	
C4	Decken, Dachkonstruktion					**710'973 CHF**	9.5%
		Decken- und Dachflächen (DDF)		3'235	220 CHF		
		040 - Decke UG: Stahlbeton, Bitumen	m2	449	191 CHF	85'484.10 CHF	
		041 - Decke TG: Stahlbeton, Bitumen	m2	516	215 CHF	110'703.63 CHF	
		042 - Decke OG: vorfab. Hohlkastenelement	m2	1'472	236 CHF	347'421.15 CHF	
		045 - Dach OG: Holzsparren	m2	327	185 CHF	60'495.00 CHF	
		046 - Terrasse OG: vorfab. Hohlkastenelement	m2	133	242 CHF	32'065.33 CHF	
		Vorfab.Elemente					
		043 - Treppenlauf: vorfab. Beton	m2	160	242 CHF	38'680.00 CHF	
		044 - Balkon: vorfab. Hohlkastenelement	m2	180	201 CHF	36'123.30 CHF	
D	**Technik**					**923'750 CHF**	12.4%
		Bezugsmenge Geschossfläche (GF)		3'415	270 CHF		
D1	Elektroanlage	Elektroinstallation und -apparate		3'415	70 CHF	239'050 CHF	3.2%
D5	Wärmeanlage	Fernwärmesystem; Fussbodenheizung		3'415	45 CHF	153'675 CHF	2.1%
D7	Lufttechnische Anlage	Abluftanlagen TG; Nasszellen; Küchen		3'415	25 CHF	85'375 CHF	1.1%
D8	Wasser-, Gas-, Druckluftanlage	Sanitärapparate, Wasserverteilung		3'415	110 CHF	375'650 CHF	5.0%
D9	Transportanlage	Personenaufzüge		3'415	20 CHF	70'000 CHF	0.9%
		Je ein Personenlift pro Treppenaufgang	Stk.	2	35'000 CHF	70'000 CHF	
E	**Äussere Wandbekleidung**					**1'122'118 CHF**	15.0%
		Bezugsmenge: Aussenwandfläche (AWF)		2'218	506 CHF		
E1	Äussere Wandbekleidung uT					**30'054 CHF**	0.4%
		Aussenwandfläche uT (AWFU)		429	70 CHF		
		Abdichtung unter Terrain	m2	429	70 CHF	30'054 CHF	
E2	Äussere Wandbekleidung üT					**586'364 CHF**	7.8%
		Aussenwandfläche üT (AWFO)		1'303	450 CHF		
		050 - Fassaden-Klicksystem, Keramikplatten *inkl. vorfab. Holzständerelement*	m2	1'303	450 CHF	586'364 CHF	

A. 6b) Kostenermittlung detailliert: C2C-Objekt (2/2)

E3	Einbaute zu Aussenwand					**505'700 CHF**	6.8%
		Fläche Aussenwandeinbauten (AWE)		485	1'042 CHF		
		050 - Absturzsicherung: Stahlg. Fenster	Lfm	169	375 CHF	63'225.00 CHF	
		051 - Fenstertür: recy. Aluminium					
		Fenstertür 3Flügel	Stk.	38	3'250 CHF	123'500.00 CHF	
		Fenstertür 2Flügel	Stk.	2	2'600 CHF	5'200.00 CHF	
		Fenstertür 1Flügel	Stk.	32	1'788 CHF	57'200.00 CHF	
		052 - Fenster: recy. Aluminium					
		Fenster 2Flügel	Stk.	66	2'763 CHF	182'325.00 CHF	
		053 - Sonnenschutz:					
		Stoffmarkisen	Lfm	270	275 CHF	74'250.00 CHF	
F	**Bedachung Gebäude**					**155'002.5 CHF**	2.1%
		Bezugsmenge: Dachfläche (DAF)		667	232 CHF		
F1	Dachhaut					**155'003 CHF**	2.1%
		Dachfläche uT (DAFU)		454	75 CHF		
		Abdichtung unter Terrain	m2	454	75 CHF	34'050 CHF	
		Dachfläche üT (DAFO)		487	248 CHF		
		060 - Dach: Flachdachaufbau	m2	355	275 CHF	97'515 CHF	
		061 - Terrassendach: Abdichtung, Gefälle	m2	133	75 CHF	9'938 CHF	
		062 - Balkon: Abdichtung, Gefälle	m2	180	75 CHF	13'500 CHF	
G	**Ausbau Gebäude**					**1'256'646 CHF**	16.8%
		Bezugsmenge: Geschossfläche (GF)		3'415	368 CHF		
G1	Trennwand, Tür, Tor					**211'023 CHF**	2.8%
		Fläche Tür, Tor, Fenster (TTTF)		597	354 CHF		
		070 - Tür Blockfutter	Stk.	107	1'150 CHF	123'050 CHF	
		071 - Tür Stahlzarge	Stk.	11	950 CHF	10'450 CHF	
		072 - Tür Schiebetür	Stk.	30	1'350 CHF	40'500 CHF	
		073 - Innenwand OG (nt): Leichtbau Stahl.	m2	301	105 CHF	31'626 CHF	
		074 - Trennwand Keller	m2	216	25 CHF	5'397 CHF	
G2	Bodenbelag					**355'660 CHF**	4.8%
		Bodenbelagsfläche (BBF)	Bode	1'576	226 CHF		
		080 - Bodenbelag Balkon: Holzdeck	m2	180	155 CHF	27'900 CHF	
		080 - Bodenbelag Terrasse: Holzdeck	m2	133	155 CHF	20'538 CHF	
		081 - Bodenbelag OG: UB geschliffen	m2	1'576	195 CHF	307'223 CHF	
G3	Wandbekleidung					**101'552 CHF**	1.4%
		Wandbekleidungsfläche (WBF)		318	319 CHF		
		090 - Wandbekleidung Aussenw.: Inst.Lattung	m2	1'238	53 CHF	64'989 CHF	
		090 - Nasszellen: Keramikplatten	m2	318	115 CHF	36'563 CHF	
G4	Deckenbekleidung					**98'411.25 CHF**	1.3%
		Deckenbekleidungsfläche (DBF)		449	219 CHF		
		091 - Deckenbekleidung UG: Glaswolle	m2	449	35 CHF	15'698 CHF	
		092 - Deckenbekleidung OG: Instl.Lattung	m2	1'576	53 CHF	82'714 CHF	
G5	Einbauten					**490'000 CHF**	6.6%
		Bezugsmenge Geschossfläche (GF)		3'415	143 CHF		
		100 - Einbauküchen: Stahl, pulverbeschichtet	Stk.	20	24'500 CHF	490'000 CHF	
I	**Umgebung**					**218'487 CHF**	2.9%
V	**Planungskosten**					**1'193'245 CHF**	16.0%
W	**Nebenkosten**					**459'836 CHF**	6.2%
Y	**indirekte Kosten**					**- CHF**	
Total exkl. MwSt						7'473'788 CHF	100%
MwSt.	7.70%					575'481.68 CHF	
Total inkl. MwSt.						**8'049'269.7 CHF**	

A. 7a) Kostenermittlung detailliert: Linear-Objekt (1/2)

ERSTELLUNGSKOSTEN **LINEAR**

eBKP		Gebäudeelement		Ausmass m2	Kennwert CHF	Kosten CHF	%
A	**Grundstrück**					**- CHF**	
B	**Vorbereitungsarbeiten**					**711'458 CHF**	10.7%
		Bezugsmenge Grundstückfläche (GSF)		5'692	125 CHF		
		Geologischer Bericht, Erschliessung Werkleitungen, Baugrube, Sicherung, Gerüst					
C	**Konstruktion Gebäude**					**1'630'275 CHF**	24.6%
		Bezugsmenge Geschossfläche (GF)		3'415	477 CHF		
C1	Bodenplatte, Fundament					**193'307 CHF**	2.9%
		Bodenplattenfläche (BOF)		1'100	176 CHF		
		010 - Bodenplatte UG: Stahlbeton DK1, XPS		525	192 CHF	100'461 CHF	
		011 - Bodenplatte TG: Stahlbeton DK1		575	162 CHF	92'846 CHF	
C2	Wandkonstruktion					**810'756 CHF**	12.2%
		Wandfläch (WF)		4'518	179 CHF		
		Aussenwandfläche uT (AWFU)		429	215 CHF		
		020 - Aussenwand UG: Stahlbeton DK1, XPS	m2	191	232 CHF	44'264 CHF	
		021 - Aussenwand TG: Stahlbeton DK1	m2	238	202 CHF	47'985 CHF	
		Aussenwandfläche üT (AWFO)		1'343	185 CHF		
		022 - Aussenwand OG (t): Backstein	m2	1'343	185 CHF	248'477 CHF	
		Innenwandfläche uT (IWFU)		213	115 CHF		
		023 - Innenwand UG: Kalksandstein (t)	m2	213	115 CHF	24'443 CHF	
		Innenwandfläche üT (IWFO)		2'533	176 CHF		
		024 - Innenwand OG: Tonziegel Mauerwerk(t)	m2	1'135	155 CHF	175'928 CHF	
		026 - Innenwand Brandabschnitt: Stahlbeton	m2	366	201 CHF	73'543 CHF	
		027 - Innenwand Kern: Stahlbeton	m2	1'032	190 CHF	196'115 CHF	
C3	Stützen					**22'500 CHF**	0.3%
		Stützen uT (Stk.)		5	4'500 CHF		
		030 - Stahlbetonstützen inkl. Stahlpilz	Stk.	5	4'500 CHF	22'500 CHF	
C4	Decken, Dachkonstruktion					**603'712 CHF**	9.1%
		Decken- und Dachflächen (DDF)		3'211	188 CHF		
		040 - Decke UG: Stahlbeton, Bitumen	m2	449	191 CHF	85'484.10 CHF	
		041 - Decke TG: Stahlbeton, Bitumen	m2	516	215 CHF	110'703.63 CHF	
		042 - Decke OG: Stahlbeton	m2	1'604	162 CHF	260'489.60 CHF	
		045 - Dach OG: Stahlbeton	m2	327	180 CHF	58'941.75 CHF	
		Vorfab.Elemente					
		043 - Treppenlauf: vorfab. Beton	m2	160	242 CHF	38'680.00 CHF	
		044 - Balkon: vorfab. Beton	m2	156	317 CHF	49'413.00 CHF	
D	**Technik**					**923'750 CHF**	13.9%
		Bezugsmenge Geschossfläche (GF)		3'415	270 CHF		
D1	Elektroanlage	Elektroinstallation und -apparate		3'415	70 CHF	239'050 CHF	3.6%
D5	Wärmeanlage	Fernwärmesystem; Fussbodenheizung		3'415	45 CHF	153'675 CHF	2.3%
D7	Lufttechnische Anlage	Abluftanlagen TG; Nasszellen; Küchen		3'415	25 CHF	85'375 CHF	1.3%
D8	Wasser-, Gas-, Druckluftanlage	Sanitärapparate, Wasserverteilung		3'415	110 CHF	375'650 CHF	5.7%
D9	Transportanlage	Personenaufzüge		3'415	20 CHF	70'000 CHF	1.1%
		Je ein Personenlift pro Treppenaufgang	Stk.	2	35'000 CHF	70'000 CHF	
E	**Äussere Wandbekleidung**					**644'217 CHF**	9.7%
		Bezugsmenge: Aussenwandfläche (AWF)		2'258	285 CHF		
E1	Äussere Wandbekleidung uT					**30'054 CHF**	0.5%
		Aussenwandfläche uT (AWFU)		429	70 CHF		
		Abdichtung unter Terrain	m2	429	70 CHF	30'054 CHF	
E2	Äussere Wandbekleidung üT					**167'890 CHF**	2.5%
		Aussenwandfläche üT (AWFO)		1'343	125 CHF		
		050 - Verputzte Aussenwärmedämmung	m2	1'343	125 CHF	167'890 CHF	

A. 7b) Kostenermittlung detailliert: Linear-Objekt (2/2)

E3	Einbaute zu Aussenwand					**446'273 CHF**	6.7%
		Fläche Aussenwandeinbauten (AWE)		485	920 CHF		
		050 - Absturzsicherung: Stahlgl. Fenster	Lfm	169	375 CHF	63'225.00 CHF	
		051 - Fenstertür: Kunststoff/Metall					
		Fenstertür 3Flügel	Stk.	38	2'750 CHF	104'500.00 CHF	
		Fenstertür 2Flügel	Stk.	2	2'200 CHF	4'400.00 CHF	
		Fenstertür 1Flügel	Stk.	32	1'513 CHF	48'400.00 CHF	
		052 - Fenster: Kunststoff/Metall					
		Fenster 2Flügel	Stk.	66	2'338 CHF	154'275.00 CHF	
		053 - Sonnenschutz:					
		Stoffmarkisen	Lfm	260	275 CHF	71'472.50 CHF	
F	**Bedachung Gebäude**					**182'747.3 CHF**	2.8%
		Bezugsmenge: Dachfläche (DAF)		659	277 CHF		
F1	Dachhaut					**182'747 CHF**	2.8%
		Dachfläche uT (DAFU)		454	75 CHF		
		Abdichtung unter Terrain	m2	454	75 CHF	34'050 CHF	
		Dachfläche üT (DAFO)		503	248 CHF		
		060 - Dach: Flachdachaufbau	m2	360	275 CHF	99'028 CHF	
		061 - Terrassendach *inkl. Hartbeton*	m2	143	178 CHF	25'490 CHF	
		062 - Flachdach Balkon *inkl. Hartbeton*	m2	156	155 CHF	24'180 CHF	
G	**Ausbau Gebäude**					**984'965 CHF**	14.9%
		Bezugsmenge: Geschossfläche (GF)		3'415	288 CHF		
G1	Trennwand, Tür, Tor					**189'442 CHF**	2.9%
		Fläche Tür, Tor, Fenster (TTTF)		597	317 CHF		
		070 - Tür Blockfutter	Stk.	107	1'150 CHF	123'050 CHF	
		071 - Tür Stahlzarge	Stk.	11	950 CHF	10'450 CHF	
		072 - Tür Schiebetür	Stk.	30	1'350 CHF	40'500 CHF	
		073 - Innenwand OG: Stahlständer (nt)	m2	96	105 CHF	10'045 CHF	
		074 - Trennwand Keller	m2	216	25 CHF	5'397 CHF	
G2	Bodenbelag					**433'263 CHF**	6.5%
		Bodenbelagsfläche (BBF)		1'576	275 CHF		
		081 - Bodenbelag OG: Klebeparkett, UB	m2	1'576	275 CHF	433'263 CHF	
G3	Wandbekleidung					**36'563 CHF**	0.6%
		Wandbekleidungsfläche (WBF)		318	115 CHF		
		090 - Nasszellen: Keramikplatten	m2	318	115 CHF	36'563 CHF	
G4	Deckenbekleidung					**15'697.50 CHF**	0.2%
		Deckenbekleidungsfläche (DBF)		449	35 CHF		
		091 - Deckenbekleidung UG: Glaswolle	m2	449	35 CHF	15'698 CHF	
G5	Einbauten					**310'000 CHF**	4.7%
		Bezugsmenge Geschossfläche (GF)		3'415	91 CHF		
		100 - Einbauküchen: Holzwerkstoff	Stk.	20	15'500 CHF	310'000 CHF	
I	**Umgebung**					**192'942 CHF**	2.9%
V	**Planungskosten**					**948'664 CHF**	14.3%
W	**Nebenkosten**					**405'817 CHF**	6.1%
Y	**indirekte Kosten**					**- CHF**	
Total exkl. MwSt						6'624'835 CHF	100%
MwSt.	7.70%					510'112.27 CHF	
Total inkl. MwSt.						**7'134'947.0 CHF**	

A. 8) Ziele EU-Kreislaufwirtschaftspaket 2018

Ziele EU-Kreislaufwirtschaftspaket 2018
- 60% Recycling von Siedlungsabfällen bis 2030 und 65% bis 2035
- 65% Recycling von Verpackungsabfällen bis 2025 und 70% bis 2030
- 50% Recycling von Kunststoffverpackungen bis 2025 und 55% bis 2030
- max. 10% unbelastete Abfälle auf Deponien bis 2035
- Verabschiedung Ökodesign-Richtlinie
- Änderungen der Bewertungen von Ökobilanzen
- Verstärkte Produzentenverantwortung
- Vereinfachte Definition und harmonisierte Berechnungsverfahren für Recyclingraten

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema ‘Gebäude mit Materialpass. Einfluss der Kreislaufwirtschaft auf die Immobilienbewertung’ selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe. Alle Stellen die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle (auch der verwendeten Sekundärliteratur) als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht.

Zürich, den 09.September 2021

_____

Madeleine Kindermann