

Diplomarbeit

Vergleich bestehender Bewertungskriterien für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads

Diplom-Ingenieurin

eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Comparison of existing assessment criteria for the recyclability of buildings

submitted in satisfaction of the requirements for the degree

Diplom-Ingenieurin

of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

Laura Sophie Ding, BSc

Matr.Nr.: 12035735

Betreuung: Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Iva Kovacic**
Dipl.-Ing. **Stephan Schützenhofer**
Institut für Hoch- und Industriebau
Integrale Planung und Industriebau
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Februar 2024

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Abbildung kreislaufbezogener Aspekte eines Gebäudes in bestehenden Nachhaltigkeits-Zertifizierungssystemen betrachtet. Hintergrund ist die steigende Relevanz kreislauffähiger Konzepte und deren Umsetzung in der Baubranche hinsichtlich der sich entwickelnden Anforderungen auf politischer und rechtlicher Ebene. Daher wird im ersten Teil der Arbeit ein kurzer Überblick über den aktuellen Stand rechtlicher und politischer Rahmenbedingungen im Kontext der Kreislaufwirtschaft auf europäischer, sowie nationaler Ebene gegeben. Im zweiten Teil werden insgesamt sechs Zertifizierungssysteme vorgestellt und auf die Berücksichtigung kreislaufbezogener Aspekte untersucht. Betrachtet wurden das Berichtsrahmenwerk *Level(s)*, das Zertifizierungssystem der *Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB)*, das *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*, die klimaaktiv-Gebäudezertifizierung, das *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*-System und die *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)*. Insgesamt wurden systemübergreifend 14 Kriterien und 8 Teilkriterien mit Bezug zur Kreislauffähigkeit identifiziert, wovon 11 und ein Teilkriterium als quantifizierbar und 9 als im Rahmen dieser Arbeit bewertbar eingestuft wurden. Um die einzelnen Zertifizierungssysteme anhand der ausgewählten Kriterien genauer auf die Abbildung der Kreislauffähigkeit analysieren zu können, ist im ersten Schritt eine Auswertung dieser Kriterien notwendig. Dazu wurde eine Fallstudie durchgeführt, wobei die Kriterien mit Hilfe eines zur Verfügung gestellten Projektes ausgewertet wurden. Dafür benötigte Input-Daten aus dem Projekt umfassen Bauteilaufbauten/ -flächen/ -massen, Verbindungsarten zwischen den Bauteilschichten, die Materialzusammensetzung, Nutzungsdauer und die End-of-Life-Szenarien pro Baustoff. Ein Vergleich der Zertifizierungssysteme anhand der Endergebnisse für einen Berechnungsdurchgang hat sich als nicht aussagekräftig erwiesen, sodass die Methodik auf einen Vergleich innerhalb eines Systems angepasst wurde. Drei entwickelte End-of-Life-Szenarien bilden das Wiederverwendungs- bzw. Recyclingpotenzial für jeden vorkommenden Baustoff zum Stand der Technik heute im ersten Szenario, zum Stand der Technik zum Abbruchzeitpunkt in 50-100 Jahren im zweiten Szenario und zum Stand einer etablierten Kreislaufwirtschaft mit geschlossenen Stoffkreisläufen im dritten Szenario ab. Die Auswertung der kreislaufbezogenen, bewertbaren Kriterien pro System für die drei Szenarien zeigt, dass sich die bewerteten Aspekte der Kreislauffähigkeit grundsätzlich gleichen, jedoch die Umsetzung in Bewertungsmethoden sich stark unterscheiden. Dabei variiert besonders der Betrachtungsumfang innerhalb eines Kriteriums und damit die Detailtiefe und Aussagekraft der Ergebnisse. Obwohl die Eingangsdaten für alle ausgewerteten Kriterien ähnlich sind, werden durch die Bewertung von Parametern mit unterschiedlichen Zielsetzungen und Einstufungen pro System verschiedene Ergebnisse erzielt. Ein direkter Vergleich der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes ist somit nicht zwischen verschiedenen Zertifizierungssystemen möglich.

Abstract

This thesis examines the mapping of circular aspects of a building in existing sustainability certification systems. The motivation behind this lies in the increasing relevance of circular concepts and their implementation in the construction industry in view of the evolving requirements at a political and legal level. The first part of the thesis therefore provides a brief overview of the current status of legal and political frameworks in the context of circular economy at European and national level. In the second part, a total of six certification systems are presented and analysed for their consideration of circularity-related aspects. The reporting framework *Level(s)*, the certification system of the *German Sustainable Building Council (DGNB)*, the *Sustainable Building Rating System (BNB)*, the *klimaaktiv building certification*, the *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* system and the *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)* were analysed. A total of 14 criteria and 8 sub-criteria relating to circularity were identified across all systems, of which 11 and one sub-criterion were categorised as quantifiable and 9 as assessable within the scope of this work. In order to be able to analyse the individual certification systems more precisely with regard to the mapping of circularity on the basis of the selected criteria, an evaluation of these criteria is necessary as a first step. A case study was carried out for this purpose, whereby the criteria were analysed with the help of a project provided. The input data required from the project included component structures/surfaces/masses, connection types between the component layers, material composition, service life and end-of-life scenarios for each building material. A comparison of the certification systems based on the final results for one calculation run did not prove to be meaningful, so the methodology was adapted to a comparison within a system. Three developed end-of-life scenarios illustrate the reuse and recycling potential for each building material at the state of the art today in the first scenario, at the state of the art at the time of demolition in 50-100 years in the second scenario and at the state of an established circular economy with closed material loops in the third scenario. The evaluation of the cycle-related, assessable criteria per system for the three scenarios shows that the aspects of circularity that are assessed are fundamentally the same, but the implementation in the evaluation methods differs greatly. This varies the scope of consideration within a criterion and thus the depth of detail and significance of the results. Although the input data is similar for all criteria analysed, different results are achieved by evaluating parameters with different objectives and classifications for each system. A direct comparison of the circularity of a building is therefore not possible between different building certificates.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	10
1.1	Motivation	10
1.2	Aufgabenstellung und Methodik der Arbeit	10
1.3	Aufbau der Arbeit	11
2	Rahmenbedingungen für die Bewertung kreislauffähiger Gebäude	12
2.1	Rechtliche und politische Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene	12
2.1.1	Kreislauffähige Gebäude im Kontext des neuen Aktionsplans für Kreislaufwirtschaft	12
2.1.2	Anforderungen an die Berichterstattung kreislaufwirtschaftlicher Aspekte im Rahmen der Sustainable Finance Strategy	13
2.1.3	Abfallwirtschaftliche Regelungen und Ziele auf europäischer Ebene	16
2.2	Nationale Anforderungen an kreislauffähige Gebäude	17
2.2.1	Österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie	17
2.2.2	OIB-Richtlinie 7 zum nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen	18
2.2.3	Abfallwirtschaftsgesetz und relevante Richtlinien bzw. Normen	19
2.3	Zwischenfazit zu Anforderungen für die Bewertung kreislauffähiger Gebäude	20
3	Bestehende Bewertungsmethoden für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden	21
3.1	Einführung in die Bewertung der Kreislauffähigkeit	21
3.2	Level(s)	22
3.2.1	Indikator 2.1 - Stück-/Mengenverzeichnis, Materialien und Nutzungsdauer	23
3.2.2	Indikator 2.2 - Bau- und Abbruchabfälle	23
3.2.3	Indikator 2.3 - Gestaltung zwecks Anpassbarkeit und Erneuerung	26
3.2.4	Indikator 2.4 - Entwurf für Rückbau	27
3.3	DGNB	28
3.3.1	Kriterium TEC1.6 - Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit	29
3.3.2	Vergleich der Versionen 2018 und 2023 hinsichtlich der Bewertung der Kreislauffähigkeit	30
3.4	LEED	31
3.4.1	MR C1 - Building Life-Cycle Impact Reduction	32
3.4.2	MR C3 - Responsible Sourcing of Raw Materials	34
3.4.3	MR C9 - Construction and Demolition Waste Management	34
3.5	BREEAM	35
3.5.1	Kriterium Wst01 - Bauabfallwirtschaft	35
3.5.2	Kriterium Wst02 - Recycelte Zuschlagstoffe	36
3.5.3	Kriterium Mat06 - Materialeffizienz	36
3.5.4	Die BREEAM Zirkularitätsstrategie	36
3.6	BNB	38
3.6.1	Kriterium 4.1.4 Rückbau, Trennung und Verwertung	39
3.6.2	Kriterium 5.1.3 Komplexität und Optimierung der Planung - 1.11 Umbaubarkeits-Rückbau- und Recyclingkonzept	39

3.6.3	Kriterium 5.2.1 Baustelle/ Bauprozess - 1. Wertstoffoptimierte Baustelle .	40
3.6.4	Entwicklung des BNB-Zirkularitätsindikators	40
3.7	klimaaktiv	43
3.7.1	Kriterium C.4.2 Entsorgungsindikator	43
3.7.2	Kriterium C.4.3 Kreislauffähigkeit und Rückbaukonzept	43
3.7.3	Methodik des Entsorgungsindikators in der aktuell gültigen Version . . .	43
3.8	Vergleich der betrachteten Zertifizierungssysteme hinsichtlich kreislauffähiger Aspekte	45
4	Vergleich der vorgestellten Zertifizierungssysteme anhand einer Fallstudie	48
4.1	Methodisches Vorgehen	48
4.1.1	Auswahl und Gewichtung der quantifizierbaren Kriterien	49
4.1.2	Quantifizierbare Kriterien und für eine Bewertung notwendiger Datenumfang	51
4.2	Datengrundlage für die Berechnungsdurchführung	52
4.2.1	Berücksichtigte Bauteilaufbauten und resultierende Materialströme	53
4.2.2	Entwicklung der End-of-Life-Szenarien	55
4.3	Bewertung der kreislaufbezogenen Kriterien für die drei vorgestellten Szenarien .	60
4.3.1	klimaaktiv	60
4.3.2	Levels	62
4.3.3	DGNB	70
4.3.4	BNB	72
4.3.5	LEED	74
4.3.6	BREEAM	74
4.3.7	Übersicht Anpassung der Parameter nach Szenarien	75
5	Darstellung und Interpretation der erzielten Ergebnisse	76
5.1	Ergebnisdarstellung für das End-of-Life-Szenario 1	77
5.1.1	klimaaktiv	78
5.1.2	Levels	79
5.1.3	DGNB	80
5.1.4	BNB	81
5.1.5	LEED	81
5.1.6	BREEAM	82
5.2	Ergebnisdarstellung für das End-of-Life-Szenario 2	82
5.2.1	klimaaktiv	82
5.2.2	Levels	83
5.2.3	DGNB	84
5.2.4	BNB	85
5.2.5	LEED	86
5.2.6	BREEAM	86
5.3	Ergebnisdarstellung für das End-of-Life-Szenario 3	86
5.3.1	klimaaktiv	86
5.3.2	Levels	87
5.3.3	DGNB	88
5.3.4	BNB	89
5.3.5	LEED und BREEAM	89
6	Zusammenfassung und Ausblick	90
6.1	Diskussion der Ergebnisse	90
6.2	Fazit und Ausblick	93

Literaturverzeichnis	97
Abbildungsverzeichnis	103
Tabellenverzeichnis	105
A Bauteilaufbauten	106
B Ergebnisse klimaaktiv/EI10	111
B.1 Szenario 1	112
B.2 Szenario 2	124
B.3 Szenario 3	136
B.4 Entsorgungseinstufungen eco2soft-Tool	148
B.4.1 Szenario 1	148
B.4.2 Szenario 2 und 3	149
C Ergebnisse Level(s)	150
C.1 Indikator 2.1	151
C.2 Indikator 2.2 - Szenario 1	158
C.3 Indikator 2.2 - Szenario 2	161
C.4 Indikator 2.2 - Szenario 3	164
C.5 Indikator 2.4 - Szenario 1	167
C.6 Indikator 2.4 - Szenario 2	169
C.7 Indikator 2.4 - Szenario 3	171
D Ergebnisse DGNB	172
D.1 Szenario 1	173
D.2 Szenario 2	176
D.3 Szenario 3	179
E Ergebnisse BNB	181
E.1 Szenario 1	182
E.2 Szenario 2	192
E.3 Szenario 3	202
F Übersicht Anpassung der Einstufungen für Level(s), DGNB und EI10	211
G Gesprächszusammenfassung ExpertInnen-Termine	213
G.1 Feedback Abfallwirtschaft	214
G.2 Feedback Abschlussworkshop	216

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Motivation

Im Zuge der aktuellen Klimadebatte zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen, sowie des damit verbundenen Energieverbrauchs kommt der Baubranche als eine der ressourcenintensivsten Industrien große Bedeutung zu. Der Material-Fußabdruck beschreibt den Verbrauch von Rohmaterialien in einem Land und macht für den Bausektor mit 14 % den größten Anteil am österreichischen Gesamtverbrauch aus. Die damit in Zusammenhang stehenden Umweltbelastungen belaufen sich mit 8 % des österreichischen CO₂-Fußabdrucks auf den zweithöchsten Anteil einzelner Industriesektoren [1, vgl. S.55-57]. Zusätzlich entfallen in Österreich ca. 75 Prozent des Abfallaufkommens auf Bau-, Abbruch- oder Aushubmaterialien [2]. Im Gegensatz dazu stehen die Zielsetzungen des Pariser Klimaabkommens, sowie der europäischen Strategien für eine nachhaltige Entwicklung und den Klimaschutz. Es gilt also den gezeigten Zusammenhang zwischen einem hohen Ressourcenverbrauch und den dadurch entstehenden Treibhausgas-Emissionen durch neue Herangehensweisen zu durchbrechen. Einen Ansatz dazu beschreibt das Konzept der Kreislaufwirtschaft, nach dem Materialien am Ende ihres Lebenszyklus nicht entsorgt, sondern wiederverwendet werden. Ein Gebäude wird somit am Ende des Lebenszyklus nicht mehr zu Abfall, sondern gilt als Rohstofflager für neue Bauprojekte. Um die Transformation von einer linienförmigen zu einer kreislauffähigen Wirtschaft zu ermöglichen, ist jedoch ein Umdenken der bisher bestehenden Abläufe nötig. Im Bauwesen liegt der Fokus auf der ganzheitlichen Betrachtung von Gebäuden, wobei bereits in frühen Planungsphasen neue Parameter mitgedacht werden müssen. Gebäudezertifizierungen bieten hierbei die Chance, relevante Punkte zu definieren, um verschiedene Nachhaltigkeitsstandards nach festgelegten Kriterien zu erreichen. Vorliegende Kriterienkataloge basieren dabei auf den drei Säulen der Nachhaltigkeit und definieren einzuhaltende Parameter in den Bereichen Ökologie, Soziales und Wirtschaftlichkeit. So kann auch die Kreislauffähigkeit als Gebäudeaspekt im Rahmen von Zertifikaten betrachtet und bewertet werden. Jedoch bestehen aktuell verschiedene Möglichkeiten, die Zirkularität von Gebäuden zu bewerten. Je nach Wahl des Zertifizierungssystems gelten andere Kriterien und Anforderungen an das Gebäude. Die vorliegende Arbeit setzt dort an, mit dem Ziel einen Überblick zu bestehenden Bewertungskriterien und der jeweiligen Schwerpunktsetzung des Zertifizierungssystem zu schaffen. Ebenso werden zu Grunde liegende rechtliche und politische Rahmenbedingungen zur Kreislaufwirtschaft beleuchtet, um die erzielten Ergebnisse der Arbeit bezüglich der daraus resultieren Anforderungen einzuordnen.

1.2 Aufgabenstellung und Methodik der Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Abbildung kreislaufbezogener Aspekte eines Gebäudes in bestehenden Nachhaltigkeits-Zertifizierungssystemen näher betrachtet. Ausgehend von einer Literaturrecherche wird das Themenfeld Kreislaufwirtschaft im Gebäudekontext im politischen und gesetzlichen Rahmen, sowie Bewertungsmethoden für die Kreislauffähigkeit eines

Gebäudes hinsichtlich daraus resultierender Anforderungen an ein Gebäude untersucht. Basierend auf den aufbereiteten Ergebnissen wird ein Modell entwickelt, um Unterschiede zwischen den Bewertungsansätzen der Kreislauffähigkeit innerhalb der betrachteten Zertifizierungssysteme analysieren zu können. Um das erarbeitete Modell ausgewertet zu können, wird eine Fallstudie durchgeführt. Dabei wird ein vom Industriebau-Institut der TU Wien zur Verfügung gestelltes BIM-Modell hinsichtlich Bauteilaufbauten und den dazugehörigen Bauteilmassen ausgewertet. Die erhaltenen Daten dienen als Grundlage für die Auswertung der als bewertbar identifizierten Kriterien pro Zertifizierungssystem. Die Bewertung der Kriterien wird für drei entwickelte End-of-Life-Szenarien durchgeführt, wobei eine baustoffspezifische Betrachtung der Verwertungswege für den heutigen Stand der Technik, den heutigen Stand der Wissenschaft als neuen Stand der Technik in 50-100 Jahren und das perfekte Szenario geschlossener Kreisläufe die Datengrundlage ergänzt. Durch Anwendung der vorgestellten Methodik soll die Forschungsfrage **Wie unterscheiden sich Zertifizierungssysteme hinsichtlich der Bewertung von kreislauffähigen Aspekten eines Gebäudes?** beantwortet werden. Da während der Ausarbeitung eine Vielzahl von Annahmen getroffen wurden, wurde zur Validierung ein kurzes Interview mit ExpertInnen aus dem Abfallwirtschaftsbereich und ein kurzer Workshop mit ExpertInnen aus den Bereichen Gebäudezertifizierung und Nachhaltigkeitsberatung durchgeführt. Die dadurch gewonnenen Erkenntnisse werden im Diskussionsteil der Arbeit als Einordnung der erarbeiteten Ergebnisse inkludiert.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen praktischen Teil. Zuerst werden dabei die theoretischen Grundlagen zur Durchführung des praktischen Teils vorgestellt. Dabei enthält Kapitel 2 eine Zusammenfassung der aktuell geltenden rechtlichen, sowie politischen Rahmenbedingungen mit thematischer Relevanz für die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes. Betrachtet wurden dafür Veröffentlichungen auf europäischer, sowie nationaler Ebene, woraus die heute schon bestehenden Anforderungen an ein Gebäude in den Bereichen Kreislauf- und Abfallwirtschaft zusammengetragen wurden. Das anschließende Kapitel 3 beginnt mit einer Einführung in die Bewertung des Aspektes Kreislauffähigkeit, worauf aufbauend die sechs betrachteten Zertifizierungssysteme detailliert vorgestellt werden. Es werden Kriterien mit Bezug zur Kreislauffähigkeit für das Berichtsrahmenwerk *Level(s)*, das Zertifizierungssystem der *Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB)*, das *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*, die klimaaktiv-Gebäudezertifizierung, das *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*-System und die *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)* dargestellt. In einem Zwischenfazit werden die aus der theoretischen Betrachtung erlangten Erkenntnisse mit Fokus auf bestehende Unterschiede zwischen den Systemen zusammengefasst. Ausgehend von den Ergebnissen der Literaturrecherche wird die Durchführung der Fallstudie in Kapitel 4 beschrieben. Dabei wird näher auf das methodische Vorgehen und die verwendete Datengrundlage basierend auf dem betrachteten Projekt eingegangen. Ebenso werden die drei entwickelten End-of-Life-Szenarien und die dafür getroffenen Annahmen basierend auf der zu den Themen Wiederverwendungs-, Recyclingpotenziale durchgeführten Literaturrecherche vorgestellt. Zur Vorbereitung der in Kapitel 5 präsentierten Ergebnisse, werden zum Ende des 4. Kapitels die Schritte der Kriterienauswertung und in diesem Zusammenhang auftretende Probleme und Unklarheiten aufgeführt. Abschließend werden die vorgestellten Ergebnisse zu Beginn des Kapitels 6 diskutiert und es wird ein Fazit in Form einer aus der Arbeit resultierenden Empfehlung gezogen. Ebenso wird ein kurzer Ausblick auf weiterführend zu erforschende Themenfelder basierend auf der vorliegenden Arbeit gegeben.

Kapitel 2

Rahmenbedingungen für die Bewertung kreislauffähiger Gebäude

Um die Kreislauffähigkeit von Gebäuden bewerten zu können, ist zuerst ein detailliertes Verständnis bestehender Rahmenbedingungen und daraus resultierenden Anforderungen und Kriterien notwendig. Bisher existiert noch kein einheitlicher Standard zur Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft [3, vgl. S. 4], daher werden nachfolgend relevante Veröffentlichungen auf europäischer und nationaler Ebene hinsichtlich Aussagen zu Kreislaufwirtschaft, Gebäuden und möglichen Überschneidungen untersucht.

2.1 Rechtliche und politische Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene

Auf europäischer Ebene beschreibt der 2019 veröffentlichte Green Deal ein umfassendes Maßnahmenpaket für eine nachhaltige Transformation des europäischen Wirtschaftsraumes. Hauptziele stellen die Einsparung von mind. 55% der Treibhausgase im Vergleich zu vor 1990, die Entkopplung des Wirtschaftswachstums von den genutzten Ressourcen, sowie das Erreichen eines klimaneutralen Kontinents bis 2050 dar [4]. Eine mögliche Maßnahme zum Erreichen dieser Ziele ist die Umstellung des bisher vorrangig linear verlaufenden zu einem kreislauffähigen Wirtschaftssystem. Im *neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft* von 2020 formuliert die Europäische Kommission detaillierter, welche Änderungen für eine erfolgreiche Transformation notwendig sind. Der Baubranche kommt dabei als einer der sieben Schlüsselindustrien eine besondere Bedeutung zu, welche in Abschnitt 2.1.1 genauer erläutert wird.

Um die für eine Transformation notwendigen finanziellen Ressourcen sicherzustellen, soll ein Anreiz für PrivatinvestorInnen geschaffen werden, vermehrt in nachhaltige, dem Green Deal entsprechende Bereiche zu investieren [5]. Im Rahmen der *Sustainable Finance Strategy* wurde dazu ein Maßnahmenpaket zugestimmt, welches u.a. die EU-Taxonomy, sowie weiterführende Regelungen zur Berichterstattung berücksichtigt. Der Übergang in eine Kreislaufwirtschaft wird sowohl in der EU-Taxonomy, wie auch in den Reporting-Anforderungen als eigener Themenbereich mit dazugehörigen Kriterien behandelt und in Abschnitt 2.1.2 detaillierter behandelt.

Da die Transformation zu einer Kreislaufwirtschaft auch direkt mit dem Umgang von anfallenden Abfällen verknüpft ist, wird im letzten Unterpunkt dieses Abschnitts näher auf abfallwirtschaftliche Rahmenbedingungen eingegangen. Es werden für ein besseres Verständnis relevante Punkte aus der Abfallrahmenrichtlinie und dem Abfallverzeichnis näher vorgestellt.

2.1.1 Kreislauffähige Gebäude im Kontext des neuen Aktionsplans für Kreislaufwirtschaft

Der 2020 veröffentlichte neue Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft knüpft an die bereits in der Erstversion von 2015 festgelegten Ziele an. Produkte und Prozesse sollen kreislauffähig gestaltet

werden, um den im Green Deal geforderten Übergang zu einem klimaneutralen, ressourcenschonenden und gleichzeitig wettbewerbsfähigen Europa zu unterstützen. Vorgeschlagene Maßnahmen umfassen u.a. Designverbesserungen hinsichtlich der Umweltauswirkungen, Langlebigkeit und Recyclingfähigkeit eines Produktes, eine verbesserte Abfallbewirtschaftung sowie das Erstellen von Recycling-Protokollen für die Identifikation bestmöglicher Verwertungsmöglichkeiten. Auf Produktebene ist dabei die erweiterte Ökodesign-Richtlinie relevant, welche eine einheitliche, nachhaltige Optimierung für alle Produktgruppen anstrebt. Kreislauffähige Aspekte sollen gleichermaßen in der Produktentwicklung, sowie auch in den angebotenen Geschäftsmodellen ¹ umgesetzt werden [6, vgl. S. 12-13]. Besonders ressourcenintensive Bereiche, wie die Textil- oder Baubranche, werden vorrangig im Rahmen von eigenen Richtlinien behandelt. Für Bauprodukte ist daher eine Überarbeitung der seit 2011 gültigen *Bauprodukteverordnung* hinsichtlich der Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsleistungen und möglichen Zielwerten bzgl. Recyclinganteilen in Baustoffen geplant [6, vgl. S. 2-3]. Zusätzlich soll laut dem neuen Aktionsplan eine *Strategie für eine nachhaltige bauliche Umwelt* ausgearbeitet werden, welche die Themenbereiche Klima, Energie- / Ressourceneffizienz, Bau- und Abbruch-Abfallbewirtschaftung, sowie Digitalisierung berücksichtigt. Die Kreislauffähigkeit von Gebäuden soll dabei durch die neue Bauprodukteverordnung, die Umsetzung langlebiger und anpassungsfähiger Bauwerke, die Entwicklung digitaler Gebäude-Logbücher und einem schonenden Umgang mit Boden unterstützt werden. Ebenso sollen durch die Verwendung des Berichtrahmenwerks Level(s) Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse in öffentliche Vergaben und nachhaltige Investitionsentscheidungen miteinbezogen werden. Außerdem werden einzuhaltende Richtwerte für die stoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen überprüft und gegebenenfalls angepasst [3, vgl. S. 12-13].

2.1.2 Anforderungen an die Berichterstattung kreislaufwirtschaftlicher Aspekte im Rahmen der Sustainable Finance Strategy

Sustainable Finance beschreibt nach der EU den Vorgang, finanzielle Ströme in nachhaltige Wirtschaftstätigkeiten umzuleiten und dadurch zu einem Wirtschaftswachstum ohne negative Auswirkungen auf Mensch und Umwelt beizutragen [7]. Um die Nachhaltigkeit wirtschaftlicher Aktivitäten messen zu können, ist ein einheitliches System zur Einordnung dieser Aktivitäten notwendig. Die EU-Taxonomy setzt an genau diesem Punkt an und definiert nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten in einem europaweiten Klassifizierungssystem mit sechs übergeordneten Umweltzielen. Für die weitere Betrachtung sind das vierte Ziel *Übergang zur Kreislaufwirtschaft* und die von der *Technical Working Group* der *Platform on sustainable finance* ² erarbeiteten Kriterien dazu relevant.

EU-Taxonomy - Übergang zur Kreislaufwirtschaft

Nach der EU-Taxonomy-Verordnung ist eine wirtschaftliche Aktivität ökologisch nachhaltig, wenn ein positiver Beitrag zum Erreichen von mindestens einem der Umweltziele und gleichzeitig keinen Beitrag zur Beeinträchtigung dieser Umweltziele geleistet wird. Die Anforderungen für einen Beitrag zum vierten Umweltziel *Übergang zur Kreislaufwirtschaft* werden in Artikel 13 der Taxonomy-Verordnung definiert und nachfolgend aufgelistet [9].

- effizientere Nutzung von natürlichen Ressourcen

¹Unter kreislauffähigen Geschäftsmodellen werden z.B. Produkte als Dienstleistung oder mit Rücknahmesystem, Reparaturen und Wiederverwendung verstanden [6, vgl. S. 12-13].

²Die Platform on sustainable finance wurde gemäß Artikel 20 der EU-Taxonomy-Verordnung als beratende ExpertInnen-Gruppe gegründet. Zu den aufgetragenen Aufgaben zählen die Beratung hinsichtlich der Anwendbarkeit der EU-Taxonomy, der Ausarbeitung technischer Bewertungskriterien für die EU-Taxonomy und die Beobachtung der Finanzströme [8].

- verbesserte Haltbarkeit, Reparaturfähigkeit, Nachrüstbarkeit, Wiederverwendbarkeit von Produkten
- verbesserte Recyclingfähigkeit von Produkten und den einzelnen Materialien
- verringerte Anteile und Ersatz gefährlicher Stoffe in Materialien
- weiterführende Nutzung von Produkten, z.B. durch Wiederverwendung, Reparatur, Modernisierung, ...
- verstärkter Einsatz von Sekundärrohstoffen, z.B. durch hochwertiges Abfall-Recycling
- Reduktion und Vermeidung von Abfall(erzeugung)
- Stärkung der Infrastruktur zur Abfallvermeidung, -wiederverwendung, -recycling ohne Downcycling
- Reduktion von Abfallverbrennung und -beseitigung

Technische Kriterien zur detaillierten Bewertung sollen im Rahmen einer spezifischen Verordnung ausgearbeitet werden, wobei zwei Kriteriengruppen unterschieden werden. Auf der einen Seite wird die Einschätzung einer Tätigkeit über aktive Beiträge zu einem oder mehreren Umweltzielen ermöglicht. Auf der anderen Seite darf eine Tätigkeit nach den Kriterien die anderen Umweltziele nicht beeinträchtigen (*Do no significant harm (DNSH)*-Kriterien) [9, vgl. Artikel 13]. Im Zusammenhang mit dem vierten Umweltziel wurden bisher - im Gegensatz zu den ersten beiden Umweltzielen - noch keine verbindlichen technischen Kriterien veröffentlicht.

Die *Platform on sustainable finance* hat jedoch im März 2022 einen Entwurf für mögliche Kriterien der verbleibenden Umweltziele veröffentlicht, welcher im Oktober 2022 nochmals ergänzt wurde [10, vgl. S. 11]. Bezogen auf die Kreislaufwirtschaft im Bausektor werden Vorschläge für zu erreichende Zielwerte in den Kategorien Neubau, Sanierung und Abriss vorgestellt. So sollen 90 Gewichts-% der anfallenden Bau- und Abbruchabfälle entsprechend dem *EU-Protokoll über die Bewirtschaftung von Bau- und Abbruchabfällen*³ wiederverwendet oder recycelt werden. Der prozentuale Zielwert richtet sich dabei nach den aktuell im Durchschnitt erreichten Raten der Wiederverwendung bzw. des Recyclings, wobei ein höherer Wert als Anreiz zur Verbesserung angesetzt wird. Die Entwicklung kreislauffähiger Designlösungen wird gefordert, welche Verbesserungen in den Bereichen Ressourceneffizienz, Anpassungsfähigkeit, Flexibilität und Rückbaufähigkeit aufweisen. Lebenszyklusanalysen sollen verpflichtend für das gesamte Gebäude berechnet und für die Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. Verwendete Bauteile und Materialien bestehen zu mindestens 50 % (Gewicht oder Bauteiloberfläche) aus wiederverwendeten oder recycelten Anteilen oder nachwachsenden Rohstoffen. Die verbauten Baustoffe sollen digital erfasst und gespeichert werden, sowie für den Kunden zugänglich sein. Bei der Sanierung von Gebäuden sind zusätzlich zu den aufgeführten Kriterien mindestens 50 % des ursprünglichen Gebäudes zu erhalten und die Anforderungen für größere Renovierungen oder eine Reduktion des Primärenergiebedarfs von mindestens 30 % sind einzuhalten [12, vgl. S. 358 - 373]. In der Ergänzung des Reports von Oktober 2022 wird auch näher auf den Abbruch von Gebäuden und anderen Strukturen eingegangen. Dabei wird die Durchführung eines Audits vor dem Abbruch und die Erstellung eines genauen Rückbau- und Abfallmanagementplanes mit Fokus auf selektivem Rückbau, Dekontamination und der sortenreinen Trennung/ Behandlung

³Das *EU-Protokoll über die Bewirtschaftung von Bau- und Abbruchabfällen* wurde 2016 von der Europäischen Kommission veröffentlicht und hat das Ziel den Umgang mit anfallenden Bau- und Abbruchabfällen zu verbessern, sowie das Vertrauen in den Umgang mit Recyclingmaterialien im Baubereich zu stärken [11].

der Abfallströme gefordert. Wenn die Umsetzung dieser Punkte nicht möglich ist, muss eine genaue Begründung abgegeben werden, wobei ein erhöhter finanzieller Aufwand nicht als valider Grund angesehen wird. Ebenso wie bei anfallenden Bau- und Abbruchabfällen während eines Neubaus bzw. einer Sanierung sind diese entsprechend des Protokolls zu bewirtschaften und zu mindestens 90 Gewichts-% der nicht-gefährlichen Abfälle für die Wiederverwendung bzw. Recycling vorzubereiten. Alternativ ist die Aufbereitung von 95 % der mineralischen und 75 % der nicht-mineralischen Fraktionen möglich. Für die Datenerfassung und die geforderten Nachweise können Indikatoren des Bericht-Rahmenwerks Level(s) eingesetzt werden, welche in Abschnitt ?? dieser Arbeit genauer erläutert werden [13, vgl. S. 271-274].

ESRS-E5 - Reporting on Circular Economy

Neben der EU-Taxonomy-Verordnung werden Zielsetzungen für kreislauffähiges Wirtschaften auch im sogenannten *European Sustainability Reporting Standards (ESRS) - E5 Resource use and circular economy* definiert. Bei den ESRS handelt es sich um in Ausarbeitung befindlichen Richtlinien, welche Kriterien aus in der *Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD)* festgelegten Bereichen enthalten. Unternehmen, die unter die CSRD fallen, sind dann ab dem Finanzjahr 2024 dazu verpflichtet, nicht-finanzielle Daten entsprechend dieser Kriterien an die EU zu berichten. In Bezug auf die Ressourcennutzung und die Kreislaufwirtschaft werden dabei in der aktuellen Fassung von November 2022 sechs Hauptanforderungen gestellt:

1. Politische Maßnahmen zur Ressourcennutzung und der Kreislaufwirtschaft
2. Maßnahmen und Ressourcen im Zusammenhang mit der Ressourcennutzung und der Kreislaufwirtschaft
3. Ziele in Bezug auf Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft
4. Ressourcen-Input
5. Ressourcen-Output
6. Potenzielle finanzielle Auswirkungen der Ressourcennutzung und Auswirkungen, Risiken und Chancen der Kreislaufwirtschaft

Unternehmen müssen demnach offenlegen, welche Maßnahmen und Mittel hinsichtlich dem Ressourcenverbrauch und der Kreislaufwirtschaft eingesetzt werden. Dabei sind die Stufen der in der nachfolgend vorgestellten Abfallrahmenrichtlinie festgelegten Abfallhierarchie bzw. Beiträge zur Kreislaufstrategie für die Produkte/ Prozesse zu berücksichtigen. Ebenso ist zu berichten, wie Abfall durch geeignete Maßnahmen vermieden werden konnte. Mögliche Zielsetzungen werden in den Anforderungen 3 - 6 genauer definiert. So sind angestrebte Ziele für die Ressourcennutzung und die Kreislaufwirtschaft und deren Auswirkung auf folgende Bereiche zu berücksichtigen:

- Steigerung von kreislauffähigen Designlösungen
- Steigerung des Anteils an zirkulär genutzten Materialien
- Reduktion des Einsatzes von nicht-erneuerbaren Primärrohstoffen
- Zielsetzung für die Nutzung nachwachsender Rohstoffe
- Umkehr der Verknappung nachwachsender Rohstoffe
- Abfallbewirtschaftung

Zusätzlich müssen die einfließenden und abfließenden Materialströme erfasst werden. Dazu sind das Gesamtgewicht der genutzten Produkte und Materialien über den Berichtszeitraum, der Anteil an erneuerbaren Rohstoffen aus regenerativen Quellen bei der Herstellung der Produkte/ Dienstleistungen, das Gewicht der wiederverwendeten bzw. recycelten Produkte und Materialien für die Herstellung der Produkte/ Dienstleistungen und die Ressourcenabflüsse inklusive Abfall anzugeben. Weiteres sind Informationen zur Wiederverwendung von Produkten, Materialien und Abfällen nach der ersten Nutzung und zur Abfallbewirtschaftungsstrategie anzugeben. Für Produkte und Materialien muss außerdem genau beschrieben werden, inwiefern das Produkt-/ Prozessdesign hinsichtlich Ressourceneffizienz und Kreislauffähigkeit optimiert wurde. Ebenso ist das Gesamtgewicht und der prozentuale Anteil der Produkte mit Beitrag zu den acht Kreislaufprinzipien Langlebigkeit, Wiederverwendbarkeit, Reparaturfähigkeit, Rückbaufähigkeit, Wiederaufbereitung/ Überholung, Recycling, Rückführung in den biologischen Kreislauf oder optimierter Produkt-/Materialverbrauch zu messen. Für gefährliche und nicht-gefährliche Abfälle sind die anfallende Gesamtmenge und die den verschiedenen Verwertungswegen zugeführten Anteile nach Gewicht für branchentypische Hauptabfallströme aufzunehmen. Dabei wird zwischen Aufbereitung für Wiederverwendung, Recycling oder andere Verwertungsmöglichkeiten und Beseitigung durch Verbrennung, Deponierung oder andere Verfahren unterschieden. Gefährliche, sowie nicht-recyclebare Abfälle müssen zusätzlich jeweils in ihrer Gesamtmenge erfasst werden. In den Abfällen vorkommende Materialien, wie bspw. Metalle, Plastik oder mineralische Stoffe, sind ergänzend zu notieren [14, vgl. S. 5-10].

2.1.3 Abfallwirtschaftliche Regelungen und Ziele auf europäischer Ebene

Die Betrachtung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes umfasst neben Maßnahmen in der Planungs- und Nutzungsphase zu einem Großteil auch den Umgang mit anfallenden Abfällen und dessen Management. EU-weite Regelungen zum grundlegenden Umgang mit Abfällen finden sich in der sogenannten *Abfallrahmenrichtlinie* [15]. Darin werden u.a. folgende Punkte festgelegt:

- Begriffsdefinitionen (bspw. Abfall, Verwertung, Beseitigung)
- Anforderung an die Abfallbewirtschaftung
- Erstellung von Abfallbewirtschaftungsplänen
- Umwelt- und gesundheitsverträglicher Umgang mit Abfällen
- Abfallhierarchie

Wichtig ist die definierte Abfallhierarchie, welche als Grundlage für rechtliche bzw. strategische Umsetzungen einen umweltschonenden Umgang garantieren soll. Das oberste Ziel ist die Vermeidung, dann in absteigender Reihenfolge die Vorbereitung zu Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung (z.B. stofflich oder energetisch) und Beseitigung [15, vgl. Artikel 4]. Laut Artikel 11 sollen Maßnahmen zur Wiederverwendung und einem hochwertigen Recycling von den Mitgliedstaaten umgesetzt werden und Zielvorgaben für Recyclingquoten festgelegt werden. Dabei ist für nicht gefährliche Bau- und Abbruchabfälle eine Recyclingquote von mindestens 70 Gewichtsprozent bis 2020 gefordert [15, vgl. Artikel 11]. Ebenfalls wird auf eine mögliche Trennung nach Materialeigenschaften verwiesen, insofern dies die weiterführende Verwertung vereinfacht oder verbessert [15, vgl. Artikel 10]. Neben der Priorisierung von Wiederverwendung, -verwertung und Recycling wird ebenfalls der Übergang von einem Abfallstoff zu einem Sekundärrohstoff bzw. Produkt thematisiert. So gilt Abfall nicht mehr als derselbige, wenn ein

Recycling-/Verwertungsverfahren angewendet wurde, sowie ein Markt/ eine Nachfrage nach dem Stoff besteht, die technischen und rechtlichen Anforderungen und Normen für den Stoff erfüllt sind und die Verwendung des Stoffs keinen schädlichen Einfluss auf die Umwelt oder die Gesundheit hat [15, vgl. Artikel 6]. In Abfallbewirtschaftungsplänen müssen die Mitgliedsstaaten alle anfallenden Abfallmengen und den geplanten Umgang damit, sowie angestrebte Maßnahmen z.B. zu Abfallvermeidung erfassen [15, vgl. Artikel 28]. Um eine einheitliche Berichterstattung zu ermöglichen, werden die verschiedenen Abfallarten im sogenannten *Abfallverzeichnis* [16] klassifiziert und mit einer jeweiligen Kennzeichnung versehen. Bau- und Abbruchabfälle werden darin unter der übergeordneten Kennzeichnung 17 und weiter nach Materialgruppen unterteilt. Beton gehört z.B. zu Materialgruppe 17 01 *Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik* und anfallende Massen werden somit unter der Kennzeichnung 17 01 01 erfasst [16, vgl. S. 35-36]. Mögliche Beseitigungs- oder Verwertungswege bzw. bestehenden Gefahrenklassen werden mit entsprechenden Abkürzungen in den Anhängen I-III der Abfallrahmenrichtlinie detailliert aufgeführt [15].

2.2 Nationale Anforderungen an kreislauffähige Gebäude

Abgeleitet von den EU-weit geltenden Regelungen und entworfenen Zielvorstellungen existieren in Österreich sowohl gesetzliche Vorgaben, wie auch strategische Überlegungen in Bezug auf Kreislaufwirtschaft und Gebäude. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die nachfolgenden Ausarbeitungen näher betrachtet.

2.2.1 Österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie

Ziel der österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie ist, ähnlich zum neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft der EU, die Transformation des linearen Wirtschaftssystems zu einer Kreislaufwirtschaft, um die angestrebte Klimaneutralität bis zum Jahr 2040 erreichen zu können [17, vgl. S. 8]. Ressourcen sollen also nach der Entnahme aus der Natur so lange wie möglich im Kreislauf geführt werden, wodurch weniger Rohstoffe und Materialien verbraucht werden sollen, weniger Abfall entstehen und die Belastung der Umwelt verringert werden soll. Erreicht werden soll dies durch die im Folgenden aufgelisteten Kreislaufwirtschaftsgrundsätze (R-Grundsätze) [17, vgl. S. 15]:

- intelligente Nutzung und Herstellung von Produkten und Infrastruktur
 - Refuse
 - Rethink
 - Reduce
- verlängerte Lebensdauer von Produkten, Komponenten und Infrastruktur
 - Reuse
 - Repair
 - Refurbish
 - Remanufacture
 - Repurpose
- Wiederverwerten von Materialien
 - Recycle

– Recover

Messbare Zielsetzungen wurden in den vier Bereichen *Reduktion des Ressourcenverbrauchs*, *Steigerung der inländischen Ressourcenproduktivität*, *Steigerung der Zirkularitätsrate* und *Reduktion des materiellen Konsums in privaten Haushalten* entwickelt. So soll der Material-Fußabdruck bis 2050 von Stand 2017 33 Tonnen auf 7 Tonnen pro Kopf und Jahr, der inländische Materialverbrauch bis 2030 von Stand 2018 19 Tonnen auf 14 Tonnen pro Kopf und Jahr gesenkt werden. Die inländische Ressourcenproduktivität⁴ soll bis 2050 um 50 %, die Zirkularitätsrate bereits bis 2030 von Stand 2020 12 % auf 18 % erhöht werden. Auch im privaten Kontext soll der Materialverbrauch, gemessen an den anfallenden Siedlungsabfällen, bis 2030 von Stand 2020 um 10 % gesenkt werden [17, vgl. S. 16-17]. Um diese Ziele zu erreichen, wurden angelehnt an den Aktionsplan Kreislaufwirtschaft der EU Maßnahmen für sieben Transformationsschwerpunkte erarbeitet. *Bauwirtschaft und Infrastruktur* bildet als eine der ressourcenintensivsten Branchen den ersten Schwerpunkt. Gebäude sollen demnach über den gesamten Lebenszyklus zirkulär inklusive auch außerhalb der Systemgrenzen befindlichen Gutschriften und Lasten geplant und umgesetzt werden. Ebenso soll die Nutzungsdauer von Gebäuden durch einfach mögliche Instandhaltung und Renovierung verlängert und die weiterführende Verwertung von anfallenden Bau- und Abbruchabfällen, sowie Bodenaushüben verstärkt werden. Für eine erfolgreiche Implementierung dieser Zielsetzungen soll die Umsetzung kreislauffähiger Gebäude und der schonende Einsatz von Ressourcen, u.a. durch die nachhaltige Beschaffung von Baustoffen und eine verstärkte Wiederverwendung/-wertung bzw. ein verstärktes Recycling, gefördert werden. Die dafür notwendigen rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie bspw. eine Bewilligungspflicht für den Rückbau, rechtliche Regelungen für wiederverwendete Bauteile oder die Etablierung eines Marktplatzes für wiederverwendete Bauteile sollen geschaffen werden [17, vgl. S. 51-54]. Zukünftig soll auch das Abfallrecht hinsichtlich der Definition des Abfallendes und einer dadurch verstärkten Nutzung von ehemaligen Abfällen als Sekundärrohstoffe überarbeitet werden. Dabei ist auch ein ausgewogenes Maß an Recycling gegenüber der Deponierung zu berücksichtigen, um schadstoffbelastete Materialien immer weiter zu reduzieren [17, vgl. S. 27-28].

2.2.2 OIB-Richtlinie 7 zum nachhaltigen Umgang mit natürlichen Ressourcen

In den bisher vorgestellten Richtlinien und Maßnahmenpaketen ist ein schonender Umgang mit Ressourcen, sowie eine erhöhte Effizienz beim Materialeinsatz bereits mehrmals thematisiert worden. Die noch nicht veröffentlichte OIB-Richtlinie 7 soll die in der europäischen Bauprodukteverordnung [18] aufgeführte siebte Grundanforderung *Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen* in einen österreichweiten Standard ausweiten. Aktuell liegt ein erstes Grundlagendokument vor, in welchem die zugrundeliegenden Rahmenbedingungen und das Grundgerüst der Richtlinie vorgestellt werden. Nach der siebten Grundanforderung bedeutet eine nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen die Wiederverwendung bzw. Recycling des Bauwerks und seiner Baustoffe/ -teile, eine hohe Dauerhaftigkeit des Bauwerks und der Einsatz umweltverträglicher Rohstoffe und Sekundärbaustoffe [18, vgl. Anhang I]. Neben der Bauprodukteverordnung fließen weitere Anforderungen aus europäischen Richtlinien, Strategiepapieren und Verordnungen, wie bspw. dem Green Deal, der EU-Taxonomy-Verordnung oder den Aktionsplänen für die Kreislaufwirtschaft, mit ein, woraus sich weitere zu berücksichtigende Aspekte ergeben. Die Umweltauswirkungen des Ressourcenverbrauchs sollen über die Berechnung der Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus des Bauwerks nachgewiesen werden. Als Basis für die Berechnung dient eine genaue Dokumentation der geplanten bzw. verbauten Materialien, welche auch als Informationsgrundlage für anfallende Sanierungen oder einen geplanten Rückbau dienen kann.

⁴Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Tonne Materialeinsatz

Abfälle werden entsprechend der bereits vorgestellten Abfallhierarchie (Abschnitt 2.1.3) vorrangig vermieden, wiederverwendet, recycelt oder verwertet. Diesbezügliche Maßnahmen sind von Beginn der Planung an zu berücksichtigen und umfassen bspw. den Einsatz von Recyclingbaustoffen, die Vermeidung gefährlicher Stoffe oder einfach zu trennende Bauteile am Ende des Lebenszyklus. Die Dauerhaftigkeit des Bauwerks soll durch eine hohe Nutzungsflexibilität, eine auf mögliche Umnutzungen ausgelegte Tragstruktur und leicht zugängliche und reparierbare Bau- / TGA-Teile gewährleistet werden. Um Bauteile am Lebensende des Bauwerks für die Wiederverwendung gewinnen zu können, liegt auch ein besonderer Fokus auf der Rückbau-Phase. Die Erstellung eines detaillierten Rückbaukonzeptes soll bereits von Planungsbeginn an die Reduktion der zu entsorgenden Bau- und Abbruchabfälle unterstützen [19].

2.2.3 Abfallwirtschaftsgesetz und relevante Richtlinien bzw. Normen

Der Umgang mit Abfällen wird in Österreich über das Abfallwirtschaftsgesetz von 2002 geregelt. Im ersten Abschnitt werden allgemeine Ziele und Grundsätze für die Abfallbewirtschaftung festgelegt. Mehrere Punkte betreffen dabei einen nachhaltigen Umgang mit Abfällen, ohne dass Mensch und Umwelt dabei gefährdet werden. Während der Abfallbewirtschaftung entstehende klima-/umweltschädliche Emissionen sind so gering zu halten wie möglich. Ein schonender Umgang mit notwendigen Ressourcen ist ebenfalls einzuhalten. Anfallende Abfallmengen sollen bestmöglich vermieden werden, ansonsten sollen diese verwertet oder bei fehlenden Verwertungsmöglichkeiten beseitigt werden [20, vgl. §1]. Hinsichtlich der Förderung einer Kreislaufwirtschaft enthält Paragraph 14 mögliche Verpflichtungen, die dahingehend verbindlich gemacht werden können. Diese umfassen bspw. die Bereitstellung von Informationen zur potenziellen Weiterverwendung/-verwertung oder die Einhaltung von Abfallvermeidungs- oder Verwertungsquoten über eine bestimmte Zeitspanne [20, vgl. §14].

Bezogen auf die Baubranche wurde am 29.06.2015 die Recycling-Baustoffverordnung veröffentlicht, welche mit Januar 2016 in Kraft getreten ist. Sie gilt für Abfälle aus Bau- und Abbruchtätigkeiten und hat das Ziel die Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zu unterstützen [21]. Als Recyclingbaustoff gelten im Rahmen der Richtlinie mineralische Fraktionen, die aufbereitete als Baustoff erneut eingesetzt werden können. Dabei werden Anforderungen bei Bau- und Abbruchtätigkeiten, sowie in der Herstellung und Verwendung von Recyclingbaustoffen aufgeführt. Ebenso wird das Abfallende von Recyclingbaustoffen definiert [21]. Zu erfüllende Maßnahmen bei Bau- und Abbruchtätigkeiten umfassen u.a. die Durchführung einer Schad- und Störstofferkundungen oder die verpflichtende Trennung von Abfällen in gefährliche und nicht gefährliche Anteile und die bestehenden Hauptbestandteile des Bauwerks. Mindestens sind jedoch die Abfallarten Bodenaushubmaterial, mineralische Abfälle, Ausbauphosphat, Holzabfälle, Metallabfälle, Kunststoffabfälle und Siedlungsabfälle zu unterscheiden. Fallen mehr als 750t an Bau- und Abbruchmaterialien, exklusive Bodenaushub, an, ist ein Rückbau nach der ÖNORM B 3151 *Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode* zu planen und durchzuführen [21, vgl. §4-§6].

Abfälle, die für die Herstellung von Recyclingbaustoffen verwendet werden dürfen, werden in Anhang I der Verordnung aufgelistet. Dabei ist eine Verunreinigung durch Stoffe, wie bspw. Asbest, Mineralöle oder Gips, zu vermeiden. Zusätzliche sind die genauen Einsatzgebiete, die Qualitätsanforderungen und das Vorgehen bei der Qualitätskontrolle geregelt [21, vgl. §7-§13]. Demnach können Recycling-Baustoffe der Qualitätsklasse U-B und U-E bspw. lose als Schüttungen im Straßenbau oder als Zuschlag in Betonen für gering durchlässige, gebundene Deck- bzw. Tragschichten eingesetzt werden. Weist ein Recycling-Baustoff die Qualitätsklasse H-B auf, ist nur eine Weiterverwertung in Betonen ab Festigkeitsklasse C12/15 bzw. bei Festigkeitsklasse C8/10 für Expositionsklassen ab XC1 möglich. Desweiteren werden mehrere Qualitätsklassen für

den Einsatz in Asphaltmischgut definiert [21, vgl. §13]. Das Abfallende von Recyclingbaustoffen tritt dann ein, wenn der Baustoff vom Hersteller an eine dritte Partei abgegeben wird [21, vgl. §14].

2.3 Zwischenfazit zu Anforderungen für die Bewertung kreislauffähiger Gebäude

Aus den vorgestellten Quellen lässt sich ablesen, dass die Kreislauffähigkeit von Produkten/ Prozessen bereits in mehreren Richtlinien und Strategien berücksichtigt wird. Auch wird der Bausektor in mehreren Veröffentlichungen durch den hohen Ressourcenverbrauch als relevanter Bereich gesondert betrachtet. Wie bereits einleitend erwähnt, gibt es aktuell jedoch noch keine länderübergreifende, einheitliche Regelung für die Kriterien eines kreislauffähigen Gebäudes. Jedoch ähneln sich die erarbeiteten Ziele und Maßnahmen, sowie daraus entwickelte Kriterien um ein kreislauffähiges System zu beschreiben und bewerten zu können in vielen Punkten. So gilt das Ziel der Kreislaufwirtschaft als wichtiger Beitrag zur Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch. Weiteres wird in allen vorgestellten Veröffentlichungen eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft gefordert, in der Stoffe nicht nur im Kreislauf geführt werden, sondern zusätzlich keine negativen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt vorweisen. Die daraus entstehenden Anforderungen bestehen in der Berücksichtigung von Lebenszyklusanalysen für Produkte, sowie der Auswahl nicht toxischer Bestandteile.

Auffällig ist die häufige Verbindung mit dem Thema der Material- bzw. Ressourceneffizienz, was mit dem nach EU und österreichischen Richtlinien festgelegten Ziel der Abfallvermeidung übereinstimmt. Die übergeordnete Maßnahme im Bereich der Material-/ Ressourceneffizienz ist die Reduktion des Verbrauchs nicht erneuerbarer Primärrohstoffe. Als mögliche Anforderungen werden im Baubereich eine verlängerte Lebensdauer für Bauwerke, eine optimierte Planung und der Ersatz von nicht erneuerbaren Primärrohstoffen durch sekundäre bzw. nachwachsende Rohstoffe aufgeführt. Bereits bestehende Strukturen sollen vermehrt erhalten bleiben und als Bestand oder als wiederverwendete Bauteile erneut genutzt werden. Ist dies nicht möglich, sind die anfallenden Materialien einem Recycling-Prozess und erst nachrangig anderen Verwertungs- oder Entsorgungswegen zuzuführen. Um die Wiederverwendung bzw. das Recycling zu vereinfachen sollen kreislauffähige Designlösungen für eine gute, schadfreie Rückbaubarkeit bzw. eine rückstandslose, sortenreine Trennung eingesetzt werden.

Eine genaue Dokumentation der verbauten Materialien, den Bestandteilen und möglichen Potenzialen für eine weitere Nutzung gewinnt ebenfalls an Bedeutung. Außerdem soll der Umgang mit den Materialien zum Ende des Lebenszyklus bereits in frühen Planungsphasen mitgedacht werden. Als unterstützende Maßnahmen werden dafür die Ausarbeitung eines Rückbaukonzeptes, sowie der Einsatz eines Gebäudepasses mit allen relevanten Bauteilinformationen für ein Bauwerk bereitgestellt. Für das Abfallmanagement auf der Baustelle wird eine Dokumentation in Form eines Abfallmanagementplans gefordert, welcher alle auftretenden Materialströme inklusive Klassifizierung, Massen und Verbleib enthält.

Im nachfolgenden Kapitel wird nun näher auf die Kreislauffähigkeit von Gebäuden in nachhaltigen Zertifizierungssystemen eingegangen. Einige der hier herausgearbeiteten Anforderungen wurden dabei in Bewertungskriterien übersetzt, wodurch die Kreislauffähigkeit von Gebäuden zu Teilen messbar wird.

Kapitel 3

Bestehende Bewertungsmethoden für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden

Im nachfolgenden Kapitel werden bestehende Bewertungsmöglichkeiten für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden betrachtet. In der vorliegenden Arbeit liegt der Fokus dabei auf Nachhaltigkeits-Zertifizierungssystemen für Gebäude und der Berücksichtigung kreislauffähiger Aspekte in den jeweiligen Kriterienkatalogen. Nach einer kurzen Einführung in die Thematik, werden die einzelnen Systeme mit den dazugehörigen Kriterien und Bewertungsmethoden detailliert vorgestellt. Abschließend findet ein Vergleich hinsichtlich eingehender Kriterien statt, um bestehende Unterschiede und mögliche Gemeinsamkeiten differenziert aufzuzeigen.

3.1 Einführung in die Bewertung der Kreislauffähigkeit

Wie aus dem vorherigen Kapitel hervorgeht, gewinnt die Transformation eines linearen Wirtschaftssystems hin zu einer Kreislaufwirtschaft im internationalen wie nationalen Kontext zunehmend an Bedeutung. Um den Fortschritt dieser Transformation messbar zu machen, bedarf es kreislaufbezogener Parameter, die eine Aussage über die Bestandteile und Verbindungen eines Produktes, sowie die daraus resultierende Möglichkeiten zur Weiterverwendung/ -verwertung zulassen. Neben strategischen Überlegungen zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft und bestehenden Anforderungen aus bereits rechtsgültigen Umsetzungen (vgl. Kapitel 2), werden laufend Möglichkeiten zur Bewertung kreislauffähiger Aspekte im Rahmen von Forschungsprojekten, Zertifizierungen, Organisationen und Firmen entwickelt. Dabei lässt sich grundsätzlich eine Unterscheidung in Bewertungen auf Produktebene (z.B. Mauersteine oder Kupplungsscheiben) und einer übergeordneten Ebene (z.B. einem Gebäude, Auto oder auch Prozesse innerhalb eines Unternehmens) treffen. Beispielsweise entwickelte die Ellen MacArthur Foundation verschiedene Tools, um Unternehmen in der Bewertung ihrer Produkte [22, vgl. Material Circularity Indicator] oder allgemeiner Prozesse [23, vgl. Circulytics] zu unterstützen. Bezogen auf den Bausektor wird die Kreislauffähigkeit von Baustoffen und auf übergeordneter Ebene Bauwerken vor allem in bestehenden Gebäudezertifizierungssystemen, aber auch Produktzertifizierungen und dezidiert entwickelten Tools bewertbar gemacht. Rosen betrachtet in Ihrer Dissertation *Urban Mining Index* den aktuellen Stand der Forschung hinsichtlich kreislauffähigen Aspekten in Bewertungssystemen sehr ausführlich. Die Ergebnisse zeigen, welche der 15 von Rosen für einen Vergleich formulierten Punkte zu kreislauffähigem Bauen in den Zertifizierungssystemen DGNB, BNB, BREEAM und LEED berücksichtigt werden. Neben bauteilspezifischen Kriterien werden dabei auch ein ressourcenschonender Umgang mit Aushubmaterial, Wasser und der Energieversorgung thematisiert. Bauteilspezifische Kriterien umfassen Materialgesundheit und Umweltauswirkungen, Ressourcenschonung und Erhaltung vorhandener Strukturen, mögliche Ausweitung der Lebensdauer und mögliche End-of-Life-Szenarien. Noch nicht berücksichtigt werden die anfallenden Kosten und Erlöse für den Rückbau, die Verwertung und Entsorgung der Baustoffe [24, vgl. S. 60-61]. Der von Rosen entwickelte *Urban Mining Indicator* bezieht

daher über die anfallende Arbeit und den Wert des Rückbaus, neben einer materiellen und konstruktiven Ebene, auch wirtschaftliche Aspekte in die Bewertung mit ein [24, vgl. S. 98ff.]

Ein weiteres Instrument zur Beschreibung der Kreislauffähigkeit stellt der *Zirkularitätsindikator* von Madaster dar. Die Methode basiert auf dem von der Ellen MacArthur Foundation entwickelten Material Circularity Indicator und weist drei Hauptphasen auf: Materialherkunft, Lebensdauer und Materialverwertung [25, vgl. S. 10]. Berücksichtigt werden damit der Anteil an rezyklierten Materialien, die erwartete Nutzungsdauer der Produkte und das Verhältnis von anfallendem Abfall zu wiederverwendbaren/ -verwertbaren Stoffen [25, vgl. S. 3].

Zusätzlich werden nachfolgend verschiedene Zertifizierungssysteme und darin berücksichtigte zirkuläre Aspekte näher beleuchtet. Dazu werden nur Kriterien betrachtet, die in direktem Zusammenhang mit den verbauten und rückzugewinnenden Elementen stehen. Nicht berücksichtigt werden daher Kriterien, die explizit Bezug auf Bodenaushübe, Wassernutzung, energetische Versorgung oder andere, für diese Arbeit als sekundär zu betrachtende Bereiche nehmen. Ebenso wird nicht für jedes Zertifizierungssystem das Berücksichtigen einer Lebenszyklusanalyse bzw. Lebenszykluskostenrechnung aufgeführt, da dies inzwischen in den meisten Zertifizierungssystemen gefordert wird. Auf Berechnungstools, die keinem Zertifizierungssystem zugeordnet werden können (z.B. der Urban Mining Index oder Madaster-Zirkularitätsindikator), wird ebenfalls nicht näher eingegangen. Die Auswahl der Zertifizierungssysteme umfasst das europaweit als vereinheitlichendes Berichtsrahmenwerk einzustufende System Level(s), die vier Systeme mit weltweit dem größtem Marktanteil DGNB, BNB, BREEAM und LEED, sowie das Österreichische klimaaktiv-Zertifizierungssystem.

3.2 Level(s)

Level(s) ist ein Rahmenwerk der Europäischen Union zur Bewertung und Verbesserung nachhaltiger Gebäude. Ziel ist die Bereitstellung einheitlicher Begrifflichkeiten, um Nachhaltigkeitsaspekte über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes zu beschreiben und einen innerhalb Europas vergleichbaren Standard zu gewährleisten. Im Gegensatz zu anderen Zertifizierungssystemen, weist Level(s) Indikatoren zur Berichterstattung auf, stellt aber keine zu erfüllenden Anforderungen. Vielmehr wird eine verständliche Basis für Hauptmerkmale eines nachhaltigen Gebäudes gegeben, um diese in der Bau- und Immobilienpraxis zu verankern. Wichtig ist auch, dass ein flexibler Einsatz des Systems in gewähltem Umfang und zu verschiedenen Zeitpunkten eines Projekts ermöglicht wird. Es wird zwischen drei Ebenen unterschieden:

- Ebene 1: Konzeptioneller Entwurf
- Ebene 2: Detaillierter Entwurf und Bau
- Ebene 3: Bestands- und Nutzungsleistungen

Für Planungsbeteiligte wird ein Einstieg in frühen Projektphasen empfohlen, um gemeinsam mit den KundInnen Nachhaltigkeitsziele für das Projekt festzulegen. Insgesamt werden im Level(s)-Rahmenwerk 6 Makroziele in den Themenbereichen Ressourcenverbrauch, Umweltleistung, Gesundheit, Komfort, Kosten, Wert und Risiko definiert, denen insgesamt 16 Indikatoren zugeordnet werden. Ein Level(s)-Projektplan sollte also festgelegte Ziele mit den ausgewählten Indikatoren beinhalten, ebenso wie die Ebene auf der das Projekt bewertet wird.

Kreislauffähige Aspekte eines Gebäudes werden im Makroziel 2 *Sicherstellung von ressourcenschonenden und kreislaufwirtschaftlichen Materiallebenszyklen* aufgegriffen. Das Makroziel umfasst vier Indikatoren, welche die Etablierung kreislauffähiger Planungsansätze unterstützen sollen. Nachfolgend werden die einzelnen Indikatoren detaillierter vorgestellt.

3.2.1 Indikator 2.1 - Stück-/Mengenverzeichnis, Materialien und Nutzungsdauer

Im ersten Indikator werden je nach Bewertungsebene verschiedene Faktoren betrachtet. Auf Ebene 1 liegt der Fokus auf der Erstellung und der Dokumentation des Designkonzeptes, wobei sechs Kernpunkte abgefragt werden. Die übergeordneten Ziele sind dabei die Minimierung des Ressourcenverbrauchs, sowie eine lange Lebensdauer der Bauteile. Positiv bewertet werden daher Materialeinsparungen durch die Wahl einer passenden Gebäudeform, ein materialeffizientes Tragwerk oder einen mit den späteren NutzerInnen abgestimmten Innenausbau. Ebenso sollte der Einsatz von rezyklierten Materialien und langlebigen Bauelementen bzw. eine einfache Demontierbarkeit für nötige Reparaturen angestrebt werden. Wenn es Wechselwirkungen für Designlösungen zwischen verschiedenen Punkten gibt, sind diese aufzuführen und abzuwägen. In wiefern die Kernpunkte im Planungsprozess berücksichtigt werden, wird in einer Dokumentationsvorlage festgehalten.

Für Ebene 2 und 3 wird ein Excel-Tool zur Berechnung der anfallenden Stückzahlen und Massen des Gebäudes bereitgestellt. Die verbauten Materialien werden aufgeteilt in die Stufen Schale, Kern und Außenarbeiten für die einzelnen Bauteile erfasst. Die Eingangswerte sind die Zugehörigkeit und Beschreibung des Bauteils, die Anzahl an geplanten bzw. verbauten Bauteilen, die dazugehörige Einheit und der benötigte Umwandlungsfaktor um die anfallenden Massen in kg zu erhalten. Zusätzlich können die Kosten pro Bauteil für eine Kostenbetrachtung eingegeben werden. Die Ergebnisse der Bauteilmassen werden für die Bauphase und für das Ende der Lebensdauer getrennt nach Materialgruppe oder Zugehörigkeit zu Schale, Kern oder Außenarbeiten in Tonnen angezeigt. Die Kosten werden einmal bezogen auf den Quadratmeter, einmal pro Tonne angegeben. Die Gesamtmasse wird ebenfalls bezogen auf einen Quadratmeter Grundfläche ausgegeben.

Eine weitere Option des Excel-Tools bietet die Möglichkeit die anfallenden Abfälle aus den eingegeben Bauteilmassen abzuschätzen. Grundsätzlich wird in anfallende Bau- und Abbruchabfälle (CDW) und überschüssig bestellte Materialien (OO) unterteilt. Der anfallende Abfallanteil der Bauteile wird prozentual für die Materialgruppen mineralische Materialien, Holz, Glas, Plastik, bitumniöse Mischmaterialien, Metalle, Dämmungen, Gips, Gemischte Materialien und elektronische Geräte bestimmt. Neben den anteiligen Abfallmassen wird die Nutzungsdauer des Gebäudes, sowie der einzelnen Bauteile für die Ergebnisberechnung berücksichtigt. Die Materialgruppen werden automatisch nach inertem, nicht gefährlichen und gefährlichen Abfällen klassifiziert. Als Endergebnis werden die Abfallanteile in Tonnen und Prozent der Gesamtmasse, sowie die prozentualen Anteile an den einzelnen Materialgruppen dargestellt. Diese Option bezieht sich bereits auf den zweiten Indikator *Bau- und Abbruchabfälle*, welcher nachfolgend erläutert wird [26, vgl.].

3.2.2 Indikator 2.2 - Bau- und Abbruchabfälle

In diesem Indikator werden die anfallenden Bau- und Abbruchabfälle zu verschiedenen Zeitpunkten, welche über die drei eingangs beschriebenen Ebenen abgebildet werden, im Projekt ermittelt. Das Endergebnis liefert neben den Abfällen in kg/m^2 einen Abfallmanagementplan mit einem der Projektphase entsprechenden Detailgrad. Zusätzlich werden mögliche Beiträge zu einer rückbaufreundlichen und abfallreduzierenden Bauweise zur Verfügung gestellt. Für Betrachtungsebene 1, den konzeptionellen Entwurf, werden sechs zu berücksichtigende Punkte aufgeführt:

- Setzen von Leistungsindikatoren (KPIs) im Rahmen der geltenden EU-Abfallrichtlinien
- Auswirkungen auf Abfallmanagement nach Art des Projektes (Neubau, Sanierung, Abbruch)

- Durchführen eines Audits vor dem Gebäudeabbruch zur Grundlagenermittlung
- Definieren von Maßnahmen zur Abfallreduktion
- Erstellen eines Abfallmanagementplans
- Implementierung der *Building as Material Banks*- Prinzipien

In einem vorgegebenen Dokument kann festgehalten werden, ob und inwiefern die Punkte berücksichtigt werden. Nach Festlegung der Zielvorstellungen für das Projekt, werden auf Ebene 2 die vorhandenen Materialien und anfallenden Massen ermittelt. Fallen im Vorfeld Abbruchtätigkeiten an, sind für die benötigten Informationen eine Schreibtisch- und Feldstudie durchzuführen. So können über vorhandene Planunterlagen bzw. vor Ort vorhandene Materialien identifiziert werden und die Materialqualität, sowie möglich Schadstoffbelastungen durch Mess- und Analysemethoden überprüft werden. Für Neubauprojekte beginnt die Bearbeitung mit dem nächsten Schritt, der Bestandsaufnahme, und daraus resultierenden Abfallklassifizierungen und Mengenabschätzungen. Zur Berechnung der anfallenden Massen und der entsprechenden Einstufung in die Abfallhierarchie ¹ steht das Excel-Tool *Construction and Demolition Waste and Materials Calculator* zur Verfügung. Als Input-Daten können bei Bearbeitung des Indikators 2.1 die bereits eingegebenen Bauteilmassen übernommen werden oder neu eingetragen werden. In Ergänzung werden rückbauspezifische Informationen abgefragt, die zu einem Großteil aus einem Drop-down-Menu ausgewählt werden können.

- Hauptabbruchtätigkeit (Dekontamination, Ausbau hochwertiger Materialien/ Elemente, Rückbau von Elementen, Abbruch)
- Materialbezeichnung (z.B. Tür, Lampen mit evtl. Quecksilberanteil, ...)
- Gefahreneinstufung (inert, nicht-gefährlich, gefährlich)
- Abfallschlüssel nach der List of Waste
- Verortung des Baustoffs/Bauteils im Projekt
- Bestmögliche Endnutzung
- Wahrscheinliche Endnutzung im Projekt

Die Einstufung der Abfälle basiert auf der *List of Waste* ², welche einen entsprechenden Abfallschlüssel definiert. Während eines Bauprojektes anfallende Stoffe beziehen sich meist auf die Kategorien 17 Bau- und Abbruchabfälle, 20 Siedlungsabfälle und Unterkapitel der Kategorie 16 Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind (z.B. elektronische Geräte). Diese Einordnung unterscheidet sich zu den in Österreich nach der Abfallverzeichnisverordnung [28] verwendeten Schlüsselnummern (SN). Mineralische Bau- oder Abbruchabfälle werden bspw. unter der SN 31409 *Bauschutt* erfasst, falls keine spezifischere Zuordnung bspw. in die SN 54912 *Bitumen, Asphalt* zutrifft. Bau- und Abbruchholz weist die SN 17202 auf und kann ebenfalls noch detaillierter unterschieden werden. Für ein Recycling geeignete Holzabfälle werden z.B. der Abfallart SN 17 201 bzw. SN 17202 04 zugeordnet [28, vgl. Anhang II]. Die gefahrenrelevanten

¹Die Abfallhierarchie regelt die Prioritäten zum Umgang mit Abfällen, nachfolgend aufgelistet beginnend mit der höchsten Priorität: Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung, Beseitigung, [15, vgl. S. 8]

²Die List of Waste ist eine von der Europäischen Union über eine Entscheidung der Kommission [27] eingeführte Verordnung über eine europaweit einheitliche Kategorisierung von Abfällen, um eine harmonisierte Berichterstattung zu ermöglichen.

Eigenschaften des Abfalls werden auf EU-Ebene entsprechend dem *Technischen Leitfaden zur Abfalleinstufung*, veröffentlicht als Bekanntmachung der Kommission 2018/C 124/01, vorgenommen. Danach werden Materialien in absolute gefährliche und nicht gefährliche Einträge und sogenannte gefährliche und nicht-gefährliche Spiegeleinträge unterschieden. Absolute Einträge lassen eine klare Einteilung der Stoffe nach der List of Waste zu, bei Spiegeleinträgen bedarf es einer detaillierteren Betrachtung des Materials für eine passende Einstufung. Abbildung 3.1 zeigt den Ablauf für eine korrekte Zuordnung in Zusammenhang mit den List of Waste- Einträgen.

Die Parameter können für Ebene 2 und 3 auf getrennten Blättern eingegeben werden, um eine Abschätzung auf Ebene 2 mit den realen Daten auf Ebene 3 vergleichen zu können (falls eine Betrachtung auf beiden Ebenen stattfindet). Als Endergebnisse werden die anfallenden Massen den Kategorien Reuse, Recycling, stoffliche bzw. energetische Verwertung und Beseitigung mit den Unterkategorien inert, nicht-gefährlich und gefährlich zugeordnet und zusätzlich als Balkendiagramm angezeigt. Ebenso werden die Ergebnisse nach Materialgruppen dargestellt, sowie eine Berechnung der anfallenden Deponiekosten ermöglicht [30, vgl.].

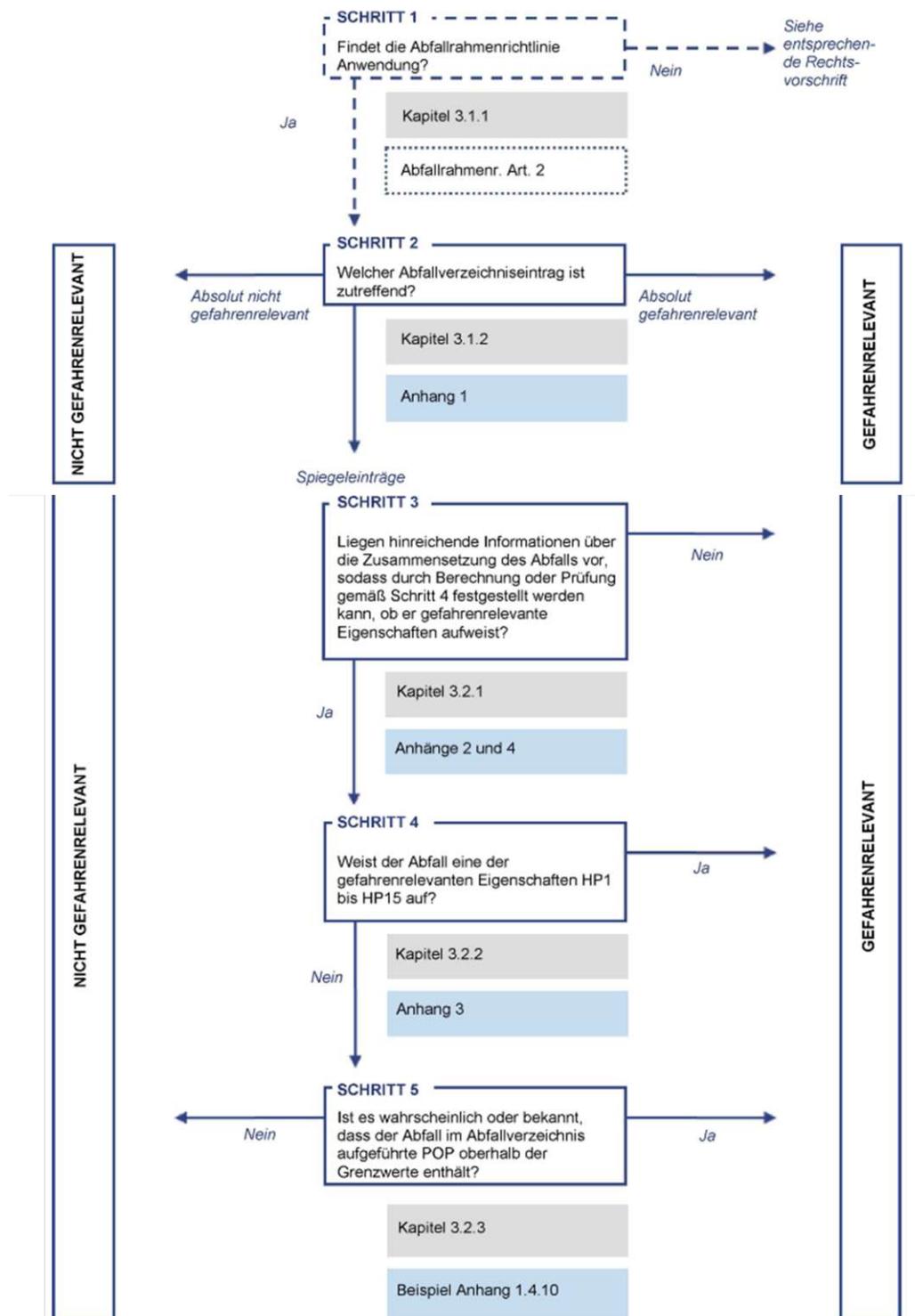


Abb. 3.1: Ablauf zur Einstufung anhand des Gefahrenpotenzials von anfallenden Baustoffen gemäß des Leitfadens zur Abfalleinstufung, Quelle: [29, vgl. S. 12-15]

3.2.3 Indikator 2.3 - Gestaltung zwecks Anpassbarkeit und Erneuerung

Ziel des Indikators ist die Anpassungsfähigkeit von Gebäuden an zukünftige Nutzungsänderungen zu verbessern. Dafür werden die Gebäudekonzepte mit einem sogenannten *Adaptability Score*

von maximal 100 Punkten bewertet. Die Bewertungskriterien unterscheiden sich für Büro- und Wohngebäude und entsprechen Entwurfsempfehlungen für die Bereiche Raumaufteilung, Haustechnik, Gebäudefassade und -struktur und werden in Abbildung 3.2 aufgeführt. Positiv bewertet

Änderung der internen Raumaufteilung		Änderungen an der Haustechnik im Gebäude		Änderungen an der Gebäudefassade, -struktur	
Stützenraster-abstände	flexiblere Grundrissgestaltung	Einfacher Zugang zu Haustechnikkanälen	Keine Einbettung in Gebäudestruktur	Nicht tragende Fassaden	Einfache Änderung der Innenaufteilung und äußerer Elemente
Fassadenmuster	Schmälere Laibungen → mehr interne Raumkonfiguration	Einfacher Zugang zu Technikräumen	Änderungen in Zukunft einfacher möglich	Zukunftssicherheit der Tragfähigkeit	Redundante Tragfähigkeit für zukünftige Änderungen in Lastzuständen
Innenwandsystem	Einfachere Änderung des Grundrisses	Längskanäle für Haustechniktrassen	Flexibilität bei Haustechnik-Anschlusspunkten	Struktureller Entwurf zur Unterstützung einer zukünftigen Erweiterung	z.B. ausreichend starke, vertikale Tragfähigkeit für zukünftige Aufstockungen
Größe der Einheiten	Gesonderter Zugang ermöglicht Untervermietung	Höhere Decken für Haustechniktrassen	Flexibilität bei Verlegung der Haustechnikleitungen		
		Haustechnikleitungen zu Unterteilungen	Ermöglicht Untervermietung von unterteilten Flächen		

Abb. 3.2: Darstellung der Bewertungskriterien (linke Spalte) für den Adaptability Score mit dazugehöriger Kurzerklärung (rechte Spalte), Quelle: [31, vgl. S. 9-10]

werden u.a. ein großer Stützenabstand, flexible Innenwandsysteme, einfach Zugänglichkeit zu haustechnischen Anlagen oder die Berücksichtigung zukünftiger Umnutzungen bzw. Erweiterungen im Tragwerksentwurf. Zusätzlich gibt es ein Punktesystem, welches die Umsetzung der einzelnen Kriterien bspw. nach Länge des Stützenabstandes bewertet. Das Endergebnis bildet dann der Adaptability Score als Summe der Kriterienbewertungen, welche jeweils noch mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert werden [31].

3.2.4 Indikator 2.4 - Entwurf für Rückbau

Der vierte Indikator stellt eine quantitative Bewertung des Gebäudeentwurfs hinsichtlich des Beitrags zu einer späteren Wiederverwendung bzw. -verwertung von Bauteilen dar. Die zu betrachtenden Kriterien werden in drei Kategorien unterteilt: einfache Rückgewinnung, einfaches Recycling und einfache Wiederverwendung. Für den konzeptionellen Entwurf (Ebene 1) wird eine Checkliste mit zu berücksichtigenden Entwurfsaspekten zur Verfügung gestellt. Diese umfasst für die einfache Rückgewinnung eine gute Zugänglichkeit und gute Trennbarkeit von Bauteil/-elementverbindungen und eine geringe Komplexität des Rückbaus einer Konstruktion. Zur einfachen Wiederverwendung tragen eine genaue Beschreibung von Elementen, der Einsatz von Bauteilen mit genormten Maßen, die Verwendung modularer Haustechnik, sowie die Anpassungsfähigkeit des Gebäudes/verbauter Teile an die gleiche oder eine andere zukünftige Nutzung bei. Einfaches Recycling wird durch leicht zu trennende Bauteile aus homogenen bzw. gut miteinander kompatiblen Materialien und der Zuführung zu funktionsfähigen Recyclingprozessen unterstützt. Um die Kriterien in einem Bewertungsscore abbilden zu können, wird für Ebenen 2 und 3 das Excel-Tool *Design for deconstruction Calculator* zur Verfügung gestellt. Als Input-Daten können die eingegebenen Werte zur Massenermittlung bei Bearbeitung von Indikator 2.1 übernommen werden. Ergänzt wird der Parameter Zirkularität, wobei aus acht Punkten ausgewählt werden kann:

- Wiederverwendung (direkt)
- Wiederverwendung (Vorbereitung zur)
- Recycling (sortenrein)
- Recycling (gemischt)
- Wiederverwertung (stofflich)
- Wiederverwertung (energetisch)
- Deponie (inert, nicht-gefährlich)
- gefährliche Abfälle

Entsprechend des gewählten Zirkularität-Szenarios wird automatisch ein Zirkularitätsfaktor zugewiesen, der mit der Bauteilmasse bzw. dem Bauteilpreis multipliziert den Zirkularitäts-Score nach Masse bzw. Wert ergibt. Das Endergebnis bildet der übergeordnete Zirkularitäts-Score als prozentualer Anteil des Zirkularitäts-Scores für die Masse bzw. den Wert zur insgesamten Masse bzw. dem insgesamten Wert für das Projekt. Alternativ kann dieser Indikator mit der Ausarbeitung des DGNB-Kriteriums TEC 1.6 bearbeitet werden, welches im nächsten Abschnitt näher betrachtet wird [32, vgl.].

3.3 DGNB

Die deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) gründete sich 2007 und bildet als Non-Profit-Organisation ein europaweites Netzwerk für nachhaltiges Bauen [33]. Ziel der Organisation ist die Veränderung der Baubranche hin zu nachhaltigen und klimagerechten Bauweisen unter Berücksichtigung einer erhaltenen Wirtschaftlichkeit zu unterstützen. Um dies zu erreichen, hat die DGNB ein eigenes Zertifizierungssystem entwickelt, welches Bauprojekte anhand von 37 Kriterien in fünf Kategorien hinsichtlich der Nachhaltigkeit bewertet. Die fünf Kategorien berücksichtigen neben den drei klassischen Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziokulturelles) zusätzlich die technische, Prozess- und Standortqualität eines Bauwerks mit der nachfolgend aufgelisteten Gewichtung:

- Ökologische Qualität (22,5%)
- Ökonomische Qualität (22,5%)
- Soziokulturelle Qualität (22,5%)
- Technische Qualität (12,5%)
- Prozessqualität (12,5 %)
- Standort (5 %)

Je nach Nutzungstyp und Phase des Projektes stehen entsprechend Kriterienkataloge zur Verfügung. So ist die Zertifizierung von Neu- oder Bestandsbauten, Innenausbau, ganzen Quartieren oder auch der Baustelle möglich. Je nach erreichter Gesamtpunktzahl kann das Bauprojekt ein Zertifikat von Bronze bis Platin erreichen.

Der DGNB-Kriterienkatalog in der Version von 2018 berücksichtigt Beiträge zur Kreislauffähigkeit im Bauwesen mit den sogenannten *Circular Economy Boni*. Dazu zählen 12 Aspekte, die

verschiedenen Kriterien angehören und bei Erreichen mit einer zusätzlichen Punktzahl von 5 bis 20 Punkten belohnt werden. Dies schafft auch in Bereichen, die nicht direkt die Thematik Kreislaufwirtschaft behandeln, Anreize diese durch geeigneten Maßnahmen zu unterstützen. Im Gegensatz zu anderen Kriterien, wie bspw. ENV2.3 - Flächeninanspruchnahme oder PRO2.1 - Baustelle/Bauprozess, beschäftigt sich das Kriterium TEC1.6 - Rückbau und Recyclingfreundlichkeit ausschließlich mit der Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes. Daher wird im Nachgang nur dieses Kriterium detaillierter vorgestellt, auch wenn andere Kriterien ebenfalls einzelne Punkte zur Bewertung kreislauffähiger Gebäude aufweisen [34, S. 20 - 22].

3.3.1 Kriterium TEC1.6 - Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit

Nach dem DGNB-System wird die Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit zu den technischen Qualitäten eines Gebäudes gezählt und geht mit einem minimalen Anteil von 3 % für Wohngebäude und einem maximalen Anteil von 3,5 % für gewerbliche Bauten in die Gesamtbewertung ein. Übergeordnete Ziele nach den SDGs und der dt. Nachhaltigkeitsstrategie sind ein schonender Umgang mit den vorhandenen Ressourcen auf globaler Ebene, den Einsatz natürlicher Ressourcen, die Minimierung von Abfall sowie eine umweltverträgliche Handhabung von Chemikalien und Abfällen. Daraus ergeben sich drei Indikatoren zur Bewertung eines Gebäudes [34, S. 556]:

1. Recyclingfreundliche Baustoffe
2. Rückbaufreundliche Konstruktionen
3. Rückbaubarkeit, Umbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit in der Planung

Bei recyclingfreundlichen Baustoffen ist zu beachten, dass sie keine Materialanteile enthalten, die diese Fähigkeit einschränken. Negativ wirken sich deshalb im Material verbleibende Verbindungsmaterialien aus, die die Recyclingfähigkeit herabsetzen. Ebenfalls ungünstig zu bewerten sind Anstriche, Anhaftungen oder Beimischungen, die das zu recycelnde Material dauerhaft verunreinigen, wobei auch gesundheitsschädliche Stoffe eingetragen werden können. Positiv beurteilt wird die Vermeidung von nicht zwingend notwendigen, sowie der Einsatz von wiederverwerteten Bauteilen. In der Bewertung wird dies über die End-of-Life-Szenarien der Bauteile und einer Zuordnung zu einer dem Verwertungsweg entsprechenden Qualitätsstufe (QS) abgebildet. Deponierung und Entsorgung gefährlicher Abfälle weisen mit QS 0 die geringste Qualität auf. Verfüllung oder energetische Verwertung bilden QS 1. QS 2 umfasst die stoffliche Verwertung innerhalb oder außerhalb des Hochbaus oder Kompostierbarkeit der Materialien. Zusätzliche Punkte gibt es über die Circular Economy Boni für den Einsatz wiederverwendeter bzw. wiederverwendbarer Bauteile, sowie für eine Minimierung benötigter Bauteile.

Ein weiterer Aspekt ist die sortenreine Trennung der Materialien durch leicht demontierbare Konstruktionen. Begünstigend wirkt sich also eine Konstruktion aus, durch welche die beschädigungsfreie Entnahme ganzer Bauteile zur Wiederverwendung möglich ist. Um dies zu gewährleisten sollte der Einsatz von recyclingfreundlichen Materialien, sowie die Rückbaufähigkeit des Bauwerks bereits ab frühen Planungsphasen berücksichtigt werden.

Für die Indikatoren 1 und 2 können jeweils maximal 45 Punkte erreicht werden. Bewertet werden Regelbauteile (RBT), die den Kategorien der Kostengruppe 300 gemäß DIN 276 zugeordnet werden, nach den Parametern Recyclingfreundlichkeit und Rückbaufreundlichkeit. Das Kriterium wird erfüllt, wenn mindestens 60 % der Regelbauteile Qualitätsstufe 1 aufweisen. Die maximale Punktzahl wird erreicht, wenn mindestens 60 % der Regelbauteile Qualitätsstufe 2 zugeordnet werden können.

Indikator 3 weist eine Maximalpunktzahl von 10 Punkten auf, welche zu jeweils 5 Punkten für die Berücksichtigung von Bewertungsmethoden der Rückbaubarkeit und Recyclingfreundlichkeit

in frühen Planungsphasen (LP 1-3) bzw. in der Genehmigungs- und Ausführungsplanung (LP 4-5) vergeben werden.

Wie bereits im Abschnitt zum EU - Rahmenwerk Level(s) angemerkt, gibt es Überschneidungen der beiden Systeme, weshalb einige Punkte des TEC1.6 - Kriteriums ebenso für eine Berichterstattung nach Level(s) ausreichen. Dazu gehören festgelegte KPIs, wie z.B. die Dokumentation von Maßnahmen zu kreislauffähigeren Gebäuden, der Einsatz eines Materialpasses oder die erreichten Anteile an recycling- bzw. rückbaufreundlichen Bauteilen.

Um die Berechnung zu vereinfachen stellt der DGNB ein Excel-Tool zum TEC1.6 - Kriterium zu Verfügung. Input-Daten sind dafür die Aufbauten der bereits erwähnten Regelbauteile auf dritter Ebene der Kostengruppe, sowie die vorhandenen Bauteilmassen. Für jede Bauteilschicht können dann die Verbindungsmittel zur benachbarten Schicht, mögliche enthaltenen Schad- oder Risikostoffe und die Qualitätsstufe eingegeben werden. In einem separaten Auswertungsblatt werden dann die berechneten Ergebnisse für die Indikatoren 1 und 2 dargestellt [34, vgl. S. 556-573].

3.3.2 Vergleich der Versionen 2018 und 2023 hinsichtlich der Bewertung der Kreislauffähigkeit

Im Juli 2023 veröffentlichte die DGNB eine neue Fassung der Zertifizierungssysteme. Grund für die Überarbeitung war auf aktuelle Entwicklungen in den Bereichen Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und Klimaschutz einzugehen. Berücksichtigt werden dabei auch bestehende Anforderungen/ Anregungen aus den SDGs, der EU-Taxonomie, dem EU-Berichtsrahmen Level(s) und dem Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude (QNG). Über den Kriterien beigefügte Icons können Überschneidungen mit den vier genannten Systemen erkannt werden. Allgemeine Änderungen umfassen z.B. die Änderung der Gewichtung der fünf Kategorien mit stärkerer Gewichtung der drei Nachhaltigkeitssäulen oder die Erweiterung zu erfüllender Mindestanforderungen. Die Anzahl der Kriterien hat sich von 37 auf 29 verringert, wobei Kriterien thematisch zusammengeführt wurden oder entfallen [35]. Ein Beispiel stellt das Kriterium TEC1.6 dar, welches unter dem neuen Namen *Zirkuläres Bauen* neue Anforderungen erfasst. Anteilig geht es im neuen System mit 3,3 % etwas höher für Arbeits-, Büro- oder Wohngebäude, mit 3,0 % etwas geringer für Industrie- und gewerbliche Bauten in die Bewertung mit ein. Es besteht weiterhin aus drei Indikatoren, welche nun wie folgt benannt werden:

1. Standort- und Bestandsanalyse und vorangehender (Teil-)Rückbau
2. Zirkuläres Bauen - Konzeptionsphase
3. Zirkuläres Bauen - Ausführung und Dokumentation

Als Mindestanforderung müssen 20 Punkte im Kriterium erreicht werden oder eine Rückbauanleitung ausgearbeitet werden, um die Berücksichtigung zirkulärer Aspekte in Planung und Ausführung nachzuweisen. Die Bewertung wird für Projekte ohne und mit Rückbau unterschieden. Indikator 1 umfasst die Analyse des Bestands/ Standorts mit Fokus auf der Nutzung lokal vorhandener Ressourcen und dem Bestandserhalt. Weitere Punkte berücksichtigen den Rückbauprozess, welcher detailliert begründet, geplant und dokumentiert werden muss, um eine weiterführende Verwendung der rückgebauten Teile zu gewährleisten. Zusätzlich bietet die DGNB ein Rückbauzertifikat an, welches ressourcen- und materialbezogene Indikatoren bewertet. Der zweite Indikator betrachtet die Einbeziehung zirkulärer Aspekte in der Planungsphase. Positiv wirken sich das Setzen zirkulärer Ziele und die Implementierung kreislauffähiger Entwurfskonzepte in die frühe, sowie auch die Genehmigungs- und Ausführungsplanung aus. Im dritten

Indikator liegt der Schwerpunkt auf der Kreislauffähigkeit in der Ausführung und einer entsprechenden Dokumentation. Es wird der Gebäuderessourcenpass eingeführt, in welchem alle aktuell geleisteten Beiträge, sowie Informationen zur zukünftigen Kreislauffähigkeit eines Bauwerks gesammelt werden. Für die Ausführung und Dokumentation sind umgesetzte Beiträge zu einem kreislauffähigen Gebäude relevant, wie der Anteil verbauter, kreislauffähiger Bauprodukte oder die Erfüllung der in der Planungsphase festgelegten Ziele. Die Ausarbeitung einer Umnutzungs-, Umbau- und Rückbauanleitung zählt ebenfalls zu Indikator 3.

Insgesamt können für Projekte ohne Rückbau 120 Punkte, für Projekte mit Rückbau 125 Punkte erreicht werden, wovon höchstens 100 Punkte in die Gesamtbewertung eingehen können. Zusätzliche 55 Punkte können über Circular Economy Boni für die Bestandserhaltung und den Einsatz rückgebauter Elemente/ Materialien vor Ort innerhalb des 1. Indikators bzw. für die Wiederverwendung von Materialien, Vermeidung von Schadstoffen oder gemischten Materialien, zirkuläre Baukonstruktionen, sowie ein insgesamt zirkuläres Bauwerk und die Berechnung eines aggregierten Zirkularitätsindex für Indikator 3 erreicht werden. Die Verwendung des TEC1.6-Tools ist durch die geänderten Anforderungen nicht mehr notwendig. Die Berechnung eines Zirkularitätsindex wird als Bonus bewertet und kann mit selbstgewählten Tools, die der bereitgestellten Methode entsprechen, berechnet werden [36, vgl. S. 496-503].

3.4 LEED

Das Zertifizierungssystem *Leadership in Energy & Environmental Design (LEED)* wurde im Jahr 1998 vom *U.S. Green Building Council*³ zuerst für den Bereich Neubau entwickelt. Basierend auf den gesammelten Erfahrungen der ersten Veröffentlichung entwickelte der USGBC nachfolgende Versionen, die inhaltlich angepasst und um weitere Kategorien ergänzt wurden [37]. Der aktuelle Stand der LEED-Zertifizierung unterscheidet sechs Bereiche mit jeweils einzelnen Kriterienkatalogen:

- Building Design and Construction (BD+C)
- Interior Design and Construction (ID+C)
- Building Operations and Maintenance (O+M)
- Neighborhood Development (ND)
- Homes
- Cities

Die jeweiligen Bereiche werden getrennt für unterschiedliche Nutzungstypen bewertet, wobei nicht für alle Bereiche alle Nutzungstypen verfügbar sind. Ziel des LEED-Zertifizierungssystems ist einen positiven Einfluss auf ein Bauwerk über seinen gesamten Lebenszyklus auszuüben, indem in den Bereichen festgelegte Kriterien als Anreize für eine nachhaltigere Bauweise fungieren. Gleichzeitig wurde von Beginn an die wirtschaftliche Perspektive mitgedacht, mit dem Bestreben einen Wettbewerbsvorteil für LEED-zertifizierte Gebäude zu schaffen. Das LEED-System basiert auf sieben definierten Zielen mit den Überbegriffen Klimawandel, menschliche Gesundheit, Wasserressourcen, Biodiversität, Materialressourcen, grüne Wirtschaft und Gemeinschaft. Daraus ergeben sich für die Kriterienkataloge insgesamt 9 Kategorien, die jeweils mehrere Kriterien

³Der U.S. Green Building Council (USGBC) ist eine 1993 von Rick Fedrizzi, David Gottfried und Mike Italiano gegründete Organisation in den USA. Ziel des USGBC ist durch einen branchenumfassenden Austausch relevante Kriterien für die Planung und den Bau umweltfreundlicher Bauwerke zu entwickeln. [37]

umfassen: *Integrative Process, Location and Transportation (LT)*, *Sustainable Sites (SS)*, *Water efficiency (WE)*, *Energy and Atmosphere (EA)*, *Materials and Resources (MR)*, *Indoor Environmental Quality (EQ)*, *Innovation (IN)*, *Regional Priority (RP)*. Um eine Zertifizierung einreichen zu können, müssen drei Mindestanforderungen erfüllt sein. Diese umfassen die dauerhafte Errichtung des Gebäudes auf bereits bestehendem Grund, eine sinnvolle Wahl der Systemgrenze für den Zertifizierungsprozess und die passende Projektgröße entsprechend der gewünschten Zertifizierung. Zusätzlich gibt es weitere Voraussetzungen in den verschiedenen Kategorien, die für jedes eingereichte Projekt erfüllt sein müssen. Pro Kriterium kann dann eine festgelegte Anzahl an Punkten erreicht werden, die in Summe je nach Erfüllungsgrad und Gewichtung im Gesamtsystem zum Endergebnis der Zertifizierung führen.

			
Platinum	Gold	Silver	Certified
80+ points earned	60-79 points earned	50-59 points earned	40-49 points earned

Abb. 3.3: Die erreichbaren Stufen der LEED-Zertifizierung mit zugehöriger Mindestpunktzahl dargestellt. Quelle: [38]

Die verschiedenen Zertifizierungsstufen *Zertifiziert*, *Bronze*, *Silber*, *Gold* und *Platin* werden in 3.3 mit zugehöriger Mindestpunktzahl aufgeführt und verdeutlichen den Beitrag des Bauwerks zum Erreichen der sieben Ziele [39, vgl. S. 4-6]. Folglich wird das zu Grunde liegende Ziel schneller erreicht, desto höher die erreichte Punktzahl in den dazugehörigen Kriterien ist. In der aktuellen Version LEED v4.1 entfallen

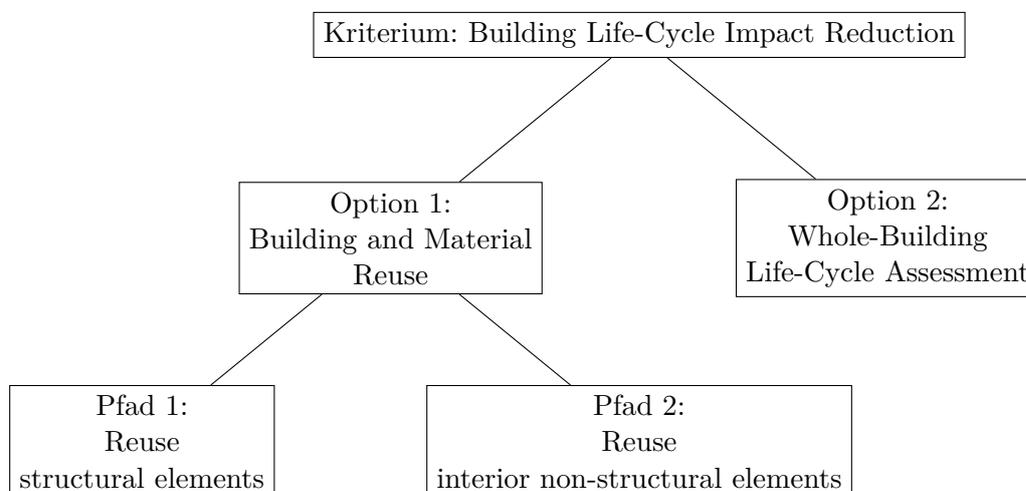
- 35% der Kriterien auf das Ziel, dem Klimawandel entgegenzuwirken
- 20% der Kriterien auf das Ziel, einen positiven Beitrag zur menschlichen Gesundheit zu liefern
- 15% der Kriterien auf das Ziel eines schonenden Umgangs mit Wasserressourcen
- 10% der Kriterien auf das Ziel, die Biodiversität zu erhalten und zu steigern
- 10% der Kriterien auf das Ziel einer grünen Wirtschaft
- 5% der Kriterien auf die Ziele schonender Umgang mit natürlichen Ressourcen und positiver Beitrag zur Gemeinschaft

[38]. Die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes wird im LEED-System betreffend der verwendeten Materialien und des Abfallmanagements bewertet. In der Kategorie *Materials and Resources (MR)* berücksichtigen die Kriterien *Building Life-Cycle Impact Reduction*, *Responsible Sourcing of Raw Materials* und *Construction and Demolition Waste management* Aspekte der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes. Nachfolgend werden die einzelnen Kriterien nach der aktuell ausgegebenen Beta-Version 4.1 des Kriterienkatalogs Building Design and Construction (BD+C) detaillierter vorgestellt.

3.4.1 MR C1 - Building Life-Cycle Impact Reduction

Das Kriterium zielt auf die Reduktion der Umweltauswirkungen eines Projektes durch die Wiederverwendung von Gebäuden bzw. Bauteilen oder dem Aufzeigen von Optimierungspotential durch eine LCA ab. In der neuen Version LEED v4.1 wurden die ehemals vier Nachweisooptionen in zwei

mögliche Nachweisooptionen zusammengefasst, welche in nachfolgendem Diagramm dargestellt werden:



Option 1 behandelt die Wiederverwendung von bestehenden Gebäuden bzw. Bauteilen im geplanten Projekt. Dabei wird nochmals zwischen der Wiederverwendung von tragenden und nichttragenden Elementen unterschieden, welche jedoch für die weitere Berechnung kombiniert werden können. Als wiederverwendete Elemente zählen z. B. die bestehende Gebäudestruktur, bereits vorhandene Bauteile im Gebäude oder von außen zugeführte Reuse-Bauteile. Tragende Elemente umfassen Wände, Decken, Dach und Gebäudehülle, jedoch ohne Fenster, nichttragende Dachmaterialien und unsichere bzw. Mensch- und Umweltgefährdende Bauteile. Als nichttragende Elemente kann der gesamte Innenausbau, wie z. B. nichttragende Innenwände, Bodenbeläge oder Deckensysteme, einfließen. Des Weiteren werden in diesem Kriterium nur Bauteile einbezogen, welche die gleiche Funktion wie vorher ausführen. Die eingehenden Bauteile werden für die Berechnung über ihre anteilige Fläche im Vergleich zur Gesamtfläche der jeweiligen Bauteilgruppe berücksichtigt. Die folgende Formel gilt jeweils für die Betrachtung von tragenden und nichttragenden Elementen:

$$\text{Existing building reuse} = \frac{\text{area reused onsite} + \text{area reused offsite}}{\text{existing building area}} * 100 \quad (3.1)$$

Der erreichte prozentuale Anteil entscheidet dann über die Anzahl an Punkten, die vergeben wird. Für Pfad 1 können maximal 5 Punkte erreicht werden, mit einem Wiederverwendungsanteil von mehr als 75 %. Für Pfad 2 kann maximal 1 Punkt erreicht werden, mit einem Wiederverwendungsanteil von mindesten 30 %.

Option 2 bewertet die Reduktion von verschiedenen Parametern innerhalb einer Ökobilanzierung des gesamten Gebäudes. Es stehen vier Pfade für die Nachweisooption zur Verfügung.

- Pfad 1: Durchführen der Ökobilanz ohne Reduktion von Kennzahlen (1P)
- Pfad 2: Durchführen der Ökobilanz und Reduktion GWP und mind. 2 weiterer Kennzahlen um 5% (2P)
- Pfad 3: Durchführen der Ökobilanz und Reduktion GWP und mind. 2 weiterer Kennzahlen um 10% (3P)

- Pfad 4: Durchführen der Ökobilanz und Reduktion GWP und mind. 2 weiterer Kennzahlen um 20% + Verwendung von Reuse-Bauteilen/des Bestands (4P)

Für die Durchführung der Ökobilanz muss die Systemgrenze die Lebenszyklusphasen A bis D umfassen. Maximal können 4 Punkte, durch das Erfüllen der Anforderung aus Pfad 4 erreicht werden.

Durch Kombination von Option 1 und Option 2 ist es möglich, mehr als insgesamt 5 Punkte für das Kriterium zu erreichen [40, vgl. S. 168-176].

3.4.2 MR C3 - Responsible Sourcing of Raw Materials

Das Kriterium schafft den Anreiz gesunde, umweltverträgliche und sozial verantwortlich hergestellte Materialien im Bauprojekt einzusetzen. Berücksichtigt werden alle Materialien, die dauerhaft im Gebäude verbaut werden. Diese Bauprodukte müssen von insgesamt fünf verschiedenen Herstellern bezogen werden, die jeweils mindestens einer von fünf Anforderungen entsprechen. Der Aspekt Kreislauffähigkeit wird in den Anforderungen *Materials reuse* und *Recycled content* abgebildet. *Materials Reuse* umfasst zurückgewonnene, aufbereitete und wiederverwendete Materialien. *Recycled Content*-Materialien, weisen einen Anteil rezyklierte Bestandteile auf. Der Recyclinganteil setzt sich dabei aus 100 Prozent des Post-Consumer und 50 Prozent des Pre-Consumer-Anteils nach Gewicht zusammen.

Der Nachweis des Kriteriums erfolgt über die Berechnung des prozentualen Anteils für die berücksichtigten Baustoffe an den Gesamtkosten mit Gewichtungsfaktoren, je nach Materialgruppe und Beschaffungsweg (siehe 3.4).

$$\% \text{ of materials cost} = \frac{\left\{ \left(\begin{array}{c} \text{applicable} \\ \text{product} \\ \text{cost}_1 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{criterion}_1 \\ \text{valuation} \\ \text{factor} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{location} \\ \text{valuation} \\ \text{factor} \end{array} \right) \right\} + \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{applicable} \\ \text{product} \\ \text{cost}_2 \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{criterion}_2 \\ \text{valuation} \\ \text{factor} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{location} \\ \text{valuation} \\ \text{factor} \end{array} \right) \right\} + \dots}{\text{Cost of all permanently installed products}} \times 100$$

Abb. 3.4: Gleichung zur Berechnung des prozentualen Anteils der berücksichtigten Bauteilkosten an den Gesamtkosten. Quelle: [40]

Reuse-Materialien werden in der Berechnung mit dem Faktor 2, Materialien mit Recycling-Anteil mit dem Faktor 0,5 (Industrieabfälle)-1 (Siedlungsabfälle) berücksichtigt. Im Endergebnis können insgesamt 1 Punkt beim Erreichen von mindestens 15% der Gesamtkosten und 2 Punkte bei mindestens 30% der Gesamtkosten für dauerhaft verbaute Materialien erreicht werden [40, vgl. S. 186-189].

3.4.3 MR C9 - Construction and Demolition Waste Management

Das Kriterium adressiert die Stärkung der Kreislaufwirtschaft durch Schließen der Abfallkreisläufe im Bereich Bau- und Abbruchmaterialien. Die Zielsetzung ist vorrangig durch die Vermeidung von entstehendem Abfall bzw. der Wiederverwendung von anfallenden Abfallmaterialien weniger Abfall deponieren zu müssen. Dazu ist die genaue Erfassung aller relevanten Abfalldaten über den gesamten Planungs- und Bauprozess notwendig. Gefährlicher Abfall und Bodenaushub werden dabei nicht mit berücksichtigt. In einem Abfallmanagementplan wird die geplante Vermeidung von zu deponierendem Abfall dokumentiert. Für die Bewertung muss der Verbleib der jeweiligen

Abfallmengen nachgewiesen werden, um den prozentualen Anteil des nicht deponierten Abfalls erfassen zu können. Werden mindesten 50% des Abfalls nicht deponiert, wird ein Punkt erreicht. Zwei Punkte werden bei Abfallvermeidung durch Wiederverwendung und Vermeidung vor Entstehen erreicht. Dabei müssen mindestens 50 % aller Renovierungs- und Abbruchabfälle (falls vorhanden) umgelenkt werden. Zusätzlich dürfen weniger als 50 kg/m² an Abfallmaterialien aus neuen Bauaktivitäten stammen [40, vgl. S. 211-217].

3.5 BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) wurde 1990 initiiert von der BRE Group ⁴ in Großbritannien eingeführt. Ebenso wie in bisher vorgestellten Systemen gibt es je nach Nutzung angepasste Kriterienkataloge. In der Bewertung werden eine Vielzahl von Kriterien berücksichtigt, die in neun Hauptkategorien unterteilt sind:

- Gesundheit und Wohlbefinden
- Energie
- Transport
- Wasser
- Materialien
- Abfall
- Landnutzung und Ökologie
- Verschmutzung

Für jede Kategorie werden Punkte vergeben, und je nach erreichter Punktzahl wird das Gebäude mit der erreichten Bewertung "Pass", "Good", "Very Good", Excellent oder Outstanding ausgezeichnet [42]. Aspekte der Kreislauffähigkeit eines Bauwerks werden im BREEAM-Kriterienkatalog als eigene Kategorie *Abfall* mit mehreren dazugehörigen Kriterien aufgeführt. In der Kategorie werden das Abfallmanagement über den Lebenszyklus des Gebäudes, die Anpassungsfähigkeit an spätere Nutzung und den Klimawandel, sowie Möglichkeiten zur Abfallreduktion behandelt. Außerhalb der Kategorie Abfall wird der Einsatz von Recyclingmaterialien im Kriterium Materialeffizienz (Kategorie Materialien) aufgefasst. Nachfolgend werden die relevanten Kriterien, sowie die entwickelte BREEAM- Zirkularitätsstrategie detaillierter erläutert.

3.5.1 Kriterium Wst01 - Bauabfallwirtschaft

Ähnlich zum Kriterium *Construction and Demolition Waste Management* aus der LEED-Zertifizierung wird ein ressourcenschonendes Abfallmanagement angestrebt. Ziel ist Abfälle insgesamt bzw. den zu deponierenden Anteil zu reduzieren. Es können insgesamt 3 Punkte erreicht werden. Dazu müssen Zielwerte für die anfallende Abfallmenge festgelegt werden und Verfahren für deren Einhaltung eingesetzt werden. Zusätzlich ist eine Analyse des bestehenden

⁴BRE steht für *Building Research Establishment* und ist als BRE Group eine Profit-for-Purpose-Organisation, die zu nachhaltigen und innovativen Lösungen in der Baubranche forscht. Die Organisation bietet neben dem BREEAM-Zertifikat unter anderem Fortbildungen und Beratung zu verschiedenen Themenfeldern im Bereich Nachhaltigkeit und Digitalisierung im Bauwesen an. [41]

Gebäudes bzw. der bestehenden Bauteile durchzuführen, um den Zustand zu evaluieren. Darauf aufbauend kann ein angepasster Wiederverwendungs- bzw. Wiederverwertungsplan erstellt werden. Die anfallenden Bauabfall- und Abbruchmengen werden in m^3 pro 100m^2 Gebäudenutzfläche erfasst. Werden die eben beschriebenen Punkte eingehalten wird ein Punkt erreicht, bei Verwertungsverfahren für mindestens fünf Materialgruppen ein weiterer Punkt. Ein dritter Punkt wird erreicht, wenn nach Volumen mindestens 50 % der Bauabfälle und 60 % der Abbruchabfälle nicht deponiert werden und einem der nachfolgenden Verwertungswege zugeführt werden können. Als mögliche Verwertungswege werden anerkannt:

- Wiederverwendung des Materials auf der Baustelle (auch auf anderen Baustellen)
- Verwertung des Materials zur Wiederverwendung
- Rückgabe des Materials an den Lieferanten über ein „Rücknahme“-System
- Entsorgung des Materials von der Baustelle durch einen akkreditierten Entsorgungsdienstleister (Recycling oder energetische Verwertung)

BRE stellt zusätzlich das Tool Smartwaste zur Verfügung, um bei der Definition und Überwachung der gesetzten Zielwerte zu unterstützen [43, vgl. S. 275-281].

3.5.2 Kriterium Wst02 - Recycelte Zuschlagstoffe

Ziel des Kriteriums ist erneut ein sorgsamer Umgang mit Ressourcen durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen. Werden mindestens 25 % der Zuschlagstoffe im Projekt durch recycelte oder sekundäre Zuschlagstoffe ersetzt, wird ein Punkt erreicht. Beträgt der Anteil über 50 % und wurden die Zuschlagstoffe weniger als 30 km zur Baustelle transportiert, kann ein zusätzlicher Punkt im Bereich Innovation vergeben werden. Die Unterteilung in recycelte und sekundäre Zuschlagstoffe wird im Kriterienkatalog genauer beschrieben und umfasst eine Liste dafür zugelassener Sekundärrohstoffe [43, vgl. S. 282-285].

3.5.3 Kriterium Mat06 - Materialeffizienz

Außerhalb der Kategorie Abfall wird der bedachte Einsatz von Ressourcen im Kriterium *Materialeffizienz* aufgegriffen. Das Kriterium setzt einen Anreiz eingesetzte Materialien hinsichtlich ihres Ressourcenverbrauches zu optimieren und damit auch anfallende Abfallmassen zu reduzieren. Positiv bewertet wird der Einsatz weniger Materialien, sowie von wiederverwendeten Bauteilen und ein erhöhter Anteil an Recycling- und Sekundärstoffen. Insgesamt kann ein Punkt für die Materialeffizienz durch die Umsetzung geeigneter Maßnahmen über den gesamten Lebenszyklus erreicht werden [43, vgl. S. 270-273]

3.5.4 Die BREEAM Zirkularitätsstrategie

Zusätzlich zu den bestehenden Kriterien arbeitet die BREEAM Circularity Technical Working Group an einer Grundlage für zukünftige Kriterien zur Bewertung der Kreislauffähigkeit. Die bisher veröffentlichte *BREEAM Circularity Strategy* weist drei Prinzipien auf, die in Abbildung 3.5 grafisch dargestellt werden und nachfolgend näher erläutert werden [44].

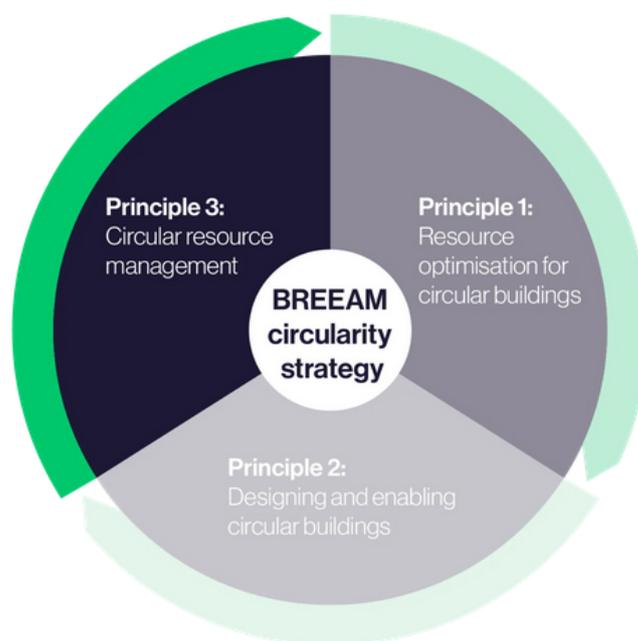


Abb. 3.5: Grafische Darstellung der drei Prinzipien für die BREEAM Circularity Strategy [44]

Optimising resource use

Das erste Prinzip zielt auf Maßnahmen zum verantwortlichen Umgang mit Ressourcen ab, welche besonders in frühen Planungsphasen berücksichtigt werden sollen. Designentscheidungen sollen hinsichtlich eines optimierten Ressourcenverbrauchs und der damit zusammenhängenden Umwelteinwirkungen getroffen werden. Ebenso sollen Materialien nach dem Grad der verantwortungsvollen Beschaffung und der Materialgesundheit bewertet werden. So soll die anfallende Abfallmenge reduziert bzw. eine Wiederverwendung/ -verwertung durch den Einsatz nicht toxischer Materialien gesichert werden. Definierte Zielwerte für den Anteil an wiederverwendeten/ -verwerteten Materialien sollen den bevorzugten Einsatz zu Primärrohstoffen sicherstellen [45].

Designing and enabling circular buildings

Nach der Auswahl entsprechender Materialien beschäftigt sich das zweite Prinzip mit der kreislauffähigen Gestaltung von Bauwerken über den gesamten Lebenszyklus. Dabei werden als wichtige Kriterien Materialgesundheit, Anpassungsfähigkeit, Flexibilität, Austauschbarkeit, Trennbarkeit der Produkte, Rückbaubarkeit und Wartungsfreundlichkeit genannt. Bauteile sollen durch Berücksichtigung der Kriterien optimal über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes genutzt werden. Der weiterführende Einsatz der verbauten Materialien soll über Reuse-Konzepte mitbedacht und so auch neue zirkuläre Geschäftsmodelle in diesem Bereich gestärkt werden [46].

Circular resource management

Das dritte Prinzip konzentriert sich auf den Materialfluss, dessen Management und Dokumentation. Der Fokus liegt auf den Lebenszyklusphasen Bauphase, Betrieb und Abriss für welche jeweils eigene Maßnahmen formuliert werden. So sollte vor dem Abbruch ein Audit durchgeführt werden, um einen hochwertigen Rückbau planen zu können. Während dem Bau sollte besonders auf das Management und die Logistik der benötigten und anfallenden Materialien geachtet werden. Zielwerte sollen als Anreiz für den Einsatz wiederverwendeter/ -verwerteter Materialien und den sorgsamem Umgang mit Materialüberschuss definiert werden. Über den Zeitraum des

Gebäudebetriebs sollen die Nutzer dann die Möglichkeit haben, anfallende Abfälle für ein späteres Recycling ordnungsgemäß zu trennen [47].

3.6 BNB

Das Zertifizierungssystem BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen) geht aus dem Deutschen Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen hervor, welches von der DGNB und dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) gemeinsam entwickelt wurde. Im Jahr 2009 wurde es zugeschnitten auf die Anforderungen an Bundesbauten in Deutschland eingeführt, für welche es auch verbindlich anzuwenden ist. Es liegen Kriterienkataloge für die Nutzungstypen Büro- und Verwaltungsgebäude, Unterrichtsgebäude, Laborgebäude und Außenanlagen vor [48]. Wie auch bei der DGNB-Zertifizierung werden die Kriterien sechs Hauptkriteriengruppen zugeordnet:

- Ökologische Qualität (22,5%)
- Ökonomische Qualität (22,5%)
- Soziokulturelle Qualität (22,5%)
- Technische Qualität (22,5%)
- Prozessqualität (10%)
- Standortmerkmale (werden gesondert betrachtet)

Die einzelnen Kriterien werden innerhalb der Hauptkriteriengruppe nochmals durch einen Bedeutungsfaktor von 1-3 gewichtet. Dies geschieht je nach Relevanz für den Beitrag zu im Leitfaden für Nachhaltiges Bauen festgelegten Schutzziele. Für eine erfolgreiche Zertifizierung müssen alle Kriterien bearbeitet und für jedes Kriterium muss ein Mindesterfüllungsgrad von 10% erreicht werden. Wie bereits in der Aufzählung oben ersichtlich, werden Standortmerkmale gesondert betrachtet und fließen nicht in die Bewertung mit ein. Je nach erreichtem Erfüllungsgrad bzw. Note kann ein Zertifizierungszertifikat in Bronze, Silber oder Gold erreicht werden [48].

Hinsichtlich der Kreislauffähigkeit von Gebäuden wird das BNB-System in der vorliegenden Arbeit vorgestellt, da der in Österreich vom IBO⁵ entwickelte Entsorgungsindikator in den Kriteriensteckbrief 4.1.4 *Rückbau, Trennung und Verwertung* miteingeflossen ist. Das IBO begleitete die Entwicklung des Kriteriensteckbriefes von Beginn an und ist auch weiterhin in die Prüfung durch Pilotprojekte, sowie die Weiterentwicklung und Anbindung an ein digitales LCA-Tool eingebunden [50]. Neben dem Kriterium 4.1.4 werden Aspekte der Kreislauffähigkeit zusätzlich in den Kriteriensteckbriefen 5.1.3 *Komplexität und Optimierung der Planung* im Punkt Umbaubarkeits-, Rückbau- und Recyclingkonzept und 5.2.1 *Baustelle/ Bauprozess* im Punkt wertstoffoptimierte Baustelle aufgefasst. Außerdem werden die Umweltauswirkung einer Wiederverwendung bzw. den Einsatz von Baustoffen mit Recyclinganteil in den Kriteriensteckbriefen zur Ökobilanz 1.1.1 bis 1.1.5 berücksichtigt. Die Kriterien 1.1.1 bis 1.1.5 behandeln jeweils einen der fünf Umweltindikatoren Treibhauspotential (GWP), Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), Ozonbildungspotenzial (POCP), Versauerungspotenzial (AP) und Überdüngungspotenzial (EP). Da in den Kriterien keine spezifischen Aspekte hinsichtlich der Kreislauffähigkeit aufgeführt sind, wird darauf in diesem Kapitel nicht näher eingegangen. Nachfolgend werden die drei Kriteriensteckbriefe 4.1.4,

⁵IBO - Österreichische Institut für Bauen und Ökologie ist ein unabhängiger, gemeinnütziger und wissenschaftlicher Verein, welcher sich mit verschiedenen Themenfeldern im Bereich Bauphysik/Nachhaltiges Bauen beschäftigt [49].

5.1.3 und 5.2.1 inhaltlich detaillierter vorgestellt. Zuletzt wird eine aktuell in Arbeit befindliche Weiterentwicklung des Kriteriums 4.1.4 zum sogenannten BNB-Zirkularitätsindex näher beleuchtet.

3.6.1 Kriterium 4.1.4 Rückbau, Trennung und Verwertung

Das Kriterium 4.1.4 stellt eine umfassende Betrachtung der Kreislauffähigkeit von baukonstruktiven Elementen eines Gebäudes dar. Basierend auf dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) werden vier Hauptanforderungen gestellt:

- Schonung der natürlichen Ressourcen
- Vermeidung von Abfällen
- ordnungsgemäße und schadlose Verwertung unvermeidbarer Abfällen
- gemeinwohlverträgliche Beseitigung nicht verwertbarer Abfälle

In der Bewertung werden diese Anforderungen über die Parameter Rückbaufähigkeit, Sortenreinheit und Verwertbarkeit abgebildet und für alle Bauteile der Kostengruppe 300 – Baukonstruktion evaluiert. Jedes Bauteil wird in einem excel-basierten Bauteilkatalog mit jeweiligem Schichtaufbau aufgenommen, wobei die Zuordnung der Bauteile dem Kriteriensteckbrief zu entnehmen ist. Für die drei Parameter werden pro Bauteil jeweils Punkte entsprechend der Qualität vergeben, die als Summe den *Recyclingfaktor* R bilden. Die im Hintergrund liegende Formel (3.2) zeigt die Gewichtung der einzelnen Parameter Rückbau und Sortenreinheit mit dem Faktor 0,3. Die Verwertbarkeit wird etwas stärker mit dem Faktor 0,4 berücksichtigt.

$$R = 0,3 * P_{Rückbau} + 0,3 * P_{Sortenreinheit} + 0,4 * P_{Verwertung} \quad (3.2)$$

Der Recyclingfaktor gibt Auskunft über die Rückbau- und Recyclingfähigkeit eines Bauteils, was den Vergleich einzelner Bauteilaufbauten im Vorfeld ermöglicht. Über die anteilige Berücksichtigung der Bauteile in Bezug auf die Gesamtmasse des Gebäudes kann dann das finale Ergebnis für das Kriterium 4.1.4 berechnet werden. In 3.6 ist der Bewertungsvorgang mit den jeweils eingehenden Parametern und den dazugehörigen Ebenen grafisch dargestellt. Maximal können in dem Kriterium eine Anzahl von 100 Punkten erreicht werden. Die Mindestanforderung sind 10 Bewertungspunkte [51].

3.6.2 Kriterium 5.1.3 Komplexität und Optimierung der Planung - 1.11 Umbaubarkeits- Rückbau- und Recyclingkonzept

Das Kriterium zielt auf die Implementierung nachhaltiger Aspekte in den Planungsprozess ab. Unter einer umfassenden Liste von zu berücksichtigenden Punkten, befindet sich auch die Ausarbeitung eines Umbaubarkeits-, Rückbau- und Recyclingkonzepts. Durch das Konzept sollen in der Planungsphase grundlegende Aspekte für kreislauffähige Gebäude festhalten und umgesetzte Maßnahmen für zukünftige Perspektiven des Gebäudes genau dokumentieren. Positiv wirken sich beispielsweise mögliche Umnutzungsszenarien im aktuellen oder einem anderen Nutzungstyp aus. Ebenso ist eine genaue Aufstellung der Materialien und entsprechend umsetzbarer Wiederverwendungs-/ verwertungswege von Vorteil. Insgesamt können über das Teilkriterium 1.11 maximal 10 Punkte erreicht werden, was bei Einreichung eines umfassenden Umbau- und Rückbaukonzeptes, sowie Nachweisen über die Berücksichtigung in der Planung gegeben ist [BNB5.1.3].

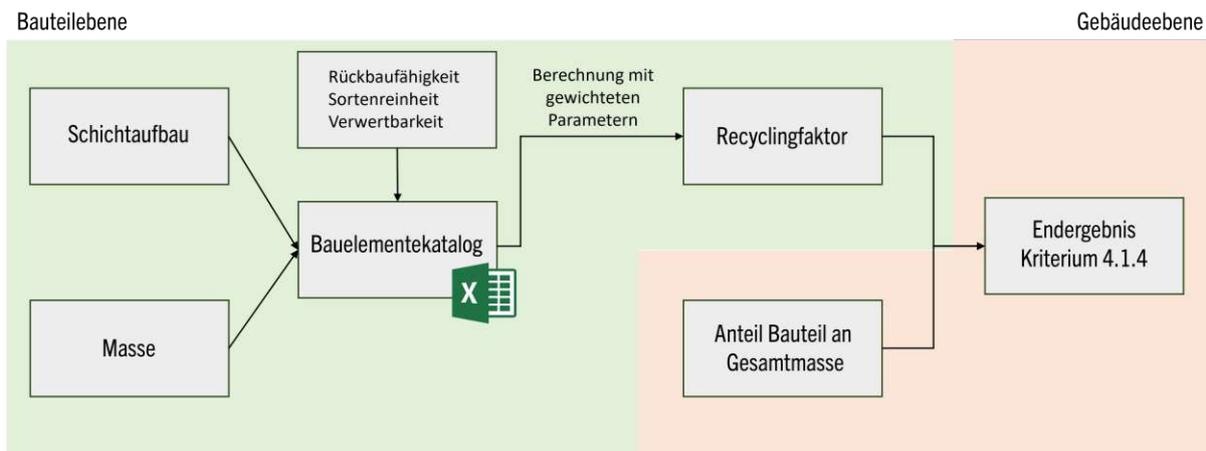


Abb. 3.6: Grafische Darstellung des Bewertungsvorgangs des BNB-Kriteriums 4.1.4, Quelle: Eigene Darstellung.

3.6.3 Kriterium 5.2.1 Baustelle/ Bauprozess - 1. Wertstoffoptimierte Baustelle

Neben dem Kriteriensteckbrief 4.1.4 wird in diesem Kriterium ebenfalls auf den ressourcenschonenden Umgang mit anfallenden Baustoffen eingegangen. Im ersten Unterpunkt *Wertstoffoptimierte Baustelle* werden basierend auf den geltenden gesetzlichen Regelungen ein umweltschonender Umgang mit Abfall gefordert. Der Fokus liegt auf der Bauausführung mit dem Ziel dabei anfallende Abfallmassen von Beginn an zu vermeiden. Ist eine Vermeidung nicht möglich, muss im zweiten Schritt die Trennung der Baustoffe in mineralische Stoffe, Wertstoffe, gemischte Baustellenstoffe, Gefahrenstoffe und asbesthaltige Stoffe im Fall einer Sanierung erfolgen. So können die Baurestmassen der Verwertung zugeführt werden oder je nach Vorschrift ordnungsgemäß weitergeleitet werden. Als Grundlage für die Bearbeitung dienen die in Deutschland auf Bundes-, Landes- und städtischer Ebene geltenden Gesetze und Vorschriften für den Umgang mit Abfall. Für die Beurteilung müssen die vor Ort geltenden Anforderungen an die Abfallentsorgung, die Dokumentation der Abfallentsorgung sowie die Einschulung der Baustellenmitarbeitenden zur Abfallvermeidung nachgewiesen werden. In der Bewertung sind insgesamt 25 Punkte zu erreichen, was ein Viertel der Gesamtpunktzahl des Kriteriums ausmacht. Diese werden erreicht, wenn die gesetzlichen Mindestanforderungen eingehalten werden und die Mitarbeitenden zum ressourcenschonenden Umgang mit Baustoffen geschult sind [52].

3.6.4 Entwicklung des BNB-Zirkularitätsindikators

In einem Forschungsauftrag entwickelte das IBO für das deutsche Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) einen neuen Ansatz zur Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes. Der neue BNB-Zirkularitätsindikator integriert die Erkenntnisse der vorangegangenen Projekte zur Untersuchung gebäudegebundener Stoffströme [53] und der Kreisläufe von Sekundärbaustoffen im BNB-System [54] unter Berücksichtigung der Rückbaubarkeit eines Materials. Dabei werden sowohl die sortenreine Rückgewinnung der Materialien aus dem Gebäude, wie auch der Umgang mit durch Schad- und Störstoffe belastete Materialien betrachtet. Baustoffe werden in ein Klassifizierungssystem mit End-of-Life-Kategorien von A+++ (wiederverwendbare Bauteile) bis G (Gefahrstoff höchster Klasse) und entsprechender Punkteanzahl von 140 bis -140 bewertet. In Abbildung 3.7 sind die Abstufungen der Kategorien auch farblich gut zu erkennen [55, vgl. S. 15].

End-of-Life Kategorien von Altbaustoffen											
Klasse	A+++	A++	A+	A	B	C	D	E	F	G	
Kategorien	ReUse	Recycling			Beseitigung			Gefahrenstoffe			
	WV Wieder- verwendungs- fähige Bauprodukte / - elemente	CL (Closed Loop) Geschlossene Kreisläufe	RC+ Recycling mit geringem Aufbereitungsaufwand	RC- Recycling mit Aufbereitungsaufwand	EV+ Energetische Verwertung bzw. potenziell RC-fähige Biomasse	EV- Energetische Verwertung (Ersatz- brennstoff)	EB+ Energetische Beseitigung (Schadstoffgehalt begrenzt od. mittl. Energiedichte)	EB- Energetische Beseitigung (Schadstoffe oder niedrige Energiedichte)	Gef I (Gefahrstoff Kl. I)	Gef II (Gefahrstoff Kl. II)	Gef III (Gefahrstoff Kl. III)
					Sonstige Verwertung		Deponierung				
					Sonstige stoffl. Verwertung z.B. Verfüllungen	Dep+ Deponier, ohne Aufbereitungsaufwand	Dep- Deponierung mit Aufbereitungsaufwand				
Punkte	140	100	80	60	20	-20	-60	-80	-100	-140	

Abb. 3.7: Tabellarische Darstellung der End-of-Life Kategorien von Baustoffen für den BNB-Zirkularitätsindikator, Quelle: [55, vgl. S.15]

Die grün hinterlegten Felder A+++ bis A bilden die Stufen von einer Wiederverwendung des gesamten Bauteils über das Führen der Materialien in einem geschlossenen Kreislauf bis zu Recycling mit zunehmendem Aufbereitungsaufwand ab. In den Kategorien B bis D werden die Materialien entweder energetisch verwertet/beseitigt oder deponiert. Weisen die Materialien einen zu hohen Schad- oder Störstoffanteil auf, werden diese als Gefahrenstoffe I-III⁶ in die grau hinterlegten Kategorien E bis G eingeordnet. Die Rückbaufähigkeit von Materialien auf der Baustelle wird für die relevanten Kategorien A++ bis D im Teilindikator *Rückbaufähigkeit* genauer beschrieben. Tabelle 3.8 zeigt die Abstufung von *zerstörungsfrei rückbaubar* (A++ mit 100 Bonuspunkten) über *zerstörend, aber sortenrein rückbaubar* (A mit 50 Bonuspunkten) zu *nicht sortenrein rückbaubar* (B-D mit 0 Bonuspunkten) [55, vgl. S. 15-16].

Klasse	Beschreibung Rückbaufähigkeit (auf der Baustelle)	Bonuspunkte
A++	zerstörungsfrei rückbaubar	100
A+	weitgehend zerstörungsfrei rückbaubar	75
A	zerstörend, aber sortenrein rückbaubar	50
B-D	nicht sortenrein rückbaubar	0

Abb. 3.8: Bewertung der Rückbaufähigkeit für den BNB-Zirkularitätsindikator, Quelle: [55, vgl. S.16]

Fallen Materialien in die Klassen B-D bedarf es auf dem weiteren Verwertungsweg je nach Art der Verunreinigung einer mehr oder weniger aufwendigen Aufbereitung. Der Teilindikator *Materialverträglichkeit/ Störstoffe* unterteilt dabei in vier Klassen von S1 (Monomaterial ohne Fremd-, Stör- oder Schadstoffe) ohne Punktabzug bis S4 (Unverträglicher Stör-/Schadstoff, der nicht abtrennbar ist) mit einer Neueinstufung des Materials. Die genauen Beschreibungen können Tabelle 3.9 entnommen werden [55, vgl. S. 15-16].

Die Teilindikatoren können dann für den Hauptindikator *Kreislauffähigkeit* auf Bauteil oder Gebäudeebene massen- oder volumenbezogen ausgewertet werden. So werden für die verbauten Materialien der Aufwand der Rückgewinnung, die Sortenreinheit, der Anteil an enthaltenen

⁶Die Gefahrenstoffklassifizierung wurde im Rahmen des Forschungsprojektes BIMstocks erarbeitet und kann im Endbericht des Forschungsprojektes detailliert nachgelesen werden [56, vgl. S.37]

Störstoff-kategorie	Kurzbeschreibung Materialverträglichkeit	Punktabzüge
S1	Monomaterial kein Fremd-, Stör- oder Schadstoff	0 Punkte
S2	Fremdstoff, neutraler Störstoff od. unwesentl. Schadstoffgehalt in Aufbereitungsanlage abgetrennt oder gemeinsam mit Hauptstoff verwertet	0, - 5, -10 Punkte-Abzug abhängig vom EoL sortenreines Material
S3	Beeinträchtigender Stör- oder Schadstoff in Aufbereitungsanlage mit Zusatzaufwand abtrennbar, Beeinflussung der Verwertungsqualität bzw. der Entsorgungseigenschaften	-20 Punkte-Abzug
S4	Unverträglicher Störstoff kritischer Stör- oder Schadstoff, nicht (oder nicht unter wirtschaftlichen Bedingungen) abtrennbar in Aufbereitung, Verwertung nicht möglich oder nur unter sehr gravierenden Qualitätsverlusten, Neueinstufung erforderlich	Neueinstufung

Abb. 3.9: Einteilung der Störstoffkategorien im Teilindikator Materialverträglichkeit des BNB-Zirkularitätsindikators, Quelle: [55, vgl. S.16]

Schad-/Störstoffen, das passende End-of-Life-Szenario und die damit zusammenhängende Qualität abgebildet [55, vgl. S. 15-16].

3.7 klimaaktiv

Die klimaaktiv-Gebäudezertifizierung wurde vom Österreichischen Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft und Umwelt eingeführt. Die Entwicklung basiert auf den gemachten Erfahrungen mit bisherigen Bewertungssystemen und ist Teil des Programmes Bauen & Sanieren der klimaaktiv-Initiative. Es werden folgende Kategorien mit zu erreichenden Maximal-Punktzahlen unterschieden:

- Standort: 150 Punkte
- Energie und Versorgung: 550 Punkte
- Baustoffe und Konstruktion: 150 Punkte
- Komfort und Gesundheit: 150 Punkte

Der Fokus des Systems liegt mit einem prozentualen Anteil von 55 % klar auf dem Bereich Energie und Versorgung. Insgesamt können die Zertifizierungsstufen Gold (mind. 900 Punkte), Silber (mind. 750 Punkte) und Bronze (Erfüllung der Muss-Kriterien) erreicht werden [57, vgl. S. 6-7]. Kriterien zur Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes sind der Kategorie Baustoffe und Konstruktion zugeordnet und werden über die Kriterien C.4.2 Entsorgungsindikator EI10 und C.4.3 Kreislauffähigkeit und Rückbaukonzept abgebildet. Der EI10 wurde bereits in Zusammenhang mit dem BNB-Kriterium 4.1.4 erwähnt und aktuell erneut in Zusammenarbeit mit dem BNB weiterentwickelt. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Kriterien und die Funktionsweise des Entsorgungsindikators in seiner aktuellen Gültigkeit vorgestellt [58].

3.7.1 Kriterium C.4.2 Entsorgungsindikator

Der Entsorgungsindikator EI10 bewertet im Gebäude verbaute Konstruktionen bzgl. der Entsorgungs- und Recyclingeigenschaften der verwendeten Materialien. Die genaue Funktionsweise wird im Abschnitt 3.7.3 detailliert erklärt, da in der Fallstudie der Arbeit eine Berechnung durchgeführt wird. Um das Kriterium zu erfüllen, muss mindestens ein Wert von $EI10 \leq 45$ erreicht werden. Für die Bestbewertung muss ein Wert von $EI10 \leq 20$ erreicht werden. Insgesamt können für das Kriterium 40 Punkte erreicht werden [57, vgl. S. 34].

3.7.2 Kriterium C.4.3 Kreislauffähigkeit und Rückbaukonzept

Um die Kreislauffähigkeit des Gebäudes zu bewerten, werden die Punkte Vermeidung (Reduce), Wiederverwendung (Reuse), Produktorientierte Verwertung (Recycling), weitere Verwertungswege und Entsorgung/Deponierung betrachtet. Im Rahmen eines Rückbau- und Verwertungskonzeptes wird die Umsetzung der aufgezählten Punkte für die Standardbauteile geplant und dokumentiert. Bei Bestandsobjekten ist zusätzlich eine Schad- und Störstofferkundung durchzuführen und das Potenzial zur Wiederverwendung zu bestimmen. Insgesamt können für die Abgabe des Rückbaukonzeptes 15 Punkte, bei Planung in BIM zusätzlich 5 Punkte erreicht werden [57, vgl. S. 35].

3.7.3 Methodik des Entsorgungsindikators in der aktuell gültigen Version

Der Entsorgungsindikator [59] wurde vom IBO entwickelt und 2003 erstmalig veröffentlicht. Er stellt ein semi-quantitatives Verfahren zur Bewertung der Entsorgungseigenschaften dar und kann sowohl auf Bauteil- wie auch auf Gebäudeebene berechnet werden. Dabei können

verschiedene Systemgrenzen entsprechend der Bilanzgrenzen BG1 oder BG3 des Ökoindikators OI3⁷ für die Berechnung auf Gebäudeebene gewählt werden [59]. Neben der Nutzungsdauer, die für den Entsorgungsindikator immer miteinzubeziehen ist, werden Gewichtungsfaktoren zur Entsorgungseinstufung und dem Verwertungspotential bestimmt. In Tabelle 3.10 findet sich die Einstufung von Materialien für die Entsorgungswege Recycling, Verbrennung und Deponierung mit der dazugehörigen Bewertung von 1 (am besten) bis 5 (am schlechtesten).

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

Abb. 3.10: Tabellarische Darstellung der Entsorgungseigenschaften von Baustoffen für den Entsorgungsindikator, Quelle: [59, vgl. S. 5]

Während die Entsorgungseigenschaften eine Aussage über den aktuell (zu 80 %) gängigen Entsorgungsweg für Baustoffe trifft, wird das Potential für eine Verwertung zum zukünftigen Zeitpunkt des Abbruchs über das Verwertungspotential berücksichtigt. Tabelle 3.7.3 liefert den Gewichtungsfaktor für das Verwertungspotential.

Verwertungspotential	Abfallreduktion/ -erhöhung
1	25 %
2	50 %
3	75 %
4	100 %
5	125 %

Eine Einstufungshilfe zu den Entsorgungseigenschaften und dem Verwertungspotential wird vom IBO für gängige Baustoffe im Berechnungsleitfaden bereitgestellt und für die aktuelle Version 2.1 von 2020 angepasst. Die Nutzungsdauern der einzelnen Baustoffe können ebenfalls einer Hilfstabelle im Berechnungsleitfaden entnommen werden. Wird eine Software, wie bspw. eco2soft, zur Berechnung herangezogen, sind die erforderlichen Daten in den meisten Fällen bereits für die Baustoffe hinterlegt.

⁷Der Ökoindikator OI3 bewertet die Umweltauswirkungen von Bauteilen und Gebäuden anhand ausgewählter Indikatoren. Die Bilanzgrenzen BG 1-6 definieren die zu berücksichtigenden Bauteile und ob die Nutzungsdauer der Konstruktionen mit einfließt. [60]

Der Entsorgungsindikator auf Bauteilebene $EI KON$ setzt sich aus einem Anteil am Ende des Betrachtungszeitraums und einem Anteil, der die zusätzlich anfallenden Mengen aus den Sanierungszyklen berücksichtigt, zusammen. Für die Berechnung des $EI KON$ (End of Life) wird das ermittelte Volumen V_i der Konstruktion mit den bestimmten Gewichtungsfaktoren $Entsorg(IST)_i$ und $Verwert(POT)_i$ multipliziert (Formel 3.3).

$$EI KON (Endoflife) = \sum_i^n V_i * 1 * Entsorg(IST)_i * Verwert(POT)_i \quad (3.3)$$

Die Nutzungsdauer der Bauteile wird über das Verhältnis Gesamt Betrachtungszeitraum a zu Nutzungsdauer ND_i der Bauteilschicht als Faktor berücksichtigt, um den Austausch von Bauteilschichten über den Betrachtungszeitraum abzubilden (Formel 3.4).

$$EI KON (Erneuerung) = \sum_i^n V_i * \left(\frac{a}{ND_i} - 1\right) * Entsorg(IST)_i * Verwert(POT)_i \quad (3.4)$$

Auf Gebäudeebene berechnet sich der Entsorgungsindikator $EI10$ als flächengewichtete Mittelung der bauteilbezogenen Entsorgungskennzahlen. Die Entsorgungskennzahlen $EI KON_i$ der Bauteile werden mit den Bauteilflächen A_i multipliziert und durch die gewichtete Summe der Außen- und Innenbauteilflächen geteilt (Formel 3.5). Die Summe der Innenbauteilflächen IBt_i wird mit einem Faktor von 0,25 reduziert, um die Entsorgungseigenschaften trotz des geringeren Volumens der Innenwände auf die Fläche bezogen korrekt abzubilden.

$$EI 10 = \frac{\sum_i^n EI KON * A_i}{\sum_i^n ABt_i + 0,25 * \sum_i^n IBt_i} * 10 \quad (3.5)$$

Über die aufgezeigte Methode wird über die Entsorgung bzw. Verwertung auch die Rückbaufreundlichkeit der Konstruktion bewertet. Die Art der Materialverbindungen innerhalb der Konstruktion wirken sich direkt auf die Gewichtungsfaktoren Entsorgungseinstufung und Verwertungspotential aus. Gleiche Baumaterialien können je nach Lage in der Konstruktion und Verbindung zu benachbarten Bauteilschichten unterschiedliche Ergebnisse erreichen. Bspw. kann eine Mineralschaumplatte als Trittschalldämmung im Trockenbau mit 1 die beste Bewertung, verklebt im Innenausbau jedoch nur eine Entsorgungseinstufung von 4 und ein Verwertungspotential von 3 erreichen [59].

3.8 Vergleich der betrachteten Zertifizierungssysteme hinsichtlich kreislauffähiger Aspekte

Nachfolgend werden die im aktuellen Kapitel vorgestellten Zertifizierungssysteme für Gebäude in Bezug auf kreislauffähige Aspekte verglichen. Basierend auf den Rechercheergebnissen wurden in Anlehnung an Rosen 15 Punkte definiert und deren Übereinstimmung mit Anforderungen der betrachteten Kriterien überprüft. Tabelle 3.1 zeigt die selbst definierten, kreislaufbezogenen Aspekte in der ersten Spalte, sowie die zutreffenden Kriterien der Zertifizierungssysteme in der jeweiligen Zeile.

Positiv zu bewerten ist, dass alle aufgeführten Zertifizierungssysteme das Thema kreislauffähiges Bauen in mindestens zwei oder mehr Kriterien behandeln. Variabel ist dabei der Umfang, in welchem Themen der Kreislauffähigkeit innerhalb eines Zertifizierungssystems berücksichtigt

werden. So behandeln die europäischen Systeme z.B. verschiedene End-of-Life-Szenarien für Bauteile, auch unter Berücksichtigung der Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit verbauter Stoffe. Im LEED - , sowie auch im BREEAM - System wird dieser Teil des Lebenszyklus bisher noch nicht betrachtet. Ebenso ist zu erkennen, dass die Anzahl von Kriterien nicht auf die Tiefe der Bewertung schließen lässt. Beispielsweise werden im Kriterium TEC1.6 der DGNB-Zertifizierung mehr Punkte abgedeckt, als jeweils in den Zertifizierungssystemen LEED, BREEAM, BNB oder klimaaktiv. Dies führt auch dazu, dass erreichte Endergebnisse zum Teil eine Mehrzahl an Aspekten beschreiben. In einem anderen System werden dieselben Aspekte jeweils als einzelne Kriterien mit separaten Endergebnissen oder in einer anderen Gruppierung bewertet. Ein Beispiel dafür wäre die Bewertung des Abfallmanagements auf der Baustelle. Im DGNB- und BNB-System wird dieser Aspekt zu Kriterien, die den Baustellenprozess bewerten gezählt. Das LEED-System berücksichtigt den Aspekt als eigenes Kriterium. Das Kriterium in BREEAM erweitert das Abfallmanagement auf der Baustelle, um die Betrachtung der End-of-Life-Szenarien, eine mögliche Weiter-/Wiederverwendung von Bauteilen, sowie die Nutzung kreislauffähiger Geschäftsmodelle. Zusätzlich variieren die maximal zu erreichenden Maximalpunktzahlen. Um diese zu berechnen, weisen einige Zertifizierungssysteme eigene Bewertungstools auf. So können Daten einheitlicher erfasst und kategorisiert werden und Berechnungsvorgänge automatisiert werden. Wie sich die Berechnungsergebnisse in der praktischen Anwendung unterscheiden, wird im nachfolgenden Kapitel innerhalb einer Fallstudie detailliert ermittelt und aufgezeigt. Es zeichnet sich jedoch bereits ab, dass eine Vergleichbarkeit durch Variationen in dem Betrachtungsumfang, der Detailtiefe und der Bewertungsmethode zwischen den Zertifizierungssystemen nicht einfach gegeben ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Systeme Level(s) und DGNB inhaltlich jeweils die meisten Punkte berücksichtigen, was eine umfassende Betrachtung eines Gebäudes hinsichtlich der Kreislauffähigkeit ermöglicht. Besonders wichtige Parameter, wie die Rückbau-/ Recyclingfreundlichkeit und die Klassifizierung nach unterschiedlichen Verwertungswegen werden in vier von sechs Systemen berücksichtigt. Die in der Betrachtung vernachlässigte Ökobilanzierung wird in allen Systemen gefordert, weist jedoch für die End-of-Life-Phase eines Gebäudes noch eine geringe Datengrundlage auf [24, vgl. S. 67]. Eine Kostenbetrachtung wird bisher nur im System Level(s) und BNB in direkten Zusammenhang mit der Kreislauffähigkeit des Gebäudes gesetzt. Folglich kann festgehalten werden, dass wirtschaftliche Aspekte eines kreislauffähigen Gebäudes noch nicht ausreichend berücksichtigt werden.

	Levels	DGNB	LEED	BREEAM	BNB	klimaaktiv
Berücksichtigung im Planungsprozess	Ind. 2.1-2.4	TEC1.6			5.1.3	
Weiter-/Wiederverwendung Bauteile	Ind. 2.4	TEC1.6, ECO1.1	MR C1	Wst01	4.1.4	C.4.3.
Zukünftige Umnutzung	Ind. 2.3	TEC1.6			2.2.2	
Bestandsanalyse/ Materialaufnahme	Ind. 2.2	TEC1.6		Wst01		C.4.3.
Materialgesundheit		ENV 1.2	MR C4			
Ressourcenschonung durch Materialreduktion	Ind. 2.1	TEC1.6		Mat06	4.1.4	
Einsatz Recyclingstoffe	Ind. 2.1	ENV 1.3, PRO1.4	MR C3	Wst02		
Nachwachsende Rohstoffe		TEC1.6				
Verlängerte Lebensdauer der Bauteile/ Reperaturfreundlich	Ind. 2.1	TEC1.6			2.2.2	
Abfallmanagement auf der Baustelle	Ind. 2.2	PRO 2.1	MR C9	Wst01	5.2.1	
Rückbaufreundlichkeit	Ind. 2.2	TEC1.6			4.1.4	C.4.2
Sortenreine Trennbarkeit	Ind. 2.4	TEC1.6			4.1.4	C.4.2
End-of-Life-Szenarien	Ind. 2.2, 2.4	TEC1.6		Wst01	4.1.4	C.4.2
Abfallmanagementplan	Ind. 2.2	TEC1.6	MR C9			C.4.3.
Kreislauffähige Geschäftsmodelle/ Materialplattformen	Ind. 2.2	ECO1.1		Wst01		
Materieller Gebäudepass	Ind. 2.2	TEC1.6				

Tab. 3.1: Tabellarische Darstellung der kreislaufbezogenen Aspekte (1. Spalte) und deren Berücksichtigung in den Kriterien der betrachteten Zertifizierungssysteme (1. Zeile). Grau eingefärbte Kriterien wurden nicht näher betrachtet, grün eingefärbte Kriterien bezeichnen die überarbeitete Version. Quelle: eigene Darstellung.

Kapitel 4

Vergleich der vorgestellten Zertifizierungssysteme anhand einer Fallstudie

Um einen detaillierten Vergleich der im vorhergehenden Kapitel aufgeführten Zertifizierungssysteme hinsichtlich einer Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes zu ermöglichen, wurde eine Fallstudie durchgeführt. Zu Beginn des Kapitels wird auf die Unterteilung der betrachteten kreislaufbezogenen Kriterien in quantifizierbare und nicht quantifizierbare Kriterien und die Bewertbarkeit im Rahmen der vorliegenden Arbeit eingegangen. Für die weiterführende Berechnung notwendige Daten wurden aus einem vom Industriebau-Institut der Technischen Universität Wien zur Verfügung gestellten BIM-Modell ermittelt, worauf in Abschnitt 4.2 näher eingegangen wird. Da die einzelnen Systeme sich in der Anzahl der kreislaufbezogenen Kriterien, sowie den innerhalb der Systeme zu erreichenden Punktzahlen stark unterscheiden, ist ein direkter Vergleich anhand der Endergebnisse nicht aussagekräftig. Es wurde daher basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche ein Vorgehen gewählt, welches den Vergleich der Zertifizierungssysteme anhand drei verschiedener Szenarien hinsichtlich des Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzials vorsieht. Die Szenarien beschreiben Wiederverwendungs- bzw. Verwertungsmöglichkeiten für jeden vorkommenden Baustoff innerhalb der gewählten Systemgrenze des betrachteten Gebäudes zum aktuellen Stand der Technik, dem Stand der Technik in 50 bis 100 Jahren, sowie dem Stand eines perfekten Kreislaufszenarios und werden im Abschnitt 4.2.2 detailliert vorgestellt. Das Vorgehen zur Ermittlung der Ergebnisse für die quantifizierbaren Kriterien in jedem der drei Szenarien wird pro Zertifizierungssystem am Ende des Kapitels näher betrachtet.

4.1 Methodisches Vorgehen

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden in sechs verschiedenen Zertifizierungssystemen Kriterien, welche die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes bewerten, identifiziert. Um die Abbildung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes durch die einzelnen Zertifizierungssysteme bewerten zu können, werden Ergebnisse für die jeweils zugehörigen Kriterien benötigt. Wie eingangs bereits beschrieben, wurden die identifizierten Kriterien dafür nochmals hinsichtlich einer möglichen, quantifizierbaren Bewertung unterschieden. Nachfolgend wird das Vorgehen und die getroffene Auswahl genauer vorgestellt, sowie die Gewichtung innerhalb der Zertifizierungssysteme beleuchtet. Im zweiten Abschnitt werden die erforderlichen Bewertungen kategorisiert und der Umfang der benötigten Daten betrachtet. Als Grundlage der erarbeiteten Input-Daten dient einerseits ein zur Verfügung gestelltes BIM-Modell, woraus projektspezifische Bauteilinformationen ausgewertet wurden. Andererseits wurde für eine Abbildung verschiedener Wiederverwendungs- und Verwertungswege pro Baustoff drei End-of-Life-Szenarien entwickelt. Abbildung 4.1 zeigt die durchgeführten Arbeitsschritte beginnend mit der Modellbildung, über die Datenauswertung zu den Endergebnissen.

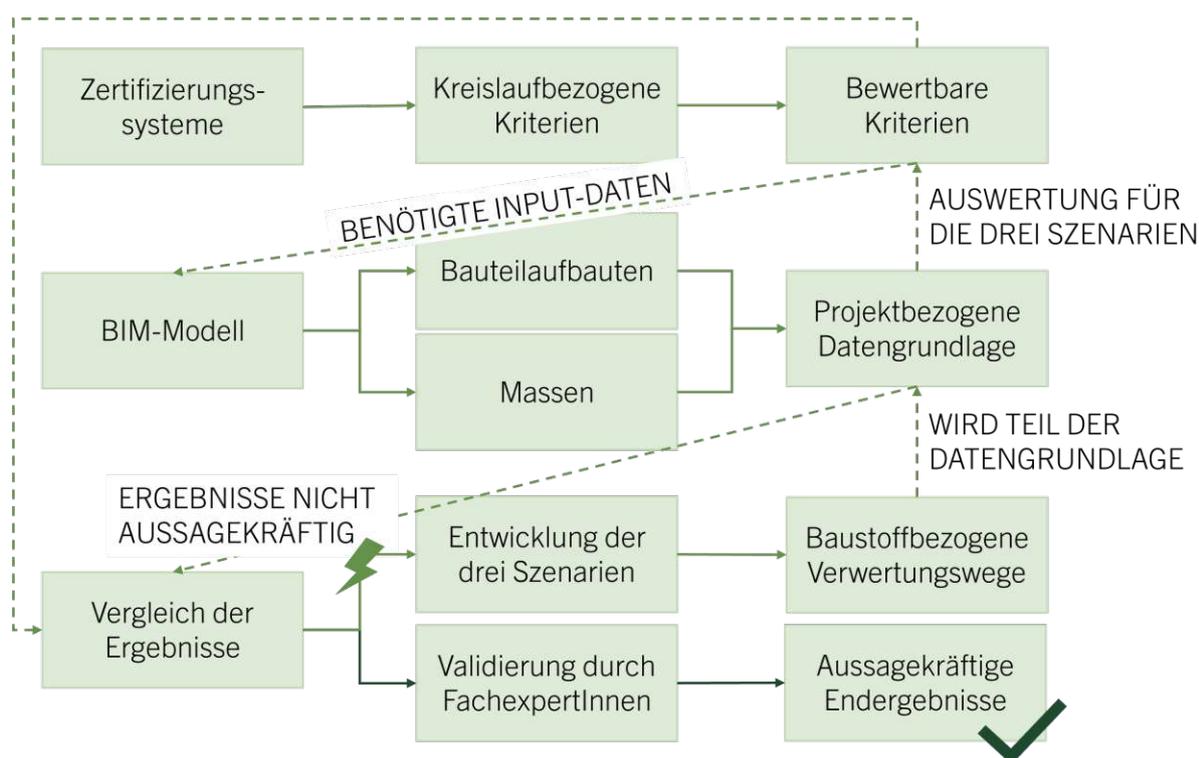


Abb. 4.1: Im Rahmen der Fallstudie durchgeführte Arbeitsschritte in chronologischer Reihenfolge mit Start in der oberen, linken Ecke; Quelle: Eigene Darstellung

4.1.1 Auswahl und Gewichtung der quantifizierbaren Kriterien

Die in Kapitel 3 vorgestellten Kriterien zur Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes weisen für die Auswertung sehr unterschiedliche Formen der Nachweisführung vor. Diese Nachweise können meist nur durch entsprechende ExpertInnen erstellt und validiert werden und benötigen einen detaillierten Austausch mit am Projekt beteiligten Gewerken. Da dies im Rahmen der Arbeit für das ausgewählte Projekt nicht möglich war, wurden nur die nachweisbaren und damit quantifizierbaren Kriterien für die weitere Betrachtung herangezogen. Quantifizierbar bezeichnet dabei alle Kriterien, die messbare Indikatoren aufweisen und dadurch eine Berechnung basierend auf einer vorliegenden Datengrundlage ermöglichen. Als nicht quantifizierbar wurden Kriterien eingestuft, welche die Ausarbeitung von Nachweisen und Zielsetzungen nicht messbarer Indikatoren beinhalten. Tabelle 4.1 zeigt je Zertifizierungssystem die Anzahl der identifizierten kreislaufbezogenen Kriterien (Zeile 1), die Anzahl quantifizierbarer Kriterien (Zeile 2), sowie den prozentualen Anteil quantifizierbarer Kriterien basierend auf der zu erreichenden Maximalpunktzahl¹. Der Prozentsatz für das System Level(s) wird in Klammern aufgeführt, da zwar ein Score innerhalb der Kriterien erreicht werden kann, es jedoch im Vergleich zu den anderen Systemen keine Endbewertung im Rahmen einer Zertifizierung gibt. Vergleicht man den prozentualen Anteil über die zu erreichenden Punkte mit dem prozentualen Anteil, der sich aus der Anzahl quantifizierbarer zu allen Kriterien ergibt (in der Tabelle nicht aufgeführt) ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse. Für das System BREEAM machen die quantifizierbaren Kriterien über die Punktzahl 40 %, über die Anzahl der Kriterien aber 66,67 % aus. Dies zeigt die innerhalb der meisten Zertifizierungssysteme vorgenommene Gewichtung der einzelnen Kriterien über die Summe der

¹Der Prozentsatz ergibt sich aus den maximal erreichbaren Punkten der quantifizierbaren, kreislaufbezogenen Kriterien im Verhältnis zu den maximal erreichbaren Punkten für alle kreislaufbezogenen Kriterien.

	LEVEL(S)	DGNB	LEED	BREEAM	BNB	KLIMAAKTIV
Anzahl an Kriterien	4	1 + 6 Teilkriterien	3 + 1 Teilkriterium	3	1 + 3 Teilkriterien	2
davon quantifizierbar	4	1+2 Teilkriterien	2	2	1	1
Prozentualer Anteil basierend auf zu erreichender Punktzahl	(100 %)	56,8 %	77,78 %	40 %	74 %	66,67 %

Tab. 4.1: Anteil der quantifizierbaren Kriterien und den zu erreichenden Maximalpunktzahlen, Quelle: eigene Darstellung.

zu erreichenden Punkte, sowie zusätzliche Gewichtungsfaktoren (s. Kapitel 3). Tabelle 4.2 zeigt die Einordnung der kreislaufbezogenen Kriterien im jeweiligen Gesamtsystem anhand der zu erreichende Maximalpunktzahl für kreislauffähige Kriterien und der insgesamt zu erreichenden Gesamtpunktzahl innerhalb des Systems. Zusätzlich wird aufgeführt, ob Gewichtungsfaktoren für die Berechnung der finalen Ergebnisse vorgesehen sind und wenn ja der dazugehörige Wert. Für verschiedene Nutzungstypen gelten z.T. unterschiedliche Kriterienkataloge, wie in Kapitel 3 aufgeführt. Gewichtungsfaktoren können sich daher je nach Nutzungstyp ebenfalls unterscheiden, wie das bspw. beim DGNB-System der Fall ist. Für die in der Tabelle aufgeführten Punktzahlen wurde entsprechend dem betrachteten Projekt als Nutzungstyp Wohnen bzw. Büro betrachtet. Aus den zu erreichenden Punktzahlen und den vorhandenen Gewichtungsfaktoren von maximal 4 lässt sich ableiten, dass das Thema Kreislauffähigkeit eines Gebäudes im Vergleich zu anderen Gebäudeaspekten bisher als wenig relevant eingestuft wird. Welche Kriterien als quantifizierbar eingestuft werden und der für eine Bewertung notwendige Daten-Input wird im nächsten Abschnitt genauer vorgestellt.

	LEVEL(S)	DGNB	LEED	BREEAM	BNB	KLIMAAKTIV
Anzahl an Kriterien	4	1 + 6 Teilkriterien	3 + 1 Teilkriterium	3	1 + 3 Teilkriterien	2
Max. Punktzahl	(200)	405	9	5	135	60
Max. Punktzahl im System	-	3700	110	161	4700	1000
Gewichtungsfaktoren	-	ja (4)	-	ja (~4)	ja (1)	-

Tab. 4.2: Darstellung der erreichbaren Maximalpunktzahl durch kreislaufbezogene Kriterien im Vergleich zur Gesamtpunktzahl des Endergebnisses eines Zertifizierungssystems, Quelle: eigene Darstellung.

4.1.2 Quantifizierbare Kriterien und für eine Bewertung notwendiger Datenumfang

Um die quantifizierbaren Kriterien übersichtlicher einordnen zu können, wurden diese basierend auf den Ergebnissen der Literaturrecherche nach Bewertungsindikator geordnet. Aus Tabelle 4.3 ist die Zuordnung der Kriterien pro Zertifizierungssystem und Indikator abgebildet.

	Levels	DGNB	LEED	BREEAM	BNB	klimaaktiv
Anteil Wiederverwendung	Ind. 2.2	ECO1.1	MR C1+ C3	Wst01		
Anteil Recycling	Ind. 2.2		MR C3	Wst01		
Anteil eingesetzte Sekundärrohstoffe		ENV1.3	MR C3	Wst02		
"Score" als Endergebnis	Ind. 2.4	TEC1.6			4.1.4	C.4.2
Erfassung Bauteilmassen	Ind. 2.1+2.2	TEC1.6			4.1.4	C4.2
Berücksichtigung des Bauteilaufbaus	Ind. 2.1+2.2	TEC1.6			4.1.4	C4.2
Berücksichtigung der Verbindungsmittel		TEC1.6			4.1.4	C4.2
Berücksichtigung der Stoffströme/ Verwertungsmöglichkeiten	Ind. 2.2+2.4	TEC1.6			4.1.4	C4.2
Anpassungsfähigkeit	Ind. 2.3					

Tab. 4.3: Übersicht der zu bewertenden Indikatoren und den dazugehörigen quantifizierbaren Kriterien, Quelle: eigene Darstellung.

Beurteilt wird danach die Vermeidung von zu deponierenden Abfällen durch die Berücksichtigung der Stoffströme und die erreichten Anteile an wiederverwendeten/ recycelten Baustoffen bzw. Sekundärrohstoffen. Ebenso wird die Eignung der Bauteilaufbauten hinsichtlich Rückbau, Recycling und Verwertung, zum Teil auch inklusive Betrachtung der gewählten Verbindungsmittel betrachtet. In den Systemen Levels, DGNB, BNB und klimaaktiv/EI10 werden Ergebnisse am Ende z.T. als ein erreichter Score abgebildet, bspw. im System Levels in Form eines Anpassungsscores. Kriterien, die als quantifizierbar eingestuft wurden, jedoch auf Grund fehlender Datengrundlage nicht bewertet werden konnten, sind in der Tabelle ausgegraut. Die Nachweise für die entsprechenden Indikatoren basieren meist auf zu erreichenden Mindestanteilen an der Gesamtmasse der Bau- bzw. Abfallstoffe oder einer Gewichtung der Baustoffe bzw. Bauteile anhand vordefinierter Faktoren. Dabei kann grundlegend zwischen der Betrachtung von bereits wiederverwendeten/ rezyklierten Baustoffanteilen im Gebäude und dem Wiederverwendungs-/Recyclingpotenzial der am Ende des Lebenszyklus zur Verfügung stehende Bauteilmassen unterschieden werden. Für die Berechnung benötigte Eingangsdaten umfassen Bauteilaufbauten, die Zusammensetzung und Massenermittlung der verwendeten Baumaterialien, sowie die dazugehörige Bruttogeschossfläche eines Projektes. Ebenso notwendig ist die Kenntnis über die mit dem Projekt in Zusammenhang stehenden Materialflüsse, um die Herkunft, sowie die End-of-Life-Szenarien der einzelnen Bau-

materialien einschätzen zu können. Im nachfolgenden Abschnitt wird genauer auf die für eine Auswertung benötigte Datengrundlage eingegangen.

4.2 Datengrundlage für die Berechnungsdurchführung

Ein vom Institut zur Verfügung gestelltes BIM-Modell wurde zur Durchführung der Fallstudie herangezogen, welches in Abbildung 4.2 abgebildet ist. Dabei handelt es sich um ein siebenstöckiges Gebäude inklusive Kellergeschoss mit Mischnutzung in Holz-Hybrid-Bauweise. Es umfasst ein gewerblich genutztes Erdgeschoss mit darüberliegenden Wohneinheiten auf insgesamt ca. 2200 m² Bruttogeschossfläche. Die Grundidee des Entwurfs basiert auf verschiedenen Modultypen, die nach Bedarf der NutzerInnen zu Nutzungseinheiten addiert werden können. Für die Fallstudie werden die thermische Gebäudehülle des Gebäudes inklusive Fenster- und Türelementen und Zwischendecken betrachtet. Das zur Verfügung gestellte, digitale Gebäudemodell ermöglicht die Ermittlung der im nächsten Abschnitt vorgestellten Bauteile und den zugehörigen Bauteilmassen. Von besonderer Bedeutung für die Auswertung der Kriterien sind Informationen zu weiterführenden Nutzungsmöglichkeiten nach Erreichen der letzten Lebenszyklusphase eines Bauteils. Um verschiedene Szenarien abbilden zu können, werden im zweiten Abschnitt drei verschiedene Optionen für die Wiederverwendung bzw. das Recycling jedes verbauten Materials definiert.

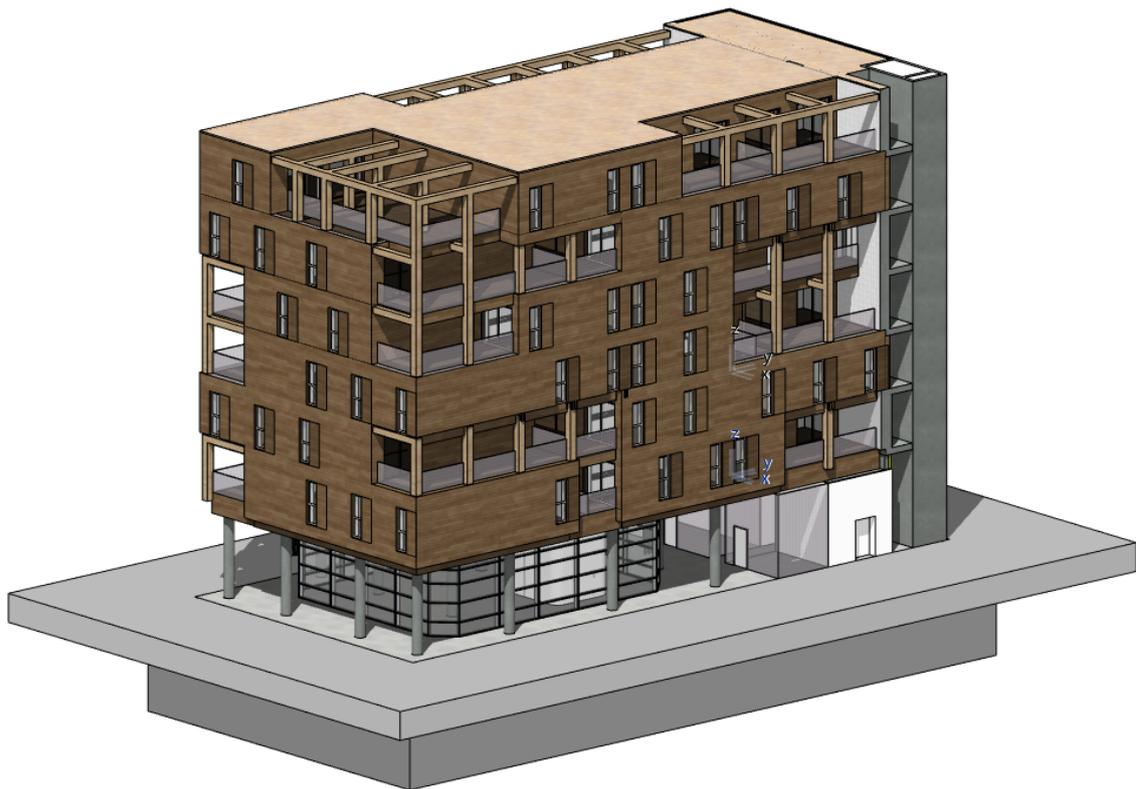


Abb. 4.2: Das für die Datengrundlage ausgewertete BIM-Modell zur Verfügung gestellt vom Industriebau-Institut der TU Wien, Quelle: Screenshot.

4.2.1 Berücksichtigte Bauteilaufbauten und resultierende Materialströme

Der Bauteilkatalog umfasst für das betrachtete Gebäude insgesamt 14 verschiedene Bauteile, wovon fünf Außenwand-Aufbauten, sieben Decken-Aufbauten und zwei verschiedene Dach-Aufbauten darstellen. Die exakten Aufbauten und Schichtdicken können Anhang A entnommen werden. Abbildung 4.3 enthält eine Übersicht mit der Verortung der betrachteten Decken, Wand und Dachaufbauten inklusive zugehöriger Fläche. Die Wände werden jeweils vom 1. Obergeschoss bis ins 6. Obergeschoss betrachtet und nur zur verständlicheren Darstellung als Ausschnitt für die ersten drei Geschosse gezeigt. Grundsätzlich kommen Bauteile in Stahlbeton- und Holzmas-

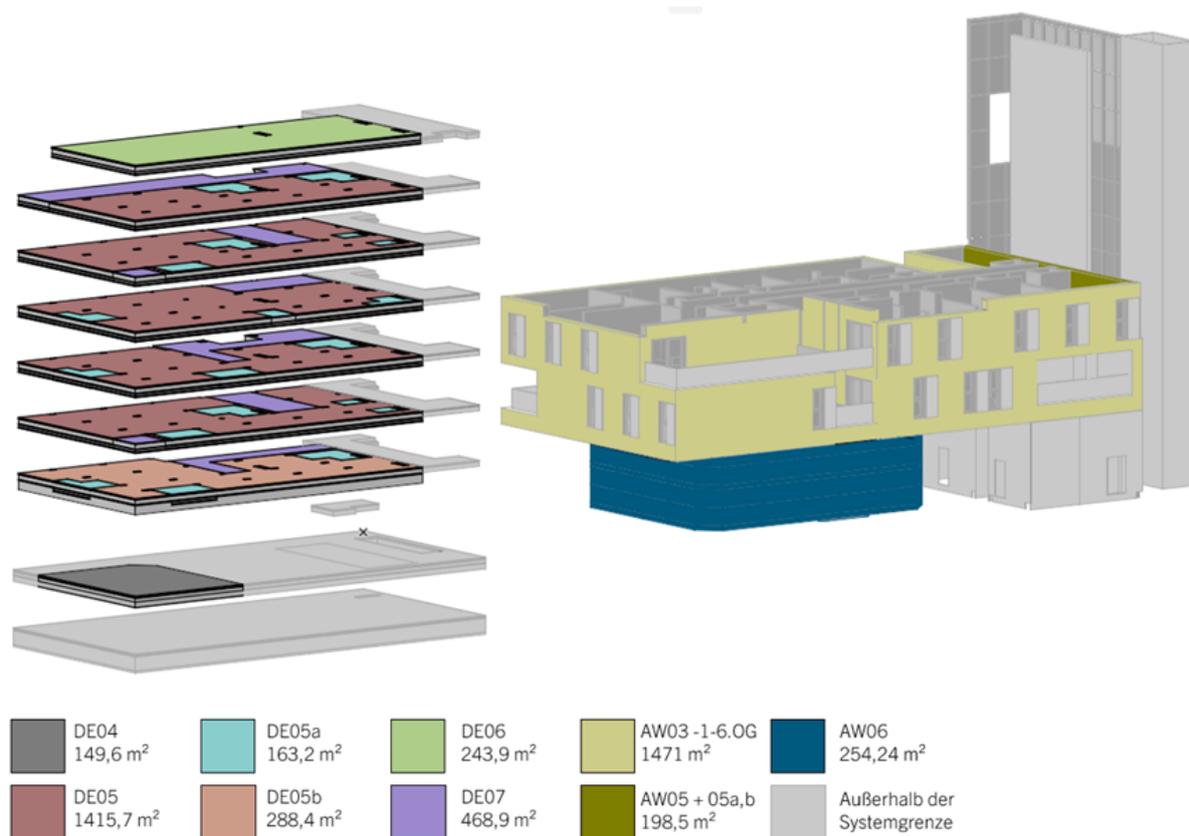


Abb. 4.3: Lage und Fläche der betrachteten Bauteilaufbauten im Projekt, Quelle: Eigene Darstellung

sivbauweise in Kombination mit Holzleichtbau-Konstruktionen in Außenwänden, Decken und den Flachdach-Konstruktionen vor. Die Fassade besteht aus Holzlatten im Wohnbereich und aus einer Pfosten-Riegel-Fassade im Erdgeschoss. Raumseitig wurden die Wände und Decken mit Gipskartonplatten verkleidet, als Bodenbelag werden Betonplatten im EG und Holzparkett in den Obergeschossen angenommen. Die Dämmstoffe bestehen klassisch aus Mineralwolle (vorrangig Steinwolle) in Wänden und Decken, sowie aus EPS im Dachbereich. Für die auftretenden Verbindungsarten zwischen den einzelnen Schichten werden die Verbindungsmittel mit angrenzenden Baustoffen in Abbildung 4.4 detaillierter dargestellt und umfassen geklebte, geschraubte, gesteckte bzw. lose verlegte und verschweißte Verbindungen. Falls die Verbindungsart aus dem Aufbau nicht direkt abzuleiten ist, wird eine Verbindung nach aktuellem Stand der Technik angenommen.

Im nächsten Schritt werden die Bauteile anhand der enthaltenen Materialgruppen analysiert. Dabei wird sich an den in der ÖNORM B 3151 *Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode* festgehaltenen Einteilung in Schad- und Störstoffe, sowie die zu trennenden Stoffgruppen



Abb. 4.4: Verbindungsarten zwischen den vorkommenden Bauteilschichten und die damit verbauten Baustoffe, Quelle: Eigene Darstellung

orientiert. Als zu trennende Hauptbestandteile treffen für das vorliegende Bauprojekt Beton, Holz, Metalle und sonstige Hauptbestandteile, wie Verbundmaterialien, Glas oder Gips zu. Nach einer durchgeführten Entrümpelung wird eine Schadstoffprüfung durchgeführt, dabei identifizierte Baustoffe werden entfernt und einer entsprechenden Deponierung bzw. Sanierung zugeführt. Das betrachtete Bauprojekt wurde im Jahr 2022 fertiggestellt, weshalb angenommen wird, dass grundsätzlich keine schadstoffhaltigen Baumaterialien, wie bspw. gesundheitsgefährdende Mineralfaser-Dämmstoffe verbaut wurden. Jedoch können durch evtl. Schäden über die Nutzungsdauer (wie bspw. Brände oder andere Unfälle) oder den nachträglichen Einbau von als Schadstoff deklarierte Elemente (wie bspw. Energiesparlampen) trotzdem zu entfernende, schadstoffhaltige Stoffe auftreten. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass diese rückstandsfrei zu entfernen sind und die ursprüngliche Bausubstanz dadurch nicht belastet wird. Im Vorfeld weiterer Rückbau-Arbeiten sind außerdem sogenannte Störstoffe aus dem Gebäude zu entfernen. Darunter fallen innerhalb der gewählten Systemgrenze der thermischen Gebäudehülle mit Zwischendecken Fußbodenaufbauten inklusive nicht-mineralischer Bodenbeläge, Fassadenkonstruktionen, Abdichtungen, gipshaltige Baustoffe, lose verbaute Mineralwolle, Glas, Fenster und Türen [61, vgl. S. 7-8]. Die nun verbleibende Baustruktur ist anschließend möglichst sortenrein entsprechend der zu trennenden Hauptstoffgruppen rückzubauen. Abbildung 4.5 zeigt schematisch, welche Bauelemente welcher Stoffgruppe zugeordnet werden. Die für die Bewertung der Kriterien notwendige Massenermittlung resultiert z.T. aus den zur Verfügung stehenden Berechnungstools der Zertifizierungssysteme und wird daher im Rahmen der Ergebnisse dargestellt. Basierend auf der nun zur Verfügung stehenden Grundlage der am Ende des Lebenszyklus auftretenden Baustoffe, wird im nächsten Abschnitt auf mögliche Wiederverwendungs- bzw. Recyclingpotenziale der Materialien in Form von drei verschiedenen Szenarien eingegangen.

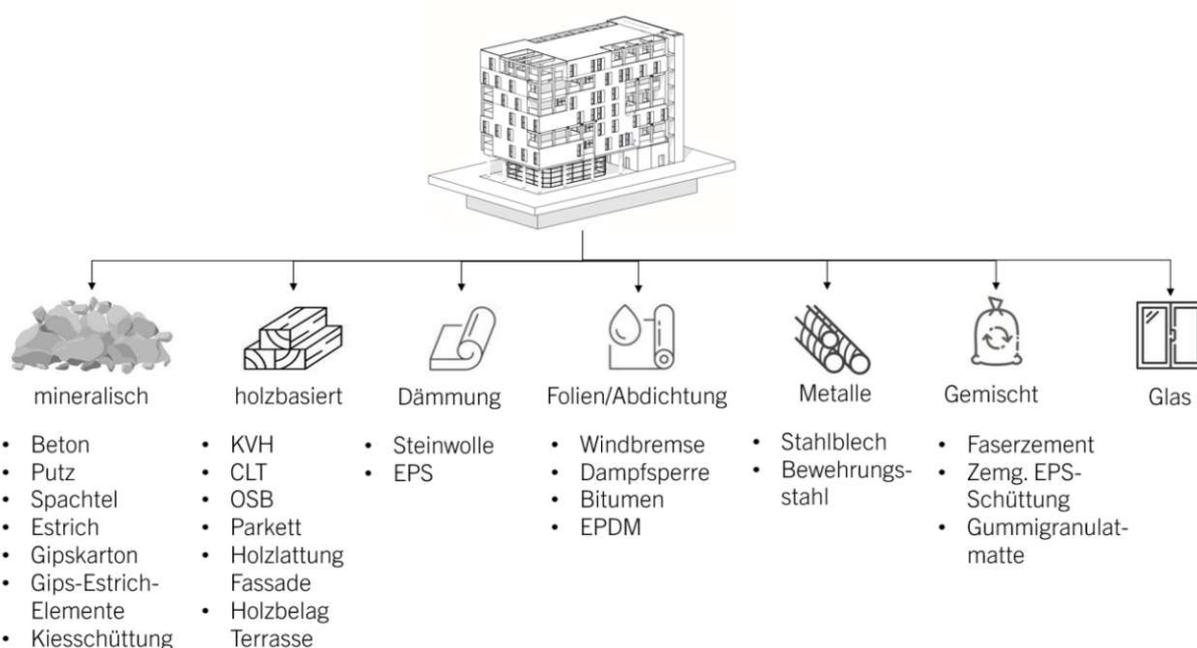


Abb. 4.5: Im Gebäude enthaltene Baustoffe gruppiert nach Materialgruppen, Quelle: Eigene Darstellung

4.2.2 Entwicklung der End-of-Life-Szenarien

Im vorliegenden Abschnitt werden drei mögliche Szenarien für die Wiederverwendung und das Recycling der aus dem Gebäude hervorgehenden Baustoffe entwickelt. Die Entscheidung dazu basiert auf der Problemstellung, die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes, welches in frühestens 50 Jahren rückgebaut wird, basierend auf dem heutigen Stand der Technik zu bewerten. Da sich die zur Verfügung stehenden Technologien jedoch über einen Zeitraum von 50 Jahren hinsichtlich des Rückbaus und der Wiederaufbereitung von Baustoffen weiterentwickeln werden, soll dies über die drei Szenarien abgebildet werden. Szenario 1 betrachtet das Wiederverwendungs- und Recyclingpotenzial zum aktuellen Stand der Technik basierend auf zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Veröffentlichungen wie dem Atlas Recycling [62] oder Statusberichte zum abfallwirtschaftlichen Umgang mit den verschiedenen Baustoffgruppen [63]. Im zweiten Szenario werden aktuelle Entwicklungen im Bereich Bauteil-Wiederverwendung bzw. -Aufbereitung in Form von Forschungs- oder Innovationsprojekten als neuer Stand der Technik angesehen. Wie sich die Möglichkeit komplett geschlossener Stoffkreisläufe auf die Wiederverwendung und Recyclingfähigkeit auswirken würde, wird im dritten Szenario simuliert. In den nachfolgenden Unterabschnitten werden die jeweiligen Wiederverwendungs- und Recyclingpotenziale für die in Abschnitt 4.2.1 aufgeführten Materialien für jedes Szenario aufgeführt.

Szenario 1: Stand der Technik 2023

Im ersten Szenario werden die Materialien den aktuell gängigen Wiederverwendungs- und Recyclingverfahren zugeführt.

Zur Gruppe der mineralischen Baustoffe zählen im vorliegenden Projekt Stahlbeton, Estrich, Spachtel/Putz, Gipskarton, Gips-Estrich-Elemente, Fliesen, Betonplatten und Kies. Stahlbeton-Bauteile werden aktuell wegen unzureichender technischer und rechtlicher Rahmenbedingungen, sowie hoher Transportkosten nur selten als gesamtes Bauteil wiederverwendet [62, vgl. S. 70]. Als Betonabbruch kann das Material jedoch einem Aufbereitungsprozess zugeführt werden,

wobei die Stoffgruppen Stahl und mineralische Gesteinskörnungen voneinander getrennt werden. Das Material kann in stationären oder mobilen Behandlungsanlagen aufbereitet werden und als Sekundärrohstoff in mineralischen Recyclingbaustoffen oder downgecycelt als Schütt- oder Verfüllungsmaterial erneut eingesetzt werden [63, vgl. S. 42-44]. Die genauen Vorschriften für den erneuten Einsatz als mineralisches Recycling-Material sind in der Recycling-Baustoffverordnung geregelt [21], welche genauer in Kapitel 2.2.3 vorgestellt wird. Der größere Anteil wird bislang für den Einsatz als Schüttmaterial eingesetzt und nur ein geringer Prozentanteil gleichwertig als rezyklierter Gesteinszuschlag wiederverwertet [64, vgl. S. 21].

Estrich fällt laut ÖNORM B 3151 unter den Fußbodenaufbau und zählt daher zu den im Vorfeld zu entfernenden Störstoffen. Nach Abbruch fällt Estrich mit Ziegeln, Beton, Fliesen und Keramik in die Stoffgruppe gemischter mineralischer Bauschutt. Mögliche Verwertungswege stellen die Aufbereitung zu mineralischer Gesteinskörnung oder die Deponierung dar. Die aufbereitete mineralische Gesteinskörnung kann dann entsprechend der Einsatzmöglichkeiten von aufbereitetem Betonabbruch eingesetzt werden. Es wird daher von einem Downcycling als Schüttmaterial ausgegangen.

Verbauter Spachtel bzw. Putz wird vorrangig als Verunreinigung an Baustoffen, wie Beton oder Dämmungen angesehen und wird als potenzieller Störstoff im Vorfeld entfernt. Einem sortenreinen Recycling steht u.a. die oft unklare Zusammensetzung des Mörtels im Weg, weshalb in diesem Szenario von einer Deponierung als Bauschutt ausgegangen wird [65].

Gipskarton eignet sich nach aktuellem Stand der Technik gut für einen Recyclingprozess, die dafür notwendige Anlage steht in Österreich bisher jedoch noch nicht zur Verfügung. Daher werden gipshaltige Produkte bisher auf der Deponie entsorgt [66]. Für die Baustoffe Gipskartonplatten und Gips-Estrich-Elemente wird daher von einer Deponierung ausgegangen.

Fliesen sind mit dem vorliegenden Untergrund verklebt und können somit nicht zerstörungsfrei oder sortenrein rückgebaut werden. Im Rahmen des ersten Szenarios wird der anfallende Fliesenbruch als Anteil des mineralischen Bauschutts der erneuten Aufbereitung zugeführt.

Für die Betonplatten wird von einer losen Verlegung ausgegangen, wodurch ein zerstörungsfreier Rückbau und somit eine Wiederverwendung der Platten bereits ab dem ersten Szenario möglich ist. Da die Wiederverwendung bereits die höchste Stufe der Abfallhierarchie nach der Vermeidung darstellt, wird das Material in den nachfolgenden Szenarien nicht erneut aufgeführt.

Kies wird im Dachbereich als oberste Schicht eingesetzt und kann daher einfach entnommen und erneut in anderen Bereichen, wie bspw. der Landschaftsgestaltung oder auf weiteren Dachflächen eingesetzt werden. Es wird also von einer gleichwertigen Wiederverwendung über alle Szenarien ausgegangen, weshalb nicht erneut auf das Material eingegangen wird.

In die Stoffgruppe Metalle fallen im betrachteten Projekt der im Stahlbeton verbaute Bewehrungsstahl und die Stahlbleche der Pfosten-Riegel-Fassade. Beide Materialien weisen ein gutes Recyclingpotenzial auf, da der anfallende Stahlschrott bei guter Eignung als Ausgangsmaterial für die Herstellung neuer Metallprodukte genutzt werden kann. Wegen der hohen Wirtschaftlichkeit wird Stahlschrott bereits zu einem großen Anteil recycelt [63, vgl. S. 17]. Für die Konstruktion der Pfosten-Riegel-Fassade wird durch die gute Rückbaubarkeit bereits ab dem ersten Szenario von einer Wiederverwendung ausgegangen.

Die Weiterverwendung bzw. das Recycling von Holzprodukten unterscheidet sich je nach Art und Qualität des Holzes. Als gut wiederverwendbar gelten Holzbauteile in Form von Fenstern, Türen oder hochwertige Holzböden, wenn diese zerstörungsfrei ausgebaut werden können [63, vgl. S. 15]. Weiteres regelt die Recyclingholz-Verordnung in Österreich genau, welche Holzabfälle für einen Recyclingprozess geeignet sind [67, vgl. Anhang I]. Wenig behandelte Hölzer aus Bau- und Abbruchabfällen, wie in diesem Projekt verbaute Konstruktionsvollhölzer oder Fassadenlattungen, entsprechen den Anforderungen und werden vorrangig einem stofflichen Recycling zugeführt. Stärker verarbeitete bzw. behandelte Hölzer wie Verbundplatten, z.B. OSB-Platten und CLT-

Elemente, oder versiegelte Parkettböden werden einer energetischen Verwertung zugeführt, da die erforderliche Qualität für ein stoffliches Recycling meist nicht gegeben ist [63, vgl. S. 15-16].

Im Bereich der Folien bzw. Abdichtungsmaterialien wird der größte Anteil auf Grund des guten Heizwertes bisher energetisch verwertet. Dazu gehören z.B. Bitumen und EPDM-Folien, obwohl diese in den meisten Fällen ein gutes Recyclingpotenzial aufweisen. Dampfbremsen bestehen meist aus Low-Density Polyethylen und können anhand der Materialreinheit einem Kunststoff-Recycling zugeführt werden [62, vgl. S. 93].

Dämmstoffe unterscheiden sich in den Wiederverwertungsmöglichkeiten je nach dem zugrunde liegenden Rohstoff. Eine Hürde ist die sortenreine Rückgewinnung, da häufig Anhaftungen durch Kleber oder Putze vorliegen. Für die im Projekt vorrangig verwendete Mineralwoll-Dämmung fehlt es bisher an Wissen und Technologien, diese ausgehend von der Zusammensetzung und trotz den bestehenden Verunreinigungen für eine Wiederverwertung aufzubereiten [62, vgl. S. 90]. Da in der Mineralwolle enthaltene Fasern zusätzlich als krebserregend eingestuft werden, sind anfallende Abfallmengen zu deponieren [68]. Die im Dachbereich eingesetzte EPS-Dämmung weist ein gutes Recyclingpotenzial auf, wird in den meisten Fällen aber energetisch verwertet [62, vgl. S. 86].

Heute in Fenstern und Glasfassaden verbaut Glas enthält häufig eine Vielzahl von Bestandteilen, wie Beschichtungen oder Gase, die ein einheitliches Recycling auf gleicher Qualitätsstufe erschweren. Jedoch besteht die Möglichkeit zerstörungsfrei ausgebaute Fenster und Glasscheiben als ganzes Bauteil wiederzuverwenden. Ist ein zerstörungsfreier Rückbau nicht möglich, findet meist ein Downcycling in neuen Glasprodukten, z.B. Schaumglas, statt [62, vgl. 97]. Für die im Projekt verbauten Holz-Alu-Fenster wird von langlebigen Produkten ausgegangen, die als ganze Bauteile wiederverwendet werden können. Die einzelnen Materialien der Fensterelemente werden daher nicht in der Massenermittlung berücksichtigt. Ebenso wird für die Pfosten-Riegel-Fassade von einer guten Demontierbarkeit und damit für einen erneuten, gleichwertigen Einsatz ausgegangen. Im Gegensatz zu den fest miteinander verbundenen Fensterbauteilen werden bei der Glasfassade die Glasflächen und die Pfosten-Riegel-Konstruktion getrennt in der Massenermittlung erfasst.

Neben den bisher aufgeführten Materialien wurden im Projekt auch Verbundwerkstoffe, wie Faserzementplatten und zementgebundene EPS-Schüttung verbaut. Ein sortenreines Recycling von bspw. Zement oder EPS ist für diese Baustoffe nicht möglich. Jedoch können bspw. gut erhaltene, große Faserzementplatten als Bauteile im Ganzen wiederverwendet werden. Weitere Verwertungsmöglichkeiten sind der geschredderte Einsatz als Schüttgut oder die Deponierung [62, vgl. S. 77]. Durch den geringen Massenanteil wird für das erste Szenario von einer Deponierung der Platten ausgegangen. Zur Weiterverwertung von zementgebundener EPS-Schüttung wurden keine Informationen gefunden, weshalb von einer Deponierung ausgegangen wird.

Weitere Baustoffe, die keiner Materialgruppe zugeordnet werden können ist die Gummigranulatmatte. Für die Gummigranulatmatte wird ein ähnlicher Verwertungsweg, wie für Bitumen oder EPDM angenommen. Im ersten Szenario werden die Gummigranulatmatten einer energetischen Verwertung zugeführt.

Szenario 2: Forschung und Innovation als neuer Status Quo

Das zweite Szenario geht von einem Zustand aus, in dem aktuell in der Forschung befindliche oder als Innovation geltende Technologien bereits etabliert sind. Bisher vorherrschende, lineare Prozesse wurden teilweise bereits an für eine kreislauffähige Bauproduktführung notwendige Strukturen angepasst. Da schwer abzuschätzen ist, in welchem genauen Zeitraum die betrachtete Technologie sich etablieren kann, wird als maximaler Zeitrahmen das angesetzte Ende der Lebensdauer des Projektes in 50 bis 100 Jahren gesetzt. Es wird für jede betrachtete Technologie basierend auf

dem bisher veröffentlichten Wissensstand abgeschätzt, wie weit die Technologie bis zu diesem Zeitpunkt fortgeschritten ist.

Im Bereich der mineralischen Baustoffe finden sich Forschungsprojekte mit Bezug auf die Wiederverwendung ganzer Bauteile, verbesserten Aufbereitungsprozessen und dem Einsatz von rezyklierten Bestandteilen in neuen Bauteilen [64, vgl. S. 33-34]. Fertigbetonbauteile können bei zerstörungsfreier Trennung gut als ganze Bauteile wiederverwendet werden, während vor Ort gegossene Bauteile sich infolge durchtrennter Bewehrung nach dem Ausschnitt nicht in gleicher Funktion wiederverwenden lassen [69, vgl. S. 334]. Die Wiederverwendung der Stahlbetonteile wird durch die hohen Transportkosten und dabei entstehenden Emission nur für den erneuten Einsatz in Projekten im nahen Umkreis als sinnvoll erachtet [62, vgl. S. 70]. Zusätzlich fehlt weiterhin ein standardisierter Umgang hinsichtlich der Gewährleistung für erneut verbaute, lastabtragende Elemente [69, vgl. S. 334-335]. Die Technologien zur Aufbereitung von Bau- und Abbruchabfällen haben sich stark verbessert und ermöglichen dadurch eine sortenreine Trennung der verschiedenen Stoffgruppen. Bisher im Forschungsstadium befindliche Verfahren [70] wurden wegen steigender Rentabilität von Sekundärrohstoffen auf industriell einsetzbare Anlagen skaliert. Durch den Einsatz von elektrodynamischer Fragmentierung kann Betonabbruch in die einzelnen Korngrößenfraktionen des Gesteinszuschlags und Zementstein getrennt werden. Die Wiederverwertung als gleichwertiger, jedoch rezyklierter Gesteinszuschlag in neuen mineralischen Bauprodukten wird dadurch ohne Downcycling ermöglicht. Auch der Zementstein kann durch eine thermische Behandlung erneut aktiviert werden und so gleichwertig wiederverwertet werden [69, vgl. S. 338]. Es wird also davon ausgegangen, dass vorhandene Fertigbetonbauteile bereits wiederverwendet werden können und Ortbeton-Bauteile weiterhin dem Recycling zugeführt werden. Die im Projekt verbauten Halbfertigbetonteile mit Füllbeton werden im zweiten Szenario mit Ortbetonbauteilen gleichgesetzt und dem Recycling zugeführt.

Estrich, Fliesen sowie Spachtel bzw. Putz werden durch die fehlende Möglichkeit als Bauelement erneut eingesetzt zu werden, weiterhin als Teil mineralischen Bauschutts weiterverwertet. Auf Grund der verbesserten Analyse- und Sortierungstechnologien ist jedoch eine Abtrennung als Störstoff im Vorfeld nicht mehr notwendig. Die anfallenden Abfallmassen können also vollständig dem Recyclingprozess zugeführt werden und als rezyklierte Gesteinskörnung erneuten Einsatz in Baumaterialien finden.

Gipskarton darf ab 01.01.2026 in Österreich nicht mehr deponiert werden und wird daher der inzwischen in Betrieb genommenen Recyclinganlage zugeführt [71]. Zusätzlich gewinnt Recycling-Gips angesichts des durch den Kohleausstieg weniger verfügbaren REA-Gips als Ausgangsstoff für die Produktion von Gipsprodukten an Bedeutung [64, vgl. S. 32-33]. Die verbauten Gipskartonplatten und die Gips-Estrich-Elemente werden in einem Recycling-Prozess für die weitere Nutzung aufbereitet.

Da Stahl bereits ein sehr hohes Recyclingpotenzial aufweist und nahezu ohne Qualitätsverluste im Kreislauf geführt werden kann, wird von einer gleichwertigen Wiederverwertung wie in Szenario 1 ausgegangen. Ein Wiederverwendungspotenzial ist dann gegeben, wenn ein Stahlbeton-Bauteil im Ganzen oder die Pfosten-Riegel-Fassade als Bauelement erneut verbaut wird.

Hinsichtlich der Stoffgruppe Holz wird angenommen, dass basierend auf der historischen Erfahrung mit der Wiederverwendung von tragenden und nicht-tragenden Holzbauteilen ein rechtlich absichernder Standard entwickelt wird [72]. Für die im Projekt verbauten Holzbauteile erhöht sich somit der Anteil der wiederverwendbaren Baustoffe um die Holzlatten der Fassade, sowie die tragenden Holzelemente inklusive CLT-Elementen. Der Bodenbelag der Terrasse und das Parkett werden ebenfalls zur Weiterverwendung aufbereitet. Zur weiterführenden Verwertung von OSB-Platten wurden keine Forschungsvorhaben gefunden, weshalb weiterhin von einer energetischen Verwertung ausgegangen wird.

Die Herstellung kunststoffbasierter Folien bzw. Abdichtungen wird aufgrund einer geringeren Verfügbarkeit der benötigten Rohstoffe und den dadurch gestiegenen Preisen einen erhöhten Bedarf nach verfügbaren Sekundärrohstoffen aufweisen. Dementsprechend werden Bitumenbahnen, sowie EPDM-Folien am Ende der Nutzungsdauer einer Wiederverwertung auf gleicher Ebene zugeführt. Die dafür notwendigen Technologien existieren bereits heute und werden sich zukünftig als standardisierter Verwertungsweg etablieren. Dampfbremsen werden wie bereits in Szenario 1 weiterhin auf gleicher Ebene recycelt [62, vgl. S. 93].

Das Recycling von EPS-Dämmstoffen ist bereits heute technisch möglich [62, vgl. S. 86-87] und wird daher als neuer Standard für die Verwertung von EPS angenommen. Infolge verbesserter Rückbau- und Sortierungstechniken wird davon ausgegangen, dass die Dämmstoffe einem Recyclingprozess von Anhaftungen befreit zugeführt werden können. Dämmstoffe aus Mineralfasern, im Projekt vorrangig aus Steinwolle, können laut [73] bei sortenreiner Trennung dem Herstellungsprozess als Sekundärrohstoff erneut zugeführt werden. Das Forschungsprojekt *LifeCycle KMF* der TU Berlin untersuchte den Einsatz als Ausgangsmaterial für zementgebundene Formsteine [73, vgl. S. 7-8]. Es wird also für alle verbauten Dämmstoffe eine Zuführung zu gleichwertigen Recyclingprozessen an Stelle einer Verbrennung oder Deponierung angenommen.

Basierend auf der bereits in Szenario 1 beschriebenen Komplexität von heutigen Fensterscheiben wird bei nicht zerstörungsfreiem Rückbau weiterhin nur von einer Wiederverwertung auf geringerer Qualitätsstufe ausgegangen. Bei zerstörungsfreiem Ausbau wird weiterhin von einer Wiederverwendung als ganzes Bauteil ausgegangen.

Die im Projekt eingesetzten Verbundbaustoffe können nach neuem Stand der Technik einem verbesserten Aufbereitungs- und Sortierverfahren für mineralischen Bauschutt zugeführt werden. Somit ist ein Recycling als mineralischer Gesteinszuschlag möglich.

Um die steigenden Anforderungen an eine lokale Herkunft von Ausgangsstoffen zu erfüllen, gewinnt das Recycling von Gummiprodukten an Bedeutung und die Gummigranulatmatten werden auf gleicher Ebene rezykliert.

Szenario 3: Perfekte Bauteilkreisläufe

Das dritte Szenario betrachtet eine Führung der Baustoffe in geschlossenen Kreisläufen und basiert auf veröffentlichten Strategien und Visionen zu einer vollständig etablierten Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Die in der österreichischen Kreislaufstrategie geforderten Ziele wurden erreicht [17, vgl. S. 27-28], wodurch die Infrastruktur für ein kreislauffähiges Wirtschaften geschaffen wurde. Für den Bausektor wichtige Transformationen, wie eine verbesserte stoffliche Verwertung von Bau- und Abbruchabfällen, digital verfügbare Datensätze für die verbauten Baustoffe und wirtschaftliche Konzepte für den Vertrieb wiederverwendeter bzw. rezyklierter Materialien, wurden erfolgreich vollzogen [17, vgl. S. 43-44]. Gebäude werden als Rohstofflager begriffen [74, vgl. S. 10] und weisen einen digitalen Gebäudepass mit allen relevanten Informationen zu den vorhandenen Bauteilen vor. Wenn ein Erhalt des Gebäudes nicht sinnvoll ist, findet ein selektiver Rückbau als standardisierte Abbruchmethode statt [61]. Die erhaltenen Bauteile werden im besten Fall in gleichwertiger Funktion wiederverwendet und ansonsten sortenrein getrennt in den biologischen oder technischen Kreislauf zurückgeführt. Enthaltene Stoffe können so entweder ohne weitere Umweltbelastungen in die Natur zurückgeführt oder durch geeignete, technische Verfahren erneut als gleichwertiger Sekundärrohstoff zur Verfügung gestellt werden [75]. Die notwendigen Technologien für einen zerstörungsfreien Abbruch, eine automatisierte Sortierung und eine detaillierte Aufbereitung gelten als Stand der Technik. Bisher bestehende Probleme hinsichtlich der Gewährleistung und Versicherung [76] wurden durch neue Standards und dem Abbau von rechtlichen Hürden behoben. Übertragen auf die im Projekt vorhandenen Bauteilgruppen wirkt sich die beschriebene Vision wie nachfolgend aufgeführt aus.

In der mineralischen Baustoffgruppe führen die verbesserte Rückbau-, Sortier- und Aufbereitungstechnik zu einem hohen Recyclingpotenzial von Beton-, Estrich-, Fliesen- und den Spachtel-/Putz-Fraktionen. Auftretende Störstoffe können anhand etablierter Verfahren während des Sortierprozesses abgeschieden und ebenfalls sortenrein weiterverwertet werden. Stahlbetonbauteile werden inzwischen vorrangig als gesamte Bauteile wiederverwendet, da durch die umfassende Digitalisierung der Baubranche eine schnelle Vermittlung zu nahegelegenen AbnehmerInnen ermöglicht wird. Durch ein standardisiertes Verfahren kann eine schnelle Bauteilprüfung vor Ort durchgeführt werden und die wiederzuverwendenden Bauteile für eine gleichwertige Nutzung freigegeben werden. Nicht wiederzuverwendende Stahlbetonbauteile werden einem hochwertigen Recyclingprozess zugeführt, wodurch die einzelnen Gesteinszuschläge, sowie der Stahlschrott zu neuen Sekundärrohstoffen aufbereitet werden.

Gipskarton kann durch automatisierten Rückbau effizient ausgebaut werden und vor Ort sortenrein für den weiteren Recyclingprozess getrennt werden. Es stehen ausreichend Recyclinganlagen für eine flächendeckende Aufbereitung als Sekundärrohstoffe zur Verfügung.

Die im Projekt vorhandenen Metalle verbleiben zum Großteil in den wiederverwendeten Stahlbeton- und Fassadenbauteilen. Nicht wiederverwendbare Bauteile werden hochwertig recycelt und stehen dann als Sekundärrohstoffe in der Stahlproduktion zur Verfügung.

Die anfallenden Holzbauteile werden, wie bereits in Szenario 2 beschrieben, zum größten Teil wiederverwendet. Für den Umgang mit OSB-Platten wurde ein innovatives Trennverfahren entwickelt, welches ein Recycling zu neuen Verbundplatten ermöglicht.

Kunststoffbasierte Folien bzw. Abdichtungsbahnen, sowie die verwendeten Dämmstoffe werden in den technischen Kreislauf zurückgeführt. Eine Abtrennung von auftretenden Verunreinigungen ist möglich und führt zu sortenreinen Ausgangsmaterialien für ein hochwertiges Recycling zu neuen, gleichwertigen Baustoffen.

Die automatisierte Rückbautechnik ermöglicht den zerstörungsfreien Ausbau der verbauten Faserzementplatten und führt nach einer Aufbereitung zur Wiederverwendung. Die zementgebundene EPS-Schüttung kann weiterhin einem hochwertigen Recyclingprozess zugeführt werden.

Gummigranulatmatten werden ebenfalls weiterhin gleichwertig rezykliert.

4.3 Bewertung der kreislaufbezogenen Kriterien für die drei vorgestellten Szenarien

Nachfolgend wird das Vorgehen für die Auswertung der drei Szenarien innerhalb der sechs Zertifizierungssysteme beschrieben. Grundsätzlich wurde mit der Berechnung des Entsorgungsindektors für die klimaaktiv-Zertifizierung begonnen, da so eine genaue Zuordnung von passenden Baustoffen mit für weitere Berechnungen benötigten Parametern pro Schicht möglich war. Um die Bearbeitung der weiteren Kriterien zu vereinfachen, wurde im Vorfeld eine Massenermittlung für jeden Bauteilaufbau durchgeführt, welche sich im Anhang A befindet. Weitere notwendige Input-Daten wurden dann im Laufe der Auswertung ermittelt.

4.3.1 klimaaktiv

Die Berechnung des Entsorgungsindektors ist der zu bestimmende Parameter für das quantifizierbare und kreislaufbezogene Kriterium C.4.1. Mit Hilfe der eco2soft-Software können die benötigten Daten zur Bruttogeschossfläche, der Bilanzgrenze, der Berechnungsversion und den Bauteilaufbauten und -massen eingegeben und ausgewertet werden. Abbildung 4.6 zeigt die Projektübersicht mit den eingegebenen Werten. Als Berechnungsmethode wurde für den Entsor-

The screenshot displays the 'baubook' interface for 'eco2soft Ökobilanz für Gebäude'. The top navigation bar includes 'Alle Gebäude | Übersicht | Ergebnisse'. The main content is organized into several sections:

- Allgemeine Angaben:** Bezeichnung: Fallstudie DA; BGF: 2.112,58 m²; BZF: 2.112,58 m².
- Bauteile und Haustechnik-Komponenten:** Bauteile: 12; Kategorie: Bauteile aus dem Energieausweis; Nutzungsdauer: 31.
- Methode und Lebensphasen:**
 - Ökokennzahlenkatalog: IBO-Richtwerte 2020
 - Betrachtungszeitraum: 100 Jahre
 - Neubau, Sanierung: **Neubau**
 - ÖI Ökobilanzmethode: BG2 BZF
 - EI Entsorgungsindikator: EI10 (V2.1, 2020)
 - Transportwege (A4): **nein**
 - Austausch/Ersatz (B4): **ganzzahlig** (Nutzungsdauerkatalog 2018)
 - Gebäudebetrieb (B6): **nein**
 - Entsorgung (C1-C4): **ja**
- Ergebnisse der Gebäudeberechnung:** (indicated by a bar chart icon)

Abb. 4.6: Projektübersicht im eco2soft-Tool, Quelle: Screenshot

gungsindikator die in Kapitel 3.7.3 vorgestellte Version 2.1 gewählt. Um die Nutzungsdauer der einzelnen Bauteile berücksichtigen zu können, wurde die Bilanzgrenze des OI3-Index von 1 auf 2 hochgestuft. Insgesamt wurden 14 Bauteile mit dazugehöriger Bauteilfläche angelegt, die den vorgestellten Aufbauten der thermischen Gebäudehülle und den Zwischendecken entsprechen. Den einzelnen Schichten wurden jeweils die passenden Baumaterialien zugeordnet, welche die benötigten Kennzahlen zu Entsorgung und Verwertungspotenzial aufweisen. Als Datengrundlage dienen Bauprodukte, die auf der Online-Plattform *baubook* von HerstellerInnen hinterlegt und mit spezifischen oder allgemeinen Produktkennzahlen verknüpft werden können [77]. Das eco2soft-Tool berechnet für jedes Bauteil automatisch die Gesamtdicke, den U-Wert, die flächenspezifische Masse, den bauteilbezogenen Wert für den OI3-Index und den Entsorgungsindikator, wie in Abbildung 4.7 zu sehen ist. Die Bauteilaufbauten können sowohl für homogene, wie auch für inhomogene Schichten genau abgebildet werden. Für den Entsorgungsindikator relevante Kennwerte zur Entsorgungseinstufung und dem Verwertungspotenzial können händisch für jedes gewählte Material pro Bauteilschicht angepasst werden. Dies ermöglicht die Auswertung für die drei unterschiedlichen Szenarien trotz automatischer Zuordnung der baustoffspezifischen Kennwerte. Nutzungsdauern werden den Bauteilen nach den hinterlegten Werten für verschiedene Bauteilkategorien zugeordnet und können je nach Baustoff auch mehreren Einordnungen entsprechen. In diesem Fall muss die Nutzungsdauer händisch ausgewählt werden und kann außerdem auf die gewünschte Dauer durch eine freie Eingabe korrigiert werden. Die jeweils gewählten Baustoffe und dazugehörigen Werte können den detaillierten Ausdrucken für jedes Szenario in

Bauteil bearbeiten

Allgemeine Daten

Bezeichnung, AW03; 1435,77 m²
 Menge:
 Typ: Wand (gegen Außenluft)
 Bemerkung: keine Bemerkung

Berechnete Kennwerte:

Gesamtdicke: 0,3770 m
 U-Wert: 0,166 W/m²K
 flächenspez. Masse: 137,5 kg/m²
 ΔOI3 (BG2): 140 Punkte / m² Bt
 EI_{KON}: 1,38 Punkte / m² Bt

Nutzungsdauer:
 ja, mit ganzzahligen
 Austauschraten
 Art: Neubau

Nr.	Typ	Schicht	d [cm]	λ [W/mK]	Neu
I> 1		Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/...	3,600	0,120	
2		Faserzementplatten (2000 kg/m ²)	1,500	1,500	
3		Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,100	0,500	
4		Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/...	19,500	0,040	
5		CLT (Cross Laminated Timber) by...	10,000	0,120	
6		Airstop Diva + Dampfbremse	0,000	0,220	
7		Gipskartonplatte - Flammenschutz ...	1,500	0,210	
A> 8		Gipskartonplatte - Flammenschutz ...	1,500	0,210	

Weitere Bestandteile (nicht U-Wert relevant, ohne Bauteilaufbau)

Querschnitt

3D-Grafik

Abb. 4.7: Screenshot des in eco2soft erfassten Aufbaus der AW03, Quelle: Screenshot

Anhang B entnommen werden. Grundsätzlich wurden für das erste Szenario kaum Anpassungen vorgenommen, da die hinterlegten Werte den aktuellen Stand der Technik abbilden. Für das zweite Szenario wurde ein Großteil der Baustoffe in die Entsorgungsstufe 1 oder 2 hochgestuft, wobei für verklebte Dämmungen und Abdichtungsbahnen von Entsorgungsstufe 3 durch den erhöhten Rückbauaufwand ausgegangen wird. Das Verwertungspotenzial wurde auf Grund der verbesserten Recyclingtechnologien auf 1 bzw. 2 gesetzt. Im dritten Szenario wurde vorrangig das Verwertungspotenzial nochmals verbessert, da den meisten Baustoffen bereits die richtige Entsorgungsstufe zugeordnet wurde. Bei Baustoffen, die dem Recycling zugeführt werden, wurde z. T. noch eine Hochstufung von 2 auf 1 in der Entsorgungseinstufung vorgenommen, da von einer zusätzlichen Verbesserung der Sortenreinheit ausgegangen wird. Ebenso wurden die Einstufungen für verklebte Baustoffe verbessert, da eine Lösung für eine einfachere Trennung von potenziell störenden Rückständen angenommen wird.

4.3.2 Levels

Die vier kreislaufbezogenen Kriterien des Berichtrahmenwerks Level(s) wurden mit Hilfe der im Kapitel 3.2 vorgestellten Checklisten bzw. Excel-Tools für die drei Szenarien ausgewertet. Als Grundlage dienen die in Indikator 2.1 erfassten Bauteilmassen des Projektes, welche auf Grund nicht veränderlicher Parameter für die verschiedenen Szenarios nur einmal ausgewertet wurde. Die verschiedenen Verwertungswege werden in Indikator 2.2 und 2.4 abgebildet, welche daher hinsichtlich der Szenarios angepasst werden konnten.

Indikator 2.1 - Stück-/Mengenverzeichnis, Materialien und Nutzungsdauer

Im ersten Schritt werden die Bauteilmassen mit Hilfe des Excel-Tools für den in Abschnitt 3.2.1 vorgestellten Indikator 2.1 erfasst. Dabei wurde auf Grund der bereits im Vorfeld der Auswertung ermittelten Massen in kg auf die Eingabe der zugehörigen Bauteilflächen und den entsprechenden Umwandlungsfaktoren verzichtet, um Ungenauigkeiten zu vermeiden. Ähnlich zu den Input-Daten des eco2soft-Tools können die Bruttogeschossfläche, die betrachtete Lebensdauer

des Gebäudes, sowie der einzelnen Materialien angegeben werden. Die Betrachtungsdauer des Gebäudes wurde mit 50 Jahren angenommen und die Nutzungsdauer der einzelnen Bauelemente entsprechend der Level(s)-Einstufung gewählt [26, vgl. S. 30-31]. Zusätzlich ist eine prozentuale Eingabe der enthaltenen Materialien pro Bauteil möglich, welche durch die Eintragung nach Baustoffen meistens 100 % eines Materialtyps beträgt. Der Stahlanteil der Stahlbetonbauteile wurde entsprechend der Default-Einstellung mit 5% übernommen. Eine Kostenbetrachtung wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt, daher wurden keine Werte dazu berücksichtigt. Abbildungen 4.8 und 4.9 zeigen einen Ausschnitt der Eingabeseite im Excel-Tool mit den erfassten Daten.

Bill of quantities organised by the main building parts and elements										Building floor area (m2)		2112,6
<i>Fictive entries have been added below for illustration purposes, please delete any information in the green or yellow cells before starting</i>										Cost (/unit)	Cost (/kg)	TOTAL cost I
Tier 1 building element	Tier 2 building element	Tier 3 building element	Optional further description of the product/material being purchased	Bill of Quantities (number of units)	Unit	Conversion factor (kg/unit)	TOTAL (kg)	Cost (/unit)	Cost (/kg)	TOTAL cost I		
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Concrete walls		m ²		126444,00		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Insulation concrete walls (inside)		m ²		1882,88		0,0	0		
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading	Insulation concrete walls (outside)		m ²		513,07		0,0	0		
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Wood structure walls		m ²		13296,82		0,0	0		
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation wooden wallstructure		m ²		17638,43		0,0	0		
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	CLT-elements walls		m ²		78209,23		0,0	0		
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Wooden facade		m ²		24551,67		0,0	0		
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Pfosten-Riegel-Fassade		m ²		861,28		0,0	0		
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation Pfosten-Riegel-Fassade		m ²		552,10		0,0	0		
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Concrete Ceiling		m ²		338625,60		0,0	0		
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Wood structure ceilings		m ²		24481,46		0,0	0		
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	CLT-Elements ceiling		m ²		90826,18		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation wooden ceiling structure		m ²		48705,22		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	External insulation		m ²		16938,50		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Sound insulation		m ²		15234,03		0,0	0		
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	OSB elements		m ²		46701,47		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS-Schlüttung		m ²		747,85		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS		m ²		77,05		0,0	0		
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gipskanton		m ²		83898,36		0,0	0		

Abb. 4.8: Erster Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.1 Excel-Tools, Quelle: Screenshot

Bill of Materials by material type (% weight).											Assumed building life (yrs)	100	Rounded up requirement factor building factor	Weight of materials needed over lifetime
Concrete, brick, tile, ceramic etc.	Wood	Glass	Plastic	Bituminous mixtures	Metals	Insulation materials	Gypsum	Mixed	Electrical and Electronic Equipment	Total % (should be 100%)				
95,0%					5,0%					100,0%	60	1,666666667	2	252888
						100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	7531528
	100,0%					100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	2052,288
										100,0%	60	1,666666667	2	26597,63925
						100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	70553,7378
										100,0%	60	1,666666667	2	156418,45
	100,0%									100,0%	30	3,333333333	4	98206,668
					100,0%					100,0%	95	2,857142857	3	2583,828
										100,0%	35	2,857142857	3	1656,3
95,0%					5,0%					100,0%	60	1,666666667	2	677251,2
	100,0%									100,0%	60	1,666666667	2	48962,91925
	100,0%									100,0%	60	1,666666667	2	181652,35
						100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	194820,8787
						100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	67754
						100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	60936,1336
	100,0%									100,0%	30	3,333333333	4	186805,896
10,0%						90,0%				100,0%	30	3,333333333	4	2991,384
						100,0%				100,0%	30	3,333333333	4	308,2032
								100,0%		100,0%	30	3,333333333	4	335593,44

Abb. 4.9: Zweiter Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.1 Excel-Tools, Quelle: Screenshot

Indikator 2.2 - Bau- und Abbruchabfälle

Basierend auf den im Indikator 2.1 erhobenen Bauteilmassen, dient das Excel-Tool des Indikators 2.2 der Verknüpfung dieser Daten mit entsprechenden Entsorgungswegen. Entsprechend der Level(s)-Systematik ist dies für verschiedene Zeitpunkte im Projektablauf möglich. Es kann also wie in Abschnitt 3.2.2 beschrieben, eine Prognose der zu erwartenden Abfallmassen aus Bau- und Abbruchtätigkeiten vorgenommen werden oder die real anfallenden Bau- bzw. Abbruchabfälle erfasst werden. Für die Auswertung der drei Szenarien wird das Arbeitsblatt für Level 3 mit den „real“ anfallenden Bau- und Abbruchabfälle ausgewertet. Da keine Abfallerfassung für den Zeitraum der Bauausführung zur Verfügung steht und die Recherche zu durchschnittlich anfallenden Verschnitt- und Überbestellmengen keine ausreichenden Ergebnisse für alle Baustoffe lieferte, werden die während des Bauprozesses angefallenen Abfälle nicht mit einbezogen. Die eingehenden Abfallmassen werden aus dem Indikator 2.1 für den gesamten Lebenszyklus übernommen und berücksichtigen die bestehende Gebäudestruktur und durch Renovierungen bereits ausgetauschte Materialien der thermischen Gebäudehülle mit Zwischendecken. Das Arbeitsblatt zur Dateneingabe wird in Abbildung 4.10 mit der zur Verfügung stehenden Auswahl an Wiederverwendungs- bzw. Wiederverwertungswegen und Deponien dargestellt. Neben den verschiedenen End-of-Life-Szenarien und Bauteilmassen werden die gewählte Abbruchmethode, die Materialgruppe und der zugehörige Abfallcode auf EU-Ebene eingegeben. Bei der Eingabe der einzelnen Baustoffe

2.3. LEVEL 3 (measure): logging of actual CDW produced from any construction, demolition or renovation activities: DATA INPUT

Insert more rows if needed:

Nature of operation	Material identification	Nature of waste	List of waste code	Estimated quantity (define unit)	Conversion factor assumed	Estimated quantity (kg)	Date (and ID) of waste/material activity	Destination / fate of CDW	Notes
Demolition	Wood	Non-hazardous	17 02 01			91508,04463		Offsite recycling	walls and ceilings
Demolition	Concrete	Inert	17 01 01			441816,12		Offsite recycling	walls and ceilings
Deconstruction	Wood	Non-hazardous	17 02 01			49103,334		Offsite recycling	open facade
Deconstruction	Wood	Non-hazardous	17 02 01			46701,474		Onsite reuse (preparation for)	
Demolition	Wood	Non-hazardous	17 02 01			242265,58		Offsite reuse (preparation for)	
Demolition	Wood	Non-hazardous	17 02 01			93402,348		WEEE reuse/ refurbishment	
Demolition	Wood	Non-hazardous	17 02 01			93402,348		Onsite recycling	
Deconstruction	Wood	Non-hazardous	17 02 01			7155,02		Offsite recycling	
Deconstruction	Insulation materials	Non-hazardous	17 06 04			201824,2831		In-situ remediation/recycling of contaminated soil	
Deconstruction	Insulation materials	Non-hazardous	17 06 04			8499,1272		Ex-situ remediation/recycling of contaminated soil	
Deconstruction	Insulation materials	Non-hazardous	17 06 04			8499,1272		Onsite recovery as backfill/ landscaping	
Demolition	Concrete	Inert	17 01 01			16754,88		Offsite recovery as backfill/ landscaping	
Deconstruction	Concrete	Inert	17 01 01			42302,4		Waste to energy plant	
Deconstruction	Gypsum-based materials	Inert	17 08 02			145153,23		Incineration plant	
Deconstruction	Gypsum-based materials	Non-hazardous	17 08 02			167796,72		Inert waste landfill	gypsum-screed-elements, floors
Deconstruction	Soil and stones	Non-hazardous	17 05 04			47842,2		Non-hazardous waste landfill	plasterboard, walls and ceilings
Deconstruction	Bituminous mixtures	Non-hazardous	17 03 02			14397,93		Offsite reuse (preparation for)	gravel, roof
Deconstruction	Plastic	Non-hazardous	17 02 03			3083,376		Waste to energy plant	roof
Deconstruction	Plastic	Non-hazardous	17 02 03			7230,336		Waste to energy plant	EPDM, roof
Deconstruction	Insulation materials	Non-hazardous	17 06 04			1346,1228		Waste to energy plant	rubber granulate mat, roof
Deconstruction	Plastic	Non-hazardous	17 02 03			90987,3		Non-hazardous waste landfill	cementitious EPS-fill, floor
Deconstruction	Plastic	Non-hazardous	17 02 03			1087,776		Non-hazardous waste landfill	fibre cement board, facade
Deconstruction	Iron/steel	Non-hazardous	17 04 05			1722,552		Inert waste landfill	linoleum, flooring
Deconstruction	Insulation materials	Non-hazardous	17 06 04			1104,2		Onsite reuse (preparation for)	mullion and transom facade
Deconstruction	Glass	Non-hazardous	17 02 02			24878,75		Offsite reuse (preparation for)	insulation, mullion and transom facade
Stripping	Glass	Non-hazardous	17 02 02			0		Offsite reuse (preparation for)	glass elements, mullion and transom facade
Stripping	Wood	Non-hazardous	17 02 01			0		Offsite reuse (preparation for)	windows/doors
Stripping	Aluminium	Non-hazardous	17 04 02			0		Offsite reuse (preparation for)	windows/doors
Demolition	Iron/steel	Non-hazardous	17 04 05			23253,48		Offsite reuse (preparation for)	windows/doors
								Offsite recycling	reinforcing stel

Abb. 4.10: Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.2 Excel-Tools mit den zur Verfügung stehenden Entsorgungswegen, Quelle: Screenshot

war auffällig, dass nicht alle Materialien passenden Kategorien zugeordnet werden konnten. Verbundmaterialien (Faserzementplatte, Linoleum, zementgebundene EPS-Schüttung) und Gummi (Gummigranulatmatte) werden innerhalb der zur Verfügung stehenden *List of Waste*-Codes nicht aufgeführt und wurden daher der Kategorie *gemischte Bau- und Abbruchabfälle* zugeordnet. Um die drei Szenarien abzubilden, wurden jeweils die Abbruchmethode in Spalte A und die Entsorgungswege in Spalte I angepasst.

Indikator 2.3 - Gestaltung zwecks Anpassbarkeit und Erneuerung

Die Bewertung der Anpassbarkeit eines Gebäudes ist bisher nur für Bürogebäude möglich und wird daher nur für das Erdgeschoss des betrachteten Projektes ausgewertet. Da die Beurteilung auf meist unveränderlichen Parametern der Gebäudegeometrie, Haustechnik und Statik basiert, ist eine Anpassung für die drei erarbeiteten Szenarien nicht möglich. Des Weiteren liegen detaillierte Informationen zur Gebäudetechnik und den statischen Berechnungen nicht vor, weshalb wenn möglich Annahmen basierend auf dem verfügbaren Gebäudemodell getroffen werden. Tabelle 4.4 zeigt die Berechnung anhand der in Abschnitt 3.2.3 vorgestellten Checkliste.

Adaptivity Design Concept	Specific design aspect to address	Archived value	Scoring	Weighting factor	Result
1. Changes to the internal space distribution	1.1 Column grid spans	max. 6,2m	1	1,5	1,5
	1.2 Facade pattern	2,23m	0	1,5	0
	1.3 Internal wall system	Easily movable interior walls/ partition system	3	4,5	13,5
	1.4 Unit size and access	Space could be separated in small separated spaces	3	3	9

2. Changes to the building services	2.1 Ease of access to service ducts	wird im Rahmen des Forschungsprojekts nicht betrachtet				
	2.2 Ease of access to plant rooms					
	2.3 Longitudinal ducts for service routes					
	2.4 Higher ceilings for service routes					
	2.5 Services to sub-divisions					
	3.1 Non-load bearing facades		non bearing facade, no bearing obstacles	3	4,5	13,5
	3. Changes to the buildings facade and structure	3.2 Future-proofing of load bearing capacity	none			0
		3.3 Structural design to support future expansion	none			0

Tab. 4.4: Tabellarische Berechnung des Anpassungsscores für den Levels-Indikator 2.3, Quelle: Eigene Darstellung.

Indikator 2.4 - Entwurf für Rückbau

Ähnlich zum Adaptivity Score des Indikators 2.3 werden eingehende Daten anhand von Faktoren entsprechend der gewählten Einstufung gewichtet und als Ergebniswert zwischen 0 % und 100 % ausgegeben. Die Eingabe gleicht dem Arbeitsblatt in Indikator 2.1, weshalb die Werte für die Kategorisierung der Baustoffe und die Massen direkt übernommen werden können. Da die Rückbauaufähigkeit bewertet wird, werden nur die im Gebäude verbauten Bauteilmassen ohne bereits durch Sanierungen angefallene Bauteilmassen berücksichtigt. In Spalte J wird die passende Zirkularitätsoption für jeden eingegebenen Baustoff gewählt, wodurch die Abbildung der drei verschiedenen Szenarien möglich ist. Wie bereits in Abschnitt 3.2.4 beschrieben kann zwischen acht Optionen von der direkten Wiederverwendung bis zur Deponierung gefährlicher Abfälle

gewählt werden. Die Kosten wurden wie bereits in Indikator 2.1 im Rahmen der Fallstudie nicht berücksichtigt. Abbildung 4.11 zeigt das Arbeitsblatt des Excel-Tools zur Eingabe der benötigten Daten und die automatische Zuweisung der Faktoren für die Berechnung des massenbezogenen Zirkularitätsscores.

Level(s) indicator 2.4 design for deconstruction calculator									
Tier 1 building element	Tier 2 building element	Tier 3 building element	(Tier 4) Further explanation of entry (optional)	Quantity (kg)	Value (EUR)	Circularity (best practical outcome)	Circularity coefficient	Circularity score (by mass)	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Concrete Walls	126444,00		Recycling (mixed stream)	0,50	63222	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Insulation concrete walls (inside)	1882,88		Landfill (inert or non-haz)	0,01	18,82882	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation concrete walls (outside)	513,07		Landfill (inert or non-haz)	0,01	5,13072	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Wood structure walls	13298,82		Recycling (pure stream)	0,75	9974,114719	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation wooden wallstructure	17638,43		Landfill (inert or non-haz)	0,01	176,3843445	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	CLT-elements walls	78209,23		Recovery (energy)	0,15	11731,38375	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Wooden facade	24551,67		Recycling (pure stream)	0,75	18413,75025	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	mullion and transom facade	861,28		Reuse (preparing for)	0,90	775,1484	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation mullion and transom facade	552,10		Reuse (preparing for)	0,90	496,89	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Concrete Ceiling	338625,60		Recycling (mixed stream)	0,50	169312,8	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Wood structure ceilings	24481,46		Recycling (pure stream)	0,75	18361,09472	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	CLT-Elements ceiling	90826,18		Recovery (energy)	0,15	13623,92625	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation wooden ceiling structure	48705,22		Landfill (inert or non-haz)	0,01	487,0521968	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	External insulation	169388,50		Landfill (inert or non-haz)	0,01	169,385	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Sound insulation	15234,03		Landfill (inert or non-haz)	0,01	152,340334	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	OSB elements	46701,47		Recovery (energy)	0,15	7005,2211	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	cementitious EPS-fill	747,85		Landfill (inert or non-haz)	0,01	7,47846	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS	77,05		Landfill (inert or non-haz)	0,01	0,770508	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	plaster board	83898,36		Landfill (inert or non-haz)	0,01	838,9836	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	plaster/adhesive filler	8377,44		Landfill (inert or non-haz)	0,01	83,7744	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	gypsum-screed-elements	21151,20		Recycling (mixed stream)	0,50	10575,6	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Wooden floor	72576,62		Landfill (inert or non-haz)	0,01	725,76615	
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Wooden floor	23350,74		Recovery (energy)	0,15	3502,61055	
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Linoleum	543,89		Landfill (inert or non-haz)	0,01	5,43888	

Abb. 4.11: Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.4 Excel-Tools zur Berechnung des Zirkularitätsscores, Quelle: Screenshot

4.3.3 DGNB

Zur Ermittlung der Ergebnisse für das TEC1.6 Kriterium wird von der DGNB in der Version 2018 ein Excel-Tool zur Verfügung gestellt, welches in Abschnitt 3.3.1 genauer vorgestellt wird. Im Gegensatz zu den Auswertungen nach Levels geht nicht die Bauteilmasse, sondern die Bauteilfläche als Bezugsgröße in die Berechnung ein. Die einzelnen Bauteile werden nach Kostengruppen getrennt erfasst, weshalb Bauteilaufbauten separat nach tragend, nicht tragend bzw. Außen- oder Innenbekleidung eingetragen werden. Welche Bauteilgruppen berücksichtigt werden sollen, kann dabei im ersten Arbeitsblatt für allgemeine Angaben ausgewählt werden und kann für das vorliegende Projekt in Abbildung 4.12 ausgelesen werden. Da die thermische Gebäudehülle mit Zwischendecken in die Beurteilung eingeht, sind Außenwand-, Dach- und Deckenkonstruktionen relevant. Als Nutzungsprofil wurde basierend auf der vorrangigen Verwendung des Projektes

Auswahl des Nutzungsprofil:		WohnenV18		Punkteverteilung neu berechnen			
Indikator	Bauteilgruppe 2.KG-Ebene	Bauteilgruppe 3.KG-Ebene (RBT)	Bauteilgruppe betrachtungsrelevant?	Physikalische Einheit der Bezugsgröße	Summenwert für die Bezugsgröße der Bauteilgruppe der 3.Ebene	Relevanz laut Kriterium (x=relevant)	
1/2	Außenwände (330)	Nichttragende oder elementierte Außenwände (332+337)	Ja	m2	55,21	x	
1/2	Außenwände (330)	Außenwandbekleidungen außen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (335)	Ja	m2	1701	x	
1/2	Außenwände (330)	Außenwandbekleidungen innen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (336)	Ja	m2	1701	x	
1/2	Außenwände (330)	Außentüren und Außenfenster (334)	Ja	m2	457,42	x	
1/2	Innenwände (340)	Nichttragende oder elementierte Innenwände (342+346)	Nein	m2	100	x	
1/2	Innenwände (340)	Innenwandbekleidungen der nichttragenden und tragenden Innenwände (345)	Nein	m2	100	x	
1/2	Innenwände (340)	Innentüren und Innenfenster (344)	Nein	m2		x	
1/2	Decken (350)	Deckenbeläge (352)	Ja	m2	2254,75	x	
1/2	Decken (350)	Deckenbekleidungen (353)	Ja	m2	2254,75	x	
1/2	Dächer (360)	Dachbeläge (363)	Ja	m2	642,37	x	
1/2	Dächer (360)	Dachbekleidungen (364)	Ja	m2	642,37	x	
1/2	Baukonstruktive Einbauten (370)	Allgemeine Einbauten (371)	Nein	kg			
1	Tragwerk (3XX)	Tragende Außenwände (331)	Ja	m3	773,8597	x	
1	Tragwerk (3XX)	Außenstützen (333)	Nein	m3		x	
1	Tragwerk (3XX)	Tragende Innenwände (341)	Nein	m3	0	x	
1	Tragwerk (3XX)	Innenstützen (343)	Nein	m3		x	
1	Tragwerk (3XX)	Deckenkonstruktionen (351)	Ja	m3	2254,75	x	
1	Tragwerk (3XX)	Dachkonstruktionen (361)	Ja	m3	642,37	x	
1	Gründung (320)	Flachgründungen oder Tiefgründungen (322+323)	Nein	m3	0	x	
1	Gründung (320)	Unterböden und Bodenplatten und Bauwerksabdichtungen (324+326)	Nein	m3	0	x	
1	Gründung (320)	Bodenbeläge der Unterböden und Bodenplatten (325)	Nein	m3	0	x	
SUMME:						20	

Abb. 4.12: Ausschnitt der Dateneingabe des TEC1.6-Tools der DGNB für allgemeine Angaben, Quelle: Screenshot

Wohnen ausgewählt. Die einzelnen Bauteilschichten werden über jeweils eigene Arbeitsblätter pro Bauteilgruppe erfasst. Dabei war auffällig, dass nur eine relativ geringe Auswahl an Baustoffen für die Zuordnung der verbauten Materialien besteht. Baustoffe wie Putze, Estrich oder Verbundmaterialien sind nicht hinterlegt und wurden daher einem Material mit ähnlichen Produkteigenschaften zugeordnet. Die Entsorgungswege werden über die drei Qualitätsstufen von Q0 bis Q2 abgebildet und werden entsprechend dem hinterlegten Produktkatalog nach dem aktuellen Stand der Technik automatisch ausgefüllt. Für die Auswertung des ersten Szenarios wurden daher kaum Anpassungen vorgenommen. Maßgebend ist jeweils die Schicht mit dem geringsten Verwertungspotenzial, welche dann die Bewertung für das gesamte Bauteil darstellt. Es gibt jedoch die Möglichkeit, automatisch zugeordnete Qualitätsstufen zu überschreiben und so bspw. eine bessere Verwertungsqualität durch gute Trennbarkeit zu berücksichtigen (s. Abb. 4.13). Um die Wiederverwendung der Fenster- und Türelemente ab Szenario 1 zu berücksichtigen, wurden diese bspw. auf den Circular Economy Bonus 2 erhöht. Die Anpassung für das zweite und dritte Szenario konnte ebenfalls umgesetzt werden. Eine Übersicht der angepassten Qualitätsstufen bzw. CE Boni findet sich in Anhang F.

Bezugsgröße Bauteilgruppe:	m2					
Gesamtwert Bauteilgruppe:	1701					
Summe bewertete RBT:	1646,51					
Anteil bewerteter RBT zur Gesamtgröße (%): Zielwert >=	96,8					
"Außenwandbekleidungen außen der nichttragenden oder elementierten Außenwände (335)"	<p>Erläuterung: Falls in Spalte A "RBT" ausgewählt wurde: Geben Sie hier den Namen des RBT ein. Falls in Spalte A "S" (=Schicht) ausgewählt wurde: Geben Sie hier den Namen der Schicht ein. Falls in Spalte A "S" (=Schicht) ausgewählt wurde: Geben Sie hier den Namen der Schicht ein</p>	<p>Erläuterung: Geben Sie hier den Wert der Bezugsgröße für das RBT ein. Es ist nur ein Wert anzugeben, falls in Spalte A "RBT" ausgewählt wurde, sonst rechnet das Tool falsch. Die Summe der eingegebenen RBTs muss mindestens 60% betragen.</p>	96,8	<p>Anmerkung: Ein "Circular Economy Bonus" kann nur geltend gemacht werden, wenn das RBT > 10% der Bezugsgröße (Wert in Spalte H) ausmacht.</p>	<p>Falls in Spalte A "RBT" ausgewählt wurde: Geben Sie hier die Qualitätsstufe des RBTs ein. Die Qualitätsstufe ist die schlechteste aller Schichten. Falls in Spalte A "S" (=Schicht) ausgewählt wurde: Geben Sie hier die Qualitätsstufe der Schicht ein, wenn Sie die vorbereitete worst case Bewertung verändern wollen. Eine bessere Bewertung kann nur mit Nachweis anerkannt werden. Anmerkung: 1. Ein "Circular Economy Bonus" kann nur geltend gemacht werden, wenn das RBT > 10% der Bezugsgröße (Wert in Spalte H) ausmacht. 2. Geringfügige Fremdmittel wie Verbindungen oder Verbindungsmittel müssen dabei nicht bewertet werden, es sei denn, sie schränken die Recyclingfähigkeit [...] des zu bewertenden Bauteils stark ein oder deren Inhaltsstoffe bergen ein begründetes Risikopotenzial für eine spätere Verwertung.</p>	<p>Ind1: Bewertung RBT inkl. Verbindungsmittel und Schadstoffe</p>
RBT oder Schicht des RBT	Name RBT	Wert RBT	Anteil RBT [%]	Ind1: Vorbereitung aus "Bauteile-gesamt"	Ind1: Begründung Vorbereitung	
RBT	AW03	1435,77	84,4			Q32
S	Lärchenholzschalung			Q32	Annahme gemäß Kriterium: Stoffliche Verwertung	
S	Faserzementplatte			Q30	Deponierung, da Papierfasern über den Aufbereitungsprozess nicht ausgeschleust werden können.	Q32
S	Windbremse			Q31	Vorwiegender Verwertungsweg ist die thermische Verwertung	Q32

Abb. 4.13: Screenshot der angepassten Bauteilbewertung im TEC1.6-Tool der DGNB, Quelle: Screenshot

4.3.4 BNB

Die Rückbaufähigkeit, Trennbarkeit und Verwertung der einzelnen Bauteile wird im BNB-Zertifizierungssystem über das Kriterium 4.1.4 nach der Version von 2015 ausgewertet. Dazu steht ein Excel-Tool zur Verfügung, welches aus einem Projektblatt, einem Bauteilkatalog und einem Materialblatt besteht. Im ersten Schritt werden die vorhandenen Bauteilaufbauten im Bauteilkatalog ergänzt, wobei eine Einordnung nach Bauteilkategorien erfolgt. Es wird unterschieden zwischen Gründung, Außenwand erdberührend, massiv, elementiert bzw. leicht, Decke, Dach und Decken-/Dachbelägen. Die Bauteile können pro Schicht erfasst werden, wobei Materialien aus dem Materialblatt aus einem Drop-Down-Menü ausgewählt werden. Falls ein benötigtes Material nicht hinterlegt ist, können eigene Materialien hinzugefügt werden. Diese konnten jedoch auf Grund eines Fehlers im Excel-Tool anschließend nicht im Drop-Down-Menü des Bauteilkatalogs ausgewählt werden, weshalb Materialien mit ähnlichen Parametern eingegeben wurden. Da die Materialauswahl nicht direkt mit den in die Bewertung einfließenden Parametern verknüpft sind, wurde der Fehler als nicht relevant für die Auswertung angenommen. Die für den R-Faktor relevanten Größen Rückbaufähigkeit, Trennbarkeit und Verwertung werden schichtübergreifend für jedes Bauteil eingetragen und reichen von sehr ungünstig bis sehr günstig. Als Orientierung stehen bereits hinterlegte Bauteile mit vorliegender Bewertung im Bauteilkatalog zur Verfügung. Einen Einblick in den Bauteilkatalog bietet Abbildung 4.14. Der für das Endergebnis benötigte R-Faktor wird automatisch entsprechend den ausgewählten Bewertungen für die Parameter pro Bauteil berechnet. Für die Auswertung nach den drei Szenarien wurden jedoch Anpassungen für alle drei Parameter vorgenommen, um die jeweiligen Entsorgungswege abbilden zu können. Im ersten Szenario wurden die Parameter dafür teilweise im Bewertungsgrad abgestuft, da bspw. die Trennung eines Wärmedämmverbundsystems als ungünstig statt günstig angenommen wird. Die für das zweite und dritte Szenario erarbeiteten Entsorgungspotenziale werden dann ausgehend davon schrittweise besser eingestuft. Nach Eingabe der einzelnen Bauteile können diese im Projektblatt übernommen und mit den vorhandenen Massen verknüpft werden. Als Bezugsgröße der Bauteile werden die ermittelten Massen in kg eingetragen, wobei die zu Beginn ermittelten Bauteilmassen verwendet wurden. Berücksichtigt werden also nur die im Gebäude verbauten Massen ohne bspw. bei einer Sanierung angefallenen Abfallmassen. Die Berechnung des Gesamtergebnisses erfolgt basierend auf dem pro Bauteil übernommenen R-Faktor und den eingegebenen Bauteilmassen automatisch.

BAUTEILKATALOG
für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bauteiler projektbezogener Katalog		Bauteiler projektbezogener Katalog		Bewertung der Eignung		sehr günstig		günstig		durchschnittlich		ungünstig		sehr ungünstig	
Daten projektspezifischer Katalog		Daten projektspezifischer Katalog		Bewertung der Eignung		sehr günstig		günstig		durchschnittlich		ungünstig		sehr ungünstig	
Projekt- BNR-Nummer		Projekt- BNR-Nummer		Bewertung der Eignung		sehr günstig		günstig		durchschnittlich		ungünstig		sehr ungünstig	
Id. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	Id. Nr. Katalog	R-Faktor	Schicht 1 (innen / unten)	Schicht 2	Schicht 3				
4	AMA - Außenwandmassiv	einachsige AV aus Porenbeton	gestr./Putz, Leinwand, gestr./Putz	+	+	Ø	3 AMA	8,50	Putz - nicht gipsfahlig	Leibbeton	Putz - nicht gipsfahlig				
5	AMA - Außenwandmassiv	einachsige AV aus Porenbeton	gestr./Putz, Leinwand, gestr./Putz	+	Ø	-	4 AMA	4,75	Putz - nicht gipsfahlig	Porenbeton	Putz - nicht gipsfahlig				
6	AMA - Außenwandmassiv	einachsige AV aus por. HLZ	gestr./Putz, Leinwand, gestr./Putz	Ø	-	-	5 AMA	2,25	Putz - gipsfahlig	Leibbeton	Putz - nicht gipsfahlig				
7	AMA - Außenwandmassiv	neckschalige AV mit VDS	gestr./Putz, por.HLZ mit Dämmf. gestr./Putz	Ø	-	-	6 AMA	2,25	Putz - gipsfahlig	Porosiere Hohlblockbeleg mit Dämmfüllung	Putz - gipsfahlig				
8	AMA - Außenwandmassiv	neckschalige AV mit VHF	gestr./Putz, SIB; MV; gipsf./Putz	Ø	+	+	7 AMA	6,75	Putz - nicht gipsfahlig	Stahlbeton (Ortbeton)	Dämmstoff - Minerwolle				
9	AMA - Außenwandmassiv	AV Stb mit hinterliegender Natursteinfassade	gestr./Putz, SIB; MV; AL; UKF Faserm.	Ø	+	+	8 AMA	6,75	Putz - nicht gipsfahlig	Stahlbeton (Ortbeton)	Dämmstoff - Minerwolle				
Eigenes Bauteil (Außenwand massiv):															
1	AMA-E Außenwandmassiv	AV05	GK; Kurstat; Folie; GK; loob; Plattenwerk; MV; SIB	Ø	-	-	1 AMA-E	3,25	Gipsfahlig	Kunststoffbasierte Folien	Gipsfahlig				
2	AMA-E Außenwandmassiv	AV06	GK; Kurstat; Folie; GK; loob; Plattenwerk; MV; SIB; Möb.; MV; gipsf./Putz	Ø	-	-	2 AMA-E	3,25	Gipsfahlig	Kunststoffbasierte Folien	Gipsfahlig				
massive Außenwand ohne Zuggitter															
Außenwand elementiert															
1	AEL - Außenwand elementiert	Aluminiumfenster	Al/Glas	++	Ø	Ø	1 AEL	6,50	Aluminium	Glas					
Eigenes Bauteil (Außenwand elementiert):															
1	AEL-E Außenwand elementiert	Fenster Pfingst-Fassade AV08	St./Glas	++	+	Ø	2 AEL-E	7,25	Stahl	Glas					
2	AEL-E Außenwand elementiert	Fenster	Al/Glas	++	Ø	Ø	2 AEL-E	6,50	Aluminium	Glas					
elementare Außenwand ohne Zuggitter															

Abb. 4.14: Screenshot der Eingabemaske im Bauteilkatalog des BNB 4.1.4 Excel-Tools, Quelle: Screenshot

4.3.5 LEED

Die Auswertung der kreislaufbezogenen und quantifizierbaren Kriterien des LEED-Systems betrachtet die Ökobilanzierung und bereits im Projekt verbaute wiederverwendete oder rezyklierte Materialien. Verschiedenen Entsorgungswege werden nicht direkt bewertet, wodurch eine Anpassung an die drei entworfenen Szenarien nicht möglich ist. Eine weitere Anforderung stellt die Berechnung einer Ökobilanz für LEED-Kriterium MR C1 *Building Life-Cycle Impact Reduction* dar, was durch die neben dem Entsorgungsindikator automatisch über das eco2soft-Tool berechnete Ökobilanz² erfüllt ist. Ein Vergleich der Ökobilanz-Ergebnisse für die drei unterschiedlichen Szenarien wird als sinnvoll eingestuft, um mit den Entsorgungsszenarien verknüpfte Umweltauswirkungen abschätzen zu können. Da die berechnete Ökobilanz für den OI3-Index nur die Herstellungs- und Verwendungsphase berücksichtigt, werden sich die Ergebnisse für die drei Szenarien nicht unterscheiden. Jedoch besteht die Funktion, die Umweltauswirkungen für die Entsorgungsphase zu berechnen. Dabei können die Entsorgungsszenarien Bauteil übergreifend für einige Baustoffe angepasst werden, was in Abbildung 4.15 ausschnittsweise gezeigt wird. Dies ist jedoch nicht für alle Baustoffe möglich, wird jedoch im verfügbaren Umfang für die jeweiligen Szenarien angepasst.

Material/Komponente	Masse [kg]	Masse-anteil	Kumulierter Anteil	Entsorgung
Stahlbeton 160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%) Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	712.090	48,5%	48,5%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso Verwendet in: 7 opaken Bauteilen	205.650	14,0%	62,5%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	79.678	5,4%	67,9%	Entsorgung, Gips auf Deponie
Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m³) Verwendet in: 10 opaken Bauteilen	78.317	5,3%	73,2%	Entsorgung, Gips auf Deponie
Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet Verwendet in: 8 opaken Bauteilen	66.321	4,5%	77,7%	Entsorgung, Holz zu Recycling (nicht für EN 15804 anwendbar!)
Steinwolle MW (SW)-PT 5 (105 kg/m³) Verwendet in: 6 opaken Bauteilen	64.644	4,4%	82,1%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Faserzementplatten (2000 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	43.073	2,9%	85,0%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
SterlingOSB/4-Zero Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	30.486	2,1%	87,1%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Massivparkett Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	25.636	1,7%	88,9%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	23.921	1,6%	90,5%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
Baumit Estriche Verwendet in: 1 opaken Bauteil	21.151	1,4%	91,9%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
SterlingOSB/3-Zero Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	20.786	1,4%	93,3%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Steinwolle MW (SW)-WF (70 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	17.717	1,2%	94,6%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	15.736	1,1%	95,6%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
Glas (2500 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	12.439	0,8%	96,5%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling

Abb. 4.15: Bauteilübergreifende Auswahl der Entsorgungswege für die Ökobilanz-Berechnung im eco2soft-Tool, Quelle: Screenshot

Die Anforderungen des Kriteriums MR C3 *Sourcing of Raw Materials* an den Einsatz von wiederverwendeten bzw. Sekundärrohstoffen wurden nicht erfüllt, da keine rezyklierten oder Reuse-Materialien im Projekt eingesetzt wurden. Daher wird es im weiteren Verlauf der Arbeit nicht weiter behandelt.

4.3.6 BREEAM

Ähnlich zum LEED-Kriterium MR C3 wurden die Anforderungen an das BREEAM-Kriterium Wst02 *Recyclete Zuschlagstoffe* durch keine verbauten Sekundärrohstoffe nicht erfüllt.

²Eine detaillierte Ökobilanzberechnung wurde im Rahmen der Arbeit nicht durchgeführt, daher wird weiterführend nur auf die im Rahmen des eco2soft-Tools berechneten Ergebnisse auf Basis der Baubook-Datenbank eingegangen.

Die über die Levels-Indikatoren 2.1 und 2.2 durchgeführte Erfassung und Kategorisierung der anfallenden Abfallmassen lässt jedoch eine Bewertung des Kriteriums *Wst01 Bauabfallwirtschaft* zu. Der erreichte Prozentsatz an nicht der Deponierung zugeführten Abfällen variiert für die drei Szenarien und kann somit bei Erfüllung des geforderten Zielwertes optional einen weiteren Punkt einbringen.

4.3.7 Übersicht Anpassung der Parameter nach Szenarien

Zusammenfassend findet sich in Anhang F eine Tabelle mit einer Übersicht zu den eingegebenen Werten für die jeweiligen Parameter pro Baustoff. Berücksichtigt werden dabei die drei Zertifizierungssysteme Level(s), DGNB und klimaaktiv/EI10, welche die Parameter mit den separaten Baustoffen verknüpfen. Für das Zertifizierungssystem BNB ist diese Darstellung nicht möglich, da die Parameter auf Bauteilebene zugeordnet werden. In den Systemen LEED und BREEAM werden die Bauteilaufbauten nicht berücksichtigt, daher fehlen Daten zu baustoffspezifischen Parametern für diese Systeme ebenfalls.

Kapitel 5

Darstellung und Interpretation der erzielten Ergebnisse

Wie einleitend beschrieben sollen im Rahmen dieser Arbeit bestehende Unterschiede hinsichtlich der Bewertung kreislauffähiger Aspekte eines Gebäudes untersucht werden. Anhand einer genauen Auswertung der in Kapitel 3 theoretisch vorgestellten Zertifizierungssysteme für die im vorhergehenden Kapitel beschriebenen Fallstudie wurde die dafür notwendige Datengrundlage geschaffen. Insgesamt 9 quantifizierbare Kriterien wurden entsprechend der pro Szenario getroffenen Annahmen für die Systemgrenze der thermischen Gebäudehülle mit Zwischendecken bewertet. Als Hilfsmittel wurde die Online-Software eco2soft [78] der Bauteilplattform Baubook, von den Systemen Levels, DGNB und BNB zur Verfügung stehende Excel-Berechnungstools, sowie die Kriterienkataloge bzw. Handbücher zu den betrachteten Indikatoren. Die erzielten Ergebnisse werden nach Bearbeitungsreihenfolge entsprechend der vorliegenden Detailtiefe, welche für die verschiedenen Systeme variiert, nachfolgend für jedes der drei entworfenen End-of-Life Szenarien dargestellt. Die detaillierten Berechnungsergebnisse der Tools sind jeweils nach Zertifizierungssystem und Szenario geordnet dem Anhang beigelegt. Für Systeme, die eine Parameterzuordnung pro Bauteil erlauben, wurden zusätzlich Flussdiagramme mit Hilfe des Onlinetools SankeyMATIC [79] zur Darstellung der resultierenden Stoffströme mit den Bauteilmassen als Bezugsgröße erstellt. Dies dient lediglich einer besseren Übersicht und Vergleichbarkeit, da die Bezugsgrößen zwischen den Systemen variieren und somit ohne weiterführende Bearbeitung kein direkter Vergleich möglich ist. Nicht veränderliche Parameter, wie die materielle Zusammensetzung des Gebäudes und die dazugehörigen Massen, wurden nur einmal ermittelt und ergeben sich wie in Abbildung 5.1 abgebildet.

Mineralische Materialien bilden zum Zeitpunkt der Errichtung den massenbezogen größten Anteil, gefolgt von holzbasierten Baustoffen und Gips. Einen geringen Anteil machen die verbauten Dämmstoffe, sowie Verbundmaterialien, Metalle, Glas oder Bitumen aus. Kunststoffe machen den kleinsten Anteil aus.

Zum Vergleich wurden die einzelnen Anteile der Materialgruppen am Gesamtvolumen in Kubikmeter berechnet. Diagramm 5.2 zeigt die Ergebniswerte der im Gebäude enthaltenen Bauteile zur Errichtung und dem Lebensende inklusive Sanierungszyklen. Aus der Darstellung lässt sich ablesen, dass volumenbezogen Dämmstoffe den größten Anteil ausmachen. Den zweitgrößten Anteil macht Holz, gefolgt von der mineralischen Stoffgruppe aus. Volumenbezogen weisen die Materialgruppen Verbundbaustoffe, Metalle, Glass und Plastik bzw. Bitumen nur einen sehr geringen Anteil am Gebäude auf.

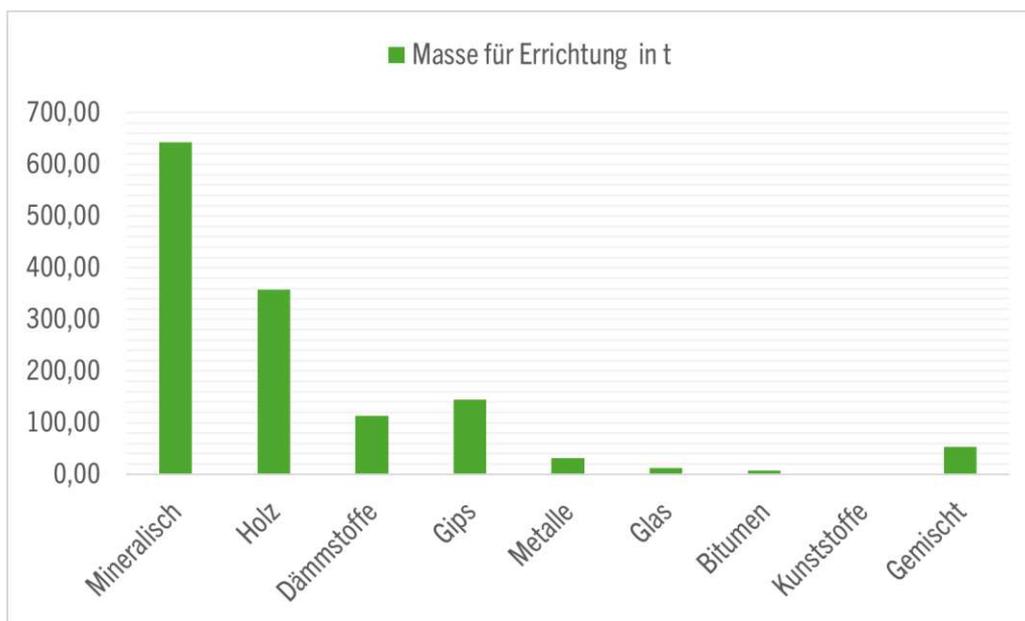


Abb. 5.1: Bauteilmassen zum Zeitpunkt der Errichtung in m^3 , Quelle: Eigene Darstellung

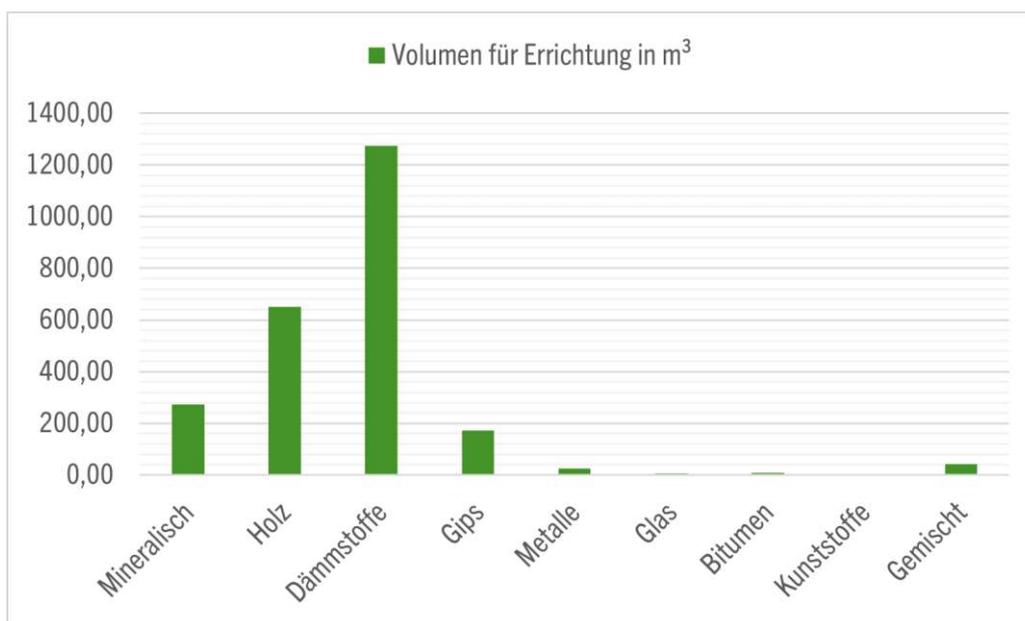


Abb. 5.2: Bauteilvolumina zum Zeitpunkt der Errichtung in m^3 , Quelle: Eigene Darstellung

5.1 Ergebnisdarstellung für das End-of-Life-Szenario 1

Wie bereits in Kapitel 4.2.2 beschrieben, wird im ersten Szenario von Wiederverwendungs- und Entsorgungswegen entsprechend dem Stand der Technik im Jahr 2023 ausgegangen. Das genaue Vorgehen bei der Auswertung und die Anpassung der einzelnen Parameter wird bereits in Abschnitt 4.3 erläutert. Nachfolgend werden die erreichten Ergebnisse innerhalb der einzelnen Zertifizierungssysteme für das erste Szenario aufbereitet, sowie auftretende Probleme oder Unstimmigkeiten aufgeführt.

5.1.1 klimaaktiv

Die Auswertung des Entsorgungsindikators führt für das erste Szenario auf ein Ergebnis von 36,9 Punkten, was den geforderten Mindestwert von 45 des klimaaktiv-Kriteriums erreicht. Für das Kriterium werden damit umgerechnet ca. 15 Punkte erreicht. Abbildung 5.3 zeigt die durch das eco2soft-Tool berechneten Ergebnisse für die Umweltauswirkungen und den Entsorgungsindikator EI10. Das Verbundmaterial zementgebundene EPS-Schüttung weist mit

Gebäude gesamt



* Berücksichtigung der Herstellungsphase (A1-A3) und der Verwendungsphase (B1-B4) von EN 15804

Abb. 5.3: Berechnungsergebnis des eco2soft-Tools für das erste Szenario, Quelle: Screenshot

einer Entsorgungseinstufung von 5 und einem Verwertungspotenzial von 4 die geringste Bewertung auf. Ebenfalls schlecht eingestuft werden die Baustoffe Gipskartonplatte und Steinwolldämmung mit einer Entsorgungseinstufung von 4 und einem Verwertungspotenzial von 3. Am Ende des Lebenszyklus ergeben sich entsprechend der ausgewählten Nutzungsdauer von 100 Jahren und den darauf abgestimmten, hinterlegten Austauschhäufigkeit der einzelnen Baustoffe die in Abbildung 5.4 als Sankey-Diagramm daargestellten Massen pro Materialgruppe. Zusätzlich sind die Massenanteile mit Zuordnung zu den Entsorgungseinstufungen von 1-5 im ersten Szenario abgebildet.

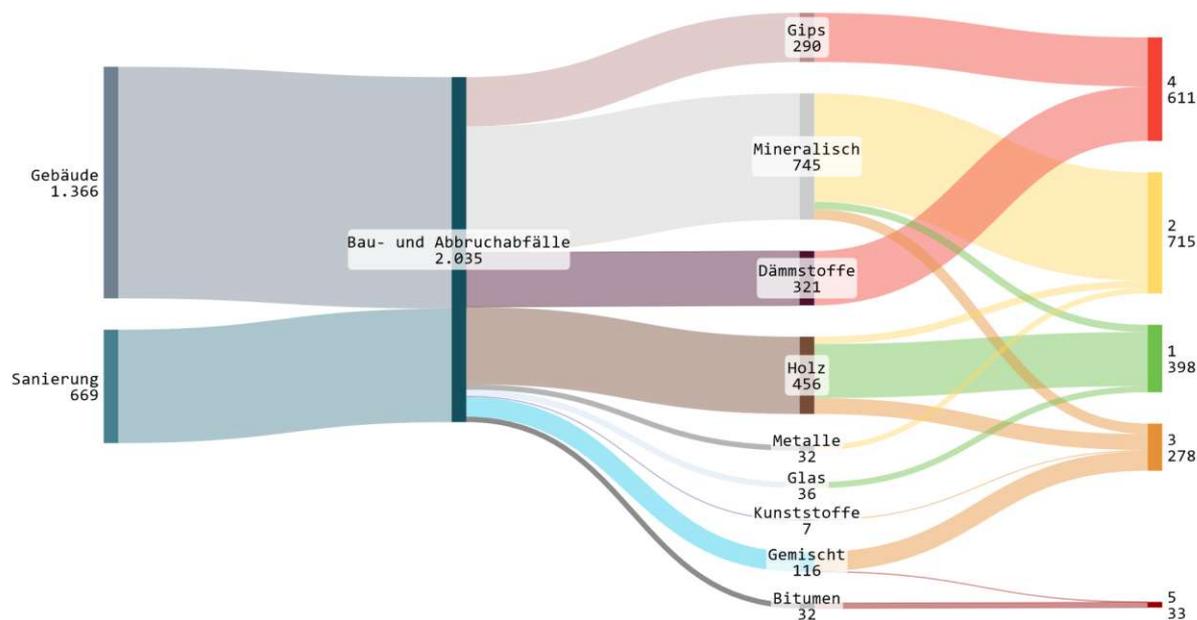


Abb. 5.4: Stoffströme für das erste Szenario basierend auf den Ergebnissen der EI10-Berechnung in Tonnen (t), Quelle: Eigene Darstellung

5.1.2 Levels

Die Bewertung der Levels-Indikatoren führt basierend auf drei zur Verfügung stehenden Excel-Tools für die Indikatoren 2.1, 2.2. und 2.4, sowie einer Checkliste für Indikator 2.3 zu einer umfassenden Betrachtung der Stoffströme und Zirkularität des Gebäudes. Indikator 2.1 liefert die im Gebäude befindlichen Bauteilmassen in Kilogramm, ebenso wie die während Bau-, Sanierungs- und Abbruchtätigkeiten angefallenen Bauteilmassen am Ende der Lebensdauer des Gebäudes. Die Ergebnisse der Bauteilmassen für die verschiedenen Baustoffgruppen können Abbildung 5.5 entnommen werden. Für Indikator 2.2 ergeben sich basierend auf den ermittelten Massen und nach Zuordnung der entsprechenden Entsorgungswege die in Darstellung 5.5 aufgeführten Ergebnisse. Der Wiederverwendung werden entsprechend dem ersten Szenario nur die Pfosten-Riegel-Fassade zugeführt, woraus sich die in dem Reuse zugeführten Massen für die Stoffgruppen Metalle, Dämmung und Glas erklären. Ein Großteil der anfallenden mineralischen Baustoffe mit insgesamt ca. 620 Tonnen wird in einer Recyclinganlage aufbereitet. Der anfallende Anteil aus Putz- bzw. Spachtelmassen wird deponiert und ergibt sich zu insgesamt 21 Tonnen. Die Materialgruppe der holzbasierten Baustoffe wird zu einem Anteil von 106 Tonnen recycelt, während mehr als die Hälfte mit 390 Tonnen energetisch verwertet wird. Weitere energetisch verwertete Materialien sind plastikbasierte Bauelemente mit ca. vier Tonnen, EPS-Dämmungen mit ca. 9 Tonnen, sowie Bitumenbahnen mit ca. 16 Tonnen. Anteilig verbrannt werden neun Tonnen Gummigranulatmatten aus den gemischten Bauabfällen. Der restliche Anteil von 98 Tonnen wird auf einer Deponie für nicht gefährliche Stoffgruppen entsorgt. In ganzen Anteilen der Deponierung zugeführte Baustoffe sind mineralische Dämmstoffe mit 210 Tonnen, sowie Gipskartonplatten und Gips-Estrich-Elemente mit ca. 290 Tonnen. Insgesamt ergibt die Auswertung des Indikators 2.2 für das Gebäude im ersten Szenario 3,8 % wiederverwendete Bauteile, 39,7 %

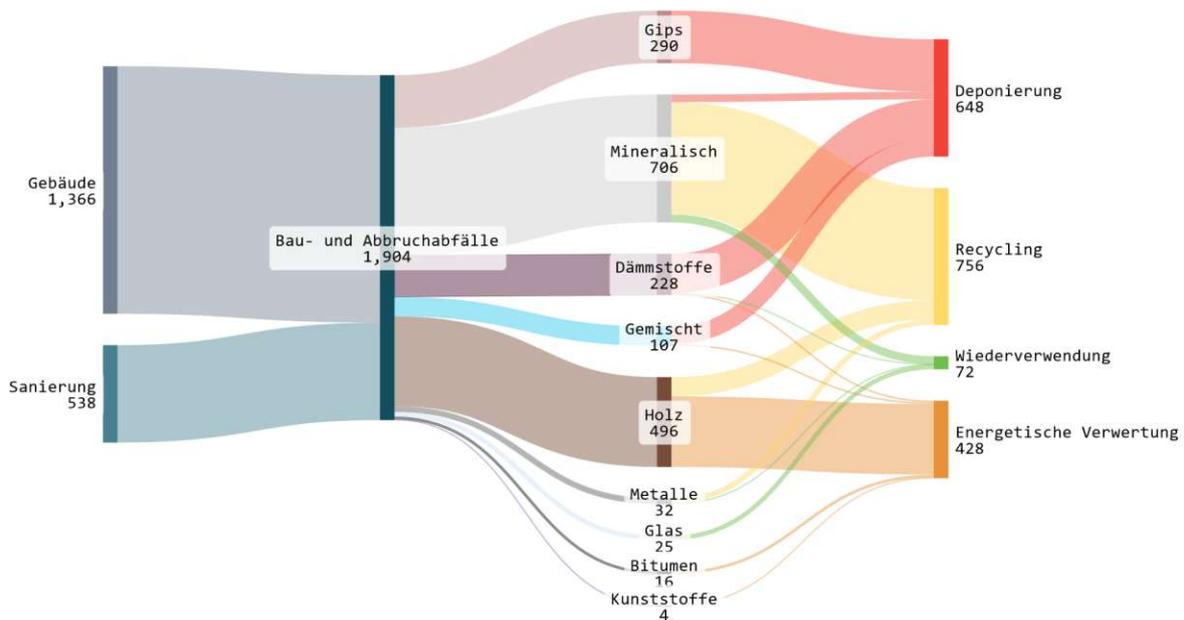


Abb. 5.5: Stoffströme der Bauteilmassen in Tonnen (t) für Indikatoren 2.1 und 2.2 in Szenario 1, Quelle: Eigene Darstellung.

rezyklierte Bauteile, 22,5 % energetisch zu verwertende Bauteile und 34,1 % zu deponierende Bauteile.

Unabhängig von den End-of-Life-Szenarien ist das Ergebnis des Levels-Indikators 2.3 zur Anpassungsfähigkeit des Gebäudes an zukünftige Nutzungsänderungen. Der berechnete Anpassungsscore beträgt szenarienübergreifend, basierend auf den vorliegenden geometrischen Abmessungen und ausgeführten technischen Details 37,5 von 100 zu erreichenden Punkten. Da sich das Ergebnis für die verschiedenen Szenarien nicht unterscheidet, wird auf eine erneute Erwähnung in den nachfolgenden Abschnitten verzichtet.

Der für den Indikator 2.4 berechnete Zirkularitätsscore ergibt sich für das erste Szenario mit 34,2% und setzt sich aus den nach Entsorgungswegen gewichteten Bauteilmassen zusammen. Die Deponierung wird dabei mit einem Faktor von 0,01 bewertet, gefolgt von der energetischen Verwertung mit einem Faktor von 0,15. Die Recycling-Option wichtet gemischte Eingangsströme mit dem Faktor 0,5 und sortenreine Eingangsmaterialien mit dem Faktor 0,75. Am besten wird die Wiederverwendung mit Faktoren von 0,9 bis 1,0 gewertet. Es kann also am Ergebnis abgelesen werden, dass ein Großteil der eingehenden Bauteilmassen um mindestens 50% reduziert wird.

5.1.3 DGNB

Die Auswertung des TEC1.6-Kriterium der DGNB-Zertifizierung ergibt für das erste Szenario ein Endergebnis von insgesamt 38,36 von 100 Punkten. Davon entfallen 20,36 Punkte auf den ersten Indikator, welcher die Recyclingfreundlichkeit der Baustoffe bewertet. Negative Auswirkungen hatten, ähnlich zur Auswertung des Entsorgungsindikators, die Baustoffe Gipskarton und Steinwolle, die jeweils der Qualitätsstufe 0 zugeordnet werden. Da ein Bauteil insgesamt mit der Qualitätsstufe der schlechtesten Bauteilschicht eingestuft wird und Gipskarton bzw. Steinwolle in fast jedem Bauteilaufbau vorhanden ist, wirkt sich dies stark auf das Endergebnis aus. 13 Punkte

werden im zweiten Indikator für die Rückbaufreundlichkeit der Konstruktionen erreicht. Die vorkommenden verklebten Verbindungen in den Bauteilen, insbesondere an den Außenschichten der Bauteile durch Bodenbeläge bzw. Dämmstoffe, werden durch Zuordnung der Qualitätsstufe 0 ebenfalls in der Endbewertung abgebildet. Diagramm 5.6 führt die aus der Berechnung mit Hilfe des Excel-Tools erzielten Ergebnisse umgerechnet in Bauteilmassen am Ende des Lebenszyklus auf. Ebenso kann abgelesen werden, wie viel Tonnen eines Baustoffs theoretisch welcher Qualitätsstufe zugeordnet wurden. Die genauen Berechnungsergebnisse können Anhang D entnommen werden.

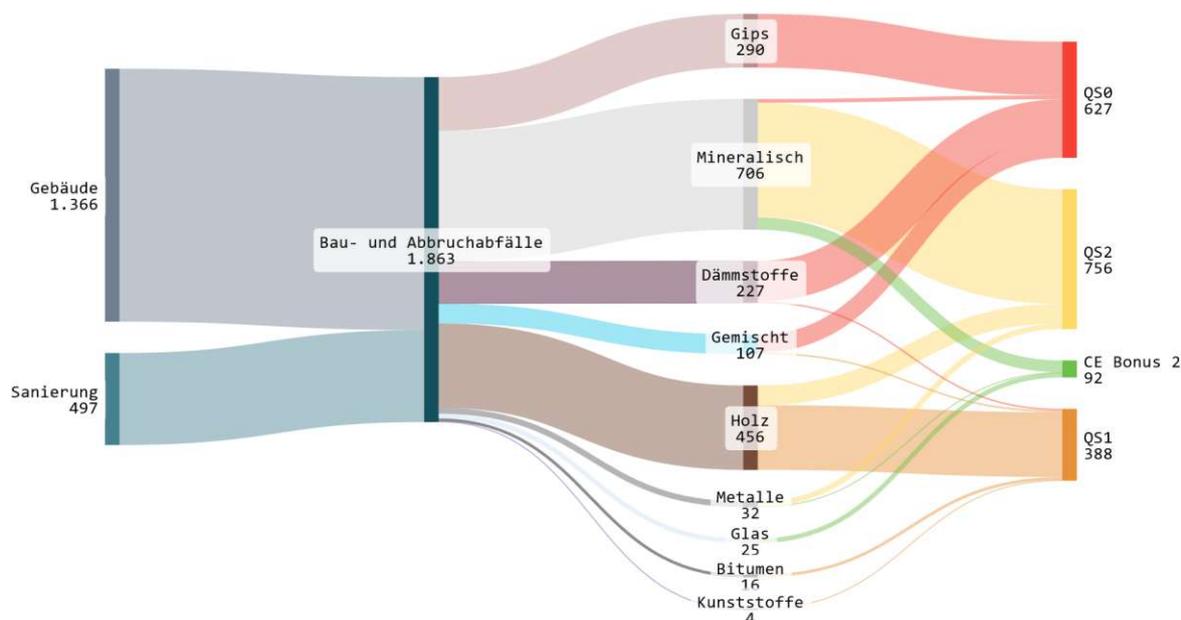


Abb. 5.6: Darstellung der Ergebnisse des TEC1.6-Tools in Tonnen (t) für Szenario 1, Quelle: Eigene Darstellung.

5.1.4 BNB

Für das BNB-Kriterium 4.1.4 steht ebenfalls ein Excel-Tool für die Auswertung bereit, welches für das erste Szenario ein Endergebnis von 51,65 von 100 ausgibt. Das Ergebnis setzt sich aus den R-Faktoren der einzelnen Bauteile und den Bauteilmassen zusammen. Der R-Faktor pro Bauteil setzt sich wie bereits beschreiben aus den Parametern Rückbau, Trennung und Verwertung zusammen, welche von sehr ungünstig bis sehr günstig bewertet werden. Es fehlt jedoch eine Orientierungshilfe, wie eine Einstufung vorzunehmen ist, weshalb das Ergebnis stark auf Annahmen basiert. So kann zum Beispiel nicht abgelesen werden, welcher Entsorgungsweg welcher Stufe der Verwertung zugeordnet ist. Die Aussagekräftigkeit des Ergebnisses ist damit ohne Validierung von ExpertInnen des BNB-Systems herabgesetzt.

5.1.5 LEED

Die zu bewertenden Kriterien des LEED-Zertifizierungssystems weisen keine Parameter auf, die für eine Abbildung drei erarbeiteten Szenarien relevant sind. Trotzdem wurde mit Hilfe des eco2soft-Tools von baubook die automatisch mitberechnete Ökobilanzierung für das Kriterium

MR C1 *Building Life-Cycle Impact Reduction* ausgewertet. Die Entsorgungswege wurden insofern möglich für das erste Szenario angepasst und führen damit zu nachfolgendem Ergebnis:

- GWP-total: 252 kg CO₂ equ./ m² BGF
- PENRT: 167 MJ
- AP: 0,08 kg SO₂ equ.

Die genaue Zuordnung kann dem Ergebnisanhang B.4 entnommen werden. Für die Durchführung einer Ökobilanz werden im betrachteten Kriterium 1 Punkt erreicht.

5.1.6 BREEAM

Die gestellten Anforderungen des betrachteten Kriteriums Wst01 werden erfüllt und somit 2 von 3 möglichen Punkten sicher erreicht. Der erreichte Prozentsatz an nicht der Deponierung zugeführten Abfällen beträgt massenbezogen 63% und erfüllt somit den geforderten Prozentsatz von mehr als 70% der gewichtsbezogenen Abbruchabfälle nicht. Folglich werden insgesamt 2 Punkte im BREEAM-Zertifizierungssystem erzielt.

5.2 Ergebnisdarstellung für das End-of-Life-Szenario 2

Im zweiten Szenario wird vom technischen Stand in 50 bis 100 Jahren ausgegangen. Der Anteil an wiederverwendeten, aber vor allem dem Recycling bzw. der Verwertung zugeführten Baustoffen steigt, während eine Deponierung für die verbauten Materialien nicht mehr vorgesehen ist. Wie sich das Szenario auf die betrachteten Zertifizierungssysteme auswirkt, wird in den nachfolgenden Unterabschnitten dargestellt.

5.2.1 klimaaktiv

Die Auswertung des Entsorgungsindikators führt für das zweite Szenario auf ein Ergebnis von 12,6 Punkten, was den geforderten Bestwert von 20 des klimaaktiv-Kriteriums erreicht. Damit werden die maximalen 40 Punkte des Kriteriums erreicht. Abbildung 5.7 zeigt die durch das eco2soft-Tool berechneten Ergebnisse für die Umweltauswirkungen und den Entsorgungsindikator EI10. Im Vergleich zum ersten Szenario hat sich das Endergebnis stark verbessert, was durch die

Gebäude gesamt



* Berücksichtigung der Herstellungsphase (A1-A3) und der Verwendungsphase (B1-B4) von EN 15804

Abb. 5.7: Berechnungsergebnis des eco2soft-Tools für das zweite Szenario, Quelle: Screenshot.

umfangreichen Anpassungen der Parameter Entsorgungseinstufung und Verwertungspotenzial zu

erklären ist. Die meisten Baustoffe weisen in diesem Szenario eine Entsorgungseinstufung von eins oder zwei auf. Verklebte Dämmungen und Abdichtungsbahnen wurde eine Entsorgungseinstufung von drei als schlechteste Einstufung zugeteilt. Das Verwertungspotenzial liegt durchgehend bei eins oder zwei, was sich ebenfalls positiv auf das Ergebnis auswirkt. Wie die Veränderungen des Parameters Entsorgungseinstufung sich auf die Anteile der Bauteilmassen ausgewirkt hat, zeigt Abbildung 5.8 in Form eines Flussdiagramms.

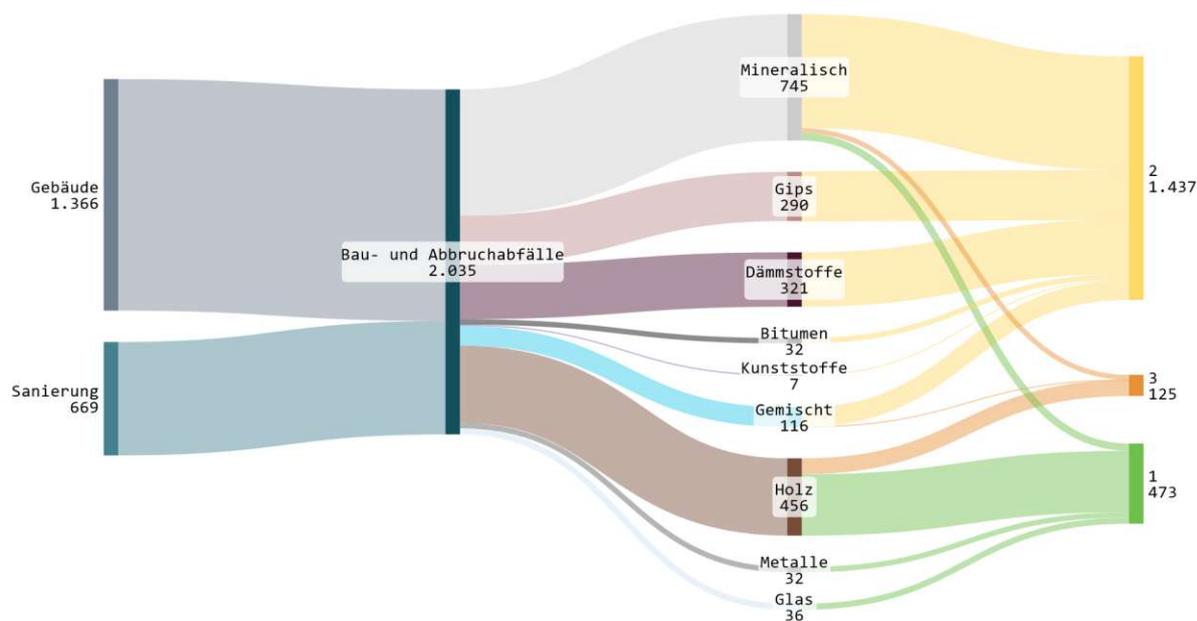


Abb. 5.8: Stoffströme für das zweite Szenario basierend auf den Ergebnissen der EI10-Berechnung in Tonnen (t), Quelle: Eigene Darstellung.

5.2.2 Levels

Für Indikator 2.2 ergeben sich basierend auf den ermittelten Massen und nach Zuordnung der entsprechenden Entsorgungswege die in Abbildung 5.9 aufgeführten Ergebnisse. Dem Flussdiagramm können die Massenanteile innerhalb der Materialgruppen, welche den Entsorgungswegen Reuse, Recycling oder energetische Verwertung zugeführt werden, für das zweite Szenario entnommen werden. Durch verbesserte Aufbereitungstechnologien können nun alle anfallenden mineralischen Abfallmassen, insgesamt 662 Tonnen, als mineralischer Gesteinsbruch aufbereitet und wiederverwertet werden. Der Anteil an holzbasierten Baustoffen, die energetisch verwertet werden, hat sich um ca. 240 Tonnen verringert. Die nicht mehr der Verbrennung zugeführte Masse wird nun gemeinsam mit den restlichen Holzanteilen, insgesamt 353 Tonnen, wiederverwendet. Die Massen der Materialgruppen Plastik, Bitumen und der Gummigranulatmatten, die im ersten Szenario energetisch verwertet wurden, werden nun einem Recycling-Prozess zugeführt. Gips- und Dämmmaterialien können im zweiten Szenario ebenfalls rezykliert werden, wodurch sich die anfallenden Massen von der Deponierung in den Recycling-Anteil der Gesamtmasse verschieben. Insgesamt werden im zweiten Szenario 22,3 % der Bauteile wiederverwendet, 72,8 % der Bauteile recycelt und 4,9 % der Bauteile energetisch verwertet.

Betrachtung als ein Bauteil automatisch die geringere Bewertung für beide Baustoffe angerechnet wird. Eine korrekte Abbildung der Entsorgungswege ist damit nicht für jeden Baustoff möglich.

44,75 Punkte werden im zweiten Indikator für die Rückbaufreundlichkeit der Konstruktionen erreicht. Die Anpassung der Qualitätsstufen für den zweiten Indikator hat das Ergebnis im Vergleich zum ersten Szenario um mehr als die Hälfte verbessert. Ausschlaggebend dafür ist die Verbesserung der Rückbautechnologien und die dadurch vereinfachte Rückgewinnung der Materialien aus dem Gebäude. Die aus der Berechnung mit Hilfe des Excel-Tools erzielten Ergebnisse pro Bauteil können dem Anhang D entnommen werden. Abbildung 5.10 zeigt die resultierenden Stoffströme der einzelnen Baustoffe in Tonnen für das zweite Szenario. Der Entfall von zu deponierenden Bauteilmassen lässt sich auf den ersten Blick erkennen, ebenso wie der Zuwachs in der QS2 und dem CE Bonus 2.

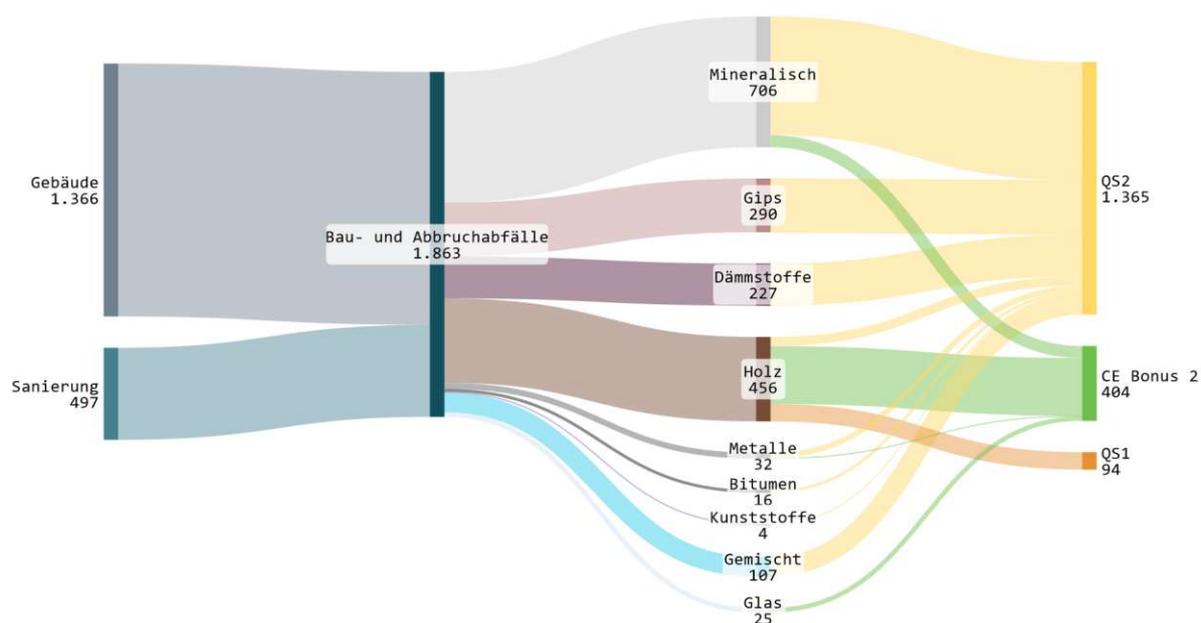


Abb. 5.10: Darstellung der Ergebnisse des TEC1.6-Tools in Tonnen (t) für Szenario 2, Quelle: Eigene Darstellung.

5.2.4 BNB

Für das BNB-Kriterium 4.1.4 wurden für das zweite Szenario ein Endergebnis von 70,08 von 100 Punkten erreicht. Wie bereits in Abschnitt 5.1.4 beschrieben, gab es Unsicherheiten bezüglich der korrekten Einordnung der Parameter entsprechend der Entsorgungswege in den Szenarien. Die Ergebnisse des zweiten Szenarios weisen vor allem verbesserte Werte in den Parametern Trennung und Verwertung auf, was der Annahme verbesserter Sortier- und Recyclingtechnologien im zweiten Szenario entspricht. Unklar ist desweiteren, ob die Wiederverwendung von Bauteilen unter dem Parameter Verwertung mitabgedeckt wird oder in der Berechnung nicht berücksichtigt werden kann.

5.2.5 LEED

Für die Berechnung einer Ökobilanz wird im LEED-Kriterium MR C1 auch im zweiten Szenario ein Punkt erreicht. Die Entsorgungswege wurden insofern möglich für das zweite Szenario angepasst und führen damit zu nachfolgendem Ergebnis:

- GWP-total: 70,8 kg CO₂ equ./ m² BGF
- PENRT: 154 MJ
- AP: 0,057 kg SO₂ equ.

Im Vergleich zum ersten Szenario kann eine leichte Verbesserung aller Werte festgestellt werden. Es konnten jedoch nicht für jeden Baustoff das passende Entsorgungsszenario ausgewählt werden, daher bildet die Ergebnisdarstellung das zweite Szenario nicht korrekt ab. Ein erhöhter Recycling-Anteil der Abfallmassen führt nach der Bewertung des eco2soft-Tools im Gegensatz zur Deponierung oder Verbrennung zu geringeren Umweltauswirkungen.

5.2.6 BREEAM

Die gestellten Anforderungen des betrachteten Kriteriums Wst01 werden erfüllt und somit 2 von 3 möglichen Punkten sicher erreicht. Der erreichte Prozentsatz an nicht der Deponierung zugeführten Abfällen beträgt massenbezogen 100% und erfüllt somit den geforderten Prozentsatz von mehr als 70% der gewichtsbezogenen Abbruchabfälle. Folglich wird ein weiterer Punkt im Kriterium und damit insgesamt 3 von 3 Punkten im BREEAM-Zertifizierungssystem erzielt.

5.3 Ergebnisdarstellung für das End-of-Life-Szenario 3

Das dritte Szenario beschreibt eine funktionierende Kreislaufwirtschaft, in welcher anfallende Abfallmassen verlustfrei als ganze Bauteile oder im Rahmen einer Wiederverwertung auf gleicher Produktebene in geschlossenen Kreisläufen geführt werden. Der Anteil an wiederverwendbaren bzw. rezyklierbaren Bauteilen ist maximal und die dafür notwendigen Technologien stehen zur Verfügung. Insbesondere wurden dafür weitere Fortschritte in der Automatisierung des Rückbauprozesses, sowie den Sortier- und Aufbereitungsanlagen verzeichnet, wodurch verklebte und Verbundmaterialien bessere Einstufungen erzielen.

5.3.1 klimaaktiv

Die Auswertung des Entsorgungsindikators führt für das zweite Szenario auf ein Ergebnis von 3,9 Punkten, was den geforderten Bestwert von 20 Punkten des klimaaktiv-Kriteriums erreicht. Damit werden die maximalen 40 Punkte des Kriteriums erreicht. Abbildung 5.11 zeigt die durch das eco2soft-Tool berechneten Ergebnisse für die Umweltauswirkungen und den Entsorgungsindikator EI10. Um das dritte Szenario ausreichend abzubilden, wurden für fast alle Baustoffe der Bestwert von 1 für die Entsorgungseinstufung angenommen. Eine Ausnahme bilden die Materialien Fließestrich und Klebepachtel, da weiterhin ein leicht erhöhter Arbeitsaufwand für die sortenreine Rückgewinnung angenommen wird. Das Verwertungspotenzial wurde für alle Baustoffe auf 1 gesetzt, um mögliche Verunreinigungen oder Beschädigungen der Materialien zu berücksichtigen. Als Beispiel wäre ein für die Wiederverwendung vorgesehenes Glasfassadenelement, welches beim Transport beschädigt wird und daher stattdessen einem Recycling zugeführt wird. Im Vergleich zum zweiten Szenario ist eine erneute Verbesserung um ca. 8 Punkte zu erkennen. Dies lässt sich durch die Hochstufung der Entsorgungseinstufungen für rezyklierte Materialien von 2 auf

Gebäude gesamt



* Berücksichtigung der Herstellungsphase (A1-A3) und der Verwendungsphase (B1-B4) von EN 15804

Abb. 5.11: Berechnungsergebnis des eco2soft-Tools für das dritte Szenario, Quelle: Screenshot

1 erklären, um die verbesserte sortenreine Rückgewinnung und Sortierung zu berücksichtigen. Die resultierenden Stoffströme werden übersichtlich in Abbildung 5.12 dargestellt und zeigen die verstärkte Zuordnung der Baustoffe zur Entsorgungsstufe 1 klar.

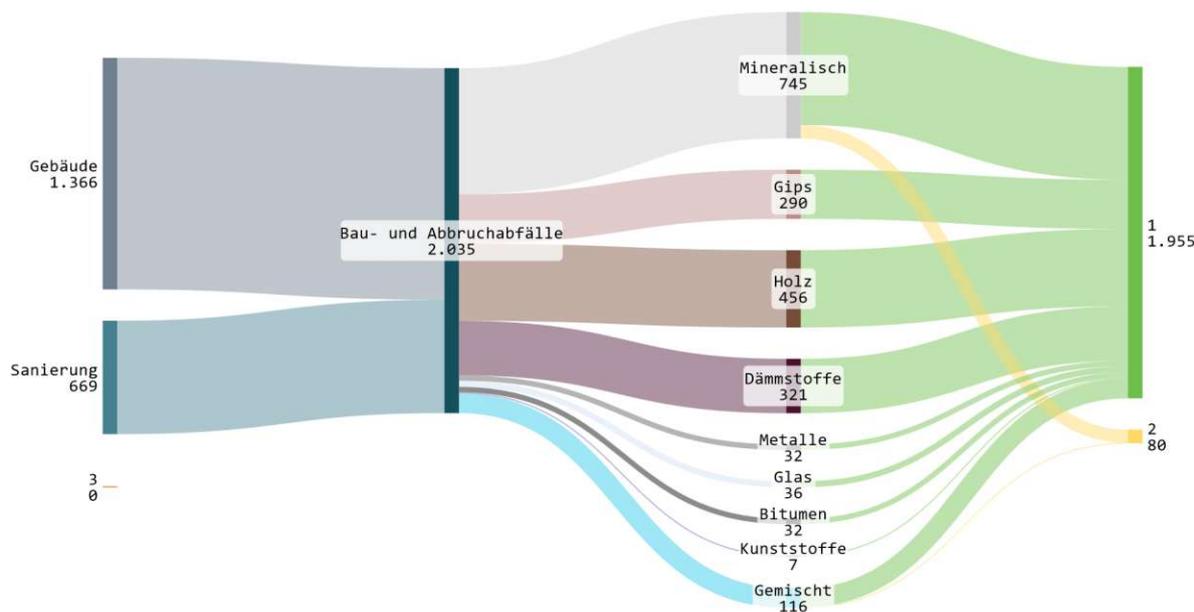


Abb. 5.12: Stoffströme für das dritte Szenario basierend auf den Ergebnissen der EI10-Berechnung in Tonnen (t), Quelle: Eigene Darstellung.

5.3.2 Levels

Für Indikator 2.2 ergeben sich basierend auf den ermittelten Massen und nach Zuordnung der entsprechenden Entsorgungswege die in Abbildung 5.13 aufgeführten Ergebnisse. Die Ergebniswerte für das dritte Szenario entfallen entweder auf die Wiederverwendung oder das Recycling. Der im zweiten Szenario der energetischen Verwertung zugeordnete Anteil der OSB-Platten kann nun

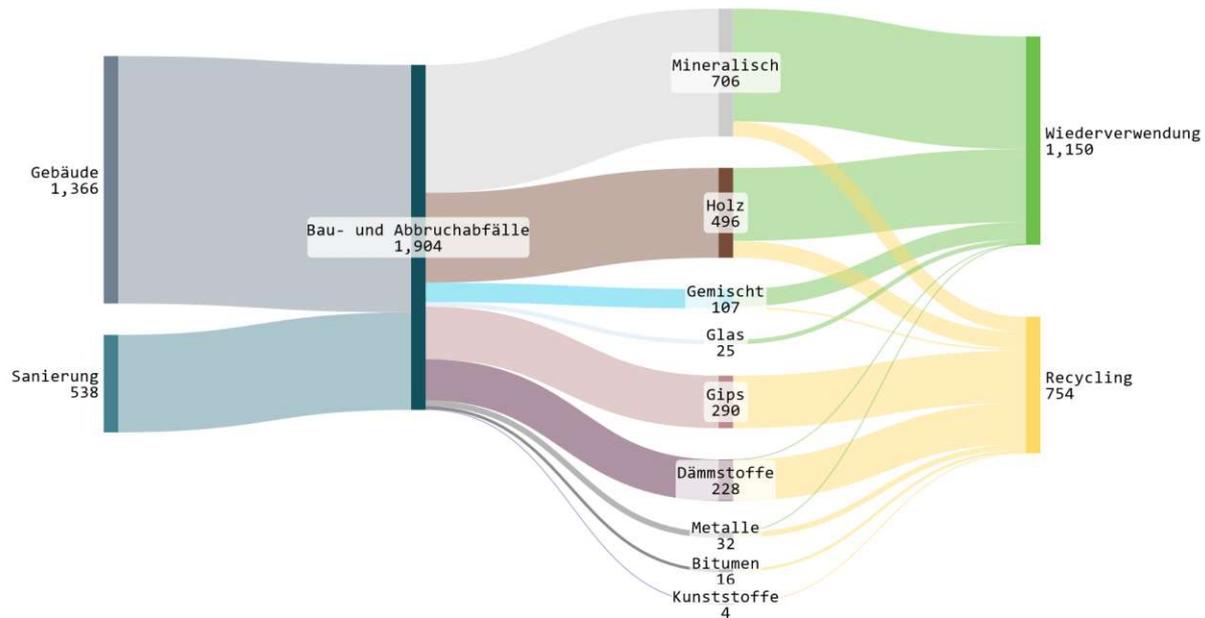


Abb. 5.13: Stoffströme der Bauteilmassen in Tonnen (t) für Indikatoren 2.1 und 2.2 in Szenario 3, Quelle: Eigene Darstellung.

mit ca. 93 Tonnen recycelt werden. Die anfallenden Faserzementplatten als Teil der gemischten Abfälle können statt einem Recycling nun im Ganzen mit ca. 97 Tonnen wiederverwendet werden. Eine weitere Veränderung gegenüber dem zweiten Szenario stellt die Wiederverwendung von tragenden Stahlbetonbauteilen mit 579 Tonnen dar. Insgesamt werden im zweiten Szenario 60,4 % der Bauteile wiederverwendet und 39,6 % der Bauteile recycelt.

Der für den Indikator 2.4 berechnete Zirkularitätsscore ergibt sich für das zweite Szenario mit 85,7 % bezogen auf die Bauteilmassen. Der Entsorgungsweg des gemischten Recyclings weist mit einem Faktor von 0,5 für die Baustoffe zementgebundene EPS-Schüttung, Fließestrich und Klebespachtel bzw. Putz den geringsten Faktor für den Zirkularitätsscore auf. Den meisten Baustoffen wurden die Verwertungswege sortenreines Recycling, Wiederverwendung nach Aufbereitung oder direkte Wiederverwendung zugeordnet. Die Faktoren liegen also für den Großteil der Baustoffe über 0,75 und erklären durch den leicht angestiegenen Anteil an wiederverwendeten Materialien und der verbesserten Sortenreinheit der Eingangsmaterialien das höhere Endergebnis im Vergleich zum zweiten Szenario.

5.3.3 DGNB

Die Auswertung des TEC1.6-Kriterium der DGNB-Zertifizierung ergibt für das dritte Szenario ein Endergebnis von insgesamt 89,75 der zu erreichenden 100 Punkten. Davon entfallen 45 Punkte auf den ersten Indikator, womit das Maximalergebnis für den Indikator erreicht wird. Im Vergleich zum zweiten Szenario bleibt der Wert also gleich, da trotz eines verbesserten Ergebnisses nicht mehr Punkte erreicht werden können. Für den zweiten Indikator wird ebenfalls das gleiche Endergebnis von 44,75 ausgegeben, da die höchste Qualitätsstufe bereits im zweiten Szenario zur Berücksichtigung der verbesserten Rückbaufreundlichkeit ausgewählt wurde. Die getroffenen Anpassungen für eine erhöhte Wiederverwendungsrate bzw. das verbesserte Recycling

der OSB-Platten beeinflusst das Endergebnis also nicht. Das in Abbildung 5.14 abgebildete Flussdiagramm zeigt hingegen klar die weitere Zunahme an der QS2 bzw. dem CE Bonus 2 zugeordneten Bauteile.

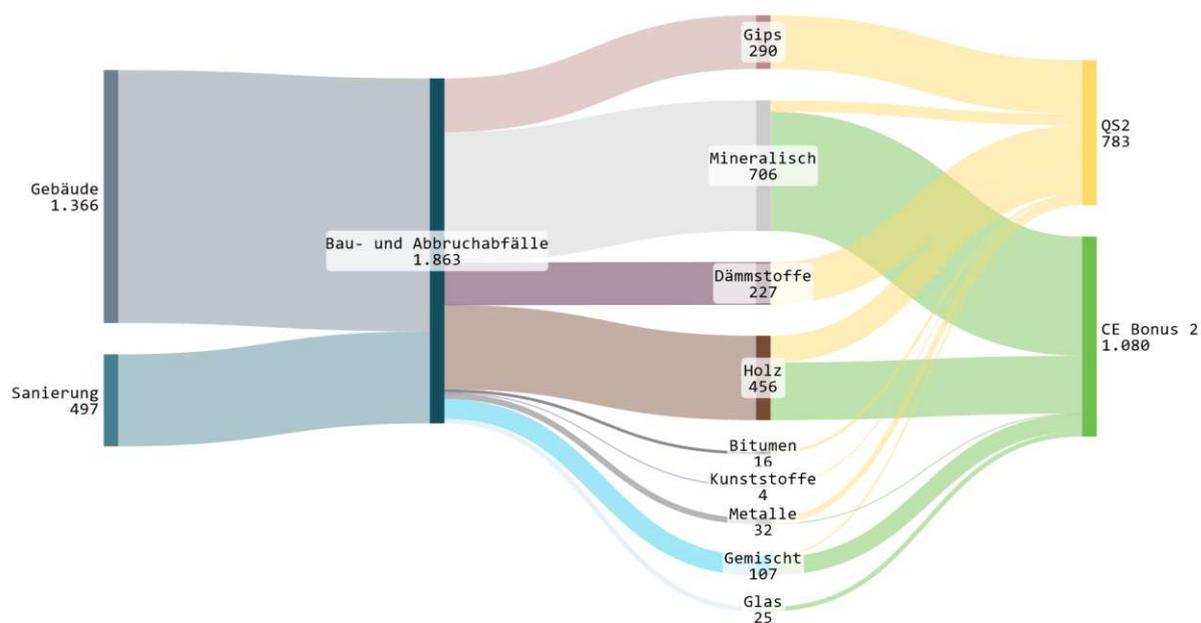


Abb. 5.14: Darstellung der Ergebnisse des TEC1.6-Tools in Tonnen (t) für Szenario 3, Quelle: Eigene Darstellung.

5.3.4 BNB

Für das BNB-Kriterium 4.1.4 wurden für das dritte Szenario ein Endergebnis von 99,6 von 100 Punkten erreicht. Die Ergebnisse des dritten Szenarios weisen für alle Parameter die beste Bewertung auf, da von den bestmöglichen zur Verfügung stehenden Technologien in den Bereichen Rückbau, Trennbarkeit und Verwertung ausgegangen wird. Auffällig ist, dass das Endergebnis trotz eines maximalen Wertes von 10 für den R-Faktor pro Bauteil nicht die 100 Prozent erreicht. Dabei wurde festgestellt, dass auf Grund der fehlerhaften Darstellung der Drop-Down-Liste im Excel-Tool, für die elementierte Außenwand (Pfosten-Riegel-Fassade) nicht die eingegebenen Parameter übernommen wurden. Grund hierfür ist, dass nur das bereits vordefinierte Bauteil eines Aluminiumfensters ausgewählt werden konnte und dementsprechend die Default-Daten für die Parameter dieses Bauteils übernommen wurden. Diese entsprechen nicht den jeweils für die Szenarien angepassten Parameter, weshalb das Ergebnis leicht verfälscht ist. Gleiches gilt für die Auswertung des ersten und zweiten Szenarios, da eine Behebung des Fehlers im Excel-Tool leider nicht möglich war.

5.3.5 LEED und BREEAM

Die in Szenario 2 dargestellten Auswertungen konnten nicht mehr weiter auf das dritte Szenario angepasst werden, weshalb die gleichen Ergebnisse wie in Szenario 2 angenommen werden.

Kapitel 6

Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Kapitel werden die im Rahmen der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse nochmal zusammengefasst und hinsichtlich der zu Beginn gestellten Forschungsfrage *Wie unterscheiden sich Zertifizierungssysteme hinsichtlich der Bewertung von kreislauffähigen Aspekten eines Gebäudes?* diskutiert. Dabei wird insbesondere auf die Abbildung der drei End-of-Life-Szenarien in den jeweiligen Zertifizierungssystemen eingegangen. Ergänzt wird die Ausführung durch erhaltenes Feedback von FachexpertInnen aus den Bereichen Abfallwirtschaft und Gebäudezertifizierungen, um die im Rahmen der Auswertung getroffenen Annahmen zu validieren. Abschließend wird basierend auf dem Vergleich der betrachteten Zertifizierungssysteme eine Empfehlung für zu berücksichtigende Parameter in der Bewertung eines kreislauffähigen Gebäudes ausgesprochen und ein Ausblick zu weiterführenden Untersuchungen hinsichtlich der dargestellten Ergebnisse gegeben.

6.1 Diskussion der Ergebnisse

Ausgehend von der zu Beginn der Arbeit formulierten Forschungsfrage wurden die sechs Zertifizierungssysteme Level(s), DGNB, BNB, klimaaktiv, BREEAM und LEED auf die Abbildung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes untersucht. Insgesamt wurden systemübergreifend 14 Kriterien und 8 Teilkriterien mit Bezug zur Kreislauffähigkeit identifiziert, wovon 11 und ein Teilkriterium als quantifizierbar und 9 als im Rahmen dieser Arbeit bewertbar eingestuft wurden. Bewertbare Kriterien weisen quantifizierbare Indikatoren und eine für die Auswertung ausreichende Datengrundlage vor. Der Umfang der pro Kriterium bewerteten Aspekte, sowie die zu erreichende Punktzahl unterscheiden sich zwischen den Systemen, weshalb ein direkter Vergleich der Endergebnisse nicht zielführend ist. Die ursprünglich angedachte Vorgehensweise eines direkten Vergleichs wurde daher um die Entwicklung von drei End-of-Life-Szenarien erweitert, welche einen Vergleich der Endergebnisse innerhalb der Zertifizierungssysteme ermöglichen und vorhandene Unterschiede zwischen den Systemen dadurch besser aufzeigen. Der Fokus der Analyse wurde damit auf die Abbildung der Wiederverwendungs- und Recyclingpotenziale der Bauteile gelegt, welche für den heutigen Stand der Technik, den Stand der Technik zum Zeitpunkt des potentiellen Gebäudeabrisses und für den Stand geschlossener Kreisläufe pro Baustoff entwickelt wurden. Im Rahmen eines ExpertInnen-Gesprächs mit ExpertInnen der Bau- und Abfallwirtschaft wurden für die Szenarienentwicklung getroffene Annahmen validiert und somit als realistisch eingestuft. Zu Beachten ist besonders bei den Dämmstoffen jedoch die Berücksichtigung des Alters der Baustoffe, wodurch möglicherweise enthaltene Schadstoffe identifiziert werden können (vgl. Anhang G.1). Der Schwerpunkt auf die Entsorgungswege entspricht der zu Beginn der Arbeit festgelegten Systemgrenze von im Gebäude verbauten Materialien der thermischen Gebäudehülle mit Zwischendecken. Es gilt jedoch zu beachten, dass weitere Gesichtspunkte für eine umfängliche Betrachtung eines kreislauffähigen Gebäudes, z.B. hinsichtlich Gebäudetechnik oder im Nutzungskontext, zu berücksichtigen sind. Als Grundlage für die Datenerhebung wurde ein Neubau mit Fertigstellungsdatum 2022 herangezogen, welches in Holz-Hybrid-Bauweise

errichtet wurde. Die aus dem Gebäude resultierenden Bauteilmassen zeigen, dass ein Großteil der im Hochbau gängigen Baustoffe in den Hauptgruppen Mineralisch, Gips, Holz, Dämmstoffe, Kunststoffe, Bitumen, Glas, Metalle und Gemischt für die Beurteilung eingehen konnte. Nicht berücksichtigte Materialien stellen z.B. Ziegel oder Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen dar.

Durch die Auswertung der neun Kriterien im Rahmen der Fallstudie konnten Unterschiede in den betrachteten Bewertungssystemen herausgearbeitet werden. Bereits während der Betrachtung der zu erfüllenden Anforderungen fiel auf, dass einige Kriterien nicht erfüllt werden oder nicht die für eine Anpassung an die Szenarien benötigten Parameter aufweisen. Dazu zählen die Kriterien Level(s) *Ind. 2.3*, DGNB *ENV1.3*, LEED *MR C3* und BREEAM *Wst02*. Ein grundsätzlicher Unterschied ist für die Betrachtungszeiträume im Lebenszyklus festzustellen. Es ist zu unterscheiden, ob bereits wiederverwendete Baustoffe in einem Neubau, der Erhalt auf dem Projektgelände bestehender Baustrukturen oder eine in der Zukunft liegende Wiederverwendung/-verwertung der Bauteile am Lebensende des Gebäudes betrachtet werden. So bewertet LEED bspw. verbaute Anteile an wiederverwendeten bzw. rezyklierten Baustoffen, betrachtet aber den Umgang mit am Ende des Lebenszyklus auftretenden Bauteilmassen weniger in direktem Zusammenhang mit einer potenziellen Wiederverwendung/-verwertung. BREEAM berücksichtigt die weiterführenden Entsorgungswege der anfallenden Bauteilmassen, jedoch nur über einen zu erreichenden Anteil an nicht der Deponierung zugeführten Abfallanteile. Eine genauere Aufstellung und Bewertung, welcher Entsorgung die Bauteilmassen stattdessen zugeführt werden, ist nicht gefordert.

Für eine Anpassung an die Szenarien ist eine genaue Kenntnis der Stoffströme und damit die Erfassung des Gebäudes mindestens auf Bauteilebene, besser jedoch noch auf Schicht- bzw. Baustoffebene notwendig. Dies ist für die übrigen Kriterien der Systeme Level(s), DGNB, BNB und klimaaktiv/EI10 mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Berechnungstools gegeben. Eine Wiederverwendung ist für zerstörungsfrei rückzugewinnende Bauteile, wie in der vorliegenden Arbeit Fenster bzw. Fassadenelemente, möglich. Insofern Bauelemente keiner Bauteilschicht angehören, ist dafür eine Betrachtung auf Bauteilebene ausreichend. Für alle weiteren Entsorgungswege ist die Aufgliederung des Bauteils in die verschiedenen Baustoffe pro Schicht inklusive zugehörigen Verbindungsarten erforderlich, was eine Kategorisierung nach Material- bzw. Abfallart und eine dementsprechende Zuordnung von Parametern ermöglicht. Im für diese Arbeit ausgewerteten BIM-Modell waren zu den Verbindungsarten keine Informationen hinterlegt, weshalb Annahmen dazu getroffen werden mussten. Dieses Vorgehen ist häufig auch in der Praxis notwendig, da die notwendigen Daten meist nicht zur Verfügung stehen und daher durch Rückfragen oder Annahmen ergänzt werden (vgl. Anhang G.2). Für eine Darstellung der Stoffströme hat sich die Ausarbeitung in Form eines Materialfluss-Diagramms als geeignete Methode gezeigt. Die für die Systeme Level(s), DGNB und klimaaktiv ausgearbeitete Diagramme bieten einen schnellen Überblick zu anfallenden Bauteilmassen und den zugeordneten Verwertungswegen, wodurch bestehendes Optimierungspotenzial gut zu identifizieren ist (vgl. Anhang G.2). So geht aus einem Diagrammvergleich für die drei Systeme hervor, dass trotz unterschiedlicher Parameter bei der Einstufung Level(s) und DGNB nahezu identische Massenverläufe im Materialflussdiagramm aufweisen. Die Endergebnisse aus den Berechnungsverfahren unterscheiden sich jedoch für alle drei Systeme.

Die Bewertungsmethoden unterscheiden sich für die Zertifizierungssysteme untereinander also durch die zu bewertenden Parameter, welche eine Gewichtung für ein einzahliges Endergebnis oder eine Quantifizierung erlauben, und die Bewertungsaggregation. Level(s) ermöglicht bspw. eine Zuordnung der auf EU-Ebene gängigen Entsorgungswege in ausgeschriebener Form, sowie eine Zuordnung der EU-Abfallcodes. Dadurch ist auf den ersten Blick erkenntlich, welches Bauteil

sich in welche Baustoffe mit zugehöriger Abfallart aufgliedert und welchem Entsorgungsweg entsprechend der in der Abfallrahmenrichtlinie geforderten Abfallhierarchie es zugeführt wird. Zusätzlich wäre die Integration von Bauteil- und Entsorgungskosten einfach möglich, wodurch der wirtschaftliche Aspekt der End-of-Life-Phase mitberücksichtigt werden kann. Die Systeme DGNB, klimaaktiv/EI10 und BNB bilden die verschiedenen Entsorgungswege über definierte Einstufungen ab. Im DGNB-System werden den Bauteilschichten Qualitätsstufen von 0 bis 2 zugeordnet, welche eine Aussage über das Recyclingpotenzial zulassen. Die Wiederverwendung von Bauteilen wird mit dem Circular Economy Bonus 2 abgebildet. Außerdem kann die Rückbaubarkeit ebenfalls durch Qualitätsstufen von 0 bis 2 bewertet werden, wodurch im Gegensatz zu Levels auch die Trennbarkeit der einzelnen Baustoffe voneinander in die Bewertung mit einfließt. Bei der Berechnung des Entsorgungsindikators wird eine Einstufung der Entsorgung über die Werte 1 bis 5 und des Verwertungspotenzials, ebenfalls über die Werte 1 bis 5 vorgenommen. Verbindungsarten können über eine Auf- bzw. Abstufung der Werte und eine Anpassung der Nutzungsdauer abgebildet werden. Das BNB-System unterscheidet zwischen Einstufungen für den Rückbau, die Trennbarkeit und die Verwertung anhand der Bezeichnungen von sehr ungünstig bis günstig.

Die aufgeführten Einstufungen zeigen nochmals, dass ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der einzelnen Zertifizierungssysteme nicht aussagekräftig ist. Anhand der Anpassung an die drei verschiedenen Entsorgungsszenarien und einem Vergleich innerhalb des jeweiligen Systems konnten bestehende Schwachstellen bzw. Unklarheiten dennoch gut identifiziert werden. Es ist festzuhalten, dass die beschriebenen Einstufungen zu Ungenauigkeiten in der Bewertung führen, da aus den zugeordneten Parametern die eigentlichen Entsorgungswege der Baustoffe nicht klar ersichtlich sind. Durch bereits getroffene Annahmen bei fehlenden Daten in der Planungsdokumentation, ergibt sich somit eine doppelte Ungenauigkeit bei zusätzlichen Unklarheiten während der Bewertungseinstufung (vgl. Anhang G.2). Besonders in der Auswertung des BNB-Systems fehlt eine Orientierungshilfe, welche Entsorgungsszenarien mit welchen Einstufungen abzubilden sind. Im Vorlagenkatalog wurde bspw. die Konstruktion einer Stahlbetonwand mit WDVS als gut trenn- und verwertbar eingestuft, was basierend auf den recherchierten Entsorgungsszenarien für diese Konstruktionsweise nicht übereinstimmt. Dies basiert laut G.2 auf einem fehlenden Dateninventar zur Baustoffeinstufung für den BNB-Steckbrief in der Version von 2015, wodurch die Bewertung bisher stark von der anwendenden Person abhängt. Die Nachfolgeversion wird zukünftig eine umfassende Datenbank aufweisen, wodurch Ungenauigkeiten in der Bewertung vermieden werden sollen (vgl. Anhang G.2). Bei DGNB und klimaaktiv/EI10 sind Orientierungshilfen für die Einstufung vorhanden, jedoch bleibt ein Interpretationsspielraum für die Zuordnung der Parameter. Da die Berechnung, z.B. beim DGNB TEC1.6-Tool nicht klar ersichtlich ist, können die Endergebnisse nicht ohne weiteres auf ihre Plausibilität geprüft werden. Die Zuordnung der verschiedenen Entsorgungswege zu den Entsorgungseinstufungen für die Berechnung des Entsorgungsindikators können einer übersichtlichen Tabelle entnommen werden. Im Gegensatz zu den anderen Bewertungssystemen werden die verschiedenen Stufen nach der Abfallhierarchie in diesem Sinne nicht berücksichtigt, da der Entwicklungszeitraum laut G.2 bereits zu lange zurückliegt. Level(s) und DGNB bewerten die Wiederverwendung dementsprechend am höchsten, sowie die Deponierung als niedrigste Stufe. Im Entsorgungsindikator beschreibt die beste Entsorgungseinstufung 1 gleichermaßen die Wiederverwendung/ hochwertiges Recycling, sowie die energetische Verwertung mit hohem Brennwert und eine Deponierung von inertem Abfall. Dafür weist diese Art der Einordnung Abstufungen innerhalb der einzelnen Entsorgungswege auf, was ansonsten nur in geringem Maße im Level(s)-System möglich ist. Für die BNB-Ergebnisse lässt sich dazu wie beschriebene keine Aussage treffen, da die Einstufungen nicht ersichtlich mit Entsorgungsszenarien zusammenhängen.

In den geführten ExpertInnen-Gesprächen wurde ergänzt, dass Level(s) im Rahmen der EU-Taxonomy verwendet werden kann, die einzustufenden Werte der Parameter und die Abfallarten jedoch nicht den österreichischen Anforderungen entsprechen. Die Nutzung der Excel-Tools und die Art der Erfassung inklusive der Bezugsgröße in Tonnen ermöglichen aber bereits eine gute Bewertung der Entsorgungspotenziale eines Gebäudes. Zusätzlich ist nach Einschätzung der Abfallwirtschafts-ExpertInnen die Erfassung der Baustoffe ohne Bauteilzuordnung ausreichend, wobei auf die unterschiedliche Einordnung von Seiten Architektur (Bauteillisten) und Abfallwirtschaft (Liste der Abfallarten) hingewiesen wurde (s. Anhang G.1). In diesem Zusammenhang ist der bereits in der EU-Abfallrahmenrichtlinie bzw. auch im österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz geregelte Begriff des Abfallendes miteinzubeziehen, da die begriffliche Problematik das Problem der korrekten Bezeichnung zu den unterschiedlichen Zeitpunkten ab Lebensende des Gebäudes zeigt. Geht man von Szenario 3 aus, würde die Einstufung der Bauteile in Abfallarten für geschlossene Baustoffkreisläufe idealerweise entfallen, da eine Wieder-/Weiterverwendung gesichert ist. Für eine Abbildung in den Zertifizierungssystemen wäre also eine Einigung auf die zu betrachtende Einstufung sinnvoll, um eine geeignete Beschreibung aller anfallenden Materialien über verschiedene Fachbereiche hinweg ohne Missverständnisse zu ermöglichen.

Zuletzt soll noch kurz die Anwendbarkeit der zur Verfügung stehenden Tools diskutiert werden. Eingehend ist aufzuführen, dass nicht jedes Bewertungssystem digitale Tools für die Nachweiserstellung zur Verfügung stellt. Die im Rahmen dieser Arbeit genutzten Tools basieren zu einem großen Anteil auf programmierten Excel-Arbeitsmappen, außer der online nutzbaren Software eco2soft. Eco2Soft wurde als positiv für die Erfassung der Bauteilaufbauten, sowie der Zuordnung passender Baustoffe zu den einzelnen Schichten empfunden. So konnten benötigte Daten, wie das Gewicht pro m³ Baustoff oder automatisch hinterlegte Datensätze zu den Umweltauswirkungen und Entsorgungseigenschaften, auch für die weiteren Nachweisführungen genutzt werden. Besonders bei noch nicht so detailliertem Planungsstand bietet das Tool eine gute Möglichkeit für eine erste Abschätzung hinsichtlich der Umweltauswirkungen und dem Entsorgungspotenzial der gewählten Baukonstruktion. Positiv aufgefallen ist außerdem die Funktion eine Ökobilanz für die Entsorgungsphase eines Gebäude separat berechnen zu können. Die dabei eingehenden Werte sind jedoch zum Großteil vordefiniert und können nur in geringem Maße angepasst werden. Innerhalb des Level(s)-Systems wurde für drei von vier Indikatoren eine Berechnungshilfe zur Verfügung gestellt. Die Tools waren durchgängig verständlich aufgebaut, wobei zusätzlich detaillierte Handbücher mit weiterführenden Informationen zur Verfügung stehen. Die hinterlegten Berechnungsvorgänge sind transparent und führen zu einem gut nachvollziehbaren Endergebnis. Das Tool des DGNB TEC1.6 Kriterium wurde als unübersichtlich empfunden, weist aber auch eine kurze Bedienungsanleitung zur besseren Orientierung auf. Die Eingabe der Daten funktioniert nach einer ersten Orientierungsphase, jedoch ist die Zusammensetzung und Berechnung des Endergebnisses nicht verständlich nachvollziehbar. Für die Berechnung des BNB Kriteriums 4.1.4 wurde ebenfalls ein Excel-Tool zur Verfügung gestellt, welches in der Bedienbarkeit ähnlich zum DGNB-Tool war. Einige Verknüpfungen haben nicht korrekt funktioniert, weshalb nicht für alle Bauteile die korrekten Werte in die Berechnung eingehen konnten. Im Rahmen des Abschlussworkshops wurde der Einsatz von digitalen Tools grundsätzlich als positiv wahrgenommen, um die Transformation der Baubranche zu einer Kreislaufwirtschaft zu unterstützen (vgl. Anhang G.2).

6.2 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die betrachteten Zertifizierungssysteme eine Vielfalt von Bewertungsmethoden, sowie -parametern aufweisen und sich darin in der Betrachtung

der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes unterscheiden. Insgesamt berücksichtigen jedoch alle Zertifizierungssysteme ähnliche grundlegende Aspekte, wie die im Gebäude vorhandenen Baustoffe oder die Wiederverwendung bzw. das Recycling in unterschiedlichem Detailgrad. Ein direkter Vergleich der Endergebnisse ist jedoch nicht möglich, was durch die Entwicklung einer einheitlichen Methodik erleichtert werden kann. Perspektivisch wird es daher für sinnvoll erachtet grundlegende Kriterien festzulegen, durch die ein zirkuläres Bauwerk definiert wird. Darauf aufbauend können dann einheitliche Parameter zur Messbarkeit dieser Zirkularität entwickelt werden. Als einfacher Ansatz hat sich im Rahmen der Arbeit die Aufbereitung der für ein Gebäude bestehenden Stoffströme als massenbezogenes Materialfluss-Diagramm abgezeichnet. Dies ermöglicht eine schnelle Visualisierung der anfallenden Bauteilmassen über eine Aufteilung in die einzelnen Stoffgruppen zu den zugehörigen End-of-Life-Szenarien der Baustoffe. Durch eine einheitliche Bezugsgröße können die Ergebnisse unter Berücksichtigung der gewählten Systemgrenze für verschiedene Gebäude oder Varianten verglichen werden. Bestehendes Optimierungspotenzial kann so einfach abgelesen werden. Zusätzlich ist jedoch die Abbildung weiterer Parameter notwendig, um eine einseitige Optimierung zu vermeiden. Einen Ausblick auf eine zukünftige Entwicklung des Aspekts Kreislauffähigkeit im Kontext von Zertifizierungssystemen zeichnen die nachfolgend formulierten Empfehlungen:

1. Zielsetzung einheitlich definieren

Um etwas sinnvoll bewerten zu können, ist im ersten Schritt ein umfassendes Verständnis für den angestrebten Endzustand notwendig. Daraus können die für das Erreichen dieses Ziels relevanten Veränderungen abgeleitet werden und in messbare Kriterien übersetzt werden. Eine einheitlich Definition, zumindest auf europäischer Ebene, würde die Anpassungen industrieller, wirtschaftlicher und planerischer Prozesse vereinfachen. Dies wäre durch die Sicherheit gegeben, dass sich eine Transformation hin zu kreislauffähigen Systemen durch allgemein geltende Anforderungen langfristig für alle Beteiligten lohnt. In diesem Sinne sind bereits bestehende Anreize, bspw. durch EU-Taxonomy, oder umgesetzte Richtlinien, wie die Abfallrahmenrichtlinie eine gute Grundlage, um einheitliche Kriterien zu definieren. Sollen die Kriterien im Rahmen eines Zertifizierungssystems bewertet werden, ist wie bereits etabliert eine Einführung von zu erreichenden Mindestanforderungen für die ausgearbeiteten Kriterien als Antrieb für eine umfassende Umsetzung praktikabel.

2. Empfehlung zu berücksichtigender Parameter

Basierend auf den Auswertungen der kreislaufbezogenen Kriterien, sowie den theoretischen Rechercheergebnissen weiterer bestehender Bewertungssysteme bzw. Berichterstattungsempfehlungen werden nachfolgend die durchgängig vorkommenden Parameter zusammengetragen. Der wichtigste Aspekt für die Abbildung der Kreislauffähigkeit eines Produktes ist eine detaillierte Kenntnis der Stoffströme für alle im Produkt enthaltenen Materialien. Um den Komplexitätsgrad überschaubar zu halten, ist eine Betrachtung auf Materialebene zielführend, da Rohstoffe einer Materialgruppe sich durch eine ähnliche Zusammensetzung oft auch über ihre Lebensdauer ähnlich verhalten. Für ein Gebäude als Produkt würden also alle enthaltenen Baustoffe mit den durch Lage und Verbindung bestehenden Einschränkungen der passenden Materialgruppe zugeordnet werden. Wichtige Parameter für eine Erfassung sind die Bezeichnung des Baustoffs, die Lage im Gebäude (inklusive Bauteilschicht und Verbindungsmittel, falls vorhanden), der Zustand des Baustoffs, der benötigte Rückbauaufwand, Errichtungszeitraum für eine Einordnung hinsichtlich Baustoffzusammensetzung, sowie mögliche Wiederverwendungs-/ Weiterverwertungsszenarien. Äquivalent kann dieses Vorgehen für weitere im Gebäude befindliche Elemente durchgeführt werden, wie bspw. haustechnische Anlagen oder Möbel. Als Bezugsgröße sollte sich bei der Erfassung an gängigen Einheiten der weiterverarbeitenden Industriezweige orientiert werden. Für Baustoffe wird daher eine Erfassung als Masse in Kilogramm oder Tonnen empfohlen. Bauelemente wie

Fenster oder Türen sind dahingehend eher als Stückzahl mit der jeweiligen Bauteilfläche zu erfassen. Ein weiterer, wichtiger zu erhebender Parameter ist das für den Baustoff ausgewählte End-of-Life-Szenario. Der entsprechende Entsorgungs- bzw. Wiederverwendungsweg sollte klar erkennbar sein und somit eine übersichtliche Aufschlüsselung der wiederzuverwendenden, wiederzuverwertenden und zu behandelnden bzw. zu deponierenden Gebäudeanteile zulassen. Eine einheitlich Definition gängiger Wiederverwendungs-, Wiederverwertungs- oder Entsorgungsszenarien wäre dafür länderübergreifend zielführend. Dies könnte laut G.2 z.B. über hinterlegte Daten in einem einheitlichen Bauteilkatalog umgesetzt werden. Alternative Szenarien können dabei als eigene Kategorie im Bereich neuartige bzw. innovative Aufbereitungstechnologien festgehalten werden. Von Bedeutung ist auch, eine Abstufung innerhalb der übergeordneten Szenarien zu ermöglichen, um bspw. abzubilden, ob ein Stoff auf gleicher Ebene oder in verminderter Funktion recycelt wird. Der Austausch mit den ExpertInnen der Abfallwirtschaft hat ergeben, dass zusätzlich die Berücksichtigung von Verwertungshäufigkeiten hilfreich wäre (vgl. Anhang G.1). Basierend auf statistischen Erhebungen kann dann abgelesen werden, wie oft ein Baustoff nochmal wiederverwendet oder wiederverwertet werden kann. Um die umweltbezogenen und wirtschaftlichen Auswirkungen in die Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes zu integrieren, sind die für eine Ökobilanzierung, sowie eine Kostenberechnung gängigen Parameter als zusätzliche Option miteinzubeziehen.

3. Nutzung eines einheitlichen Tools

Die Verwendung von digitalen Tools hat sich für die Datenerfassung, sowie Berechnung der Ergebnisse als sehr hilfreich erwiesen. Auch mit Hinblick auf die für eine Bewertung benötigten Parameter ist die Nutzung digitaler Datensätze zur Aufnahme möglicher Änderungen über den Lebenszyklus des Gebäudes bzw. des Baustoffs sinnvoll. Das bereits entwickelte Konzept der Materialpässe sollte über eine Schnittstelle integriert werden und auch über den Lebenszyklus eines Gebäudes mit dem verbauten Stoff verknüpft bleiben. Da dies vorrangig für Bauelemente möglich ist, die im Ganzen wiederverwendet werden können, ist für rezyklierte Stoffe eine gesonderte Lösung zu entwickeln, um bei nicht unendlich wiederzuverwertenden Stoffen die Anzahl der bereits durchlaufenen Recyclingzyklen mit aufzunehmen. Um ein Tool effizient nutzen zu können, wäre eine automatisierte Befüllung standardisierter Felder mit den oben beschriebenen Parametern hilfreich, insofern der Baustoff bereits in einer Datenbank vorhanden ist. Der Betrachtungsumfang würde durch die vordefinierten Eingabefelder für die Parameter nicht variieren und somit die Qualität der Auswertung gleichwertig bleiben. Gleichzeitig sollte immer die Möglichkeit bestehen, die Felder durch eine freie Eingabe zu überschreiben, um Sonderfälle oder nicht berücksichtigte Änderungen über die Lebensdauer des Baustoffs abbilden zu können. Besteht für einen Baustoff noch kein Eintrag, ist durch die vordefinierten Felder klar, welche Werte erhoben werden müssen und durch eine freie händische Eingabe besteht keine Einschränkung im Werteeintrag. Nicht veränderlich sind dabei die Bezugsgrößen, in denen die Daten einzutragen sind, um einen Vergleich für verschiedene Gebäude vornehmen zu können. Die Datenausgabe sollte tabellarisch und in einem Diagramm, wie bspw. einem Flussdiagramm, erfolgen. Um eine einheitliche Definition der Kreislauffähigkeit eines Gebäudes zu erreichen, wäre langfristig auch die Etablierung eines einheitlichen Tools für die Bewertung sinnvoll. Innerhalb von Zertifizierungssystemen könnte diese unabhängig erstellte Bewertung dann für das kreislaufbezogene Kriterium herangezogen werden, wie es aktuell bereits im Level(s)-System oder der neuen Fassung des DGNB-Systems möglich ist.

Die im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Zertifizierungssysteme entsprechen bereits in Teilen den formulierten Empfehlungen. Aus dem Abschlussworkshop geht hervor, dass viele Systeme sich aktuell in der Überarbeitung befinden und die Kreislauffähigkeit eines Gebäudes

in zukünftigen Versionen einen höheren Stellenwert einnehmen wird. Am Beispiel der neuen DGNB-Version 2023 lässt sich erkennen, dass darin gestellte Anforderungen durch konventionelle Bauweisen nicht mehr erreicht werden können. Zusätzlich zeichnet sich eine engere Verzahnung mit geltenden juristischen Richtlinien ab, da Nachweise aus Zertifizierungssystemen bspw. für eine EU-Taxonomy-Konformität geltend gemacht werden können (vgl. Anhang G.2). Durch die genannten Faktoren wird die Komplexität der Anforderungen an ein Gebäude zukünftig weiterhin zunehmen, weshalb ein genaues Verständnis der genutzten Bewertungsmethoden und Systemgrenzen zunehmend relevant sein wird.

Ausgehend von den in der vorliegenden Arbeit erzielten Ergebnissen ist demnach eine tiefergehende Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Zirkularität, Umweltauswirkungen und weiteren zusammenhängenden Parametern sinnvoll. Dabei ist eine tiefergehende Betrachtung der Umweltauswirkungen in der End-of-Life-Phase der Baustoffe besonders interessant, da dies in den Zertifizierungssystemen bisher wenig abgebildet wird und besonders hinsichtlich der angestrebten Klimaneutralität an Relevanz gewinnt. Zusätzlich ist eine Ausweitung der Fallstudie um weitere Baustoffe, vor allem aus dem Bereich der nachwachsenden Rohstoffe oder alternativer Baustoffe wie Lehm denkbar. Die Berechnungsergebnisse zeigen sehr gut das unterschiedliche Recyclingpotenzial der einzelnen Baustoffe, was im Rahmen dieser Arbeit nur am Rande betrachtet wurde. Mit einer direkten Schnittstelle zu einem BIM-Modell könnte die Auswertung in Form von Materialfluss-Diagrammen automatisiert werden und so ein schneller Vergleich hinsichtlich des Kreislaufpotenzials eines Gebäudes bzw. Bauteils ermöglicht werden.

Literatur

- [1] N. Eisenmenger, B. Plank, E. Milota und S. Gierlinger. *Ressourcennutzung in Österreich 2020: Band 3*. Hrsg. von Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie und Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen, Tourismus. Wien, 2020.
- [2] EDM. *Abfallaufkommen 2019 nach Abfallgruppen*. 6.02.2024. URL: https://edm.gv.at/edm_portal/cms.do?get=/portal/informationen/daten-zahlen-grafiken.main.
- [3] Europäische Kommission. *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN: Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft: Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa*. Hrsg. von Europäische Kommission. Brüssel. URL: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF.
- [4] European Commission. *The European Green Deal*. 9.11.2023. URL: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en.
- [5] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie -. *EU Sustainable Finance Strategy*. 10.11.2023. URL: <https://www.bmk.gv.at/green-finance/finanzen/eu-strategie.html>.
- [6] Europäische Kommission. *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN: Nachhaltige Produkte zur Norm machen*. Hrsg. von Europäische Kommission. Brüssel. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A52022DC0140>.
- [7] Europäische Kommission. *Overview of sustainable finance*. 10.11.2023. URL: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/overview-sustainable-finance_en.
- [8] Europäisches Parlament, Rat der europäischen Union. *Platform on Sustainable Finance*. 17.11.2023. URL: https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/overview-sustainable-finance/platform-sustainable-finance_en.
- [9] Europäisches Parlament, Rat der europäischen Union. *VERORDNUNG (EU) 2020/852 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 18. Juni 2020 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088: EU 2020/852*. 18.06.2020.
- [10] DGNB, GBCe, RFBB, ÖGNI, D-GBC, SGNI und CPEA. *Circular Economy Taxonomy Study: Assessing the market-readiness of the proposed Circular Economy EU Taxonomy Criteria for buildings*. 2023. URL: https://www.ogni.at/wp-content/uploads/230208_Taxonomy_CE-Studie_2023_WEB.pdf.
- [11] Europäische Kommission. *EU-Protokoll über die Bewirtschaftung von Bau- und Abbruchabfällen*. URL: <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/20509/>.

- [12] Platform on sustainable finance. *PLATFORM ON SUSTAINABLE FINANCE: TECHNICAL WORKING GROUP: Part B: Annex - Technical screening criteria*. URL: https://finance.ec.europa.eu/system/files/2022-03/220330-sustainable-finance-platform-finance-report-remaining-environmental-objectives-taxonomy-annex_en.pdf.
- [13] Platform on sustainable finance. *PLATFORM ON SUSTAINABLE FINANCE: TECHNICAL WORKING GROUP: Supplementary: Methodology and Technical Screening Criteria*. URL: https://finance.ec.europa.eu/system/files/2022-11/221128-sustainable-finance-platform-technical-working-group_en.pdf.
- [14] EFRAG Project Task Force on European sustainability reporting standards. *ESRS E5: Resource use and circular economy*.
- [15] Europäische Kommission. *RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien*. 19.11.2008. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0098>.
- [16] Europäische Kommission. *BESCHLUSS DER KOMMISSION vom 18. Dezember 2014 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis gemäß der Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates: 2014/955/EU*. 30.12.2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014D0955&from=ET>.
- [17] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Hrsg. *Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft: Die österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie*. Wien, 2022.
- [18] Europäisches Parlament, Rat der europäischen Union. *VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates: 305/2011*. 2011.
- [19] Österreichisches Institut für Bautechnik. *OIB-Grundlagen-Dokument zur Ausarbeitung einer OIB-Richtlinie Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen*. Mai 2023.
- [20] Republik Österreich. *Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 – AWG 2002): BGBl. I Nr. 102/2002*. 2002.
- [21] Republik Österreich. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruchtätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen (Recycling-Baustoffverordnung – RBV): BGBl. II Nr. 181/2015*. 2015.
- [22] Ellen MacArthur Foundation. *Material Circularity Indicator | Ellen Macarthur Foundation*. 1.11.2023. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator>.
- [23] Ellen MacArthur Foundation. *Circulytics Resources*. 1.11.2023. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/resources/circulytics/resources>.
- [24] A. Rosen. „Urban Mining Index“. Dissertation. Wuppertal: Fraunhofer IRB-Verlag und Bergische Universität Wuppertal, 2020.
- [25] Madaster. *Madaster Zirkularitätsindikator*. Hrsg. von Madaster.

- [26] N. Dodd, S. Donatello und M. Cordella. *Level(s)-Indikator 2.1: Leistungsverzeichnisse, Materialien und Lebensdauern: Benutzerhandbuch: Einführende Informationen, Anweisungen und Anleitungen*. Hrsg. von Europäische Kommission.
- [27] Europäische Kommission. *Entscheidung der Kommission vom 16. Januar 2001 zur Änderung der Entscheidung 2000/532/EG über ein Abfallverzeichnis: 2001/118/EG*. 16.01.2001. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32001D0118>.
- [28] Republik Österreich. *Verordnung der Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie über ein Abfallverzeichnis (Abfallverzeichnisverordnung 2020): BGBl. II Nr. 409/2020*. 2020.
- [29] Europäische Kommission. *Bekanntmachung der Kommission – Technischer Leitfaden zur Abfalleinstufung: (2018/C 124/01)*. 9.4.2018. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52018XC0409%2801%29>.
- [30] N. Dodd, S. Donatello und M. Cordella. *Level(s)-Indikator 2.2: Bau- und Abbruchabfälle und -materialien: Benutzerhandbuch: Einführende Informationen, Anweisungen und Anleitungen*. Hrsg. von Europäische Kommission. 2021.
- [31] N. Dodd, S. Donatello und M. Cordella. *Level(s)-Indikator 2.3: Entwurf für Anpassungsfähigkeit und Umbau: Benutzerhandbuch: Einführende Informationen, Anweisungen und Anleitungen*. Hrsg. von Europäische Kommission. 2021.
- [32] N. Dodd, S. Donatello und M. Cordella. *Level(s)-Indikator 2.4: Entwurf für den Rückbau: Benutzerhandbuch: Einführende Informationen, Anweisungen und Anleitungen*. Hrsg. von Europäische Kommission. 2021.
- [33] DGNB. *Über die DGNB*. 29.10.2023. URL: <https://www.dgnb.de/de/dgnb/ueber-die-dgnb>.
- [34] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB, Hrsg. *DGNB-System Kriterienkatalog Gebäude Neubau: Version 2018*. Stuttgart, 2018.
- [35] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB. *DGNB System: Version 2023 für Neubauten*. 3.11.2023. URL: <https://www.dgnb.de/de/zertifizierung/gebäude/neubau/version-2023>.
- [36] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen - DGNB, Hrsg. *DGNB-System Kriterienkatalog Gebäude Neubau: Version 2023*. Stuttgart, 2023.
- [37] U.S. Green Building Council - USGBC. *Mission and vision | U.S. Green Building Council*. 5.07.2023. URL: <https://www.usgbc.org/about/mission-vision>.
- [38] U.S. Green Building Council - USGBC. *LEED rating system*. 5.07.2023. URL: <https://www.usgbc.org/leed>.
- [39] U.S. Green Building Council - USGBC. *LEED reference guide for building design and construction*. LEED V4 edition. Washington, DC: U.S. Green Building Council, 2013. ISBN: 9781932444186.
- [40] U.S. Green Building Council - USGBC. *LEED reference guide for building design and construction: Beta Version*. LEED V4.1 edition. Washington, DC: U.S. Green Building Council, 2023.
- [41] BRE Group - Building a better world together. *About us*. 2016. URL: <https://bregroup.com/about-us-2/>.
- [42] BRE Group - Building a better world together. *How BREEAM Works*. 2022. URL: <https://bregroup.com/products/breeam/how-breeam-works/>.

- [43] BRE Group. *BREEAM DE Neubau 2018: Technisches Handbuch*.
- [44] BREEAM Circularity Technical Working Group Members. *BREEAM Circularity Principles*. 19.10.2023. URL: <https://www.bre.group/breeam-circularity-principles/>.
- [45] BREEAM Circularity Technical Working Group Members. *BREEAM Circularity Principle 1: Resource Optimisation for Circular Buildings*. 19.10.2023. URL: <https://www.bre.group/breeam-circularity-principles/principle-1-resource-optimisation-for-circular-buildings>.
- [46] BREEAM Circularity Technical Working Group Members. *BREEAM Circularity Principle 2: Designing&Enabling circular buildings*. 19.10.2023. URL: <https://www.bre.group/breeam-circularity-principles/principle-2-designing-enabling-circular-buildings>.
- [47] BREEAM Circularity Technical Working Group Members. *BREEAM Circularity Principle 3: Circular resource management*. 19.10.2023. URL: <https://www.bre.group/breeam-circularity-principles/principle-3-circular-resource-management>.
- [48] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. *Methodik und Anwendung - Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*. 8.07.2023. URL: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/methodik-und-anwendung/>.
- [49] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. *IBO Verein*. 19.10.2023. URL: <https://www.ibo.at/ueber-uns/ibo-verein>.
- [50] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. *Der Verwertungsindikator im deutschen Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen*. 8.07.2023. URL: <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/der-verwertungsindikator-im-deutschen-bewertungssystem-nachhaltiges-bauen>.
- [51] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. *BNB - Kriteriensteckbrief 4.1.4: Rückbau, Trennung und Verwertung*. Berlin, 2015. URL: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/buerogebaeude/steckbriefe-bnb-bn-2015/>.
- [52] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen. *BNB - Kriteriensteckbrief 5.2.1: Baustelle/ Bauprozess*. Berlin, 2015. URL: <https://www.bnb-nachhaltigesbauen.de/bewertungssystem/buerogebaeude/steckbriefe-bnb-bn-2015/>.
- [53] H. Figl, F. Dolezal und C. Thurner. *Untersuchung von gebäudegebundenen Stoffströmen in der Entsorgungsphase: Projekt im Rahmen von Zukunft Bau: im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)*. Deutschland, 2018.
- [54] H. Figl, M. Fellner, I. Nemeth und P. Schneider-Marin. *Sekundärbaustoff-Kreisläufe im BNB als Beitrag zum ressourceneffizienten Bauen: Projekt im Rahmen von Zukunft Bau: im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt-, und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)*. Deutschland, 2020.
- [55] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, Hrsg. *Kitting 2023*. 2023. URL: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/wissensverbreitung/buecher/Kitting_2023_web.pdf.

- [56] M. Honic, I. Kovacic, D. Breitfuss, G. Gourlis, S. Schützenhofer, J. Gallistl, A. Hinterleitner, K. Löcker, I. Schlögel, I. Gilmutdinov, M. Wimmer, P. Aschenbrenner, O. Cencic, H. Rechberger, I. Erb, P. Ferschin, M. Fellner, H. Figl, V. Huemer-Kals, C. Thurner, S. Hinterholzer, J. Maier, U. Moroz, A. Ragossnig, M. Ragossnig-Angst, M. Raskovic und D. van Rooyen. *Digital Urban Mining Platform: Assessing the material composition of building stocks through coupling of BIM to GIS (BIMstocks)*. Hrsg. von BMK. Wien, 2023. URL: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2023-44-bimstocks.pdf.
- [57] B. Lubitz-Prohasa, I. Schrattenecker, F. Trebut und M. Brait. *klimaaktiv - Kriterienkatalog für Wohnbauten Neubau und Sanierung 2020*. Hrsg. von Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien, 2020.
- [58] klimaaktiv. *Die Bewertungskategorien 2020 im Überblick*. 12.10.2023. URL: <https://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeuedeklaration/bewertungskategorien.html>.
- [59] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. *EI10 Berechnungsleitfaden*. Hrsg. von IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. 2020.
- [60] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. *Ökoindex 3: Anwendung - Grundlagen, Berechnungsergebnisse, Optimierung*. Hrsg. von IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. 2016. URL: https://www.ibo.at/fileadmin/ibo/materialoekologie/oi3_broschure_anwendung_2017.pdf.
- [61] Österreichisches Normungsinstitut. *Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode*. 2014.
- [62] A. Hillebrandt, P. Riegler-Floors, A. Rosen und J.-K. Seggewies. *Atlas Recycling: Gebäude als Materialressource*. Zweite, korrigierte Auflage. Edition Detail. München: Detail Business Information GmbH, 2021. ISBN: 9783955534165. DOI: 10.11129/9783955534165. URL: <https://www.degruyter.com/isbn/9783955534165>.
- [63] A. Bernhardt, F. Kleemann, C. Neubauer, M. Neubauer und B. Walter. *Datenanalyse zur Behandlung von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen in Österreich: Detailstudie zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan*. Bd. [Neue Folge], 697. Perspektiven für Umwelt & Gesellschaft. Wien: Umweltbundesamt, 2019. ISBN: 978-3-99004-516-9. URL: <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0697.pdf>.
- [64] F. Trebut und B. Pfefferer. *Anforderungen an die Kreislauffähigkeit von Massivbaustoffen: Berichte aus Energie- und Umweltforschung*. Hrsg. von Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien, 2021. URL: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-kreislauffaehigkeit-massivbaustoffe.pdf.
- [65] Umweltbundesamt, Hrsg. *Mörtel/ Putz: Factsheet: Erarbeitet im Projekt Kartierung des Anthropogenen Lagers III*. Dessau-Roßlau, 2019. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_moertelputz_fi_barrierefrei.pdf.
- [66] „Startschuss für das erste Gips-zu-Gips-Recyclingwerk in Österreich“. In: *kurier.at* (2023). URL: <https://kurier.at/cm/startschuss-fuer-das-erste-gips-zu-gips-recyclingwerk-in-oesterreich/402647729>.

- [67] Republik Österreich. *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (Recyclingholzverordnung – RHV): BGBl. II Nr. 160/2012*. 2024. URL: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20007830>.
- [68] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. *Recycling-Bauprodukte – ein Beitrag zu den Umweltzielen*. URL: <https://www.ibo.at/wissensverbreitung/ibomagazin-online/ibo-magazin-artikel/data/recycling-bauprodukte-ein-beitrag-zu-den-umweltzielen>.
- [69] S. Weidner, R. Bechmann und A. Mrzigod. „Emissionsarmes Bauen mit Beton: Perspektiven und Handlungskorridore“. In: *Beton- und Stahlbetonbau* 118.5 (2023), S. 332–340. ISSN: 0005-9900. DOI: 10.1002/best.202300023.
- [70] Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. *Aufbereitungsverfahren von Rohstoffen*. URL: <https://www.ibp.fraunhofer.de/de/kompetenzen/mineralische-werkstoffe-baustoffrecycling/aufbereitungsverfahren.html>.
- [71] Baustoff-Recycling Verband, Hrsg. *Verwertung von Gipsplatten und Gipsbauteilen aus dem Rückbau: Sammlung, Vorsortierung und Aufbereitung von RC-Gips: Info für Sammler und Behandler*. Wien, 2022. URL: http://brv.at/wp-content/uploads/_MEDIA/shop/InfoFolder_Gips_Sammler+Behandler_RZ01.pdf.
- [72] BauNetz. „Wiederverwendbarkeit und Kreislaufwirtschaft von Holzbauteilen | Holz | Grundlagen | Baunetz_Wissen“. In: *BauNetz* (). URL: <https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/grundlagen/wiederverwendbarkeit-und-kreislaufwirtschaft-von-holzbauteilen-8367922>.
- [73] Umweltbundesamt, Hrsg. *Mineralwolle: Factsheet: Erarbeitet im Projekt Kartierung des Anthropogenen Lagers III*. Dessau-Roßlau, 2019. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/factsheet_mineralwolle_fi_barrierefrei.pdf.
- [74] W. Müller. „Das Gebäude als temporärer Speicher“. In: *Intelligent Bauen* 1 (2023). URL: https://www.wernersobek.com/wp-content/uploads/2023/02/Interview_2023_01_v2.pdf.
- [75] C2C im Bau: Orientierung für Kommunen. *2.1 Cradle to Cradle - C2C im Bau: Orientierung für Kommunen*. 2022. URL: <https://c2c-bau.org/2-c2c-in-gebauter-umwelt/2-1-c2c/>.
- [76] IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie. *Risiko Re-Use*. 2023. URL: <https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/risiko-re-use>.
- [77] Baubook. *Willkommen bei baubook*. 4.01.2024. URL: <https://www.baubook.info/de>.
- [78] Baubook. *eco2soft: Ökobilanz für Gebäude*. 18.02.2024. URL: <https://www.baubook.at/eco2soft/>.
- [79] SankeyMATIC.com. *SankeyMATIC: Build a Sankey Diagram*. 30.01.2024. URL: <https://sankeymatic.com/build/>.

Abbildungsverzeichnis

3.1	Ablauf zur Einstufung anhand des Gefahrenpotenzials von anfallenden Baustoffen gemäß des Leitfadens zur Abfalleinstufung, Quelle: [29, vgl. S. 12-15]	26
3.2	Darstellung der Bewertungskriterien (linke Spalte) für den Adaptability Score mit dazugehöriger Kurzerklärung (rechte Spalte), Quelle: [31, vgl. S. 9-10]	27
3.3	Die erreichbaren Stufen der LEED-Zertifizierung mit zugehöriger Mindestpunktzahl dargestellt. Quelle: [38]	32
3.4	Gleichung zur Berechnung des prozentualen Anteils der berücksichtigten Bauteilkosten an den Gesamtkosten. Quelle: [40]	34
3.5	Grafische Darstellung der drei Prinzipien für die BREEAM Circularity Strategy [44]	37
3.6	Grafische Darstellung des Bewertungsvorgangs des BNB-Kriteriums 4.1.4, Quelle: Eigene Darstellung.	40
3.7	Tabellarische Darstellung der End-of-Life Kategorien von Baustoffen für den BNB-Zirkularitätsindikator, Quelle: [55, vgl. S.15]	41
3.8	Bewertung der Rückbaufähigkeit für den BNB-Zirkularitätsindikator, Quelle: [55, vgl. S.16]	41
3.9	Einteilung der Störstoffkategorien im Teilindikator Materialverträglichkeit des BNB-Zirkularitätsindikators, Quelle: [55, vgl. S.16]	42
3.10	Tabellarische Darstellung der Entsorgungseigenschaften von Baustoffen für den Entsorgungsindikator, Quelle: [59, vgl. S. 5]	44
4.1	Im Rahmen der Fallstudie durchgeführte Arbeitsschritte in chronologischer Reihenfolge mit Start in der oberen, linken Ecke; Quelle: Eigene Darstellung	49
4.2	Das für die Datengrundlage ausgewertete BIM-Modell zur Verfügung gestellt vom Industriebau-Institut der TU Wien, Quelle: Screenshot.	52
4.3	Lage und Fläche der betrachteten Bauteilaufbauten im Projekt, Quelle: Eigene Darstellung	53
4.4	Verbindungsarten zwischen den vorkommenden Bauteilschichten und die damit verbauten Baustoffe, Quelle: Eigene Darstellung	54
4.5	Im Gebäude enthaltene Baustoffe gruppiert nach Materialgruppen, Quelle: Eigene Darstellung	55
4.6	Projektübersicht im eco2soft-Tool, Quelle: Screenshot	61
4.7	Screenshot des in eco2soft erfassten Aufbaus der AW03, Quelle: Screenshot	62
4.8	Erster Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.1 Excel-Tools, Quelle: Screenshot	64
4.9	Zweiter Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.1 Excel-Tools, Quelle: Screenshot	65
4.10	Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.2 Excel-Tools mit den zur Verfügung stehenden Entsorgungswegen, Quelle: Screenshot	66
4.11	Ausschnitt der Dateneingabe des Levels-Indikators 2.4 Excel-Tools zur Berechnung des Zirkularitätsscores, Quelle: Screenshot	69
4.12	Ausschnitt der Dateneingabe des TEC1.6-Tools der DGNB für allgemeine Angaben, Quelle: Screenshot	70

4.13 Screenshot der angepassten Bauteilbewertung im TEC1.6-Tool der DGNB, Quelle: Screenshot	71
4.14 Screenshot der Eingabemaske im Bauteilkatalog des BNB 4.1.4 Excel-Tools, Quelle: Screenshot	73
4.15 Bauteilübergreifende Auswahl der Entsorgungswege für die Ökobilanz-Berechnung im eco2soft-Tool, Quelle: Screenshot	74
5.1 Bauteilmassen zum Zeitpunkt der Errichtung in m ³ , Quelle: Eigene Darstellung .	77
5.2 Bauteilvolumina zum Zeitpunkt der Errichtung in m ³ , Quelle: Eigene Darstellung	77
5.3 Berechnungsergebnis des eco2soft-Tools für das erste Szenario, Quelle: Screenshot	78
5.4 Stoffströme für das erste Szenario basierend auf den Ergebnissen der EI10-Berechnung in Tonnen (t), Quelle: Eigene Darstellung	79
5.5 Stoffströme der Bauteilmassen in Tonnen (t) für Indikatoren 2.1 und 2.2 in Szenario 1, Quelle: Eigene Darstellung.	80
5.6 Darstellung der Ergebnisse des TEC1.6-Tools in Tonnen (t) für Szenario 1, Quelle: Eigene Darstellung.	81
5.7 Berechnungsergebnis des eco2soft-Tools für das zweite Szenario, Quelle: Screenshot.	82
5.8 Stoffströme für das zweite Szenario basierend auf den Ergebnissen der EI10-Berechnung in Tonnen (t), Quelle: Eigene Darstellung.	83
5.9 Stoffströme der Bauteilmassen in Tonnen (t) für Indikatoren 2.1 und 2.2 in Szenario 2, Quelle: Eigene Darstellung.	84
5.10 Darstellung der Ergebnisse des TEC1.6-Tools in Tonnen (t) für Szenario 2, Quelle: Eigene Darstellung.	85
5.11 Berechnungsergebnis des eco2soft-Tools für das dritte Szenario, Quelle: Screenshot	87
5.12 Stoffströme für das dritte Szenario basierend auf den Ergebnissen der EI10-Berechnung in Tonnen (t), Quelle: Eigene Darstellung.	87
5.13 Stoffströme der Bauteilmassen in Tonnen (t) für Indikatoren 2.1 und 2.2 in Szenario 3, Quelle: Eigene Darstellung.	88
5.14 Darstellung der Ergebnisse des TEC1.6-Tools in Tonnen (t) für Szenario 3, Quelle: Eigene Darstellung.	89

Tabellenverzeichnis

3.1	Tabellarische Darstellung der kreislaufbezogenen Aspekte (1. Spalte) und deren Berücksichtigung in den Kriterien der betrachteten Zertifizierungssysteme (1. Zeile). Grau eingefärbte Kriterien wurden nicht näher betrachtet, grün eingefärbte Kriterien bezeichnen die überarbeitete Version. Quelle: eigene Darstellung.	47
4.1	Anteil der quantifizierbaren Kriterien und den zu erreichenden Maximalpunktzahlen, Quelle: eigene Darstellung.	50
4.2	Darstellung der erreichbaren Maximalpunktzahl durch kreislaufbezogene Kriterien im Vergleich zur Gesamtpunktzahl des Endergebnisses eines Zertifizierungssystems, Quelle: eigene Darstellung.	50
4.3	Übersicht der zu bewertenden Indikatoren und den dazugehörigen quantifizierbaren Kriterien, Quelle: eigene Darstellung.	51
4.4	Tabellarische Berechnung des Anpassungsscores für den Levels-Indikator 2.3, Quelle: Eigene Darstellung.	67

Anhang A

Bauteilaufbauten

Bauteil	Baustoff	Schichtdicke [m]	Anteil an Fläche	Fläche [m ²]	WICHTE [kg/m ³]	GEWICHT [kg/m ²]	MASSE [kg]	Zwischen-summen [kg]
AW03				1471 m²				
	1 Lärchenholzschalung	0,036 m		52,956	475	17,1	25154,10	
	2 Faserzementplatte	0,015 m		22,065	2000	30	44130,00	
	3 Hinterlüftung	0,03 m		44,13	0	0	0,00	
	4 Hinterlüftung	0,03 m		44,13	0	0	0,00	
	5 Dampfdiffusionsöffende Windbremse sd<0,1m, winddicht	0,001 m		1,471	650	0,65	956,15	70240,25
	6 Holzkonstruktion dazw. MW	0,195 m		286,845				
a	Mineralwolle 0,036		45%	129,0803	70	13,65	9035,62	
b	Mineralwolle 0,036		45%	129,0803	70	13,65	9035,62	
c	Fichte, Kiefer Tanne		10%	28,6845	475	92,625	13625,14	
	7 CLT-Platte	0,1 m		147,1	475	47,5	69872,50	101568,87
	8 Dampfbremse mud>20m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	
	9 GKF 2*15mm	0,03 m		44,13	700	21	30891,00	30891,00
	Bauteil-Dicke	0,437 m				137,8	202703,80	202700,1225
AW05				143,2 m²				
	1 Stahlbeton 2400kg/m ³	0,25 m		35,8	2400	600	85920,00	85920,00
	2 Mineralwolle 0,035	0,13 m		18,616	50	6,5	930,80	
	3 CLT-Platte	0,1 m		14,32	475	47,5	6802,00	
	4 GKF 15mm	0,015 m		2,148	700	10,5	1503,60	
	5 Dampfbremse mud>100m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	
	6 GKF 15mm	0,015 m		2,148	700	10,5	1503,60	10740,00
	Bauteil-Dicke	0,51 m				675,3	96702,96	96660,00
AW05a				27 m²				
	1 Stahlbeton 2400kg/m ³	0,25 m		6,75	2400	600	16200,00	16200,00
	2 Mineralwolle 0,035	0,13 m		3,51	50	6,5	175,50	
	3 CLT-Platte	0,1 m		2,7	475	47,5	1282,50	
	4 Dampfbremse mud>100m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	
	5 CW Profil dazw. Mineralwolle	0,085 m		2,295	50	4,25	114,75	
	6 GKF 15mm	0,015 m		0,405	700	10,5	283,50	1856,25
	7 Fließen	0,01 m		0,27	701	7,01	189,27	1870,02
	Bauteil-Dicke	0,58 m				704,2	19013,40	18056,25
AW05b				28,3 m²				
	1 Endbeschichtung (Kleber, Edelputz)	0,005 m		0,1415	1500	7,5	212,25	
	2 Baumit Putzträgerplatte Mineral MW-PT 10 120 mm	0,12 m		3,396	120	14,4	407,52	
	3 Klebspachtel	0,005 m		0,1415	1400	7	198,10	817,87
	4 Stahlbeton 2400kg/m ³	0,25 m		7,075	2400	600	16980,00	16980,00
	5 Mineralwolle 0,035	0,13 m		3,679	50	6,5	183,95	
	6 CLT-Platte	0,1 m		2,83	475	47,5	1344,25	
	7 GKF 15mm	0,015 m		0,4245	700	10,5	297,15	
	8 Dampfbremse mud>100m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	
	9 GKF 15mm	0,015 m		0,4245	700	10,5	297,15	2122,50
	Bauteil-Dicke	0,64 m				704,2	19928,86	19920,37
AW06				55,21 m²				
	1 Stahlblech	0,001 m		0,05521	7800	7,8	430,638	
	2 Steinwolle 0,035	0,2 m		11,042	50	10	552,1	
	3 Stahlblech	0,001 m		0,05521	7800	7,8	430,638	
	Bauteil-Dicke	0,202 m				25,6	1413,376	
AW06_AF				199,03 m²				
	Fenster	8 0,035		6,96605		62,5	12439,38	

Bauteil	Baustoff	Schichtdicke [m]	Anteil an Fläche	Fläche [m ²]	WICHTE [kg/m ³]	GEWICHT [kg/m ²]	MASSE [kg]	Zwischen-summen [kg]
DE04				149,6 m²				
1	Betonplatte	0,06 m		8,976	1200	72	10771,2	
2	Systemplatte EPS W T	0,03 m		4,488	17	0,51	76,296	
3	Polyethylen-Folien dicke d >= 0,2mm, verklebt	0 m		0	980	0	0	
4	EPS-Granulat zementgebunden bis 350 kg/m ³	0,05 m		7,48	99	4,95	740,52	11588,016
5	Stahlbeton 2400kg/m ³ lt. Statik	0,3 m		44,88	2400	720	107712	
6	Spachtelung	0,005 m		0,748	1200	6	897,6	108609,6
Bauteil-Dicke		0,445 m			870,1	130166,96	120197,6	
DE05 Wohnung gegen Wohnung				1415,7 m²				
1	Parkett	0,015 m		21,2355	740	11,1	15714,27	
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	0,03 m		42,471	1150	34,5	48841,65	
3	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPS 20	0,02 m		28,314	71	1,42	2010,29	66566,214
4	OSB/4 Platte Egger/Eurostrand	0,022 m		31,1454	600	13,2	18687,24	
5	Holzkonstr. Dazwischen MW	0,245 m		346,8465				
a	Minerallwolle 0,038	m	45%	156,0809	105	25,725	16388,50	
b	Minerallwolle 0,038	m	45%	156,0809	105	25,725	16388,50	
c	Fichte, Kiefer, Tanne	m	10%	34,68465	475	116,375	16475,21	
6	OSB/3 Platte Egger/Eurostrand, luftdicht verklebt	0,015 m		21,2355	600	9	12741,30	80680,74
7	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 60	0,06 m		84,942	105	6,3	8918,91	
8	CLT-Platte	0,1 m		141,57	475	47,5	67245,75	
9	Minerallwolle 0,038	0,05 m		70,785	105	5,25	7432,43	
10	GKF 15mm auf Federschiene 60/27/0,6	0,015 m		21,2355	700	10,5	14864,85	
11	GKF 15mm	0,015 m		21,2355	700	10,5	14864,85	113326,79
Bauteil-Dicke		0,587 m				196,6	278326,62	260573,742
DE05a Wohnung gegen Nasszelle				163,2 m²				
1	Fließe	0,01 m		1,632	2487	24,87	4058,78	
2	Estrich	0,05 m		8,16	2000	100	16320,00	
3	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPS 20	0,02 m		3,264	71	1,42	231,74	20610,528
4	OSB/4 Platte Egger/Eurostrand	0,022 m		3,5904	600	13,2	2154,24	
5	Holzkonstr. Dazwischen MW	0,245 m		39,984			0,00	
a	Minerallwolle 0,038	m	45%	0	105	25,725	4198,32	
b	Minerallwolle 0,038	m	45%	0	105	25,725	4198,32	
c	Fichte, Kiefer, Tanne	m	10%	0	475	116,375	18992,40	
6	OSB/3 Platte Egger/Eurostrand, luftdicht verklebt	0,015 m		2,448	600	9	1468,80	31012,08
7	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 60	0,06 m		9,792	105	6,3	1028,16	
8	CLT-Platte	0,1 m		16,32	475	47,5	7752,00	
9	Minerallwolle 0,038	0,05 m		8,16	105	5,25	856,80	
10	GKF 15mm auf Federschiene 60/27/0,6	0,015 m		2,448	700	10,5	1713,60	
11	GKF 15mm	0,015 m		2,448	700	10,5	1713,60	13064,16
Bauteil-Dicke		0,602 m				196,6	32085,12	64686,768
DE05b Decke gegen Außen OG1				288,4 m²				
1	Parkett	0,015 m		4,326	740	11,1	3201,24	
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	0,03 m		8,652	1150	34,5	9949,80	
3	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPS 20	0,02 m		5,768	71	1,42	409,53	
4	Dampfbremse mud>130m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	13560,568
5	OSB/4 Platte Egger/Eurostrand	0,022 m		6,3448	600	13,2	3806,88	
6	Holzkonstr. Dazwischen MW	0,245 m		70,658				
a	Minerallwolle 0,038	m	45%	31,7961	105	25,725	3338,59	
b	Minerallwolle 0,038	m	45%	31,7961	105	25,725	3338,59	
c	Fichte, Kiefer, Tanne	m	10%	7,0658	475	116,375	3356,26	
7	OSB/3 Platte Egger/Eurostrand, luftdicht verklebt	0,015 m		4,326	600	9	2595,60	16435,92
8	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 60	0,06 m		17,304	105	6,3	1816,92	
9	Stahlbeton 2400kg/m ³	0,5 m		144,2	2400	1200	346080,00	346080,00
10	WDVS Klebspachtel	0,005 m		1,442	1400	7	2018,80	
11	Steinwolle 0,040	0,1 m		28,84	120	12	3460,80	
12	Endbeschichtung (Kleber, Edelputz)	0,007 m		2,0188	1500	10,5	3028,20	
13	Unterkonstr. Für Fassadenplatte (hinterlüftung)	0,435		125,454	0	0	0,00	
14	Fassadenplatte	0,015 m		4,326	1000	15	4326,00	14650,72
Bauteil-Dicke		1,469 m				1387,7	400212,68	390727,204

Bauteil	Baustoff	Schichtdicke [m]	Anteil an Fläche	Fläche [m ²]	WICHTE [kg/m ³]	GEWICHT [kg/m ²]	MASSE [kg]	Zwischen-summen [kg]
DE05c Decke gegen Müllraum				28,09 m²				
1	Parkett	0,015 m		0,42135	740	11,1	311,80	
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	0,03 m		0,8427	1150	34,5	969,11	
3	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPS 20	0,02 m		0,5618	71	1,42	39,89	
4	Dampfbremse mud>130m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	1320,7918
5	OSB/4 Platte Egger/Eurostrand	0,022 m		0,61798	600	13,2	370,79	
6	Holzkonstr. Dazwischen MW	0,245 m		6,88205				
a	Minerallwolle 0,038	m	45%	3,096923	105	25,725	325,18	
b	Minerallwolle 0,038	m	45%	3,096923	105	25,725	325,18	
c	Fichte, Kiefer, Tanne	m	10%	0,688205	475	116,375	326,90	
7	OSB/3 Platte Egger/Eurostrand, luftdicht verklebt	0,015 m		0,42135	600	9	252,81	1600,85
8	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 60	0,06 m		1,6854	105	6,3	176,97	
9	Stahlbeton 2400kg/m ³	0,5 m		14,045	2400	1200	33708,00	33708,00
10	WDVS Klebspachtel	0,005 m		0,14045	1400	7	196,63	
11	Steinwolle 0,040	0,1 m		2,809	120	12	337,08	
12	Endbeschichtung (Kleber, Edelputz)	0,007 m		0,19663	1500	10,5	294,95	1005,62
Bauteil-Dicke		1,019 m				1352,3	37986,11	37635,2629
DE05d Decke gegen Kinderwagen/Fahrräder				2,08 m²				
1	Parkett	0,015 m		0,0312	740	11,1	23,09	
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	0,03 m		0,0624	1150	34,5	71,76	
3	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPS 20	0,02 m		0,0416	71	1,42	2,95	
4	Dampfbremse mud>130m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	97,8016
5	OSB/4 Platte Egger/Eurostrand	0,022 m		0,04576	600	13,2	27,46	
6	Holzkonstr. Dazwischen MW	0,245 m		0,5096				
a	Minerallwolle 0,038	m	45%	0,22932	105	25,725	24,08	
b	Minerallwolle 0,038	m	45%	0,22932	105	25,725	24,08	
c	Fichte, Kiefer, Tanne	m	10%	0,05096	475	116,375	24,21	
7	OSB/3 Platte Egger/Eurostrand, luftdicht verklebt	0,015 m		0,0312	600	9	18,72	118,54
8	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 60	0,06 m		0,1248	105	6,3	13,10	
9	Stahlbeton 2400kg/m ³	0,5 m		1,04	2400	1200	2496,00	2496,00
10	WDVS Klebspachtel	0,005 m		0,0104	1400	7	14,56	
11	Steinwolle 0,040	0,1 m		0,208	120	12	24,96	
12	Endbeschichtung (Kleber, Edelputz)	0,007 m		0,01456	1500	10,5	21,84	74,46
Bauteil-Dicke		1,019 m				1352,3	2812,78	2786,8048
DE05e Decke gegen Außen OG2-OG6				205,85 m²				
1	Parkett	0,015 m		3,08775	740	11,1	2284,94	
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	0,03 m		6,1755	1150	34,5	7101,83	
3	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPS 20	0,02 m		4,117	71	1,42	292,31	
4	Dampfbremse mud>130m, luftdicht verklebt	0 m		0	300	0	0,00	9679,067
5	OSB/4 Platte Egger/Eurostrand	0,022 m		4,5287	600	13,2	2717,22	
6	Holzkonstr. Dazwischen MW	0,245 m		50,43325				
a	Minerallwolle 0,038	m	45%	22,69496	105	25,725	2382,97	
b	Minerallwolle 0,038	m	45%	22,69496	105	25,725	2382,97	
c	Fichte, Kiefer, Tanne	m	10%	5,043325	475	116,375	2395,58	
7	OSB/3 Platte Egger/Eurostrand, luftdicht verklebt	0,015 m		3,08775	600	9	1852,65	11731,39
8	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 60	0,06 m		12,351	105	6,3	1296,86	
9	CLT-Platte	0,1 m		20,585	475	47,5	9777,88	
10	WDVS Klebspachtel	0,005 m		1,02925	1400	7	1440,95	
11	Steinwolle 0,040	0,1 m		20,585	120	12	2470,20	
12	Endbeschichtung (Kleber, Edelputz)	0,007 m		1,44095	1500	10,5	2161,43	17147,31
Bauteil-Dicke		0,619 m				199,8	41128,83	38557,7635
DE06 Flachdach				243,9 m²				
1	Kiesschüttung 5,0 cm	0,05 m		12,195	1800	90	21951,00	
2	EPDM-Abdichtung, verschleißt, Schutzvlies	0,002 m		0,4878	1200	2,4	585,36	
3	EPS W 25 + Gefälledämmung 33cm im geometrischen Mit	0,3 m		73,17	23	6,9	1682,91	
4	bituminöse Feuchtigkeitsabdichtung ALGV	0,01 m		2,439	1150	11,5	2804,85	27024,12
5	CLT-Platte	0,12 m		29,268	475	57	13902,30	13902,30
6	Minerallwolle 0,038	0,05 m		12,195	100	5	1219,50	
7	GKF 15mm auf Federschienen 60/27/0,6	0,015 m		3,6585	700	10,5	2560,95	
8	GKF 15mm	0,015 m		3,6585	700	10,5	2560,95	6341,40
Bauteil-Dicke		0,562 m				185,8	45316,62	47267,82

Bauteil	Baustoff	Schichtdicke [m]	Anteil an Fläche	Fläche [m ²]	WICHTE [kg/m ³]	GEWICHT [kg/m ²]	MASSE [kg]	Zwischen- summen [kg]
DE07	Dach unter Freibereich			468,9 m²				
1	Holzbelag auf Unterkonstruktion	0,02 m		9,378	475	9,5	4454,55	
2	Gummigranulatmatte Regupol sound and drain 22	0,015 m		7,0335	640	9,6	4501,44	
3	EPDM-Abdichtung, verschweißt, Schutzvlies	0,002 m		0,9378	1200	2,4	1125,36	
4	EPS W 25 + Gefälledämmung 30cm im geometrischen Mit	0,27 m		126,603	23	6,21	2911,87	
5	TRITTSCHALL DÄMMPLATTEN TDPT 30	0,03 m		14,067	105	3,15	1477,04	
6	bituminöse Feuchtigkeitsabdeckung ALGV	0,01 m		4,689	1100	11	5157,90	19628,154
7	CLT-Platte	0,12 m		56,268	475	57	26727,30	26727,30
8	Mineralwolle 0,038	0,05 m		23,445	100	5	2344,50	
9	GKF 15mm auf Federschienen 60/27/0,6	0,015 m		7,0335	700	10,5	4923,45	
10	GKF 15mm	0,015 m		7,0335	700	10,5	4923,45	12191,40
	Bauteil-Dicke	0,547 m				112,5	58546,85	58546,854
							52751,25	58546,854

Anhang B

Ergebnisse klimaaktiv/EI10

B.1 Szenario 1

OI3-Ausweis

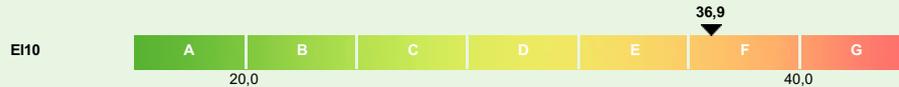
Ergebnisblatt Gebäude – Neubau

www.baubook.at/eco2soft
Ökobilanz für Gebäude

Projektname: Fallstudie DA

Gebäude gesamt

*OI3 BG2 BZF: 748 Punkte	BGF: 2.112,58 m ²
EI10: 36,85 Punkte	BZF: 2.112,58 m ²
PENRT: 9.274 MJ / m ² BZF	Katalog der Ökokennzahlen: IBO-Richtwerte 2020
GWP-total: 541 kg CO ₂ equ. / m ² BZF	Nutzungsdauer berücksichtigt: ja, mit ganzzahligen Austauschraten
AP: 3,07 kg SO ₂ equ. / m ² BZF	Betrachtungszeitraum: 100 Jahre
Leitfadenversion EI: EI10-Leitfaden V2.1	Nutzungsdauerkatalog: 2018
	Neubau, Sanierung: Neubau



* Berücksichtigung der Herstellungsphase (A1-A3) und der Verwendungsphase (B1-B4) von EN 15804

Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ **Kostenpflichtige Vollversion bestellen**

Bauteile

Menge	Bauteil	ΔOI3		PENRT MJ	GWP-total kg CO ₂ equ. pro m ² BZF	AP kg SO ₂ equ.	EI _{KON} pro m ² Bt
		BG2, BZF	pro m ² Bt				
1.471,00 m ²	AW03	98	140	1.283	5	0,41	1,38
143,20 m ²	AW05	11	165	140	7	0,04	1,26
27,00 m ²	AW05a	5	359	55	3	0,02	1,70
28,30 m ²	AW05b	4	286	42	2	0,02	2,43
199,03 m ²	AW06_Fensteranteil	30	316	205	17	0,15	0,04
55,21 m ²	AW06_Pfosten-Riegel-Fassade	4	148	39	3	0,02	1,20
149,60 m ²	DE04	14	191	170	15	0,04	1,20
1.415,70 m ²	DE05	207	309	2.235	42	0,94	2,87
163,20 m ²	DE05a	26	334	286	10	0,11	2,99
288,40 m ²	DE05b	95	692	1.014	65	0,37	4,46
236,02 m ²	DE05c-d	74	659	775	53	0,29	4,35
205,85 m ²	DE05e	41	422	413	14	0,19	3,90
243,90 m ²	DE06	31	272	531	11	0,09	4,24
468,90 m ²	DE07	110	497	1.903	40	0,30	4,58
5.095,31 m ²	Summe			9.090	288	2,98	



Entsorgung

Summe (100,0% aller Materialien mit bekannter Masse berücksichtigt)

PENRT MJ	GWP-total kg CO ₂ equ. pro m ² BZF	AP kg SO ₂ equ.
184	253	0,0854

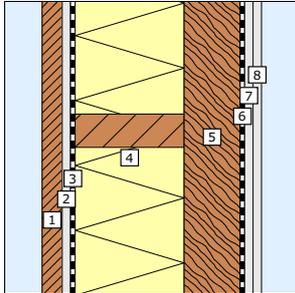
Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ **Kostenpflichtige Vollversion bestellen**

Opake und transparente Bauteile im Detail (grafische Darstellung)

Projektname: Fallstudie DA

AW03 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 140 Punkte/m²
E_{I,KON}: 1,38 Punkte/m²
Masse: 137,5 kg/m²
PENRT: 1.842 MJ/m²
GWP-total: 7,77 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,582 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



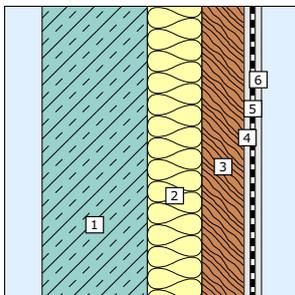
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	3,60	50	3	1	1
2	Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	1,50	50	60	3	4
3	Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,10	35	9	3	3
4	Inhomogen (Elemente horizontal) 56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m ³) 6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	19,50 19,50 19,50	50 100	64 0	4 1	3 1
5	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	100	-5	1	1
6	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
7	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	4	3
8	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	4	3
Bauteil		37,70				

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

AW05 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 165 Punkte/m²
E_{I,KON}: 1,26 Punkte/m²
Masse: 675,0 kg/m²
PENRT: 2.062 MJ/m²
GWP-total: 100 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,600 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



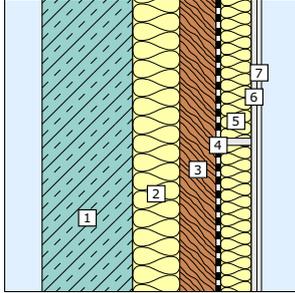
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	2	2
2	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	4	3
3	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
4	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	4	3
5	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
6	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	4	3
Bauteil		51,00				

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

AW05a (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 359 Punkte/m²
 E_{kon} : 1,70 Punkte/m²
Masse: 712,8 kg/m²
PENRT: 4.273 MJ/m²
GWP-total: 252 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,31 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



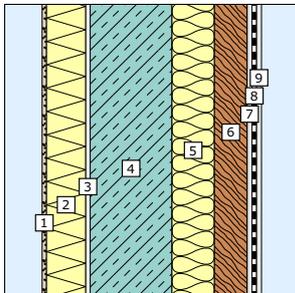
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	2	2
2	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	4	3
3	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
5	<i>Inhomogen (Elemente horizontal)</i> 60,5 cm (97%) Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix 2 cm (3%) Stahlblech, verzinkt	8,50 8,50 8,50	50 50	21 131	4 2	3 1
6	Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
7	Fliesen (2300 kg/m ³)	1,00	50	46	2	3
Bauteil		59,00				

† U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

AW05b (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 286 Punkte/m²
 E_{kon} : 2,43 Punkte/m²
Masse: 703,9 kg/m²
PENRT: 3.105 MJ/m²
GWP-total: 186 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,14 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



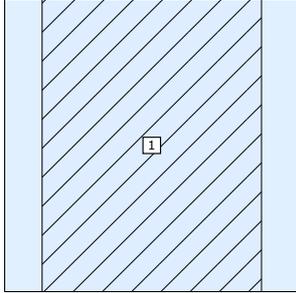
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,50	35	3	2	4
2	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	12,00	35	111	4	3
3	Baumit KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	5
4	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	2	2
5	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	4	3
6	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
7	Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
8	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
9	Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
Bauteil		64,00				

† U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

AW06_Fensteranteil (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 316 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,04 Punkte/m²
 Masse: 62,5 kg/m²
 PENRT: 2.181 MJ/m²
 GWP-total: 184 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,59 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



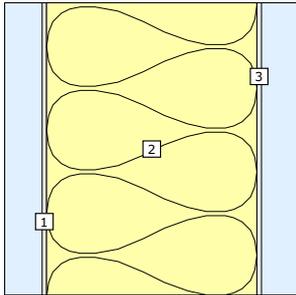
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Glas (2500 kg/m ³)	2,50	35	316	1	2
Bauteil	2,50				

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

AW06_Pfosten-Riegel-Fassade (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 148 Punkte/m²
 E_{kon} : 1,20 Punkte/m²
 Masse: 25,6 kg/m²
 PENRT: 1.503 MJ/m²
 GWP-total: 111 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,596 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



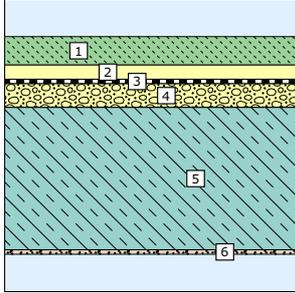
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Stahlblech, verzinkt	0,10	50	48	2	1
2 Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	20,00	50	52	4	3
3 Stahlblech, verzinkt	0,10	50	48	2	1
Bauteil	20,20				

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE04 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 191 Punkte/m²
E_{KON}: 1,20 Punkte/m²
Masse: 875,5 kg/m²
PENRT: 2.407 MJ/m²
GWP-total: 213 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,566 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

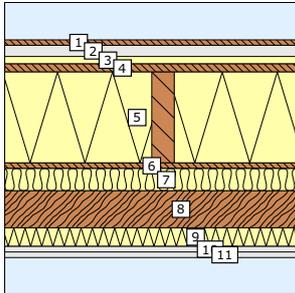
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Betonplatten	6,00	50	18	11	11
2	AUSTROTHERM EPS T1000	3,00	25	12	4	3
3	Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,00	25	0	3	13
4	Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m ³)	5,00	50	16	5	4
5	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	30,00	100	143	2	2
6	Baumit KlimaPutz S	0,50	35	2	2	15
Bauteil		44,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE05 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 309 Punkte/m²
E_{KON}: 2,87 Punkte/m²
Masse: 183,7 kg/m²
PENRT: 3.334 MJ/m²
GWP-total: 62,9 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,41 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

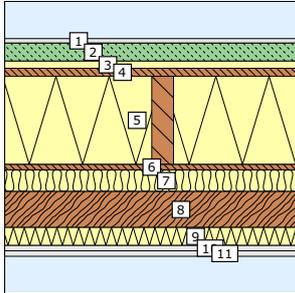
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	2	2
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	4	3
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	4	3
4	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	3
5	Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	50	120	4	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
6	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	3
7	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	4	3
8	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
9	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	4	3
10	Gipskartonplatte - Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
11	Gipskartonplatte - Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
Bauteil		58,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE05a (30358, BG2)



ΣΔOI3: 334 Punkte/m²
E_{KON}: 2,99 Punkte/m²
Masse: 263,0 kg/m²
PENRT: 3.698 MJ/m²
GWP-total: 124 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,43 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

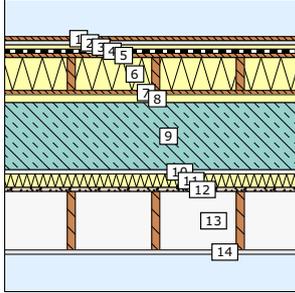
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m ³)	1,00	50	47	2	3
2	Baumit Estriche	5,00	50	22	3	4
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	4	3
4	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	3
5	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	150	120	4	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - <i>rauh, technisch getrocknet</i>	24,50	100	0	1	1
6	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	3
7	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	4	3
8	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
9	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	4	3
10	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
11	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
Bauteil		60,20				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE05b (30358, BG2)



ΣΔOI3: 692 Punkte/m²
EI_{KON}: 4,46 Punkte/m²
Masse: 1374,8 kg/m²
PENRT: 7.428 MJ/m²
GWP-total: 479 kg CO₂ equ./m²
AP: 2,74 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



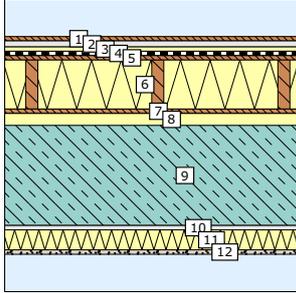
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	2	2
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	4	3
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	4	3
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
5	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	3
6	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	4	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	3
8	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	4	3
9	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	100	239	2	2
10	Baumit KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	5
11	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	4	3
12	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	4
13	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	43,50				
	56,5 cm (90%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm	43,50		0		
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	43,50	50	4	1	1
14	FERMACELL Powerpanel HD	1,50	50	30	3	4
Bauteil		146,90				

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE05c-d (30358, BG2)



ΣΔOI3: 659 Punkte/m²
EI_{KON}: 4,35 Punkte/m²
Masse: 1339,4 kg/m²
PENRT: 6.933 MJ/m²
GWP-total: 477 kg CO₂ equ./m²
AP: 2,61 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



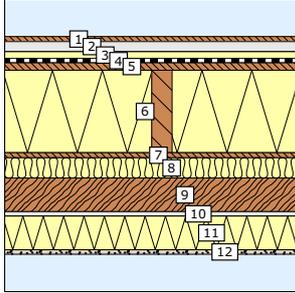
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	2	2
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	4	3
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	4	3
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
5	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	3
6	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	4	3
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	3
8	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	4	3
9	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	100	239	2	2
10	Baumit KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	5
11	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	4	3
12	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	4
Bauteil		101,90				

¹ U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE05e (30358, BG2)



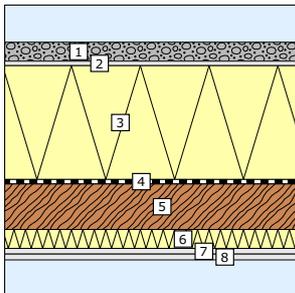
ΣΔOI3: 422 Punkte/m²
E_{KON}: 3,90 Punkte/m²
Masse: 186,9 kg/m²
PENRT: 4.235 MJ/m²
GWP-total: 141 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,93 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

Nr. Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Massivparkett	1,50	50	15	2	2
2 FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	4	3
3 ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	4	3
4 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	3	3
5 SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	3
6 Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	4	3
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7 SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	3
8 ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	4	3
9 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
10 Baument KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	5
11 Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	4	3
12 RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	4
Bauteil	61,90				

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE06 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 272 Punkte/m²
E_{KON}: 4,24 Punkte/m²
Masse: 185,8 kg/m²
PENRT: 4.600 MJ/m²
GWP-total: 93,9 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,771 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



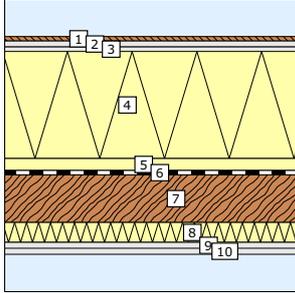
Nr. Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	5,00	'50	2	2	1
2 EPDM Baufolie, Gummi	0,20	'25	45	3	5
3 AUSTROTHERM EPS W25	30,00	'25	165	4	3
4 Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut	0,30	'25	31	3	5
5 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	12,00	100	-6	1	1
6 Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m ³)	5,00	50	26	4	3
7 Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
8 Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,50	50	5	4	3
Bauteil	55,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA

DE07 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 497 Punkte/m²
EI_{KON}: 4,58 Punkte/m²
Masse: 115,6 kg/m²
PENRT: 8.575 MJ/m²
GWP-total: 179 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,36 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	0,00	'50	0	1	1
2	Gummigranulatmatte	1,50	'25	103	3	3
3	COVERiT NOVOtan ® EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm	0,20	'25	45	3	5
4	AUSTROTHERM EPS W25	27,00	'25	149	4	3
5	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	3,00	'25	49	4	3
6	DisboPROOF 706 Bitu 1K	1,00	'25	106	3	5
7	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	12,00	100	-6	1	1
8	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	4	3
9	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	4	3
10	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	4	3
Bauteil		52,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Materialliste

Material	Masse kg	Masse- anteil	Kumulierter Anteil	Baustoff-ID	Dichte kg/m ³	λ- Wert W/m ² K	PENRT MJ/FE	GWP- total kg CO ₂ equ./FE	AP kg SO ₂ equ./FE	FE
Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	856.116	52,3%	52,3%	2142717550	2.400	2,500	2,40	0,224	0,000613	kg
CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	204.706	12,5%	64,8%	2142704059	475	0,120	1,93	-1,51	0,000591	kg
Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	77.780	4,8%	69,6%	2142715609	700	0,210	3,83	0,199	0,000530	kg
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	74.036	4,5%	74,1%	2142704485	1.150	0,320	5,40	0,0845	0,00157	kg
Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	69.753	4,3%	78,4%	2142715290	475	0,120	2,52	-1,50	0,000944	kg
Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	64.452	3,9%	82,3%	2142714906	105	0,038	21,3	1,74	0,0118	kg
Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	44.130	2,7%	85,0%	2142714823	2.000	1,500	13,2	0,947	0,00300	kg
SterlingOSB/4-Zero	30.481	1,9%	86,9%	2142703697	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Massivparkett	23.820	1,5%	88,3%	2142684313	740	0,160	8,49	-1,19	0,00333	kg
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	21.951	1,3%	89,7%	2142715135	1.800	0,700	0,104	0,00708	4,83·10 ⁻⁸	kg
Betonplatten	21.542	1,3%	91,0%	2142727922	2.400	2,000	0,702	0,0926	0,000169	kg
SterlingOSB/3-Zero	20.783	1,3%	92,2%	2142703692	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m ³)	18.152	1,1%	93,4%	2142714900	70	0,037	21,3	1,74	0,0118	kg
Baumit Estriche	16.320	1,0%	94,4%	2142707274	2.000	1,400	1,34	0,151	0,000315	kg
ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	16.025	1,0%	95,3%	2142723367	105	0,033	45,7	2,42	0,0150	kg
Glas (2500 kg/m ³)	12.439	0,8%	96,1%	2142715201	2.500	1,000	11,6	0,979	0,00849	kg
Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	9.171	0,6%	96,7%	2142714907	120	0,040	21,3	1,74	0,0118	kg
RÖFIX 700 Edelputz weiss	7.880	0,5%	97,1%	2142685379	1.500	0,540	1,43	0,153	0,000348	kg
Baumit KlebeSpachtel	5.310	0,3%	97,5%	2142707285	1.400	0,800	4,18	0,335	0,000936	kg
DisboPROOF 706 Bitu 1K	5.158	0,3%	97,8%	2142701139	1.100	0,230	48,9	0,430	0,00537	kg
Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	5.122	0,3%	98,1%	2142714819	700	0,210	3,58	0,181	0,000472	kg
AUSTROTHERM EPS W25	4.595	0,3%	98,4%	2142717435	23	0,036	98,9	4,21	0,0149	kg
Gummigranulatmatte	4.501	0,3%	98,6%	2142684398	640	0,170	51,5	1,29	0,00566	kg
FERMACELL Powerpanel HD	4.326	0,3%	98,9%	2142704483	1.000	0,400	13,2	0,947	0,00300	kg
Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m ³)	4.059	0,2%	99,2%	2142738883	2.487	1,300	13,2	0,781	0,00277	kg
ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	3.279	0,2%	99,4%	2142723365	71	0,032	40,9	2,12	0,0423	kg
Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	1.953	0,1%	99,5%	2142711460	50	0,035	21,3	1,74	0,0118	kg
Stahlblech, verzinkt	1.434	0,1%	99,6%	2142715683	7.800	50,000	34,5	2,42	0,0115	kg
Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m ³)	1.220	0,1%	99,6%	2142714904	100	0,038	21,3	1,74	0,0118	kg
COVERIT NOVOfan @ EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm	1.125	0,1%	99,7%	2142716922	1.200	0,170	83,8	2,60	0,0107	kg
Dampfbremse Polyethylen (PE)	956	0,1%	99,8%	2142712508	650	0,500	84,4	2,61	0,0101	kg
Baumit KlimaPutz S	898	0,1%	99,8%	2142707229	1.200	0,400	1,43	0,153	0,000348	kg
Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut	841	0,1%	99,9%	2142732716	1.150	0,170	41,6	0,822	0,00556	kg
Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m ³)	741	0,0%	99,9%	2142715090	99	0,047	25,1	1,31	0,00394	kg
Fliesen (2300 kg/m ³)	621	0,0%	100,0%	2142715204	2.300	1,300	14,2	0,841	0,00291	kg
EPDM Baufolie, Gummi	585	0,0%	100,0%	2142684397	1.200	0,170	83,8	2,60	0,0107	kg
Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm	136	0,0%	100,0%	2142684545	1	1,563	0,00	0,00	0,00	kg
AUSTROTHERM EPS T1000	76	0,0%	100,0%	2142718135	17	0,038	98,9	4,21	0,0149	kg
Airstop Diva + Dampfbremse	0	0,0%	100,0%	2142732302	300	0,220	86,0	2,84	0,00832	kg
Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0	0,0%	100,0%	2142712507	980	0,500	69,7	2,09	0,00788	kg

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



B.2 Szenario 2

OI3-Ausweis

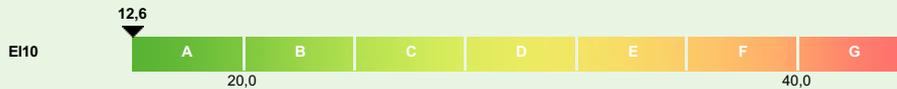
Ergebnisblatt Gebäude – Neubau

www.baubook.at/eco2soft
Ökobilanz für Gebäude

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

Gebäude gesamt

*OI3 BG2 BZF:	748 Punkte	BGF:	2.112,58 m ²
EI10:	12,56 Punkte	BZF:	2.112,58 m ²
PENRT:	9.261 MJ / m ² BZF	Katalog der Ökokennzahlen:	IBO-Richtwerte 2020
GWP-total:	370 kg CO ₂ equ. / m ² BZF	Nutzungsdauer berücksichtigt:	ja, mit ganzzahligen Austauschraten
AP:	3,04 kg SO ₂ equ. / m ² BZF	Betrachtungszeitraum:	100 Jahre
Leitfadenversion EI:	EI10-Leitfaden V2.1	Nutzungsdauerkatalog:	2018
		Neubau, Sanierung:	Neubau



* Berücksichtigung der Herstellungsphase (A1-A3) und der Verwendungsphase (B1-B4) von EN 15804

Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ **Kostenpflichtige Vollversion bestellen**

Bauteile

Menge	Bauteil	ΔOI3		PENRT MJ	GWP-total kg CO ₂ equ. pro m ² BZF	AP kg SO ₂ equ.	E _{KON} pro m ² Bt
		BG2, BZF	pro m ² Bt				
1.471,00 m ²	AW03	98	140	1.283	5	0,41	0,27
143,20 m ²	AW05	11	165	140	7	0,04	0,60
27,00 m ²	AW05a	5	359	55	3	0,02	0,42
28,30 m ²	AW05b	4	286	42	2	0,02	1,17
199,03 m ²	AW06_Fensteranteil	30	316	205	17	0,15	0,02
55,21 m ²	AW06_Pfosten-Riegel-Fassade	4	148	39	3	0,02	0,10
149,60 m ²	DE04	14	191	170	15	0,04	0,38
1.415,70 m ²	DE05	207	309	2.235	42	0,94	0,92
163,20 m ²	DE05a	26	334	286	10	0,11	0,64
288,40 m ²	DE05b	95	692	1.014	65	0,37	1,52
236,02 m ²	DE05c-d	74	659	775	53	0,29	1,47
205,85 m ²	DE05e	41	422	413	14	0,19	1,27
243,90 m ²	DE06	31	272	531	11	0,09	2,07
468,90 m ²	DE07	110	497	1.903	40	0,30	2,19
5.095,31 m ²	Summe			9.090	288	2,98	



Entsorgung

Summe (100,0% aller Materialien mit bekannter Masse berücksichtigt)

PENRT MJ	GWP-total kg CO ₂ equ. pro m ² BZF	AP kg SO ₂ equ.
171	81,8	0,0635

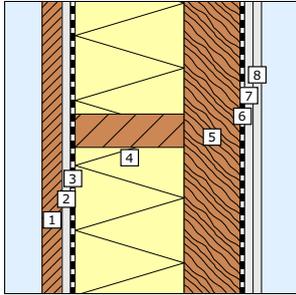
Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ **Kostenpflichtige Vollversion bestellen**

Opake und transparente Bauteile im Detail (grafische Darstellung)

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

AW03 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 140 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,27 Punkte/m²
 Masse: 137,5 kg/m²
 PENRT: 1.842 MJ/m²
 GWP-total: 7,77 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,582 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



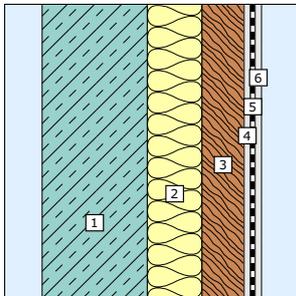
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	3,60	50	3	1	1
2 Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	1,50	50	60	¹²	¹¹
3 Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,10	35	9	¹²	¹¹
4 Inhomogen (Elemente horizontal)	19,50				
56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m ³)	19,50	50	64	¹²	¹¹
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	19,50	100	0	1	1
5 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	100	-5	1	1
6 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	¹²	¹¹
7 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
8 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
Bauteil	37,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

AW05 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 165 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,60 Punkte/m²
 Masse: 675,0 kg/m²
 PENRT: 2.062 MJ/m²
 GWP-total: 100 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,600 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



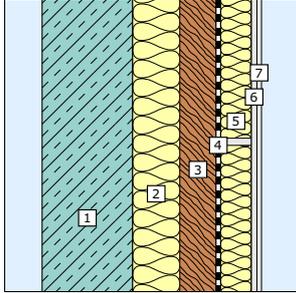
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	2	¹¹
2 Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	¹³	¹²
3 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
4 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
5 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	¹²	¹¹
6 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
Bauteil	51,00				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

AW05a (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 359 Punkte/m²
 $E_{I,KON}$: 0,42 Punkte/m²
 Masse: 712,8 kg/m²
 PENRT: 4.273 MJ/m²
 GWP-total: 252 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,31 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



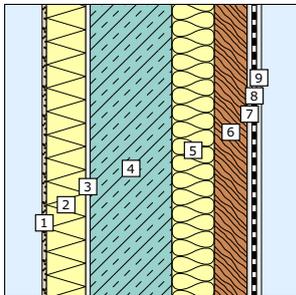
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	2	¹¹
2	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	¹²	¹¹
3	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	¹²	¹¹
5	Inhomogen (Elemente horizontal)	8,50				
	60,5 cm (97%) Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	8,50	50	21	¹²	¹¹
	2 cm (3%) Stahlblech, verzinkt	8,50	50	131	¹¹	1
6	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
7	Fliesen (2300 kg/m ³)	1,00	50	46	2	¹²
Bauteil		59,00				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

AW05b (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 286 Punkte/m²
 $E_{I,KON}$: 1,17 Punkte/m²
 Masse: 703,9 kg/m²
 PENRT: 3.105 MJ/m²
 GWP-total: 186 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,14 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



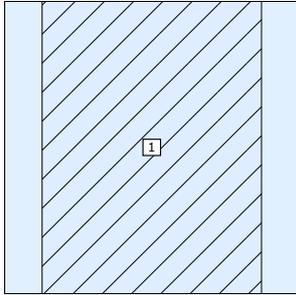
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,50	35	3	2	¹²
2	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	12,00	35	111	¹³	¹²
3	Baumit KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	¹²
4	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	2	¹¹
5	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	¹³	¹²
6	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
7	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
8	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	¹²	¹¹
9	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
Bauteil		64,00				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

AW06_Fensteranteil (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 316 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,02 Punkte/m²
 Masse: 62,5 kg/m²
 PENRT: 2.181 MJ/m²
 GWP-total: 184 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,59 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



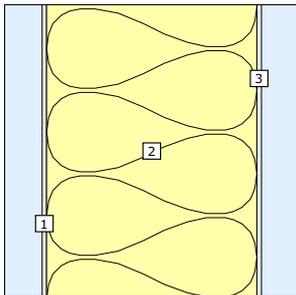
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Glas (2500 kg/m ³)	2,50	35	316	1	1 ¹
Bauteil	2,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

AW06_Pfosten-Riegel-Fassade (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 148 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,10 Punkte/m²
 Masse: 25,6 kg/m²
 PENRT: 1.503 MJ/m²
 GWP-total: 111 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,596 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



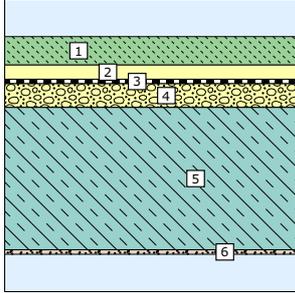
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Stahlblech, verzinkt	0,10	50	48	1 ¹	1
2 Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	20,00	50	52	1 ¹	1 ¹
3 Stahlblech, verzinkt	0,10	50	48	1 ¹	1
Bauteil	20,20				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE04 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 191 Punkte/m²
E_{kON}: 0,38 Punkte/m²
Masse: 875,5 kg/m²
PENRT: 2.407 MJ/m²
GWP-total: 213 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,566 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

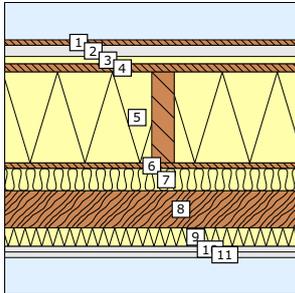
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Betonplatten	6,00	50	18	'1	'1
2	AUSTROTHERM EPS T1000	3,00	'25	12	'2	'1
3	Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,00	'25	0	'2	'1
4	Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m ³)	5,00	50	16	'3	'2
5	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	30,00	100	143	2	'1
6	Baumit KlimaPutz S	0,50	35	2	'3	'2
Bauteil		44,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE05 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 309 Punkte/m²
E_{kON}: 0,92 Punkte/m²
Masse: 183,7 kg/m²
PENRT: 3.334 MJ/m²
GWP-total: 62,9 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,41 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

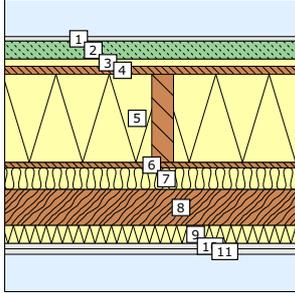
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	'1	'1
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	'2	'1
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	'3	'2
4	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	'2
5	Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	'50	120	'2	'1
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
6	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	'2
7	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	'3	'2
8	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
9	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	'3	'2
10	Gipskartonplatte - Flammenschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	'2	'1
11	Gipskartonplatte - Flammenschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	'2	'1
Bauteil		58,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE05a (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 334 Punkte/m²
 EI_{kon} : 0,64 Punkte/m²
 Masse: 263,0 kg/m²
 PENRT: 3.698 MJ/m²
 GWP-total: 124 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,43 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

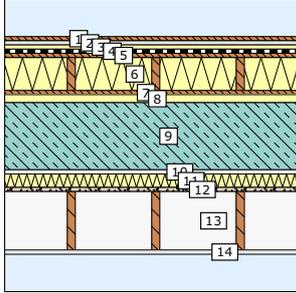
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m ³)	1,00	50	47	2	¹²
2	Baumit Estriche	5,00	50	22	¹²	¹¹
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	¹²	¹¹
4	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	¹²
5	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	¹⁵⁰	120	¹²	¹¹
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - <i>rauh, technisch getrocknet</i>	24,50	100	0	1	1
6	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	¹²
7	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	¹²	¹¹
8	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
9	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	¹²	¹¹
10	Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
11	Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	¹²	¹¹
Bauteil		60,20				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE05b (30358, BG2)



$\Sigma \Delta OI3$: 692 Punkte/m²
 EI_{KON} : 1,52 Punkte/m²
 Masse: 1374,8 kg/m²
 PENRT: 7.428 MJ/m²
 GWP-total: 479 kg CO₂ equ./m²
 AP: 2,74 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



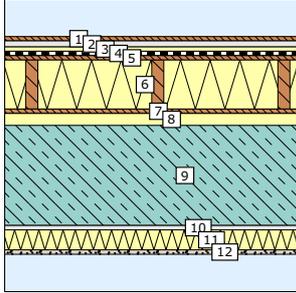
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	12	11
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	13	12
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	12	11
5	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	12
6	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i> 56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³) 6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50 24,50 24,50	35 180 100	180 0	12 1	11 1
7	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	12
8	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	13	12
9	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	100	239	2	11
10	Baunit KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	12
11	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	13	12
12	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	12
13	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i> 56,5 cm (90%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm 6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	43,50 43,50 43,50		0 4		
14	FERMACELL Powerpanel HD	1,50	50	30	12	12
Bauteil		146,90				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE05c-d (30358, BG2)



ΣΔOI3: 659 Punkte/m²
EI_{KON}: 1,47 Punkte/m²
Masse: 1339,4 kg/m²
PENRT: 6.933 MJ/m²
GWP-total: 477 kg CO₂ equ./m²
AP: 2,61 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



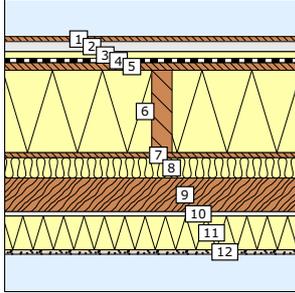
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	12	11
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	13	12
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	12	11
5	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	12
6	Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	12	11
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	12
8	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	13	12
9	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	100	239	2	11
10	Baunit KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	12
11	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	13	12
12	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	12
Bauteil		101,90				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE05e (30358, BG2)



$\Sigma\Delta\text{OI3}$: 422 Punkte/m²
 E_{kon} : 1,27 Punkte/m²
 Masse: 186,9 kg/m²
 PENRT: 4.235 MJ/m²
 GWP-total: 141 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,93 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

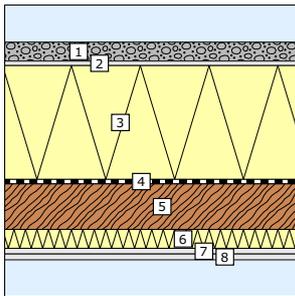
Nr. Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2 FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	12	11
3 ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	13	12
4 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	12	11
5 SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	3	12
6 Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	12	11
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7 SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	3	12
8 ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	13	12
9 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
10 Baument KlebeSpachtel	0,50	35	7	3	12
11 Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	13	12
12 RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	12
Bauteil	61,90				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE06 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta\text{OI3}$: 272 Punkte/m²
 E_{kon} : 2,07 Punkte/m²
 Masse: 185,8 kg/m²
 PENRT: 4.600 MJ/m²
 GWP-total: 93,9 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,771 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



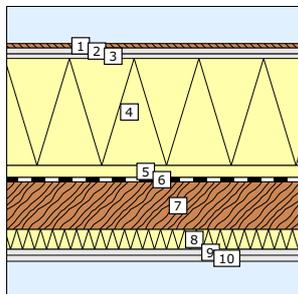
Nr. Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	5,00	50	2	11	1
2 EPDM Baufolie, Gummi	0,20	25	45	3	12
3 AUSTROTHERM EPS W25	30,00	25	165	13	12
4 Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut	0,30	25	31	3	12
5 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	12,00	100	-6	1	1
6 Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m ³)	5,00	50	26	13	12
7 Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,50	50	5	12	11
8 Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,50	50	5	12	11
Bauteil	55,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 2

DE07 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 497 Punkte/m²
EI_{KON}: 2,19 Punkte/m²
Masse: 115,6 kg/m²
PENRT: 8.575 MJ/m²
GWP-total: 179 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,36 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

U-Wert ²
 0,089 W/m²K

Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	0,00	'50	0	1	1
2	Gummigranulatmatte	1,50	'25	103	'12	'11
3	COVERiT NOVOtan ® EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm	0,20	'25	45	3	'12
4	AUSTROTHERM EPS W25	27,00	'25	149	'13	'12
5	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	3,00	'25	49	'13	'12
6	DisboPROOF 706 Bitu 1K	1,00	'25	106	3	'12
7	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	12,00	100	-6	1	1
8	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	'13	'12
9	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	'12	'11
10	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	'12	'11
Bauteil		52,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Materialliste

Material	Masse kg	Masse- anteil	Kumulierter Anteil	Baustoff-ID	Dichte kg/m ³	λ- Wert W/m ² K	PENRT MJ/FE	GWP- total kg CO ₂ equ./FE	AP kg SO ₂ equ./FE	FE
Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	856.116	52,3%	52,3%	2142717550	2.400	2,500	2,40	0,224	0,000613	kg
CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	204.706	12,5%	64,8%	2142704059	475	0,120	1,93	-1,51	0,000591	kg
Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	77.780	4,8%	69,6%	2142715609	700	0,210	3,83	0,199	0,000530	kg
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	74.036	4,5%	74,1%	2142704485	1.150	0,320	5,40	0,0845	0,00157	kg
Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	69.753	4,3%	78,4%	2142715290	475	0,120	2,52	-1,50	0,000944	kg
Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	64.452	3,9%	82,3%	2142714906	105	0,038	21,3	1,74	0,0118	kg
Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	44.130	2,7%	85,0%	2142714823	2.000	1,500	13,2	0,947	0,00300	kg
SterlingOSB/4-Zero	30.481	1,9%	86,9%	2142703697	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Massivparkett	23.820	1,5%	88,3%	2142684313	740	0,160	8,49	-1,19	0,00333	kg
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	21.951	1,3%	89,7%	2142715135	1.800	0,700	0,104	0,00708	4,83·10 ⁻⁸	kg
Betonplatten	21.542	1,3%	91,0%	2142727922	2.400	2,000	0,702	0,0926	0,000169	kg
SterlingOSB/3-Zero	20.783	1,3%	92,2%	2142703692	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m ³)	18.152	1,1%	93,4%	2142714900	70	0,037	21,3	1,74	0,0118	kg
Baumit Estriche	16.320	1,0%	94,4%	2142707274	2.000	1,400	1,34	0,151	0,000315	kg
ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	16.025	1,0%	95,3%	2142723367	105	0,033	45,7	2,42	0,0150	kg
Glas (2500 kg/m ³)	12.439	0,8%	96,1%	2142715201	2.500	1,000	11,6	0,979	0,00849	kg
Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	9.171	0,6%	96,7%	2142714907	120	0,040	21,3	1,74	0,0118	kg
RÖFIX 700 Edelputz weiss	7.880	0,5%	97,1%	2142685379	1.500	0,540	1,43	0,153	0,000348	kg
Baumit KlebeSpachtel	5.310	0,3%	97,5%	2142707285	1.400	0,800	4,18	0,335	0,000936	kg
DisboPROOF 706 Bitu 1K	5.158	0,3%	97,8%	2142701139	1.100	0,230	48,9	0,430	0,00537	kg
Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	5.122	0,3%	98,1%	2142714819	700	0,210	3,58	0,181	0,000472	kg
AUSTROTHERM EPS W25	4.595	0,3%	98,4%	2142717435	23	0,036	98,9	4,21	0,0149	kg
Gummigranulatmatte	4.501	0,3%	98,6%	2142684398	640	0,170	51,5	1,29	0,00566	kg
FERMACELL Powerpanel HD	4.326	0,3%	98,9%	2142704483	1.000	0,400	13,2	0,947	0,00300	kg
Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m ³)	4.059	0,2%	99,2%	2142738883	2.487	1,300	13,2	0,781	0,00277	kg
ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	3.279	0,2%	99,4%	2142723365	71	0,032	40,9	2,12	0,0423	kg
Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	1.953	0,1%	99,5%	2142711460	50	0,035	21,3	1,74	0,0118	kg
Stahlblech, verzinkt	1.434	0,1%	99,6%	2142715683	7.800	50,000	34,5	2,42	0,0115	kg
Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m ³)	1.220	0,1%	99,6%	2142714904	100	0,038	21,3	1,74	0,0118	kg
COVERIT NOVOfan @ EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm	1.125	0,1%	99,7%	2142716922	1.200	0,170	83,8	2,60	0,0107	kg
Dampfbremse Polyethylen (PE)	956	0,1%	99,8%	2142712508	650	0,500	84,4	2,61	0,0101	kg
Baumit KlimaPutz S	898	0,1%	99,8%	2142707229	1.200	0,400	1,43	0,153	0,000348	kg
Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut	841	0,1%	99,9%	2142732716	1.150	0,170	41,6	0,822	0,00556	kg
Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m ³)	741	0,0%	99,9%	2142715090	99	0,047	25,1	1,31	0,00394	kg
Fliesen (2300 kg/m ³)	621	0,0%	100,0%	2142715204	2.300	1,300	14,2	0,841	0,00291	kg
EPDM Baufolie, Gummi	585	0,0%	100,0%	2142684397	1.200	0,170	83,8	2,60	0,0107	kg
Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm	136	0,0%	100,0%	2142684545	1	1,563	0,00	0,00	0,00	kg
AUSTROTHERM EPS T1000	76	0,0%	100,0%	2142718135	17	0,038	98,9	4,21	0,0149	kg
Airstop Diva + Dampfbremse	0	0,0%	100,0%	2142732302	300	0,220	86,0	2,84	0,00832	kg
Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0	0,0%	100,0%	2142712507	980	0,500	69,7	2,09	0,00788	kg

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



B.3 Szenario 3

OI3-Ausweis

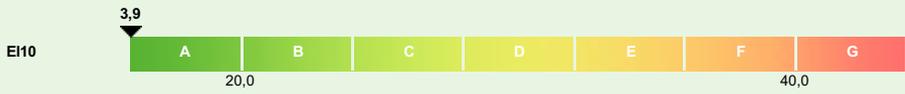
Ergebnisblatt Gebäude – Neubau

www.baubook.at/eco2soft
Ökobilanz für Gebäude

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

Gebäude gesamt

*OI3 BG2 BZF: 748 Punkte	BGF: 2.112,58 m ²
EI10: 3,87 Punkte	BZF: 2.112,58 m ²
PENRT: 9.321 MJ / m ² BZF	Katalog der Ökokennzahlen: IBO-Richtwerte 2020
GWP-total: 590 kg CO ₂ equ. / m ² BZF	Nutzungsdauer berücksichtigt: ja, mit ganzzahligen Austauschraten
AP: 3,08 kg SO ₂ equ. / m ² BZF	Betrachtungszeitraum: 100 Jahre
Leitfadenversion EI: EI10-Leitfaden V2.1	Nutzungsdauerkatalog: 2018
	Neubau, Sanierung: Neubau

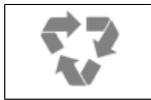


* Berücksichtigung der Herstellungsphase (A1-A3) und der Verwendungsphase (B1-B4) von EN 15804

Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

➔ **Kostenpflichtige Vollversion bestellen**

Bauteile		ΔOI3		PENRT	GWP-total	AP	E _{KON}
Menge	Bauteil	BG2, BZF	pro m ² Bt	MJ	kg CO ₂ equ.	kg SO ₂ equ.	pro m ² Bt
1.471,00 m ²	AW03	98	140	1.283	5	0,41	0,16
143,20 m ²	AW05	11	165	140	7	0,04	0,19
27,00 m ²	AW05a	5	359	55	3	0,02	0,24
28,30 m ²	AW05b	4	286	42	2	0,02	0,30
199,03 m ²	AW06_Fensteranteil	30	316	205	17	0,15	0,02
55,21 m ²	AW06_Pfosten-Riegel-Fassade	4	148	39	3	0,02	0,10
149,60 m ²	DE04	14	191	170	15	0,04	0,16
1.415,70 m ²	DE05	207	309	2.235	42	0,94	0,30
163,20 m ²	DE05a	26	334	286	10	0,11	0,31
288,40 m ²	DE05b	95	692	1.014	65	0,37	0,50
236,02 m ²	DE05c-d	74	659	775	53	0,29	0,47
205,85 m ²	DE05e	41	422	413	14	0,19	0,40
243,90 m ²	DE06	31	272	531	11	0,09	0,40
468,90 m ²	DE07	110	497	1.903	40	0,30	0,41
5.095,31 m ²	Summe			9.090	288	2,98	



Entsorgung

Summe (100,0% aller Materialien mit bekannter Masse berücksichtigt)

PENRT	GWP-total	AP
MJ	kg CO ₂ equ.	kg SO ₂ equ.
pro m ² BZF		
232	302	0,104

Test- und Studierendenversion, nicht für kommerzielle Zwecke

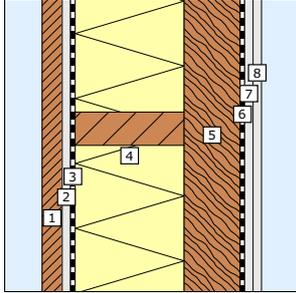
➔ **Kostenpflichtige Vollversion bestellen**

Opake und transparente Bauteile im Detail (grafische Darstellung)

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

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

AW03 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 140 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,16 Punkte/m²
 Masse: 137,5 kg/m²
 PENRT: 1.842 MJ/m²
 GWP-total: 7,77 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,582 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



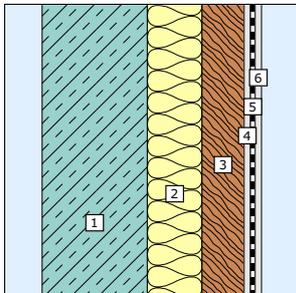
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	3,60	50	3	1	1
2 Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	1,50	50	60	1 ¹	1 ¹
3 Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,10	35	9	1 ¹	1 ¹
4 Inhomogen (Elemente horizontal)	19,50				
56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m ³)	19,50	50	64	1 ¹	1 ¹
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	19,50	100	0	1	1
5 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	100	-5	1	1
6 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	1 ¹	1 ¹
7 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	1 ¹	1 ¹
8 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	1 ¹	1 ¹
Bauteil	37,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

AW05 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 165 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,19 Punkte/m²
 Masse: 675,0 kg/m²
 PENRT: 2.062 MJ/m²
 GWP-total: 100 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,600 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



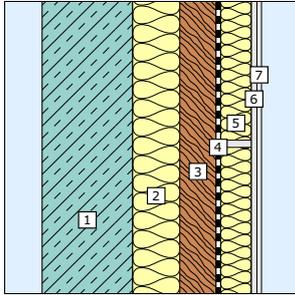
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	1 ¹	1 ¹
2 Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	1 ¹	1 ¹
3 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
4 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	1 ¹	1 ¹
5 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	1 ¹	1 ¹
6 Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	1 ¹	1 ¹
Bauteil	51,00				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

AW05a (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 359 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,24 Punkte/m²
Masse: 712,8 kg/m²
PENRT: 4.273 MJ/m²
GWP-total: 252 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,31 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



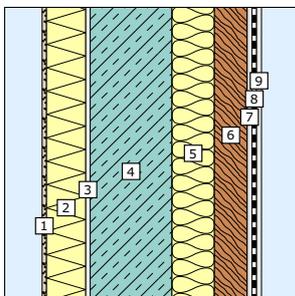
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	11	11
2	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	11	11
3	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	11	11
5	Inhomogen (Elemente horizontal) 60,5 cm (97%) Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix 2 cm (3%) Stahlblech, verzinkt	8,50 8,50 8,50	50 50	21 131	11 11	11 1
6	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
7	Fliesen (2300 kg/m ³)	1,00	50	46	2	11
Bauteil		59,00				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

AW05b (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 286 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,30 Punkte/m²
Masse: 703,9 kg/m²
PENRT: 3.105 MJ/m²
GWP-total: 186 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,14 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



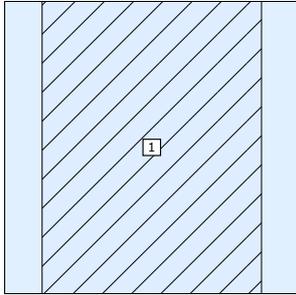
Nr.	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,50	35	3	2	11
2	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	12,00	35	111	11	11
3	Baumit KlebeSpachtel	0,50	35	7	12	11
4	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	25,00	100	120	11	11
5	Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	13,00	50	33	11	11
6	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
7	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
8	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	11	11
9	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
Bauteil		64,00				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

AW06_Fensteranteil (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 316 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,02 Punkte/m²
Masse: 62,5 kg/m²
PENRT: 2.181 MJ/m²
GWP-total: 184 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,59 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



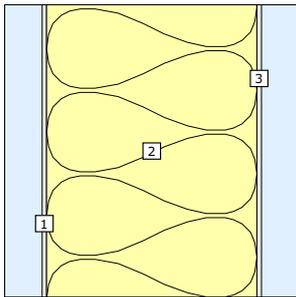
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Glas (2500 kg/m ³)	2,50	35	316	1	1 ¹
Bauteil	2,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

AW06_Pfosten-Riegel-Fassade (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 148 Punkte/m²
 E_{kon} : 0,10 Punkte/m²
Masse: 25,6 kg/m²
PENRT: 1.503 MJ/m²
GWP-total: 111 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,596 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



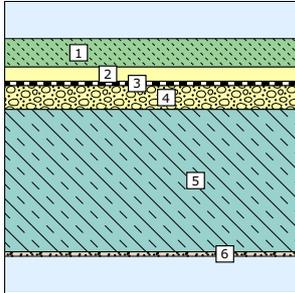
Nr. Schicht (von innen nach aussen)	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Stahlblech, verzinkt	0,10	50	48	1 ¹	1
2 Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	20,00	50	52	1 ¹	1 ¹
3 Stahlblech, verzinkt	0,10	50	48	1 ¹	1
Bauteil	20,20				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE04 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 191 Punkte/m²
El_{KON}: 0,16 Punkte/m²
Masse: 875,5 kg/m²
PENRT: 2.407 MJ/m²
GWP-total: 213 kg CO₂ equ./m²
AP: 0,566 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

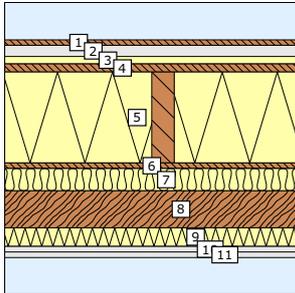
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Betonplatten	6,00	50	18	11	11
2	AUSTROTHERM EPS T1000	3,00	25	12	11	11
3	Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0,00	25	0	11	11
4	Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m ³)	5,00	50	16	12	11
5	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	30,00	100	143	11	11
6	Baumit KlimaPutz S	0,50	35	2	2	11
Bauteil		44,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE05 (30358, BG2)



ΣΔOI3: 309 Punkte/m²
El_{KON}: 0,30 Punkte/m²
Masse: 183,7 kg/m²
PENRT: 3.334 MJ/m²
GWP-total: 62,9 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,41 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

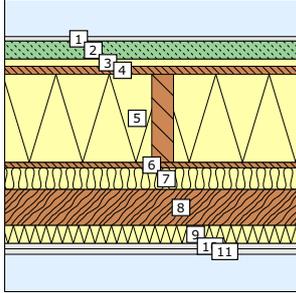
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	11	11
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	11	11
4	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	11	11
5	Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	50	120	11	11
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
6	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	11	11
7	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	11	11
8	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
9	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	11	11
10	Gipskartonplatte - Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
11	Gipskartonplatte - Flammenschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
Bauteil		58,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE05a (30358, BG2)



ΣΔOI3: 334 Punkte/m²
E_{KON}: 0,31 Punkte/m²
Masse: 263,0 kg/m²
PENRT: 3.698 MJ/m²
GWP-total: 124 kg CO₂ equ./m²
AP: 1,43 kg SO₂ equ./m²
Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

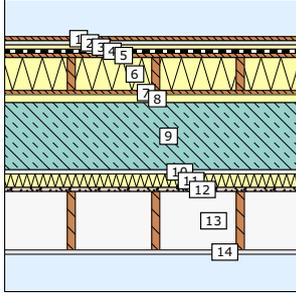
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m ³)	1,00	50	47	2	11
2	Baumit Estriche	5,00	50	22	11	11
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	11	11
4	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	11	11
5	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	150	120	11	11
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - <i>rauh, technisch getrocknet</i>	24,50	100	0	1	1
6	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	11	11
7	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	11	11
8	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
9	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	11	11
10	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
11	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
Bauteil		60,20				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE05b (30358, BG2)



$\Sigma\Delta\text{OI3}$: 692 Punkte/m²
 EI_{kon} : 0,50 Punkte/m²
 Masse: 1374,8 kg/m²
 PENRT: 7.428 MJ/m²
 GWP-total: 479 kg CO₂ equ./m²
 AP: 2,74 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



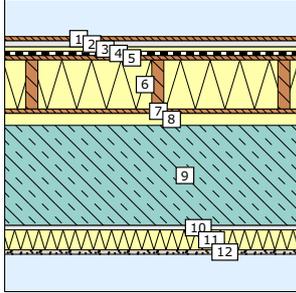
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	ΔOI3 Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	11	11
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	11	11
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	11	11
5	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	11	11
6	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	24,50				
	56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	11	11
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	11	11
8	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	11	11
9	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	100	239	11	11
10	Baunit KlebeSpachtel	0,50	35	7	12	11
11	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	11	11
12	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	11
13	<i>Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)</i>	43,50				
	56,5 cm (90%) Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm	43,50		0		
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	43,50	50	4	1	1
14	FERMACELL Powerpanel HD	1,50	50	30	11	11
Bauteil		146,90				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE05c-d (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 659 Punkte/m²
 EI_{KON} : 0,47 Punkte/m²
 Masse: 1339,4 kg/m²
 PENRT: 6.933 MJ/m²
 GWP-total: 477 kg CO₂ equ./m²
 AP: 2,61 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



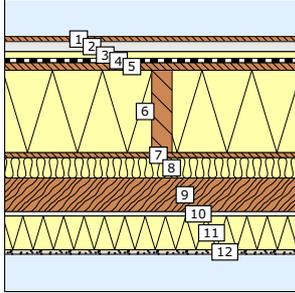
Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2	FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	11	11
3	ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	11	11
4	Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	11	11
5	SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	11	11
6	Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe) 56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³) 6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50 24,50 24,50	35	180	11 1 1	11 1 1
7	SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	11	11
8	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	11	11
9	Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	50,00	100	239	11	11
10	Baunit KlebeSpachtel	0,50	35	7	12	11
11	Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	11	11
12	RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	11
Bauteil		101,90				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE05e (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 422 Punkte/m²
 E_{kON} : 0,40 Punkte/m²
 Masse: 186,9 kg/m²
 PENRT: 4.235 MJ/m²
 GWP-total: 141 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,93 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten

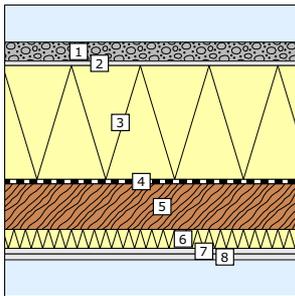
Nr. Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Massivparkett	1,50	50	15	11	11
2 FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	3,00	50	29	11	11
3 ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	2,00	50	21	11	11
4 Airstop Diva + Dampfbremse	0,00	25	0	11	11
5 SterlingOSB/4-Zero	2,20	50	13	11	11
6 Inhomogen (Elemente quer bzw. parallel zur Traufe)	24,50				
56,5 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	24,50	35	180	11	11
6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	24,50	100	0	1	1
7 SterlingOSB/3-Zero	1,50	50	9	11	11
8 ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	6,00	50	49	11	11
9 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	10,00	50	3	1	1
10 Baument KlebeSpachtel	0,50	35	7	12	11
11 Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	10,00	35	93	11	11
12 RÖFIX 700 Edelputz weiss	0,70	35	4	2	11
Bauteil	61,90				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE06 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 272 Punkte/m²
 E_{kON} : 0,40 Punkte/m²
 Masse: 185,8 kg/m²
 PENRT: 4.600 MJ/m²
 GWP-total: 93,9 kg CO₂ equ./m²
 AP: 0,771 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



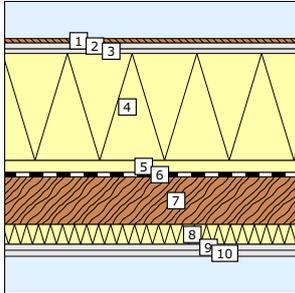
Nr. Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1 Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	5,00	50	2	11	1
2 EPDM Baufolie, Gummi	0,20	25	45	11	11
3 AUSTROTHERM EPS W25	30,00	25	165	11	11
4 Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut	0,30	25	31	11	11
5 CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	12,00	100	-6	1	1
6 Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m ³)	5,00	50	26	11	11
7 Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
8 Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	1,50	50	5	11	11
Bauteil	55,50				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Projektname: Fallstudie DA-Szenario 3

DE07 (30358, BG2)



$\Sigma\Delta OI3$: 497 Punkte/m²
 EI_{KON} : 0,41 Punkte/m²
 Masse: 115,6 kg/m²
 PENRT: 8.575 MJ/m²
 GWP-total: 179 kg CO₂ equ./m²
 AP: 1,36 kg SO₂ equ./m²
 Nutzungsdauer: ja, mit ganzzahligen Austauschraten



Nr.	Schicht	d cm	Nutzungs- dauer / Jahre	$\Delta OI3$ Pkt/m ²	Entsorgungs- einstufung	Verwertungs- potenzial
1	Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet	0,00	'50	0	1	1
2	Gummigranulatmatte	1,50	'25	103	11	11
3	COVERiT NOVOtan ® EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm	0,20	'25	45	11	11
4	AUSTROTHERM EPS W25	27,00	'25	149	11	11
5	ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	3,00	'25	49	11	11
6	DisboPROOF 706 Bitu 1K	1,00	'25	106	11	11
7	CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	12,00	100	-6	1	1
8	Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	5,00	35	41	11	11
9	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	11	11
10	Gipskartonplatte – Flammschutz (700kg/m ²)	1,50	50	5	11	11
Bauteil		52,70				

¹ abweichend vom Nutzungsdauer-Katalog ² U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946.

03. 02. 2024, Laura Ding

Materialliste

Material	Masse kg	Masse- anteil	Kumulierter Anteil	Baustoff-ID	Dichte kg/m ³	λ- Wert W/m ² K	PENRT MJ/FE	GWP- total kg CO ₂ equ./FE	AP kg SO ₂ equ./FE	FE
Stahlbeton 160 kg/m ³ Armierungsstahl (2 Vol.%)	856.116	52,3%	52,3%	2142717550	2.400	2,500	2,40	0,224	0,000613	kg
CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso	204.706	12,5%	64,8%	2142704059	475	0,120	1,93	-1,51	0,000591	kg
Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m ³)	77.780	4,8%	69,6%	2142715609	700	0,210	3,83	0,199	0,000530	kg
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente	74.036	4,5%	74,1%	2142704485	1.150	0,320	5,40	0,0845	0,00157	kg
Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet	69.753	4,3%	78,4%	2142715290	475	0,120	2,52	-1,50	0,000944	kg
Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m ³)	64.452	3,9%	82,3%	2142714906	105	0,038	21,3	1,74	0,0118	kg
Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	44.130	2,7%	85,0%	2142714823	2.000	1,500	13,2	0,947	0,00300	kg
SterlingOSB/4-Zero	30.481	1,9%	86,9%	2142703697	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Massivparkett	23.820	1,5%	88,3%	2142684313	740	0,160	8,49	-1,19	0,00333	kg
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m ³)	21.951	1,3%	89,7%	2142715135	1.800	0,700	0,104	0,00708	4,83·10 ⁻⁸	kg
Betonplatten	21.542	1,3%	91,0%	2142727922	2.400	2,000	0,702	0,0926	0,000169	kg
SterlingOSB/3-Zero	20.783	1,3%	92,2%	2142703692	600	0,130	8,56	-1,15	0,00210	kg
Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m ³)	18.152	1,1%	93,4%	2142714900	70	0,037	21,3	1,74	0,0118	kg
Baumit Estriche	16.320	1,0%	94,4%	2142707274	2.000	1,400	1,34	0,151	0,000315	kg
ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT	16.025	1,0%	95,3%	2142723367	105	0,033	45,7	2,42	0,0150	kg
Glas (2500 kg/m ³)	12.439	0,8%	96,1%	2142715201	2.500	1,000	11,6	0,979	0,00849	kg
Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m ³)	9.171	0,6%	96,7%	2142714907	120	0,040	21,3	1,74	0,0118	kg
RÖFIX 700 Edelputz weiss	7.880	0,5%	97,1%	2142685379	1.500	0,540	1,43	0,153	0,000348	kg
Baumit KlebeSpachtel	5.310	0,3%	97,5%	2142707285	1.400	0,800	4,18	0,335	0,000936	kg
DisboPROOF 706 Bitu 1K	5.158	0,3%	97,8%	2142701139	1.100	0,230	48,9	0,430	0,00537	kg
Gipskartonplatte (700 kg/m ³)	5.122	0,3%	98,1%	2142714819	700	0,210	3,58	0,181	0,000472	kg
AUSTROTHERM EPS W25	4.595	0,3%	98,4%	2142717435	23	0,036	98,9	4,21	0,0149	kg
Gummigranulatmatte	4.501	0,3%	98,6%	2142684398	640	0,170	51,5	1,29	0,00566	kg
FERMACELL Powerpanel HD	4.326	0,3%	98,9%	2142704483	1.000	0,400	13,2	0,947	0,00300	kg
Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m ³)	4.059	0,2%	99,2%	2142738883	2.487	1,300	13,2	0,781	0,00277	kg
ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS	3.279	0,2%	99,4%	2142723365	71	0,032	40,9	2,12	0,0423	kg
Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix	1.953	0,1%	99,5%	2142711460	50	0,035	21,3	1,74	0,0118	kg
Stahlblech, verzinkt	1.434	0,1%	99,6%	2142715683	7.800	50,000	34,5	2,42	0,0115	kg
Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m ³)	1.220	0,1%	99,6%	2142714904	100	0,038	21,3	1,74	0,0118	kg
COVERIT NOVOfan @ EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm	1.125	0,1%	99,7%	2142716922	1.200	0,170	83,8	2,60	0,0107	kg
Dampfbremse Polyethylen (PE)	956	0,1%	99,8%	2142712508	650	0,500	84,4	2,61	0,0101	kg
Baumit KlimaPutz S	898	0,1%	99,8%	2142707229	1.200	0,400	1,43	0,153	0,000348	kg
Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut	841	0,1%	99,9%	2142732716	1.150	0,170	41,6	0,822	0,00556	kg
Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m ³)	741	0,0%	99,9%	2142715090	99	0,047	25,1	1,31	0,00394	kg
Fliesen (2300 kg/m ³)	621	0,0%	100,0%	2142715204	2.300	1,300	14,2	0,841	0,00291	kg
EPDM Baufolie, Gummi	585	0,0%	100,0%	2142684397	1.200	0,170	83,8	2,60	0,0107	kg
Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm	136	0,0%	100,0%	2142684545	1	1,563	0,00	0,00	0,00	kg
AUSTROTHERM EPS T1000	76	0,0%	100,0%	2142718135	17	0,038	98,9	4,21	0,0149	kg
Airstop Diva + Dampfbremse	0	0,0%	100,0%	2142732302	300	0,220	86,0	2,84	0,00832	kg
Dichtungsbahn Polyethylen (PE)	0	0,0%	100,0%	2142712507	980	0,500	69,7	2,09	0,00788	kg

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



B.4 Entsorgungseinstufungen eco2soft-Tool

B.4.1 Szenario 1

Material/Komponente	Masse [kg]	Masseanteil	Kumulierter Anteil	Entsorgung
Stahlbeton 160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%) Verwendet in: 6 opaken Bauteilen	856.116	52,3%	52,3%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso Verwendet in: 3 opaken Bauteilen	204.706	12,5%	64,8%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Gipskartonplatte - Flammenschutz (700kg/m³) Verwendet in: 13 opaken Bauteilen	77.780	4,8%	69,6%	Entsorgung, Gips auf Deponie
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	74.036	4,5%	74,1%	Entsorgung, Gips auf Deponie
Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet Verwendet in: 9 opaken Bauteilen	69.753	4,3%	78,4%	Entsorgung, Holz zu Recycling (nicht für EN 15804 anwendbar)
Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m³) Verwendet in: 3 opaken Bauteilen	64.452	3,9%	82,3%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Faserzementplatten (2000 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	44.130	2,7%	85,0%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
SterlingOSB/4-Zero Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	30.481	1,9%	86,9%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Hassivparkett Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	23.820	1,5%	88,3%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	21.951	1,3%	89,7%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
Betonplatten Verwendet in: 1 opaken Bauteil	21.542	1,3%	91,0%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling (Voreinstellung)
SterlingOSB/3-Zero Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	20.783	1,3%	92,2%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	18.152	1,1%	93,4%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
Baumit Estriche Verwendet in: 1 opaken Bauteil	16.320	1,0%	94,4%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT Verwendet in: 6 opaken Bauteilen	16.025	1,0%	95,3%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
Glas (2500 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	12.439	0,8%	96,1%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m³) Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	9.171	0,6%	96,7%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
RÖFIX 700 Edelputz weiss Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	7.880	0,5%	97,1%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Baumit Klebspachtel Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	5.310	0,3%	97,5%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
DisboPROOF 706 Bitu 1K Verwendet in: 1 opaken Bauteil	5.158	0,3%	97,8%	Entsorgung, Bitumenbahn in MVA
Gipskartonplatte (700 kg/m³) Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	5.122	0,3%	98,1%	Entsorgung, Gips auf Deponie
AUSTROTHERM EPS W25 Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	4.595	0,3%	98,4%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Gummigranulatmatte Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.501	0,3%	98,6%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
FERMACELL Powerpanel HD Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.326	0,3%	98,9%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.059	0,2%	99,2%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	3.279	0,2%	99,4%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	1.953	0,1%	99,5%	Das Material/Komponente kommt in verschiedenen Bauteilen vor. übernehmen lassen. <input type="checkbox"/> übernehmen
Stahlblech, verzinkt Verwendet in: 3 opaken Bauteilen	1.434	0,1%	99,6%	Entsorgung, Metall direkt zu Recycling oder Deponie
Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	1.220	0,1%	99,6%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
COVERIT NOWotan © EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm Verwendet in: 1 opaken Bauteil	1.125	0,1%	99,7%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Dampfbremse Polyethylen (PE) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	956	0,1%	99,8%	Entsorgung, Polyethylen in MVA
Baumit KlimaPutz S Verwendet in: 1 opaken Bauteil	898	0,1%	99,8%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinstreut Verwendet in: 1 opaken Bauteil	841	0,1%	99,9%	Entsorgung, Bitumenbahn in MVA
Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	741	0,0%	99,9%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Fliesen (2300 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	621	0,0%	100,0%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
EPDM Baufolie, Gummi Verwendet in: 1 opaken Bauteil	585	0,0%	100,0%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm Verwendet in: 1 opaken Bauteil	136	0,0%	100,0%	keine Entsorgung wählbar
AUSTROTHERM EPS T1000 Verwendet in: 1 opaken Bauteil	76	0,0%	100,0%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Summe	1.636.473	100,0%		

B.4.2 Szenario 2 und 3

Material/Komponente	Masse [kg]	Masse-anteil	Kumulierter Anteil	Entsorgung
Stahlbeton 160 kg/m³ Armierungsstahl (2 Vol.%) Verwendet in: 6 opaken Bauteilen	856.116	52,3%	52,3%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
CLT (Cross Laminated Timber) by Stora Enso Verwendet in: 9 opaken Bauteilen	204.706	12,5%	64,8%	Das Material/Komponente kommt in verschiedenen Bauteilen vor, und zuerst gelöscht werden: <input type="checkbox"/> Löschen
Gipskartonplatte – Flammenschutz (700kg/m³) Verwendet in: 13 opaken Bauteilen	77.780	4,8%	69,6%	Entsorgung, Gips auf Deponie
FERMACELL Gipsfaser Estrich-Elemente Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	74.036	4,5%	74,1%	Entsorgung, Gips auf Deponie
Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - roh, technisch getrocknet Verwendet in: 9 opaken Bauteilen	69.753	4,3%	78,4%	Entsorgung, Holz zu Recycling (nicht für EN 15804 anwendbar)
Steinwolle MW(SW)-PT 5 (105 kg/m³) Verwendet in: 8 opaken Bauteilen	64.452	3,9%	82,3%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Faserzementplatten (2000 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	44.130	2,7%	85,0%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
SterlingOSB/4-Zero Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	30.481	1,9%	86,9%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Massivparkett Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	23.820	1,5%	88,3%	Entsorgung, Holz zu Recycling (nicht für EN 15804 anwendbar)
Schüttungen aus Sand, Kies, Splitt (1800 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	21.951	1,3%	89,7%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
Betonplatten Verwendet in: 1 opaken Bauteil	21.542	1,3%	91,0%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling (Voreinstellung)
SterlingOSB/3-Zero Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	20.783	1,3%	92,2%	Entsorgung, Holz in MVA (Voreinstellung)
Steinwolle MW(SW)-WF (70 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	18.152	1,1%	93,4%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
Baumit Estriche Verwendet in: 1 opaken Bauteil	16.320	1,0%	94,4%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
ISOVER Trittschall-Dämmplatte T TDPT Verwendet in: 6 opaken Bauteilen	16.025	1,0%	95,3%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
Glas (2500 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	12.439	0,8%	96,1%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
Steinwolle MW(SW)-PT 10 (120 kg/m³) Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	9.171	0,6%	96,7%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
RÖFIX 700 Edelputz weiss Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	7.880	0,5%	97,1%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Baumit Klebspachtel Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	5.310	0,3%	97,5%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
DisboPROOF 706 Bitu 1K Verwendet in: 1 opaken Bauteil	5.158	0,3%	97,8%	Entsorgung, Bitumenbahn in MVA
Gipskartonplatte (700 kg/m³) Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	5.122	0,3%	98,1%	Entsorgung, Gips auf Deponie
AUSTROTHERM EPS W25 Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	4.595	0,3%	98,4%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Gummigranulatmatte Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.501	0,3%	98,6%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
FERMACELL Powerpanel HD Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.326	0,3%	98,9%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Keramische Fliesen und Platten (2487 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.059	0,2%	99,2%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
ISOVER Trittschall-Dämmplatte S TDPS Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	3.279	0,2%	99,4%	Das Material/Komponente kommt in verschiedenen Bauteilen vor, zuerst gelöscht werden: <input type="checkbox"/> Löschen
Sto-Steinwolleplatte 035 VHF Fix Verwendet in: 5 opaken Bauteilen	1.953	0,1%	99,5%	Das Material/Komponente kommt in verschiedenen Bauteilen vor, zuerst gelöscht werden: <input type="checkbox"/> Löschen
Stahlblech, verzinkt Verwendet in: 3 opaken Bauteilen	1.434	0,1%	99,6%	Entsorgung, Metall direkt zu Recycling oder Deponie
Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	1.220	0,1%	99,6%	Entsorgung, mineral. Baustoff zu Recycling
COVERIT NOVOTan @ EPDM DA-K Rollenware 1,3/1,5 mm Verwendet in: 1 opaken Bauteil	1.125	0,1%	99,7%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Dampfbremse Polyethylen (PE) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	956	0,1%	99,8%	Entsorgung, Polyethylen in MVA
Baumit KlimaPutz S Verwendet in: 1 opaken Bauteil	898	0,1%	99,8%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie
Bauder Elastomerbitumenbahn E-KV-5 feinbestreut Verwendet in: 1 opaken Bauteil	841	0,1%	99,9%	Entsorgung, Bitumenbahn in MVA
Zementgebundenes EPS-Granulat (99 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	741	0,0%	99,9%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Fliesen (2300 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	621	0,0%	100,0%	Entsorgung, Baurestmassen auf Deponie (Voreinstellung)
EPDM Baufolie, Gummi Verwendet in: 1 opaken Bauteil	585	0,0%	100,0%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Luftschicht stehend, Wärmefluss nach oben d > 200 mm Verwendet in: 1 opaken Bauteil	136	0,0%	100,0%	keine Entsorgung wählbar
AUSTROTHERM EPS T1000 Verwendet in: 1 opaken Bauteil	76	0,0%	100,0%	Entsorgung, Polystyrol in MVA
Summe	1.636.473	100,0%		

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

Anhang C

Ergebnisse Level(s)

C.1 Indikator 2.1

Bill of quantities organised by the main building parts and elements <i>Fictive entries have been added below for illustration purposes, please delete any information in the green or yellow cells before starting</i>					Building floor area (m2)		2112,58
Tier 1 building element	Tier 2 building element	Tier 3 building element	Optional further description of the product/material being purchased	TOTAL (kg)	Cost €/unit	Cost €/kg	TOTAL cost €
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Concrete Walls	119100,00		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Insulation concrete walls (inside)	1290,25		0,0	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation concrete walls (outside)	407,52		0,0	0
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Wood structure walls	13625,14		0,0	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation wooden wallstructure	18071,24		0,0	0
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	CLT-elements walls	79301,25		0,0	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Wooden facade	25154,10		0,0	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	mullion and transom façade	861,28		0,0	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation mullion and transom façade	552,10		0,0	0
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Concrete Ceiling	489996,00		0,0	0
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Wood structure ceilings	41570,55		0,0	0
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	CLT-Elements ceiling	84775,63		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation wooden ceiling structure	53315,27		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	External insulation	6293,04		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Sound insulation	17790,96		0,0	0
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	OSB elements	46693,70		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	cementitious EPS-fill	740,52		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS	76,30		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	plaster board	78125,39		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	plaster/adhesive filler	10485,30		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	screed	16320,00		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	gypsum-screed-elements	66934,14		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Wooden floor	21535,33		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Concrete Tiles	10771,20		0,0	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	wind brake	0,00		#DIV/0!	0
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Facade plate (fibre cement board)	48456,00		0,0	0
Shell	Roof	Structure	CLT-elements roof	40629,60		0,0	0
Shell	Roof	Weatherproofing	Bitumen	7962,75		0,0	0
Shell	Roof	Weatherproofing	EPDM	1710,72		0,0	0
Shell	Roof	Weatherproofing	EPS-Insulation	4594,78		0,0	0
Shell	Roof	Weatherproofing	rubber granulate mat	4501,44		0,0	0
Shell	Roof	Weatherproofing	Wooden floor terrace	4454,55		0,0	0
Shell	Roof	Weatherproofing	gravel	21951,00		0,0	0
Shell	Facades	Façade openings (including windows and external doors)	glass	12439,375		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation (inside)	11853,23		0,0	0
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	ceramic tiles	4248,05		0,0	0

Assumed building life (yrs)	50	Rounded up requirement factor over building factor	Weight of materials needed over lifetime	Simplified like for like cost of materials needed over lifetime	Automatically calculated Bill of Quantit				
					Assumed lifetime of product/material (years)	Normalised requirement factor over building lifetime	Concrete, brick, tile, ceramic etc.	Wood	Glass
60	0,833333333	1	119100	0	113145	0	0	0	0
30	1,666666667	2	2580,5	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	815,04	0	0	0	0	0	0
60	0,833333333	1	13625,1375	0	0	13625,14	0	0	0
30	1,666666667	2	36142,47	0	0	0	0	0	0
60	0,833333333	1	79301,25	0	0	79301,25	0	0	0
30	1,666666667	2	50308,2	0	0	25154,1	0	0	0
35	1,428571429	2	1722,552	0	0	0	0	0	0
35	1,428571429	2	1104,2	0	0	0	0	0	0
60	0,833333333	1	489996	0	465496,2	0	0	0	0
60	0,833333333	1	41570,5465	0	0	41570,55	0	0	0
60	0,833333333	1	84775,625	0	0	84775,63	0	0	0
30	1,666666667	2	106630,5366	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	12586,08	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	35581,9228	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	93387,408	0	0	46693,7	0	0	0
30	1,666666667	2	1481,04	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	152,592	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	156250,776	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	20970,6	0	10485,3	0	0	0	0
30	1,666666667	2	32640	0	16320	0	0	0	0
30	1,666666667	2	133868,28	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	43070,664	0	0	21535,33	0	0	0
30	1,666666667	2	21542,4	0	10771,2	0	0	0	0
30	1,666666667	2	0	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	96912	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	81259,2	0	0	40629,6	0	0	0
30	1,666666667	2	15925,5	0	0	0	0	0	7962,75
30	1,666666667	2	3421,44	0	0	0	0	1710,72	0
30	1,666666667	2	9189,558	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	9002,88	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	8909,1	0	0	4454,55	0	0	0
30	1,666666667	2	43902	0	21951	0	0	0	0
35	1,428571429	2	24878,75	0	0	0	12439,38	0	0
30	1,666666667	2	23706,45	0	0	0	0	0	0
30	1,666666667	2	8496,108	0	4248,054	0	0	0	0

ies / Materials (in kg) (for construction)				
Metals	Insulation materials	Gypsum	Mixed	Electrical and Electronic Equipment
5955	0	0	0	0
0	1290,25	0	0	0
0	407,52	0	0	0
0	0	0	0	0
0	18071,235	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
861,276	0	0	0	0
0	552,1	0	0	0
24499,8	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	53315,2683	0	0	0
0	6293,04	0	0	0
0	17790,9614	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	740,52	0
0	76,296	0	0	0
0	0	78125,388	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	66934,14	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	48456	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	4594,779	0	0	0
0	0	0	4501,44	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	11853,225	0	0	0
0	0	0	0	0

Bill of Quantities/ Materials (for construction)							
Breakdown by material type			Building floor area (m ²)	2112,58	Totals check (should =0)	0	
			Breakdown by building aspect				
	Material total (t)	Material total (%)	Shell	Core	External	Total	Units
Combined total	1366,59	100,0%	1066,808708	299,779	0	1366,588	tonnes
Concrete, brick, tile, natural stone, ceramic	642,42	47,0%	78,1%	21,9%	0,0%	100,0%	mass %
Wood	357,74	26,2%	0	0	0	0	000 €
Glass	12,44	0,9%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	€ %
Plastic	1,71	0,1%	Normalised cost (€/m ²)		Normalised cost (€/t)		
Bituminous mixtures	7,96	0,6%	0,0		0,0		
Metals	31,32	2,3%	Normalised mass (kg/m ²)				
Insulation materials	114,24	8,4%	647				
Gypsum	145,06	10,6%					
Mixed	53,70	3,9%					
Electrical and Electronic Equipment	0	0,0%					

Bill of Quantities/ Materials (for lifetime)							
Breakdown by material type			Building floor area (m ²)	2112,58	Totals check (should =0)	0	
			Breakdown by building aspect				
	Material total (t)	Material total (%)	Shell	Core	External	Total	Units
Combined total	1904,81	100,0%	1305,248857	599,558	0	1904,807	tonnes
Concrete, brick, tile, natural stone,	706,19	37,1%	68,5%	31,5%	0,0%	100,0%	mass %
Wood	496,21	26,1%	0	0	0	0	000 €
Glass	24,88	1,3%	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	€ %
Plastic	3,42	0,2%	Normalised cost (€/m ²)		Normalised cost (€/t)		
Bituminous mixtures	15,93	0,8%	0,0		0,0		
Metals	32,18	1,7%	Normalised mass (kg/m ²)				
Insulation materials	228,49	12,0%	902				
Gypsum	290,12	15,2%					
Mixed	107,40	5,6%					
Electrical and Electronic Equipment	0	0,0%					

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

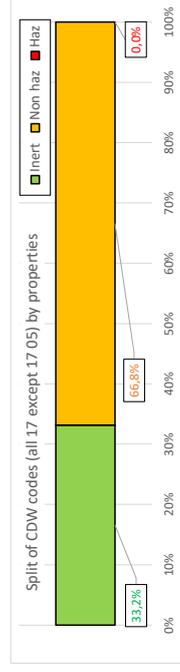
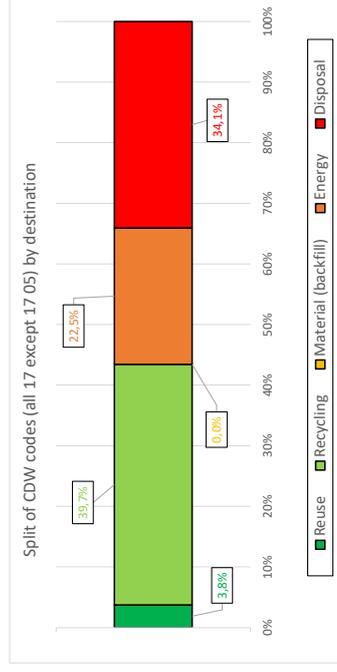


2.3. LEVEL 3 (measure): CDW produced from any construction, demolition or renovation activities: DATA OUTPUT																
Sum of sub-chapters																
	Reuse	Recycling	Recovery	Disposal	of which:	Total (kg)	Concrete, brick, tile, ceramic	Wood	Glass	Plastic	Haz. wood, glass, plastic	Bituminous mixtures	Metals	Insulation materials	Gypsum	Mixed
	71608	755736	0	428395		1904807	43902	0	24878,8	0	0	0	1722,55	1104,2	0	0
	3,8%	39,7%	0,0%	22,5%			619777,308	105504	0	0	0	0	30454,8	0	0	0
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
							0	390703	0	3421,44	0	15925,5	0	9342,15	0	9002,88
							42513	0	0	0	0	0	0	218042,999	290119,056	98393,04
							20970,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
							21542,4	0	0	0	0	0	0	218042,9994	290119,056	98393,04
							0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (kg)	1904807	100,0%					706192,308	496207	24878,8	3421,44	0	15925,5	32177,4	228489,349	290119,056	107395,9
Building GFA (m ²)																
Normalised CDW (kg/m ²)																

Nature of CDW	Landfill unit cost €/t		Total landfill cost (€)
	Mass (kg)	CDW share	
Inert	632252	33,2%	9484
Non haz	1272555	66,8%	114530
Haz	0	0,0%	0
Total	1904806,806	100,0%	124014

WEEE	Mass (kg)	Fraction
Total generated	0,0	#DIV/0!
Reused/reurbished	0,0	#DIV/0!
Sent to WEEE facility	0,0	#DIV/0!

Excavation waste (EW)	Mass (kg)	Mass (%)	Fraction
Total generated	0	0	#DIV/0!
Of which non-haz	0	0	#DIV/0!
Of which hazardous	0	0	#DIV/0!
Total kept onsite	0	0	#DIV/0!

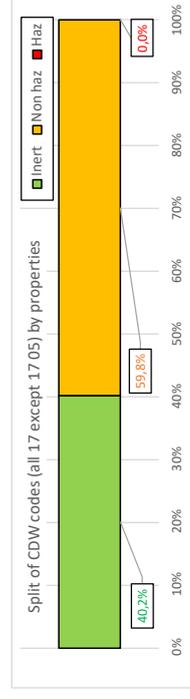
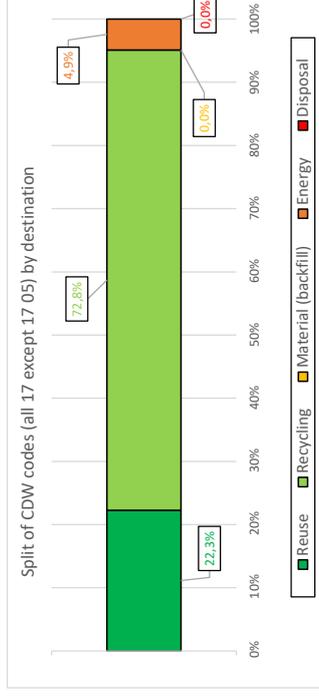


2.3. LEVEL 3 (measure): CDW produced from any construction, demolition or renovation activities: DATA OUTPUT												
Specific sub-chapters of CDW to be reported on												
	Sum of sub-chapters		Concrete, brick, tile, ceramic	Wood	Glass	Plastic	Haz. wood, glass, plastic	Bituminous mixtures	Metals	Insulation materials	Gypsum	Mixed
	Mass (kg)	Fraction										
Reuse	424119	22,3%	43902	352512	24878,8	0	0	1722,55	0	1104,2	0	0
Recycling	1387300	72,8%	662290,308	50308,2	0	3421,44	0	15925,5	30454,8	227385,149	290119,06	107395,9
Recovery	0	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Material (backfill)	93387	4,9%	0	93387,4	0	0	0	0	0	0	0	0
Energy	0	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposal	0	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
of which:	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Inert	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Non-haz	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hazardous	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (kg)	1904807	100,0%	706192,308	496207	24878,8	3421,44	0	15925,5	32177,4	228489,349	290119,06	107395,9
Building GFA (m ²)	2112,6											
Normalised CDW (kg/m²)	901,6											

Nature of CDW	Landfill unit cost € / t		Total landfill cost (€)
	Mass (kg)	CDW share	
Inert	766120	40,2%	11492
Non haz	1138687	59,8%	102482
Haz	0	0,0%	0
Total	1904806,806	100,0%	113974

WEEE	Mass (kg)	Fraction
Total generated	0,0	#DIV/0!
Reused/refurbished	0,0	#DIV/0!
Sent to WEEE facility	0,0	#DIV/0!

Excavation waste (EW)	Mass (kg)	Mass (t)	Fraction
Total generated	0	0	#DIV/0!
Of which non-haz	0	0	#DIV/0!
Of which hazardous	0	0	#DIV/0!
Total kept onsite	0	0	#DIV/0!

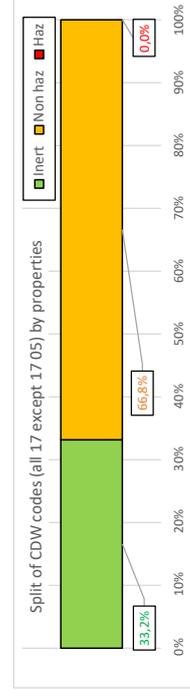


2.3. LEVEL 3 (measure): CDW produced from any construction, demolition or renovation activities: DATA OUTPUT													
Specific sub-chapters of CDW to be reported on													
Sum of sub-chapters		Mass (kg)	Fraction	Concrete, brick, tile, ceramic	Wood	Glass	Plastic	Haz. wood, glass, plastic	Bituminous mixtures	Metals	Insulation materials	Gypsum	Mixed
Reuse	Reuse	1149980	60,4%	622543,2	402820	24878,8	0	0	0	1722,55	1104,2	0	96912
Recycling	Recycling	754826	39,6%	83649,108	93387,4	0	3421,44	0	15925,5	30454,8	227385,149	290119,06	10483,92
Recovery	Material (backfill)	0	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Energy	0	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Disposal	Disposal	0	0,0%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
of which:	Inert	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Non-haz	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Hazardous	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (kg)		1904807	100,0%	706192,308	496207	24878,8	3421,44	0	15925,5	32177,4	228489,349	290119,06	107395,9
	Building GFA (m ²)		2112,6										
Normalised CDW (kg/m²)		901,6											

Nature of CDW	Landfill unit cost € / t		Total landfill cost (€)
	Mass (kg)	CDW share	
Inert	632252	33,2%	9484
Non haz	1272555	66,8%	114530
Haz	0	0,0%	0
Total	1904806,806	100,0%	124014

WEEE	Mass (kg)	Fraction
Total generated	0,0	#DIV/0!
Reused/refurbished	0,0	#DIV/0!
Sent to WEEE facility	0,0	#DIV/0!

Excavation waste (EW)	Mass (kg)	Mass (t)	Fraction
Total generated	0	0	#DIV/0!
Of which non-haz	0	0	#DIV/0!
Of which hazardous	0	0	#DIV/0!
Total kept onsite	0	0	#DIV/0!



C.5 Indikator 2.4 - Szenario 1

Level(s) indicator 2.4 design for deconstruction calculator									
Tier 1 building element	Tier 2 building element	Tier 3 building element	(Tier 4) Further explanation of Tier 3 element	Quantity (kg)	Value (EUR)	Recycling (by mass)	Recycling (by value)	Circularity score (by mass)	Overall circularity score (by value)
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Concrete walls	119700.00		0.50	99550	0.50	34,2%
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Insulation concrete walls (inside)	1290.25		0.01	13.9025	0.01	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation concrete walls (outside)	407.52		0.01	4.0752	0.01	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Wood structure walls	13625.14		0.75	10218.85313	0.75	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation wooden wall structure	18071.24		0.01	180.71235	0.01	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External wall systems, cladding and shading devices	External wall systems, cladding and shading devices	79420.25		0.15	11896.1875	0.15	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Wooden facade	25124.10		0.75	18865.575	0.75	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation and transom facade	862.28		0.90	775.1484	0.90	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation nullion and transom facade	552.10		0.90	496.89	0.90	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Concrete ceiling	489996.00		0.50	244998	0.50	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Wood structure ceilings	41570.55		0.75	31177.50988	0.75	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	CTElements ceiling	84775.63		0.15	12716.34375	0.15	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation wooden ceiling structure	53325.27		0.01	533.152683	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	External insulation	6293.04		0.01	62.9304	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Sound insulation	17796.96		0.01	177.909614	0.01	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	OSB elements	46693.70		0.15	7004.0556	0.15	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	ceementitious EPS-III	740.52		0.01	7.4052	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS	76.30		0.01	0.76296	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gypsum board	78125.39		0.01	781.25388	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gypsum-screed-fiber	10485.30		0.01	104.853	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Screed	16320.00		0.50	8160	0.50	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	gypsum-screed-elements	66934.14		0.01	669.3414	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Wooden floor	21535.33		0.15	3210.2998	0.15	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Concrete tiles	10771.20		0.90	9694.08	0.90	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	wind brake	0.00		0.15	0	0.15	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Facade plate (fibre cement board)	48456.00		0.01	484.56	0.01	
Shell	Roof	Structure	CTU elements roof	40229.60		0.15	6034.44	0.15	
Shell	Roof	Weatherproofing	Bitumen	7967.75		0.15	1194.4125	0.15	
Shell	Roof	Weatherproofing	EPDM	1710.72		0.15	256.608	0.15	
Shell	Roof	Weatherproofing	EPS-insulation	4594.78		0.15	689.21685	0.15	
Shell	Roof	Weatherproofing	rubber granulate mat	4501.44		0.15	675.216	0.15	
Shell	Roof	Weatherproofing	Wooden floor terrace	4454.35		0.15	668.1275	0.15	
Shell	Facades	Facade openings (including windows and external doors)	gravel	2353.00		1.00	2353.1	1.00	
Shell	Facades	Facade openings (including windows and external doors)	glass	12489.38		0.90	11195.4975	0.90	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation (inside)	11853.23		0.01	118.53225	0.01	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	ceramic tiles	4246.05		0.50	2124.027	0.50	

C.6 Indikator 2.4 - Szenario 2

Level(s) indicator 2.4 design for deconstruction calculator									
Tier 1 building element	Tier 2 building element	Tier 3 building element	(Tier 4) Further explanation of Tier 3 building element (optional)	Quantity (kg)	Value (EUR)	Granularity (best practical outcome)	Granularity coefficient	Granularity score (by mass)	Overall circularity score (by value)
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Concrete walls	119100.00		Recycling (best practical outcome)	0.75	89325	75,5%
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Insulation concrete walls (inside)	1290.25		Recycling (best practical outcome)	0.75	967,6975	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation concrete walls (outside)	407.52		Recycling (best practical outcome)	0.75	305,64	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Wood structure walls	13625.14		Reuse (preparing for)	0.90	1262,62375	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation wooden wall structure	18071.24		Recycling (best practical outcome)	0.75	13553,42625	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	CLT elements, walls	79401.25		Reuse (preparing for)	0.90	71271,125	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Wooden facade	25141.10		Recycling (best practical outcome)	0.90	22638,69	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation and transom facade	86228		Reuse (preparing for)	0.90	775,1484	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation nullion and transom facade	552.10		Reuse (preparing for)	0.90	496,89	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Concrete ceiling	489996.00		Recycling (best practical outcome)	0.75	367497	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Wood structure ceilings	415703.55		Reuse (preparing for)	0.90	37413,49185	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	CLT Elements ceiling	84775.63		Reuse (preparing for)	0.90	76296,8025	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation wooden ceiling structure	53315.27		Recycling (best practical outcome)	0.75	39986,6123	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	External insulation	6293.04		Recycling (best practical outcome)	0.75	4719,78	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Sound insulation	17796.96		Recycling (best practical outcome)	0.75	13343,22105	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	OSB elements	46693.70		Recovery (energy)	0.15	7004,0556	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	ceementitious EPS-III	74152		Recycling (mixed stream)	0.50	370,26	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS	76.30		Recycling (mixed stream)	0.75	57,222	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gypsum board	79125.39		Recycling (best practical outcome)	0.75	58594,041	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gypsum-screed-elements	10485.30		Recycling (best practical outcome)	0.50	5242,65	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Screed	16320.00		Recycling (mixed stream)	0.50	81,60	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	gypsum-screed-elements	66934.14		Recycling (best practical outcome)	0.75	50200,605	
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Wooden floor	21535.33		Reuse (preparing for)	0.90	19387,7988	
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Concrete Tiles	10771.20		Recycling (best practical outcome)	0.75	8078,4	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	wind brake	0.00		Recycling (best practical outcome)	0.75	0	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Facade plate (fibre cement board)	48456.00		Recycling (mixed stream)	0.50	24228	
Shell	Roof	Structure	CLT elements roof	40269.60		Reuse (preparing for)	0.90	36566,64	
Shell	Roof	Weatherproofing	Bitumen	7967.75		Recycling (best practical outcome)	0.75	5972,0625	
Shell	Roof	Weatherproofing	EPDM	1710.72		Recycling (best practical outcome)	0.75	1283,04	
Shell	Roof	Weatherproofing	EPS-insulation	4594.78		Recycling (best practical outcome)	0.75	3446,06425	
Shell	Roof	Weatherproofing	rubber granulate mat	4501.44		Recycling (best practical outcome)	0.75	3776,08	
Shell	Roof	Weatherproofing	Wooden floor terrace	4454.35		Reuse (preparing for)	0.90	4069,095	
Shell	Facades	Facade openings (including windows and external doors)	gravel	2353.00		Reuse (direct)	1.00	2353,1	
Shell	Facades	Facade openings (including windows and external doors)	glass	12489.38		Reuse (preparing for)	0.90	11195,4975	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation (inside)	148532.3		Recycling (best practical outcome)	0.75	88693,8075	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Emmitt tiles	4246.05		Recycling (best practical outcome)	0.75	3183,0405	

C.7 Indikator 2.4 - Szenario 3

Level(s) indicator 2.4 design for deconstruction calculator									
Tier 1 building element	Tier 2 building element	Tier 3 building element	(Tier 4) Further explanation of Tier 3 element (optional)	Quantity (kg)	Value (EUR)	Granularity (best practical outcome)	Granularity coefficient	Granularity score (by mass)	Overall circularity score (by value)
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Concrete walls	119100.00		Reuse (preparing for)	0.90	107.90	85,7%
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Insulation concrete walls (inside)	1290.25		Recycling (pre-stream)	0,75	967,6975	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation concrete walls (outside)	407.52		Recycling (pre-stream)	0,75	305,64	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	Wood structure walls	13625.14		Reuse (preparing for)	0,90	1282,62375	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation wooden wall structure	18071.24		Recycling (pre-stream)	0,75	13553,42625	
Shell	Loadbearing_structural_frame	External walls	CLT elements, walls	79401.25		Reuse (preparing for)	0,90	71371,125	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Wooden facade	25141.10		Recycling (pre-stream)	0,90	22638,69	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation and transom facade	862,28		Reuse (preparing for)	0,90	775,1484	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Insulation nullion and transom facade	552,10		Reuse (preparing for)	0,90	496,89	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Concrete ceiling	48996,00		Reuse (preparing for)	0,90	44096,4	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	Wood structure ceilings	41570,55		Reuse (preparing for)	0,90	37413,49185	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	CLT Elements ceiling	84775,63		Reuse (preparing for)	0,90	76296,0625	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation wooden ceiling structure	53315,27		Recycling (pre-stream)	0,75	39986,45123	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	External insulation	6291,04		Recycling (pre-stream)	0,75	4719,78	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Sound insulation	17796,96		Recycling (pre-stream)	0,75	13343,22105	
Shell	Loadbearing_structural_frame	Upper floors	OSB elements	46693,70		Recycling (pre-stream)	0,75	35020,278	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	ceementitious EPS-III	7416,32		Recycling (mixed stream)	0,50	370,26	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	EPS	76,30		Recycling (pre-stream)	0,75	57,222	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gypsum board	79125,39		Recycling (pre-stream)	0,75	58594,041	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Gypsum-screed-elements	10485,30		Recycling (mixed stream)	0,50	5242,65	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Screed	16320,00		Recycling (mixed stream)	0,50	81,60	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	gypsum-screed-elements	66934,14		Recycling (pre-stream)	0,75	50200,605	
Core	Fittings_and_furnishings	Floor coverings and finishes	Wooden floor	21535,33		Reuse (preparing for)	0,90	19381,7988	
Core	Fittings_and_furnishings	External wall systems, cladding and shading devices	Concrete Tiles	10771,20		Recycling (pre-stream)	0,75	8078,4	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	wind brake	0,00		Recycling (pre-stream)	0,75	0	
Shell	Facades	External wall systems, cladding and shading devices	Facade plate (fibre cement board)	48456,00		Reuse (preparing for)	0,90	43610,4	
Shell	Roof	Structure	CLT elements roof	40229,60		Reuse (preparing for)	0,90	36566,64	
Shell	Roof	Weatherproofing	Bitumen	7967,75		Recycling (pre-stream)	0,75	5972,0625	
Shell	Roof	Weatherproofing	EPDM	1710,72		Recycling (pre-stream)	0,75	1283,04	
Shell	Roof	Weatherproofing	EPS-insulation	4594,78		Recycling (pre-stream)	0,75	3446,06425	
Shell	Roof	Weatherproofing	rubber granulate mat	4501,44		Recycling (pre-stream)	0,75	3776,08	
Shell	Roof	Weatherproofing	Wooden floor terrace	4454,35		Reuse (preparing for)	0,90	4009,095	
Shell	Facades	Facade openings (including windows and external doors)	gravel	2353,00		Reuse (direct)	1,00	2353,1	
Shell	Facades	Facade openings (including windows and external doors)	glass	12489,38		Reuse (preparing for)	0,90	11195,4975	
Core	Fittings_and_furnishings	Ceilings	Insulation (inside)	14852,23		Recycling (pre-stream)	0,75	8869,91875	
Core	Fittings_and_furnishings	Wall and ceiling finishes	Ememc tiles	4246,05		Recycling (pre-stream)	0,75	3183,0405	

Anhang D

Ergebnisse DGNB

D.1 Szenario 1

20,36
18,00

Ergebnis Punkte Indikator 1
 Ergebnis Punkte Indikator 2

	Betrachtungs-relevant	Bezugs-größe	Gesamtwert	Summe RBT	Ind1 - Punkte	Ind1 - Punkte CE Bonus 1	Ind1 - Punkte Bonus 2	Ind2 - Punkte
Außenwände (330)								
	Nichttragende oder elementierte Außenwände (332+337)	m2	55,21	55,21	0	4,727273047	0	5,250000052
	Außenwandbekleidungen außen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (339)	m2	1669,5	1669,5	0	5,454545632	0	4,249999799
	Außenwandbekleidungen innen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (338)	m2	1669,5	1669,5	0	0	0	4,249999799
	Außentüren und Außenfenster (334)	m2	199,03	199,03	0	0	3,727272816	4,249999799
Innenwände (340)								
	Nichttragende oder elementierte Innenwände (342+346)	m2	100	0	0	0	0	0
	Innenwandbekleidungen der nichttragenden und tragenden Innenwände (345)	m2	100	0	0	0	0	0
	Innentüren und Innenfenster (344)	m2	0	0	0	0	0	0
Decken (350)								
	Deckenbeläge (352)	m2	2252,92	2252,92	0	0	0	0
	Deckenbekleidungen (363)	m2	2252,92	2103,32	0	0	0	0
Dächer (360)								
	Dachbeläge (363)	m2	712,8	712,8	0	0	0	0
	Dachbekleidungen (364)	m2	712,8	712,8	0	0	0	0
Baukonstruktive Einbauten (370)								
	Allgemeine Einbauten (371)	kg	0	0	0	0	0	0
Tragwerk (30X)								
	Tragende Außenwände (331)	m3	1669,5	1669,5	5,727272809	0	0	0
	Außenstützen (333)	m3	0	0	0	0	0	0
	Tragende Innenwände (341)	m3	0	0	0	0	0	0
	Innenstützen (343)	m3	0	0	0	0	0	0
	Deckenkonstruktionen (351)	m3	2252,92	2252,92	0,909090973	0	0	0
	Dachkonstruktionen (361)	m3	712,8	712,8	0	0	0	0
Gründungen (320)								
	Fachgründungen oder Tiefgründungen (322+323)	m3	0	0	0	0	0	0
	Unterböden und Bodenplatten und Bauwerksabdichtungen (324+326)	m3	0	0	0	0	0	0
	Bodenbeläge der Unterböden und Bodenplatten (325)	m3	0	0	0	0	0	0
	SUMME:			6,636363782	10	3,727272816	17,99999945	

Berechnete Punkteverteilung

Ind1 - 60% der RBT mind. in QS1	Ind1 - Aufwertung QS1: Je RBT >10% in QS2 zusätzlich (Anwendbar bis zur maximalen Punktzahl wie Spalte „60% der RBT mind. in QS2“)	Ind1 - 60% der RBT mind. in QS2	Ind2 - 60% der RBT mind. in QS1	Ind2 - 60% der RBT mind. in QS2
0,91	1,18	3,73	1,00	5,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,41	2,68	7,73	2,50	11,25
1,41	1,68	6,73	2,50	11,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	2,18	5,73	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	2,18	5,73	0,00	0,00
0,91	1,68	3,73	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

D.2 Szenario 2

		Ergebnis Punkte Indikator 1		Ergebnis Punkte Indikator 2		
		45,00		44,75		
Betrachtungs-relevant	Bezugs-größe	Gesamtwert	Summe RBT	Indf1 - Punkte CE Bonus 1	Indf1 - Punkte CE Bonus 2	Indf2 - Punkte
Außenwände (330)						
Nichttragende oder elementierte Außenwände (332+337)	m2	55,21	55,21	0	4,727273047	5,250000032
Außenwandbekleidungen außen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (335)	m2	1669,5	1669,5	3,727272816	0	4,249999799
Außenwandbekleidungen innen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (336)	m2	1669,5	1669,5	2,727272816	0	4,249999799
Außenstützen und Außenfenster (334)	m2	199,03	199,03	0	3,727272816	4,249999799
Innenwände (340)						
Nichttragende oder elementierte Innenwände (342+346)	m2	100	100	0	0	0
Innenwandbekleidungen der nichttragenden und tragenden Innenwände (345)	m2	100	100	0	0	0
Innentüren und Innenfenster (344)	m2	0	0	0	0	0
Decken (350)						
Deckenbeläge (352)	m2	2252,92	2252,92	7,72727169	0	11,24999902
Deckenbekleidungen (353)	m2	2252,92	2103,32	6,727271289	0	11,24999902
Dächer (360)						
Dachbeläge (363)	m2	712,8	712,8	2,727272816	0	0
Dachbekleidungen (364)	m2	712,8	712,8	2,727272816	0	4,249999799
Baukonstruktive Einbauten (370)						
Allgemeine Einbauten (371)	kg	0	0	0	0	0
Tragwerk (3XX)						
Tragende Außenwände (331)	m3	1669,5	1669,5	0	6,727272809	0
Außenstützen (333)	m3	0	0	0	0	0
Tragende Innenwände (341)	m3	0	0	0	0	0
Innenstützen (343)	m3	0	0	0	0	0
Deckenkonstruktionen (351)	m3	2252,92	2252,92	0,909090973	0	0
Dachkonstruktionen (361)	m3	712,8	712,8	0	9,454546094	0
Gründung (320)						
Flachgründungen oder Tiefgründungen (322+323)	m3	0	0	0	0	0
Unterböden und Bodenplatten und Bauwerksabdichtungen (324+326)	m3	0	0	0	0	0
Bodenbeläge der Unterböden und Bodenplatten (325)	m3	0	0	0	0	0
SUMME:				26,2727247	3,727272816	44,74999728
					20	

Berechnete Punkteverteilung

Ind1 - 60% der RBT mind. in QS1	Ind1 - Aufwertung QS1. Je RBT >10% in QS2 zusätzlich (Anwendbar bis zur maximalen Punktzahl wie Spalte „60% der RBT mind. in QS2“)	Ind1 - 60% der RBT mind. in QS2	Ind2 - 60% der RBT mind. in QS1	Ind2 - 60% der RBT mind. in QS2
0,91	1,18	3,73	1,00	5,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,41	2,68	7,73	2,50	11,25
1,41	1,68	6,73	2,50	11,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	2,18	5,73	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	2,18	5,73	0,00	0,00
0,91	1,68	3,73	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

D.3 Szenario 3

Ergebnis Punkte Indikator 1	45,00
Ergebnis Punkte Indikator 2	44,75

Betrachtungs-relevant	Bezugs-größe	Gesamtwert	Summe RBT	Indf1 - Punkte CE Bonus 1	Indf1 - Punkte CE Bonus 2	Ind2 - Punkte
Außenwände (330)						
Nichttragende oder elementierte Außenwände (332+337)	m2	55,21	55,21	0	4,727273047	5,250000032
Außenwandbekleidungen außen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (335)	m2	1669,5	1669,5	3,727272816	0	4,249999799
Außenwandbekleidungen innen der nichttragenden und tragenden Außenwände oder elementierten Außenwände (336)	m2	1669,5	1669,5	2,727272816	0	4,249999799
Außenstützen und Außenfenster (334)	m2	199,03	199,03	0	3,727272816	4,249999799
Innenwände (340)						
Nichttragende oder elementierte Innenwände (342+346)	m2	100	0	0	0	0
Innenwandbekleidungen der nichttragenden und tragenden Innenwände (345)	m2	100	0	0	0	0
Innentüren und Innenfenster (344)	m2	0	0	0	0	0
Decken (350)						
Deckenbeläge (352)	m2	2252,92	2252,92	7,72727169	0	11,24999902
Deckenbekleidungen (353)	m2	2252,92	2103,32	6,727271289	0	11,24999902
Dächer (360)						
Dachbeläge (363)	m2	712,8	712,8	2,727272816	0	0
Dachbekleidungen (364)	m2	712,8	712,8	2,727272816	0	4,249999799
Baukonstruktive Einbauten (370)						
Allgemeine Einbauten (371)	kg	0	0	0	0	0
Tragwerk (3XX)						
Tragende Außenwände (331)	m3	1669,5	1669,5	0	6,727272809	0
Außenstützen (333)	m3	0	0	0	0	0
Tragende Innenwände (341)	m3	0	0	0	0	0
Innenstützen (343)	m3	0	0	0	0	0
Deckenkonstruktionen (351)	m3	2252,92	2252,92	0,909090973	0	0
Dachkonstruktionen (361)	m3	712,8	712,8	0	9,454546094	0
Gründung (320)						
Flachgründungen oder Tiefgründungen (322+323)	m3	0	0	0	0	0
Unterböden und Bodenplatten und Bauwerksabdichtungen (324+326)	m3	0	0	0	0	0
Bodenbeläge der Unterböden und Bodenplatten (325)	m3	0	0	0	0	0
SUMME:			26,2727247	3,727272816	20	44,74999728

Berechnete Punkteverteilung

Ind1 - 60% der RBT mind. in QS1	Ind1 - Aufwertung QS1. Je RBT >10% in QS2 zusätzlich (Anwendbar bis zur maximalen Punktzahl wie Spalte „60% der RBT mind. in QS2“)	Ind1 - 60% der RBT mind. in QS2	Ind2 - 60% der RBT mind. in QS1	Ind2 - 60% der RBT mind. in QS2
0,91	1,18	3,73	1,00	5,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,41	2,68	7,73	2,50	11,25
1,41	1,68	6,73	2,50	11,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,91	1,18	2,73	1,00	4,25
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	2,18	5,73	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,91	2,18	5,73	0,00	0,00
0,91	1,68	3,73	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



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

Anhang E

Ergebnisse BNB

E.1 Szenario 1


Projektingabe für BNB-Steckbrief 4.1.4 - Version 2015

Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter:		Projekt:		Gesamt-		Gesamt-			
Datum:		BNB-Nummer:		masse		punktzahl			
				1.352.278,8		48,48			
ERGEBNIS	0	Bauteil	Einbauort	Masse [kg]	Kommentar	lfd. Nr. Katalog	R-faktor	Anteil [%]	Punkte / Bauteil
Gründung									
1								0,00	0,00
				0,0				0,00	0,00
					Summe Gründung				
						0	GRU 0	0,00	0,00
					Summe Außenwand Erdreich			0,00	0,00
Außenwand Erdreich									
1					Eigene Bauteile (Außenwand Erdreich):				
Außenwand massiv									
1	AW05			96.660,0		1	AMA-E	3,25	7,14
					AMA-E, AW05: GK; kunstst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.				2,32
2	AW05b			19.920,4		2	AMA-E	3,25	1,47
					AMA-E, AW05b: GK; kunstst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.; Mirt.; MW; gipsf.Pliz				0,48
3	AW05a			18.056,3		3	AMA-E	3,25	1,33
					AMA-E, AW05a: Keramik; GK; MW; kunstst.Folie; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.				0,43
					Summe Außenwand massiv			9,95	3,23
Außenwand elementiert									
1	AW06			13.852,8		1	AEL	6,50	1,02
					AEL, Aluminiumfenster; Al; Glas				0,87
					Summe Außenwand elementiert			1,02	0,87
Außenwand leicht									
1	AW03			202.700,1		1	ALE-E	6,50	14,98
					ALE-E, AW03				9,74
					Summe Außenwand leicht			14,98	9,74
Innenwand massiv									
1								0,00	0,00


Projekteingabe für BNB-Steckbrief 4.1.4 - Version 2015

Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter:		Projekt:							
Datum:		BNB-Nummer:							
Gesamt- punktzahl									
ERGEBNIS 0			48,48						
1.352,878,8			100,00%						
lfd. Nr.	Bauteil- nummer	Einbauort	Bauteil	Masse [kg]	Kommentar	lfd. Nr. Katalog	R- faktor	Anteil [%]	Punkte / Bauteil
Summe Innenwand massiv 0,0									
Innenwand elementiert									
1								0,00	0,00
Summe Innenwand elementiert 0,0									
Innenwand leicht									
1								0,00	0,00
Summe Innenwand leicht 0,0									
Decke									
1	DE04		DEC-E, DE04 :	108.609,6		1	DEC-E	4,25	8,03
2	DE05		DEC-E, DE05: GK; St-UJK; MW; holzb.Plattenwerk.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; Holzbauteile; MW; holzb.Plattenw	194.007,5		2	DEC-E	6,50	14,34
3	DE05b		DEC-E, DE05b: PVC; St-UJK; gipsfr.Putz; MW; Mört.; SIB.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Pl	377.166,6		3	DEC-E	5,00	27,88
4	DE05c+d		DEC-E, DE05c+d: gipsfr.Putz; MW; Mört.; SIB.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Plattenwerk.	39.003,5		4	DEC-E	5,00	2,88
5	DE05e		DEC-E, DE05e: gipsfr.Putz; MW; Mört.; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.P	28.878,7		5	DEC-E	5,00	2,13
6	DE05a		DEC-E, DE05a: GK; St-UJK; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Platten	44.076,2		6	DEC-E	5,00	3,26
				Summe Decke	791.742,2			56,52	30,81
Deckenbelag									
1	DE04		DBE-E, DE04 :	11.588,0		1	DBE-E	4,00	0,86
2	DE05b-e		DBE-E, DE05 (alle Varianten weisen gleichen Bodenaufbau auf); MW; CA; Linol.	91.224,4		##	#NV	#NV	6,74
3	DE05a		DBE-E, DE05a: MW; CT; Keramik	20.610,5		3	DBE-E	3,25	1,52
				Summe Deckenbelag	123.423,0			9,12	0,84



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

		Bewertung der Eignung							
		++	+	0	-	--			
		sehr günstig		günstig		durchschnittlich			
				ungünstig		sehr ungünstig			
Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:							
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:							
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung	Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
Gründung									
1	GRÜ Gründung	Streifenfundament	SfB.		Ø	+	+	1 GRÜ	6,75
2	GRÜ Gründung	Bohrpfahl Tiefgründung	SfB.		--	+	+	2 GRÜ	5,25
3	GRÜ Gründung	Bodenplatte	Epoxy, CT; SfB; Blümenbalm; XPS; Leichtbet.; PE; Kies		Ø	Ø	Ø	3 GRÜ	5,00
Eigenes Bauteil (Gründung):									
1	GRÜ-E Gründung				FALSCH	FALSCH	FALSCH	1 GRÜ-E	
Außenwand Erdreich									
1	AER Außenwand erdberührt	gedämmte Kelleraußenwand	gipsfr.Putz; SfB.; Blümenbesch.; XPS		Ø	+	+	1 AER	6,75
Eigenes Bauteil (Außenwand Erdreich):									
1	AER-E Außenwand erdberührt							1 AER-E	
Außenwand massiv									
1	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ; gipsfr.Putz		+	+	Ø	1 AMA	6,50
2	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ mit Dämmf.; gipsfr.Putz		Ø	Ø	Ø	2 AMA	5,00
3	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipsfr.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz		+	+	Ø	3 AMA	6,50
4	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Porenbeton	gipsfr.Putz; Porenbet.; gipsfr.Putz		+	Ø	-	4 AMA	4,75
5	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipschal.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz		Ø	-	--	5 AMA	2,25



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung		R-Faktor	
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:					
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog
6	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	gipsfal.Putz; por.HLZ mit Dämmf.; gipsfal.Putz	Ø	-	--	6 AMA
7	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit WDVS	gipsfr.Putz; SB; MW; gipsfr.Putz	Ø	+	+	7 AMA
8	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit VHF	gipsfr.Putz; SB; MW; AI-UK; Faserzem.	Ø	+	+	8 AMA
9	AMA Außenwand massiv	AW Stb mit hinterlüfter Natursteinfassade	SB; MW; St.-UK; Naturst.	+	+	+	9 AMA
Eigenes Bauteil (Außenwand massiv):							
1	AMA-E Außenwand massiv	AW05	GK; kunst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SB.	Ø	-	-	1 AMA-E
2	AMA-E Außenwand massiv	AW05b	GK; kunst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SB.; Mort.; MW; gipsfr.Putz	Ø	-	-	2 AMA-E
3	AMA-E Außenwand massiv	AW05a	Keramik; GK; MW; kunst.Folie; holzb.Plattenwerk.; MW; SB.	Ø	-	-	3 AMA-E
Außenwand elementiert							
1	AEL Außenwand elementiert	Aluminiumfenster	Al; Glas	++	Ø	Ø	1 AEL
Eigenes Bauteil (Außenwand elementiert):							
1	AEL-E Außenwand elementiert	Pfosten-Riegel-Fassade AW06	St.; Glas	++	+	Ø	2 AEL-E
Außenwand leicht							
1	ALE Außenwand leicht	AW in Holzständerbauweise	GK; Holz; UK; nachw.Dämm.; kunst.Folie; Flachpresssp.; Holzbauteile; nachw.Dämm.; Flachpresssp.; kunst.Folie; Holz; UK; Holzprofile	+	+	Ø	1 ALE
Eigenes Bauteil (Außenwand leicht):							
1	ALE-E Außenwand leicht	AW03		+	+	Ø	1 ALE-E

6,50

6,50

7,25

6,50

6,50



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer		++	+	Ø	-	sehr günstig
								günstig
								durchschnittlich
								ungünstig
								sehr ungünstig
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog	R-Faktor
Innenwand massiv								
1	IMA	Innenwand massiv	verputztes Ziegelmauerwerk	gipshtal.Plutz; Ziegel; gipshtal.Plutz	Ø	-	--	1 IMA 2,25
2	IMA	Innenwand massiv	KS-Sichtmauerwerk	KS	+	+	+	2 IMA 7,50
3	IMA	Innenwand massiv	Stahlbeton	SIB.	Ø	Ø	+	3 IMA 6,00
4	IMA	Innenwand massiv	Mauerziegel	Anstr.; MZ.; Anstr.	+	+	+	4 IMA 7,50
Eigenes Bauteil (Innenwand massiv):								
1	IMA-E	Innenwand massiv						1 IMA-E
Innenwand elementiert								
1	IEL	Innenwand elementiert	Holzintertür in Stahlzarge	Holzwerkst.; St.	+	+	+	1 IEL 7,50
Eigenes Bauteil (Innenwand elementiert):								
1	IEL-E	Innenwand elementiert						1 IEL-E
Innenwand leicht								
1	ILE	Innenwand leicht	GK-Innenwand mit MW-Dämmung	GK; Metallprofile; MW; GK	+	+	Ø	1 ILE 6,50
Eigenes Bauteil (Innenwand leicht):								



BAUTEILKATALOG
für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

		Bewertung der Eignung									
		++	+	Ø	-	--	sehr günstig	günstig	durchschnittlich	ungünstig	sehr ungünstig
Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:									
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:									
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor			
3	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; XPS; CT; Teppich	Ø	+	+	3 DBE	6,75			
4	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; XPS; AE; Teppich	Ø	+	-	4 DBE	4,75			
5	DBE Deckenbelag	Verbundestrich	kunstst.Folie; CA; Anstr.	Ø	+	-	5 DBE	4,75			
6	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	MW; Kunstst.Folie; CT; PVC	Ø	+	Ø	6 DBE	5,75			
7	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	MW; Kunstst.Folie; CT; Mört; Naturst.	+	Ø	Ø	7 DBE	5,75			
8	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; MW; Kunstst.Folie; CA; PVC	+	Ø	-	8 DBE	4,75			
Eigenes Bauteil (Deckenbelag):											
1	DBE-E Deckenbelag	DED4		Ø	Ø	-	1 DBE-E	4,00			
2	DBE-E Deckenbelag	DED5 (alle Varianten weisen gleichen Bodenauf	MW; CA; Holzwerkst.	Ø	Ø	-	2 DBE-E	4,00			
3	DBE-E Deckenbelag	DED5a	MW; CT; Keramik	Ø	-	-	3 DBE-E	3,25			
Dach											
1	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfr.Putz	Ø	+	++	1 DAC	7,75			
2	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfal.Putz	Ø	Ø	Ø	2 DAC	5,00			
3	DAC Dach	Massivbau Flachdach mit AHD	SIB.; AL-UK; GK	Ø	+	++	3 DAC	7,75			
4	DAC Dach	Dachverglasung	St.; Glas	Ø	++	+	4 DAC	7,50			
5	DAC Dach	Massivbau Flachdach Kies	MW; SIB.; Bitumenbahn; EPS; Vlies; Vlies; Splitt	Ø	Ø	Ø	5 DAC	5,00			
Eigenes Bauteil (Dach):											
1	DAC-E Dach	DED6		Ø	Ø	Ø	1 DAC-E	5,00			



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung der Eignung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer		++	+	Ø	sehr günstig	
				Ø	-	Ø	günstig	
				--	Ø	Ø	durchschnittlich	
							ungünstig	
							sehr ungünstig	
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
2	DAC-E Dach	DE07	GK; MW; Holzwerkst.	Ø	Ø	Ø	2 DAC-E	5,00
Dachbelag								
1	DAB Dachbelag	Wärmdach	kunstst.Folie; MW; kunstst.Folie	Ø	+	+	1 DAB	6,75
Eigenes Bauteil (Dachbelag):								
1	DAB-E Dachbelag	DE06		Ø	Ø	Ø	1 DAB-E	5,00
2	DAB-E Dachbelag	DE07	Blumenbahn	Ø	Ø	Ø	2 DAB-E	5,00

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



E.2 Szenario 2



Projekteingabe für BNB-Steckbrief 4.1.4 - Version 2015

Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter:		Projekt:						
Datum:		BNB-Nummer:						
Gesamt-								
ERGEBNIS 0		1.352.878,8	65,12					
		Masse [kg]	Punkte / Bauteil					
100,00%								
Itd. Nr.	Bauteilnummer	Einbauort	Bauteil	Kommentar	Itd. Nr. Katalog	R-faktor	Anteil [%]	Gesamt-punktzahl
Gründung								
1							0,00	0,00
				Summe Gründung	0,0		0,00	0,00
Außenwand Erdreich								
1				Eigene Bauteile (Außenwand Erdreich):	0	GRU 0	0,00	0,00
				Summe Außenwand Erdreich	0,0		0,00	0,00
Außenwand massiv								
1	AW05			AMA-E, AW05: GK; kunstst.Folie; GK; Holz-Plattenwerk.; MW; SIB.	1	AMA-E	6,75	7,14
2	AW05b			AMA-E, AW05b: GK; kunstst.Folie; GK; Holz-Plattenwerk.; MW; SIB; Mört; MW; gipsf. Putz	2	AMA-E	6,75	1,47
3	AW05a			AMA-E, AW05a: Keramik; GK; MW; kunstst.Folie; Holz-Plattenwerk.; MW; SIB.	3	AMA-E	6,75	1,33
				Summe Außenwand massiv			9,95	6,72
Außenwand elementiert								
1	AW06			AEL, Aluminiumfenster; Al; Glas	1	AEL	6,50	1,02
				Summe Außenwand elementiert			1,02	0,67
Außenwand leicht								
1	AW03			ALE-E, AW03	1	ALE-E	7,50	14,98
				Summe Außenwand leicht			14,98	11,24
Innenwand massiv								
1							0,00	0,00


Projekteingabe für BNB-Steckbrief 4.1.4 - Version 2015

Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter:		Projekt:							
Datum:		BNB-Nummer:							
Gesamt- punktzahl									
ERGEBNIS 0			65,12						
1.352.878,8			100,00%						
lfd. Nr.	Bauteil- nummer	Einbauort	Bauteil	Masse [kg]	Kommentar	lfd. Nr. Katalog	R- faktor	Anteil [%]	Punkte / Bauteil
Summe Innenwand massiv 0,0									
Innenwand elementiert									
1								0,00	0,00
Summe Innenwand elementiert 0,0									
Innenwand leicht									
1								0,00	0,00
Summe Innenwand leicht 0,0									
Decke									
1	DE04		DEC-E, DE04 :	108.609,6		1	DEC-E	6,75	8,03
2	DE05		DEC-E, DE05: GK; St-UK; MW; holzb.Plattenwerk.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; Holzbauteile; MW; holzb.Plattenw	194.007,5		2	DEC-E	7,50	14,34
3	DE05b		DEC-E, DE05b: PVC; St-UK; gipsfr.Putz; MW; Mört.; SIB.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Pl	377.166,6		3	DEC-E	6,75	27,88
4	DE05c+d		DEC-E, DE05c+d: gipsfr.Putz; MW; Mört.; SIB.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Plattenwerk.	39.003,5		4	DEC-E	6,75	2,88
5	DE05e		DEC-E, DE05e: gipsfr.Putz; MW; Mört.; holzb.Plattenwerk.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.P	28.878,7		5	DEC-E	6,75	2,13
6	DE05a		DEC-E, DE05a: GK; St-UK; MW; holzb.Plattenwerk.; MW; holzb.Plattenwerk.; Holzbauteile; MW; holzb.Platten	44.076,2		6	DEC-E	6,75	3,26
				Summe Decke	791.742,2			56,52	40,58
Deckenbeleg									
1	DE04		DBE-E, DE04 :	11.588,0		1	DBE-E	6,75	0,86
2	DE05b-e		DBE-E, DE05 (alle Varianten weisen gleichen Bodenaufbau auf); MW; CA; Linol.	91.224,4		##	#NV	#NV	6,74
3	DE05a		DBE-E, DE05a: MW; CT; Keramik	20.610,5		3	DBE-E	6,75	1,52
				Summe Deckenbeleg	123.423,0			9,12	1,61



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

		Bewertung der Eignung							
		++	+	0	-	--			
		sehr günstig		günstig		durchschnittlich			
		günstig		ungünstig		sehr ungünstig			
Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:							
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:							
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung	Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
Gründung									
1	GRÜ Gründung	Streifenfundament	SfB.		Ø	+	+	1 GRÜ	6,75
2	GRÜ Gründung	Bohrpfahl Tiefgründung	SfB.		--	+	+	2 GRÜ	5,25
3	GRÜ Gründung	Bodenplatte	Epoxy; CT; SfB.; Blümenbalm; XPS; Leichtbet.; PE; Kies		Ø	Ø	Ø	3 GRÜ	5,00
Eigenes Bauteil (Gründung):									
1	GRÜ-E Gründung				FALSCH	FALSCH	FALSCH	1 GRÜ-E	
Außenwand Erdreich									
1	AER Außenwand erdbertührt	gedämmte Kelleraußenwand	gipsfr.Putz; SfB.; Blümenbesch.; XPS		Ø	+	+	1 AER	6,75
Eigenes Bauteil (Außenwand Erdreich):									
1	AER-E Außenwand erdbertührt							1 AER-E	
Außenwand massiv									
1	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ; gipsfr.Putz		+	+	Ø	1 AMA	6,50
2	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ mit Dämmf.; gipsfr.Putz		Ø	Ø	Ø	2 AMA	5,00
3	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipsfr.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz		+	+	Ø	3 AMA	6,50
4	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Porenbeton	gipsfr.Putz; Porenbet.; gipsfr.Putz		+	Ø	-	4 AMA	4,75
5	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipschal.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz		Ø	-	--	5 AMA	2,25



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung		R-Faktor	
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:					
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog
6	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	gipsfal.Putz; por:HLZ mit Dämmf.; gipsfal.Putz	Ø	-	--	6 AMA
7	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit WDVS	gipsfr.Putz; SIB; MW; gipsfr.Putz	Ø	+	+	7 AMA
8	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit VHF	gipsfr.Putz; SIB; MW; AI-UK; Faserzem.	Ø	+	+	8 AMA
9	AMA Außenwand massiv	AW Stb mit hinterlüfteter Natursteinfassade	SIB; MW; St.-UK; Naturst.	+	+	+	9 AMA
Eigenes Bauteil (Außenwand massiv):							
1	AMA-E Außenwand massiv	AW05	GK; kunst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.	Ø	+	+	1 AMA-E
2	AMA-E Außenwand massiv	AW05b	GK; kunst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.; Mort.; MW; gipsfr.Putz	Ø	+	+	2 AMA-E
3	AMA-E Außenwand massiv	AW05a	Keramik; GK; MW; kunst.Folie; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.	Ø	+	+	3 AMA-E
Außenwand elementiert							
1	AEL Außenwand elementiert	Aluminiumfenster	Al; Glas	++	Ø	Ø	1 AEL
Eigenes Bauteil (Außenwand elementiert):							
1	AEL-E Außenwand elementiert	Pfosten-Riegel-Fassade AW06	St.; Glas	++	+	Ø	2 AEL-E
Außenwand leicht							
1	ALE Außenwand leicht	AW in Holzständerbauweise	GK; Holz;UK; nachw.Dämm.; kunst.Folie; Flachpresssp.; Holzbauteile; nachw.Dämm.; Flachpresssp.; kunst.Folie; Holz;UK; Holzprofile	+	+	Ø	1 ALE
Eigenes Bauteil (Außenwand leicht):							
1	ALE-E Außenwand leicht	AW03		+	+	+	1 ALE-E

sehr günstig
 günstig
 durchschnittlich
 ungünstig
 sehr ungünstig



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer		++	+	Ø	-	sehr günstig
								günstig
								durchschnittlich
								ungünstig
								sehr ungünstig
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog	R-Faktor
Innenwand massiv								
1	IMA	Innenwand massiv	verputztes Ziegelmauerwerk	gipshtal.Putz; Ziegel; gipshtal.Putz	Ø	-	--	1 IMA 2,25
2	IMA	Innenwand massiv	KS-Sichtmauerwerk	KS	+	+	+	2 IMA 7,50
3	IMA	Innenwand massiv	Stahlbeton	SIB.	Ø	Ø	+	3 IMA 6,00
4	IMA	Innenwand massiv	Mauerziegel	Anstr.; MZ.; Anstr.	+	+	+	4 IMA 7,50
Eigenes Bauteil (Innenwand massiv):								
1	IMA-E	Innenwand massiv						1 IMA-E
Innenwand elementiert								
1	IEL	Innenwand elementiert	Holzintertür in Stahlzarge	Holzwerkst.; St.	+	+	+	1 IEL 7,50
Eigenes Bauteil (Innenwand elementiert):								
1	IEL-E	Innenwand elementiert						1 IEL-E
Innenwand leicht								
1	ILE	Innenwand leicht	GK-Innenwand mit MW-Dämmung	GK; Metallprofile; MW; GK	+	+	Ø	1 ILE 6,50
Eigenes Bauteil (Innenwand leicht):								



BAUTEILKATALOG
für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung		R-Faktor		
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:						
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog	R-Faktor
3	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; XPS; CT; Teppich	Ø	+	+	3 DBE	6,75
4	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; XPS; AE; Teppich	Ø	+	-	4 DBE	4,75
5	DBE Deckenbelag	Verbundestrich	kunstst.Folie; CA; Anstr.	Ø	+	-	5 DBE	4,75
6	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	MW; Kunstst.Folie; CT; PVC	Ø	+	Ø	6 DBE	5,75
7	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	MW; Kunstst.Folie; CT; Mört; Naturst.	+	Ø	Ø	7 DBE	5,75
8	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; MW; Kunstst.Folie; CA; PVC	+	Ø	-	8 DBE	4,75
Eigenes Bauteil (Deckenbelag):								
1	DBE-E Deckenbelag	DED4		Ø	+	+	1 DBE-E	6,75
2	DBE-E Deckenbelag	DED5 (alle Varianten weisen gleichen Bodenauf	MW; CA; Holzwerkst.	Ø	+	+	2 DBE-E	6,75
3	DBE-E Deckenbelag	DED5a	MW; CT; Keramik	Ø	+	+	3 DBE-E	6,75
Dach								
1	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfr.Putz	Ø	+	++	1 DAC	7,75
2	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfal.Putz	Ø	Ø	Ø	2 DAC	5,00
3	DAC Dach	Massivbau Flachdach mit AHD	SIB.; AL-UK; GK	Ø	+	++	3 DAC	7,75
4	DAC Dach	Dachverglasung	St.; Glas	Ø	++	+	4 DAC	7,50
5	DAC Dach	Massivbau Flachdach Kies	MW; SIB.; Bitumenbahn; EPS; Vlies; Vlies; Splitt	Ø	Ø	Ø	5 DAC	5,00
Eigenes Bauteil (Dach):								
1	DAC-E Dach	DED6		Ø	+	+	1 DAC-E	6,75



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung der Eignung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer		++	+	0	sehr günstig	
							günstig	
							durchschnittlich	
							ungünstig	
				--			sehr ungünstig	
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
2	DAC-E Dach	DE07	GK; MW; Holzwerkst.	0	+	+	2 DAC-E	6,75
Dachbelag								
1	DAB Dachbelag	Wärmdach	kunstst.Folie; MW; kunstst.Folie	0	+	+	1 DAB	6,75
Eigenes Bauteil (Dachbelag):								
1	DAB-E Dachbelag	DE06		0	+	+	1 DAB-E	6,75
2	DAB-E Dachbelag	DE07	Blumenbahn	0	+	+	2 DAB-E	6,75

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



E.3 Szenario 3



Projekteingabe für BNB-Steckbrief 4.1.4 - Version 2015

Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter:		Projekt:	
Datum:		BNB-Nummer:	
Gesamt-			
ERGEBNIS 0		1.313.006,9	99,01
Bauteil-	Einbauort	Kommentar	100,00%
nummer	Bauteil	lfd. Nr.	Anteil
Nr.		Katalog	[%]
		R-	Punkte /
		faktor	Bauteil
Gründung			
1			0,00
		Summe Gründung	0,00
			0,00
Außenwand Erdreich			
1		0 GRU 0	0,00
	Eigene Bauteile (Außenwand Erdreich):		0,00
		Summe Außenwand Erdreich	0,00
			0,00
Außenwand massiv			
1	AW05	AMA-E, AW05; GK; Kunstst.Folie; GK; Holz-Plattenwerk.; MW; SIB.	96.660,0
			10,00
2	AW05b	AMA-E, AW05b; GK; Kunstst.Folie; GK; Holz-Plattenwerk.; MW; SIB; Mört; MW; gipsf. Putz	19.920,4
			10,00
3	AW05a	AMA-E, AW05a; Keramik; GK; MW; Kunstst.Folie; Holz-Plattenwerk.; MW; SIB.	18.056,3
			9,25
		Summe Außenwand massiv	134.636,6
			10,25
Außenwand elementiert			
1	AW06	AEL, Aluminiumfenster; Al; Glas	13.852,8
			6,50
		Summe Außenwand elementiert	13.852,8
			1,06
			0,69
Außenwand leicht			
1	AW03	ALE-E, AW03	202.700,1
			10,00
		Summe Außenwand leicht	202.700,1
			15,44
			15,44
Innenwand massiv			
1			0,00
			0,00



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung der Eignung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:		++	+	0	-	--
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
Gründung								
1	GRÜ Gründung	Streifenfundament	SfB.	Ø	+	+	1 GRÜ	6,75
2	GRÜ Gründung	Bohrpfahl Tiefgründung	SfB.	--	+	+	2 GRÜ	5,25
3	GRÜ Gründung	Bodenplatte	Epoxy; CT; SfB.; Blümenbalm; XPS; Leichtbet.; PE; Kies	Ø	Ø	Ø	3 GRÜ	5,00
Eigenes Bauteil (Gründung):								
1	GRÜ-E Gründung			FALSCH	FALSCH	FALSCH	1 GRÜ-E	
Außenwand Erdreich								
1	AER Außenwand erdbündelt	gedämmte Kelleraußenwand	gipsfr.Putz; SfB.; Blümenbesch.; XPS	Ø	+	+	1 AER	6,75
Eigenes Bauteil (Außenwand Erdreich):								
1	AER-E Außenwand erdbündelt						1 AER-E	
Außenwand massiv								
1	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ; gipsfr.Putz	+	+	Ø	1 AMA	6,50
2	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	Keramik; gipsfr.Putz; por.HLZ mit Dämmf.; gipsfr.Putz	Ø	Ø	Ø	2 AMA	5,00
3	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipsfr.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz	+	+	Ø	3 AMA	6,50
4	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Porenbeton	gipsfr.Putz; Porenbet.; gipsfr.Putz	+	Ø	-	4 AMA	4,75
5	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus Leichtbeton	gipschal.Putz; Leichtbet.; gipsfr.Putz	Ø	-	--	5 AMA	2,25



BAUTEILKATALOG
für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung der Eignung		R-Faktor	
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:					
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog
6	AMA Außenwand massiv	einschalige AW aus por. HLZ	gipsfal.Putz; por:HLZ mit Dämmf.; gipsfal.Putz	Ø	-	--	6 AMA
7	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit WDVS	gipsfr.Putz; SIB; MW; gipsfr.Putz	Ø	+	+	7 AMA
8	AMA Außenwand massiv	mehrschalige AW mit VHF	gipsfr.Putz; SIB; MW; AI-UK; Faserzem.	Ø	+	+	8 AMA
9	AMA Außenwand massiv	AW Stb mit hinterlüfter Natursteinfassade	SIB; MW; St.-UK; Naturst.	+	+	+	9 AMA
Eigenes Bauteil (Außenwand massiv):							
1	AMA-E Außenwand massiv	AW05	GK; kunst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.	++	++	++	1 AMA-E
2	AMA-E Außenwand massiv	AW05b	GK; kunst.Folie; GK; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.; Mort.; MW; gipsfr.Putz	++	++	++	2 AMA-E
3	AMA-E Außenwand massiv	AW05a	Keramik; GK; MW; kunst.Folie; holzb.Plattenwerk.; MW; SIB.	++	+	++	3 AMA-E
Außenwand elementiert							
1	AEL Außenwand elementiert	Aluminiumfenster	Al; Glas	++	Ø	Ø	1 AEL
Eigenes Bauteil (Außenwand elementiert):							
1	AEL-E Außenwand elementiert	Pfosten-Riegel-Fassade AW06	St.; Glas	++	++	++	2 AEL-E
Außenwand leicht							
1	ALE Außenwand leicht	AW in Holzständerbauweise	GK; Holz;UK; nachw.Dämm.; kunst.Folie; Flachpresssp.; Holzbauteile; nachw.Dämm.; Flachpresssp.; kunstst.Folie; Holz;UK; Holzprofile	+	+	Ø	1 ALE
Eigenes Bauteil (Außenwand leicht):							
1	ALE-E Außenwand leicht	AW03		++	++	++	1 ALE-E



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer:		++	+	Ø	-	sehr günstig
								günstig
								durchschnittlich
								ungünstig
								sehr ungünstig
ifd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	ifd. Nr. Katalog	R-Faktor
Innenwand massiv								
1	IMA	Innenwand massiv	verputztes Ziegelmauerwerk	gipsstb.Putz; Ziegel; gipsstb.Putz	Ø	-	--	1 IMA 2,25
2	IMA	Innenwand massiv	KS-Sichtmauerwerk	KS	+	+	+	2 IMA 7,50
3	IMA	Innenwand massiv	Stahlbeton	SIB.	Ø	Ø	+	3 IMA 6,00
4	IMA	Innenwand massiv	Mauerziegel	Anstr.; MZ.; Anstr.	+	+	+	4 IMA 7,50
Eigenes Bauteil (Innenwand massiv):								
1	IMA-E	Innenwand massiv						1 IMA-E
Innenwand elementiert								
1	IEL	Innenwand elementiert	Holzintertür in Stahlzarge	Holzwerkst.; St.	+	+	+	1 IEL 7,50
Eigenes Bauteil (Innenwand elementiert):								
1	IEL-E	Innenwand elementiert						1 IEL-E
Innenwand leicht								
1	ILE	Innenwand leicht	GK-Innenwand mit MW-Dämmung	GK; Metallprofile; MW; GK	+	+	Ø	1 ILE 6,50
Eigenes Bauteil (Innenwand leicht):								



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

		Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung der Eignung			
		Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer					
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor	
3	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; XPS; CT; Teppich	Ø	+	+	3 DBE	6,75	sehr günstig
4	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; XPS; AE; Teppich	Ø	+	-	4 DBE	4,75	günstig
5	DBE Deckenbelag	Verbundestrich	kunstst.Folie; CA; Anstr.	Ø	+	-	5 DBE	4,75	durchschnittlich
6	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	MW; Kunstst.Folie; CT; PVC	Ø	+	Ø	6 DBE	5,75	ungünstig
7	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	MW; Kunstst.Folie; CT; Mört; Naturst.	+	Ø	Ø	7 DBE	5,75	sehr ungünstig
8	DBE Deckenbelag	Schwimmender Estrich	kunstst.Folie; MW; Kunstst.Folie; CA; PVC	+	Ø	-	8 DBE	4,75	
Eigenes Bauteil (Deckenbelag):									
1	DBE-E Deckenbelag	DED4		++	++	++	1 DBE-E	10,00	
2	DBE-E Deckenbelag	DED5 (alle Varianten weisen gleichen Bodenauf	MW; CA; Holzwerkst.	++	++	++	2 DBE-E	10,00	
3	DBE-E Deckenbelag	DED5a	MW; CT; Keramik	++	+	++	3 DBE-E	9,25	
Dach									
1	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfr.Putz	Ø	+	++	1 DAC	7,75	
2	DAC Dach	Massivbau Flachdach verputzt	SIB.; gipsfal.Putz	Ø	Ø	Ø	2 DAC	5,00	
3	DAC Dach	Massivbau Flachdach mit AHD	SIB.; AL-UK; GK	Ø	+	++	3 DAC	7,75	
4	DAC Dach	Dachverglasung	St.; Glas	Ø	++	+	4 DAC	7,50	
5	DAC Dach	Massivbau Flachdach Kies	MW; SIB.; Bitumenbahn; EPS; Vlies; Vlies; Splitt	Ø	Ø	Ø	5 DAC	5,00	
Eigenes Bauteil (Dach):									
1	DAC-E Dach	DED6		++	++	++	1 DAC-E	10,00	



BAUTEILKATALOG
 für BNB-Steckbrief 4.1.4 Version 2015
 Stand BBSR-Bauteilkatalog: 28.11.2016

Bearbeiter projektspezifischer Katalog:		Projekt:		Bewertung				
Datum projektspezifischer Katalog:		BNB-Nummer						
lfd. Nr.	Kategorie	Bauteilbezeichnung	Kurzbeschreibung Schichtenaufbau	Rückbau	Trennung	Verwertung	lfd. Nr. Katalog	R-Faktor
2	DAC-E Dach	DE07	GK; MW; Holzwerkst.	++	++	++	2 DAC-E	10,00
Dachbelag								
1	DAB Dachbelag	Wärmdach	kunstst.Folie; MW; kunstst.Folie	Ø	+	+	1 DAB	6,75
Eigenes Bauteil (Dachbelag):								
1	DAB-E Dachbelag	DE06		++	++	++	1 DAB-E	10,00
2	DAB-E Dachbelag	DE07	Blumenbahn	++	++	++	2 DAB-E	10,00



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

Anhang F

Übersicht Anpassung der Einstufungen für Level(s), DGNB und EI10

BAUSTOFFE	LEVELS		Klimaaktiv/EI10				DGNB	
	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 1 Entsorg.	Szenario 2 Entsorg.	Szenario 3 Verw.	Szenario 1 Entsorg.	Szenario 2 Verw.	Szenario 3 Entsorg.
MINERALISCH								
Stahlbeton	Recycling (mixed stream)	Recycling (pure stream)	2	2	1	1	1	1
Klebspachtel/Putz	Landfill (inert or non-haz)	Recycling (pure stream)	3	5	3	2	2	1
Estrich	Recycling (mixed stream)	Recycling (pure stream)	3	4	2	1	2	1
Klebschüttung	Reuse (direct)	Reuse (direct)	2	2	1	1	1	1
Betonplatte	Reuse (preparing for)	Reuse (preparing for)	1	1	1	1	1	1
Fliessen	Recycling (mixed stream)	Recycling (pure stream)	2	3	2	2	2	1
GIPS								
Gipskarton	Landfill (inert or non-haz)	Recycling (pure stream)	4	3	2	1	1	1
Gips-Estrich-Elemente	Landfill (inert or non-haz)	Recycling (pure stream)	4	3	2	1	1	1
HOLZ								
Konstruktionsvollholz	Recycling (pure stream)	Reuse (preparing for)	1	1	1	1	1	1
CLT	Recovery (energy)	Reuse (preparing for)	1	1	1	1	1	1
OSB	Recovery (energy)	Recovery (energy)	3	3	3	2	1	1
Parkett	Recovery (energy)	Reuse (preparing for)	2	2	1	1	1	1
Holzbelag/Terrasse	Recovery (energy)	Reuse (preparing for)	1	1	1	1	1	1
Fassadenlattung	Recycling (pure stream)	Reuse (preparing for)	1	1	1	1	1	1
DÄMMUNG								
Stemwolle	Landfill (inert or non-haz)	Recycling (pure stream)	4	3	2	1	1	1
EPS	Recovery (energy)	Recycling (pure stream)	4	3	2	1	1	1
ABDICHTUNG								
Dampfbremse	Recycling (pure stream)	Recycling (pure stream)	3	3	2	1	1	1
EPDM	Recovery (energy)	Recycling (pure stream)	3	5	2	1	1	1
BITUMEN								
	Recovery (energy)	Recycling (pure stream)	3	5	2	1	1	1
GLAS								
	Reuse (preparing for)	Reuse (preparing for)	1	2	1	1	1	1
GEMISCHT								
Faserzementplatte	Landfill (inert or non-haz)	Recycling (mixed stream)	3	4	2	1	1	1
EPS-Schüttung, zementgebundene	Landfill (inert or non-haz)	Recycling (mixed stream)	5	4	3	2	2	1
Gummigranulatmatte	Recovery (energy)	Recycling (pure stream)	3	3	2	1	1	1
METALL								
Stahlblech	Reuse (preparing for)	Reuse (preparing for)	2	1	1	1	1	1
Bewehrungsstahl	Recycling (pure stream)	Recycling (pure stream)	2	1	1	1	1	1

Anhang G

Gesprächszusammenfassung ExpertInnen-Termine

G.1 Feedback Abfallwirtschaft

ExpertInnen-Gespräch zu den entworfenen End-of-Life-Szenarien

02.02.2024

TeilnehmerInnen:

Zwei FachexpertInnen aus dem Bereich Abfall- und Kreislaufwirtschaft
Laura Ding (Interviewerin)

Zusammenfassung der Hauptaussagen:

1. Wirken die getroffenen Annahmen realistisch?

Die Annahmen zu den jeweiligen Entsorgungswegen sind richtig getroffen basierend auf den Erfahrungswerten. Es ist generell zwischen älteren und neueren Materialien zu unterscheiden bezüglich Schadstoffgehalte, besonders bei Dämmstoffen. Ältere Dämmstoffe lassen sich durch die Einstufung als gefährlichen Dämmstoffe durch das AWG nicht recyceln.

2. Wie gut lassen sich Entsorgungswege in Bewertungstools abbilden?
3. Was müsste idealerweise in einer Bewertung der Entsorgungswege berücksichtigt werden?
4. Welche Parameter/ Bezugsgrößen sind passend?

Level(s) wird als Tool im Rahmen der EU-Taxonomy verwendet und weist Unterscheidungen zur in Österreich erforderlichen Erfassung bzgl. Abfallarten auf. Die Zuordnung der anfallenden Abfallmassen zu Bauteilen ist nicht unbedingt notwendig, außer für Wiederverwendung. Es bildet von den betrachteten Tools die Entsorgung zufriedenstellend anhand der passenden Parameter ab. Das DGNB TEC1.6-Tool ermöglicht erfahrungsgemäß viel Spielraum in der Bewertung.

Wichtig ist, genau zu definieren, was bewertet werden soll und den Umfang danach auszurichten (Sollen zum Beispiel Abfälle oder Baustoffe bewertet werden?). Es kann sonst auch leicht zu Verständnisproblemen auf Grund unterschiedlicher Begrifflichkeiten in den Fachbereichen kommen (z.B. Liste mit Bauteilen geht an eine Person, die aber in „Abfallarten“ denkt). Verwertungshäufigkeiten werden bisher noch nirgendwo abgebildet, würde wahrscheinlich große Datenbank erfordern (Bundesabfallwirtschaftsplan EDM enthält Informationen zu Verwertungsanteilen).

5. Welche Materialien wären in Zukunft sinnvoll mit dem Ziel Kreisläufe zu schließen?

Es sind eher Bauweisen relevant, z.B. sortenreine Trennbarkeit, Modularbauweise, monomaterielle Konstruktionen. Schwierig sind grundsätzlich künstliche Baustoffe. Schwerpunkt liegt auf mineralischen Baustoffen in Hinblick auf Recycling (weist größtes Potenzial auf).

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



G.2 Feedback Abschlussworkshop

Abschlussworkshop zur Validierung der Ergebnisse

14.02.2024

Insgesamt waren vier FachexpertInnen aus der Praxis zu folgenden Themen anwesend:

- Anwendung verschiedener Gebäudezertifizierungssysteme
- Beratung hinsichtlich EU-Taxonomy-Konformität von Bauprojekten
- Entwicklung von Bewertungssystemen für die Kreislauffähigkeit von Gebäuden
- Nachhaltigkeitsberatung

Ablauf des Termins:

1. Terminmoderation durch das Industriebau-Institut der TU Wien
2. Vorstellung der Diplomarbeit und der erzielten Ergebnisse durch Laura Ding
3. Feedback und anschließende Diskussion mit den anwesenden FachexpertInnen

Zusammenfassung:

Anschließend werden die getroffenen Aussagen im Rahmen des Workshops thematisch gruppiert aufgeführt.

1. Ergebnisdarstellungen

- Bei einzahligen Ergebniswerten sollte die Bezugsgröße (bspw. massen-, flächen- bzw. volumenbezogen), die Systemversion, nach der ausgewertet wurde immer ersichtlich sein
- Vergleichbarkeit der Endergebnisse ist nicht gegeben, was ebenfalls klar vermerkt werden sollte
- Es sollte eine Gewichtungsskalierung vorgenommen werden, wodurch eine Einordnung, ob das erreichte Ergebnis eines Kriteriums gut oder schlecht ist, ersichtlich wird
- DGNB – TEC1.6:
 - o wird insgesamt als eher unübersichtlich wahrgenommen
 - o These, dass viel Raum zur eigenen Interpretation der Ergebnisse besteht wurde bestätigt
 - o In der neuen Version des Zertifizierungssystems existiert ein erweitertes Tool, welches die Ökobilanzierung und den Material-Ressourcenpass mit dem TEC1.6-Tool verknüpft
- Klimaaktiv/EI10:
 - o Flächengewichteter Indikator
 - o System für den Entsorgungsindikator wurde vor 50 Jahren entwickelt und bildet daher nicht mehr die aktuelle Abfallhierarchie ab
 - o Befindet sich in Überarbeitung
 - o Einstufung der Endergebnisse in zu erreichende Punkte für das Zertifizierungssystem
- BNB - Steckbrief 4.1.4.:
 - o Dateninventar zur Einstufung der Baustoffe hat für Version 2015 noch komplett gefehlt
 - o Einstufung daher stark dem Anwender überlassen
 - o die Nachfolgeversion (BNB-Zirkularitätsindex) wird eine detaillierte Datenbank (~700 Baustoffe) aufweisen
 - o volumen- und massenbezogene Auswertungen möglich

2. Darstellung der massenbezogenen Materialströme für Level(s), DGNB und klimaaktiv/EI10

- Materialfluss-Darstellung wurde als passende Methode für die Darstellung der Baustoffströme empfunden
- Eingangsdaten ermöglichen den Einsatz bereits in frühen Planungsphasen
- Gut verständliche Methode
- Bietet viel Potenzial Optimierungsbereiche zu identifizieren und unterschiedliche Varianten abzubilden
- Verknüpfung mit weiteren Parametern darüber hinaus notwendig
 - o Z.B. Ökobilanzierung
- Skalierung ist schwierig für die Bewertungssysteme auf Grund unterschiedlicher Zusammensetzung/ Betrachtungsgrenzen der Gebäude
- Direkte, automatisierte Schnittstelle an BIM-Modell

3. Umgang mit getroffenen Annahmen

- Informationen sind in BIM-Modellen oft nicht hinterlegt
 - o Rückfragen
 - o Ansonsten Annahmen treffen
- Größte Unsicherheiten bei Verbindungsmitteln und Verbundmaterialien
- Oft zweistufiges Treffen von Annahmen
 - o anhand von Planungsdokumentation und
 - o erneut bei der Einstufung der Zertifizierungssysteme
- Führt zu Ungenauigkeiten durch Interpretationsspielraum
- Ziel der Optimierung durch Zertifizierungskriterien abgeschwächt
- Wissen über fehlende Vergleichbarkeit der Indikatoren ist in Planung nicht verankert und sollte klar kommuniziert werden
- Auswertung stark personenabhängig
 - o Ergebnisse vergleichbarer, wenn Annahmen nur durch eine Person getroffen werden → Kongruenz zwischen Annahmen
 - o Standardisierte Bauteilkataloge mit Voreinstufungen könnten Abweichungen in Annahmen verringern

4. Weitere Themen aus der Diskussion

- es besteht eine Vielzahl an Zirkularitätsbewertungssysteme (Madaster, Concular, ..)
 - o weisen alle verschiedene Indikatoren und Bewertungsaggregationen auf
 - o fraglich wie praktikabel und wie sensitiv die Ergebnisse auf das, was abgebildet werden soll sind
 - o Aussagekraft hinterfragen → Input-Parameter sind oft nicht klar bei Endergebnissen (z.B. in Wettbewerben eigentlich relevant, um Aussage abzuleiten)
- wohin geht die weitere Entwicklung?
 - o Welche Systematik wird sich durchsetzen?
 - o Aktuell befinden sich viele Systeme in der Überarbeitung → viele Tools sind „Work-in-Progress“
 - o Alle Tools sind hilfreich als Unterstützung der notwendigen Transformation der Baubranche in Richtung einer Kreislaufwirtschaft
 - o Flexibilität ist gefragt, da Innovationen und Neuentwicklungen zugelassen werden müssen
 - o Kippunkt der Transformation ist noch nicht erreicht

- Verschiedene Betrachtungsparameter müssen miteinander verknüpft werden
 - o Hohe Komplexität erschwert Abbildung in Normen/ Richtlinien
 - o Optimierung in „allen“ Bereichen eher unwahrscheinlich
 - o Zielgrößen anpassen → Bsp. STB 70% massenbezogen
- Stellenwert der Kreislaufwirtschaft in den Systemen
 - o Bedeutung nimmt zu (Bsp. DGNB 2018 zu 2023)
 - o Mit konventionellen Bauweisen Anforderungen nicht mehr zu erreichen