

## **Gebäudemodellbasierte Analyse ausgewählter Nachhaltigkeitsindikatoren**

Analyse der CO<sub>2</sub> Emissionen und des Entsorgungsindikators  
anhand eines BIM-Modells

Daniel Bernklau, B.Eng.

Innsbruck, 17. Jänner 2024

### **Masterarbeit**

eingereicht an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Fakultät für  
Technische Wissenschaften zur Erlangung des akademischen Grades

### **Diplomingenieur**

Diese Masterarbeit ist der Vertiefungsrichtung „Baustoffe, Baubetrieb und  
Projektmanagement“ des Masterstudiums Umweltingenieurwissenschaften  
zugeordnet.

### **Beurteiler:**

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora

Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

iBT, Arbeitsbereich Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau



**Betreuer:** Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Matthias Flora, Universität  
Innsbruck, Institut für Konstruktion und  
Materialwissenschaften, iBT, Arbeitsbereich  
Baumanagement, Baubetrieb und Tunnelbau

**Mitbetreuer:** Ass. Prof. Bmstr. Dipl.-Ing. Dr. Georg Fröch, Universität  
Innsbruck, Institut für Konstruktion und  
Materialwissenschaften, iBT, Arbeitsbereich Baumanagement,  
Baubetrieb und Tunnelbau



# Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird aufgezeigt wie unter Zuhilfenahme eines digitalen Gebäudemodells klimaneutrale Gebäude auf ihre Kreislauffähigkeit hin analysiert und optimiert werden können. Dabei werden Prozesse und Abläufe in den verschiedenen Lebenszyklusphasen, von der Planung über die Errichtung, Instandhaltung und Betrieb bis hin zur Sanierung und Umnutzung sowie dem Rückbau, betrachtet. Besonderes Augenmerk liegt auf dem Zusammenhang zwischen innovativen Technologien, Prozessinnovationen und rechtlichen Rahmenbedingungen in einer kreislauffähigen Struktur. Die Grundlage für eine nachhaltige Kreislaufbauwirtschaft liegt in einer ganzheitlichen Planung, bei der Entscheidungen über Baustoffwahl, Konstruktionen und spätere Rückbauoptionen integral und frühzeitig getroffen werden. Zudem ist es wichtig, Bauherrn nicht nur für die Errichtungskosten, sondern auch für die Lebenszykluskosten zu sensibilisieren. Im Vergleich zur Sanierung stellt die Wartung bzw. Instandhaltung über einen längeren Zeitraum eine wirtschaftlichere Option dar. [1]. Sobald die Wirtschaftlichkeit einer Umnutzung nicht mehr gegeben ist, dient der Rückbau dazu, wertvolle Materialien für zukünftige Bauvorhaben zu nutzen. Es wird erwartet, dass die Planungs- und Baubranche einen drastischen Umbruch erleben wird, insbesondere aufgrund des EU Green-Deals[10]. Die Taxonomie-Verordnung [2], spielt dabei eine entscheidende Rolle für die Umsetzung des Green-Deals, da sie eine Offenlegungspflicht für ökologische und nachhaltige Werte vorschreibt. Banken werden dazu angehalten, grüne Produkte zu finanzieren, was Bauherren dazu zwingen wird, nachhaltige Konzepte von Planungsbüros einzufordern. Ein konkretes Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Software-basierten Auswertung des Entsorgungsindikators für Konstruktion und Gebäude, am Beispiel der Software Autodesk Revit. Dadurch soll es möglich sein, auf Basis eines digitalen Gebäudemodells eine qualitative und quantitative Bewertung der materiellen Zusammensetzung und des Entsorgungspotenzials vorzunehmen. In diesem Prozess wird eine semiquantitative Methode des Österreichischen Instituts für Bauen und Ökologie [9] verwendet, um Entsorgungseigenschaften von Bauteilen und Verbindungen zwischen Baustoffschichten zu analysieren. Zunächst werden die Bauteilmassen aus dem digitalen Gebäudemodell ermittelt, anschließend spezifische Entsorgungseigenschaften bewertet und die Bauteile unter Berücksichtigung ihrer Verbindungen beurteilt. Basis dieser Analyse ist das ATP-CO<sub>2</sub> -Gebäude-Tool in Form eines Excel-Tools, das die CO<sub>2</sub> -Emissionen eines Gebäudes auf Basis von Ökobilanzdaten und Baumassen aus dem digitalen Gebäudemodell berechnet. Es wird angenommen, dass solche Auswertungen bereits in frühen Planungsphasen als Optimierungswerkzeug dienen können. Zusammenfassend ermöglicht die entwickelte Methode und der zugehörige Workflow die Durchführung von Variantenstudien außerhalb des Modells, wobei Parameter wie Materialgüte und Materialgütezusätze in Excel flexibel angepasst werden können.



# Abstract

This work demonstrates how climate-neutral buildings can be analyzed and optimized for their circularity using a digital building model. The processes and procedures in various lifecycle phases – from planning and construction to maintenance, operation, renovation, and repurposing, as well as eventual dismantling – are considered. Special attention is given to the interplay between innovative technologies, process innovations, and legal frameworks within a circular context. The foundation for a sustainable circular construction economy lies in comprehensive planning, where decisions about material choices, constructions, and eventual disassembly options are made holistically and at an early stage. Additionally, it's important to sensitize building owners not only to initial construction costs but also to lifecycle costs. In comparison to renovation, maintenance over a longer period proves to be a more cost-effective option. When the feasibility of repurposing is no longer viable, dismantling is employed to recycle valuable materials for future construction projects. It's anticipated that the planning and construction industry will undergo a significant transformation, particularly due to the EU Green Deal. The Taxonomy Regulation plays a crucial role in the Green Deal's implementation by mandating disclosure of ecological and sustainable values. Banks are encouraged to finance green products, compelling building owners to demand sustainable concepts from architectural firms. A concrete objective of this work is to develop a software-based evaluation of the disposal indicator for construction and buildings, using Autodesk Revit as an example software. This aims to allow for a qualitative and quantitative assessment of material composition and disposal potential based on a digital building model. In this process, a semi-quantitative method from the Austrian Institute of Building and Ecology (IBO) is employed to analyze disposal characteristics of building components and connections between layers of construction materials. Initially, building component masses are determined from the digital building model, followed by an evaluation of specific disposal characteristics and an assessment of components considering their connections. The basis of this analysis is the ATP-CO<sub>2</sub> Building Tool, presented as an Excel tool, which calculates a building's CO<sub>2</sub> emissions based on life cycle assessment data and material masses from the digital building model. It's assumed that such evaluations can serve as optimization tools in early planning phases. In conclusion, the developed method and associated workflow enable conducting variant studies outside the model, with parameters such as material quality and material additives being flexibly adjusted in Excel.



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>vii</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>ix</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Stand der Forschung . . . . .	1
1.2 Ziel der Arbeit . . . . .	3
1.3 Stand der Technik . . . . .	5
<b>2 Umsetzung einer Kreislaufbauwirtschaft</b>	<b>7</b>
2.1 EU-Taxonomieverordnung . . . . .	9
2.2 Planungsphase . . . . .	10
2.3 Errichtungsphase . . . . .	12
2.4 Instandhaltung- und Betriebsphase . . . . .	13
2.5 Sanierungs- und Umnutzungsphase . . . . .	14
2.6 Rückbauphase . . . . .	14
<b>3 BIM-Basierte Analyse der CO<sub>2</sub> Emissionen</b>	<b>17</b>
3.1 Methode und Daten - ATP CO <sub>2</sub> Tool Gebäude . . . . .	18
3.2 Datenvorbereitung in REVIT und Tables . . . . .	19
3.3 Auswertung und Verknüpfung der Daten mit dem CO <sub>2</sub> Tool Gebäude . . . . .	20
3.4 Praxisbeispiel Flötzing Brauerei . . . . .	22
3.5 Auswertung CO <sub>2</sub> Tool Betrieb . . . . .	24
3.6 Auswertung CO <sub>2</sub> Tool-Gebäude . . . . .	30
3.7 Interpretation der Ergebnisse . . . . .	38
<b>4 Softwarebasierte Entsorgungsindikatoranalyse.</b>	<b>39</b>
4.1 Methode und Daten - EI Entsorgungsindikator . . . . .	39
4.2 Eco2Soft - Bewertung vordefinierter Bauteilschichten . . . . .	45
4.3 Auswertung Entsorgungsindikator . . . . .	64
4.4 Interpretation der Ergebnisse . . . . .	69
<b>5 Schlussfolgerung</b>	<b>71</b>
5.1 Ausblick . . . . .	72
<b>Anhang</b>	<b>75</b>

**Literaturverzeichnis**

**81**

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Säulen der Nachhaltigkeit [8] . . . . .	2
1.2	Methode des Materiellen Gebäudepasses [12] . . . . .	6
2.1	Prozess einer Kreislaufbauwirtschaft [1] . . . . .	8
2.2	Kostenverläufe einer Lebenszyklus optimierten Planung [1] . . . . .	12
3.1	Funktionsbeschreibung CO2 Tool Gebäude . . . . .	17
3.2	Befüllung der Parameter im Tables . . . . .	21
3.3	Eingabe CO2-Tool-Gebäude . . . . .	21
3.4	Funktionen der Gebäude . . . . .	22
3.5	Endenergiebedarf nach DIN V 18599 . . . . .	25
3.6	Energieausweis . . . . .	25
3.7	Endenergiebedarf Referenzgebäude . . . . .	26
3.8	Auswertung Endenergiebedarf und CO2-Emissionen - ATP Benchmark . . . . .	27
3.9	Auswertung nationale Anforderungen - Deutschland . . . . .	28
3.10	Auswertung regenerative Stromerzeugung . . . . .	29
3.11	3D Darstellung - Variante 1 . . . . .	30
3.12	Übersicht der Varianten . . . . .	30
3.13	Graue Emissionen nach Nutzungsphasen - Variante 1 . . . . .	31
3.14	Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen - Variante 1 . . . . .	32
3.15	Graue und Rote Emissionen - Variante 1 . . . . .	32
3.16	Graue Emissionen nach Nutzungsphasen - Variante 2 . . . . .	33
3.17	Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen - Variante 2 . . . . .	34
3.18	Graue und Rote Emissionen - Variante 2 . . . . .	34
3.19	Graue Emissionen nach Nutzungsphasen - Variante 3 . . . . .	35
3.20	Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen - Variante 3 . . . . .	36
3.21	Graue und Rote Emissionen - Variante 3 . . . . .	36
4.1	Bewertungsmatrix 1-5 für alle Entsorgungswege [9] . . . . .	40
4.2	Nutzungsdauerkatalog [9] . . . . .	41
4.3	Anpassung der Entsorgungseigenschaften [9] . . . . .	46
4.4	Anpassung der Entsorgungseigenschaften [9] . . . . .	47
4.5	Berechnung im eco2Soft [14] [9] . . . . .	53
4.6	3D Darstellung - Variante 1 . . . . .	64
4.7	EIKon nach den funktionalen Bauteilen - Variante 1 . . . . .	65
4.8	Variante 1 - EI10 auf Gebäudeebene . . . . .	66
4.9	Variante 2 - EI10 auf Gebäudeebene . . . . .	67

4.10 Variante 3 - EI10 auf Gebäudeebene . . . . . 68

# Tabellenverzeichnis

3.1	Auswertung Endenergiebedarf und CO2-Emissionen - ATP Benchmark . . .	27
3.2	Auswertung nationale Anforderungen - Deutschland . . . . .	28
3.3	Auswertung regenerative Stromerzeugung . . . . .	29
3.4	Flächenspezifische CO2-Emissionen - Variante 1 . . . . .	31
3.5	Absolute CO2-Emissionen - Variante 1 . . . . .	31
3.6	Absolute CO2-Emissionen - Variante 1 . . . . .	32
3.7	Flächenspezifische CO2-Emissionen - Variante 2 . . . . .	33
3.8	Abolute CO2-Emissionen - Variante 2 . . . . .	33
3.9	Abolute CO2-Emissionen - Variante 2 . . . . .	34
3.10	Flächenspezifische CO2-Emissionen - Variante 3 . . . . .	35
3.11	Absolute CO2-Emissionen - Variante 3 . . . . .	35
3.12	Absolute CO2-Emissionene-Variante 3 . . . . .	36
3.13	Vergleich CO2 Emissionen . . . . .	37
4.1	(fiktive) Reduktion/Erhöhung der betrachteten Abfallmengen [9] . . . . .	42
4.2	Bauteile in Brauerei Flötzingen . . . . .	48
4.3	STB_C30/37_2%_Stahl . . . . .	49
4.4	Berechnung - STB_C30/37_2%_Stahl . . . . .	49
4.5	Konstruktionsvollholz . . . . .	49
4.6	Berechnung - Konstruktionsvollholz . . . . .	49
4.7	Brettsperrholz . . . . .	50
4.8	Berechnung - Brettsperrholz . . . . .	50
4.9	WDVS_Standard_EPS/XPS . . . . .	51
4.10	Berechnung - WDVS_Standard_EPS/XPS . . . . .	51
4.11	Fassade_hinterlüftet_Standard_Holz_Mineralwolle . . . . .	52
4.12	Berechnung - Fassade_hinterlüftet_Standard_Holz_Mineralwolle . . . . .	52
4.13	Fassade_hinterlüftet_Standard_Stahl_Mineralwolle . . . . .	54
4.14	Berechnung - Fassade_hinterlüftet_Standard_Stahl_Mineralwolle . . . . .	54
4.15	Sandwichpaneel_Standard_Mineralwollee . . . . .	55
4.16	Berechnung - Sandwichpaneel_Standard_Mineralwolle . . . . .	55
4.17	Außenwand_gegen_Erdreich_XPS_Bitumen . . . . .	56
4.18	Berechnung - Außenwand_gegen_Erdreich_XPS_Bitumen . . . . .	56
4.19	GK_Wand_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle . . . . .	57
4.20	Berechnung - GK_Wand_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle . . . . .	57
4.21	Schacht_einseitig_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle . . . . .	58
4.22	Berechnung - einseitig_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle . . . . .	58
4.23	Lehmbauwand_doppelt_beplankt_Holzständer_Holzwohle . . . . .	59

4.24	Berechnung - Lehmbauwand_doppelt_bepunkt_Holzständer_Holzwolle . . .	59
4.25	Abhang_Decke_GK_ohne_Schallschutzauflage . . . . .	60
4.26	Berechnung - Abhang_Decke_GK_ohne_Schallschutzauflage . . . . .	60
4.27	Flachdach_Standard_extensiv_begrünt_Mineralwolle . . . . .	61
4.28	Berechnung - Flachdach_Standard_extensiv_begrünt_Mineralwolle . . . . .	61
4.29	Linoleum_auf_Doppelboden . . . . .	62
4.30	Berechnung - Linoleum_auf_Doppelboden . . . . .	62
4.31	Fliesen_auf_Zementestrich_EPS . . . . .	63
4.32	Berechnung - Fliesen_auf_Zementestrich_EPS . . . . .	63
4.33	EIKon nach den funktionalen Bauteilen-Variante 1 . . . . .	65
4.34	EI10 auf Gebäudeebene-Variante 1 . . . . .	66
4.35	EIKon nach den funktionalen Bauteilen-Variante 1 . . . . .	67
4.36	EI10 auf Gebäudeebene-Variante 2 . . . . .	67
4.37	EIKon nach den funktionalen Bauteilen-Variante 3 . . . . .	68
4.38	EI10 auf Gebäudeebene-Variante 3 . . . . .	68
1	Bauelementschlüsselobergruppe 400 . . . . .	76
2	Bauelementschlüsselobergruppe 200 . . . . .	76
3	Unterteilung der Gewerke . . . . .	77
4	Materialgüte: Fassade, Dach, Rohbau . . . . .	77
5	Materialgüte: Gründung, Innenausbau, Fußböden . . . . .	77
6	Materialgüte: Fenster, Türen, nicht_Bewertet . . . . .	78
7	Materialgüte Zusatz: WDVS, Fassade . . . . .	78
8	Materialgüte Zusatz: Fassade, Sandwichpaneel . . . . .	79
9	Materialgüte Zusatz: Außenwände, Pfostenriegelfassade . . . . .	79
10	Materialgüte Zusatz: Flachdach und Foliendach, STB, Sauberkeitsschicht . .	79
11	Materialgüte Zusatz: GK_Wand , Systemtrennwand, Lehmbauwand . . . . .	80
12	Materialgüte Zusatz: Decke , Kellerdämmung, Epoxidharzbeschichtung . .	80
13	Materialgüte Zusatz: Fußbodenbeläge , Fenster, Türen . . . . .	80

# 1 Einleitung

## 1.1 Stand der Forschung

Terminsicherheit, Kostensicherheit, insbesondere Energieeffizienz und Nachhaltigkeit sind wesentliche Faktoren in Bauprojekten und zählen zugleich zu den zentralen Problemen von Bauvorhaben. Im Bausektor erfolgt die Denkweise und Planung oft sequenziell anstatt integral [11]. Nichtsdestotrotz werden umfassende Kenntnisse zu Energieeffizienz, bedarfsgerechten Raumklimasystemen, energie- und ressourcensparenden Energieerzeugungssystemen, umweltschonenden Konstruktionen sowie zu nachhaltigen und kreislauffähigen Materialien bei den Architekten:innen und Ingenieuren:innen vorausgesetzt. Berücksichtigt man die großen Mengen an Rohstoffen die für die Baubranche benötigt werden, muss das Ziel sein, den materialintensiven Bausektor kreislauffähiger zu gestalten [1]. Dabei werden für die Planung und Umsetzung nachhaltiger Gebäude in allen Planungsphasen neue Strukturen benötigt. Man kann von einem drastischen Umbruch der Planungs- und Baubranche ausgehen. Insbesondere wird der EU Green Deal [10] eine zentrale Rolle für Unternehmen spielen. Der EU Green Deal hat Auswirkungen auf die Kapitalwirtschaft, da er nachhaltige Investitionen fördert und durch regulatorische Maßnahmen sowie grüne Finanzinstrumente den Übergang zu einer klimafreundlichen Wirtschaft erleichtert. Dadurch werden Kapitalströme in Richtung nachhaltige Projekte gelenkt und Chancen für Investitionen in grüne Technologien eröffnet [10]. Dabei liegt ein besonderes Augenmerk auf der Taxonomie Verordnung [2], welche entscheidend für die Umsetzung des Green-Deals ist. Sie beschreibt eine Offenlegungspflicht nicht-finanzieller Qualitäten. Ziel ist es, ökologische und nachhaltige Werte messbar zu machen. Banken werden dazu bewegt, grüne Produkte zu finanzieren, woraufhin Bauherr:Innen gezwungen sein werden, nachhaltige Konzepte von Planungsbüros zu einzufordern. In Zukunft müssen relevante Einflüsse in Bezug auf die materielle Zusammensetzung eines Gebäudes bereits in frühen Planungsphasen geklärt werden. Die Zielsetzungen für eine umweltschonende Planung und Umsetzung sind ein ausgewogenes Ergebnis für Umwelt, Mensch und Ökonomie. Man spricht von den drei Säulen der Nachhaltigkeit: die ökologische, die ökonomische und der sozialen Komponente. Entsprechend der sozialen Säule können nur Gebäude, die von der heutigen Gesellschaft angenommen werden, der Nachhaltigkeit entsprechen. Die Lebensdauer eines Gebäudes zu verlängern, bzw bestehende Gebäude umzunutzen stellt dabei die beste Ressourcenschonung dar. Das gesellschaftliche Engagement von Unternehmen rückt auch deshalb zunehmend in den Fokus, weil eine vorausschauende Planung das Risiko von Leerstand und Wertverlust deutlich reduzieren kann. Die Ökonomie verdeutlicht die zweite Säule der Nachhaltigkeit. Hier zeigt sich, dass durch das Erreichen der wirtschaftlichen Ziele und Interessen von Unternehmen gleichzeitig eine Schonung der Umwelt bewirkt werden

kann. Die steigenden Rohstoff- und Energiepreise führen zu einem dauerhaften Umdenken und veranlassen viele Unternehmen dazu, effizienter mit Ressourcen umzugehen, also Kosten über den gesamten Lebenszyklus zu optimieren. Mit dem Inhalt der ökologischen Säule rücken die Themen Ressourcen- und Energieeffizienz besonders in den Vordergrund. Vor allem gilt es, die ökologische Qualität von Bauwerken durch die Senkung des Ausstoßes von schädlichen Emissionen zu verbessern.



Abbildung 1.1: Säulen der Nachhaltigkeit [8]

Durch den verhältnismäßig hohen Verbrauch von Ressourcen in der Bauwirtschaft wird ein fundamentales Konzept, hinsichtlich Abbau und Wiederverwertbarkeit für alle Projektbeteiligten notwendig sein. Die Auswahl von umweltgerechten Baustoffen ist von großer Bedeutung, um Ressourcen zu schonen und nachhaltiges Bauen zu ermöglichen. Nachhaltige Projektplanung wird immer mehr in den Fokus gerückt und ist ein zentrales Thema in Planungsprozessen sowie in Veranstaltungen und Veröffentlichungen. Aus der Begriffsbestimmung zum Thema Green Building ergibt sich jedoch eindeutig, dass unter nachhaltigem Bauen nicht nur das bloße Energiesparen verstanden werden kann, sondern dass ein weitaus umfassenderer Ansatz gilt. Dabei muss der Ressourceneinsatz genauso berücksichtigt werden, wie die entstehenden grauen Emissionen. Unternehmen müssen sich die Frage stellen, wie Ressourcen im Kreislauf gehalten werden können. Man darf annehmen, dass dieses Grundprinzip der Nachhaltigkeit zukünftig immer mehr integraler Bestandteil unseres Planungsprozesses werden wird. Insgesamt bedeutet der Wandel von der traditionellen Planung zur modernen nachhaltigen Arbeitsweise für den gesamten Bau- und Immobiliensektor eine langfristige und anspruchsvolle Herausforderung. Dieser neue Planungsansatz setzt eine frühzeitige Festlegung der wesentlichen Ziele voraus. Zudem wird eine integrale, d.h. ganzheitliche Planung über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes und ein gutes Qualitätsmanagement erforderlich sein. Wer sich detaillierter mit einem Baustoff auseinandersetzen möchte, muss sich einen Überblick über zusammenfassende Informationen aus den Bereichen Bauphysik, Anwendung, Lebenszyklus und der Ökobilanz machen. Es müssen Materialien ausgewählt und analysiert werden, die aufgrund ihrer flächenmäßigen Anwendung und hinsichtlich

des Lebenszyklus eine besondere Relevanz besitzen und durch ihre funktionalen und bauphysikalischen Eigenschaften besonders attraktiv für den Einsatz in zukünftigen Gebäuden sind. Zugänglichkeit in mehrschichtigen Systemen, Trennbarkeit aber auch Verunreinigungen im Zusammenhang mit dem Lebenszyklus eines Materials werden dabei wesentliche Auswahlkriterien sein. Ferner müssen Materialressourcen erfasst und genutzt werden um klimaneutrale Gebäude kreislauffähiger zu gestalten. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Planung und Errichtung von zirkulären Gebäuden ein wesentlicher Schlüssel zum Erfolg von zukunftsfähigen Gebäuden sein wird.

## 1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, eine Software-basierte Auswertung des Entsorgungsindikators für Konstruktion und Gebäude zu schaffen. Der Entsorgungsindikator, vom IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH [9], spielt eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes. Es soll möglich sein, im Vorentwurf, auf Basis eines digitalen Modells, semi-automatisiert den potenziellen Umweltaufwand und die Ressourcennutzung im Zusammenhang mit der Entsorgung der funktionalen Bauteile zu ermitteln. Das Tool analysiert den Entsorgungsindikator für eine Reihe von Komponenten wie Fassade, Dach, Rohbau, Gründung, Innenausbau, Fußböden, Fenster und Türen. Da die Bilanz für jedes Gewerk durchgeführt wird, kann festgestellt werden, in welchem Bereich Verbesserungsbedarf besteht. Dabei werden für ausgewählte vordefinierte Bauteilschichten das Entsorgungs- und Verwertungspotenzial über ein anfallendes Volumen eingestuft. Im ersten Schritt muss die Lebensdauer jeder Bauteilschicht ermittelt werden. Die geschätzte Lebensdauer einer Komponente beeinflusst den Entsorgungsindikator. Länger haltbare Bauteile haben in der Regel einen geringeren Entsorgungsindikator, da sie seltener ausgetauscht werden müssen. Anschließend wird die Recyclingfähigkeit bestimmt. Die Fähigkeit einer Komponente, recycelt zu werden, wirkt sich ebenfalls auf den Entsorgungsindikator aus. Bauteile, die leicht recycelbar sind, haben einen geringeren Entsorgungsindikator im Vergleich zu nicht recycelbaren Materialien. Außerdem muss der Entsorgungsaufwand eingeschätzt werden. Der Aufwand, der mit der Entsorgung einer Komponente verbunden ist, wird in den Entsorgungsindikator einbezogen. Dies umfasst den Transport zur Deponie, die Entsorgungsmethoden und die Behandlung von möglichen Schadstoffen. Einzelne Bauteile werden in diesem Schritt mithilfe des Online Tools Eco2Soft [14] eingestuft und analysiert werden. Nachdem der Entsorgungsindikator für die einzelnen funktionalen Bauteile berechnet wurde, werden diese Werte zusammengeführt, um den Entsorgungsindikator auf Gebäudeebene zu erheben. Dies ermöglicht eine umfassende Bewertung des gesamten Gebäudes in Bezug auf seinen Entsorgungsaufwand und seine Umweltauswirkungen. Um diese Thematik leichter handhabbar zu machen, werden die grauen CO<sub>2</sub> Emissionen eines aktuellen Projektes der ATP Innsbruck Planungs GmbH auf Basis des Revit-Modells ausgewertet und interpretiert. Für die Berechnung werden die Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung und Rückbau ausgewertet. Das Tool berechnet auf Basis von Ökobilanzdatensätzen und Baumassen aus dem digitalen Gebäudemodell die CO<sub>2</sub> Emissionen eines Gebäudes. Die Frage nach den Entsorgungseigenschaften von Baustoffen ist dabei von besonderem Interesse, weil im diesem Zuge, aufbauend auf dem CO<sub>2</sub> Tool [7], eine direkte Bilanz zu den CO<sub>2</sub> Emissionen erstellt werden kann. Als Gegenstand der Analyse wird das aktu-

elle Projekt Flötzinger, Neubau einer Brauereianlage, dienen. Geplant wird das Gebäude vom Unternehmen ATP Architekten und Ingenieure. Zum einen soll das aktuelle Projekt die Auseinandersetzung mit der Thematik erleichtern, zum anderen soll die Problematik eingestuft werden, wie weit semiautomatisiert eine qualitative und quantitative Aussage über die Entsorgungseigenschaften getroffen werden kann. Nachhaltigkeit ist beim Unternehmen ATP schon seit mehreren Jahren ein fundamentales Thema. Der ATP Green Deal beinhaltet, dass jedes Gebäude, CO<sub>2</sub>-neutral, klimaneutral, klimaresilient und zirkulär geplant wird. Ziel der ATP Gruppe ist es, eine Vorreiterrolle bei der Planung von nachhaltigen Gebäuden in allen Leistungsphasen zu übernehmen. Es soll dadurch möglich sein, den Auftraggeber:Innen klimaneutrale Empfehlungen zu geben. Zudem befasst sich die Arbeit mit den Kernaussagen der Kreislaufbauwirtschaft nach Lebenszyklusphasen. Dadurch soll die Thematik der Kreislaufbauwirtschaft besser verstanden werden. Außerdem werden die Auswirkungen auf den Planungsablauf und deren innovative Prozesse beschrieben. Grundsätzlich soll ein Überblick über die Prozesse und Workflows für den Einsatz der BIM Methode im Themenbereich Nachhaltiges Bauen geschaffen werden. Problemstellung wird sein, dass Daten und Qualitäten in Bauteilen so definiert werden müssen, dass es möglich ist, sie auszuwerten, erst dann ist es für den Planer möglich Verbesserungen zu tätigen und vorzuschlagen. Die Anforderungen an BIM Modelle werden also höher. Informationen sollten konsistent, lebenszyklusübergreifend und vor allem strukturiert vorliegen und allen Beteiligten zur Verfügung stehen.

### 1.3 Stand der Technik

Es gibt verschiedene Tools im Bereich von Building Information Modeling (BIM) und Nachhaltigkeit, die Planer:innen bei der Integration nachhaltiger Prinzipien in den Gebäudeplanungsprozess unterstützen. Im Folgenden werden zwei Beispiele für Tools im Zusammenhang mit Building Information Modeling (BIM) und Nachhaltigkeit aufgezeigt. Eines dieser Tools ist der BIMaterial Prozess-Design [12]. Dieser Prozess basiert auf Building Information Modeling (BIM) und ermöglicht die Integration und Verwaltung von Materialinformationen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes. Im Rahmen des BIMaterial Prozess-Designs wird eine umfangreiche Datenbank erstellt, in der Informationen zu verschiedenen Materialien wie Eigenschaften, Herkunft, Recyclingfähigkeit und Entsorgungsoptionen gespeichert werden. Die Materialien werden im BIM-Modell des Gebäudes repräsentiert, wobei ihre spezifischen Eigenschaften, Abmessungen und Platzierung berücksichtigt werden. Der Prozess umfasst auch das Management des Materialflusses und der Ressourcen sowie die Bewertung der Nachhaltigkeit der verwendeten Materialien. Dabei werden der Energieverbrauch während der Herstellung und Nutzung, die CO<sub>2</sub>-Emissionen und andere Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit den Materialien analysiert. Auf Grundlage dieser Informationen können nachhaltigere Materialoptionen identifiziert und ausgewählt werden. Des Weiteren wird im Zuge des BIMaterial Prozess-Designs ein materieller Gebäudepass erstellt, der eine umfassende Dokumentation des Gebäudes darstellt. Dieses Dokument liefert Informationen zur Recyclingbewertung, dem Entsorgungsindikator sowie zur spezifischen materiellen Zusammensetzung. Es beleuchtet ebenfalls die ökologischen Umweltauswirkungen auf verschiedenen Ebenen (Gebäude, Bauteil und Material). Die Recyclingnote zeigt den prozentualen Anteil des recycelbaren Gebäudematerials im Vergleich zur Menge an Abfallmaterial am Ende des Lebenszyklus. Der Entsorgungsindikator [9], eine von IBO definierte flächengewichtete Bewertung, berücksichtigt das Entsorgungs- und Wiederverwertungspotenzial sowie das Volumen. Beide Kennzahlen werden auf einer Skala von 1 bis 5 bewertet. Die Recyclingnote umfasst sämtliche Bauteile im Gebäude, während der Entsorgungsindikator die thermische Außenhülle (ohne Fenster und Außentüren), Innenwände und Geschoßdecken einschließt. Die Resultate des generierten MGP-Dokuments verdeutlichen die Bewertung der Recyclingfähigkeit und des Entsorgungsindikators. Diese Angaben ermöglichen Einblicke in den Materialfluss und die Umweltauswirkungen auf das Bauwerk. Weitere detaillierte Ergebnisse sind in den nachfolgenden Abbildungen zu finden. Dies ermöglicht den Eigentümern eine effiziente Planung zukünftiger Instandhaltungs- und Entsorgungsmaßnahmen. Das Ziel des BIMaterial Prozess-Designs ist es, die Transparenz, Effizienz und Nachhaltigkeit im Umgang mit Materialien zu verbessern. Durch den Einsatz von BIM-Technologie werden fundierte Entscheidungen unterstützt und die Umweltauswirkungen reduziert. Der Prozess optimiert die Planung, Konstruktion und Wartung eines Gebäudes unter Berücksichtigung der Materialkomponente [12].

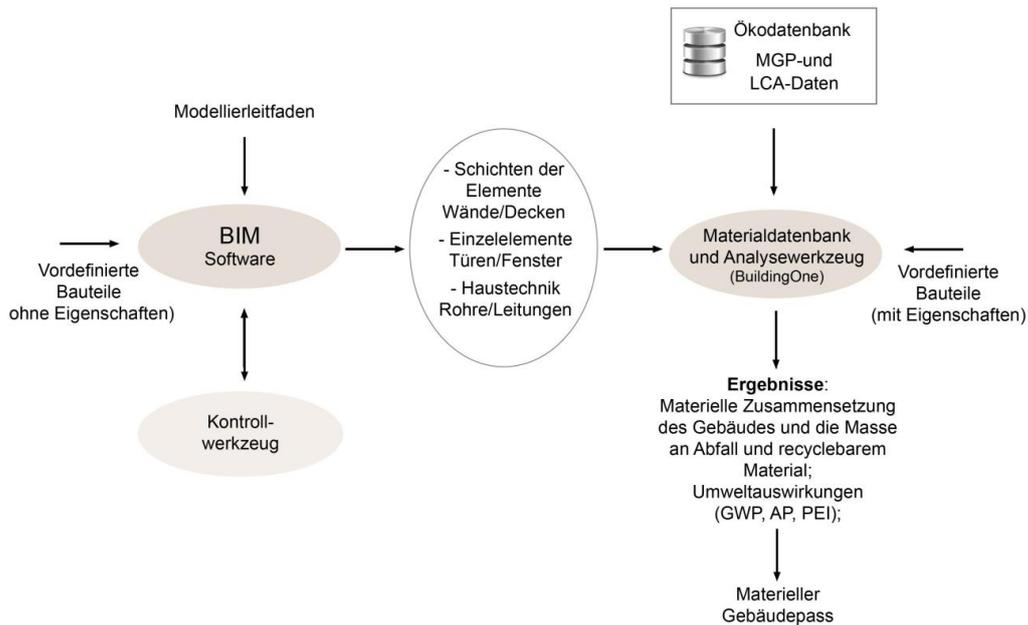


Abbildung 1.2: Methode des Materiellen Gebäudepasses [12]

Ein weiteres relevantes Tool repräsentiert das eToolLCD [5]. Es beschreibt ein unabhängiges Tool zur Lebenszyklus-Analyse (LCA) und zur Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung von Gebäuden. Die Verbindung zwischen eToolLCD und Revit ermöglicht es, BIM-Modelldaten effektiv in den Lebenszyklus-Analyseprozess einzubeziehen und eine fundierte Bewertung der Nachhaltigkeitsleistung eines Gebäudes durchzuführen. Das Revit-Modell wird exportiert, um die notwendigen Daten für die Analyse in eToolLCD bereitzustellen. Hierbei werden relevante Informationen zu Materialien, Bauteilen und Systemen extrahiert. In eToolLCD werden die Umweltauswirkungen des Gebäudes analysiert und bewertet. Dies umfasst den Energieverbrauch, die CO<sub>2</sub>-Emissionen, den Wasserverbrauch, die Abfallerzeugung und andere relevante Umweltaspekte. Darüber hinaus können alternative Materialien, Konstruktionsmethoden oder Energieeffizienzmaßnahmen untersucht und verglichen werden. Die Ergebnisse enthalten Informationen zu den berechneten Umweltkennzahlen, grafische Darstellungen und Empfehlungen für Verbesserungen. [5]

## 2 Umsetzung einer Kreislaufbauwirtschaft

Im Bauwesen stellen geschlossene Kreisläufe nur einen kleinen Teil des Materialflusses dar. Tatsächlich machen Baustoffströme mehr als 50 Prozent des österreichischen Ressourcenverbrauchs und der Abfallströme aus. Dies zeigt, dass es im Bauwesen einen erheblichen Bedarf gibt, den Materialverbrauch zu optimieren und den Einsatz von Ressourcen zu minimieren. [1] Die heutige Bauindustrie und Gesellschaft denkt in zu kurzen Lebenszyklen, in denen es keine konkret greifbaren Standards für Kreislauffähigkeit, Dauerhaftigkeit und Umweltverträglichkeit gibt. Im kommenden Jahrzehnt ist mit einem drastischen Anstieg der Baurestmassen zu rechnen. [1] Durch smarte Planungsmethoden und ein geeignetes Management der Stoffströme besteht die Möglichkeit diese zu reduzieren und folglich Ressourcen zu schonen. Hohe Recyclingraten werden dabei besonders wichtig sein, um das Deponieaufkommen weitestgehend in Grenzen zu halten. Die fehlende Trennbarkeit von Baustoffen stellt ein Problem dar, da dies dazu führt, dass Materialien bei Abriss- oder Renovierungsarbeiten oft nicht sortenrein wiederverwertet werden können. Dies hat negative Auswirkungen auf Ressourceneinsparungen, Recyclingmöglichkeiten und führt zu erhöhten Kosten und Umweltauswirkungen durch die Deponierung von nicht recycelbaren Materialien. Dabei gestaltet sich die Trennbarkeit der Baustoffe oft schwierig aufgrund ihrer komplexen Zusammensetzung und Verbindung während des Bauprozesses. Konstruktionen müssen dementsprechend bedarfsgerecht geplant werden. Neue Ansätze in Bezug auf Produktgestaltung, Kennzeichnung und Rückgewinnungsverfahren sind notwendig, um die Trennbarkeit zu verbessern. Bestehende Infrastrukturen und Praktiken im Baugewerbe legen oft keinen starken Fokus auf die Sortierung und Trennung von Materialien, was technische und organisatorische Lösungen erfordert, um diese Herausforderungen zu bewältigen. In diesem Zusammenhang müssen umweltverträglichere Rohstoffe und Sekundärbaustoffe für eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen eingesetzt werden. An dieser Stelle ist besonders zu betonen, dass grundsätzlich Sanierungen immer Neubauten vorgezogen und auch gefördert werden sollten. Durch die Sanierung und Modernisierung bestehender Gebäude werden Ressourcen wie Baumaterialien, Energie und Wasser effizient genutzt. Dies reduziert den Bedarf an neuen Baustoffen. Außerdem können Sanierungen oft kostengünstiger sein als der Bau eines neuen Gebäudes. Durch die Wiederverwendung vorhandener Strukturen und die gezielte Modernisierung können erhebliche Kosten eingespart werden, beispielsweise beim Kauf eines Grundstücks. Dieses Kapitel soll Prozesse anstoßen, wie es gelingen kann, dass klimaneutrale Gebäude kreislauffähiger werden. Es präsentiert die Auseinandersetzung, wie Abläufe gestaltet und im konkreten Sinne funk-

tionieren können. Dabei sollen Konflikte und relevante Hebel während der Planungsphase, Errichtungsphase, Instandhaltung und Betrieb, Sanierung und Umnutzung, sowie dem Rückbau aufgezeigt werden. Die Abbildung 2.1 soll die Auseinandersetzung mit der Thematik erleichtern und verdeutlicht den Zusammenhang zwischen innovativen Technologien, Prozessinnovationen und rechtlichen Rahmenbedingungen in einer kreislauffähigen Struktur.



Abbildung 2.1: Prozess einer Kreislaufbauwirtschaft [1]

## 2.1 EU-Taxonomieverordnung

Der EU Green Deal ist eine umfassende Initiative der Europäischen Union, die darauf abzielt, Europa bis 2050 klimaneutral zu machen und eine nachhaltige Wirtschaft zu fördern. [10] Ein wichtiger Bestandteil des EU Green Deals ist die EU Taxonomieverordnung. Diese Verordnung legt Kriterien fest, anhand derer beurteilt wird, welche wirtschaftlichen Aktivitäten als ökologisch nachhaltig gelten und somit dazu beitragen, die Klima- und Umweltziele des Green Deals zu erreichen. Durch die Taxonomieverordnung wird Transparenz geschaffen und grünes Investieren gefördert, um den Übergang zu einer nachhaltigen und kohlenstoffarmen Wirtschaft zu unterstützen. Erste Anforderungen der EU Taxonomie sind bereits ab dem 1. Januar 2022 umzusetzen. Die EU Taxonomie Verordnung ist ein zentraler Bestandteil des EU Green Deal, der das Ziel hat, den Übergang zu einer modernen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Wirtschaft zu erreichen. Sie gilt in ganz Europa, d.h. es gibt keine nationalen Besonderheiten und Sonderregelungen. Marktverzerrungen sollen vermieden werden und alles soll vergleichbar sein. Das Ziel besteht darin, die Stärkung von nachhaltigen Unternehmen und Projekten zu fördern, indem Finanzierungen gezielt auf Nachhaltigkeit ausgerichtet werden. Dadurch soll der Übergang zu einer Wirtschaft, die klimafreundlich, widerstandsfähig und ressourcenschonend ist, umgesetzt werden. Den Kern der EU Taxonomie bilden sechs Klima- bzw. Umweltschutzziele. Diese sind: Klimaschutz (seit 2021), Anpassung an den Klimawandel (seit 2021), nachhaltige Nutzung und Schutz der Wasser- und Meeresressourcen (ab 2022), Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft, Abfallvermeidung und Recycling (ab 2022), Vermeidung und Verminderung von Umweltverschmutzung (ab 2022), Schutz und Wiederherstellung der biologischen Vielfalt und der Ökosysteme (ab 2022). Eine wirtschaftliche Tätigkeit kann nur als ökologisch nachhaltig betrachtet werden, wenn sie mindestens zu einem der in der Taxonomie Verordnung festgeschriebenen Umweltziele beiträgt. Um als nachhaltig eingestuft zu werden, darf eine Aktivität, die eines oder mehrere der sechs Ziele verfolgt, keinen erheblichen Schaden für die anderen Ziele der Taxonomie verursachen. Dieses Prinzip wird als "Do No Significant Harm"(DNSH) bezeichnet. [6] Zum Beispiel werden Banken bei der Kreditvergabe daher signifikant mehr Wert auf die Prüfung von Nachhaltigkeitsmerkmalen der finanzierten Tätigkeit legen als dies bisher der Fall war. Davon betroffen sind auch die Bau- und Immobilienbranche als großer CO<sub>2</sub>- Emittent und Abfallproduzent. Auswirkungen sind hier sowohl auf Bestandsobjekte als auch auf Neubauten zu erwarten. Seitens Banken, Versicherungen und Fonds wird es eine verstärkte Nachfrage nach Projekten geben, die den Richtlinien entsprechen. Eine Prüfung potentieller Ankaufsobjekte hinsichtlich der Taxonomie-Kriterien wird unerlässlich sein. Besonders aber geht es auch darum, Greenwashing zu vermeiden. Auf Immobilien bezogen, sind vier unterschiedliche Aktivitäten besonders relevant, bei denen die Taxonomie zum Tragen kommt; die Errichtung neuer Gebäude; der Erwerb von Gebäuden; die Renovierung von Bestandsgebäuden und die Sanierungsmaßnahmen, Einbau erneuerbarer Energien sowie fachliche, wissenschaftliche und technische Tätigkeiten. Um nur ein Beispiel für die daraus entstehenden Herausforderungen zu nennen, muss bei Neubauten der sogenannte Near-Zero-Building Standard um 20 Prozent unterschritten werden. Bei der Renovierung von Bestandsgebäuden wird ein Rückgang des Energiebedarfs um 30 Prozent angestrebt. [4]

## 2.2 Planungsphase

Die Kreislaufbauwirtschaft beginnt bei einer gesamtheitlichen Planung, in der Entscheidungen über die entsprechende Baustoffwahl und geeignete Konstruktionen und über den späteren Rückbau möglichst integral getroffen werden sollten. Idealerweise werden Bauherrn:Innen gesamthaft mit allen Architektur- und Ingenieurleistungen betreut. Man steht vor der Herausforderung, Bauvorhaben auf ihre maximale Verwertung zu optimieren und die dafür notwendigen Rahmenbedingungen für eine Kreislaufbauwirtschaft zu definieren und gemeinsam abzuarbeiten. Berücksichtigt man das Einzeldasein vieler Planungsbeteiligten ist die Kooperation und Kommunikation zwischen allen Akteuren von großer Bedeutung. Die integrale BIM-gestützte Planung weist dabei spezifische Vorteile auf, da sie eine transparente Dokumentation und Erfassung relevanter Informationen über den gesamten Lebenszyklus ermöglicht. Einerseits wird die Nachnutzung und Umnutzung eines Gebäudes durch Informationen über Aufbau und Geometrie vereinfacht, andererseits wird dokumentiert, in welcher Qualität und Menge Materialien vorhanden sind. Im Zusammenhang mit der Dokumentation erforderlicher materieller Eigenschaften und Zusammensetzungen sind insbesondere für den späteren Rückbau, die Sanierung und die Umnutzung die informationsreichen dreidimensionalen Modelle von großem Vorteil. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf der Verbindung der Hilfsmittel liegen, also der Kopplung von BIM, Öko- und Recycling-Datenbanken und Materialdatenbanken. [12] BIM präsentiert dabei eine ideale Basis für eine Erfassung und Ermittlung sowie Bewertung von Ressourcen. Die Methodik hat das Potenzial, jegliche Parameter, über Umwelteigenschaften und Instandhaltungsinformation, über einen gesamten Lebenszyklus zu transportieren. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch innovative Technologien die Digitalisierung der Treiber der Kreislauffähigkeit sein wird. Die spätere Umnutzbarkeit und Rückbaubarkeit stellt einen weiteren wichtigen planerischen Grundsatz dar. Dabei sind die Bestandserhaltung und die Verdichtung ein wesentliches Element der Nachhaltigkeit. Das bedeutet, dass ein Gebäude logischerweise besser im Lebenszyklus abschneidet, je länger es im Bestand erhalten wird. Hier ermöglicht die Entwicklung eines sinnvollen Planungsrasters mit sinnvollen Strategien in weiterer Folge eine lange und gute Nutzbarkeit für unterschiedlichste Funktionen eines Gebäudes. Intelligente und robuste Konstruktionen können als Materiallager für eine weitere Nutzungsbestimmung betrachtet werden. Potenzialanalysen zur Wiederverwendung können dabei einen wertvollen Beitrag leisten. Beispielsweise Bewertungsverfahren, die das Potenzial von Materialien, Bauteilen oder Produkten für eine erneute Nutzung untersuchen und dabei technische, wirtschaftliche und ökologische Faktoren berücksichtigen. Das Hauptziel besteht darin, die Ressourceneffizienz zu maximieren und die Abfallmenge zu reduzieren. Bei Potenzialanalysen zur Wiederverwendung wird ein besonderes Augenmerk auf die Bewertung der Langlebigkeit eines Bauwerks gelegt. Planer:innen sollten bereits von Beginn an auf die Dauerhaftigkeit und Wiederverwendbarkeit von Produkten achten. Diese Hürden in der Planung haben auch große Auswirkungen auf die Kostenverläufe und auf die Wirtschaftlichkeit. Abbildung 2.2 vergleicht die Kosten bei einer konventionellen Planung mit den Kosten einer Lebenszyklus optimierten Planung. Um eine nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten, müssen neben den Planer:innen im grünen Segment auch Investoren, Zertifizierungsinstrumente, Hersteller, Verarbeiter, Gesetzgeber, die Abfallbranche und Verwaltungsinstitute in den Prozess einbezogen werden. Eine umfassende Einbeziehung verschiedener Akteure in den Planungsprozess ist entschei-

dend, um ökologische und soziale Standards zu gewährleisten und langfristige Nachhaltigkeit zu erreichen. Die EU Taxonomie Verordnung wird Investoren in Zukunft alternative Herangehensweisen ermöglichen, um Nachhaltigkeit zu bewerten. Darüber hinaus engagieren sich Hersteller intensiv in der Entwicklung innovativer Lösungen, während Verwaltungsbehörden offen für neue Prozesse zu sein scheinen. Diese Entwicklungen signalisieren positive Veränderungen und einen verstärkten Fokus auf Nachhaltigkeit in verschiedenen Sektoren. Es ist gut zu erkennen, dass die Kosteneffizienz erst bei der Untersuchung eines gesamten Gebäudelebenszyklus zum Vorschein kommt. Obwohl die Planungskosten zu Beginn höher ausfallen, wird deutlich, dass die Rückbaukosten im Verlauf reduziert werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die Wandelbarkeit der Nutzungsbestimmung von einer längeren Nutzungsdauer ausgegangen werden kann. Es ist von großer Bedeutung, Bauherr:innen nicht nur auf die Errichtungskosten, sondern auch auf die Lebenszykluskosten hinzuweisen. Eine umfassende Analyse des gesamten Lebenszyklus sollte bereits in der Planungsphase durchgeführt werden. Dadurch können langfristige Kosten und Auswirkungen berücksichtigt werden, was zu einer nachhaltigeren Entscheidungsfindung führt. Die Schlüsselbereiche Baustoffwahl, Rückbaubarkeit und Ressourcenschonung sind eng miteinander verknüpft. Bauherr:Innen stehen vor dem Risiko, Recycling Produkte mit mangelnder Erprobung und Information einzusetzen. Förderungen für kreislauffähige und nachwachsende Rohstoffe, sowie Zertifizierungen von RC-Baustoffen wären zielführend. Ferner könnte eine Verpflichtung anteilmäßiger Sekundärrohstoffverwendungen, sowie eine verstärkte Instandhaltungspflicht ein ausschlaggebender Hebel in der Planung sein. Ein Ziel besteht darin, die standardisierten Lebensdauern verschiedenster Materialien zu verlängern, um die Langlebigkeit von Gebäuden sicherzustellen. Im Hinblick auf die Ressourcenschonung sollte darauf geachtet werden, Volumen zu reduzieren und Sanierungsmaßnahmen dem Neubau vorzuziehen. Durch diese Ansätze kann eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen gefördert werden. Die Problematik der Trennbarkeit könnte durch eine anpassungsfähige modulare Bauweise im Einklang mit optimierten effizienten Verbindungen von Baustoffen unterschiedlicher Lebensdauer gelöst werden. Nachnutzungsanalysen sollten dabei besonders in Betracht gezogen werden und könnten auch in Zukunft verpflichtend für eine Baueinreichung werden. Dies hat zur Folge, dass die Gesamtlebensdauer eines Gebäudes verlängert wird. Speziell für öffentliche Bauten und Ausschreibungen könnten Zuschlagskriterien und rechtliche Rahmenbedingungen für eine zirkuläre Beschaffung eine zielführende Lösung gestalten. Anforderungen, wie beispielsweise die geplante OIB Richtlinie 7 [17], können für Planer:innen besonderes unterstützend sein und als Wissensvermittlung dienen. Sie konzentriert sich auf den energieeffizienten Einsatz von Gebäuden. Das Hauptziel der Richtlinie besteht darin, den Energieverbrauch von Gebäuden zu reduzieren und die Nachhaltigkeit im Baubereich zu fördern. Ebenso ist die Bauproduktverordnung für die Kennzeichnung und Zulassung von Bauprodukten zu erwähnen. Bei der Digitalisierung sollte auch ein Leitfaden für klimafreundliche Materialien berücksichtigt werden. In Hinsicht auf die steigenden Grundstückspreise müssen vor allem im Industriebereich technische und wirtschaftliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, um den Rückbau zukunftswirksamer zu gestalten. In diesem Zusammenhang ist die Reduzierung der Versiegelung von Bodenflächen ein wichtiger Faktor. Bestimmte Bebauungsbestimmungen zu Grünflächen und Aushubwiederverwertungen könnten unterstützend sein. Im Materialstrommanagement der Baubranche können ebenfalls Verbesserungen angestrebt werden. Dazu gehören eine präzisere Materialplanung, um Überbestellun-

gen zu reduzieren, die Förderung der Wiederverwendung von gebrauchten Materialien und die Stärkung des Recyclings von Baustoffen. Schulungen, Sensibilisierung, Überwachung und Berichterstattung sind ebenfalls wichtige Maßnahmen, um das Bewusstsein zu schärfen und Fortschritte in Richtung nachhaltigerem Materialstrommanagement zu verfolgen. Die Baubranche benötigt zudem strengere Maßnahmen zur Überwachung des Materialstroms, dies umfasst das Materialflussmanagement, das den gesamten Lebenszyklus von Baumaterialien verfolgt. Diese Überwachungsmaßnahmen ermöglichen die Identifizierung von Potenzialen zur Reduzierung von Materialverlusten und zur Förderung von Wiederverwendung und Recycling in Bauprojekten.[1]. Bauherr:innen werden eine wesentliche Rolle bei der Umsetzung einer Kreislaufbauwirtschaft spielen, neben gesetzlichen Verordnungen und Zertifizierungssystemen. Als Auftraggeber:innen haben sie die Möglichkeit, nachhaltige Praktiken zu fördern und auf eine effektive Ressourcennutzung sowie auf die Wiederverwendung und das Recycling von Baumaterialien zu achten. Durch den Mangel an Informationen und rechtlichen Rahmenbedingungen scheint es aber noch zu hohe Vorbehalte seitens Bauherrn:innen zu geben. Bleibt ein/e Bauherr:in jedoch bis zur vollständigen Beseitigung im Besitz des anfallenden Abfalls, hätte dieser:e auch höhere Anreize für neue Technologien und Prozesse im Einklang mit dem Einsatz von Sekundärrohstoffen.[1]

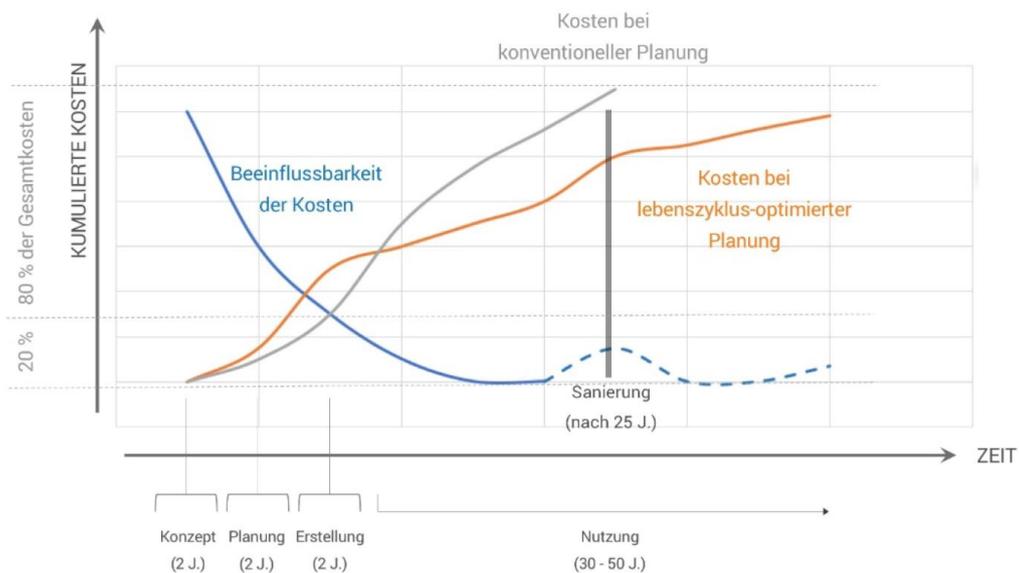


Abbildung 2.2: Kostenverläufe einer Lebenszyklus optimierten Planung [1]

## 2.3 Errichtungsphase

Für ein kreislauffähiges nachhaltiges Gebäude spielt die Errichtungsphase eine zentrale Rolle. Besonders hier entstehen jedoch einige Konflikte. Derzeit ist es aufgrund rechtlicher Rahmenbedingungen offenbar unrealistisch, eine gemeinsame Baustelleneinrichtung zu betreiben. Zudem sind Subunternehmen häufig verantwortlich für das Entstehen von ungetrennten Baustellenabfällen. Diese Situation stellt eine Herausforderung dar, da

die ordnungsgemäße Trennung und Entsorgung der Abfälle beeinträchtigt werden kann [1]. Subunternehmer tragen oft die Verantwortung für ungetrennte Baustellenabfälle, weil sie sich primär auf ihre spezifischen Aufgaben konzentrieren und es möglicherweise an klaren Anweisungen zur richtigen Abfalltrennung fehlt. Zusätzlich kann der Zeit- und Kostendruck dazu führen, dass Subunternehmer nicht ausreichend Ressourcen für eine angemessene Abfallentsorgung aufwenden können. Die ungetrennten Baustellenabfälle erfordern einen aufwendigen Transport zu den Sortieranlagen, was zu einem signifikanten Anstieg der Transportemissionen führt. Dies belastet die Umwelt zusätzlich und trägt zur Erhöhung der Gesamtemissionen bei. Der Fokus zu Erreichung der Ziele wird wieder auf der Zusammenarbeit aller Akteure liegen. Generell ist zu beachten, dass Transportwege so gering wie möglich gehalten werden sollten. Tonnenkilometerbeschränkungen und Bahntransporte könnten dabei in Ausschreibungen bestimmt werden. Um eine nachhaltige Nutzung des umfangreich anfallenden Aushubmaterials sicherzustellen, ist der Einsatz von mobilen Aufbereitungsanlagen als Standard erforderlich. Dadurch kann das Material vor Ort behandelt und wiederverwendet werden, was zu einer Reduzierung der Abfallmenge und einer effizienteren Ressourcennutzung führt. Die Einrichtung von Recycling- und Aufbereitungsanlagen vor Ort kann helfen, den Transportaufwand und die damit verbundenen Emissionen zu reduzieren. Um das Abfallmanagement in der Baubranche zu verbessern, sollte eine Schulung und Sensibilisierung aller Beteiligten, einschließlich Subunternehmer und Bauarbeiter, gefördert werden. Dies gewährleistet ein effektives Abfallmanagement und reduziert Umweltauswirkungen [1]. Zusammengefasst beinhaltet das effektive Abfallmanagement in der Baubranche zusätzliche Maßnahmen, wie die Umsetzung von Strategien zur Abfallvermeidung, die Nutzung wiederverwendbarer Materialien, die Einrichtung von Systemen zur Rücknahme von Baustellenabfällen sowie die Förderung der Zusammenarbeit zwischen allen Beteiligten entlang der Lieferkette, um eine effiziente Abfalltrennung und -entsorgung zu gewährleisten. Der effizienten Handhabung von Verschnittabfällen kommt eine bedeutende Rolle zu. Dabei handelt es sich um sortenreine und unvermischte Abfälle, die von den Herstellern weitestgehend zurückgenommen und in der Produktion wiederverwendet werden sollten. Die Einführung verbindlicher Produkt-Zertifizierungsstandards für Zulieferer:innen wäre sinnvoll, um Anforderungen und Sicherheitsmaßnahmen zu gewährleisten sowie Vergleichswerte und alternative Lösungen zu schaffen. Dadurch können Ressourcenschonung und eine nachhaltigere Produktionspraxis erreicht werden. Die Einhaltung bestimmter Zertifizierungsstandards im Abfallmanagement ist eine Voraussetzung, um Fördermittel für Bauprojekte zu erhalten. Durch die Erfüllung dieser Standards können Bauunternehmen nachweisen, dass sie effektive Abfallmanagementpraktiken implementieren und somit förderfähig sind. Zusammengefasst ermöglicht die Zertifizierung im Abfallmanagement den Zugang zu finanzieller Unterstützung, indem sie bestätigt, dass die erforderlichen Anforderungen erfüllt sind.[1]

## **2.4 Instandhaltung- und Betriebsphase**

Eine zentrale Problematik der Instandhaltung besteht darin, dass die Errichter:innen nicht zwingend die Betreiber:innen eines Gebäudes repräsentieren. Im Fokus der Planungsphase fehlt folglich der Anreiz, Produkte und Konstruktionen mit längerer Lebensdauer zu berücksichtigen. Ferner werden keine wartbaren, zugänglichen und ressourceneffi-

zienten Konstruktionen bei der Planung herangezogen. Im Gebäudemanagement muss berücksichtigt werden, dass eine unzureichende Wartung die Lebensdauer eines Gebäudes erheblich verkürzen kann. Somit macht sich die fehlende Wartbarkeit im späteren Ablauf auch in den Kosten bemerkbar. Im Gegensatz zu einer Sanierung stellt die Wartung über einen längeren Zeitraum die wirtschaftlichere Variante dar. Deshalb sollten alle funktionalen Gebäudebestandteile, von der technischen Gebäudeausrüstung bis hin zu den Fenstern, in einem möglichst regelmäßigen Abschnitt auf Abnutzbarkeit bzw. Alterung geprüft werden. Idealerweise unterstützt Building Information Modelling die Instandhaltung im Facility Management. Diese können neben der Lebensdauer, Maßen und Materialien einzelner Konstruktionen auch alle Information enthalten, welche für Inspektionen notwendig sind. BIM kann also als Hilfsmittel im Gebäudemanagement dienen, indem es digitale Informationen zu Konstruktionen, Inspektionen und Wartung bereitstellt. Die digitale Abrufbarkeit spart Zeit und Kosten, unter anderem können auch unnötige Fahrten entfallen. Unter diesem Aspekt ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Modell nur zuverlässige Informationen liefert, wenn es auch regelmäßig aktualisiert wird. [1] Zusammengefasst besteht eine Herausforderung in der Instandhaltung darin, dass die Betreiber eines Gebäudes oft nicht in der Planungsphase vertreten sind, was dazu führt, dass langlebigere und wartungsfreundlichere Konstruktionen nicht ausreichend berücksichtigt werden. Dies kann zu verkürzter Gebäudelebensdauer und höheren Kosten führen.

## 2.5 Sanierungs- und Umnutzungsphase

Bei Sanierungsprojekten liegt in der Regel ein Schwerpunkt auf energetischen und thermischen Aspekten, während die Berücksichtigung von kreislaufwirtschaftlichen Maßnahmen sowie Funktionalität und Flexibilität oft vernachlässigt wird. Bei Sanierungsmaßnahmen und Umnutzungen werden in der Regel Bilanzen durchgeführt, um die Auswirkungen auf Umwelt, Energieverbrauch, Ressourcenverbrauch und Abfallbewirtschaftung zu bewerten. Lebenszyklusanalysen dienen als Methode, um ökologische, wirtschaftliche und soziale Aspekte zu erfassen und eine fundierte Entscheidungsfindung für nachhaltige Lösungen zu ermöglichen. Auf den ersten Blick erscheinen Sanierungen aus wirtschaftlicher Sicht möglicherweise kostenintensiver als Neubauten. Allerdings können optimierte Planungsraster und entsprechende Raumhöhen die Nutzungsflexibilität in späteren Umnutzungen erhöhen und sich positiv auf die Ressourcenschonung und Kosten auswirken. Es ist wichtig, bei der Auswahl von Bauprodukten darauf zu achten, dass sie einfach und kostengünstig zu sanieren sind, wobei die Langlebigkeit eine entscheidende Rolle spielt. Besondere Bedeutung kommt dem Tragwerk zu, das in der Regel eine bemessene Lebensdauer von 50 Jahren hat. Es ist empfehlenswert, zukünftig Tragwerke mit noch längeren Lebensdauern zu entwerfen, um eine nachhaltige Bauweise zu unterstützen[1].

## 2.6 Rückbauphase

Der Rückbau von Gebäuden hat das Ziel, wertvolle vorhandene Materialien mit zukünftigen Bauvorhaben zu verknüpfen. Dabei besteht die Herausforderung darin, das Recyclingpotenzial von Gebäuden einheitlich zu erfassen und verpflichtend über einen di-

gitalen Gebäudepass festzulegen. Ein möglicher Ansatz zur Unterstützung ist die Verwendung eines Entsorgungsindikators, wie zum Beispiel der EI10 der IBO [9]. Dieser Indikator kann als Leitfaden dienen, um die Entsorgung von Baustoffen zu bewerten und gezielte Maßnahmen zur Ressourcenschonung und Abfallvermeidung zu fördern. Es gibt jedoch noch einige Hürden zu überwinden, wie Platzmangel für zwischengelagerte Bauteile und unwirtschaftliche Technologien für die sortenreine Rückgewinnung. Es fehlen innovative, energieeffiziente Aufbereitungsverfahren und Arbeitsprozesse, um Rezyklate wiederverwendbar zu machen. Derzeit werden Baustoffe oft zu qualitativ minderwertigen Produkten umgewandelt, anstatt das Produkt vollständig zurückzugewinnen. Besonders beim Recycling von Beton werden wirtschaftliche Technologien benötigt, um Schotterressourcen im Kreislauf zu halten und das Deponievolumen zu reduzieren. Es wird ein umfassendes Wissen über die Menge und Qualität der verbauten Baustoffe benötigt, insbesondere bei Altbauten, bei denen dies komplexer ist. Die Anwendung neuer Laserscanning-Technologien spielt eine entscheidende Rolle bei der präzisen Erfassung von Materialien im Rückbau und Recycling von Gebäuden. Durch den Einsatz können präzise und detaillierte Informationen über die bestehenden Bauteile und Materialien eines Gebäudes gewonnen werden. Somit sind genaue Erfassung von geometrischen Eigenschaften, Oberflächenstrukturen und Materialzusammensetzungen möglich. Desweiteren stellen Verbundbaustoffe aufgrund ihrer schwierigen Trennbarkeit ein Problem dar, und herkömmliche Baustoffe können aufgrund unzureichender energetischer Standards oft nicht wiederverwendet werden. Eine verschärfte Überwachung von Schadstoffen und Störstoffen kann dazu beitragen, umweltfreundliche Materialien in den Prozess zu integrieren, während eingebaute Schadstoffe angemessen sanktioniert werden müssen. Es wird deutlich, dass eine Überarbeitung der entsprechenden Recyclingnormen erforderlich ist. [1]



### 3 BIM-Basierte Analyse der CO<sub>2</sub> Emissionen

Das CO<sub>2</sub>-Tool Gebäude der ATP-Planungs GmbH ist ein leistungsstarkes Werkzeug, das auf BIM-Modellen basiert und dazu dient, die grauen CO<sub>2</sub>-Emissionen während der Planungsphase von Bauvorhaben zu berechnen. Es verfolgt das Ziel, nachhaltige Materialentscheidungen zu unterstützen und den Materialeinsatz zu optimieren. Durch die detaillierte Analyse und den Vergleich von Bauteilen anhand von Gewerk, Materialgüte und Materialgüte-Zusatz ermöglicht das Tool eine fundierte Entscheidungsfindung im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck eines Gebäudes. Darüber hinaus bietet das Tool eine nahtlose Integration mit dem ATP CO<sub>2</sub>-Tool Betrieb, um eine umfassende Bewertung der Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Gebäudes, einschließlich des Betriebs, zu ermöglichen. Eine Fallstudie am Beispiel des Logistikzentrums der Brauerei Flötzingler veranschaulicht die Effektivität des CO<sub>2</sub>-Tools, indem drei Konstruktionsvarianten analysiert und deren CO<sub>2</sub>-Emissionen verglichen wurden. Die Ergebnisse verdeutlichen das enorme Potenzial einer klimaneutraleren Holzbauweise im Vergleich zu konventionellen Konstruktionsmethoden. Die Auswertung der drei Varianten ergab unterschiedliche Ergebnisse. Variante 1 mit Holzdachkonstruktion und Holzfassade, Variante 2 mit Holzdachkonstruktion und Sandwichpaneel-Fassade und Variante 3 mit Stahlbetonfertigteildachkonstruktion und Sandwichpaneel-Fassade wurden anhand des Excel-Tools analysiert, um flächenspezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen, absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen und graue Emissionen nach funktionalen Bauteilen zu berechnen.

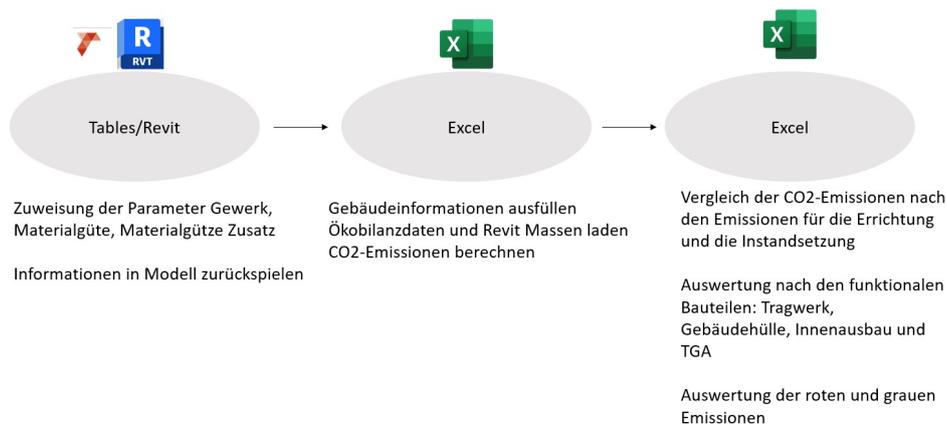


Abbildung 3.1: Funktionsbeschreibung CO<sub>2</sub> Tool Gebäude

### 3.1 Methode und Daten - ATP CO<sub>2</sub> Tool Gebäude

Das CO<sub>2</sub>-Tool Gebäude ist ein nützliches Werkzeug zur teilautomatisierten Berechnung der grauen CO<sub>2</sub>-Emissionen basierend auf einem BIM-Modell. Es ermöglicht auch die Planung und Optimierung eines nachhaltigen Materialeinsatzes. Das Tool erlaubt die Auswertung von Optimierungsvarianten auf Bauteilebene, nachdem ein Revit-Modell gemäß dem ATP BIM-Modellierstandard erstellt wurde. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit, ausgewählte Bereiche des Gebäudes zu analysieren und zu vergleichen, um Vergleichsdaten übersichtlicher und verständlicher darzustellen. Der Workflow zur Informationsweitergabe und -auswertung aus einem BIM-Modell beinhaltet mehrere Schritte, wobei die eigentliche CO<sub>2</sub>-Bilanzierung anschließend mit einem Excel-Tool durchgeführt wird. Bei der Analyse sind drei wichtige Revit-Parameter zu beachten: Gewerk, Materialgüte und Materialgütezusatz. Diese Parameter können entweder mithilfe von Tables oder direkt in Revit definiert werden. Tables ist ein All-in-One-Add-in mit integrierter Tabellenkalkulation, das einen einfachen Import und Export von Excel-Listen ermöglicht. Das CO<sub>2</sub>-Gebäude-Tool basiert auf vordefinierten Bauteilaufbauten gemäß dem ATP-Standard unter Berücksichtigung der oben genannten Parameter. Es wurden auch nachhaltige Alternativen hinzugefügt, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen. Für diese Bauteile wurden die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Quadratmeter (für "beschichtende" Bauteile) bzw. pro Kubikmeter (für Materialien im Tragwerk) für einen Betrachtungszeitraum von 20 bzw. 50 Jahren bewertet. Um die Verwendung des ATP-Standards zu erleichtern, werden Beispiele für die wesentlichen Parameter präsentiert und erläutert, die für die Analyse von Bedeutung sind.

**Revit-Familientyp/name:** Ein Benennungssystem, allgemein auch als Namenskonvention bezeichnet, ist eine festgelegte konzernweite Spezifikation für die Benennungen und Abkürzungen eines Bauteilnamens unter Verwendung eines standardisierten Benennungssystems. Diese Maßnahme ist in der digitalen, objektorientierten Datenhaltung sämtlicher Informationen besonders wichtig, da alle systembezogenen Softwareprozesse auf diesen vereinheitlichten Benennungen basieren. Zusammenfassend kann man auch sagen, dass die Programmautomatisierung nur dann wie erwartet funktioniert, wenn die verwendeten Objekte entsprechend benannt sind. Im ATP Standard ist die Benennungssystematik der Typnamen einer Revit-Kategorie streng geregelt. Diese Informationsebene ermöglicht eine direkte Erkennung der Kategorie, des Materials und der Abmessungen und ist essenziell für eine strukturierte Modellbasis. Ferner beinhaltet der Familientyp/name für Wände, Geschossdecken, Decken, Dächer, und Fundamente eine projektspezifische Aufbau- und Bauteilnummer. So ergibt sich für einen Fußboden beispielsweise folgender Typname: `Fubo_FLI_0150_Estrich_FB40`

**Bauelement:** Der Parameter-Wert ist aus einer mit Revit verknüpften sogenannten Bauelement-Schlüsseldatei auszuwählen. Die Einstellung erfolgt in der zweiten Informationsebene, den Typeneigenschaften. Die Obergruppen der Bauelementschlüssel sind den Tabellen 1 und 2 zu entnehmen.

**Gewerk:** Um die Materialzusammensetzung einer Gebäudeebene festzulegen, ist es zunächst erforderlich, den Parameter Gewerk zu definieren. Dieser Parameter wird manuell in einer Tabelle festgelegt und bildet die Grundlage für die anschließende

Auswahl der entsprechenden Parameter. Die verfügbaren Gewerke können mithilfe einer Dropdown-Funktion ausgewählt werden, wie in Tabelle 3 dargestellt. Anhand des ausgewählten Gewerks erfolgt dann die Berechnung der Bauteile gemäß ihrer funktionalen Eigenschaften. Die Grauen Emissionen werden separat für das Gebäudetragwerk, die Gebäudehülle und den Gebäudeinnenausbau analysiert.

**Materialgüte:** In Abhängig vom Gewerk ist die Materialgüte bzw. die Bauteil Ebene zu definieren. Für das Gewerk Fußboden sind beispielsweise folgende Möglichkeiten zu wählen: Epoxidharzbeschichtung, Asphaltbeton, Fliesen, Naturstein, Holz, Teppich und Linoleum. Die Materialgüte wird gewerksunabhängig nach den Tabellen 4, 5, 6 definiert.

**Materialgüte Zusatz:** Die Materialgüte basiert auf der Qualität der Materialien und kann auch auf der Ebene einzelner Bauelemente betrachtet werden. Jedes Bauelement hat eine spezifische Konstruktionszusammensetzung. Im Hintergrund ist eine Materialebene verknüpft, auf der die Bilanzierung aller wichtigen Lebenszyklusphasen durchgeführt wird. Um das Beispiel der Fußböden weiterzuführen, gibt es für Fliesen verschiedene Auswahlmöglichkeiten für die Materialgüte. Diese umfassen Calciumsulfatestrich mit Mineralwolle, Calciumsulfatestrich mit EPS, Doppelboden, Holzboden, Zementestrich mit EPS und Zementestrich mit Mineralwolle. Durch die Auswahl dieser Parameter wird die genaue materielle Zusammensetzung bestimmt. Zudem werden auf Grundlage dieser vordefinierten Bauteilschichten die grauen Emissionen berechnet. Die verschiedenen Optionen sind in den Tabellen 7 bis 13 beschrieben

### 3.2 Datenvorbereitung in REVIT und Tables

Um zu einer Auswertung der CO<sub>2</sub> Emissionen zu gelangen sind zwei Schritte von wesentlicher Bedeutung. Diese werden in Abbildung 3.1 verdeutlicht. Einerseits ist die Datenvorbereitung in Revit und Tables notwendig, andererseits müssen die Daten mit dem ATP CO<sub>2</sub> Tool Gebäude verknüpft, werden um zu einer Auswertung zu gelangen. Zunächst wird in Tables die Excel Vorlage für das CO<sub>2</sub>-Gebäude-Tool geöffnet, nachfolgend können die Daten aus dem aktuellen Modell neu geladen werden. Anschließend können für einzelne Bauteile gemäß den Tabellen 3-13 die Parameter Gewerk, Materialgüte und Materialgüte Zusatz über ein Dropdown Menu und Filterhinweisen befüllt werden. Die Änderungen können auch ins Modell zurück gespielt werden. Für die Verknüpfung der Daten mit dem ATP CO<sub>2</sub> Tool Gebäude steht wiederum eine separate Excel Liste zur Verfügung. In dieser müssen zunächst alle projektspezifischen allgemeinen Gebäudeinformationen in der Registerkarte Eingabe ausgefüllt werden. Dabei wesentlich sind der Gebäudetyp, die Phasen und, abhängig von den Berechnungsrandbedingungen, die länderspezifischen Ökobilanzdaten, sowie der Anteil der TGA und die Option zur Berücksichtigung der Auswertung, inklusive des Gebäudebetriebs. Diese sind in Abbildung 3.3 dargestellt.

### 3.3 Auswertung und Verknüpfung der Daten mit dem CO<sub>2</sub> Tool Gebäude

Im anschließenden Schritt werden die Ökobilanzdaten und die Massen aus dem Revit in das Projekt importiert. Abschließend kann die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen für das Projekt durchgeführt werden. Die Auswertung teilt sich in drei Bereiche. In der ersten Auswertung werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit den Emissionen für die Errichtung und die Instandsetzung verglichen. Hierbei werden diese Werte im Vergleich mit Benchmarks der DGNB gesetzt, also einem (Zielwert – DGNB MIN, Mittelwert – DGNB MID und dem Grenzwert – DGNB MAX). Dabei ist zu erwähnen, dass diese Daten einerseits bezogen auf die Nutzfläche und andererseits absolut ausgewertet werden. In der zweiten Auswertung werden die CO<sub>2</sub> Emissionen auf die funktionalen Bauteile, also auf das Tragwerk, die Gebäudehülle, den Innenausbau und auf die TGA aufgeteilt. Diese Daten werden wiederum mit den DGNB Benchmarks verglichen. In der letzten Auswertung werden die roten und die grauen Emissionen gemeinsam in einer Grafik dargestellt. Dabei werden die CO<sub>2</sub> Emissionen für den Betrieb nur für die beheizte Fläche berechnet. Die Berechnungsgrundlagen basieren auf den Bedingungen in Deutschland und Österreich und berücksichtigen alle relevanten Lebenszyklusphasen gemäß der DIN EN 15978. Die Bilanzierung umfasst alle wesentlichen Lebenszyklusphasen. Die Herstellungsphasen (A1-A3) beinhalten die Rohstoffbereitstellung, den Rohstofftransport und die Materialherstellung von der Gewinnung bis zu Werkstoff. Die Nutzungsphase (B4) berücksichtigt den Austausch von Materialien am Ende ihrer Lebensdauer, wobei die Angaben des BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen) in Deutschland und Österreich verwendet werden. Die Rückbauphase (C3/C4) bezieht die Rohstoffaufbereitung und Deponierung mit ein. Darüber hinaus werden auch das außerhalb des Betrachtungsrahmens liegende Potenzial (D) in die Berechnungen einbezogen. Durch den Vergleich mit den Benchmarks der DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) kann die Gebäudequalität eingeschätzt werden. Das Tool ermöglicht außerdem die Erstellung einer Gesamtgebäudebewertung, einschließlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb. Dabei können die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem ATP CO<sub>2</sub>-Tool Betrieb in das ATP CO<sub>2</sub>-Tool Gebäude übernommen und mit einbezogen werden.

### 3.3. AUSWERTUNG UND VERKNÜPFUNG DER DATEN MIT DEM CO2 TOOL GEBÄUDE

Fundierung						
Projekt	<Projektname>					
Projekt-Nr.	<Projektnummer>					
Typ	Gewerk	Materialgüte	Materialgüte Zusatz	Fläche	Volumen	
Fund_STB_Koecherfundament: 3500x3500x500	Rohbau	STB	C20/25_2%_Stahl	14,17	7,64	
Fund_STB_Koecherfundament: 3500x3500x500	Rohbau	STB	C20/25_2%_Stahl	14,17	7,64	
Fund_STB_Koecherfundament: 3500x3500x500	Rohbau	STB	C20/25_2%_Stahl	14,17	7,64	
Fund_STB_Koecherfundament: 3500x3500x500	Rohbau	STB	C20/25_2%_Stahl	14,17	7,64	
Fund_STB_Koecherfundament: 3500x3500x500	Rohbau	STB	C20/25_2%_Stahl	14,17	7,64	
Fund_STB_Koecherfundament: 3500x3500x500	Rohbau	STB	C20/25_2%_Stahl	14,17	7,64	

Abbildung 3.2: Befüllung der Parameter im Tables

Gebäudeinformationen	
Projekt:	Neubau Brauerei Flötzing
Straße:	
PLZ:	83135
Ort:	Schechen
Land:	Deutschland
Projektnummer:	11505
Planungsstandort:	Innsbruck
Gesamtprojektleiter:	
Gebäudetyp:	Produktion
Energie-Bezugsfläche:	6.546 m <sup>2</sup>
Netto-Raumfläche:	16.294 m <sup>2</sup>
Brutto-Grundfläche:	17.221 m <sup>2</sup>
Jahr der Fertigstellung:	2024
Phase:	integrales Vorprojekt
Gebäudebeschreibung	
Variante 1 - Holzdachkonstruktion/ Gipskarton-Aluminiumständer	
Berechnungsrandbedingungen	
Länderspezifische Ökobilanzdaten	Deutschland & Österreich
Gebäudetyp	Produktion
Betrachtungszeitraum	20 Jahre
TGA Benchmarks	mittlerer Anteil an TGA-Installationen
<small>geringer Anteil an TGA-Installationen im Gebäude - LOW Tech Ansätze bsp. keine Lüftung                      mittlerer Anteil an TGA-Installationen im Gebäude                      hoher Anteil an TGA-Installationen im Gebäude - bsp. Laborgebäude</small>	
Auswertung inklusive Gebäudebetrieb	Ja
CO <sub>2</sub> -Emissionen - Betrieb [kg CO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> * <sub>EBF</sub> *a]	-61,2 kg CO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> * <sub>EBF</sub> *a
<small>*Flächenbezug Energiebezugsfläche aus der DIN V 18593 Berechnung</small>	

Abbildung 3.3: Eingabe CO2-Tool-Gebäude

### 3.4 Praxisbeispiel Flötzingler Brauerei

Das Logistikzentrum der Brauerei Flötzingler soll südlich des Gewerbegebietes Schechen Nord in Bayern entstehen. Das Areal wird durch die Bundesstraße 15 und die Bahnlinie Rosenheim /Wasserburg begrenzt. Die Funktionen des Gebäudes werden in drei Baukörper geteilt und sollen in zwei Baustufen errichtet werden. Der im Westen gelegene Baukörper 1 beinhaltet einen Versand/ eine Verladestraße, ein Blocklager, eine Abfüllanlage und Sozialräume inklusive Schalander, Wohnung, Werkstatt, Labor, Lageretikettierung, CIP Abfüllanlage, AFG Ausmischung, Büros und Konzentratlager. Im Südosten ist eine Tankfarm der Gärtanks (BK2) geplant, im Nordosten wird das Technikgebäude (BK3) entstehen. Das architektonische Konzept beinhaltet künftige Erweiterungsflächen für die Kommissionierung, Logistik, Abfüllanlage und eines Sudhauses. Für die nachhaltige Gebäudeplanung spielt im Zusammenhang mit der Gestaltung eine angemessene Material- und Konstruktionswahl eine bedeutende Rolle. Die Auswirkungen der grauen CO<sub>2</sub> Emissionen sollen für unterschiedliche Ausführungsvarianten mithilfe eines Planungstools verglichen werden.

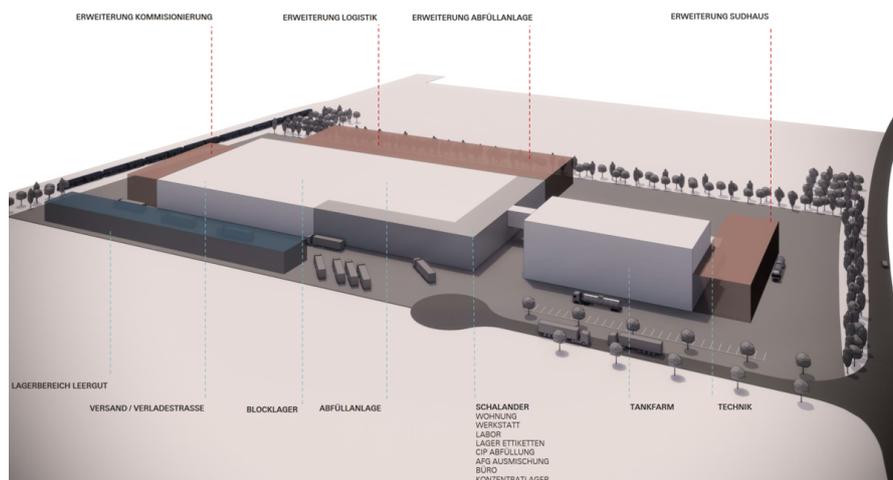


Abbildung 3.4: Funktionen der Gebäude

Das beschriebene Tool ist ein BIM-basiertes Optimierungswerkzeug, das dazu dient, die Auswirkungen verschiedener Aufbauten und Konstruktionsvarianten auf den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck darzustellen. Es ermöglicht die Vorbereitung der Daten für die Auswertung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Konstruktionen in Revit. In der Abfüllanlage wird aufgrund der hohen Raumfeuchtigkeit eine massive Stahlbetonfertigteile-Konstruktion hinter der Fassade verwendet. Eine Holzbauweise wurde aus Gründen des Schwindens, der Quellung und der möglichen Schädlingsbefälle nicht in Betracht gezogen. Für die Berechnungen werden drei Varianten betrachtet. In der ersten Variante werden massive Holzträger für die Dachkonstruktion des Blocklagers, des Versands und der Tankfarm verwendet. Die Fassade besteht größtenteils aus einer hinterlüfteten Holzfassade. Die zweite Variante zeigt die Auswirkungen einer Sandwichpaneelfassade auf. Die dritte Variante stellt ein Worst-Case-Szenario dar, bei dem die Dachkonstruktionen aus Stahlbetonfertigteilen bestehen und die Fassade mit Sandwichpaneelen ausgeführt wird. Das Ziel

ist es, die grauen Emissionen der drei Varianten zu vergleichen und den Auftraggebern eine Vorstellung davon zu geben, wie viel CO<sub>2</sub> durch die umweltfreundlichere Holzbauweise eingespart werden kann. Eine Gesamtanalyse und Bewertung des Gebäudes, einschließlich Rohbau und Ausbau, soll durchgeführt werden. Es ist wichtig, eine grobe Abschätzung der im Modell vorhandenen Elemente vorzunehmen, da nur die Nettomassen der modellierten Elemente berechnet werden können. Daher muss bei einem Vergleich zwischen einer Holz- und einer Stahltragstruktur auch das Volumen angepasst werden, um eine Vergleichbarkeit der CO<sub>2</sub>-Bewertung zu gewährleisten. Die Datenvorbereitung in Revit und Tabela erfordert die Zuweisung von Parametern wie Gewerk, Materialgüte und Materialgütezusatz für alle zu analysierenden Materialien. Die eingegebenen Daten werden sowohl in Tabela als auch in Revit übernommen, und die Analyse umfasst Bauteile wie Geschossdecken, Wände, Tragwerksstützen, Skelettbau, Fenster, Türen, abgehängte Decken und Dächer. Es ist wichtig zu beachten, dass es für die CO<sub>2</sub>-Emissionen und die aktuelle Bilanzgrenze nicht entscheidend ist, ob Ort beton oder Fertigteile verwendet werden. Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen basiert auf den Berechnungsrandbedingungen der DGNB. Je nach Nutzung werden unterschiedliche Datensätze für einen Zeitraum von über 20 Jahren (Logistikgebäude/Produktionsgebäude) oder über 50 Jahren (alle anderen Gebäudetypen) herangezogen. Zunächst müssen alle allgemeinen Gebäudeinformationen, wie Gebäudetyp (Büro, Handel, Logistik/Lager, Produktion, Bildung, Mischnutzung, Wohnen, Einkaufszentrum), Energiebezugsfläche, Netto-Raumfläche, Phase und Jahr der Fertigstellung, im Tool definiert werden. Die Netto-Raumfläche kann direkt aus Revit übernommen werden, vorausgesetzt, alle Räume sind im Modell platziert. Die Auswertung berücksichtigt auch den Gebäudebetrieb, wobei die roten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem ATP CO<sub>2</sub>-Tool für den Betrieb übernommen werden können. In frühen Projektphasen, wie Wettbewerben oder Vorprojekten ist es wichtig, dass die Eingabe benutzerfreundlich und intuitiv erfolgt. Aus diesem Grund wird die Methodik des TGA-Benchmarks als prozentualer Zuschlag berücksichtigt. Die aktuelle Datengrundlage reicht nicht aus, um die gesamte Gebäudetechnik vollständig abzubilden. Es ist anzumerken, dass die Berechnungen im Tool, sowie für Ersatzmaterialien, auf einer linearen Annahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen basieren. Aspekte wie die Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Strommix werden nicht berücksichtigt. Nach der Eingabe werden die Revit-Massen überprüft, um sicherzustellen, dass alle erforderlichen Parameter wie Gewerk, Materialgüte und Materialgütezusatz korrekt befüllt sind.

### 3.5 Auswertung CO<sub>2</sub> Tool Betrieb

Das Tool berücksichtigt zwei Ebenen der Bilanzierung für die Bewertung der Umweltauswirkungen: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Betrieb und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Konstruktion. Dadurch werden sowohl die Auswirkungen des Energieverbrauchs im Betrieb als auch die Umweltauswirkungen der verwendeten Baumaterialien erfasst. Dies ermöglicht eine umfassende Bewertung des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks des Gebäudes. Der Bilanzierungsrahmen für die Konstruktion wird im Kapitel 3.6 betrachtet. Die Betriebsenergie wurde unter Verwendung der DIN V 18599-Berechnungsmethode ermittelt, die den Endenergiebedarf berücksichtigt. Dabei wurden die Energieeffizienz und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudebetriebs analysiert. Für Nichtwohngebäude wurden Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung, Kühlung, Be- und Entfeuchtung, Hilfsstrom der technischen Gebäudeausrüstung und Beleuchtung in die Betriebsenergie einbezogen. Eine Vergleichsbasis wurde durch den Vergleich des tatsächlichen IST Gebäudes mit den gesetzlichen Mindestanforderungen eines Referenzgebäudes geschaffen. Die Berechnung erfolgt gemäß dem tatsächlichen Ausführungsstands. Dabei ist die Eingabe von relevanten Parametern wie Geometrie, Gebäudetechnik und Gebäudehülle erforderlich. Das Referenzgebäude beschreibt einen geometrischen Zwilling des IST-Gebäudes, in dem Gebäude und Bauteilflächen vom IST-Gebäude adaptiert werden. Hierbei wirkt zur CO<sub>2</sub> Optimierung im Gebäudebetrieb unterstützend ein Excel-Tool, das ATP CO<sub>2</sub> Tool Betrieb. Die geforderten Schritte zur Auswertung werden im Folgenden beschrieben. Im ersten Schritt werden die Projektinformationen inklusive Gebäudedaten definiert. Für den Endenergiebedarf ist das Land (Deutschland), der Gebäudetyp (Produktion) und die Phase (in Planung/Ausführung) wesentlich. Zusätzlich zur Betriebsenergie wird die Energiebezugsfläche berücksichtigt, die die beheizte Brutto-Grundfläche des Gebäudes beschreibt. Im vorliegenden Fall beträgt die Energiebezugsfläche 6.500 m<sup>2</sup> und umfasst alle thermisch konditionierten Flächen des Gebäudes. Die Nettoraumfläche beträgt 16.000 m<sup>2</sup> und die Bruttogeschossfläche beläuft sich auf 17.000 m<sup>2</sup>. Neben der Eingabe des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 können weitere Eingaben und Auswahlkriterien hinzugefügt werden. Über den Parameter Land werden die nationalen Anforderungen standardmäßig ausgewertet. Optional können die EU-Taxonomie-Anforderungen an den Primärenergiebedarf, sowie die Eingabe von regenerativ erzeugter Energie berücksichtigt werden. Anschließend erfolgt die tatsächliche Eingabe des Endenergiebedarfs zur Auswertung des ATP Benchmarks IST Gebäude. Dabei werden die Daten aus dem Energieausweis 3.6 und die Energiebezugsfläche in das Excel Tool 3.5 übertragen. Im nächsten Schritt erfolgt die Eingabe des Energiebedarfs für das Referenzgebäude 3.7 und die Eingabe des Primärenergiebedarfs, Ist-Gebäude und Referenzgebäude für nationale Anforderungen (DE) und für die EU-Taxonomie-Konformität. Der Anforderungswert entspricht dem Schwellenwert der nationalen Anforderung abzüglich einer Reduktion von 10 Prozent.

Endenergiebedarf Realvariante (Heizwert) [kWh/m <sup>2</sup> a]		
Gebäude-Ist-Wert gemäß Energieausweis	Strom	33,2
	Nah-/Fernwärme aus KWK (regenerativ) (optional) (optional)	23,8
Anforderungswert/ Referenzgebäude DIN 18599	Erdgas	77,0
	Strom	25,0
	(optional) (optional)	

Abbildung 3.5: Endenergiebedarf nach DIN V 18599

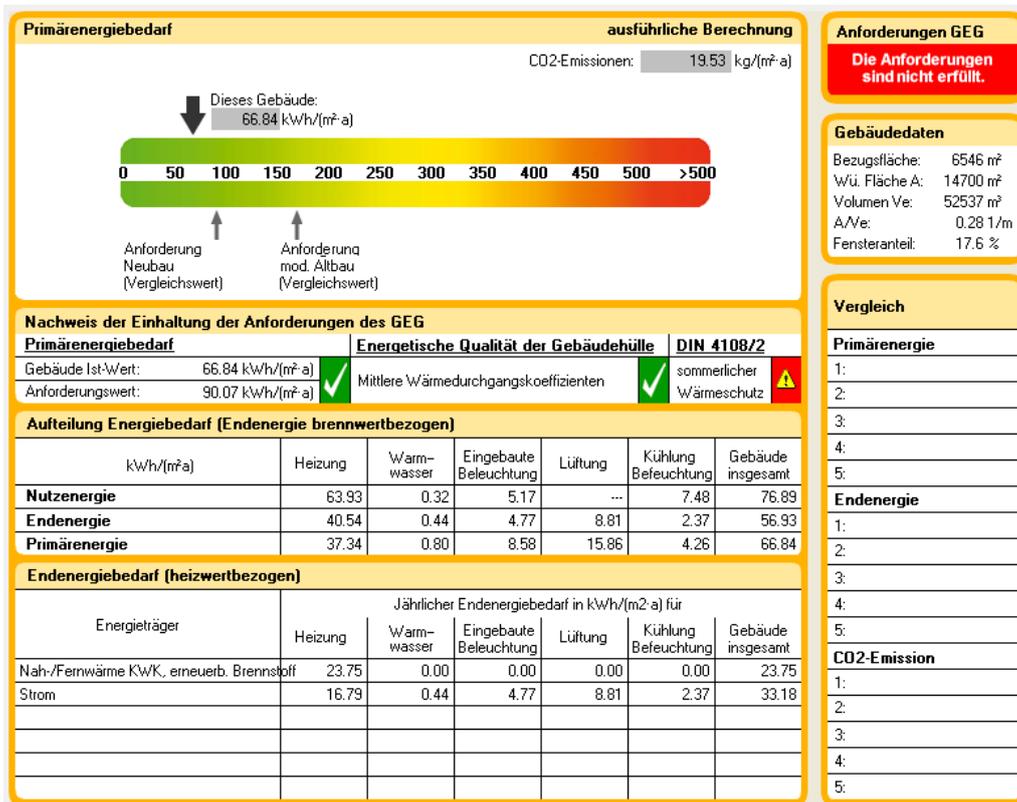


Abbildung 3.6: Energieausweis

Im letzten Schritt wurde der Photovoltaik (PV)-Ertrag basierend auf einer PV Kollektorfläche von 4.248 m<sup>2</sup> und horizontaler Ausrichtung definiert. Externe Berechnungen ergaben einen PV-Ertrag von 943.818 kWh/a. Es ist zu beachten, dass die PV-Anlage vollständig ausgelastet ist. Aufgrund der Größe der Anlage ergibt sich ein negativer Wert von -80,7 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent/m<sup>2</sup>a für die CO<sub>2</sub>-Emissionen der realen Gebäudevariante. In der Auswertungsgrafik 3.7 wird die reale Variante des Gebäudes inklusive der Substitution der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den regenerativ erzeugten Strom dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass die Prozesstechnik in der Berechnung nicht berücksichtigt wird. Der negative Wert resultiert daraus, dass Räume mit einer Temperatur unter 12°C nicht in die Berechnung einbezogen werden, während der Energieverbrauch dieser Räume mit PV-Anlagen abgedeckt wird. In der Auswertung werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen der realen Variante mit dem ATP-Benchmark und den Emissionen der neutralen Variante unter Berücksichtigung der PV-Anlage verglichen. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Tabellen und Grafiken dargestellt.

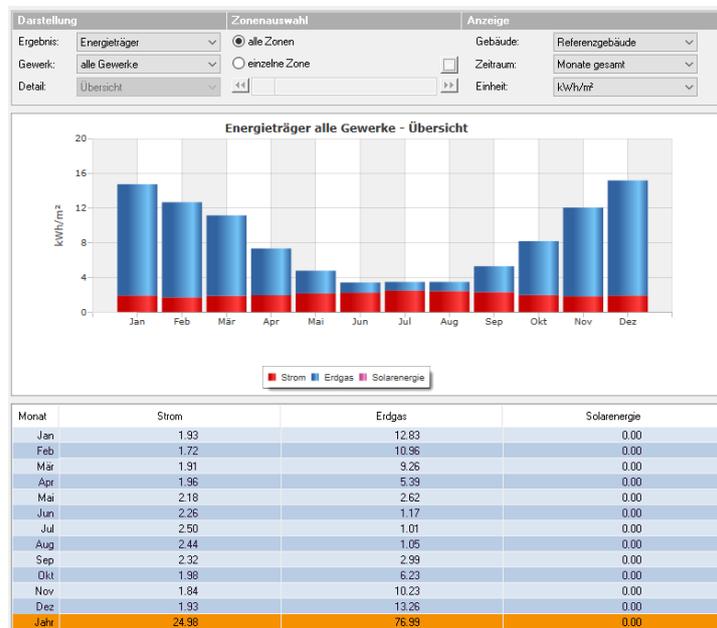


Abbildung 3.7: Endenergiebedarf Referenzgebäude

**Auswertung Endenergiebedarf und CO2-Emissionen - ATP Benchmark**

Auswertung Endenergiebedarf und CO2-Emissionen - ATP Benchmark		
-	CO2-Emissionen Realvariante	CO2-Emissionen Neutralvariante
Referenzgebäude	23,0 kgCO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> a	23,0 kgCO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> a
Neubau Brauerei Flötzing	-61,2 kgCO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> a	0,0 kgCO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> a
PV-CO2-Substitution	-80,7 kgCO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> a	0,0 kgCO <sub>2</sub> äqu./m <sup>2</sup> a

Tabelle 3.1: Auswertung Endenergiebedarf und CO2-Emissionen - ATP Benchmark

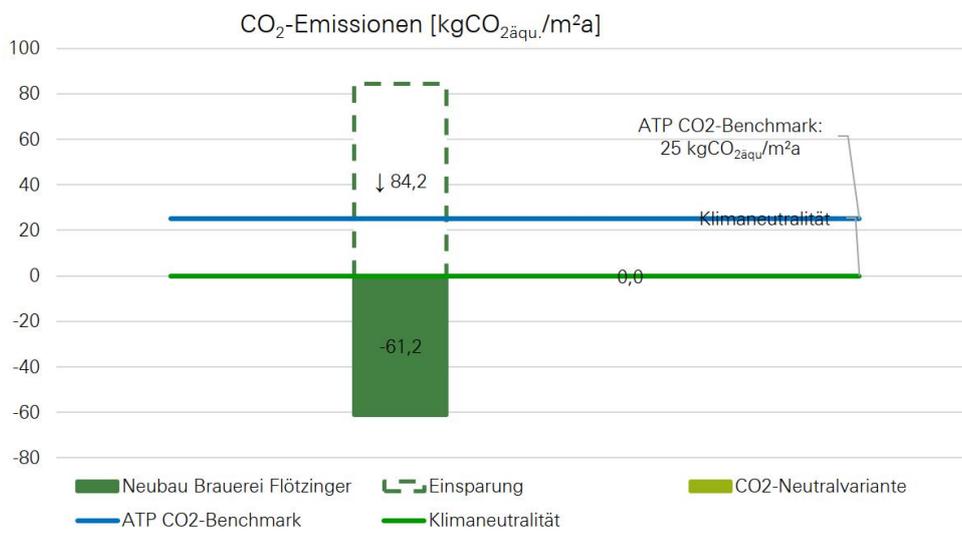


Abbildung 3.8: Auswertung Endenergiebedarf und CO2-Emissionen - ATP Benchmark

**Auswertung nationale Anforderungen - Deutschland**

Auswertung nationale Anforderungen - Deutschland	
-	Primärenergiebedarf
Anforderungswert	90,1 kWh/m <sup>2</sup> a
Neubau Brauerei Flötzingen	66,8 kWh/m <sup>2</sup> a
Einsparung absolut	23,2 kWh/m <sup>2</sup> a
Einsparung prozentual	25,8 Prozent

Tabelle 3.2: Auswertung nationale Anforderungen - Deutschland

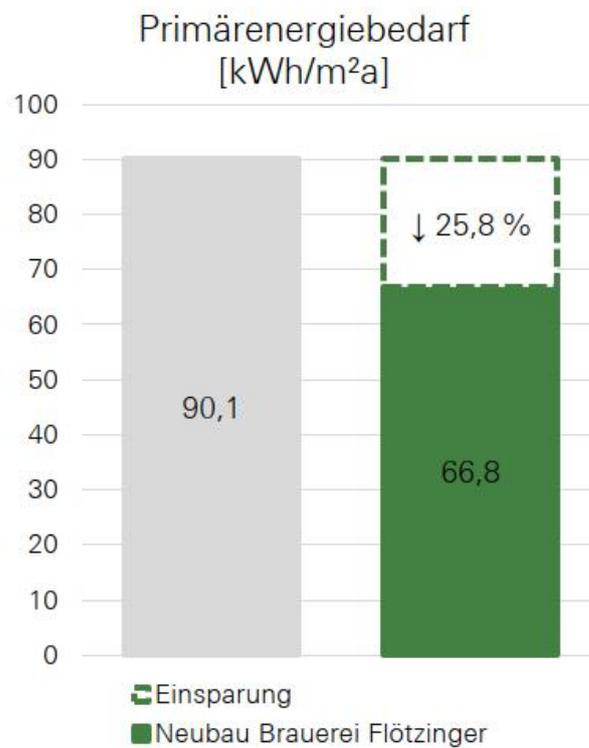


Abbildung 3.9: Auswertung nationale Anforderungen - Deutschland

**Auswertung regenerative Stromerzeugung**

Auswertung regenerative Stromerzeugung		
-	Stromertrag	Vermiedene CO2-Emissionen
regenerativ erzeugter PV-Strom Realvariante	943.818 kWh/a	528.538 kgCO <sub>2</sub> äqu./a
regenerativ erzeugter PV-Strom CO2-Neutralvariante	0	0

Tabelle 3.3: Auswertung regenerative Stromerzeugung

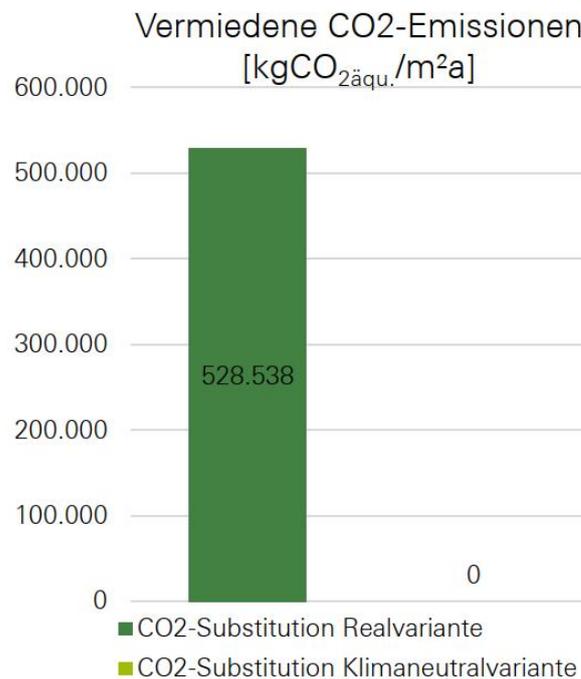


Abbildung 3.10: Auswertung regenerative Stromerzeugung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die PV-Anlage in der realen Variante jährlich etwa 528,5 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente einspart. Dies entspricht den Emissionen von rund 3.524.000 gefahrenen Kilometern mit einem Mittelklasse-PKW.

### 3.6 Auswertung CO<sub>2</sub> Tool-Gebäude

Die Auswertung unterteilt sich in drei Bereiche: Variante 1 mit einer Holzdachkonstruktion für Logistik, Lager, Tankfarm und Technik sowie einer Holzfassade; Variante 2 mit einer Holzdachkonstruktion und einer Sandwichpaneel-Fassade; und Variante 3 mit einer Stahlbetonfertigteildachkonstruktion und einer Sandwichpaneel-Fassade. Für jede Variante wurden mithilfe des Excel-Tools die flächenspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter, die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent und die grauen Emissionen nach funktionalen Bauteilen berechnet.

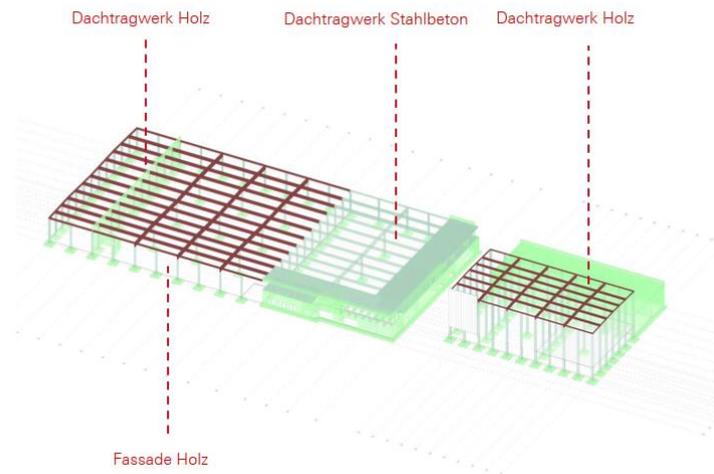


Abbildung 3.11: 3D Darstellung - Variante 1

VARIANTE	KONSTRUKTION	kg CO <sub>2</sub> äqu. /m <sup>2</sup>
VARIANTE 1 (wie geplant)	Holzdachtragwerk Holzfassade Logistik	5.143.000
VARIANTE 2	Holzdachtragwerk Paneelfassade statt Holzfassade	6.270.000
VARIANTE 3	Dachtragwerk Paneelfassade statt Holzfassade	6.706.000

Abbildung 3.12: Übersicht der Varianten

### Variante 1 - Holzdachkonstruktion/ Holz Fassade

Flächenspezifische CO2-Emissionen [kg CO2 äqu. /m <sup>2</sup> ]	
Gebäude Herstellungsphase	390 [kg CO2 äqu. /m <sup>2</sup> ]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 0 [kg CO2 äqu. /m <sup>2</sup> ]

Tabelle 3.4: Flächenspezifische CO2-Emissionen - Variante 1

Absolute CO2-Emissionen [kg CO2 äqu.]	
Gebäude Herstellungsphase	5.126.000 [kg CO2 äqu.]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 17.000 [kg CO2 äqu.]

Tabelle 3.5: Absolute CO2-Emissionen - Variante 1

### Graue Emissionen nach Nutzungsphasen

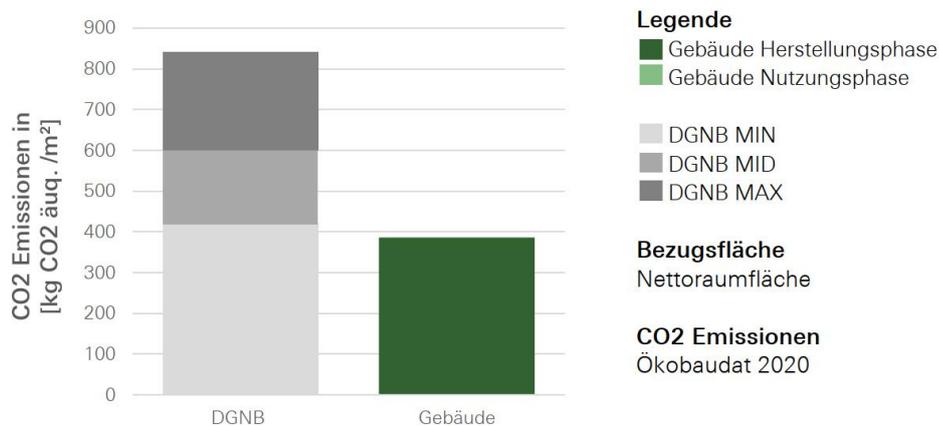


Abbildung 3.13: Graue Emissionen nach Nutzungsphasen - Variante 1

Um die Absolutwerte der CO2-Emissionen zu veranschaulichen, können sie in Äquivalente von gefahrenen PKW-Kilometern umgerechnet werden. Die grauen CO2-Emissionen entsprechen etwa 36.788.000 gefahrenen PKW-Kilometern. Da nur wenige Baustoffe verwendet werden, die im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren ausgetauscht werden müssen, haben die CO2-Emissionen nach der Nutzungsphase des Gebäudes keine signifikante Auswirkung.

**Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen**

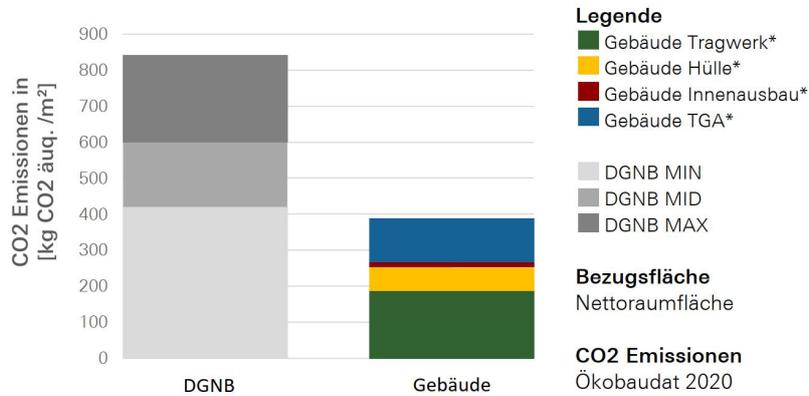


Abbildung 3.14: Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen - Variante 1

**Graue und Rote Emissionen**

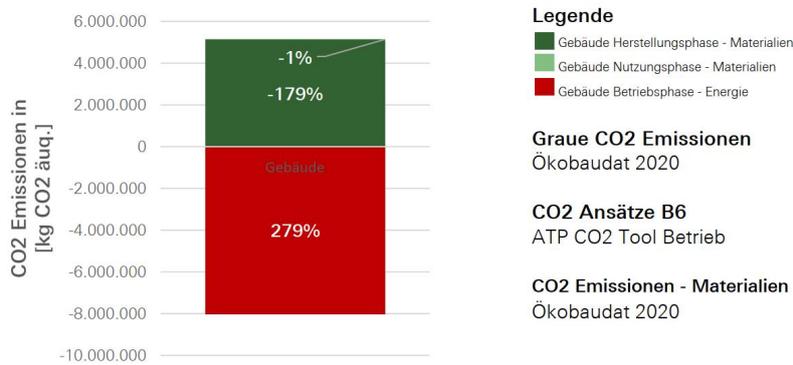


Abbildung 3.15: Graue und Rote Emissionen - Variante 1

Absolute CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> äqu.]	
Gebäude Herstellungsphase	5.126.000 [kg CO <sub>2</sub> äqu.]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 17.000 [kg CO <sub>2</sub> äqu.]
Gebäude Betriebsphase	ca. -8.012.000 [kg CO <sub>2</sub> äqu.]

Tabelle 3.6: Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen - Variante 1

Um die absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionen zu veranschaulichen, können sie in Äquivalente von gefahrenen PKW-Kilometern umgerechnet werden. In diesem Fall entsprechen die grauen CO<sub>2</sub>-Emissionen etwa -20.520.000 gefahrenen PKW-Kilometern.

**Variante 2 - Holzdachkonstruktion/ Sandwichpaneel**

Flächenspezifische CO2-Emissionen [kg CO2 äqu. /m²]	
Gebäude Herstellungsphase	460 [kg CO2 äqu. /m²]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 0 [kg CO2 äqu. /m²]

Tabelle 3.7: Flächenspezifische CO2-Emissionen - Variante 2

Absolute CO2-Emissionen [kg CO2 äqu.]	
Gebäude Herstellungsphase	6.267.000 [kg CO2 äqu.]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 3.000 [kg CO2 äqu.]

Tabelle 3.8: Absolute CO2-Emissionen - Variante 2

**Graue Emissionen nach Nutzungsphasen**

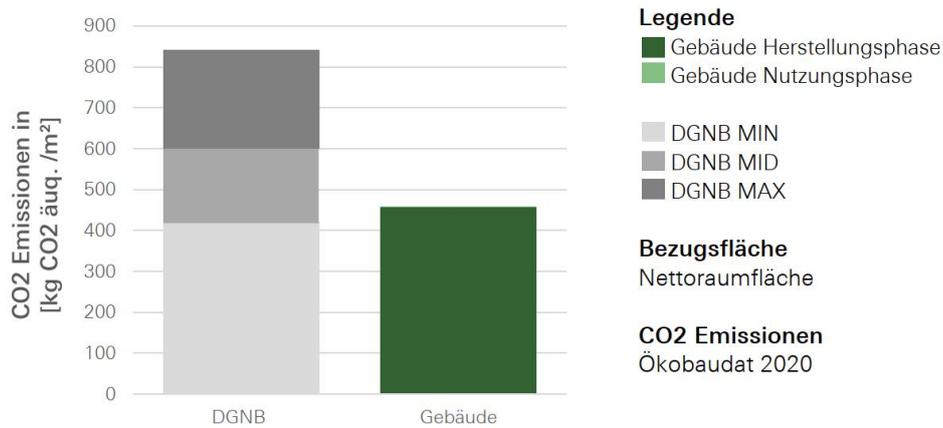


Abbildung 3.16: Graue Emissionen nach Nutzungsphasen - Variante 2

Um die absoluten CO2-Emissionen zu veranschaulichen, können sie in Äquivalente von gefahrenen PKW-Kilometern umgerechnet werden. In diesem Fall entsprechen die grauen CO2-Emissionen etwa 44.850.000 gefahrenen PKW-Kilometern. Dies verdeutlicht das Ausmaß der CO2-Emissionen und ermöglicht einen Vergleich mit einer vertrauten Größe wie den gefahrenen Kilometern mit einem PKW.

**Graue Emissionen nach funktionalen Bauteilen**

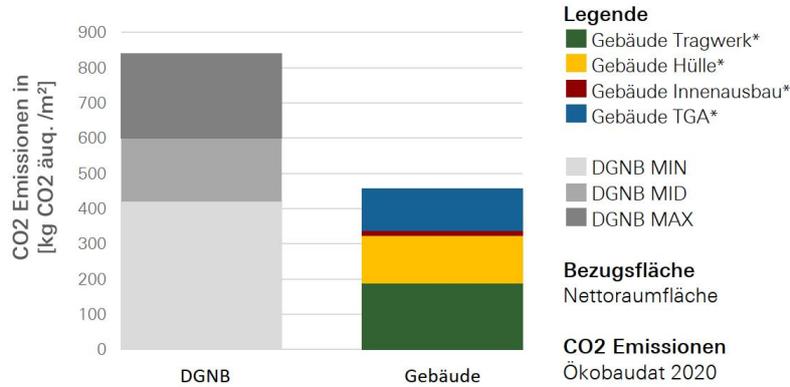


Abbildung 3.17: Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen - Variante 2

**Graue und Rote Emissionen**

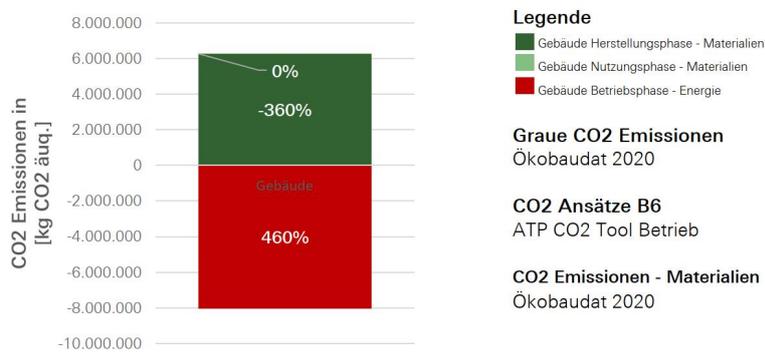


Abbildung 3.18: Graue und Rote Emissionen - Variante 2

Absolute CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg CO <sub>2</sub> äqu.]	
Gebäude Herstellungsphase	6.267.000 [kg CO <sub>2</sub> äqu.]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 3.000 [kg CO <sub>2</sub> äqu.]
Gebäude Betriebsphase	ca. -8.012.000 [kg CO <sub>2</sub> äqu.]

Tabelle 3.9: Absolute CO<sub>2</sub>-Emissionen - Variante 2

Die grauen CO<sub>2</sub> Emissionen entsprechen ca. -12.460.000 gefahrenen PKW km.

### Variante 3 - Stahlbetonfertigteile/ Sandwichpaneel

Flächenspezifische CO2-Emissionen [kg CO2 äqu. /m <sup>2</sup> ]	
Gebäude Herstellungsphase	480 [kg CO2 äqu. /m <sup>2</sup> ]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 0 [kg CO2 äqu. /m <sup>2</sup> ]

Tabelle 3.10: Flächenspezifische CO2-Emissionen - Variante 3

Absolute CO2-Emissionen [kg CO2 äqu.]	
Gebäude Herstellungsphase	6.703.000 [kg CO2 äqu.]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 3.000 [kg CO2 äqu.]

Tabelle 3.11: Absolute CO2-Emissionen - Variante 3

### Graue Emissionen nach Nutzungsphasen

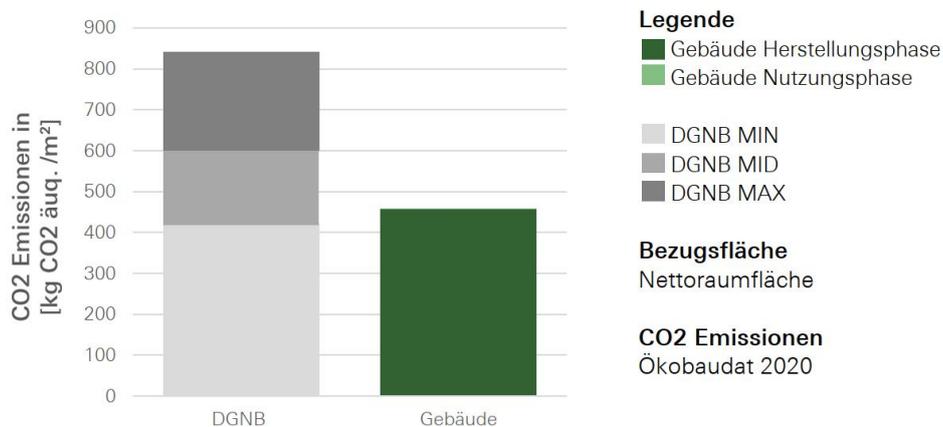


Abbildung 3.19: Graue Emissionen nach Nutzungsphasen - Variante 3

Um die absoluten CO2-Emissionen zu veranschaulichen, können sie in Äquivalente von gefahrenen PKW-Kilometern umgerechnet werden. In diesem Fall entsprechen die grauen CO2-Emissionen etwa 47.969.000 gefahrenen PKW-Kilometern. Diese Umrechnung ermöglicht es, das Ausmaß der CO2-Emissionen besser zu verstehen, indem sie mit einer vertrauten Größe, wie den gefahrenen Kilometern mit einem PKW, verglichen werden.

**Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen**

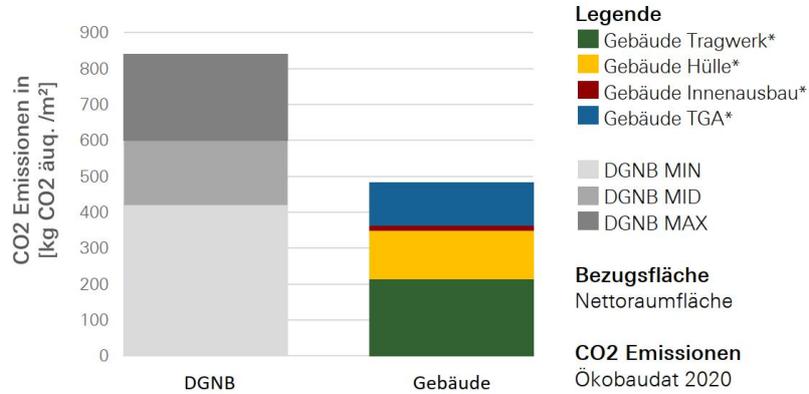


Abbildung 3.20: Graue Emissionen nach Funktionalen Bauteilen - Variante 3

**Graue und Rote Emissionen**

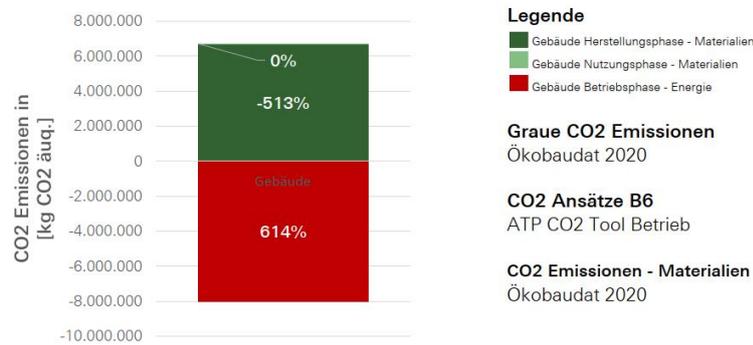


Abbildung 3.21: Graue und Rote Emissionen - Variante 3

Absolute CO2-Emissionen [kg CO2 äqu.]	
Gebäude Herstellungsphase	6.703.000 [kg CO2 äqu.]
Gebäude Nutzungsphase	ca. 3.000 [kg CO2 äqu.]
Gebäude Betriebsphase	ca. -8.012.000 [kg CO2 äqu.]

Tabelle 3.12: Absolute CO2-Emissionene-Variante 3

Die grauen CO2 Emissionen entsprechen ca. -9.340.000 gefahrenen PKW km.

### Vergleich der Varianten

Im Folgenden werden alle drei Varianten hinsichtlich der Einsparungen bei den CO<sub>2</sub>-Emissionen verglichen. Die erste Variante beinhaltet ein geplantes Holzdachtragwerk mit einer Holzfassade im Logistikbereich. Diese Konstruktion ergibt einen Wert von 5.143.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter. In der zweiten Variante wird anstelle der Holzfassade eine Paneelfassade berechnet, was zu einem Wert von 6.270.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter führt. Dies ergibt eine Einsparung von 1.127.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter im Vergleich zur ersten Variante. In der dritten Variante wird anstelle des Holztragwerks ein Stahlbetontragwerk betrachtet, was zu einem Wert von 6.706.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter führt. Damit ergibt sich ein Unterschied von 436.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter im Vergleich zur zweiten Variante. Insgesamt können mit der ersten Variante 1.563.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent pro Quadratmeter eingespart werden. Um diesen Wert greifbarer zu machen, sollen im Folgenden einige Alltagsvergleiche aufgezeigt werden. Die berechnete Einsparung entspricht beispielsweise 11.180.258 gefahrenen PKW-Kilometern oder 139,8 Gramm CO<sub>2</sub> pro gefahrenen Kilometer. Weiterhin entspricht sie der Herstellung von 82.839 Männerjeans oder dem jährlichen Verbrauch von 182 deutschen Personen (0,6 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr/Person). Die Ergebnisse werden in der Tabelle 3.13 veranschaulicht.

<b>Ersparnisse - 1563000</b>			
<b>Variante</b>	<b>Konstruktion</b>	<b>kg CO2 äqu/m2</b>	<b>Ersparnisse</b>
Variante 1	Holzdachtragwerk Holzfassade Logistik	5.143.300	-
Variante 2	Holzdachtragwerk Paneelfassade Logistik	6.270.000	1.127.000
Variante 3	Stahlbetontragwerk Paneelfassade Logistik	6.706.000	436.000

Tabelle 3.13: Vergleich CO<sub>2</sub> Emissionen

### 3.7 Interpretation der Ergebnisse

Building Information Modelling ermöglicht durch die notwendigen Material und Geometrieinformationen von Gebäuden eine Abbildung der CO<sub>2</sub> Bewertung hinsichtlich Aufbauten und Materialien. Es ist anzunehmen, dass Auswertungen in frühen Leistungsphasen als Optimierungswerkzeug dienen können. Mit der Methode und dem entwickelten Workflow können Variantenstudien außerhalb des Modells kurzerhand über die Parameter Materialgüte, Materialgüte Zusatz in Excel durchgeführt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, inwieweit Massen unverändert bleiben. Das Ergebnis dieser Bilanz ist nur so präzise, wie die Elemente, die im Modell vorhanden sind. Bei der Verwendung sind neben den Vorteilen auch einige Probleme aufgetreten. Insbesondere für den Industriebau sind die vordefinierten Bauteilschichten noch nicht vollständig entwickelt. Die vordefinierten Bauteilschichten enthalten beispielsweise nicht das im Industriebau übliche Trapezblech für die Dachunterkonstruktion. Das Trapezblech fällt unter die Kategorie Geschossdecken, in Revit wird lediglich das umschließende Volumen erfasst, was nicht der realen Volumenangabe entspricht. Dementsprechend wurde das Volumen für die Berechnung entsprechend angepasst, wobei eine Environmental Product Declaration (EPD) für Trapezbleche herangezogen wurde [13]. Das Tool erfordert außerdem eine Überprüfung der korrekten Zuordnung der grauen Emissionen basierend auf der Funktionalität der Bauteile. Es ist beispielsweise erforderlich, das Trapezblech richtig dem Tragwerk anstelle der Gebäudehülle zuzuordnen, indem es der Gewerkszuordnung Rohbau zugeordnet wird.

# 4 Softwarebasierte Entsorgungsindikatoranalyse.

## 4.1 Methode und Daten - EI Entsorgungsindikator

Der Entsorgungsindikator ist ein fester Bestandteil bei der Bewertung von nachhaltigen Gebäudesystemen, beispielsweise für klimaaktiv Bauen und Sanieren [3], TQB der ÖGNB [15], oder des IBO Ökopasses [16]. Er wurde vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie [9] erstellt, um eine einheitliche Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Materialien auf Gebäudeebene zu ermöglichen. Für die anschließende Berechnung wurde diese Methode zur Einschätzung des Entsorgungsindikator herangezogen. Die Basis der Überlegung ist eine semiquantitative Bewertungsmethode. Bestandteile sind zum einen die Einstufung der Entsorgungseigenschaften von Bauteilen und zum anderen die Beurteilung zusammengesetzter Baukonstruktionen eines Gebäudes, die Verbindungen von Baustoffschichten berücksichtigen sollen. Der Indikator kann mithilfe des Online Tools Eco2Soft der baubook Plattform berechnet werden. In diesem sind für die meisten Baustoffe Werte für die Entsorgungseinstufung und für das Verwertungspotenzial erfasst. Dabei ist bei der Adaptierung des Entsorgungsindikators für Konstruktionen EI KON bei der Berechnung zu berücksichtigen, dass das Verwertungspotenzial durch nicht trennbare Bauteilschichten verschlechtert wird. Demnach erhöht sich beispielsweise beim Stahlbeton in Kombination mit bituminöser Abdichtung die Entsorgungseinstufung und das Verwertungspotenzial. Ebenso werden Türen und Fenster eingestuft. Nach der Berechnung des EI KON erfolgt die Berechnung des EI10. Der EI10 beschreibt den Entsorgungsindikator auf Gebäudeebene und kann anders als beim Energieausweis (Bilanzgrenze 0) vereinfacht für die Bilanzgrenze 1 und detailliert für die Bilanzgrenze 3 ermittelt werden. Gemäß Bilanzgrenze 1 werden alle Bauteile und Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle inkl. Zwischendecken beurteilt. Die Bilanzgrenze 3 inkludiert zusätzlich alle Innenwände und nicht konditionierten Flächen, wie Keller oder Pufferräume. Im Vergleich dazu werden bei der Bilanzgrenze 0 ausschließlich die für die Wärmeisolierung erforderlichen Bauteilschichten berücksichtigt. Um zu einer Bewertung der Baustoffe und Konstruktionen zu gelangen sind mehrere Arbeitsschritte wesentlich.

### Gewichtung des im gesamten Lebenszyklus anfallenden Volumens mit der Entsorgungseinstufung

Im ersten Schritt wird das anfallende Volumen eines Baustoffes pro Bauteilschicht einer Konstruktion ermittelt. Das berechnete Volumen wird anschließend mit der Entsorgungseinstufung multipliziert, man spricht von einem gewichteten Entsorgungsvolumen, welches im schlechtesten Fall der fünffachen Menge des eigentlichen Volumens entsprechen kann. So ergibt sich aus einem Abfallvolumen  $0,25\text{m}^3$  und einer Entsorgungseinstufung 4 ein gewichtetes Volumen von  $1\text{m}^3$ . Die Bewertung der Baustoffe erfolgt über eine 5-stufige Klassifizierung der Entsorgungswege, veranschaulicht in Abbildung 4.1. Die Entsorgungswege sind unterteilt in Recycling, Verwertung und Deponierung. Zum einen beurteilt die Matrix den aktuellen Entsorgungsweg, also ob die Baustoffe zum jetzigen Zeitpunkt zu mindestens 80 Prozent recycelt, verbrannt oder deponiert werden. Zum anderen wird das Verwertungspotenzial des theoretischen bzw. definierten Zeitpunkts der Entsorgung, welches in Anbetracht optimaler Rahmenbedingungen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht möglich wäre, untersucht. Werden zwei gleichwertige Entsorgungswege genutzt, beispielsweise 50 Prozent Verwertung und 50 Prozent Deponie, so ist der weniger klassifizierte Entsorgungsweg aus 4.1 anzunehmen. Ist der besser eingestufte Entsorgungsweg um mindestens 2 Stufen besser, wird die Einstufung um 1 Stufe erhöht. [9]

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

Abbildung 4.1: Bewertungsmatrix 1-5 für alle Entsorgungswege [9]

### Berücksichtigung der Nutzungsdauer von Bauteilschichten

Die Nutzungsdauer von Baukonstruktionen wird durch die Einbausituation und den zerstörungsfreien Ausbau einzelner Schichten im Gesamtlebenszyklus definiert. Wenn kurzlebige Bauteile unter langlebigeren Bauteilen angeordnet sind und diese Schichten eng mit der Funktion des Gebäudes zusammenhängen, verringert sich die Lebensdauer der oberen Schichten, sofern sie nicht zerstörungsfrei entfernt und wieder eingebaut werden können. [9] Es gibt einen Nutzungsdauerkatalog (4.2), der die Nutzungsdauer in vereinfachter Form festlegt. Dieser Katalog soll jedoch durch spezifische Werte für das Gebäude und die Produkte ersetzt werden. Es ist wichtig zu betonen, dass die vorgeschlagenen Werte unabhängig vom Material sind und sich nach der Funktion der Bauteilschicht im Gebäude richten.

Konstruktion	Beschreibung	Nutzungsdauer
Primärkonstruktion	Tragkonstruktion	100 Jahre
Sekundärkonstruktion	alle Konstruktionsschichten außer: Fenster, WDVS, Gebäudeabdichtungen/Folien, Bodenbeläge und Haustechnikkomponenten	50 Jahre
Fenster	Verglasungen, Rahmen, Fensterkomponenten	35 Jahre
Wärmedämmverbundsysteme (inkl. Putz, Klebspachtel, Armierungsgewebe)	EPS-F, Korkdämmplatten, MW-Putzträgerplatten, Hanfdämmplatten, Mineralschaumplatte (Außenfassade) etc.	35 Jahre
Putze	Putze inkl. Untergründe	35 Jahre
Gebäudeabdichtungen / Folien, 25a	Baufolien aus Kautschuk (EPDM), PE-Dichtungsbahnen, PVC-Dichtungsbahnen, sonstige Abdichtungen ausgenommen bituminöse Abdichtungen, Trennfolien, etc.	25 Jahre
Gebäudeabdichtungen / Folien, 35a	Alu-Bitumendichtungsbahnen, Alu-Dampfsperre, Bitumen, Bitumenanstrich, Bitumenpappe, Anwendungsbereiche: insbesondere Dach/erdberührte AW	35 Jahre
Bodenbeläge, 50a	Vollholzböden (z.B. Schiffböden), schwimmend verlegt Massivparkett, (keramische) Fliesen, Naturstein, Kunststein	50 Jahre
Bodenbeläge, 25a	Mehrschichtparkett, Linoleum, PVC-Bodenbelag, Polyolefin-Bodenbelag auf Basis von PE und PU, Gummi-Bodenbelag, Gummi-Noppenbelag, Laminatböden	25 Jahre
Bodenbeläge, 10a	Kork, Korkment, textile Bodenbeläge (Polyamidteppich, Wollteppich...), Estrichbeschichtungen	10 Jahre
Tertiärkonstruktion	Technische Gebäudeausrüstung TGA (abhängig von Komponenten)	20 bzw. 50 Jahre
Boden- und Wandbeschichtungen	Estrichbeschichtungen, Lacke, Wandfarben, etc.	10 Jahre

Abbildung 4.2: Nutzungsdauerkatalog [9]

### **Gewichtung des im gesamten Lebenszyklus anfallenden Volumens mit dem Verwertungspotential des/r Baustoffe/s**

Im nächsten Schritt erfolgt die Evaluierung des Verwertungspotenzials. In Abhängigkeit davon wird die anfallende Abfallmenge nach Tabelle 4.1 in den Teilschritten 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 und 1.25 fiktiv erhöht oder reduziert. Die Tabelle ist folgendermaßen zu verstehen: bei einem Verwertungspotenzial 3 liegen 75 Prozent als Abfall vor, lediglich 25 Prozent können recycled werden. Die Menge für das Verwertungspotenzial 5 wird um 25 Prozent erhöht, da in diesem Fall ein Zusatz an Materialien für eine Aufbereitung nötig wäre. Somit ist es möglich, die Aufwände für eine Entsorgung beurteilen zu können.

<b>Verwertungspotenzial</b>	<b>Abfallreduktion oder -erhöhung</b>
1	25 Prozent
2	50 Prozent
3	75 Prozent
4	100 Prozent
5	125 Prozent

Tabelle 4.1: (fiktive) Reduktion/Erhöhung der betrachteten Abfallmengen [9]

### Berechnung der Entsorgungskennzahl der Konstruktion EI KON

Unter Berücksichtigung der Entsorgungseinstufung, des Verwertungspotenzials und der Schichtdicke erfolgt schließlich die Berechnung des Entsorgungsindikators für Baukonstruktionen in Volumen pro m<sup>2</sup> Bauteil über die unten dargestellten Formeln. Die anfallende Menge wird dabei in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer in einem definierten Betrachtungszeitraum in m<sup>3</sup> Baustoff pro m<sup>2</sup> Konstruktion angegeben. Anders als bei der Berechnung des Ökoindex wird nicht die Masse, sondern das Volumen als entscheidender Parameter bestimmt. Demzufolge steigt der ökologische Aufwand für die Entsorgung in Abhängigkeit des anfallenden Volumens. Während der EI KON (End of Life) das bewertete Volumen, das am Ende der Gesamtlebensdauer des Gebäudes entsorgt werden muss, umfasst, beinhaltet der EI KON (Erneuerung), das bewertete Volumen aus den Austausch- bzw. Sanierungszyklen. Die maßgeblichen Kennzahlen der Formeln sind unten beschrieben.

EI KON = EI KON (End of life) + EI KON (Erneuerung)

EI KON (End of life) =  $\sum_n^i V_i \cdot \text{Entsorg}(IST)_i \cdot \text{Verwert}(POT)_i$

$EIKON(\text{Erneuerung}) = \sum_n^i V_i \left( \frac{a}{ND_i} - 1 \right) \cdot \text{Entsorg}(IST)_i \cdot \text{Verwert}(POT)_i$

**V<sub>i</sub>**: Volumen der Bauteilschicht i pro m<sup>2</sup> Konstruktion [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]

**a**: Gesamtbetrachtungszeitraum des Gebäudes in Jahren (z.B. 100 Jahre)

**ND<sub>i</sub>**: entspricht der Nutzungsdauer der Bauteilschicht in Jahren (a)

**a/ND<sub>i</sub>**: entspricht der Anzahl der Entsorgungszyklen einzelner Bauteilschichten im gesamten Betrachtungszeitraum eines Gebäudes (z.B. 100 Jahre), inklusive dem End of life Szenario (ganzzahlige Berücksichtigung) Hinweis: "Die reguläre (technische) Nutzungsdauer einer Bauteilschicht kann durch darunterliegende Bauteilschichten, die früher getauscht werden müssen, deutlich vermindert sein, gleiches gilt für besonders exponierte Baustoffe (z.B. durch Bewitterung, UV-Einwirkung, drückendes Grundwasser,...)" [9]

### Berechnung des EI10 auf Gebäudeebene

Der Entsorgungsindikator auf Gebäudeebene wird auf Basis der Entsorgungsindikatoren der Konstruktion errechnet. Die Berechnung erfolgt aus einem flächengewichteten Durchschnitt. Hierbei werden die Entsorgungskennzahlen aller betrachteten Konstruktionen in das Verhältnis zu den Summen aller betrachteten Außenflächen und Innenbauteilflächen gesetzt. In Relation zu den Außenflächen haben die Innenbauteilflächen ein weitaus kleineres Volumen. Aufgrund dieser Tatsache werden die Innenbauteilflächen um 75 Prozent verringert. Dies hat zur Folge, dass die Entsorgungseigenschaften und ihre anfallenden Volumina in Relation zu den Schichtdicken stärker priorisiert werden. Unabhängig von der festgesetzten Bilanzgrenze erfolgt nach der Berechnung die Bewertung des EI10 auf Gebäudeebene. Für eine bestmögliche Qualität der Entsorgungseigenschaften sollte der EI10 einen Wert von unter 20 erreichen, während der Wert die Mindestanforderung von 45 nicht überschreiten sollte.[9]

$$EI = \frac{\sum_n^i EIKon * A_i}{\sum_n^i ABt_i + 0,25 \sum_n^i IBt_i} * 10$$

**EI Kon:** Entsorgungskennzahlen aller betrachteten Konstruktionen (der gewählten Bilanzierungsgrenze auf Gebäudeebene)

$A_i$  : jeweilige Bauteilfläche der betrachteten Konstruktion

$\sum_n^i ABt_i$  : Summe aller betrachteten Außenbauteilflächen (z.B. Außenwände außenluftberührt/erdberührt, gedämmtes Flachdach-/Steildach, oberste Geschoßdecke, wenn gegen unbeheizten Dachraum, Kellerdecke gegen unconditionierte Bereiche )

$\sum_n^i IBt_i$  : Summe aller Innenbauteilflächen (z.B. Geschoßdecken, Innenwände zu konditionierten und nicht-konditionierten Bereichen, etc.)

## 4.2 Eco2Soft - Bewertung vordefinierter Bauteilschichten

Auf der Grundlage des Entsorgungsindikators für Bauteile EI KON vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie [9] sollen die Entsorgungseigenschaften in Abhängigkeit von Gewerk, Materialgüte und Materialgüte Zusatz, dargestellt und in einem Tool zusammengefasst werden. Die Daten für die Recycling Noten als auch Bauteilkataloge werden dem eco2soft [14] Werkzeug entnommen. In Eco2Soft [14] sind für den Großteil der Baumaterialien Default Werte für die Entsorgungseinstufung und für das Verwertungspotenzial charakterisiert. Die Reihenfolge der Bauteillagen und die daraus resultierende Trennbarkeit bzw. Nichttrennbarkeit bestimmt maßgeblich das Entsorgungs- und Verwertungspotenzial. Dieses muss im Eco2Soft individuell berücksichtigt werden. Die Anpassungen der Entsorgungseinstufung kann der Grafik 4.4 entnommen werden. Beispielsweise weisen Mineralschaumplatten als Trittschalldämmung im Trockenbau eine viel bessere Entsorgungseinstufung und ein Verwertungspotenzial auf als Fassadendämmplatten. Die vordefinierten Bauteile sind den Tabellen 7 bis 13 zu entnehmen. Um die Auseinandersetzung mit der Berechnung zu verbessern, sollen für Bauteile, die in der Flötzingler Brauerei zum Einsatz kommen, in den folgenden Beispielen aufgezeigt werden. Hierbei wird, resultierend aus der Entsorgungseinstufung und dem Verwertungspotenzial der Entsorgungsindikator für die Konstruktion für die Betrachtungszeiträume 50 Jahre und 20 Jahre berechnet. Im Hintergrund für die Berechnung stehen Ökobilanzdaten für Baumaterialien. Im ersten Schritt wurde diese Liste um die Entsorgungseinstufung und das Verwertungspotenzial ergänzt. So ist es möglich Bauteile aus verschiedenen Bauteilschichten aufzubauen. Im nächsten Schritt konnte der Entsorgungsindikator EI Kon - End of Life und der Entsorgungsindikator EI KON Erneuerung für die vordefinierten Bauteilaufbauten errechnet werden. In der Berechnung des EI KON End of life geht die technische Lebensdauer mit ein. Sie ist der maximal erreichbaren Nutzungsdauer gleichzusetzen. Die Vorschlagswerte aus dem Nutzungsdauerkatalog, siehe 4.2, wurden durch gebäude- und produktspezifische Werte ersetzt. Aus den angenommenen Nutzungsdauern resultieren Austauschraten für die Baustoffe. So muss beispielsweise eine Mineralwolle in einer hinterlüfteten Fassade, der eine Nutzungsdauer von 30 Jahren zugeordnet wurde, in einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren dreimal ausgetauscht werden.

**Anpassung der Entsorgungseigenschaften**

<b>Baustoffe</b>	<b>Entsorgungseinstufung</b>	<b>Verwertungspotential</b>
Stahlbeton und Normalbeton	2	2
<input type="checkbox"/> in Kombination mit bituminöser Abdichtung	3	3
<input type="checkbox"/> in Kombination mit zementgebundene EPS-Schüttung	3	3
<input type="checkbox"/> in Kombination mit Gipsputz, Schichtdicke > 1cm	3	3
Armierungsstahl	2	1
XPS-Dämmung (Default-Wert)	4	4
<input type="checkbox"/> XPS – Dämmung (HBCD-frei)	4	3
<input type="checkbox"/> EPS – Dämmung (Default-Wert)	5	4
<input type="checkbox"/> EPS – Dämmung (HBCD-frei)	4	3
Estrichbeton	3	4
<input type="checkbox"/> in Kombination mit Bodenbelag, verklebt	3	4
<input type="checkbox"/> in Kombination mit Bodenbelag, schwimmend verlegt	2	3
Glas- und Steinwolle	4	3
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmplatte	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung unter Estrich	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung im Trockenbau	3	3
<input type="checkbox"/> zwischen Holzkonstruktionen, lose	3	3
<input type="checkbox"/> in Gipskartonständerwand, lose	3	3
Schaumglasplatte	3	3
<input type="checkbox"/> mit Bitumen vergossen	3	4
<input type="checkbox"/> ohne Bitumen vergossen	3	3
Mineralschaumplatte	4	3
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmplatte	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung unter Estrich	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung im Trockenbau	1	1
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, verklebt	4	3

Abbildung 4.3: Anpassung der Entsorgungseigenschaften [9]

Baustoffe	Entsorgungseinstufung	Verwertungspotential
Holz (Brettschichtholz, Schnittholz)	1	1
Perlite Lose	2	1
<input type="checkbox"/> als Ausgleichschicht und Füllschüttung	2	1
Perlite Dämmplatte	2	3
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmplatte	2	3
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, verklebt	2	3
Holzfaser	4	3
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmplatte	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung unter Estrich	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung im Trockenbau	1	1
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, verklebt / verputzt	4	3
<input type="checkbox"/> als porös bituminöse Platte	2	2
Hanf	3	3
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmplatte	4	3
<input type="checkbox"/> Zur Einblasung, lose	3	3
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, lose	3	3
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, verklebt / verputzt	4	3
Kork	4	3
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmplatte	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung unter Estrich	4	3
<input type="checkbox"/> als Trittschalldämmung im Trockenbau	3	3
<input type="checkbox"/> Kork bitumenimpregniert (Pechkork)	3	4
Baustrohballen	3	2
<input type="checkbox"/> als Fassadendämmung	4	2
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, lose	3	2
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, verputzt	4	2
Zellulose Lose	3	3
<input type="checkbox"/> zur Einblasung		3
Zellulose Wärmedämmplatte	3	3
<input type="checkbox"/> im Innenausbau, verklebt / verputzt		3
Schafwolle Lose	3	3
<input type="checkbox"/> als Klemmfilz	3	1
<input type="checkbox"/> Schafwolle Dämmstoff mit Stützfasern	3	3

Abbildung 4.4: Anpassung der Entsorgungseigenschaften [9]

### Überblick der Bauteile in der Brauerei Flötzing

Die Tabelle 4.2 gibt einen Überblick über die vordefinierten Bauteilaufbauten, welche im Projekt Flötzing Brauerei verwendet wurden. Anschließend soll für diese Schichten der Entsorgungsindikator für die Konstruktionen auf Basis folgender Formel berechnet werden.

$$\begin{aligned} \text{EI KON} &= \text{EI KON (End of life)} + \text{EI KON (Erneuerung)} \\ \text{EI KON (End of life)} &= \sum_n^i V_i \cdot \text{Entsorg}(IST)_i \cdot \text{Verwert}(POT)_i \\ \text{EIKON (Erneuerung)} &= \sum_n^i V_i \left( \frac{a}{ND_i} - 1 \right) \cdot \text{Entsorg}(IST)_i \cdot \text{Verwert}(POT)_i \end{aligned}$$

Die Berechnungen beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Werden die EI KON (End of life) und EI KON (Erneuerung) summiert, ergibt sich ein EI KON Gesamt. Der EI KON (Erneuerung) spielt teilweise im Berechnungszeitraum von 20 Jahren keine Rolle, da bei einer technischen Lebensdauer von beispielsweise 40 Jahren keine Austauschzyklen vorliegen würden.  $a/ND_i$ : entspricht also der Anzahl der Entsorgungszyklen einzelner Bauteilschichten im gesamten Betrachtungszeitraum eines Gebäudes. Die Austauschhäufigkeit würde sich dementsprechend auf den Wert 0 verändern. Der Austausch von Baustoffen im Betrachtungszeitraum wird mit ganzzahligen Austauschraten berücksichtigt.

Bauteile in Brauerei Flötzing
STB_C20/25_2%_Stahl
STB_C30/37_2%_Stahl
STB_C45/55_2%_Stahl
Konstruktionsvollholz Brettsperholz
Stahl
WDVS_Standard_EPS/XPS
Fassade_hinterlüftet_Standard_Holz_Mineralwolle
Fassade_hinterlüftet_Standard_Stahl_Mineralwolle
Sandwichpaneel_Standard_Mineralwolle
Außenwand_gegen_Erdreich_XPS_Bitumen
PfostenRiegelfassade_Holz
PfostenRiegelfassade_Aluminium
GK_Wand_Schacht_einseitig_doppelt_bemplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle
GK_Wand_doppelt_bemplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle
Linoleum_auf_Doppelboden
Fliesen_auf_Zementestrich_EPS
Abhang_Decke_GK_ohne_Schallschutzauflage
Flachdach_Standard_extensiv_begrünt_Mineralwolle
Türen_1_flg_Holz
Türen_1_flg_Metall
Lochfenster_Standard_über_2m²_Alurahmen_mit_2SIG
Dachflächenfenster_Standard_über_2m²_Kunststoffrahmen_mit_2SIG

Tabelle 4.2: Bauteile in Brauerei Flötzing

### Tragwerk

Die Abkürzung Einst: steht für Entsorgungseinstufung, während Pot: das Verwertungspotenzial bedeutet. Die Entsorgungseinstufung bezeichnet die Klassifizierung von Abfällen nach ihren Gefährlichkeit und Umweltauswirkungen, um sichere Entsorgungsverfahren zu bestimmen. Das Verwertungspotenzial hingegen betrifft die Möglichkeiten, Abfälle in wiederverwertbare Materialien oder Energie umzuwandeln, um Ressourcen zu schonen und Umweltbelastungen zu reduzieren. Beide Aspekte sind wichtig für eine nachhaltige Abfallwirtschaft und den Umweltschutz.

STB_C30/37_2%_Stahl					
Material	Dicke [m]	Lebendauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Beton C30/37 (98%)	1,000	50	0	2	2
Bewehrungsstahl (2%)	1,000	50	0	2	1

Tabelle 4.3: STB\_C30/37\_2%\_Stahl

STB_C30/37_2%_Stahl		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Beton C30/37 (98%)	0,98	0
Bewehrungsstahl (2%)	0,01	0

Tabelle 4.4: Berechnung - STB\_C30/37\_2%\_Stahl

**EI KON (50 Jahre):** 0,99 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil  
**EI KON (20 Jahre):** 0,99 Punkte m<sup>2</sup>Bauteil

Konstruktionsvollholz					
Material	Dicke [m]	Lebendauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Konstruktionsvollholz	1,000	50	0	1	1

Tabelle 4.5: Konstruktionsvollholz

Konstruktionsvollholz		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Konstruktionsvollholz	0,25	0

Tabelle 4.6: Berechnung - Konstruktionsvollholz

**EI KON (50 Jahre):** 0,25 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil  
**EI KON (20 Jahre):** 0,25 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

<b>Brettsperrholz</b>					
<b>Material</b>	<b>Dicke [m]</b>	<b>Lebendauer [a]</b>	<b>Austauschhäufigkeit</b>	<b>Einst:</b>	<b>Pot:</b>
Brettsperrholz	1,000	50	0	1	1

Tabelle 4.7: Brettsperrholz

<b>Brettsperrholz</b>		
<b>Material</b>	<b>EI Kon End of Life</b>	<b>EI KON Erneuerung</b>
Brettsperrholz	0,25	0

Tabelle 4.8: Berechnung - Brettsperrholz

**EI KON (50 Jahre):** 0,25 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil  
**EI KON (20 Jahre):** 0,25 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**Alternativ:** Kalksandstein ist mit einem Entsorgungsindikator 2 von und einem Verwertungspotenzial 1 definiert. Hochlochziegel [Einst: 2; Pot: 2]; Stahl [Einst: 1; Pot: 1].

**Außenwandbeschichtung außen**

WDVS_Standard_EPS/XPS					
Material	Dicke [m]	Lebensdauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Klebmörtel	0,002	30	1	3	5
EPS/XPS	0,160	30	1	5	4
Armierungsputz	0,003	30	1	3	5
Armierungsgewebe	0,002	30	1	2	5
Oberputz	0,015	30	1	2	4
Farbe	0,003	15	3	2	5

Tabelle 4.9: WDVS\_Standard\_EPS/XPS

WDVS_Standard_EPS/XPS		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Klebmörtel	0,0075	0,0075
EPS/XPS	0,8	0,8
Armierungsputz	0,01125	0,01125
Armierungsgewebe	0,005	0,005
Oberputz	0,03	0,03
Farbe	0,0075	0,0225

Tabelle 4.10: Berechnung - WDVS\_Standard\_EPS/XPS

**EI KON (50 Jahre):** 1,73 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil  
**EI KON (20 Jahre):** 0,87 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

Fassade_hinterlüftet_Standard_Holz_Mineralwolle					
Material	Dicke [m]	Lebendauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Konstruktionsholz (10%)	0,100	30	1	1	1
Mineralwolle (90%)	0,100	30	1	4	3
Konstruktionsholz quer (10%)	0,060	30	1	1	1
Mineralwolle (90%)	0,060	30	1	4	3
Mitteldichte Holzfaserplatte	0,015	30	1	3	3
Lattung (15%)	0,030	40	1	1	1
Holz (Fassadenverkleidung)	0,020	40	1	1	1

Tabelle 4.11: Fassade\_hinterlüftet\_Standard\_Holz\_Mineralwolle

Fassade_hinterlüftet_Standard_Holz_Mineralwolle		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Konstruktionsholz (10%)	0,0025	0,0025
Mineralwolle (90%)	0,2700	0,2700
Konstruktionsholz quer (10%)	0,0015	0,0015
Mineralwolle (90%)	0,1620	0,1620
Mitteldichte Holzfaserplatte	0,03375	0,03375
Lattung (15%)	0,001125	0,001125
Holz (Fassadenverkleidung)	0,005000	0,005000

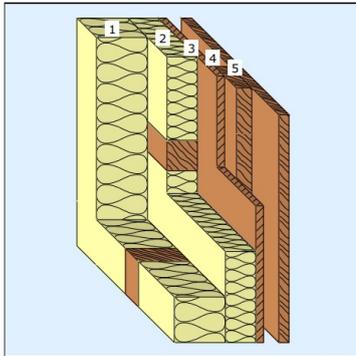
Tabelle 4.12: Berechnung - Fassade\_hinterlüftet\_Standard\_Holz\_Mineralwolle

Die Berechnung ergibt folgende Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,95 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,48 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

Im dargestellten Überblick (siehe Abbildung 4.5) sind die Materialien aus dem Bauteilkatalog mit ihren entsprechenden Zuordnungen ersichtlich. Als Beispiel wurde der Mineralwolle das Material Steinwolle MW(SW)-W mit einer Dichte von 100 kg/m<sup>3</sup> zugeordnet. Der mitteldichten Holzfaserplatte wurde das Material MDF-Platten mitteldichte Faserplatte mit einer Dichte von 700 kg/m<sup>3</sup> zugewiesen.



Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m <sup>2</sup>	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Konstruktionsholz + Mineralwolle	10,00				
	54 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-W (100 kg/m <sup>3</sup> )	10,00	'30	53	4	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	10,00	'30	2	1	1
2	Konstruktionsholz quer + Mineralwolle	6,00				
	54 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-W (100 kg/m <sup>3</sup> )	6,00	'30	32	4	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	6,00	'30	1	1	1
3	Mitteldichte Holzfaserplatte (MDF-Platten mitteldichte Faserplatte (700 kg/m <sup>3</sup> ))	1,50	'30	17	3	3
4	Inhomogen (Elemente vertikal)	3,00				
	52,5 cm (84%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben 26 < d <= 30 mm	3,00		0	0	0
	10 cm (16%) Nutzholz (475 kg/m <sup>3</sup> - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet	3,00	'40	1	1	1
5	Holz (Fassadenverkleidung) (Massivholzplatten (3-Schicht, 5-Schicht), Fichte/Tanne (475 kg/m <sup>3</sup> ))	2,00	'40	12	1	1
<b>Bauteil</b>		<b>22,50</b>				

Abbildung 4.5: Berechnung im eco2Soft [14] [9]

Fassade_hinterlüftet_Standard_Stahl_Mineralwolle					
Material	Dicke [m]	Lebendauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Mineralwolle	0,160	30	1	4	3
Winddichtefolie	0,002	20	2	3	4
UK (Aluminium) 15%	0,030	40	1	1	1
Stahl (Fassadenverkleidung)	0,002	40	1	2	1

Tabelle 4.13: Fassade\_hinterlüftet\_Standard\_Stahl\_Mineralwolle

Fassade_hinterlüftet_Standard_Stahl_Mineralwolle		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Holzwolle	0,48	0,48
Winddichtefolie	0,006	0,012
Unterkonstruktion (Aluminium)	0,001125	0,001125
Aluminium (Fassadenverkleidung)	0,00025	0,00025

Tabelle 4.14: Berechnung - Fassade\_hinterlüftet\_Standard\_Stahl\_Mineralwolle

Die Berechnung ergibt folgende Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,98 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,49 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

Sandwichpaneel_Standard_Mineralwolle					
Material	Dicke [m]	Lebensdauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Blechummantelung	0,001	50	0	2	1
Mineralwolle	0,160	50	0	4	3
Blechummantelung	0,001	50	0	2	1

Tabelle 4.15: Sandwichpaneel\_Standard\_Mineralwolle

Sandwichpaneel_Standard_Mineralwolle		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Blechummantelung	0,0005	0
Mineralwolle	0,48	0
Blechummantelung	0,0005	0

Tabelle 4.16: Berechnung - Sandwichpaneel\_Standard\_Mineralwolle

Die Berechnung ergibt folgende Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,48 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,48 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

Außenwand_gegen_Erdreich_XPS_Bitumen					
Material	Dicke [m]	Lebensdauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Bitumen	0,01	40	1	3	5
Bitumen	0,01	40	1	3	5
XPS	0,10	40	1	4	4
Filtervlies	0,01	40	1	3	4
Noppenbahn	0,01	40	1	3	4

Tabelle 4.17: Außenwand\_gegen\_Erdreich\_XPS\_Bitumen

Außenwand_gegen_Erdreich_XPS_Bitumen		
Material	EI Kon End of Life [Punkte m <sup>2</sup> /Bt]	EI KON Erneuerung [Punkte m <sup>2</sup> /Bt]
Bitumen	0,0375	0,0375
Bitumen	0,0375	0,0375
XPS	0,4000	0,4000
Filtervlies	0,0300	0,0300
Noppenbahn	0,0600	0,0600

Tabelle 4.18: Berechnung - Außenwand\_gegen\_Erdreich\_XPS\_Bitumen

Die Berechnung ergibt folgende Entsorgungsindikatoren: Anzumerken ist, dass beim einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren der EI KON End of life 0 beträgt, da Austauschzyklen notwendig sind.

**EI KON (50 Jahre):** 1,13 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,57 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**Innenwände/Außbau**

<b>GK_Wand_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle</b>					
<b>Material</b>	<b>Dicke [m]</b>	<b>Lebensdauer [a]</b>	<b>Austauschhäufigkeit</b>	<b>Einst:</b>	<b>Pot:</b>
Farbe	0,003	10	4	2	5
Spachtelmasse	0,010	30	1	2	3
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Aluminiumständer (10%)	0,10	50	0	1	1
Mineralwolle (90%)	0,10	50	0	4	3
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Spachtelmasse	0,010	30	1	2	3
Farbe	0,003	10	4	2	5

Tabelle 4.19: GK\_Wand\_doppelt\_beplankt\_Aluminiumständer\_Mineralwolle

<b>GK_Wand_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle</b>		
<b>Material</b>	<b>EI Kon End of Life</b>	<b>EI KON Erneuerung</b>
Farbe	0,00625	0,025
Spachtelmasse	0,015	0,015
Gipskarton	0,0375	0,0375
Gipskarton	0,0375	0,0375
Aluminiumständer	0,0025	0
Mineralwolle	0,27	0
Gipskarton	0,0375	0,0375
Gipskarton	0,0375	0,0375
Spachtelmasse	0,015	0,015
Farbe	0,00625	0,025

Tabelle 4.20: Berechnung - GK\_Wand\_doppelt\_beplankt\_Aluminiumständer\_Mineralwolle

Die Berechnung ergibt folgende Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,70 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,48 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

GK_Wand_Schacht_einseitig_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle					
Material	Dicke [m]	Lebendauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Farbe	0,003	10	4	2	5
Spachtelmasse	0,010	30	1	2	3
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Aluminiumständer (10%)	0,100	50	0	1	1
Mineralwolle (90%)	0,100	50	0	4	3

Tabelle 4.21: Schacht\_einseitig\_doppelt\_beplankt\_Aluminiumständer\_Mineralwolle

Schacht_einseitig_doppelt_beplankt_Aluminiumständer_Mineralwolle		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Farbe	0,00625	0,025
Spachtelmasse	0,015	0,015
Gipskarton	0,0375	0,0375
Gipskarton	0,0375	0,0375
Aluminiumständer (10%)	0,0025	0
Mineralwolle (90%)	0,27	0

Tabelle 4.22: Berechnung - einseitig\_doppelt\_beplankt\_Aluminiumständer\_Mineralwolle

Die Berechnung führt zu den folgenden Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,48 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,38 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

Als weiteres Beispiel wird das Bauteil Lehmwand\_doppelt\_beplankt\_Holzständer\_Holzwohle berechnet, um einen direkten Vergleich der Entsorgungseigenschaften darzustellen.

Lehmwand_doppelt_beplankt_Holzständer_Holzwohle					
Material	Dicke [m]	Lebensdauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Farbe	0,003	10	4	2	5
Lehmputz	0,015	30	1	2	2
Lehmbohlen	0,016	30	1	2	1
Lehmbohlen	0,016	30	1	2	1
Holzständer 10%	0,100	50	0	1	1
Holzwohle 90%	0,100	50	0	4	3
Lehmbohlen	0,016	30	1	2	1
Lehmbohlen	0,016	30	1	2	1
Lehmputz	0,015	30	1	2	2
Farbe	0,003	10	4	2	5

Tabelle 4.23: Lehmwand\_doppelt\_beplankt\_Holzständer\_Holzwohle

Lehmwand_doppelt_beplankt_Holzständer_Holzwohle		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Farbe	0,00625	0,025
Lehmputz	0,015	0,015
Lehmbohlen	0,008	0,008
Lehmbohlen	0,008	0,008
Holzständer	0,0025	0
Holzwohle	0,27	0
Lehmbohlen	0,008	0,008
Lehmbohlen	0,008	0,008
Lehmputz	0,015	0,015
Farbe	0,00625	0,025

Tabelle 4.24: Berechnung - Lehmwand\_doppelt\_beplankt\_Holzständer\_Holzwohle

Die Berechnung führt zu den folgenden Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,46 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,36 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**Deckenbekleidung und abgehängte Decken**

Abhang_Decke_GK_ohne_Schallschutzauflage					
Material	Dicke [m]	Lebensdauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
UK (Aluminium) 10%	0,040	30	1	1	1
Gipskarton	0,013	30	1	4	3
Farbe	0,003	10	4	2	5

Tabelle 4.25: Abhang\_Decke\_GK\_ohne\_Schallschutzauflage

Abhang_Decke_GK_ohne_Schallschutzauflage		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Unterkonstruktion (Aluminium)	0,001	0,001
Gipskarton	0,0375	0,0375
Farbe	0,0075	0,03

Tabelle 4.26: Berechnung - Abhang\_Decke\_GK\_ohne\_Schallschutzauflage

Die Berechnung führt zu den folgenden Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 0,11 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,050 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**Dachbeläge / Dächer**

<b>Flachdach_Standard_extensiv_begrünt_Mineralwolle</b>					
<b>Material</b>	<b>Dicke [m]</b>	<b>Lebensdauer [a]</b>	<b>Austauschhäufigkeit</b>	<b>Einst:</b>	<b>Pot:</b>
Vegetationsschicht	0,060	30	1	1	1
PP-Filtervlies	0,010	30	1	3	4
Dränschicht	0,020	30	1	3	4
Schutzvlies	0,010	30	1	3	4
Dachabdichtung Bitumen	0,010	30	1	3	5
Mineralwolle	0,220	30	1	4	3
Dampfsperre	0,010	30	1	3	4
Bitumen Vorstanstrich	0,003	30	1	3	5

Tabelle 4.27: Flachdach\_Standard\_extensiv\_begrünt\_Mineralwolle

<b>Flachdach_Standard_extensiv_begrünt_Mineralwolle</b>		
<b>Material</b>	<b>EI Kon End of Life</b>	<b>EI KON Erneuerung</b>
Vegetationsschicht	0,015	0,015
PP-Filtervlies	0,03	0,03
Dränschicht	0,06	0,06
Schutzvlies	0,03	0,03
Dachabdichtung Bitumen	0,0375	0,0375
Mineralwolle	0,66	0,66
Dampfsperre	0,03	0,03
Bitumen Vorstanstrich	0,009375	0,009375

Tabelle 4.28: Berechnung - Flachdach\_Standard\_extensiv\_begrünt\_Mineralwolle

Die Berechnung führt zu den folgenden Entsorgungsindikatoren:

**EI KON (50 Jahre):** 1,74 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**EI KON (20 Jahre):** 0,87 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

**Deckenbelag und Fußböden**

<b>Linoleum_auf_Doppelboden</b>					
<b>Material</b>	<b>Dicke [m]</b>	<b>Lebensdauer [a]</b>	<b>Austauschhäufigkeit</b>	<b>Einst:</b>	<b>Pot:</b>
Linoleum	0,010	20	2	3	3
Verklebung	0,001	20	2	4	5
Platte (Calciumsulfat)	0,030	50	0	4	3
UK (Stahl)	0,050	50	0	1	1

Tabelle 4.29: Linoleum\_auf\_Doppelboden

<b>Linoleum_auf_Doppelboden</b>		
<b>Material</b>	<b>EI Kon End of Life</b>	<b>EI KON Erneuerung</b>
Linoleum	0,0225	0,045
Verklebung	0,005	0,01
Platte (Calciumsulfat)	0,09	0
Unterkonstruktion (Stahl) 10%	0,00125	0

Tabelle 4.30: Berechnung - Linoleum\_auf\_Doppelboden

**EI KON (50 Jahre):** 0,17 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil  
**EI KON (20 Jahre):** 0,12 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

Fliesen_auf_Zementestrich_EPS					
Material	Dicke [m]	Lebensdauer [a]	Austauschhäufigkeit	Einst:	Pot:
Fliesen	0,010	30	0	2	3
Fliesenkleber	0,001	30	0	4	5
Zementestrich	0,075	50	0	3	4
Trennlage (PE)	0,002	50	0	3	4
EPS	0,030	50	0	5	4
Dampfbremse Polyethylen	0,002	50	0	3	3
Splittschüttung	0,055	50	0	2	3
Splitt 99%	0,055	50	0	2	1
Zement 1%	0,055	50	0	3	4

Tabelle 4.31: Fliesen\_auf\_Zementestrich\_EPS

Fliesen_auf_Zementestrich_EPS		
Material	EI Kon End of Life	EI KON Erneuerung
Fliesen	0,015	0,015
Fliesenkleber	0,005	0,005
Zementestrich	0,225	0
Trennlage (PE)	0,006	0
EPS	0,15	0
Trennlage Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,0045	0
Splittschüttung (zementgebunden)	0,0825	0
Splitt 99%	0,027093596	0
Zement 1%	0,002438424	0

Tabelle 4.32: Berechnung - Fliesen\_auf\_Zementestrich\_EPS

**EI KON (50 Jahre):** 0,54 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil  
**EI KON (20 Jahre):** 0,52 Punkte m<sup>2</sup> Bauteil

### 4.3 Auswertung Entsorgungsindikator

Im Rahmen der Auswertung wurden drei verschiedene Varianten betrachtet:

**Variante 1** : Diese Variante besteht aus einer Holzdachkonstruktion in den Bereichen Logistik, Lager, Tankfarm und Technik, ergänzt durch eine Holzfassade.

**Variante 2** : Hier kommt eine Holzdachkonstruktion zum Einsatz, kombiniert mit einer Fassade aus Sandwichpaneelen.

**Variante 3** : Diese Variante setzt auf eine Stahlbetonfertigteildachkonstruktion, ebenfalls in Kombination mit einer Fassade aus Sandwichpaneelen.

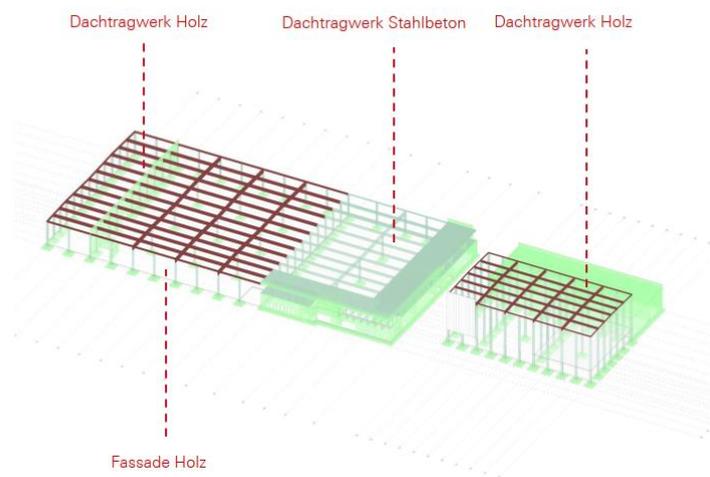


Abbildung 4.6: 3D Darstellung - Variante 1

Um die Umweltauswirkungen besser bewerten zu können, wurden für jede Variante die Entsorgungsindikatoren sowohl auf Konstruktionsebene als auch auf Gebäudeebene berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen liefern wertvolle Informationen über die potenziellen Auswirkungen der verschiedenen Konstruktionsmaterialien auf die Umwelt während des gesamten Lebenszyklus der Gebäude. Der Entsorgungsindikator auf Gebäudeebene wird durch einen flächengewichteten Durchschnitt der Entsorgungsindikatoren der einzelnen Konstruktionen berechnet. Ziel ist es, eine bestmögliche Entsorgungsqualität zu erreichen, wobei ein EI10-Wert unter 20 als optimal angesehen wird und den Wert 45 nicht überschreiten sollte. Es ist jedoch zu beachten, dass das Ergebnis relativ positiv ausfällt, da der Betrachtungszeitraum eines Produktionsgebäudes 20 Jahre beträgt und der EI KON End of Life oft nicht in die Bewertung einbezogen wird. Dadurch können fundierte Entscheidungen getroffen werden, die sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen.

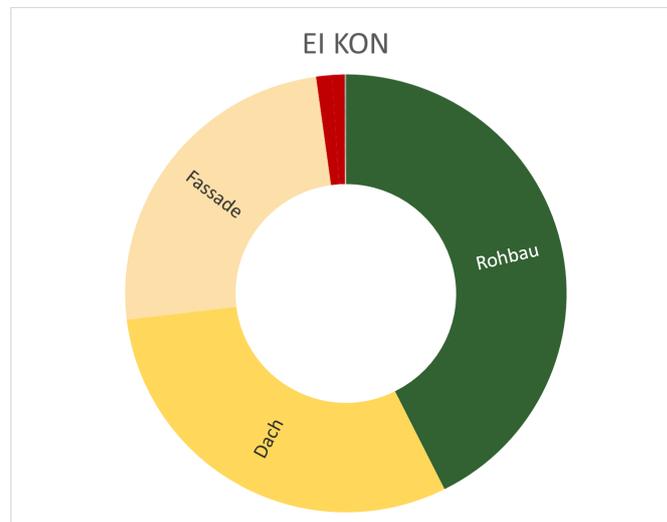
**Variante 1 - EIKON nach den funktionalen Bauteilen**

Abbildung 4.7: EIKon nach den funktionalen Bauteilen - Variante 1

<b>EIKon nach den funktionalen Bauteilen</b>	
Fassade	18781,21
Dach	23089,56
Rohbau	32331,31
Gründung	0
Innenausbau	670,58
Fußböden	889,96
Fenster	20,50
Türen	63,58
<b>EIKON Gesamt</b>	<b>75846,70</b>

Tabelle 4.33: EIKon nach den funktionalen Bauteilen-Variante 1

Das Diagramm zeigt deutlich, dass der größte Anteil der Entsorgung in der Gebäudehülle stattfindet, insbesondere für die Fassade und das Dach. Beim Innenausbau eines Produktionsgebäudes ist die Menge an Entsorgung im Vergleich dazu geringer. Ein erheblicher Teil wird direkt auf Deponien entsorgt, wie beispielsweise Steinwolle, Dichtungsbahnen und Fliesen, oder in Müllverbrennungsanlagen verwertet, wie es bei MDF-Platten der Fall ist. Metalle und Hölzer hingegen können größtenteils recycelt werden, aber zum Beispiel auch Aluminiumblech und Stahlblech.

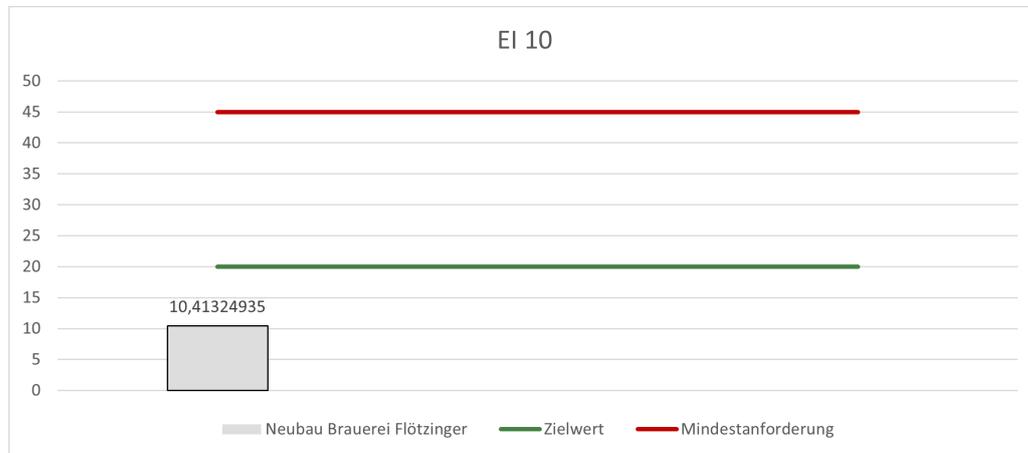
**Variante 1 - Berechnung des EI10 auf Gebäudeebene**

Abbildung 4.8: Variante 1 - EI10 auf Gebäudeebene

EI10 auf Gebäudeebene]	
EI10	10,41
Zielwert	20
Mindestanforderung	45

Tabelle 4.34: EI10 auf Gebäudeebene-Variante 1

Der Entsorgungsindikator auf Gebäudeebene wird auf Grundlage der Entsorgungsindikatoren der Konstruktion errechnet. Die Berechnung erfolgt aus einem flächengewichteten Durchschnitt. Hierbei werden die Entsorgungskennzahlen aller betrachteten Konstruktionen in das Verhältnis zu den Summen aller betrachteten Außenflächen und Innebauteilflächen gesetzt. Für eine bestmögliche Qualität der Entsorgungseigenschaften sollte der EI10 einen Wert von unter 20 erreichen, während der Wert die Mindestanforderung von 45 nicht überschreiten sollte. Allerdings muss an der Stelle erwähnt werden, dass das Ergebnis relativ positiv ausfällt. Grund dafür ist, dass der Betrachtungszeitraum eines Produktionsgebäudes mit 20 Jahren bewertet wird. Hierbei fällt der EI KON End of Life sehr gering aus, teilweise wird er bei Konstruktionen oft nicht mit einberechnet. [9]

$$EI = \frac{\sum_n^i EIKon * A_i}{\sum_n^i ABt_i + 0,25 \sum_n^i IBt_i} * 10$$

**Variante 2 - EIKON nach den funktionalen Bauteilen**

<b>EIKon nach den funktionalen Bauteilen</b>	
Fassade	22449,24
Dach	23089,56
Rohbau	32331,31
Gründung	0
Innenausbau	670,58
Fußböden	889,96
Fenster	20,5
Türen	63,58
<b>EIKON Gesamt</b>	<b>79514,73</b>

Tabelle 4.35: EIKon nach den funktionalen Bauteilen-Variante 1

**Variante 2 - Berechnung des EI10 auf Gebäudeebene**

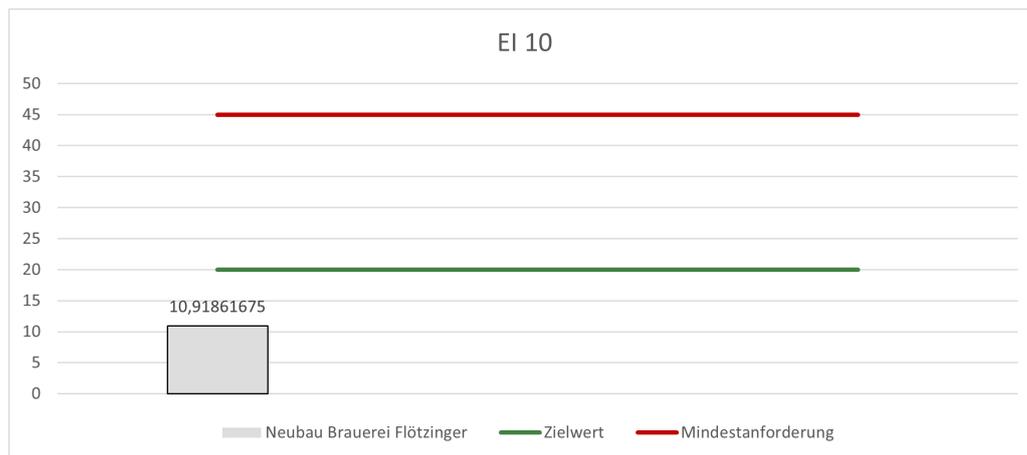


Abbildung 4.9: Variante 2 - EI10 auf Gebäudeebene

<b>EI10 auf Gebäudeebene]</b>	
EI10	10,92
Zielwert	20
Mindestanforderung	45

Tabelle 4.36: EI10 auf Gebäudeebene-Variante 2

**Variante 3 - EIKON nach den funktionalen Bauteilen**

<b>EIKon nach den funktionalen Bauteilen</b>	
Fassade	22449,2428
Dach	23089,56047
Rohbau	34457,7536
Gründung	0
Innenausbau	670,581335
Fußböden	889,9587963
Fenster	20,504
Türen	63,577164
<b>EIKON Gesamt</b>	<b>81641,18</b>

Tabelle 4.37: EIKon nach den funktionalen Bauteilen-Variante 3

**Variante 3 - Berechnung des EI10 auf Gebäudeebene**

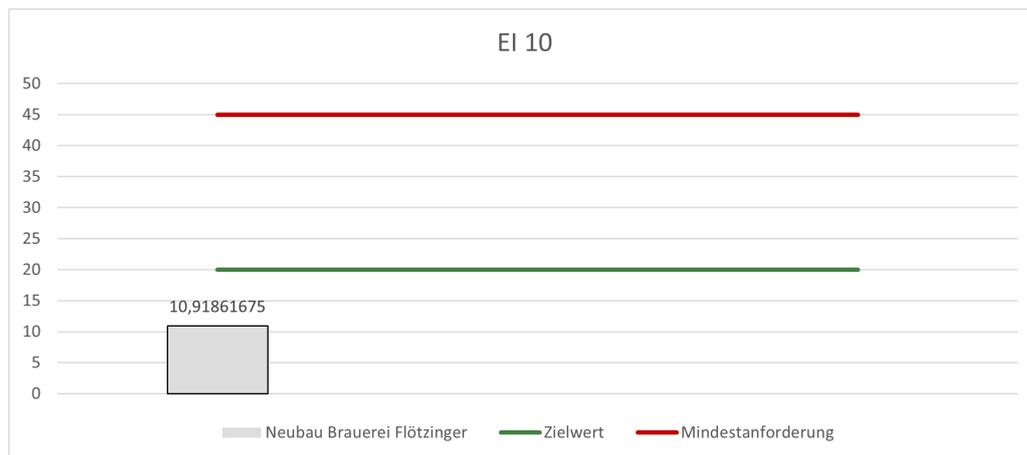


Abbildung 4.10: Variante 3 - EI10 auf Gebäudeebene

<b>EI10 auf Gebäudeebene]</b>	
EI10	11,21
Zielwert	20
Mindestanforderung	45

Tabelle 4.38: EI10 auf Gebäudeebene-Variante 3

## 4.4 Interpretation der Ergebnisse

Durch die vordefinierten Bauteilschichten, die in den Tabellen 7 bis 13 aufgelistet sind, ist eine einheitliche Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Materialien auf Konstruktions- und Gebäudeebene möglich. Mithilfe der Informationen für die Entsorgungseinstufung und für das Verwertungspotenzial aus der *baubook* Plattform konnte der Entsorgungsindikator für die Betrachtungszeiträume 20 und 50 Jahre berechnet werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Verwertungspotenzial bei nicht-trennbaren Bauteilschichten händisch angepasst werden muss. Die Trennbarkeit von Materialien ist eine ausschlaggebende Information, da eine Verwertung eines Materials durch verklebte Materialien erschwert durchgeführt werden kann. In diesem Sinne scheint die Bewertung noch nicht generalisiert zu sein, vielmehr liegt die Verantwortung in der Hand des Users. Es scheint derzeit noch eine Expertise und ein gewisses Know-how von den Architekten und Ingenieuren für die Analyse erforderlich zu sein. Außerdem ist die Einstufung nur durch vordefinierte Bauteile möglich. In einem Building Information Modeling (BIM)-Modell werden in der Regel nicht alle einzelnen Bauteilschichten separat modelliert. Stattdessen wird meistens nur das Gesamtvolumen des Bauteils erfasst. Allerdings ermöglicht ein BIM-Modell die unabhängige Parametrisierung der Materialien in den Bauteilen. Diese Funktion ist jedoch auf bestimmte Aufbauten beschränkt und kann nicht universell für alle Arten von Konstruktionen oder Bauteilen angewendet werden. In dem vorliegenden Ansatz war es möglich, Informationen für nichtmodellerte Bauteilschichten zu definieren. Jedoch ist es wichtig zu erwähnen, dass die Genauigkeit der Evaluierung des Entsorgungsindikators von der Qualität des Modells abhängt. Die Entsorgungseinstufung und das Verwertungspotenzial wurden für verschiedene Materialien wie Mauersteine, Massivbaustoffe, Mörtel, Putze, Fenster, Sonnenschutz, Fassadenverkleidungen, Metallbaustoffe, Holz und Holzwerkstoffe, Klebstoffe, Fugendichtungsmassen, Dichtungsbahnen, Schutzfolien, Wärmedämmstoffe, Bodenbeläge, Anstriche, Beschichtungen und Kunststoffe bewertet. Dadurch ist es möglich, Bauteilkonstruktionen flexibel zu bewerten und in das Tool zu integrieren. Die Nutzung eigener Bauteile erfordert jedoch umfangreiche Anpassungen, wodurch Architekten und Ingenieure teilweise auf die Verwendung eines vorgefertigten Bauteilkatalogs angewiesen sind. Die Bewertung basiert auf der entwickelten *Eco2Soft baubook* Plattform [14] und wurde auf die Materialdatenbank der IBO [9] reduziert, aufgrund unterschiedlicher Datenbanken. Ein Nachteil besteht darin, dass Änderungen oder Anpassungen manuell in die Baumaterialdatenbank übertragen werden müssen. Ein Vorteil besteht darin, dass die Struktur und Methode des Tools so gestaltet wurden, dass die Generierung des Entsorgungsindikators semiautomatisiert über Excel funktioniert. Dadurch hat es das Potenzial, ein wichtiges Entscheidungswerkzeug in frühen Planungsphasen darzustellen, ohne dass Kenntnisse in einer 3D BIM-Software erforderlich sind. Die ATP-Gruppe plant, diese Werkzeuge als Standardprozedur zu verwenden.



## 5 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wurden die Vorteile und einige Herausforderungen bei der Implementierung von Optimierungswerkzeugen im Sinne der Nachhaltigkeit untersucht. Die Einführung dieser "neuen" Werkzeuge hat das Potenzial, die tägliche Arbeit von Architekten und Ingenieuren zu erleichtern und zu unterstützen. Vor allem bei Bauvorhaben größeren Umfangs sind die Werkzeuge, insbesondere in denen mehrere Konstruktionsvarianten betrachtet werden, im Grunde nicht mehr unabdingbar. Die zentrale Problematik liegt viel weniger in der Technologie selbst, sondern in der Durchgängigkeit der Anwendung durch alle Projektbeteiligten, die mithilfe von BIM planen. Die Digitalisierung ist also nur in einer Hinsicht der Treiber der Kreislauffähigkeit. Die BIM gestützte Planung ist definitiv von Vorteil, da alle essentiellen Informationen über den gesamten Lebenszyklus dokumentiert und erfasst werden. Dass sich die BIM Methode in den nächsten Jahren als branchenweiter Planungsstandart durchsetzen wird, gilt immer noch eher als unwahrscheinlich und dürfte als Vision bezeichnet werden. Baufirmen, Architektur- und Ingenieurbüros, Bauherrn und Projektentwickler müssen sich in den nächsten Jahren entscheiden, in welche Richtung sie sich bewegen wollen. In der deutschen Baubranche mangelt es allgemein an Praxiserfahrung im Umgang mit BIM-unterstützter Software. Obwohl einige Büros bereits auf dreidimensionale Konstruktionssoftware umgestiegen sind, wird das volle Potential dieser Technologie oft nicht ausgeschöpft. Die Komplexität der Programme verlangt diszipliniertes Arbeiten und eine Motivation zur Weiterentwicklung. Ferner muss berücksichtigt werden, dass ein höherer Verwaltungsaufwand entsteht. Eine mögliche Lösung besteht darin, das Firmenpersonal um einen BIM-Manager und mehrere Sustainability Manager zu erweitern. Der BIM-Manager wäre für die Verwaltung der Objektbibliothek und die Entwicklung interner BIM-Standards verantwortlich, wobei die Anforderungen des Bauherrn berücksichtigt werden. Die Sustainability Manager hingegen würden sich auf nachhaltigkeitsbezogene Aspekte konzentrieren und die Schulung der Mitarbeiter in diesen Bereichen übernehmen. Durch diese Maßnahme könnte die Baubranche das volle Potenzial von BIM-gestützter Software besser ausschöpfen und eine nachhaltigere Herangehensweise an Bauprojekte fördern. Zusammengefasst kann davon ausgegangen werden, dass mit dem Ziel Kreislaufbauwirtschaft eine gesamtheitliche, integrale Planung einhergeht. Die Kooperation und Kommunikation wird beim Erreichen der Ziele von großer Bedeutung sein. BIM präsentiert dabei die vorgestellte Basis für eine Erfassung und Ermittlung, sowie eine Bewertung von Ressourcen. Neben der Digitalisierung werden Planer:innen bereits von Beginn an auf die Dauerhaftigkeit und Wiederverwendbarkeit von Produkten achten müssen. Die Erschwernisse in der Planung haben eine enorme Konsequenz auf die Kostenverläufe und auf die Wirtschaftlichkeit. Es kann festgestellt werden, dass sich Kostenvorteile erst zeigen, wenn man den gesamten Gebäudelebenszyklus betrachtet. Während die Planungskosten zu Beginn hö-

her sind, ist zu erkennen, dass die Abrisskosten sinken. Denn durch die Variabilität der Nutzungsbedingungen ist von längeren Nutzungsdauern auszugehen. Daher ist es sehr wichtig, Bauherren nicht nur auf die Baukosten, sondern auch auf die Lebenszykluskosten aufmerksam zu machen. Eine vollständige Lebenszyklusanalyse muss während der Planungsphase analysiert werden. Die Erkenntnisse zeigen, dass nicht nur die Planerinnen und Planer im Bereich Nachhaltigkeit eine Rolle spielen, sondern auch andere Akteure wie Investoren, Zertifizierungsinstrumente, Hersteller, Verarbeiter, Gesetzgeber, die Abfallbranche und Verwaltungsinstitute, die in den Prozess einbezogen werden müssen. Die Umstände der EU Taxonomie Verordnung stellen eine positive Entwicklung dar, da sie in Zukunft alternative Herangehensweisen für Investoren ermöglichen wird. Investoren, insbesondere Investmentfonds, werden verpflichtet sein, den Anteil ökologisch nachhaltiger Anlagen in ihren Portfolios offenzulegen. Die EU-Taxonomie hat das Ziel, EU-weit wirtschaftliche Aktivitäten hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit zu klassifizieren und nicht-finanzielle Aspekte branchenbezogen offenzulegen. Dadurch soll Kapital verstärkt in grüne Tätigkeiten und Finanzprodukte gelenkt werden, um Nachhaltigkeit zu fördern.

## 5.1 Ausblick

Aus der vorliegenden Arbeit ergibt sich ein vielversprechender Ausblick auf die zukünftige Integration von Building Information Modeling (BIM) und nachhaltigen Bewertungswerkzeugen in der Bauindustrie. Die entwickelten Tools zur Auswertung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Entsorgungsindikatoren haben das Potenzial, die nachhaltige Planung und Konstruktion von Gebäuden maßgeblich zu beeinflussen. Dabei spielt die Digitalisierung eine Schlüsselrolle, da sie effiziente Datenerfassung, Zusammenarbeit und Analyse ermöglicht. Die Integration der BIM-basierten Nachhaltigkeitsbewertung in den frühen Planungsphasen eröffnet neue Möglichkeiten für die Baubranche. Durch die Verwendung von Echtzeitdaten und vordefinierten Bauteilschichten können Planer und Ingenieure umfassende Informationen über den ökologischen Fußabdruck von Gebäuden erhalten. Dies ermöglicht es, bereits in der Planungsphase nachhaltige Entscheidungen zu treffen und das Potenzial für CO<sub>2</sub>-Einsparungen und verbesserte Entsorgungsindikatoren zu identifizieren. Das Praxisbeispiel der Brauerei Flötzingen verdeutlicht die Bedeutung der Nachhaltigkeitsbewertung für reale Bauprojekte. Die Vergleiche der drei Varianten hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Einsparungen zeigen, dass schon kleine Veränderungen in der Materialzusammensetzung und Konstruktion erhebliche Auswirkungen auf den ökologischen Fußabdruck haben können. Solche Erkenntnisse können die Grundlage für optimierte Gebäudeentwürfe bilden, die eine nachhaltigere Nutzung von Ressourcen und eine Reduzierung der Umweltauswirkungen ermöglichen. Mit Blick in die Zukunft ist zu erwarten, dass die Bedeutung von BIM und nachhaltigen Bewertungswerkzeugen weiter zunehmen wird. Die Bauindustrie erkennt zunehmend die Notwendigkeit, nachhaltigere Gebäude zu errichten und ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren. Dabei wird die Digitalisierung eine entscheidende Rolle spielen, da sie eine effiziente Datenerfassung und -analyse ermöglicht und somit die Grundlage für fundierte Entscheidungen bildet. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Zusammenarbeit mit Investoren, Zertifizierungsinstrumenten, Herstellern, Verarbeitern, Gesetzgebern, der Abfallbranche und Verwaltungsinstituten. Nur durch eine ganzheitliche Zusammenarbeit können nachhaltige Konzepte

erfolgreich umgesetzt werden. Die EU-Taxonomie Verordnung, die die Anforderungen an ökologisch nachhaltige Investitionen regelt, wird dazu beitragen, dass Finanzmarktteilnehmer vermehrt in grüne Tätigkeiten und Produkte investieren. Dieser Trend wird die Nachfrage nach nachhaltigen Gebäuden weiter steigern. Um die BIM-basierte Nachhaltigkeitsbewertung weiter voranzutreiben, sind jedoch noch einige Herausforderungen zu bewältigen. Dazu gehört die Weiterentwicklung der BIM-Software, um eine noch genauere und umfassendere Bewertung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Entsorgungsindikatoren zu ermöglichen. Ebenso ist es wichtig, die Datenbanken für Öko- und Recyclinginformation kontinuierlich zu aktualisieren und zu erweitern, um aktuelle und zuverlässige Daten zu gewährleisten. Insgesamt ist der Ausblick auf die Integration von BIM und nachhaltigen Bewertungswerkzeugen in der Bauindustrie äußerst vielversprechend. Mit der richtigen Nutzung und Weiterentwicklung dieser Technologien können zukünftige Bauprojekte wesentlich nachhaltiger gestaltet werden. Die Kombination von Digitalisierung, umfassender Datenanalyse und nachhaltigem Denken wird eine Schlüsselrolle bei der Bewältigung der ökologischen Herausforderungen spielen, vor denen die Bauindustrie steht. Die zukünftige Weiterentwicklung der entwickelten Tools zur BIM-basierten Nachhaltigkeitsbewertung umfasst verschiedene Bereiche. Dazu gehören die Erweiterung und Aktualisierung der Materialdatenbanken für Öko- und Recyclinginformationen sowie die Integration weiterer Nachhaltigkeitskriterien wie Energieeffizienz und Ressourcenverbrauch. Die Integration der Tools in bestehende BIM-Software und die Möglichkeit von Sensitivitätsanalysen und Szenarien könnten die praktische Anwendung erleichtern. Die enge Zusammenarbeit mit Experten und Interessengruppen ist entscheidend, um praxisrelevante und bedarfsgerechte Lösungen zu gewährleisten und so die Bauindustrie auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Zukunft zu unterstützen.



# Anhang

<b>Bauelementschlüssel 400</b>
410_00_Verputzarbeiten
421_00_Dachabdichtungsarbeiten
424_00_Fliesen-, Platten- und Mosaikarbeiten
426_00_Industrieboeden generell
428_00_Steinmetz- und Natursteinarbeiten
429_00_Fenster generell
433_00_Metalltüeren, Brandschutztüren
437_00_Innentüren -Holz, Glas, Kunststoff
438_00_Holzfussboeden
439_00_Trockenbauarbeiten
448_00_Doppelbodenanlagen
450_00_Boden- und Wandbeläge
450_03_Elastische Bodenbeläge
450_04_Textile Bodenbeläge
451_00_System-Trennwände
471_00_Glasfassaden, Glaskonstruktionen
472_00_Paneelfassaden
472_00_Vorgehängte hinterlüftete Fassadenverkleidungen
473_00_Fassadenelemente und -Trapezblech
455_00_Abgehangene Decken
455_01_Gipsmontagedecken
455_02_Mineralfaserdecken
455_03_Metallrasterdecken
455_04_Holzdecken
455_20_Heiz- Kühldecken

Tabelle 1: Bauelementschlüsselobergruppe 400

<b>Bauelementschlüssel 200</b>
207_00_Beton- und Stahlbetonarbeiten
207_11_Wasserundurchlässige Konstruktionen
209_00_Mauer- und Versetzarbeiten
212_00_Abdichtung gegen Feuchtigkeit
215_00_Spezialgründungen
232_00_Konstruktiver Stahlbau
233_00_Konstruktiver Holzbau -Zimmermann
212_00_Abdichtung gegen Feuchtigkeit
207_02_Bodenplatten

Tabelle 2: Bauelementschlüsselobergruppe 200

Gewerk
Fassade
Dach
Rohbau
Gründung
Innenausbau
Fußböden
Fenster
Türen
nicht_bewertet

Tabelle 3: Unterteilung der Gewerke

Materialgüte		
Fassade	Dach	Rohbau
WDVS_Standard	Flachdach_Standard	STB
WDVS_Passivhaus	Flachdach_Passivhaus	Konstruktionsvollholz
Fassade_hinterlüftet_Standard	Foliendach_Standard	Brettschichtholz
Fassade_hinterlüftet_Passivhaus	Foliendach_Passivhaus	Brettsperrholz
Sandwichpaneel_Standard	-	Stahl
Sandwichpaneel_Passivhaus	-	Hochlochziegel
Außenwand_gegen_Erdreich	-	Kalksandstein
Außenwand_gegen_Erdreich_ungedämmt	-	-
PfostenRiegelfassade	-	-

Tabelle 4: Materialgüte: Fassade, Dach, Rohbau

Materialgüte		
Gründung	Innenausbau	Fußböden
Sauberkeitsschicht_Standard	GK_Wand_Schacht_einseitig	Epoxidbeschichtung
Sauberkeitsschicht_Passivhaus	GK_Wand	Asphaltbeton
Fundamentplatte_STB	Lehmbauwand	Fliesen
Schlitzwand	Systemtrennwand	Naturstein
WU_Beton	Verputzt_Gestrichen_Decke	Holz
-	Abhang_Decke_GK	Teppich
-	Abhang_Decke_Metallraster	Linoleum
-	Heiz_Kühldecke	-
-	Kellerdeckendämmung_Standard	-
-	Kellerdeckendämmung_Passivhaus	-

Tabelle 5: Materialgüte: Gründung, Innenausbau, Fußböden

<b>Materialgüte</b>		
<b>Fenster</b>	<b>Türen</b>	<b>nicht bewertet</b>
Lochfenster_Standard_bis_2m <sup>2</sup>	Türen_1_flg	Bestand
Lochfenster_Standard_über_2m <sup>2</sup>	Türen_2_flg	nicht_relevant
Dachflächenfenster_Standard_bis_2m <sup>2</sup>	-	-
Dachflächenfenster_Standard_über_2m <sup>2</sup>	-	-
Lochfenster_Passivhaus_bis_2m <sup>2</sup>	-	-
Lochfenster_Passivhaus_über_2m <sup>2</sup>	-	-
Dachflächenfenster_Passivhaus_bis_2m <sup>2</sup>	-	-
Dachflächenfenster_Passivhaus_über_2m <sup>2</sup>	-	-

Tabelle 6: Materialgüte: Fenster, Türen, nicht\_Bewertet

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>WDVS_Standard</b>	<b>WDVS_Passivhaus</b>	<b>Fassade_hinterlüftet_Standard</b>
Mineralwolle	Mineralwolle	Holz_Mineralwolle
EPS/XPS	EPS/XPS	Holz_Holzwolle
-	Faserzement_Mineralwolle	-
-	Faserzement_Holzwolle	-
-	Aluverbundplatte_Mineralwolle	-
-	Aluverbundplatte_Holzwolle	-
-	Aluminium_Mineralwolle	-
-	Aluminium_Holzwolle	-
-	Stahl_Mineralwolle	-
-	Stahl_Holzwolle	-
-	Photovoltaik_Mineralwolle	-
-	Photovoltaik_Holzwolle	-
-	Glas_opak_Mineralwolle	-
-	Glas_opak_Holzwolle	-

Tabelle 7: Materialgüte Zusatz: WDVS, Fassade

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>Fassade_hinterlüftet_Passivhaus</b>	<b>Sandwichpaneel_Standard</b>	<b>Sandwichpaneel_Passivhaus</b>
Holz_Mineralwolle	Mineralwolle	Mineralwolle
Holz_Holzwohle	EPS/XPS	EPS/XPS
Faserzement_Mineralwolle	-	
Faserzement_Holzwohle	-	
Aluverbundplatte_Mineralwolle	-	
Aluverbundplatte_Holzwohle	-	
Aluminium_Mineralwolle	-	
Aluminium_Holzwohle	-	
Stahl_Mineralwolle	-	
Stahl_Holzwohle	-	
Photovoltaik_Mineralwolle	-	
Photovoltaik_Holzwohle	-	
Glas/opak_Mineralwolle	-	

Tabelle 8: Materialgüte Zusatz: Fassade, Sandwichpaneel

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>Außenwand_gegen_Erdreich</b>	<b>Außenwand_gegen_Erdreich_ungedämmt</b>	<b>PfostenRiegelfassade</b>
XPS_Bitumen	Bitumen	Standard_Holz
Schaumglas_Bitumen	-	Standard_Al
-	-	Passivhaus_Holz
	-	Passivhaus_Al

Tabelle 9: Materialgüte Zusatz: Außenwände, Pfostenriegelfassade

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>Flachdach und Foliendach</b>	<b>STB</b>	<b>Sauberkeitsschicht</b>
bekiest_EPS/XPS	C20/25_2 Prozent_Stahl	XPS
bekiest_Mineralwolle	C30/37_2 Prozent_Stahl	Schaumglas
nicht_bekiest_EPS/XPS	C45/55_3Prozent_Stahl	-
nicht_bekiest_Mineralwolle	C20/25_CO2_Arm	-
intensiv_begrünt_EPS/XPS	C30/37_CO2_Arm	-
intensiv_begrünt_Mineralwolle	C45/55_CO2_Arm	-
extensiv_begrünt_EPS/XPS	-	-
extensiv_begrünt_Mineralwolle	-	-

Tabelle 10: Materialgüte Zusatz: Flachdach und Foliendach, STB, Sauberkeitsschicht

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>GK_Wand</b>	<b>Systemtrennwand</b>	<b>Lehmbauwand</b>
Holzständer_Mineralwolle	Holz	Holzständer_Mineralwolle
Holzständer_Holzwolle	Glas	Holzständer_Holzwolle
Aluminiumständer_Mineralwolle	-	Holzständer_Flachs
Aluminiumständer_Holzwolle	-	-

Tabelle 11: Materialgüte Zusatz: GK\_Wand , Systemtrennwand, Lehmbauwand

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>Abhang_Decke</b>	<b>Kellerdämmung</b>	<b>Epoxidharzbeschichtung</b>
ohne_Schallschutzauflage	Mineralwolle	Zementestrich
mit_Schallschutzauflage	Heraclit	Calciumsulfatestrich
-	-	STB-Platte
-	-	Zementestrich_EPS
-	-	Zementestrich_Mineralwolle
-	-	Calciumsulfatestrich_EPS
-	-	Calciumsulfatestrich_Mineralwolle

Tabelle 12: Materialgüte Zusatz: Decke , Kellerdämmung, Epoxidharzbeschichtung

<b>Materialgüte Zusatz</b>		
<b>Fußbodenbeläge</b>	<b>Fenster</b>	<b>Türen</b>
DoBo	Holzrahmen_mit_2-Scheibenisolierverglasung	Holz
HoBo	Holz/Alurahmen_mit_2-Scheibenisolierverglasung	Glas
Zementestrich_EPS	Kunststoffrahmen_mit_2-Scheibenisolierverglasung	Metall
Zementestrich_Mineralwolle	Alurahmen_mit_2-Scheibenisolierverglasung	-
Calciumsulfatestrich_EPS	-	-
Calciumsulfatestrich_Mineralwolle	-	-

Tabelle 13: Materialgüte Zusatz: Fußbodenbeläge , Fenster, Türen

# Literaturverzeichnis

- [1] Energie Mobilität Innovation und Technologie Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt. Kreislaufbauwirtschaft projektendbericht. 2020. Kreislaufbauwirtschaft Projektendbericht.pdf.
- [2] Energie Mobilität Innovation und Technologie Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt. Eu-taxonomie verordnung, 2022. URL <https://www.bmk.gv.at/green-finance/finanzen/eu-strategie/eu-taxonomie-vo.html>. [Online; abgerufen am 27.10.2022].
- [3] Energie Mobilität Innovation und Technologie Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt. Klimaaktiv bauen und sanieren, 2022. URL <https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren.html>. [Online; abgerufen am 07.06.2022].
- [4] Austrian Sustainable Building Council. Die eu taxonomie verordnung, 2022. URL <https://www.ogni.at/blog/die-eu-taxonomie-verordnung/>. [Online; abgerufen am 11.11.2022].
- [5] eTool. etool - a cerlos product, 2022. URL <https://etool1cd.com/Account/Login>. [Online; abgerufen am 17.07.2023].
- [6] Bundesministerium Finanzen. Sustainable finances, 2023. URL <https://www.bmf.gv.at/themen/finanzmarkt/finanzmaerkte-kapitalmaerkte-eu/sustainable-finance.html>. [Online; abgerufen am 17.07.2023].
- [7] Formfaktor. Atp co2-tool gewinnt green-bim award 2022, 2022. URL <https://form-faktor.at/atp-co2-tool-gewinnt-green-bim-award-2022>. [Online; abgerufen am 17.07.2023].
- [8] Bundesinstitut für Bauforschung. Drei säulen der nachhaltigkeit: Ökologie, Ökonomie und soziales, 2022. URL <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/fachbeitraege/bauen/nachhaltiges-bauen/drei-saeulen/DreiSaeulen.html>. [Online; abgerufen am 17.07.2023].
- [9] IBO. Leitfaden zur berechnung des entsorgungsindikators. 2020. EI10-Berechnungsleitfaden-V2.01-2020.pdf.
- [10] Europäische Kommission. Europäischer grüner deal, 2022. URL <https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal.de>. [Online; abgerufen am 17.05.2022].
- [11] Agnes Kelm Norbert Damerau Matthias Kaufhold Daiki John Feller Michael Zibell Melanie Quessel Manfred Helmus, Anica Meins-Becker. Detaillierte entwicklung von bim basierten prozessen des betreibens von bauwerken zur integration in eine lebenszyklusübergreifende prozesskette. 2020. Detaillierte Entwicklung von BIM

- basierten Prozessen des Betriebens von Bauwerken zur Integration in eine lebenszyklusübergreifende Prozesskette.pdf.
- [12] Bundesministerium Verkehr Innovation und Technologie. Prozess-design für den „building information modeling“ (bim) basierten, materiellen gebäudepass. 2019. *schriftenreihe-2019-8-bimaterial.pdf*.
  - [13] Institut Bauen und Umwelt e.V. Environmental product declaration for panels, 2018. [Online; abgerufen am 21.07.2022].
  - [14] IBO Ökologisches Bauen Gesund Wohnen. Baubook eco2soft - Ökobilanz für gebäude, 2022. URL <https://www.baubook.at/eco2soft/>. [Online; abgerufen am 28.03.2022].
  - [15] Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen. Tqb-bewertung, 2022. URL <https://www.oegnb.net/tqb.htm>. [Online; abgerufen am 07.06.2022].
  - [16] IBO Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. Ibo Ökopass, 2022. URL <https://www.ibo.at/gebaeudebewertung/ibo-oekopass>. [Online; abgerufen am 07.06.2022].
  - [17] Österreichisches Institut für Bautechnik. Oib grundlagen dokument zur ausarbeitung einer oib-richtlinie 7 nachhaltige nutzung der natürlichen ressourcen. 2023. *oib-rl7grundlagendokument\_usgabe\_mai\_2023.pdf*.

# Verpflichtungs- und Einverständniserklärung

Ich erkläre, dass ich meine Masterarbeit selbständig verfasst und alle in ihr verwendeten Unterlagen, Hilfsmittel und die zugrunde gelegte Literatur genannt habe.

Ich nehme zur Kenntnis, dass auch bei auszugsweiser Veröffentlichung meiner Masterarbeit die Universität, das/die Institut/e und der/die Arbeitsbereich/e, an dem/denen die Masterarbeit ausgearbeitet wurde, und die Betreuerin/nen bzw. der/die Betreuer zu nennen sind.

Ich nehme zur Kenntnis, dass meine Masterarbeit zur internen Dokumentation und Archivierung sowie zur Abgleichung mit der Plagiatssoftware elektronisch im Dateiformat pdf ohne Kennwortschutz bei der/dem Betreuer/in einzureichen ist, wobei auf die elektronisch archivierte Masterarbeit nur die/der Betreuerin/Betreuer der Masterarbeit und das studienrechtliche Organ Zugriff haben.

Innsbruck am 17.01.2024

.....  
  
Daniel Bernklau, B.Eng.