

Diploma Thesis

Analysis of the potentials of ReUse - Case study on life cycle assessment and costs

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur
of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

DIPLOMARBEIT

Analyse der Potentiale von ReUse - Case Study zu Ökobilanz und Kosten

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Daniel Höllerbauer

Matr.Nr.: 01426238

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Iva Kovacic**

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. **Stefan Schützenhofer**

Institut für Hoch- und Industriebau
Forschungsbereich Integrale Planung und Industriebau
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/234-02, A-1040 Wien

Wien, im Juni 2023

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.



Your knowledge hub

Kurzfassung

Die konventionelle lineare Bauwirtschaft trägt durch den enormen Verbrauch von Primärmaterial und die aufwändige Herstellung von Baumaterial maßgeblich zum weltweiten Ressourcenverbrauch und zum Klimawandel bei. Zudem fallen sehr hohe Mengen an Bau- und Abbruchabfällen an. Die Bauindustrie soll sich in Zukunft jedoch hin zur Kreislaufwirtschaft wandeln, um die Umweltbelastungen zu reduzieren und dem Klimawandel entgegenzuwirken. Dabei stellt die Wiederverwendung von Bauteilen eine vielversprechende Möglichkeit dar, Ressourcen im Kreislauf zu behalten und somit den Verbrauch von Primärrohstoffen sowie die anfallenden Bau- und Abbruchabfälle zu reduzieren. Im Gegensatz zum Recycling kann zudem Energie für aufwändige Wiederaufbereitung der Materialien eingespart werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll beantwortet werden, wie sich die Wiederverwendung in Ökobilanzierung und Kostenermittlung berücksichtigen lässt und welche Auswirkungen sich daraus ergeben.

In der in Österreich gängigen Methode der Ökobilanzierung, dem OI3 Index, sind Formeln zur Berücksichtigung der Wiederverwendung noch nicht implementiert. Auch bei der Kostenermittlung gibt es kaum Anhaltspunkte für die Beurteilung der Gesamtkosten bei Wiederverwendung von Bauteilen. Daher wird zuerst eine umfassende Literaturrecherche zur aktuellen Praxis der Wiederverwendung im Bauwesen durchgeführt. Es werden gängige Methoden der Ökobilanzierung und Allokationsverfahren zur Berücksichtigung der Wiederverwendung sowie die Möglichkeiten zur Kostenermittlung von ReUse Bauteilen analysiert.

Im Hauptteil der Arbeit werden anhand einer Fallstudie die ökonomischen und ökologischen Potentiale von Wiederverwendung im Hochbau untersucht. Zur Bewertung werden zwei Use Cases (ReUse und konventionell) auf Basis eines Entwurfs der Interdisciplinary Student Design Challenge der TU Wien entwickelt.

Im ersten Schritt der Fallstudie wird eine Methode entwickelt, um Wiederverwendung in der Gebäudebewertung des OI3 Index berücksichtigen zu können. In weiterer Folge wird eine umfassende Ökobilanzanalyse durchgeführt, um die Umweltwirkungen der ReUse Prozesse im Vergleich zur konventionellen Bauweise zu bewerten. Die Analyse fokussiert sich auf die im OI3 Index wesentlichen Lebenszyklusphasen Herstellung, Austausch und Entsorgung. Um die wirtschaftlichen Aspekte der Wiederverwendung herauszuarbeiten, wird eine Kostenanalyse der ReUse Bauteile durchgeführt. Die ermittelten Kosten der ReUse Bauteile werden mit den Kosten der konventionellen Bauteile verglichen.

Das Ergebnis der Fallstudie ist ein umfassender Vergleich der betrachteten Use Cases in ökologischer und wirtschaftlicher Hinsicht. Es zeigt sich, dass sich durch Wiederverwendung große ökologische Einsparungen erzielen lassen. Bei den untersuchten Bauteilkosten ist die Variante ReUse zumeist günstiger als die konventionelle, jedoch werden diese Einsparungen, wie in der Literatur beschrieben, durch erhöhte Risiken und zusätzliche Kosten in anderen Kostenbereichen wieder aufgehoben. Für eine umfassende Bewertung müssten diese weiteren Aspekte in Betracht gezogen werden.

Schlüsselbegriffe: Kreislaufwirtschaft, Wiederverwendung, Ökobilanz, OI3-Index, Kostenermittlung

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.



Abstract

The conventional linear construction industry makes a significant contribution to global resource consumption and climate change due to the enormous consumption of primary material and the complex production of building materials. Furthermore, very large quantities of construction and demolition waste are generated. In the future, however, the construction industry should change towards a circular economy in order to reduce environmental pollution and counteract climate change. The reuse of components is a promising alternative to keep resources in circulation and thus reduce the consumption of primary raw materials as well as construction and demolition waste. In contrast to recycling, energy for costly reprocessing of the materials can also be avoided.

In the present work, the main aim is to answer how reuse can be taken into account in the life cycle assessment and cost calculation and what the effects are.

The OI3 Index is the common life cycle assessment method used in Austria, the OI3 index, but formulas for considering reuse have not yet been implemented. When it comes to determining costs there are hardly any points of reference for assessing the overall costs of reusing components. Therefore, a comprehensive literature research on the current practice of reuse in the construction industry is carried out first. Common methods of life cycle assessment and allocation procedures to consider reuse and the possibilities for determining the costs of ReUse components are analyzed.

In the main part of the work, the economic and ecological potentials of reuse in building construction are examined based on a case study. Two use cases (ReUse and conventional) based on a draft from the Interdisciplinary Student Design Challenge at the Vienna University of Technology are developed for evaluation.

In the first step of the case study, a method to consider reuse in the building assessment of the OI3 Index is developed. A comprehensive life cycle assessment is carried out to evaluate the environmental impact of the ReUse processes compared to conventional construction. The focus of the analysis is on the key lifecycle phases in the OI3 Index: manufacture, replacement, and disposal. In order to work out the economic aspects of reuse, a cost analysis of the reuse components is carried out. The determined costs of the ReUse components are compared with the costs of the conventional components.

The result of the study is a comprehensive comparison of the considered use cases from an ecological and economic point of view. Furthermore, the problems encountered and potential for improvement were documented and discussed. It turns out that large ecological savings can be achieved through reuse. In terms of the examined component costs, the reuse variant is usually cheaper than the conventional one, but, as described in the literature, these savings are equalized by increased risks and additional costs in other cost groups. For a comprehensive evaluation, these additional aspects should also be taken into account.

Keywords: circular economy, reuse, life cycle assessment, OI3-Index, costing

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	9
1.1	Problemstellung/Motivation.....	9
1.2	Definition von ReUse.....	10
1.2.1	Upstream und Downstream Betrachtung.....	11
1.3	Stand der Technik – ReUse im Bauwesen.....	12
1.3.1	ReUse in der Praxis.....	12
1.3.2	Hemmnisse und Entwicklungsbedarf.....	13
1.3.3	Maßnahmen und Gesetzgebung betreffend Wiederverwendung in Österreich & EU 14	
1.3.4	Bewertung der Kreislauffähigkeit.....	16
1.3.5	Urban Mining.....	16
1.3.6	Bauteil-Nutzungsdauern im Hochbau.....	17
1.4	ISDEC2030 – Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge.....	18
1.5	Forschungsziel und Forschungsfrage.....	19
2	Vorgehensweise und angestrebte Ergebnisse.....	21
3	Stand der Technik / State of the Art Analyse.....	23
3.1	Ökobilanzierung.....	23
3.1.1	Indikatoren und Kennwerte.....	23
3.1.2	Umweltproduktdeklaration.....	25
3.1.3	Normung.....	25
3.1.4	Quellen/Datenbanken.....	26
3.1.5	Ökoindex OI3.....	28
3.1.6	Allokation.....	29
3.1.7	Betrachtungszeitraum.....	31
3.2	Kostenermittlung.....	31
3.2.1	Recyclingbörsen & Plattfomren.....	34
3.2.2	Normung.....	35
4	Fallstudie: Methodik.....	36
4.1	Bilanzgrenzen.....	36
4.1.1	Räumliche BG und Abschneideregeln.....	36
4.1.2	Zeitliche BG.....	37
4.2	Ökobilanz.....	38
4.2.1	Festlegung des Untersuchungsrahmens und funktionelle Einheit.....	39
4.2.2	Rechenmodell (Sachbilanz).....	39
4.2.3	Allokation und ReUse Faktor.....	40
4.2.4	Datenerhebung (Sachbilanz).....	40
4.2.5	OI3 Ökoindex (Wirkungsabschätzung).....	41
4.2.6	Lebenszyklusmodule und -szenarien.....	43

4.2.7	Nutzungsdauern von Bauteilen.....	43
4.2.8	Weitere Annahmen und Festlegungen betreffend die Methodik.....	44
4.3	Kostenermittlung.....	46
4.3.1	Modellbildung.....	47
4.3.2	Datenerhebung.....	48
4.3.3	Hintergrundinformationen zu Bauteilkosten.....	48
4.4	Referenzobjekt.....	49
4.4.1	Objektbeschreibung und Mengenermittlung.....	49
4.4.2	Use Case 1 (ReUse).....	51
4.4.3	Use Case 2 (konventionell).....	52
5	Demonstrative Berechnung anhand eines Fallstudien Elements.....	53
5.1	Beispielhafte OI3-Ermittlung.....	53
6	Fallstudie: Ergebnisse Ökobilanz.....	56
6.1	Ergebnisse Use Case 1 (ReUse).....	56
6.1.1	Gesamtergebnis OI3 Index.....	57
6.1.2	Gesamtergebnis Ökoindikatoren.....	58
6.1.3	Bauteilergebnisse.....	58
6.2	Ergebnisse Use Case 2 (konventionell).....	60
6.2.1	Gesamtergebnis OI3 Index.....	61
6.2.2	Gesamtergebnis Ökoindikatoren.....	61
6.2.3	Bauteilergebnisse.....	62
7	Fallstudie: Ergebnisse & Use Case Vergleich Kostenermittlung.....	64
7.1	Gebäudeebene.....	64
7.2	Bauteil 7 – Doppelboden.....	64
7.3	Bauteil Fenster 1-3.....	66
7.3.1	Variante ReUse Fenster „Gesamt“.....	66
7.3.2	Variante ReUse „nur Flügel“.....	67
7.3.3	Variante ReUse Fenster „Gesamt mit Glastausch“.....	69
7.4	Bauteil Stütze 1 – Rotorblätter.....	70
7.5	Bauteil 25 – windbrechende Glasfassade.....	72
7.6	Bauteil Träger 1 – Stahl-Beton-Verbund.....	73
8	Variantenvergleich und Schlussfolgerungen.....	74
8.1	Vergleich OI3 Index - Gebäudeebene.....	74
8.2	Vergleich Ökoindikatoren - Gebäudeebene.....	77
8.3	Vergleich OI3 und Ökoindikatoren - Bauteilebene.....	78
8.3.1	Bauteil 7 – Doppelboden.....	78
8.3.2	Bauteil 25 – windbrechende Glasfassade.....	78
8.3.3	Bauteil Stütze 1 – Außenstütze (Rotorblatt).....	79
8.3.4	Bauteil Träger 1 – Stahl-Beton-Verbund Träger.....	80
8.3.5	Bauteil Fenster 1-3.....	80

8.4	Vergleich OI3 – 100:0 und linear	80
8.5	Schlussfolgerungen - Modulebene	81
8.5.1	Modul A4 – Transporte zur Baustelle	81
8.5.2	Modul A5 – Errichtung/Einbau	82
8.5.3	Modul D – Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling.....	83
8.6	Schlussfolgerungen Kosten	86
8.7	Angetroffene Problemstellungen und Anwendungsschwierigkeiten.....	87
8.7.1	Intransparente Daten	87
8.7.2	Inkonsistente Daten	87
8.7.3	Fehlerhafte Daten.....	87
8.7.4	Fehlende Daten	87
8.7.5	GWP total	88
8.7.6	Modul D.....	89
9	Conclusio	90
9.1	Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothese.....	90
9.1.1	Hypothese.....	90
9.1.2	Forschungsfragen Ökoindex OI3	90
9.1.3	Forschungsfragen Kostenermittlung.....	91
9.2	Ausblick.....	91
	Abkürzungsverzeichnis.....	93
	Literaturverzeichnis.....	94
	Abbildungsverzeichnis.....	97
	Tabellenverzeichnis.....	98
	Anhang A – Bauteilliste.....	99
	Anhang B – Materialdatenliste.....	103
	Anhang C – Bauteil Berechnungen OI3	107
	Anhang D – Kostengrundlagen	149
	Anhang E – Auszug ISDEC Projektmappe „Zwischenraum“	150

1 Einleitung

1.1 Problemstellung/Motivation

Die Bauwirtschaft trägt zu einem maßgeblichen Teil zum Ressourcenverbrauch und zum Klimawandel bei. 38% der weltweiten Kohlendioxid (CO₂) Emissionen können dem Bausektor zugeordnet werden (UNEP, 2020). Graue CO₂ Emissionen (en.: embodied carbon) von Gebäuden – d.h. Emissionen der Herstellung und Verwendung von Materialien für die Gebäudeerrichtung und Renovierung – stellen 11% der gesamten energie- und prozessbezogenen CO₂ Emissionen dar (IEA, 2019). Das Abfallaufkommen von Bau- und Abbruchabfällen ohne Aushubmaterial liegt bei 16% des Gesamtabfallaufkommens, bei Berücksichtigung des Aushubmaterials bei 75% (BMK, 2021). Mit 14% am gesamten österreichischen Rohmaterialverbrauch ist dem Bauwesen außerdem der größte Material-Fußabdruck zuzuordnen (BMK, 2020).

Die in der Literatur angeführten Prozentwerte stützen sich häufig auf unterschiedliche Bilanzgrenzen und Rahmenbedingungen, wodurch sich eine gewisse Bandbreite der Angaben ergibt. Meist lassen sich die den Prozentwerten zu Grunde liegenden Informationen wie räumliche und zeitliche Begrenzung, Betrachtung von grauer Energie/grauen Emissionen (Material) oder roter Energie/roten Emissionen (Nutzung) oder die Summe daraus, Betrachtung von Primärenergie oder Endenergie, Bezug auf den gesamten Bausektor inkl. Tiefbau oder nur das Gebäude, Miteinbezug von Aushubmaterial bei Abfallangaben nicht oder nur schwer herausfiltern. Deshalb wird in Tabelle 1.1 ein weiterer Überblick über die in unterschiedlichen Quellen angeführten Umweltwirkungen, die mit dem Bauwesen in Verbindung gebracht werden, gegeben.

Um Abfall und den Verbrauch natürlicher Ressourcen sowie das Anfallen weiterer produktionsbedingter Emissionen zu reduzieren, steht unter anderem die Möglichkeit einer Wiederverwendung (ReUse) von Baustoffen im Sinne der Kreislaufwirtschaft (CE, en.: Circular Economy) zur Verfügung. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung steht in der Abfallhierarchie an zweiter Stelle nach der Abfallvermeidung und vor dem Recycling (vgl. AWG 2002 §1). Laut einer Studie der (Ellen MacArthur Foundation, 2021) könnten Emissionen durch die Anwendung von Strategien der Kreislaufwirtschaft für die Materialien Zement, Stahl, Kunststoff und Aluminium um bis zu 40% reduziert werden.

Bestrebungen zur Wiederverwendung von (lastabtragenden) Bauteilen sind jedoch nur sinnvoll, wenn diese systematisch und im industriellen Maßstab Anwendung finden. Dazu müssen jedoch Änderungen in Prozessen wie Materialbeschaffung, Planung (Design), Konstruktions-technologien und Ökobilanzierung (Bewertung der Umwelteinflüsse) herbeigeführt werden (Fivet & Brütting, 2020).

Weiters fehlen weitgehend noch angemessene Methoden und Werkzeuge zur Bewertung der Wiederverwendung von Baukomponenten, z.B. hinsichtlich der Umwelt- und Kostenwirkungen. Um die Wirkungen von ReUse mess- und vergleichbar zu machen, müssen die bestehenden Methoden der ökologischen (und ökonomischen) Lebenszyklusanalyse angepasst werden (De Wolf et al., 2020; Fivet & Brütting, 2020).

An einem Fallbeispiel der Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge (IS-DEC2030) werden in gegenständlicher Arbeit Kosten und Ökobilanzierung hinsichtlich Bauteil-

wiederverwendung untersucht. Bei der ISDEC2030 handelt es sich um einen interdisziplinären Studentenwettbewerb der TU Wien bei dem die Entwicklung innovativer und nachhaltiger Lösungen für das Bauwesen im Vordergrund steht.

Tabelle 1.1: Gegenüberstellung der Umweltwirkungen des Bauwesens in % an der Gesamtwirkung der jeweiligen Kategorie aus unterschiedlichen Quellen

Quelle	CO ₂ Emissionen		Energieverbrauch		Ressourcenverbrauch	Abfallaufkommen
	Graue	Rote	Graue	Rote		
(BMK, 2020)	8% (in Österreich)	-	-	-	14% (in Österreich)	-
(BMK, 2021)	-	-	-	-	-	16% (in Österreich, ohne Aushub)
(IEA, 2019)	11%	-	-	-	-	-
(IEA, 2022)	6%	27%	4% (Endenergie)	30% (Endenergie)	-	-
(UNEP, 2020)	10%	28%	5% (Endenergie)	30% (Endenergie)	-	-
(EU Green Deal, 2019)	-	-	40%		-	-
European Commission (EC) ¹	5-12%	-	-	-	50%	35%
(Saghafi & Hosseini Teshnizi, 2011)	40-50%		30-40% (Primärenergie)		40-50%	-
(WEF, 2016)	25-40%		-		„largest global consumer of raw material“	-
(Yeheyis et al., 2013)	-		-		40%	20-30% (der Siedlungsabfälle)
(Thelen et al., 2018)	-		-		40% (global)	25-30% (EU)

1.2 Definition von ReUse

Gemäß dem Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002) ist Wiederverwendung „jedes Verfahren, bei dem Produkte sowie Bestandteile, die keine Abfälle sind, wieder für denselben Zweck verwendet werden, für den sie ursprünglich eingesetzt und bestimmt waren“. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung wird dort definiert als „jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder

¹ https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en; European Commission, abgerufen am 19.05.2023

Reparatur, bei dem Produkte sowie Bestandteile von Produkten, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wiederverwendet werden können“.

Eine Wiederverwendung kann im Bauwesen auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Es können ganze Gebäude(teile), Bauteile oder einzelne Materialien wiederverwendet werden. Die Wiederverwendung von Bauteilen setzt in den meisten Fällen eine Vorbereitung voraus, um das Produkt an seinem neuen Verwendungsort bzw. in seinem neuen Verwendungszweck einsetzen zu können. Vor allem der Wiederverwendung lastabtragender Bauteile wird ein hohes Potential beigemessen, da diese zumeist verhältnismäßig große Massen bzw. Volumina im Gebäude aufweisen und/oder die Herstellung besonders energieintensiv ist (Fivet, 2019).

Ein klarer Unterschied besteht zum Recycling, bei welchem i.d.R. eine mechanische, physikalische oder chemische Transformation des ursprünglichen Materials stattfindet. Diese ist in den meisten Fällen energieintensiver als die Vorbereitung zur Wiederverwendung.

1.2.1 Upstream und Downstream Betrachtung

Aus planerischer Sicht können grundsätzlich zwei Herangehensweisen betreffend ReUse verfolgt werden (Fivet & Brütting, 2020):

- „Design for Upstream ReUse“ und
- „Design for Downstream ReUse“.

„Design for Upstream ReUse“ stellt dabei den Anwendungsfall dar, einen Gebäudeteil, ein Bauteil oder Material aus einem vorhergehenden Lebenszyklus wieder zu verwenden. Dabei können Gebäude- oder Bauteile im besten Fall direkt in ihrem Originalsystem - z.B. Tragwerksstrukturen nach einer Gebäudeentfrachtung – wieder verwendet werden (sog. „on-site-ReUse“). Eine weitere Möglichkeit bietet „off-site-ReUse“, wobei Komponenten aus ihrem alten System ausgebaut und in einem neuen System andernorts wieder eingebaut werden.

„Design for Downstream ReUse“ bedeutet hingegen, dass die Planung auf eine künftige Verwendung von Gebäude- bzw. Bauteilen in einem nächsten Lebenszyklus abzielt. D.h. die Komponenten des Gebäudes sollten bereits so geplant und konstruiert sein, dass Reparatur, Ersatz/Austausch, Ausbau, Transport und Wiedereinbau einfach durchführbar sind. (Fivet, 2019) nennt folgende fünf Schlüsselanforderungen an wiederverwendbare Konstruktionen: Dauerhaftigkeit (durability), Vielseitigkeit (versatility), Modularität (modularity), Reversibilität (reversability) und Anpassungsfähigkeit (adaptability).

Das „Design for Downstream ReUse“ beeinflusst dabei maßgeblich das „Design for Upstream ReUse“. Je genauer für ein Gebäude der Rückbau bereits bei Planung und Errichtung mitbedacht ist, desto einfacher fällt später der Rückbau und die Implementierung der einzelnen Komponenten in den nächsten Lebenszyklus.

Der Zusammenhang zwischen Ökobilanzierung und „Design for Upstream/Downstream ReUse“ ist in Kapitel 3.1.6 näher erläutert.

1.3 Stand der Technik – ReUse im Bauwesen

1.3.1 ReUse in der Praxis

Die Praxis des Bauwesens, insbesondere des Hochbaus, wird nach wie vor durch eine grundsätzlich lineare Materialwirtschaft nach dem Prinzip „Take-Make-Use-Dispose“ geprägt. Während Recycling im Bauwesen, vor allem im Tiefbau², bereits besser etabliert ist, stellt die Anwendung von ReUse noch immer eine Nischenlösung dar. In Nord-West-Europa wird von einer effektiven Wiederverwendung bei Bau- und Abbruchtätigkeiten von unter 1% ausgegangen (Deweerd & Mertens, 2020). Die Wiederverwendungsquote in Österreich liegt schätzungsweise bei weit unter 1% (Salem, 2020).

Die Hemmnisse bei der Verwendung von Sekundärbauteilen sind vielfältig und reichen von logistischen Herausforderungen betreffend Lagerung und Transport über die Rechtssicherheit (Statik, Gewährleistung, Haftung etc.) bis hin zur Marktverfügbarkeit. Siehe dazu auch Kapitel 1.3.2.

Jedoch lässt sich auch beim Thema ReUse ein Aufwärtstrend erkennen. Es wurden im deutschsprachigen Raum bereits grundlegende Studien und Forschungsprojekte zum Thema ReUse durchgeführt. In der Schweiz wurde unter anderem bereits ein Pilotprojekt zum Potenzial zur systematischen Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten im regionalen Kontext durchgeführt. Dabei wurde ein Gebäude aus 100% Rückbaukomponenten und (Bau-)Abfällen geplant (John & Stark, 2021).

Ein weiteres Pilotprojekt in der Schweiz, Winterthur, wurde im Jahr 2021 erfolgreich umgesetzt. Das Projekt „Kopfbauhalle K.118“ umfasst eine dreigeschossige Aufstockung einer Schreinerei und besteht zu einem maximal möglichen Anteil aus wiederverwendeten Materialien. Die Umsetzung sowie Auswirkungen werden im Buch „Bauteile wiederverwenden: ein Kompendium zum zirkulären Bauen“ (Stricker et al., 2021) beschrieben und dokumentiert. (De Wolf et al., 2020) untersuchen die Anwendung unterschiedlicher Allokationsmethoden für Ökobilanzierungen am Beispiel des Projektes „Kopfbauhalle K.118“.

Auch in Österreich gibt es Bestrebungen, Wiederverwendung von Baumaterialien und Kreislaufwirtschaft zu fördern. Es wurden bereits die Grundlagen für ein umfassendes White Paper zur Implementierung einer Kreislaufwirtschaft im Bauwesen zusammengestellt. Zur Schaffung eines Normen- und Regelwerks wird die Umsetzung der Grundanforderung 7 „nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ der Bauproduktenverordnung in einer OIB Richtlinie 7 von Experten empfohlen (Achatz et al., 2021). Die Ausarbeitung eines Umsetzungsdokuments wurde bereits begonnen und wird mit 2023 erwartet (BMK, 2022).

Die Erfassung des Baubestandes stellt eine wesentliche Säule für den Einsatz von gebrauchten Bauteilen dar. Die digitale Erfassung und Katalogisierung von Gebäuden (z.B. materieller Gebäudepass) und zur Verfügung Stellung in digitalen Plattformen, soll die Erhöhung von ReUse- und Recyclingraten fördern. Auch hier gibt es laufend neue Forschungen, wie zum Beispiel das Forschungsprojekt BIM Stocks der TU Wien (IBPM), welches Ende 2022 abgeschlossen wurde.

² <https://www.energy-innovation-austria.at/article/kreislauffaehige-massivbaustoffe/>; Klima- und Energiefonds, abgerufen am 24.03.2023

1.3.2 Hemmnisse und Entwicklungsbedarf

Fehlende Standardisierung und Systematisierung stellen ein Problem bei der massentauglichen Anwendung von ReUse dar. Die Wirkungen von ReUse-fähigen Designs und Konstruktionen lassen sich aufgrund langer Bauteillebensdauern nicht sofort erkennen und erproben. Baukonstruktionen waren in den letzten Jahrzehnten, vor allem aufgrund der Entwicklungen in der Massivbauweise und Kompositbauweise, weitgehend wenig rückbaufreundlich gestaltet. So sind beispielsweise in Häusern des Baujahrs 1900 bis zu 90% wiederverwendbar, wohingegen sich bei Häusern zwischen 1970 und 1990 weniger als 10% wiederverwenden lassen.³

Als einige der maßgebendsten Hemmnisse für die Wiederverwendung von Sekundärmaterial und -bauteilen werden

- rechtliche Unsicherheiten,
 - z.B. betreffend Haftung und Gewährleistung oder
 - Produktzulassungen,
- der Faktor Zeit,
 - da ein selektiver Rückbau meist zeitaufwändiger ist als ein Abriss,
- Wirtschaftlichkeit,
 - vor allem unter dem Aspekt günstiger Primärmaterialien und Entsorgung,
 - zusätzlicher Kosten für ReUse Material und
 - eines fehlenden Marktes,
- Schadstoffe,
- die Erhöhung der Komplexität des Bau- und Planungsprozesses (wie z.B. im Planungsprozess K.118 ersichtlich),
- das Imageproblem, weil sekundäre Baustoffe als minderwertig angesehen werden,
- sowie fehlende Expertise und Fachwissen

angeführt (John & Stark, 2021; Salem, 2020).

Die Kosten von ReUse Baustoffen sind im Allgemeinen von sehr vielen Faktoren abhängig, wie Verfügbarkeit, Angebot & Nachfrage, Lagerung, Transport, Zustand, zusätzliche Labor- & Schadstoffanalysen etc., die individuell beurteilt werden müssen. Aus derzeitiger Sicht scheint ReUse im größeren Maßstab nicht wirtschaftlich (vgl. (John & Stark, 2021) (Salem, 2020)). Fehlende wirtschaftliche Anreize für die Stakeholder mindern die Nachfrage, und ohne Nachfrage kann kein Absatzmarkt entstehen. Aufgrund des noch wenig entwickelten Marktes für ReUse Baustoffe sind daher Lieferketten unsicher und es sind kaum Informationen zu Angebot und Nachfrage. Außerdem fehlt es dadurch an tragfähigen Kostendaten und Benchmarks.

Weiters ist die Datenlage und Normierung zur Ermittlung grauer Emissionen in Ökobilanzierungen in einer Kreislaufwirtschaft aktuell noch gering. Anhand eines neu entwickelten Modells für Bauteile untersuchten (van Stijn et al., 2021) wie mehrere Lebenszyklen im Zuge einer „Circular Economy Life Cycle Assessment“ (CE-LCA) berücksichtigt werden können. Auch (De Wolf

³ <https://www.energie-bau.at/bauen-sanieren/2366-urban-mining> autark.cc, abgerufen am 14.12.2022

et al., 2020) und (Joensuu et al., 2022)) bewerten diverse gängige Allokationsmethoden, eine einheitliche und allgemeingültige Vorgehensweise gibt es jedoch nicht. Die Einbindung von Ansätzen der Kreislaufwirtschaft in die Ökobilanzierung von Gebäuden macht diese deutlich komplexer. Darüber hinaus ist viel Wissen über den Zusammenhang des Designs und dessen Umweltleistung erforderlich (van Stijn et al., 2021).

1.3.3 Maßnahmen und Gesetzgebung betreffend Wiederverwendung in Österreich & EU

Die Europäische Union möchte eine Kreislaufwirtschaft stärken und fördern. Dazu werden durch die öffentliche Hand Maßnahmen, Gesetze und Richtlinien zu diesem Thema erlassen. In Bezug auf konkrete Ziele oder Vorgaben zur Wiederverwendung sind die Texte jedoch zurückhaltend.

EU-Taxonomie Verordnung⁴

Den neuen Rahmen für nachhaltige Investitionen bildet die EU-Taxonomie Verordnung (Verordnung (EU) 2020/852), mit dem Ziel einer klimaneutralen EU bis 2050 und Reduktion der Treibhausgasemissionen um 55% bis 2030. Die Taxonomie Verordnung gibt klare Definitionen von nachhaltigen Wirtschaftstätigkeiten. Durch die Bewertung der Investitionen sollen umweltfreundliche Unternehmen profitieren.

Die Taxonomie Verordnung soll die Richtung zur Erreichung der EU-Klima- und Energieziele sowie der Ziele des European Green Deal vorgeben. Die konkreten Kriterien zur Bewertung, ob eine Wirtschaftsaktivität nachhaltig ist, werden in den technischen Bewertungskriterien (Technical Screening Criteria) auch betreffend Baugewerbe und Immobilien ausgearbeitet. Derzeit liegen technische Bewertungskriterien für die ersten zwei („Klimaschutz“ und „Anpassung an den Klimawandel“) von sechs Umweltzielen der EU-Taxonomie vor. Die Ausarbeitung der technischen Bewertungskriterien der weiteren vier Umweltziele, darunter auch das Ziel „Wandel zu einer Kreislaufwirtschaft“, ist derzeit in Finalisierung und soll im Laufe des Jahres 2023 in Kraft treten. Der Entwurf für das Umweltziel „Wandel zu einer Kreislaufwirtschaft“⁵ sieht bezüglich Wiederverwendung bei Neubauten vor, dass

- mindestens 90 Massen-% von ungefährlichen Bau- und Abbruchabfällen der Vorbereitung zur Wiederverwendung oder dem Recycling zugeführt werden,
- Design-for-Adaptability und -Deconstruction in Planung und Ausführung berücksichtigt werden,
- der Einsatz von Primärrohstoffen durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen minimiert wird, wobei Grenzwerte für den Anteil an Primärrohstoffen in Massen-% für die drei massenintensivsten Materialkategorien vorgegeben werden,
- digitale Gebäudepässe erstellt werden.
- Bei Sanierungen müssen zudem 50% des Originalgebäudes erhalten bleiben.

Abfallrahmenrichtlinie und Abfallwirtschaftsgesetz

⁴ https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_en#related-links; Europäische Kommission, abgerufen am 15.03.2023

⁵ https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13237-Nachhaltige-Investitionen-EU-Umwelttaxonomie_de; Europäische Kommission, abgerufen am 06.04.2023

Laut der Abfallrahmenrichtlinie der EU (ARRL 2008) ist bis 2020 die Erreichung einer Verwertungsquote von nicht gefährlichen Bau- und Abbruchabfällen, welche die Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling und sonstige stoffliche Verwertung beinhaltet, von mindestens 70 % festgelegt.

In Österreich wird diese Quote zwar bereits seit längerem erreicht, jedoch gibt es auch Kritik an den Zahlen. Laut dem Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) könne die Produktqualität zumeist nicht beibehalten werden (Downcycling). Weiters seien die massenbezogenen Quoten nicht immer aussagekräftig, da auch weniger massenintensive Baustoffe wie Kunststoffe oder Metalle eine teils erhebliche Umweltwirkung haben (IBO, n.d.)

Die Wiederverwendung und die Vorbereitung zur Wiederverwendung soll gemäß ARRL durch die Mitgliedsstaaten gefördert werden. Dabei werden Maßnahmen wie die Einführung von Wiederverwendungs- und Reparaturnetzwerken, Einsatz wirtschaftlicher Instrumente, Beschaffungskriterien und Einführung quantitativer Ziele vorgeschlagen (ARRL 200 Artikel 11 Abs 1). Die nationale Umsetzung der ARRL erfolgt im Abfallwirtschaftsgesetz (AWG 2002). Weiters ist ein Bundesabfallwirtschaftsplan zu erstellen, welcher konkrete Vorgaben zur Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung, des Recyclings und der sonstigen Verwertung von Abfällen beinhaltet.

Bundes-Abfallwirtschaftsplan

Der Bundes-Abfallwirtschaftsplan bildet eine grundlegende Basis für die Abfallwirtschaft und gibt Maßnahmen und Strategien zur Umsetzung der Vorgaben des AWG an. Ein aktualisierter Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2023 inklusive einem Abfallvermeidungsprogramm liegt in drei Teilen vor.

Bauproduktenverordnung (BPV)

Die Grundanforderung 7 der BPV (Verordnung 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) umfasst die „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ und ist für die Wiederverwendung von Bauprodukten daher besonders relevant. Diese besagt, dass Bauwerke derart entworfen, errichtet und abgerissen werden müssen, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere folgendes gewährleistet ist:

- a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wieder verwendet oder recycelt werden können;
- b) das Bauwerk muss dauerhaft sein;
- c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.

Die BPV wird derzeit überarbeitet, vor allem unter dem Aspekt der Ziele des EU Green Deal (EK, 2022). Die Aspekte der Nachhaltigkeit und Grundanforderung 7 sollen darin künftig stärker verfolgt werden. Eine detaillierte Aufarbeitung der die Wiederverwendung angehenden Teile und Änderungen wird in dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführt.

Mit der Erarbeitung einer entsprechenden OIB-Richtlinie zur Umsetzung der Grundanforderung 7 der Bauproduktenverordnung wurde ebenfalls bereits begonnen, die Fertigstellung ist 2023 geplant (BMK, 2022).

Weitere die Wiederverwendung betreffende Gesetztestexte finden sich z.B. in der Recycling-Baustoffverordnung (RBV). Konkrete Umsetzungsmaßnahmen und Zieldefinitionen für Wiederverwendung und Vorbereitung zur Wiederverwendung im Bauwesen gibt es in der österreichischen Gesetzgebung derzeit noch nicht.

Smart City Strategie Wien

Die Stadt Wien arbeitet an Anforderungen an die Kreislauffähigkeit von Gebäuden. Federführend in Österreich ist hier die Baudirektion der Stadt Wien, die im Rahmen der Wirtschaftsstrategie konkrete Ziele entwickelt. Eine der Vorgaben für das Bauwesen ist, bis 2050 80% der Bauteile und Materialien von Abrissgebäuden und Großumbauten weiter- oder wiederzuverwenden (Magistrat der Stadt Wien, 2019).

Gebäude-Bewertungssysteme

Nachhaltigkeitszertifikate gewinnen immer mehr an Bedeutung. Diese können neben Maßnahmen der öffentlichen Hand ebenso zur verstärkten Anwendung von Design-for-Recycling und ReUse sowie den Einsatz von Sekundärkomponenten beitragen (Allesch et al., 2019). Jedoch hat das Thema Wiederverwendung in den Zertifizierungssystemen derzeit nur eine geringe Bedeutung.

Viele der Zertifizierungssysteme sind aktuell dabei, die Anforderungen der EU-Taxonomie zu übernehmen und individuell zu erweitern.

1.3.4 Bewertung der Kreislauffähigkeit

Bereits in der Planung wird der Grundstein für kreislauffähige Gebäude gelegt. Um künftig Gebäude am Ende ihres Lebenszyklus als Rohstofflager anstatt als Abfall behandeln zu können, müssen diese entsprechend gestaltet sein.

Um zu wissen, wie sich das Gebäude in entsprechenden Szenarien verhält, muss die Kreislauffähigkeit zuerst quantifiziert und bewertet werden. Dazu stehen quantitative und qualitative Methoden zur Verfügung.

In dieser Arbeit wird vorwiegend die quantitative Ökobilanzmethode betrachtet. Neben der quantitativen Ökobilanz stehen auch qualitative Methoden, wie in Österreich der Entsorgungsindikator oder in Deutschland der Verwertungsindikator, zur Verfügung. Diese qualitative Bewertung richtet den Fokus auf die Qualität der Entsorgungswege und der aus den Altmaterialien hergestellten Produkte.⁶

1.3.5 Urban Mining

Das anthropogene Materiallager, welches sich durch die kontinuierliche Nutzung natürlicher Ressourcen aufgebaut hat, erreicht mittlerweile die Größenordnung der Reserven natürlicher Lagerstätten (rund 400 Tonnen Material pro Person). Eine der Grundvoraussetzungen für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft ist die Nutzung von Sekundärrohstoffen aus dieser gebauten Umwelt. Der Begriff Urban Mining ist dabei weit gespannt und umfasst die integrale Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers. Dabei sind die Identifizierung anthropogener Lagerstätten, die Quantifizierung der darin enthaltenen Sekundärrohstoffe sowie die technische und wirt-

⁶<https://www.ibo.at/wissensverbreitung/ibomagazin-online/ibo-magazin-artikel/data/die-kreislauffaehigkeit-berechnen>; IBO – Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, 08.07.2020, abgerufen am 12.03.2023

schaftliche Betrachtung von Rückgewinnungsvarianten inkludiert. Erheblicher Forschungsbedarf besteht hier weiterhin vor allem in Bezug auf die Nutzbarkeit des Materiallagers als Rohstoffquelle. (Allesch et al., 2019)

In diesem Zusammenhang soll auch die Wichtigkeit der Baudokumentation, z.B. i.S. eines materieller Gebäudepasses, festgehalten werden. Im Rahmen des Forschungsprojekts BIMaterial ist zudem ein BIM-basierter materieller Gebäudepass (MGP) entstanden. Dieser stellt ein Werkzeug zur qualitativen und quantitativen Bewertung, Optimierung und Inventarisierung der materiellen Zusammensetzung sowie des ökologischen Fußabdruckes eines Gebäudes dar. Die Funktionen des MGP sind umfangreich. Er ist Planungs- und Optimierungswerkzeug hinsichtlich Materialeffizienz und Rückbau, Dokumentation der notwendigen materiellen Informationen für die End of Life (EoL) Phase und dient als urbaner Rohstoffkataster auf Stadt-Ebene (Kovacic et al., 2019).

In einem weiteren Forschungsprojekt BIMStocks der TU Wien, des Forschungsbereichs Integrale Planung und Industriebau, soll die materielle Zusammensetzung des Baubestands digital erfasst und basierend darauf die Modellierung eines Sekundärrohstoffkatasters auf Stadt-Ebene zur Vorhersage von Recyclingpotentialen zur Verfügung gestellt werden.

In Österreich wird Urban Mining derzeit nur von wenigen und meist staatlich geförderten Unternehmen durchgeführt. Die Hauptakteure sind derzeit Materialnomaden und BauKarussell, welche unter anderem Rückbauten und Vermittlung von Bauteilen durchführen aber auch weitere Dienstleistungen wie Ausschreibung und Planung von verwertungsorientiertem Rückbau anbieten.

1.3.6 Bauteil-Nutzungsdauern im Hochbau

Beim Thema ReUse spielen Bauteil-Nutzungsdauern eine tragende Rolle. Im Grunde ist Wiederverwendung von Bauteilen oder Materialien eine Verlängerung deren Nutzungsdauer.

Sowohl für die Lebenszykluskostenberechnung (LCC) als auch die Ökobilanzierung (LCA) ist die Lebensdauer von Bauteilen eine wichtige Eingangsgröße (Bahr, 2022).

Grundsätzlich kann zwischen zwei Lebensdauerarten unterschieden werden, der technischen und der wirtschaftlichen Lebensdauer. Die technische Lebensdauer ist erreicht, wenn ein Bauteil seine Funktion nicht mehr erfüllen kann und ausfällt bzw. ersetzt werden muss. Die wirtschaftliche Lebensdauer beschreibt jenen Zeitraum, in dem das Bauteil sinnvoll ökonomisch genutzt werden kann. Sie ist meist abhängig von Nutzeranforderungen und der Anpassungsfähigkeit des Bauteils. In den meisten Fällen ist die wirtschaftliche Lebensdauer kürzer als die technische (Bahr, 2022). Vor allem bei immer kürzeren Nutzungszyklen und höheren Ansprüchen an die Flexibilität von Gebäuden ist dieser Aspekt essenziell. Die Differenz zwischen ökonomischer und technischer Lebensdauer kann für die Wiederverwendung genutzt werden. Eine Reparatur kann die technische Lebensdauer verlängern.

Mögliche Quellen für Nutzungsdauerangaben sind unter anderem der Nutzungsdauerkatalog des IBO⁷, des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB)⁸, das Baukosteninformationszent-

⁷ http://www.nachhaltigkeit-massiv.at/wp-content/uploads/images-nachhaltigkeit-massiv/AP03_Nutzungsdauer_Endbericht_20091022.pdf; IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH, 22.10.2009, abgerufen am 16.03.2023

rum (BKI) oder diverse weitere Veröffentlichungen. Große Schwankungsbreiten in den Angaben von Bauteilnutzungsdauern in verschiedenen Quellen erschweren jedoch eine zielsichere Anwendung, wenn es um das Thema Prognosen (z.B. von Kosten oder Umweltwirkungen) und Lebenszyklusbetrachtungen geht, weshalb (Bahr, 2022) einen Ansatz zur Berechnung spezifischer Lebensdauern in Abhängigkeit von Einflussfaktoren vorschlägt.

1.4 ISDEC2030 – Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge

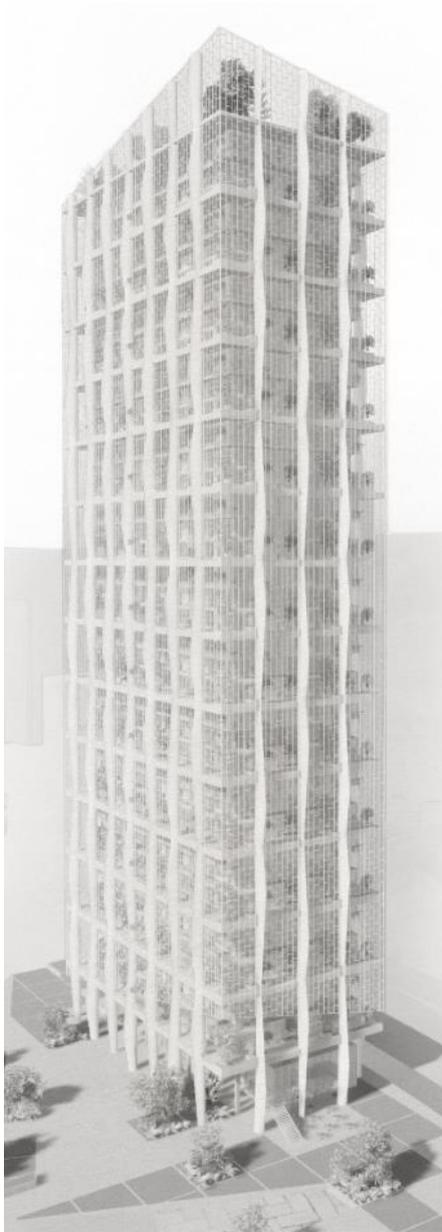


Abb. 1.1: 3-D Rendering - Quelle:
(Projekt 'Zwischenraum -
Raum für Nachbarschaft',
2022)

Im Sommersemester 2022 fand zum zweiten Mal die „Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge - ISDEC2030“ statt. Bei diesem Studentenwettbewerb widmen sich Architektur- und Bauingenieur-Studenten der Entwicklung von innovativen und nachhaltigen Lösungen für das Bauingenieurwesen. Der Wettbewerb folgte dem Motto „Circular Spire“ und beinhaltete die Konzeptionierung eines multifunktionellen Büro- und Gewerbegebäudes unter den Aspekten zirkuläres Bauen, Nachhaltigkeit, Ressourceneffizienz und Flexibilität. In der Planung sollten unter anderem Themen wie ressourcenschonende und kreislauforientierte Gebäudeplanung, Wiederverwendung, Wiederverwertung und Minimierung von Bauabfällen sowie innovative Ansätze für den Umgang des End-of-Life (EOL) der Gebäudestruktur berücksichtigt werden (ISDEC2030, 2022).

Für die gegenständliche Diplomarbeit wurde eines der teilnehmenden Teams sorgfältig ausgewählt. Dazu wurden Präsentations-, Korrektur- und Zwischentermine der mit dem Wettbewerb einhergehenden Lehrveranstaltung besucht. Zur Auswahl des Projekts wurden Aspekte wie Planungsqualität, Art und Umfang der wiederverwendeten Bauteile und Realitätsnähe bzw. Umsetzbarkeit berücksichtigt. Da es sich um eine studentische Konzeptplanung eines fiktiven Projektes handelt, liegen der Planung nichtsdestotrotz diverse Unschärfen zu Grunde. Die Planung kann nicht mit einer realen Entwurfs- bzw. Ausführungsplanung verglichen werden.

Die Verwendung des gewählten Projekts erfolgt im Einverständnis mit dem Institut für Hoch- und Industriebau, Fachbereich Integrale Planung und Industriebau sowie der ausgewählten Studentengruppe (Projekt 'Zwischenraum -

⁸ <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>; BBSR, 22.02.2017, abgerufen am 16.03.2023

Raum für Nachbarschaft', 2022).

Die Plandaten und Unterlagen wurden vom Institut bzw. der ausgewählten Studentengruppe zur Verfügung gestellt.

Das Aufmaß und die Massen wurden aus den Plandaten bzw. dem ARCHICAD Modell und teilweise computerunterstützt ermittelt. Die Aufbereitung und Verarbeitung der Daten erfolgten in Excel. Wenn notwendig wurden Informationen oder Daten ergänzt bzw. geändert.



Abb. 1.2: Schnitte und Ansicht
Quelle: (Projekt 'Zwischenraum - Raum für Nachbarschaft', 2022)

1.5 Forschungsziel und Forschungsfrage

In dieser Diplomarbeit sollen Erkenntnisse im Bereich der Ökologie (Ökobilanzierung) sowie Ökonomie (Kostenermittlung) für ReUse von Baukomponenten im Hochbau bei Betrachtung von Teilbereichen des Lebenszyklus erarbeitet werden. Diese werden auf einen Gebäudeentwurf des Studentenwettbewerbs ISDEC2030, welcher 2022 mit Fokus auf Circular Economy im Hochhausbau stattfand, angewendet. Weiters werden im Zuge der Ausarbeitung mögliche Potentiale sowie Schwierigkeiten bei der Verwendung von ReUse-Baustoffen im Hochbau untersucht.

Unter anderem soll die Fragestellung beantwortet werden, welche Gründe aus Sicht eines Bauherrn in ökonomischer und ökologischer Sicht für eine Wiederverwendung von Baustoffen anstatt der Verwendung neuer Materialien sprechen.

Weiters gilt es zu beantworten, wie sich ReUse von Baustoffen und Bauteilen generell auf die Kosten und Ökobilanzierung eines Hochhaus-Bauvorhabens auswirkt:

- Ökoindex OI3: Wie kann ReUse bei der Errechnung des OI3-Ökoindex berücksichtigt werden? Welche Auswirkungen hat ReUse auf den OI3-Ökoindex?
- Kosten: Wie kann ReUse bei der Errechnung der Kosten berücksichtigt werden? Welche Auswirkungen hat ReUse auf die Errichtungskosten?

Es wird folgende Hypothese aufgestellt, welche im Zuge der Diplomarbeit untersucht wird:
Die Verwendung von ReUse Baustoffen (im Hochhausbau) ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Hinsicht gegenüber einer konventionellen Bauweise zu bevorzugen.

2 Vorgehensweise und angestrebte Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in einen empirischen Teil und eine Fallstudie. Zunächst wird der Stand der Technik zum gegenständlichen Themengebiet – Ökobilanzierung und Kostenermittlung bei ReUse im Hochbau - durch Literaturrecherche festgestellt. Dabei wird auf die Grundlagen, den aktuellen Stand der Normung sowie gängige Bewertungsmethoden hinsichtlich der Ökobilanzierung und Kostenermittlung eingegangen.

Danach erfolgt im Zuge einer Fallstudie an einem fiktiven Hochbauprojekt eine individuelle Bewertung der Thematik.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Vorgehensweise der Fallstudie kurz beschrieben und im Anschluss das angestrebte Ergebnis erläutert.

- 1) Szenarienbildung: Es erfolgt eine Szenario Entwicklung mit zwei Szenarien (ReUse vs. konventioneller Neubau), aus welcher die relevanten zu erhebenden Daten hervorgehen. Der Use Case 1 wird vom Entwurf einer Studentengruppe der ISDEC2030 übernommen. Der Use Case 2 wird davon abgeleitet, indem die ReUse Elemente durch Neumaterial ersetzt werden. Für die Szenarienbildung sind folgende Schritte nötig:
 - Festlegung der zeitlichen und räumlichen Bilanzgrenzen
 - Erfassung der Flächen (BGF, NGF)
 - Festlegung der Bauteile und deren Aufbauten sowie Ermittlung der Ausmaße (Massenermittlung) für Use Case 1 und Use Case 2
- 2) Modellbildung: Im nächsten Schritt wird eine Methode erarbeitet, um die Auswirkungen von ReUse auf den Ökoindex (OI3) und die Errichtungskosten darzustellen. Die Ermittlung des OI3 Index stellt die in Österreich gängige Ökobilanzierungsmethode dar. Das Modell soll auf Basis vorhandener wissenschaftlicher Methoden erarbeitet und weiterentwickelt werden. Dabei wird Microsoft Excel als Berechnungs- und Auswertungstool verwendet (Excel-Rechenmodell).
- 3) Datenerhebung: Im Anschluss werden die Daten erhoben.
 - Kosten für ReUse Baustoffe und Leistungen werden bei spezialisierten Unternehmen angefragt (z.B. Materialnomaden, Baukarussell). Eine weitere Quelle bilden wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema. Materialpreise können auch von vorhandenen ReUse-Baustoffbörsen herangezogen werden. Kosten für konventionelle Baustoffe oder Bauteile können über das Baukosteninformationszentrum (BKI) abgerufen werden.
 - Die wesentlichen Umweltdaten werden über die Plattform ökobaodat oder Umweltproduktdeklarationen bezogen.
- 4) Variantenstudie: Folgend wird anhand der in der Szenarienbildung festgelegten Use Cases sowie dem in der Modellbildung erarbeiteten Rechenmodell eine Variantenstudie durchgeführt. Dabei werden die erhobenen Kosten- und Umweltdaten angewendet.
- 5) Datenauswertung: Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Variantenstudie ausgewertet.

6) Conclusio/Schlussfolgerung: Zuletzt werden die Ergebnisse diskutiert und Schlussfolgerungen zu den untersuchten Aspekten gezogen.

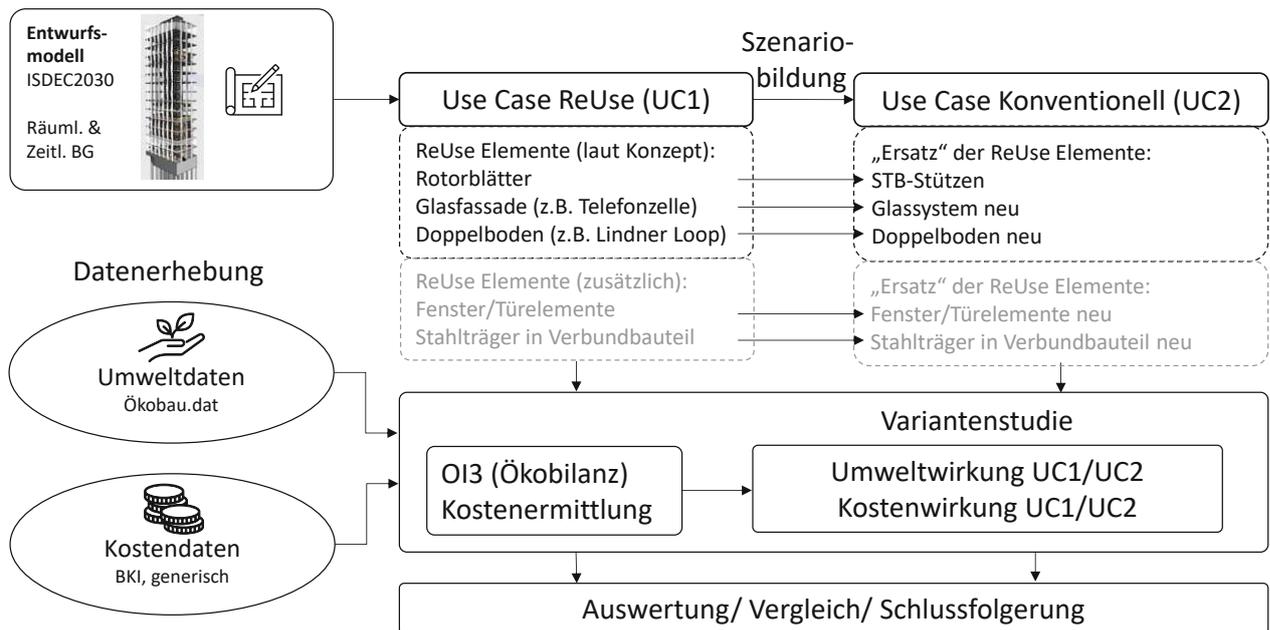


Abb. 2.1: Vorgehensweise Fallstudie - Studiendesign

Die wesentlichen Grundlagen für die Arbeit bilden anerkannte Normen und Richtlinien sowie aktuelle Forschungsberichte, welche Methodik und Rahmenbedingungen vorgeben:

- Räumliche Bilanzgrenzen gem. OI3 Berechnungsleitfaden
- Ökobilanz gem. EN ISO 14040 / EN ISO 14044
- Zeitliche Bilanzgrenzen - Lebenszyklusphasen gem. EN 15804/EN 15978
- Allokation gem. EN 15978 bzw. aktuelle Forschung
- Kosten gem. ÖNORM B 1801 Teil 1-5 und DIN 276

Das Ergebnis der Arbeit soll eine übersichtliche und gesamtheitliche Gegenüberstellung von Kosten- und Umweltwirkung zwischen einem konventionellen Gebäude und einem Gebäude mit fokussiertem ReUse-Anteil an einem konkreten, aber fiktiven Projekt sein. Die Ergebnisse können künftigen wissenschaftlichen Arbeiten als Grundlage oder Referenz dienen und sollen zur tiefergehenden Beschäftigung mit dem Thema anregen. Zudem können diese Bauherrschaften als Entscheidungsgrundlage dienen.

3 Stand der Technik / State of the Art Analyse

Die State of the Art Analyse soll einen Überblick über den Stand der Technik hinsichtlich Ökobilanzierung und Kostenermittlung geben. Neben Begriffserläuterungen werden Normen, potenzielle Quellen, aktuelle Diskrepanzen und Werkzeuge/Tools analysiert.

3.1 Ökobilanzierung

Bei der Durchführung von Bau- und Abbruchtätigkeiten, aber auch bei der Nutzung eines Gebäudes werden viele unterschiedliche Produkte verwendet und Dienstleistungen erbracht, welche wiederum diverse Umweltwirkungen auslösen. Zu diesen Umweltwirkungen zählen beispielsweise Emissionen in die Umwelt, aber auch die Entnahme von Ressourcen und Energie aus der Umwelt.

Eine Ökobilanz ist gemäß ISO 14044 eine Methode um die Umweltwirkungen, die mit der Produktion und Anwendung von Produkten bzw. Dienstleistungen im Zusammenhang stehen, methodisch, objektiv und quantitativ darzustellen. Dadurch sollen das Bewusstsein über diese Umweltwirkungen gesteigert werden und Potentiale lokalisiert werden. Durch die Identifizierung und Verortung der negativen Umweltwirkungen können diese im Sinne des Umwelt- und Klimaschutzes z.B. durch Änderung von Prozessen reduziert oder gar vermieden werden.

Die Ökobilanz beruht auf mehreren Grundsätzen, die es zu beachten gilt:

- Lebenswegbetrachtung: Die Ökobilanz bezieht sich auf den gesamten Lebensweg eines Produkts.
- Umweltbezogene Ausrichtung: Die Ökobilanz betrachtet die Umweltaspekte eines Produktsystems. Soziale, ökonomische oder andere Aspekte sind gesondert oder in Kombination mit der Ökobilanz zu beurteilen.
- Funktionelle Einheit: Die Ökobilanz bezieht sich auf eine festzulegende funktionelle Einheit. Die funktionelle Einheit dient als Vergleichseinheit.
- Transparenz: Die Erstellung einer Ökobilanz ist transparent zu halten, um unter anderem Ableitbarkeit und Auswertung der Ergebnisse sowie Reproduzierbarkeit sicherzustellen.
- Ganzheitlichkeit: Durch die Betrachtung aller Attribute und Aspekte können potenzielle Wechselwirkungen identifiziert und abgeschätzt werden.
- Wissenschaftlicher Ansatz: Die Ökobilanz soll auf vorzugsweise naturwissenschaftlichen Erkenntnissen oder zumindest auf anderen wissenschaftlichen Ansätzen beruhen.

3.1.1 Indikatoren und Kennwerte

Die bei den diversen Prozessen am Bau entstehenden Umweltwirkungen werden in der EN 15804 in Form von Umweltwirkungskategorien und -indikatoren definiert. Dabei sind die Unterschiede der Normversionen 15804:A1 und :A2 zu beachten. Die für diese Arbeit relevanten Kennwerte aus der Norm sollen hier kurz angeführt werden:

Tabelle 3.1: Indikatoren für die Umweltwirkung

Wirkungskategorie	Kennwert	Einheit	Kurze Beschreibung
Klimawandel – gesamt (EN 15804:A1 & A2)	GWP - gesamt	kg CO ₂ Äq. (en: kg CO ₂ eq.)	Das Treibhauspotenzial (en: global warming potential) berücksichtigt die gesamten Treibhausgasemissionen eines Prozesses in kg an CO ₂ Äquivalenten.
Klimawandel – fossil (EN 15804:A2)	GWP fossil	kg CO ₂ Äq.	Berücksichtigt Treibhausgasemissionen und -bindung in allen Medien, die durch die Oxidation oder Reduktion von fossilen Brennstoffen oder fossilen Kohlenstoff enthaltenen Stoffen durch ihre Umwandlung oder ihren Zerfall (z.B. Verbrennung, Lagerung auf Deponien usw.) entstehen.
Klimawandel – biogen (EN 15804:A2)	GWP biogen	kg CO ₂ Äq.	CO ₂ Aufnahme während des Wachstums biogener Rohstoffe bzw. Emissionen von biogenem Kohlenstoff aufgrund von Oxidation oder Zerfall.
Versauerung (EN 15804:A1)	AP	kg SO ₂	Versauerungspotential von Boden und Wasser (en: acidification potential).

Tabelle 3.2: Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes

Parameter	Kennwert	Einheit
Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie (Primärenergie und die als Rohstoff verwendeten nicht erneuerbaren Primärenergieträger) (energetische + stoffliche Nutzung)	PENRT	MJ, unterer Heizwert

Weitere wichtige Indikatoren für den Schutz von primären Ressourcen bzw. zur Beschreibung von Output-Flüssen werden in der EN 15978 bzw. auch in der EN 15804 angeführt und sind in Tabelle 3.3 zusammengefasst. Diese werden in deutschen Gebäudezertifizierungssystemen im Rahmen der Ökobilanz nicht direkt bewertet, bilden jedoch ebenso wichtige Indikatoren für den Ressourcenschutz (Rosen, 2020). In Österreich wird der Entsorgungsweg Recycling teilweise über den Entsorgungsindikator EI10 des IBO abgebildet, im Zuge dessen auch die recyclingfähigen Massen ermittelt werden.

Tabelle 3.3: Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und der Output-Ströme

Indikator	Kennwert	Einheit
Einsatz von Sekundärstoffen	SM	kg
Komponenten für die Wiederverwendung	CRU	kg
Stoffe zum Recycling	MFR	kg

3.1.2 Umweltproduktdeklaration

Die Basis für Ökobilanzen von Gebäuden bilden in der Regel sogenannte Umweltproduktdeklarationen (EPD; en.: environmental product declaration). Diese Dokumente bilden die oben beschriebenen Umweltwirkungen von Produkten in objektiver und neutraler Weise über gewisse Lebenswegphasen der Produkte ab. Sie basieren auf Ökobilanzierungen für Bauprodukte. Dabei werden zumindest die Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zum fertigen Produkt, unter Berücksichtigung der mit dem Produkt zusammenhängenden Prozesse und Faktoren, einbezogen. In der Regel können diese EPDs jedoch nicht direkt miteinander verglichen werden. Die Bewertung erfolgt im Zuge der Ökobilanz des Gebäudes in Abhängigkeit von den Rahmenbedingungen.⁹

3.1.3 Normung

Die normativen Grundpfeiler der Ökobilanzierung im Bauwesen bilden die EN ISO 14040 und EN ISO 14044 sowie die EN 15804 und EN 15978.

Mit der EN ISO 14040 werden Grundsätze und Rahmenbedingungen für Ökobilanzen geliefert, während die EN ISO 14044 Anforderungen an und Anleitungen für die Erstellung von Ökobilanzen festlegt.

Die EN ISO 15804 liefert Grundregeln für die Ableitung, Verifizierung und Darstellung von EPD der Produktkategorie Bauprodukte und -leistungen und bildet damit die Basis für die Inputdaten (Indikatoren) der Ökobilanz. Die aktuell gültige Fassung ist die EN 15804:A2. In der letzten Änderung (A2) wurden diverse Anpassungen betreffend die Indikatoren vorgenommen. Durch diese teils sehr grundlegenden Änderungen der Indikatoren ist eine Vergleichbarkeit von EPD, welche auf EN 15804:A2 basieren mit jenen, die auf EN 15804:A1 basieren nicht mehr gegeben. Weiters sind in neuen EPD nach EN 15804:A2 auch die Module C und D (zusätzlich zu den Modulen A1-A3) verpflichtend zu deklarieren.

Derzeit befindet sich die Norm in einer Übergangsphase. Einerseits waren gemäß dem Europäischen Vorwort der EN 15804:A2 entgegenstehende Normen bis Oktober 2022 zurückzuziehen. In Deutschland konnten Produkte nach der alten Norm EN 15804:A1 bis Ende Oktober 2022 deklariert werden. Danach ist die Erstellung von EPD auf Basis der EN 15804:A2 verpflichtend.¹⁰ In Österreich konnten EPD bis Ende 2022 nach beiden Normenständen erstellt werden. Es wird jedoch seit 2021 die Erstellung nach der EN 15804:A2 empfohlen.¹¹ Andererseits behal-

⁹Vgl. <https://ibu-epd.com/was-ist-eine-epd/>; IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., abgerufen am 12.10.2022

¹⁰Vgl. <https://ibu-epd.com/epds-nach-en-15804a1-muessen-bis-ende-juli-2022-zur-verifizierung-eingereicht-werden/>; IBU - Institut Bauen und Umwelt e.V., abgerufen am 12.10.2022

¹¹ Vgl. <https://www.bau-epd.at/pkr/liste>; Bau EPD GmbH, abgerufen am 22.11.2022

ten nach der alten Norm erstellte EPD weiterhin, bis maximal fünf Jahre nach Erstellung, ihre Gültigkeit.

Neben der EN 15804, welche die Produktebene behandelt, stellt die EN 15978 Regeln zur Bewertung der Umwelleistung von Gebäuden zur Verfügung. Der aktuelle Letztstand ist aus dem Jahr 2011. Auch diese Norm befindet sich derzeit in Überarbeitung, ein Normenentwurf für eine vollständig überarbeitete Norm liegt vor.

3.1.4 Quellen/Datenbanken

Datensätze für die Erstellung von EPD, also die Erstellung der Ökobilanzen von Bauprodukten, werden in Sachbilanz Datenbanken wie z.B. Ecoinvent, GaBi oder Gemis geführt. Diese Datenbanken enthalten die Grund- und Prozessdaten (Eberle et al., 2015b).

Datensätze auf Basis von EPD zur Verwendung für die Erstellung von Gebäudeökobilanzen finden sich beispielsweise in baubook (Österreich) oder ÖKOBAUDAT (Deutschland). Die Datenbanken stellen ebenso eigene (generische) Richtwerte für Baustoffe zur Verfügung. Einzelne EPD-Datensätze finden sich ebenfalls in den frei zugänglichen online Datenbanken der Bau EPD GmbH¹² (Österreich) und des IBU¹³ (Deutschland).

Durch die unter Punkt 3.1.3 beschriebene Übergangsphase ergeben sich Auswirkungen auf die Bereitstellung der Daten in den jeweiligen Datenbanken. Da bei der Erstellung von Gebäudeökobilanzen die Datensätze basierend auf unterschiedlichen Normenständen der EN 15804 nicht gemischt werden sollen, werden auf den diversen Plattformen derzeit (Stand November 2022) Datensätze teilweise parallel geführt:

- Die deutsche Plattform ÖKOBAUDAT stellt aktuell Datensätze sowohl gemäß dem alten Standard (EN 15804:A1) und dem neuen Standard (EN 15804:A2) zur Verfügung¹⁴.
- Die österreichische Plattform baubook hat generell noch nicht auf den neuen Normenstand EN 15804:A2 umgestellt. Für Ende 2021 war eine Neuauflage der IBO-Richtwerte entsprechend EN 15804:A2 und eine Ergänzung um weitere Lebensphasen geplant.¹⁵ Diese wurde bis dato jedoch noch nicht umgesetzt.
- In der Datenbank der Bau EPD GmbH stehen derzeit vier unterschiedliche Datensätze zur Auswahl: EPD basierend auf der ecoinvent Sachbilanz-Datenbank, EPD basierend auf der GaBi Sachbilanz-Datenbank, EPD auf Basis der EN 15804:A1, EPD auf Basis der EN 15804:A2.

¹² Vgl. <https://www.bau-epd.at/epd/liste>; Bau EPD GmbH, abgerufen am 12.10.2022

¹³ Vgl. <https://ibu-epd.com/veroeffentlichte-epds/>; IBU – Institut für Bauen und Umwelt e.V., abgerufen am 12.10.2022

¹⁴ Vgl. <https://www.oekobaudat.de/service/artikel/oekobilanzdaten-gemaess-en-15804-a2.html>; BMVBS am 21.06.2021; abgerufen am 15.09.2022

¹⁵ Vgl. <https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/ibo-richtwerte-fuer-baumaterialien>; IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie; abgerufen am 24.11.2022

In der Tabelle 3.4 werden die grundlegenden Unterschiede zwischen ÖKOBAUDAT und baubook dargestellt.

Tabelle 3.4: Gegenüberstellung ÖKOBAUDAT und baubook

	Ökobaudat	baubook
Hintergrunddatenbank	GaBi	Ecoinvent A1 (GaBi ¹⁶)
Normenaktualität	EN 15804:A1 und :A2	EN 15804:A1
Umfasste Lebenszyklus Module	Zumindest A1-A3, C1-C4 und D, eigene Szenario Datensätze zu A4 vorhanden	Zumindest A1-A3, Szenario Datensätze zu A4 und C1-C4 nur in eco2soft vorhanden
GWP _{total} , GWP _{fossil} , GWP _{biogen} getrennt ausgewiesen	Nur in 15804:A2 Datensätzen	In allen Datensätzen getrennt ausgewiesen

Die einer Ökobilanz zu Grunde gelegten Datenbanken und Normenversionen sollen nicht gemischt werden. ErstellerInnen von Ökobilanzen müssen daher entscheiden, auf welcher Basis die Ökobilanz erstellt wird. Die in gegenständlicher Arbeit gewählten Grundlagen und Begründungen sind in Kapitel 4.2.4 beschrieben.

Prozess-Datensatz: Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30 (de) de

Tags: Dieser Datensatz ist Bestandteil der ÖKOBAUDAT.

Umweltindikatoren

Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und sonstige Umweltinformationen

Indikator	Richtung	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Einbau A5	Nutzung B1	Abbruch C1	Transport C2	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D
Erneuerbare Primärenergie als Energieträger (PERE)	Input	MJ	1.9E+2	3.5	5.89	0	2.8	11	20.7	-94.1
Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung (PERM)	Input	MJ	0	0	0	0	0	0	0	0

Abb. 3.1: EPD-basierter Datensatz der ÖKOBAUDAT für Beton gem. EN 15804:A1 am Beispiel der Umweltindikatoren PERE und PERM

¹⁶ <https://www.baubook.info/de/baubook/news/deklaration-oekokennzahlen-erweitert>; baubook GmbH, abgerufen am 29.03.2023

Normalbeton C25/30 ohne Bewehrung (2400 kg/m³)

Zuletzt geändert:
 baubook-Richtwert: 8. 4. 2019
 Bauphysikalische Kennwerte: 21. 3. 2013
 Bauökologische Kennwerte, IBO-Richtwerte 2012: 10. 10. 2014
 Bauökologische Kennwerte, IBO-Richtwerte 2020: 8. 2. 2018

Bauprodukte
 • Ortbetone

★ Zu den Favoriten

Einsatzbereich des Richtwertes
 Die Bemessungswerte gelten sowohl für Ortbeton als auch für Beton-Fertigteile. Bei Leichtbetonen ist je nach Leicht-Zuschlagstoff zu unterscheiden.

Kennwerte

Bauphysikalische Kennwerte

Kennwert	Richtw.	Einheit	Quelle
ρ	2.400	kg/m ³	*
λ_r			
Defaultwert	2,000	W/mK	*
Möglicher Wert		W/mK	
μ			
trocken	130		*
feucht	80		*
c	1000	J/kgK	*

Bauökologische Kennwerte: Hintergrunddatenbank Ecoinvent A1

Indikator	IBO 2020	Einheit
Kernindikatoren für die Umweltwirkung		
GWP-fossil Globales Erwärmungspotenzial - fossil	0,0987	kg CO ₂ Äq./kg
GWP-biogenic Globales Erwärmungspotenzial - biogen	0	kg CO ₂ Äq./kg
GWP-total Globales Erwärmungspotenzial - total	0,0987	kg CO ₂ Äq./kg
ODP Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht	0,0000000023	kg CFC-11 Äq./kg
AP Versauerungspotenzial von Boden und Wasser	0,000178	kg SO ₂ Äq./kg
EP Eutrophierungspotenzial	0,000118	kg PO ₄ ³⁻ Äq./kg
POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon	0,0000284	kg C ₂ H ₄ Äq./kg
Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes		
PERE Erneuerbare Primärenergie - als Energieträger	0,0397	MJ/kg
PERM Erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff	0	MJ/kg
PERT Erneuerbare Primärenergie - total	0,0397	MJ/kg
PENRE Nicht erneuerbare Primärenergie - als Energieträger	0,744	MJ/kg
PENRM Nicht erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff	0	MJ/kg
PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie - total	0,744	MJ/kg

Abb. 3.2: baubook Datensatz für Beton

3.1.5 Ökoindex OI3

Der Ökoindex OI3 ist ein Werkzeug des IBO zur Bewertung der ökologischen Qualität von Baustoffen, Baukonstruktionen oder Bauwerken und beruht auf der Ökobilanzmethode. Die ökologische Qualität wird dabei auf Basis der drei Umweltindikatoren GWP_{total} (globales Erwärmungspotenzial; en.: Global Warming Potential), AP (Versauerungspotenzial; en.: Acidification Potential) und PENRT (Bedarf an nicht erneuerbarer Primärenergie, total; en.: Primary Energy Non-Renewable, Total) abgeleitet.

Die Berechnung des Ökoindex ist grundsätzlich im online Ökobilanzierungstool „eco2soft“ von baubook implementiert. Zusätzlich wird der „Leitfaden zur Berechnung des Ökoindex OI3 und des Treibhauspotentials für Bauteile und Gebäude“ durch das IBO veröffentlicht. Der aktuelle Letztstand (Stand November 2022) ist der Berechnungsleitfaden Version 5.0, welcher im September 2022 veröffentlicht wurde (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022).

Problemstellungen bei Anwendung des OI3 Berechnungsleitfadens ergeben sich durch die in 3.1.3 beschriebenen Differenzen der Normen. Die seit der EN 15804:A2 verpflichtend auszuweisenden Lebenszyklusphasen C1-C4 sowie D werden nicht ausreichend berücksichtigt. Bei Verwendung des Onlinetools „eco2soft“ werden die Phasen A4-A5 sowie C1-C4 (optional) zwar ausgewiesen, die zugrundeliegenden Berechnungen und Daten sind jedoch nicht transparent. Eine matrixartige Darstellung der Umweltindikatoren für alle Phasen wie z.B. auf OEKOBAUDAT ist

nur für wenige Produkte implementiert. Dies erschwert die Aufbereitung der Daten gemäß dem Berechnungsleitfaden V5.0 außerhalb von „eco2soft“ (z.B. in Excel). Die Hintergrunddaten im baubook sind nur nach der alten Norm EN 15804:A1 verfügbar.

Im OI3 ÖkoindeX ist ebenso noch keine Methode zur Bewertung von ReUse umgesetzt.

3.1.6 Allokation

Eine der meistdiskutierten Themenstellungen betreffend die Ökobilanzierung in einer Kreislaufwirtschaft und von ReUsed Bauteilen und Gebäuden stellt die Allokation der Umweltwirkungen dar. Es gibt derzeit noch keine klaren und einheitlichen Vorgehensweisen und Regeln, was die Allokation bei ReUse Produkten betrifft. Die Normung gibt zum Thema lediglich Rahmenbedingungen vor (Malabi Eberhardt et al., 2020).

Unter der Allokation versteht man die Zuordnung der Umweltwirkungen eines Prozesses oder Produktsystems auf mehrere Teilsysteme. Beim Thema Recycling oder ReUse spricht man daher von Allokation, wenn es um die Zuordnung der Umweltwirkungen der Ersterstellung auf die nachfolgenden Produktsysteme geht (Eberle et al., 2015a) (bzw. ISO 14040).

(Allacker et al., 2014, 2017) identifizierten in ihren Arbeiten unterschiedliche Lösungen, Ansätze und Formeln zur Darstellung der Allokation von End-of-Life Prozessen. Diese können grundlegend in drei Ansätze eingeteilt werden: 0:100 (End-of-Life Methode), 100:0 (Cut-Off Methode) und 50:50 (Equal-share Methode).

(De Wolf et al., 2020) wenden Ökobilanzierungsmethoden auf ein Fallbeispiel in der Schweiz (Kopfbauhalle, Winterthur, CH) an und zeigen, wie sich unterschiedliche Allokationsmethoden bei ReUse auf die Ermittlung des GWP auswirken. Dabei wird zwischen den Lebenszyklusphasen sowie den unterschiedlichen Gebäudelebenszyklen unterschieden.

Die meistdiskutierten und relevantesten Allokationsmethoden (Allacker et al., 2014, 2017; De Wolf et al., 2020; Joensuu et al., 2022; Malabi Eberhardt et al., 2020; van Stijn et al., 2021) werden folgend angeführt und erläutert:

- 100:0 – die Cut-Off Methode nach EN 15804 und EN 15879 ist die aktuelle Praxis im Hinblick auf die Gebäude- und Bauteilökobilanzierung. Dabei werden sämtliche Umweltwirkungen (d.h. Rohmaterialproduktion sowie die EoL Prozesse) dem ersten Lebenszyklus zugewiesen. Im zweiten Zyklus werden Bauteile „lastenfrei“ übernommen. Der Aspekt der 100:0 Methode fördert zwar die Verwendung von Sekundärmaterial, jedoch werden dadurch weniger Anreize für ein Design for ReUse geschaffen. Die 100:0 Methode birgt grundsätzlich wenige Unsicherheiten, da alle Wirkungen zum Zeitpunkt ihrer Entstehung bewertet werden. Die Vorteile und Belastungen durch Wiederverwendung, Recycling und energetischer Verwertung in einem nachfolgenden Lebenszyklus werden in einem Modul D außerhalb der Systemgrenzen quantifiziert. Gutschriften gibt es jedoch nur für die Verwertung von Primärmaterial und nicht von Sekundärmaterial. Weiters sind die Ergebnisse des Modul D meist mit großen Unsicherheiten behaftet (Malabi Eberhardt et al., 2020).
- 50:50 – Methoden die auf dem 50:50 Ansatz beruhen, ordnen jedem Zyklus den gleichen Anteil an Wirkung zu, in Abhängigkeit der Gesamtanzahl n an Zyklen.

- Linear Degressiv (LD) - Diese Methode teilt die Wirkungen linear degressiv auf die einzelnen Zyklen auf. Der Anteil der Ersterstellung ist im ersten Zyklus am größten und nimmt mit jedem Zyklus ab. Der Anteil für die EoL Prozesse (finale Beseitigung) werden in umgekehrter Weise zum größten Anteil dem letzten Zyklus zugeordnet (Allacker et al., 2017). (Malabi Eberhardt et al., 2020) leiten davon einen vereinfachten und einer Kreislaufwirtschaft angepassten CE LD Ansatz ab.
- EC PEF CFF - Die Europäische Kommission (EC, en.: european comission) stellt mit der Product Environmental Footprint (PEF) Methode eine umfassende Ökobilanzierungsmethode für alle Produktsystem zur Verfügung. EoL Szenarios begegnet die PEF-Methode mit der Circular Footprint Formula (CFF). Die CFF baut auf unterschiedlichen existierenden Ansätzen auf und verwendet einen Mix von Methoden. Die Auswirkungen von ReUse-fähigen Komponenten werden gleichmäßig auf jeden Nutzungszyklus aufgeteilt.
- 0:100 - Die End-of-Life Methode ordnet die Herstellung von Primärmaterial sowie die Beseitigung zu 100% dem letzten Nutzungszyklus zu.

Die Ansätze in der Literatur variieren teils stark. (De Wolf et al., 2020) leiten auf Basis unterschiedlicher Normen und Literatur weitere Formeln ab. Es werden auch auf anderen Normen basierende Ansätze vorgestellt, wie die 100:0 Cut-Off Methode nach den Regeln des British Standard Institute oder Ansätze nach der Schweizer SIA 2032 Norm.

Da die Ökobilanzierung für viele Gebäudebewertungssysteme eine Grundlage bildet, sollten durch die richtigen Bilanzierungsmethoden Anreize für bestimmte Design-Methoden zur Förderung der Kreislaufwirtschaft geschaffen werden. Diese sollten jedoch ausgewogen sein und Upstream- sowie Downstream-ReUse gleichermaßen fördern (De Wolf et al., 2020). Einige der Ansätze können leicht zum Greenwashing missbraucht werden, indem zum Beispiel mehr Nutzungszyklen eingefügt werden oder Lasten auf zukünftige Nutzungszyklen verschoben werden (Malabi Eberhardt et al., 2020).

Um einer CE gerecht zu werden ist es wichtig, eine möglichst holistische Betrachtung aller Lebenszyklen durchzuführen, und nicht nur einen Zyklus nach vorne und einen zurück zu blicken. Eine der größten Unsicherheiten in so gut wie allen vorgestellten Ansätzen, ist jedoch die Voraussage der zukünftigen Nutzung. Einige Autoren schlagen vor, einen von der Produktlebensdauer abhängigen Ansatz zu wählen und die Umweltwirkungen pro Jahr und funktionelle Einheit anzugeben (z.B. $\text{kg}_{\text{CO}_2}/\text{m}^2/\text{a}$) (De Wolf et al., 2020; Joensuu et al., 2022).

Schlussendlich bleibt es jedoch dem Ersteller der Ökobilanz überlassen, welche Methode angewendet wird. Dies ist mit dem Ziel der Studie zu vereinbaren (Eberle et al., 2015a).

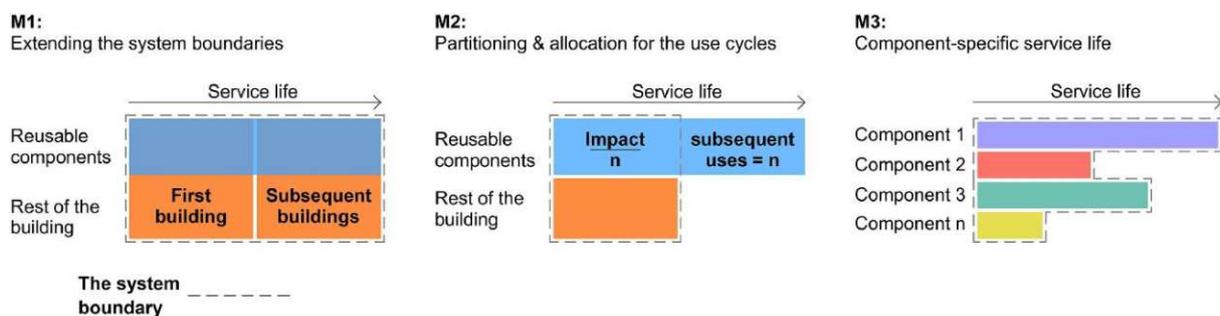


Abb. 3.3: Ansätze aus einer aktuellen Forschungsarbeit (Joensuu et al., 2022)

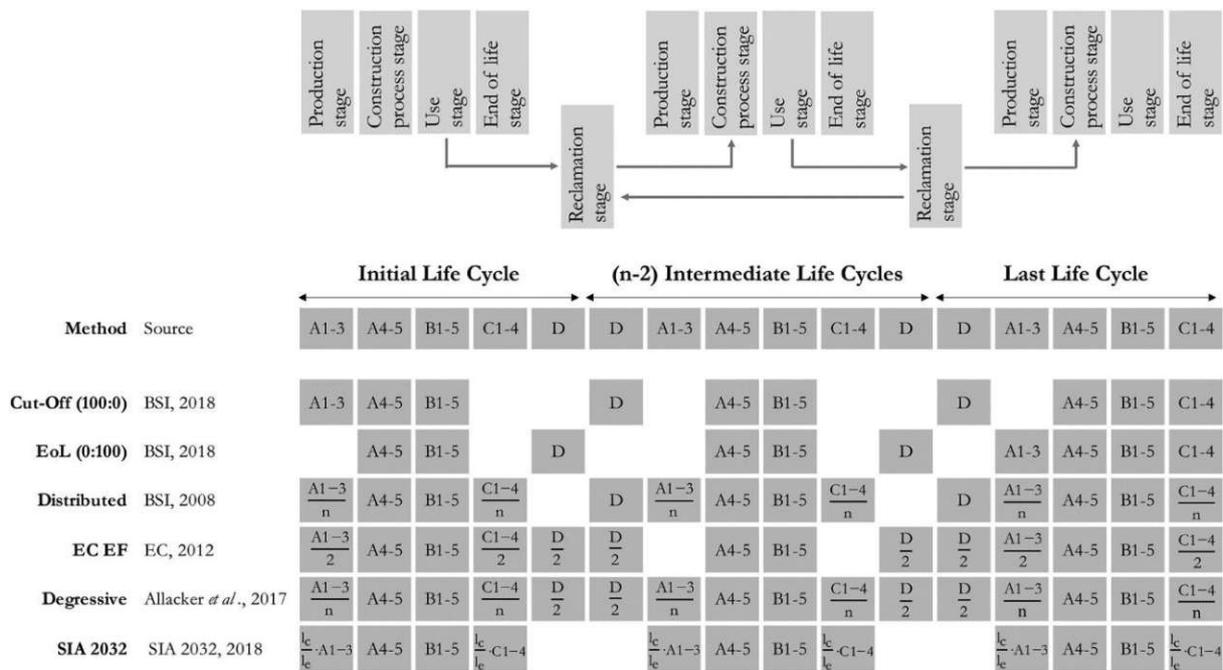


Abb. 3.4: Übersicht über unterschiedliche Allokationsmethoden aus (De Wolf et al., 2020)

3.1.7 Betrachtungszeitraum

Für den Betrachtungszeitraum von Ökobilanzen wird vermehrt wieder ein 50-jähriger Zeitraum gewählt, da die Unsicherheiten für längere Betrachtungszeiträume zu groß sind.¹⁷ Die Ökobilanzierung bezieht sich immer auf aktuelle Angaben. Die zukünftigen technischen Entwicklungen sind schwer abzusehen, schreiten aber grundsätzlich sehr schnell voran (vgl. z.B. Klimaneutralität Österreich bis 2040 und Energiewende). Die Daten zu Umweltwirkungen ändern sich daher laufend.

3.2 Kostenermittlung

Die Frage, ob das Bauen mit wiederverwendeten Teilen heute grundsätzlich wirtschaftlich ist, wird häufig mit nein beantwortet (John & Stark, 2021; Salem, 2020; Stricker et al., 2021). Jedoch gibt es auch Anwendungsfälle, in denen das ReUse als günstigere Alternative zum konventionellen Bauen hervorgeht (Dechantsreiter, 2015; Stricker et al., 2021).

¹⁷ <https://www.baubook.info/de/werkzeuge/eco2soft/oi3-leitfaden-v5>; baubook GmbH, erstellt am 07.11.2022, zuletzt geändert 01.12.2022, abgerufen am 15.12.2022

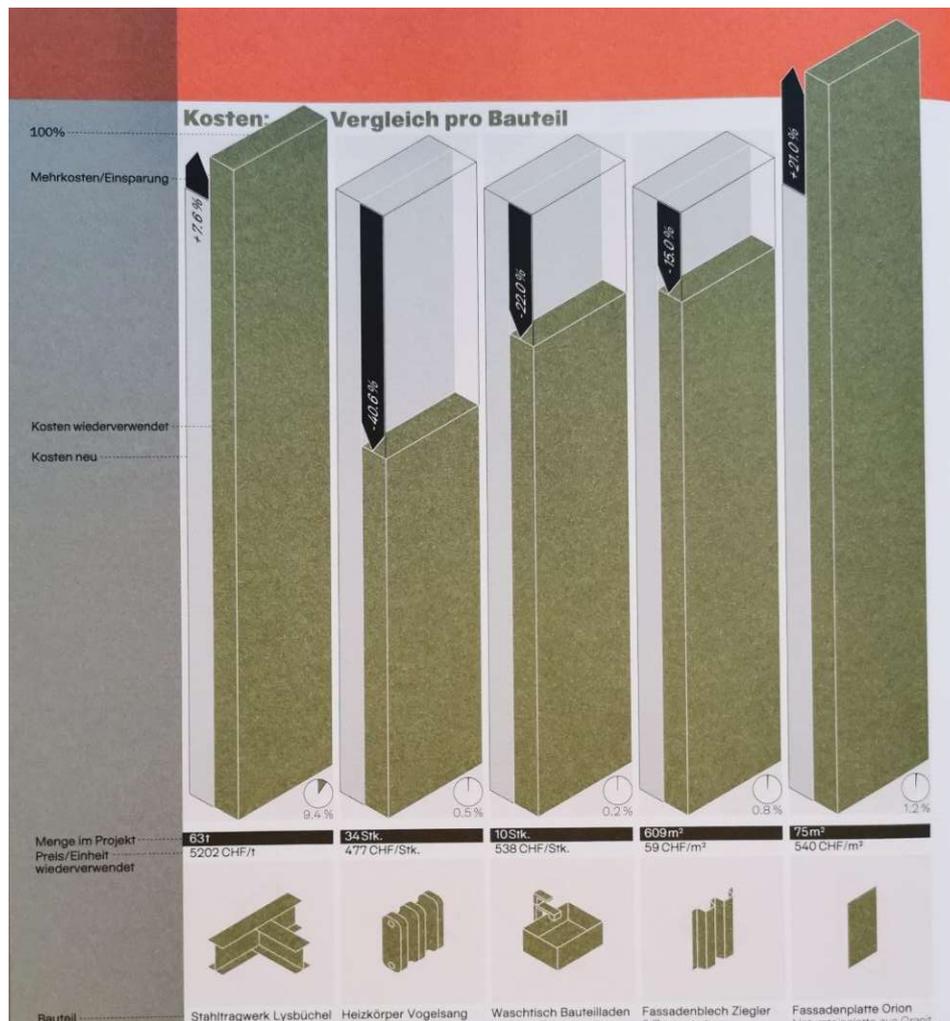


Abb. 3.5: Kosten neu und wiederverwendet - Projekt Kopfbauhalle K.118 (Stricker et al., 2021)

Da Baukonstruktionen in den letzten Jahrzehnten, vor allem aufgrund der Entwicklungen in der Massivbauweise sowie der Kompositbauweise, weitgehend wenig rückbaufreundlich gestaltet sind, sind am Markt kaum Sekundärkomponenten verfügbar. Derzeit werden hauptsächlich ReUse Materialien mit historischem Wert nachgefragt, welche sich hauptsächlich im urbanen Raum wiederfinden. Aufgrund der Bauweise können historische Bauteile (bis ca. 1940) außerdem meist leichter rückgebaut werden (Salem, 2020).

Aufgrund des fehlenden Marktes und auch aufgrund der Individualität der Planung bei der Verwendung von ReUse Bauteilen (z.B. umgekehrte Planung – vgl. (Fivet & Brütting, 2020)) ist eine allgemeine Kostenermittlung nur mit hohem Aufwand möglich und mit höheren Risiken verbunden.

Betrachtet man die entstehenden Kosten bei Verwendung von ReUse-Komponenten, so sind im Vergleich zu den Kosten konventioneller Komponenten (aus Primär- oder Recyclingbaustoffen) zusätzliche bzw. andere Kosten mit einzubeziehen. Diese sind für jedes Gebäude und jedes Bauteil differenziert und individuell zu betrachten. Folgende Hauptfaktoren beeinflussen die Kosten bei der Verwendung von Sekundärmaterial:

Aufwandsfaktoren Planung:

- Suche nach Bauteilen
- Begutachtung/zusätzliche Labor- & Schadstoffanalysen

- Begutachtung/Beurteilung der Nutzbarkeit
- Begutachtung/Materialqualitäts- bzw. Eignungsfeststellung für geplante Nutzung

Aufwandsfaktoren Ausführung

- Rückbau
- Aufbereitung
- Lagerung
- Transport
- Kosten für Handel/Plattform

Wirtschaftliche Faktoren

- Verfügbarkeit
- Angebot und Nachfrage
- Zustand

(Daxbeck et al., 2015) haben für Bauteile, welche sich besonders für die Wiederverwendung eignen, Aufwandswerte und Kosten evaluiert. Dabei handelt es sich vorrangig um nicht konstruktive Bauteile: Fenster und Türen inkl. Zargen, Ziegelsteine (Mauerziegel und Dachziegelsteine), Sanitäreanlagen (Warmwasserheizkörper, Duschtasse), Altholz (Konstruktionsvollholzdachstuhl und Zwischendecken), Bodenbeläge (Diele, Parkett).

(Stricker et al., 2021) erörtern in ihrem Buch die Kosten am Beispiel des Projektes „Kopfbauhalle K.118“ in der Schweiz und führen einen Vergleich mit einem äquivalenten Neubau durch. Auch hier zeichnet sich ein differenziertes Bild ab, die Kostenzusammensetzung der Bauteile nach Leistungen variiert stark (siehe Abb. 3.6). Auch ob ein Bauteil wirtschaftlich ist, lässt sich nicht pauschal sagen und hängt von der aktuellen Marktsituation bei den Neubauteilen sowie den Gebrauchtbauteilen ab. Grundsätzlich überwiegt im Falle von ReUse meist der Lohnanteil.

Gemäß (Stricker et al., 2021) können die Kosten für ReUse Bauteile wie folgt zerlegt werden:

- Suche, Beurteilung, Dokumentation (Zusatzkosten Planung)
- Erwerb
- Rückbau
- Transport
- Lagerung
- Aufbereitung
- Wiedereinbau (Montage)
- Unterhalt

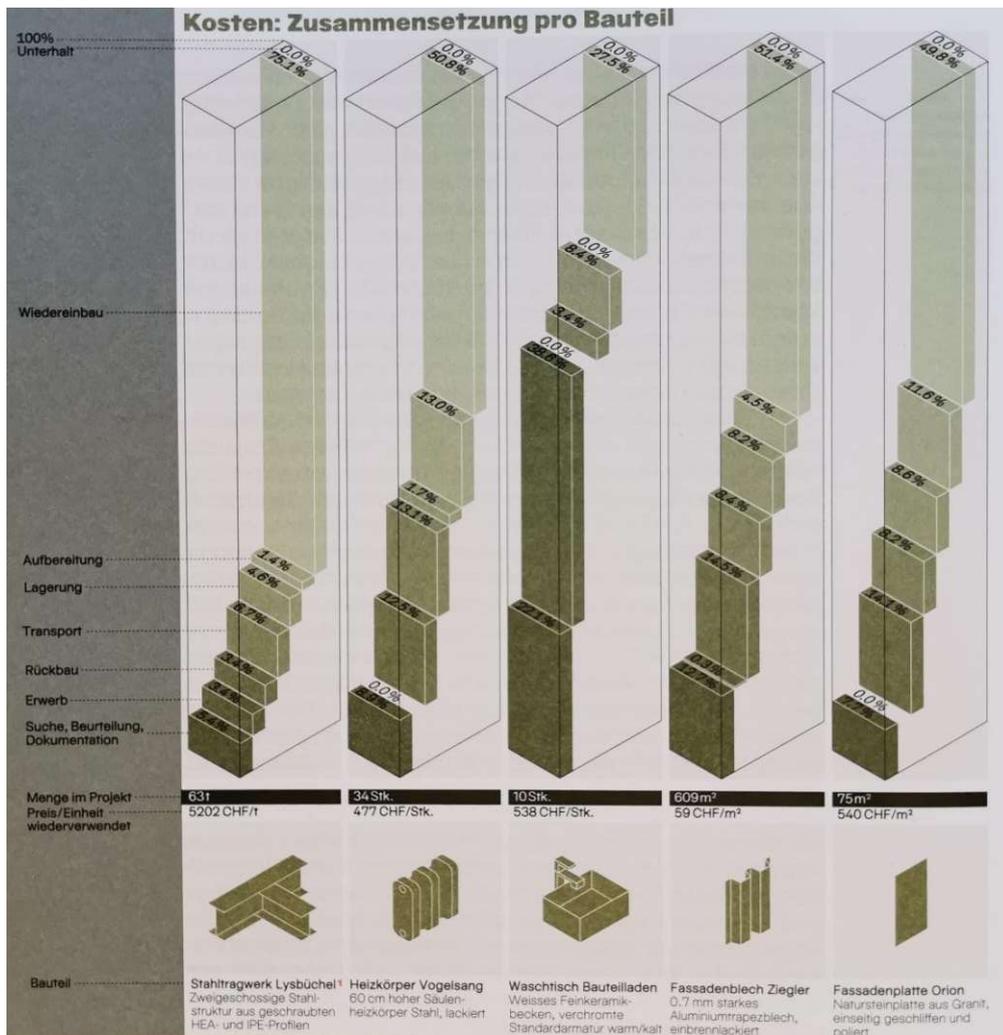


Abb. 3.6: Kostenzusammensetzung je Bauteil Projekt Kopfbauhalle K.118 (Stricker et al., 2021)

3.2.1 Recyclingbörsen & Plattformen

Der Handel mit gebrauchten Baustoffen ist derzeit noch ein Nischengewerbe. Dennoch stehen in Österreich und im umliegenden Ausland einige Plattformen zur Verfügung, auf denen mit Sekundärbauteilen und -komponenten gehandelt wird.

In Folge wird ein Auszug bestehender Plattformen beschrieben:

National

- Materialnomaden: re:store¹⁸, eigener Onlinestore der Materialnomaden GmbH bzw. HarvestMAP - Genossenschaft zur Vermittlung von re:use-Bauteilen eG
- BauKarussell: Onlineshop eingebettet in online Plattform bauteilnetz Deutschland¹⁹

¹⁸ <https://www.restore.or.at/store/> abgerufen am 29.11.2022

¹⁹ https://baukarussell.bauteillager.de/bauteilnetz/website/bauteilsuche?btk_suche=true abgerufen am 29.11.2022

International

- Bauteilnetz²⁰ (DE): Der gemeinnützige Verein Bauteilnetz Deutschland e.V. fördert durch bundesweite Aktivitäten und Öffentlichkeitsarbeit das nachhaltige Lernen und den bewussteren Umgang mit dem Gebäudebestand, den Baumaterialien und damit den zur Verfügung stehenden Ressourcen (Urban Mining) und bietet eine Plattform für den online Handel mit Sekundärbaustoffen.
- Restado²¹ (DE): Online-Marktplatz für gebrauchte Baustoffe, auf dem Händler individuell Waren verkaufen können.
- Useagain²² (CH): Online-Marktplatz für gebrauchte Baustoffe, auf dem Händler individuell Waren verkaufen können.
- Wind-Turbine²³: Online-Marktplatz für gebrauchte Windrad Komponenten

Zur Umsetzung größerer ReUse-Bauvorhaben werden sogenannte „Materialjäger“ eingesetzt, welche u.a. potenzielle Verkäufer/Schenker von Sekundärmaterial kontaktieren und auf aktuellen Abbruchbaustellen nach brauchbaren Materialien suchen (Fivet & Brütting, 2020; Stricker et al., 2021).

Plattformen zum Handel mit Sekundärmaterial könnten grundsätzlich benutzt werden, um Materialkosten für einzelne Elemente abzuschätzen. Das Angebot beschränkt sich für Österreich jedoch nur auf einige Produkte mit oft geringen Stückzahlen, je nach Verfügbarkeit. Es kann daher nicht von einer zuverlässigen Quelle für gegenständliches Hochhaus-Projekt ausgegangen werden.

3.2.2 Normung

Zur Kostenermittlung hinsichtlich Wiederverwendung gibt es keine expliziten normativen Vorgaben bzw. Richtlinien. Für die Kostenermittlung gelten allgemein die Normen der Reihe ÖNORM B 1801 sowie die DIN 276 als maßgebend.

²⁰ http://www.bauteilnetz.de/bauteilnetz/website/bauteilsuche?btk_suche=true; abgerufen am 29.11.2022

²¹ <https://restado.de/>; abgerufen am 29.11.2022

²² <https://www.useagain.ch/de/>; abgerufen am 29.11.2022

²³ <https://wind-turbine.com/marktplatz/komponenten/rotorblaetter/gebraucht>; abgerufen am 01.03.2023

4 Fallstudie: Methodik

In diesem Kapitel werden die methodische Vorgehensweise, Arbeitsschritte, Annahmen und Festlegungen der Fallstudie beschrieben und dokumentiert.

Es werden zunächst die räumlichen und zeitlichen Bilanzgrenzen definiert. Danach wird jeweils die methodische Vorgehensweise für Ökobilanzierung und Kostenermittlung festgelegt.

Die methodischen Grundlagen der Ökobilanz umfassen die Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen der Studie, die Definition des Rechenmodells, die Wahl einer Allokationsmethode und die Einführung eines ReUse Faktors. Weiters wird das Vorgehen bei der Datenerhebung beschrieben sowie die Vorgehensweise zur Ermittlung des OI3 Ökoindex dargestellt. Alle getroffenen Annahmen zu Lebenszyklusmodulen und -szenarien sowie weitere Festlegungen werden detailliert beschrieben.

Für die Kostenermittlung werden die Rahmenbedingungen und Einschränkungen erläutert. Weiters wird die Modellbildung zur Berücksichtigung von Reuse erklärt und das Vorgehen bei der Datenerhebung beschrieben.

Zum Schluss wird das Referenzobjekt und die betrachteten Use Case Szenarien im Detail vorgestellt.

Diese Arbeit stellt keine Machbarkeitsstudie dar, sondern soll auf Basis eines vorgegebenen fiktiven Projekts die Umwelt- und Kostenwirkung eines Hochbauprojekts unter definierten Rahmenbedingungen darstellen. Konstruktive, statische, logistische oder rechtliche Machbarkeit der Use Cases werden nicht beurteilt, da dies den Rahmen der Arbeit überschreiten würde.

4.1 Bilanzgrenzen

Die Festlegung der Bilanzgrenzen (BG) dient dazu, eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Einerseits werden in dieser Arbeit Kosten mit Umweltwirkungen verglichen. Andererseits sollen die Ergebnisse auch nach außen hin nachvollziehbar und mit den Ergebnissen anderer Forschungsarbeiten vergleichbar sein. Die BG werden dem Ziel der Arbeit entsprechend und nach anerkannten Richtlinien gewählt. Diese können in räumliche BG als auch in zeitliche BG gegliedert werden. Erstere legt fest, bis wohin in räumlicher Hinsicht und welche Elemente bilanziert werden. Zweitere BG gibt an, welche Prozesse entlang der Zeitlinie eines Produkts bzw. Gebäudes mit einbezogen werden.

4.1.1 Räumliche BG und Abschneideregeln

Die Ermittlung der Massen erfolgt auf Basis der gewählten räumlichen BG. Die räumliche BG wird als BG3 gemäß dem OI3 Berechnungsleitfaden, jedoch mit Ergänzungen festgelegt. Die Bilanzgrenze wird daher als BG3+ bezeichnet.

In der BG3 sind standardmäßig folgende Punkte nicht enthalten:

- bei Wärmedämmverbundsystemen: Dübel und Armierungsgewebe
- Befestigungen (Schrauben, Nägel, etc.), gilt auch für vernagelte Brettstapeldecken, -wände (Verbindungsarten bleiben unberücksichtigt)
- Vermörtelung / Verklebung bei Mauerwerk

- Einrichtung
- Haustechniksysteme inkl. Aufzüge

Folgende zusätzliche Annahmen und Festlegungen werden getroffen:

- Etwaige individuelle Baukörper in den Erdgeschosebenen sowie am Dach werden nicht berücksichtigt. Die Erdgeschosebenen sowie das Dach werden somit als reine Freifläche ohne konditionierte Baukörper angesehen.
- Folgende Bauteile wurden vernachlässigt:
 - Pflanztröge inkl. Füllung und Bepflanzung
 - Zusätzliche Nassraumeinbauten (Leichte WC-Trennwände, Vorsatzschalen, etc.)
 - Handläufe/Geländer
 - Beschichtungen auf Wänden und Böden (außer Putz bei WDVS)
 - Wendeltreppen im Pufferraum
- Es werden zusätzlich offene Erschließungsbereiche erfasst, wenn diese innerhalb des Pufferraums liegen. Dies betrifft die äußere Fassadenhülle (windbrechende Schicht) sowie die zwischen dieser und der thermischen Hülle liegenden Bauteile und Aufbauten.

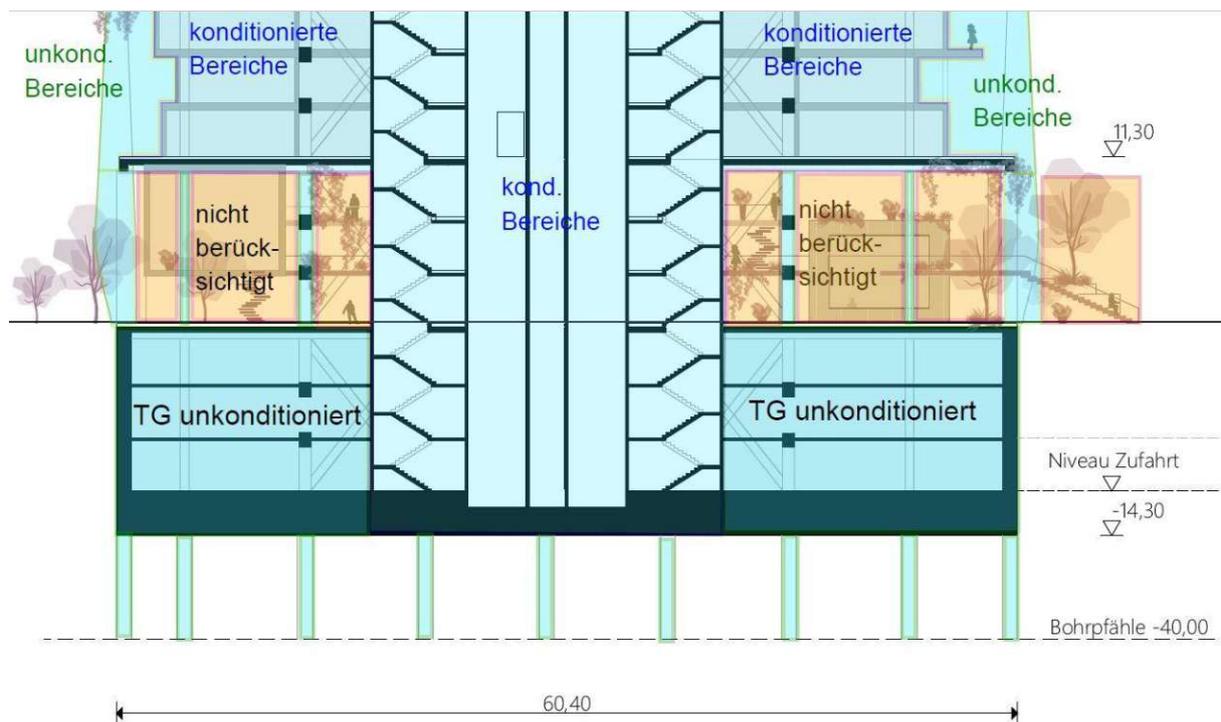


Abb. 4.1: räumliche Bilanzgrenzen – blaue Schraffur: berücksichtigt, orange Schraffur: nicht berücksichtigt

4.1.2 Zeitliche BG

Die geplante Nutzungsdauer der Primärstruktur wird mit 100 Jahren, die geplante Nutzungsdauer der Hülle mit 50 Jahren angenommen. Der OI3 Berechnungsleitfaden sieht einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren vor. Der Betrachtungszeitraum für gegenständliche Arbeit wird jedoch nach Rücksprache mit IBO gemäß EN 15978 entsprechend der geplanten (geforderten) Nutzungsdauer und somit mit 100 Jahren gewählt.

Gemäß der EN 15978:2011 hat bei einem neuen Gebäude die Systemgrenze den gesamten Lebenszyklus mit allen in Abb. 4.2 dargestellten Modulen zu umfassen. Bei einem bestehenden Gebäude oder einem Teil eines bestehenden Gebäudes muss die Systemgrenze sämtliche Phasen der noch verbleibenden Nutzungsdauer und die Entsorgungsphase umfassen.

Die in gegenständlicher Arbeit im OI3 Index berücksichtigten Phasen sind in Abb. 4.2 rot markiert, zusätzlich betrachtete Phasen sind blau gekennzeichnet. Gründe für das Weglassen einzelner Phasen sind:

- B1: Die Phase B1 Nutzung umfasst Auswirkungen und Aspekte, die sich aus der üblichen Nutzung der Komponenten ergeben, wie die Freisetzung oder die Bindung von Stoffen (z.B. die Bindung von CO₂ bei der Karbonatisierung von Beton). Da hierzu kaum Daten vorliegen werden diese vernachlässigt.
- B2, B3, B5: Die Wirkung von Instandhaltung, Instandsetzung und Modernisierung werden vernachlässigt, da die nötige Szenarienbildung und Datenbeschaffung den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde.
- B6, B7: Für eine Betrachtung der Wiederverwendung von Baukomponenten sind diese Phasen nicht relevant und werden daher vernachlässigt. Es wird davon ausgegangen, dass die Wiederverwendung von Baukomponenten keine Auswirkung auf Wasser- und Energieverbrauch während der Nutzung hat.

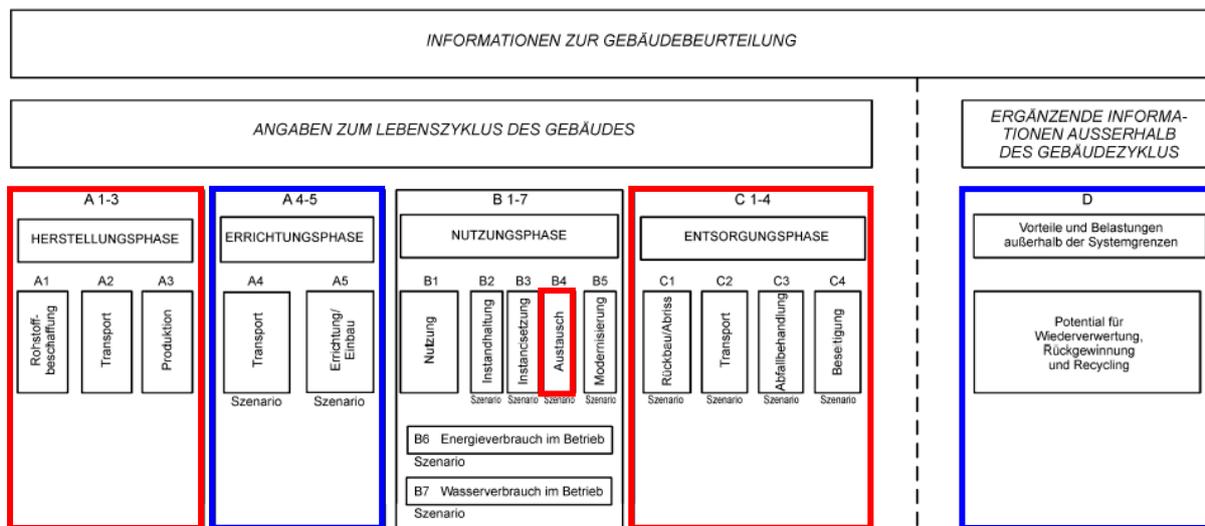


Abb. 4.2: Phasen des Lebenszyklus und Module für die Beschreibung und Beurteilung des Gebäudes gemäß EN 15978:2011 – roter Rahmen: für OI3, blauer Rahmen: gesondert bewertet

Die Grenze zwischen Produktsystemen betreffend Wiederverwendung, Recycling und Rückgewinnung ist gem. EN 15804 dort, wo die Outputs des vorhergehenden Systems das Ende der Abfalleigenschaften erreicht haben. Das bedeutet, dass die Prozesse der Vorbereitung zur Wiederverwendung in den Modulen C1 – C3 bilanziert werden.

4.2 Ökobilanz

Die Beurteilung der Umweltqualität des Gebäudes erfolgt nach den Regeln der EN 15978 (Gebäudeebene) aufbauend auf der EN 15804 (Produktebene) sowie den allgemeinen Regeln für Ökobilanzen aufbauend auf den Regeln für Ökobilanzen der EN ISO 14040 und EN ISO 14044.

Die methodische Erarbeitung einer Ökobilanz umfasst nach der EN ISO 14040 vier Phasen:

- 1) Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen
- 2) Sachbilanz
- 3) Wirkungsabschätzung
- 4) Auswertung

4.2.1 Festlegung des Untersuchungsrahmens und funktionelle Einheit

Das in der Ökobilanz untersuchte System ist das in Kapitel Referenzobjekt 4.4 beschriebene Referenzobjekt unter Berücksichtigung der dort beschriebenen Use Cases. Die Systemgrenzen und Einschränkungen werden wie im vorhergehenden Kapitel 4.1 angenommen. Es werden grundsätzlich alle in Kapitel 4.1.2 angeführten Lebenszyklusmodule erfasst.

Als funktionelle Einheit auf Gebäudeebene wird als Basis die Bruttogrundfläche (BGF) gewählt. Für den OI3 Index wird gem. Berechnungsleitfaden die Bezugsfläche (BZF) genannt, die auf Basis der Bruttogrundfläche unter Berücksichtigung konditionierter und unkonditionierter Flächen ermittelt wird. Siehe dazu auch 4.4.1.

Als funktionelle Einheit auf Produktebene, welche für die Berechnung des OI3 relevant ist, wird kg gewählt.

Weitere Festlegungen zum Untersuchungsrahmen betreffend Allokationsverfahren und Annahmen sind den folgenden Kapiteln zu entnehmen.

4.2.2 Rechenmodell (Sachbilanz)

Das Rechenmodell wurde in MS Excel implementiert. In den verschiedenen Arbeitsblättern (AB) werden die Daten und Informationen erfasst und weiterverarbeitet:

- AB „Allgemeines“: Festlegung allgemeiner Projektdaten und Informationen.
- AB „Inputwerte“: Das Arbeitsblatt „Inputwerte“ stellt die Bauteilliste dar. Hier werden sämtliche Bauteile mit ihren Abmessungen und Schichtaufbauten erfasst. Siehe Anhang A.
- AB „Materialdaten“: Für jedes benötigte Material werden die notwendigen Informationen (Dichte, funkt. Einheit, Quelle, Lebensdauer) und die Indikatoren PENRT, GWP sowie AP über die Lebenszyklusmodule (A1-A3, A4-A5, C1-C4 sowie D) für die weitere Bewertung erfasst. Siehe Anhang B.
- AB „Bauteil X“: Jedes Bauteil wird in einem eigenen Berechnungsblatt ausgewertet. Die Berechnung für konventionelle Bauteile (ohne ReUse) ist immer gleich. Für ReUse Bauteile stehen zwei Varianten zur Auswahl, wobei jeweils ein „ReUse-Faktor“ zur Bewertung eingeführt wird. Siehe dazu 4.2.3. Für jedes Bauteil lassen sich somit die entsprechenden Umweltwirkungen ausgeben. Der OI3 Index wird gemäß den Rechenregeln des OI3 Leitfadens V5.0 vom Sept. 2022 – unter Berücksichtigung des ReUse Faktors - für das Bauteil ausgewiesen. Siehe Anhang C.
- AB „Auswertung“: Die Ergebnisse werden in einem Arbeitsblatt gesammelt ausgewertet und für die verschiedenen Ergebnisdarstellungen aufbereitet und zusammengefasst

4.2.3 Allokation und ReUse Faktor

Es wird in gegenständlicher Arbeit die 100:0 Allokationsmethode verfolgt. Das ReUse geht über einen Faktor in die Berechnung ein, welcher auf die Phasen A1-A3 angewendet wird. Für wiederverwendete Bauteile beträgt der ReUse Faktor 0, die Materialien werden somit lastenfrei übernommen. Für neue Bauteile beträgt der Faktor 1. Ein Bauteil wird innerhalb der ersten 10 Jahre der Verwendung als neu betrachtet.

$$f_{RU} = 0, \text{ wenn } 10 < t_A \text{ sonst } = 1 \quad (1)$$

t_A ...Alter der Schicht [Jahre]

Alternativ wird für die Berechnung des OI3 Index eine über die Bauteillebensdauer lineare Methode eingeführt und mit der 100:0 Methode verglichen. Die Formel zur Ermittlung des linearen ReUse Faktors wurde in Anlehnung an die Abschreibefunktion für Sanierungen des OI3 Berechnungsleitfadens V5.0 gewählt:

Der lineare Faktor errechnet sich wie folgt:

$$\begin{aligned} f_{RU,lin} &= 0 \text{ wenn } t_A \geq t_N \\ f_{RU,lin} &= 1 - \frac{t_A - 10}{t_N - 10} \text{ wenn } 10 < t_A < t_N \\ f_{RU,lin} &= 1 \text{ wenn } t_A \leq 10 \end{aligned} \quad (2)$$

t_A ...Alter der Schicht [Jahre]

t_N ...Referenznutzungsdauer [Jahre]

Der ReUse Faktor wird im Berechnungsmodell nur auf die Lebenszyklusphasen A1-A3 angewendet. Die Umweltindikatoren der Phasen A1-A3 werden mit dem ReUse Faktor multipliziert. Siehe Abb. 4.3.

4.2.4 Datenerhebung (Sachbilanz)

Es werden Datensätze nach EN 15804:A1 verwendet. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Diplomarbeit birgt eine Verwendung von Datensätzen nach EN 15804:A2 viele Unsicherheiten, da die Daten noch nicht etabliert und für viele Produkte noch nicht vorhanden sind.

Entgegen dem Pkt. 2.1 des (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022) werden für die Erstellung der Ökobilanz in der gegenständlichen Arbeit die Datensätze der ÖKOBAUDAT Datenbank des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) herangezogen. Grund dafür ist, dass im baubook die Daten für die Lebenszyklusphasen A4-C4 und D nicht transparent ausgewiesen bzw. weitgehend nicht vorhanden sind.

Bei der Datenerhebung wird für jedes im Gebäude vorhandene Material (gem. der Bauteilliste) ein entsprechender Datensatz aus der Datenbank ÖKOBAUDAT erhoben. Wenn in dieser Datenbank keine entsprechenden Datensätze zu finden sind, wird ein ähnliches Material gewählt.

Wenn auch keine Daten zu ähnlichen Materialien zur Verfügung stehen, werden die Daten aus entsprechenden EPD herangezogen.

Die erforderlichen Daten aus dem ÖKOBAUDAT- oder EPD-Datensatz werden in die Materialdatentabelle übertragen (Dichte, Umweltdaten). Da die deklarierten Einheiten in jedem Datensatz unterschiedlich sein können, werden die Umweltdaten einheitlich auf die Referenzeinheit „kg“ umgerechnet (Bspl. PENRT: bei Angabe MJ pro m² wird in MJ pro kg umgerechnet). Umgerechnete Datensätze sind in der Tabellenspalte „Referenzeinheit“ mit kg* gekennzeichnet. Für verglaste Elemente (Fenster und Pfosten-Riegel-Konstruktionen) erfolgt keine Umrechnung in kg, da diese direkt und einfacher über Kennwerte pro m² abgewickelt werden können.

Materialdatensätze werden gegebenenfalls durch Annahmen erweitert, wenn diese unvollständig sind.

Weiters wird jedem Datensatz eine Lebensdauer gemäß dem IBO-Lebensdauer katalog 2018 zugewiesen.

Die Materialdatentabelle findet sich in Anhang B.

4.2.5 OI3 Ökoindex (Wirkungsabschätzung)

Zur Berechnung des OI3 Ökoindex werden die folgenden Umweltkategorien erfasst und berücksichtigt:

- GWP-total [kg CO₂ eq.]
- AP [kg SO₂ eq.]
- PENRT [MJ]

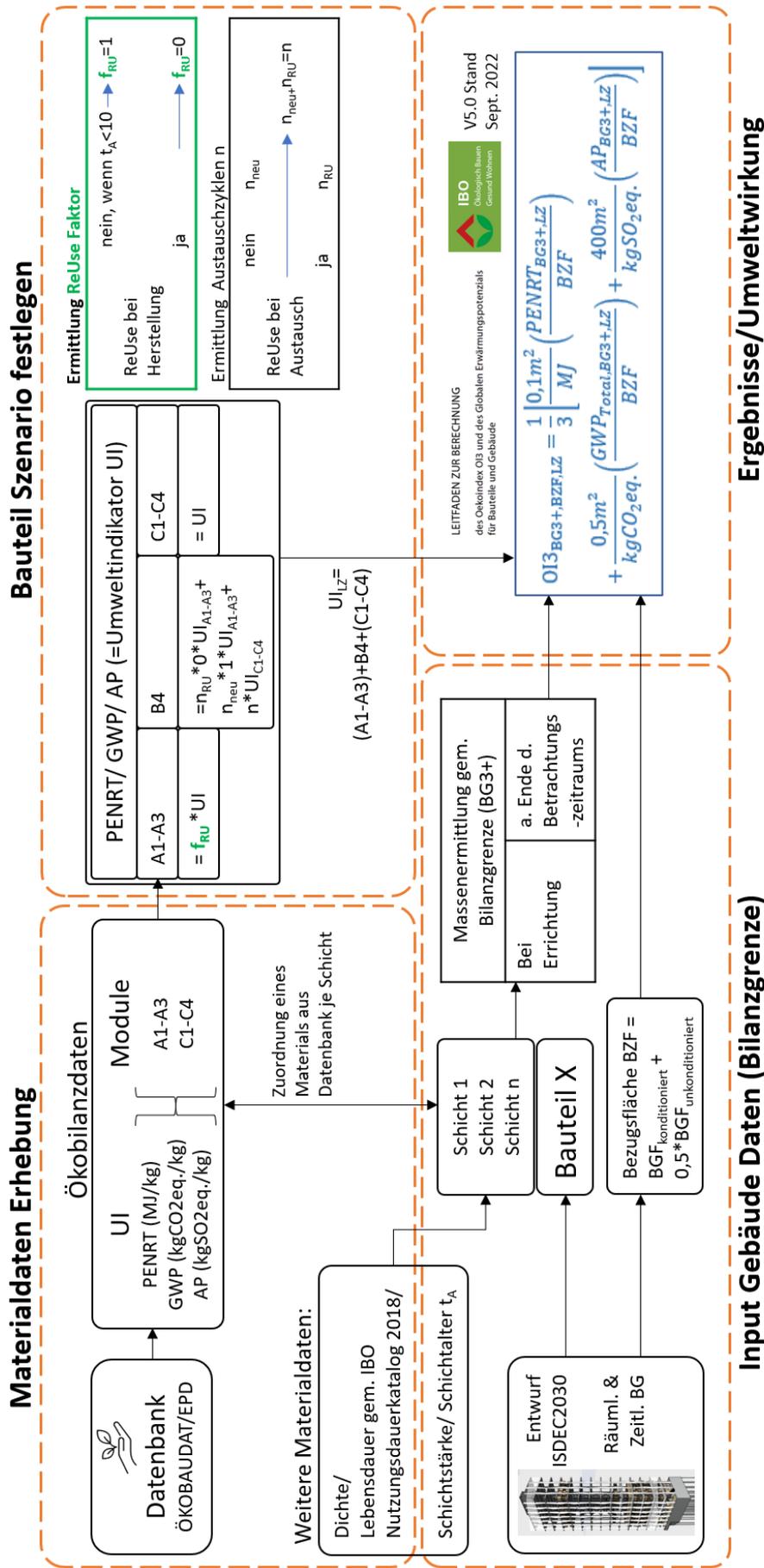
Der ΔOI3 Index einer Baustoffschicht gibt an, um wie viele OI3 Punkte diese den OI3_{KON,BGX} des Bauteils ändert. Dieser Index kann zur Bauteiloptimierung verwendet werden, da sich damit die ökologisch ungünstigen Schichten eines Bauteils leicht erkennen lassen. Er wird mit folgender Formel errechnet:

$$\Delta OI3 = \frac{1}{3} * \left[\frac{0,1}{[MJ]} PENRT_{A1-A3} + \frac{0,5}{kgCO_2 eq.} GWP_{A1-A3} + \frac{400}{kgSO_2 eq.} AP_{A1-A3} \right] \quad (3)$$

Der OI3 Index pro m² Bezugsfläche (BZF) über den Lebenszyklus errechnet sich wie folgt:

$$OI3_{BG3+,BZF,LZ} = \frac{1}{3} \left[\frac{0,1m^2}{MJ} \left(\frac{PENRT_{BG3+,LZ}}{BZF} \right) + \frac{0,5m^2}{kgCO_2 eq.} \left(\frac{GWP_{Total,BG3+,LZ}}{BZF} \right) + \frac{400m^2}{kgSO_2 eq.} \left(\frac{AP_{BG3+,LZ}}{BZF} \right) \right] \quad (4)$$

Die Bezugsfläche wird definiert als konditionierte Bruttogrundfläche plus 50% der Bruttogrundfläche von Pufferräumen. Als Pufferräume zählen der Keller (Tiefgarage) sowie Stiegenhäuser und die Bereiche zwischen der äußeren und der inneren Fassade.



Legende: UI...Umweltindikator / LZ...Lebenszyklus / BZF...Bezugsfläche / f_{RU}...ReUse Faktor / n...Austauschzyklus / BG3+...Bilanzgrenze 3+

Abb. 4.3: Graphische Darstellung der OI3 Ermittlung

4.2.6 Lebenszyklusmodule und -szenarien

Gemäß ÖNORM EN 15978 sind für die vollständige Beschreibung des Bewertungsgegenstandes Szenarien für die Module A5-C4 bzw. D zu entwickeln und anzuwenden. Dafür werden Annahmen getroffen.

- **Modul A4:** Sofern keine Daten im Original-Datensatz angegeben sind, werden diese auf Basis von Annahmen für Transportkilometer und Daten aus Standard Transportdatensätzen angepasst. (z.B. Datensatz „LKW“ von ÖKOBAUDAT, dieser beschreibt das Modul A4 und gibt generische Indikatoren für die Transportleistung pro 1000kg*km an). Das Modul A4 umfasst in gegenständlicher Arbeit nicht den Transport von Baugeräten.
- **Modul A5:** Zumeist wird in EPD und produktspezifischen Datensätzen in Modul A5 lediglich die Entsorgung der Produktverpackung abgebildet. Es werden in gegenständlicher Arbeit für Modul A5 immer nur die Daten von ÖKOBAUDAT bzw. den entsprechenden EPD übernommen. Ist es in Ausnahmefällen nötig, das Modul A5 des Original-Datensatzes zu erweitern, wird dies an entsprechender Stelle angeführt. Im Modul A5 werden somit nicht alle in der EN 15978 Pkt. 7.4.3.3 angeführten Prozesse (wie Erdarbeiten, Lagerung, Transport auf der Baustelle, Behelfsarbeiten etc.) abgebildet. Alternativ können pauschale Tabellenwerte angewendet werden, welche ein vollständigeres Bild des entsprechenden Moduls geben. Tabellenwerte für das Treibhauspotential finden sich z.B. in (Ministry of the Environment, 2019). Für den Primärenergieverbrauch und das Versauerungspotential wurden bei der Recherche keine Tabellenwerte gefunden, weshalb in dieser Arbeit von der Verwendung von Tabellenwerten abgesehen wurde.
- **Modul B4:** Für das Modul B4 „Austausch“ können Szenarien betreffend ReUse im Rechenmodell festgelegt werden. Es kann für jeden einzelnen prognostizierten Austauschzyklus das Szenario ReUse oder konventionell individuell festgelegt werden. Bei der 100:0 Allokation wird somit für jeden Austauschzyklus mit dem Faktor 1 für „neu“ und 0 für „ReUse“ multipliziert. Für gegenständliche Arbeit werden ReUse Bauteile für alle weiteren Zyklen ebenfalls als ReUse Bauteile geführt.
- **C1-C4:** Es werden die Daten von ÖKOBAUDAT bzw. EPD übernommen.
- **Modul D:** Es werden die Daten von ÖKOBAUDAT bzw. EPD übernommen. Wenn in den Datensätzen Varianten zur Verfügung stehen, wird vorzugsweise die angeführte „Standardvariante“ verwendet. Wird im Datensatz keine Standardvariante angegeben, wird - sofern vorhanden - die Variante „thermische Verwertung“ gewählt. Die gewählte Variante ist in der Materialdatentabelle vermerkt (Siehe Anhang B).
Gemäß (Mielecke et al., 2017) wird empfohlen, Effekte aus der Verwertung von Packstoffen nicht im Modul D auf Bauwerksebene abzubilden. Dieser Empfehlung wird in gegenständlicher Arbeit gefolgt. Sofern in Datensätzen Daten für das Modul D aus Modul A5 gesondert ausgewiesen sind, werden diese nicht berücksichtigt.

4.2.7 Nutzungsdauern von Bauteilen

Die Nutzungsdauern der Bauteile bzw. Bauteilschichten werden gemäß dem vereinfachten Nutzungsdauerkatalog 2018 des OI3 Berechnungsleitfadens V5.0 angenommen und je nach Einbausituation adaptiert.

4.2.8 Weitere Annahmen und Festlegungen betreffend die Methodik

Verluste bzw. Verschnitt beim Einbau werden nicht berücksichtigt, da dies auf Basis der zugrundeliegenden Planungsdaten nicht verhältnismäßig erscheint. Gemäß (Kellenberger & Althaus, 2009) kann davon ausgegangen werden, dass Verluste und Verschnitte einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Ökobilanz haben.

Die meisten Datensätze auf ÖKOBAUDAT gelten für den Durchschnitt in Deutschland. Es wird angenommen, dass diese ebenso für den österreichischen Durchschnitt aussagekräftig sind.

Bei einigen Bauteilen mussten zusätzliche allgemeine Annahmen getroffen werden:

- Bauteil 2 (Kellerdecken inkl. Rampen): Im Archicad Modell sind die Rampen nicht modelliert. Daher wird ein 5% Aufschlag auf die Kellerdeckenfläche für diese angenommen.
- Bauteil 3 (Decke über TG): Der Aufbau (Begrünung) der obersten Decke der Tiefgarage wird vernachlässigt, da dieser zu den Außenanlagen zählt und daher gemäß den gewählten Bilanzgrenzen nicht berücksichtigt wird.
- Bauteil 7 (FB-Aufbau innen Systemboden ohne Belag): Gemäß den Planunterlagen steht der Systemboden direkt auf der Holzdecke. Da dieser Aufbau konstruktiv für den Schallschutz nicht realistisch ist, werden als zusätzliche Schichten Trittschalldämmung und Estrich angenommen^{24,25}.
- Bauteil 8 (Fußbodenaufbau Plattenbelag (Balkon)): Da in der Planung keine Angaben zur Art der Unterkonstruktion gemacht werden, wird angenommen, dass es sich bei dieser um Kunststoffstelzlager handelt. Die Dicke der Abdichtung wurde von 1,5 cm (gem. Planung) auf 1,5 mm (gem. Produktstandard) korrigiert.
- Bauteil 9 (Fußbodenaufbau Plattenbelag Flankendämmung („Freifläche“)): Da in der Planung keine Angaben zur Art der Unterkonstruktion gemacht werden, wird angenommen, dass es sich bei dieser um Kunststoffstelzlager handelt. Die Dicke der Abdichtung wurde von 1,5 cm (gem. Planung) auf 1,5 mm (gem. Produktstandard) korrigiert.
- Bauteil 10 Fußbodenaufbau Plattenbelag ("Freifläche"): Da in der Planung keine Angaben zur Art der Unterkonstruktion gemacht werden, wird angenommen, dass es sich bei dieser um Kunststoffstelzlager handelt. Die Dicke der Abdichtung wurde von 1,5 cm (gem. Planung) auf 1,5 mm (gem. Produktstandard) korrigiert.
- Bauteil 11 & 12 & 13: In den Plänen werden keine Flächenangaben zu den unterschiedlichen Fußbodenbelägen gemacht. Da bei der Recherche keine Angaben zu statistischen Häufigkeiten von Fußbodenbelägen in Bürogebäuden gefunden werden konnten, wird daher nach überschlägiger Analyse des Regelgeschosses folgende Aufteilung angenommen: 42,5% Teppichboden, 42,5% Resilient Floor Tiles, 15% Fliesen.
- Bauteil 15: Für die abgehängte Decke (Unterdecke lt. Bauteilliste) wird eine standardmäßige Gipskartondecke mit Metallunterkonstruktion und Mineralwolle-Deckendämmung angenommen.

²⁴ <https://www.schneider-holz.com/de/service/planung-und-beratung/bauteilkatalog/decke/>; abgerufen am 14.12.2022

²⁵ <https://www.lignatur.ch/agenda/newsdetails>; abgerufen am 14.12.2022

- Bauteil 16 & 17: In den Plänen werden keine Angaben zum Dachaufbau gemacht. Es wird daher ein Standardwarmdachaufbau gewählt. 50% der Dachfläche sind extensiv begrünt und 50% sind begehbar mit Plattenbelag.
- Bauteil 18: Da die „Erdgeschoßbereiche“ unberücksichtigt bleiben, wird an der gesamten Deckenunterseite der untersten Geschoßdecke eine Wärmedämmung aus Mineralwolle angenommen.
- Bauteil 25: Die Verglasung ist aus ESG vorgesehen. Da gem. ÖNORM B 3716 1-3 die absturzsichernde Funktion nicht durch ESG erfolgen kann, werden dafür im Bereich des Personenverkehrs 15% der Glasfläche aus Verbundsicherheitsglas ausgeführt.

Bei folgenden Bauteilen wurden einzelne Materialien vernachlässigt, weil zu diesen keine Umweltdaten gefunden werden konnten. Eine Vernachlässigung ist zum Beispiel aufgrund von geringem Aufkommen gerechtfertigt:

- Bauteil 2 (Kellerdecken inkl. Rampen): Es konnten keine entsprechenden Umweltdaten zur Beschichtung (Epoxidharz o.ä.) gefunden werden. Aufgrund des geringen Aufkommens (nur in der Tiefgarage) und den Festlegungen der räumlichen Bilanzgrenze (BG3+) kann diese jedoch in der Ökobilanzierung vernachlässigt werden.
- Bauteil 8 (Fußbodenaufbau Plattenbelag (Balkon)), Bauteil 9 (Fußbodenaufbau Plattenbelag Flankendämmung („Freifläche“)), Bauteil 10 Fußbodenaufbau Plattenbelag („Freifläche“), Bauteil 16: Die Kunststoffstetzlager für den Plattenbelag werden in der Ökobilanzierung vernachlässigt, da keine entsprechenden Umweltdaten verfügbar sind. Beim Doppelboden (vgl. EPD Lindner Nortec) beträgt der Anteil der Stahlstützen nur ca. 2,7% der Masse des Systems, daher wird von einem niedrigeren Anteil im Falle der Kunststoffstetzen ausgegangen, wodurch eine Vernachlässigung gerechtfertigt ist.

Für folgende Materialien wurden keine Umweltdaten gefunden, es wurden jedoch ähnliche Alternativmaterialien festgelegt:

- Bauteil 4 (CLT Decke roh): Zu den Produkten der Planungsangabe wurden keine Umweltdaten gefunden. Anstatt der produktspezifischen Calciumcarbonat Schüttung wird eine Schüttung aus mineralisierten Holzhackschnitzeln angenommen.
- Bauteil 5 (Hohldielendecke roh): Aufgrund fehlender Umweltdaten werden die Vorspannlitzen in der Ökobilanzierung wie gewöhnliche Bewehrung behandelt.
- Bauteil 19 (Außenwand): Für die im Projekt vorgesehenen Naturs Holzwände sind keine spezifischen Umweltdaten vorhanden. Die Wände wurden daher aus Nadelholzmodelliert.
- Bauteil 20 (Innenwand): Anstatt der im Projekt vorgesehenen Baustrohplatten (vgl. Produkt i-straw) werden die Trennwände als Trockenbauwände mit Lehm- und Mineralwolle-Dämmung angenommen.
- Stütze 1: Spezifische Umweltdaten zu Rotorblättern sind nicht vorhanden. Es wird der Datensatz „Kunststoffteil aus laminiertem Polyesterharz (GFK, 30% Glasfaseranteil)“ als Ersatz herangezogen. Für den Transport wurden 400 km mit einem schweren LKW angenommen, da die Windräder aufgrund der benötigten Menge teilweise aus weiter entfernten Windparks antransportiert werden müssten.

Bewehrungsgrade:

Die Bewehrungsgrade wurden in Anlehnung an den OI3 Berechnungsleitfaden sowie Literaturrecherche folgendermaßen gestaffelt und wie folgt angenommen. Da es sich um ein Hochhaus handelt ist mit höheren als den Standardbewehrungsmengen zu rechnen. Die Angaben sind der Planungsphase entsprechend grobe Abschätzungen und wurden statisch nicht überprüft:

- | | |
|--|-----------------------|
| • Stützen, Fundament, Bohrpfähle, Weiße Wanne | 160 kg/m ³ |
| • Decken, Wände, | 120 kg/m ³ |
| • Verbundträger (exkl. Stahlträger), Aufbeton, Stiegenlauf | 80 kg/m ³ |
| • Gefällebeton | 0 kg/m ³ |

Transporte:

Für zusätzliche Annahmen zu Transporten (Modul A4) werden Datensätze von ÖKOBAUDAT herangezogen. Es werden zwei Arten von LKWs in Erwägung gezogen und je nach Transportgut individuell zugeordnet:

- LKW zulässiges Gesamtgewicht 20-26 t
- LKW zulässiges Gesamtgewicht 34-40 t

Die Daten für Transporte beziehen sich dabei gem. verfügbarem Datensatz auf einen LKW der Klasse EURO 5 mit 85% Auslastung. Transporte mit Bahn, Schiff oder Kleintransportern werden nicht berücksichtigt.

Sofern Transportdaten in EPD-Datensätzen vorhanden sind, werden diese übernommen. Wenn keine Transportdaten im Datensatz vorhanden sind, werden für diese Annahmen getroffen. Die Transportdistanzen werden vereinfachend in drei Stufen gegliedert:

- Verfügbar kurze Transportdistanz (Nähe Wien) 100 km
- Verfügbar mittlere Transportdistanz 200 km (Bspl. Stahl)
- Verfügbar weite Transportdistanz 400 km (Bspl. Rotorblätter, Holzprodukte)

4.3 Kostenermittlung

In einem ersten Ansatz wurde angedacht, die Kosten methodisch gemäß einer Kostenermittlung nach ÖNORM B 1801 bzw. DIN 276 durchzuführen. Es wurde jedoch schnell ersichtlich, dass kaum frei zugängliche Benchmarks für Hochhausprojekte vorhanden sind. Weiters sind ebenso wenige Benchmarks und Kostendaten für ReUse Bauteile und Materialien vorhanden.

Daher wurde der Fokus auf die fünf wesentlichen ReUse Elemente der Fallstudie gerichtet und ein Vergleich dieser durchgeführt. Auch hier gestaltet sich die Festlegung einer allgemeinen Methodik als schwierig, da die Kostenermittlung an die jeweils vorhandenen Daten angepasst werden muss. Die verfügbaren Daten variieren grundsätzlich stark in der Art der Aufbereitung, der Preisbasis, der Betrachtungstiefe, etc. Zudem kommt der erschwerende Faktor hinzu, dass die Bauteilkosten von vielen verschiedenen Faktoren, wie bereits in Kapitel 3.2 beschrieben, abhängig sind.

Es wurde daher versucht, die Kostenermittlung so transparent und nachvollziehbar wie möglich aufzubereiten, um eine bestmögliche Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die ermittelten

Kosten verstehen sich trotz allem als Beispielrechnungen und können keine Allgemeingültigkeit haben.

4.3.1 Modellbildung

Festlegung der Projektphase

Die Projektphase ist, auf Basis der verfügbaren Projekt- und Planungsdaten, in etwa der Vorbereitungs- bzw. Vorentwurfsphase gem. ÖN B 1801 zuzuordnen. Daher wäre eine Kostenermittlung auf Ebene eines Kostenrahmens bzw. einer Kostenschätzung durchzuführen.

Errichtungskosten, Baukosten:

Die Errichtungskosten und Baukosten auf Gebäudeebene wurden aufgrund fehlender Benchmarks auf Ebene des Kostenrahmens (EUR/m²BGF oder EUR/m²NUF) bzw. des hohen Aufwandes für die Kostenschätzung nicht ermittelt.

Elementkosten:

Die Modellierung der Elementkosten erfolgt individuell auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten und wird für die ReUse Bauteile des Use Case 1 (ReUse) sowie die entsprechenden Ersatzbauteile des Use Case 2 (konventionell) ermittelt.

Nicht berücksichtigte Kosten:

Nicht berücksichtigt werden zusätzliche Planungsaufwände (wie Bauteilsuche, Materialprüfung, etc.), sowie Unterhaltskosten oder Finanzierungskosten und Nebenkosten für die entsprechenden Bauteile. Die ermittelten Kosten beziehen sich, auch in Übereinstimmung mit den räumlichen Bilanzgrenzen auf die Kostenbereiche 2 und 4, Kostenbereich 3 Technik wird nicht erfasst.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse werden immer als Element-Gesamtkosten für das entsprechende ReUse Bauteil sowie das Neubauteil dargestellt und die Differenz ermittelt.

Gegebenenfalls einzusparende Abbruch- bzw. Entsorgungskosten werden gesondert ausgewiesen. Es handelt sich hierbei um „sowieso Kosten“ die im Use Case 2 (konventionell) anfallen würden, wenn das Bauteil nicht wiederverwendet wird.

Negative Differenzen in den Ergebnissen stellen Minderkosten dar, positive Differenzen Mehrkosten.

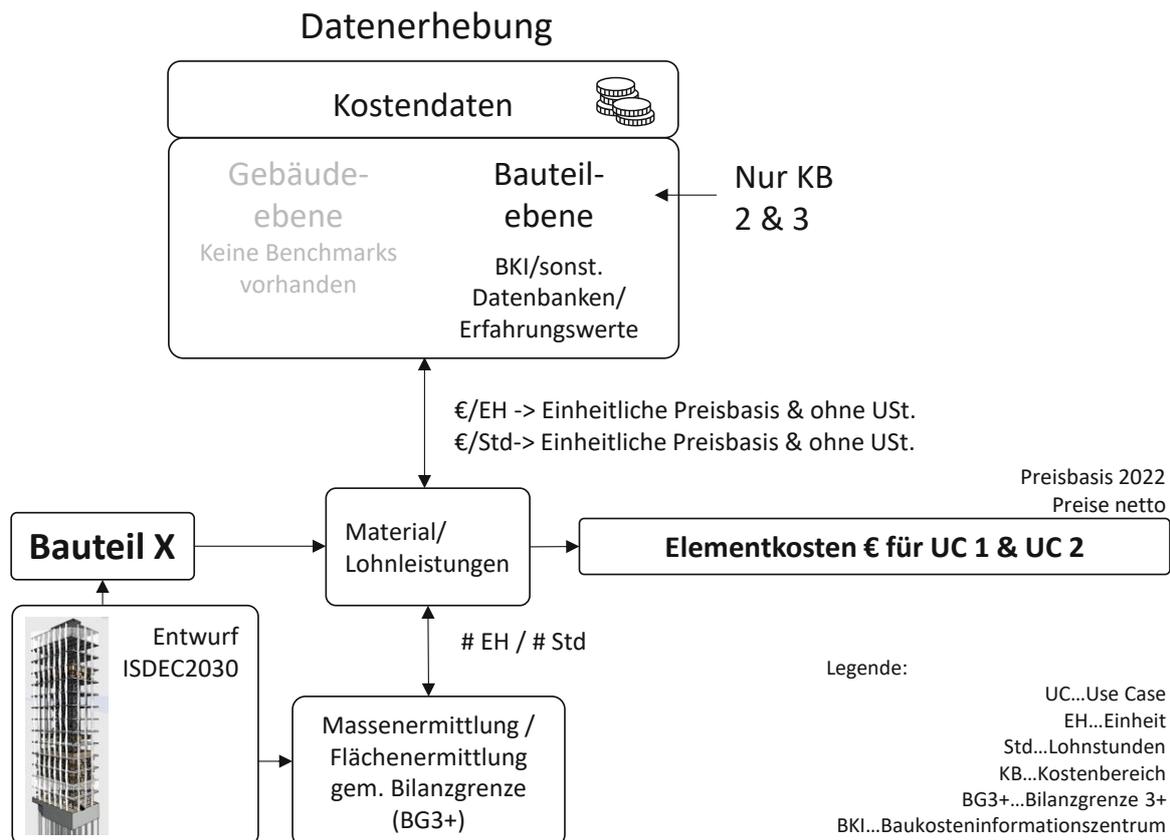


Abb. 4.4: Graphische Darstellung der Kostenermittlung

4.3.2 Datenerhebung

Folgende Quellen konnten für die Beurteilung von Elementkosten ermittelt werden:

- Anfrage bei Unternehmen
- (Stricker et al., 2021) – Abgerechnete Kostendaten für spezielle Bauteile
- (Daxbeck et al., 2015) – Aufwandswerte und Kostendaten für spezielle Ausbau-Bauteile

Neben diesen Quellen bildet die Schriftenreihe des BKI eine wesentliche Grundlage für die Kostenermittlung. Zum einen für die Kostenermittlung für den Use Case 2 (konventionell), zum anderen zur Festlegung und Abschätzung der Aufwandswerte zur Errichtung der einzelnen Bauteile und Komponenten. Als zusätzliche Quelle wurde die Heinze Baupreisinfo²⁶ verwendet.

Die verwendeten Kostendaten und zugehörigen Quellenangaben finden sich in Anhang D.

4.3.3 Hintergrundinformationen zu Bauteilkosten

Bauteil 7 (FB-Aufbau innen Systemboden ohne Belag):

Die Kostendaten wurden auf Basis der Angaben des Factsheets „Kosten und Werte in der Kreislaufwirtschaft“ (IG LEBENSZYKLUS BAU, 2022) sowie einer Basisangabe zum Neupreis von Romm ZT hergeleitet. Es wird nur der Systemboden ohne Estrich und ohne Belag betrachtet.

²⁶ <https://baupreisinfo.heinze.de/>; Heinze GmbH, abgerufen am 05.03.2023

Bauteil 25 (Glasfassade):

Die Kostendaten der Neubauteile wurden auf Basis des (BKI, 2021) hergeleitet. Für den Kaufpreis von wiederverwendeter Verglasung (im speziellen Telefonzellenverglasung) konnten keine Vergleichswerte eruiert werden. Es wird daher vereinfachend von einer Schenkung ausgegangen. Die Kosten für Demontage, Transport und Lagerung ergeben sich durch eine Durchschnittsbildung von Daten aus (Stricker et al., 2021).

Stütze 1 Rotorblatt

Die Kosten für die Rotorblattstützen des Use Case 1 ReUse wurden auf Basis von zur Verfügung gestellten Erfahrungswerten der Woschitz ZT GmbH ermittelt. Die Vergleichswerte der Stützen des Use Case 2 konventionell (Stahlbetonstützen) wurden auf Basis von Daten des BKI ermittelt.

Träger 1

Für den Stahlbeton-Verbund-Träger konnten weder für Use Case 1 noch für den Use Case 2 belastbare Kosten ermittelt werden.

Fenster 1-3

Durch Romm ZT wurden Referenzdaten und -kostenermittlung zur Verfügung gestellt. Diese wurden in weiterer Folge für den individuellen Anwendungsfall am gegenständlichen Referenzobjekt angepasst.

4.4 Referenzobjekt

Im Zuge einer konkreten Fallstudie sollen Ergebnisse zur Beurteilung der anfangs formulierten Forschungsfragen generiert werden. Das der Fallstudie zugrunde liegende Referenzobjekt und die behandelten Use-Cases werden in diesem Kapitel beschrieben.

4.4.1 Objektbeschreibung und Mengenermittlung

Das Referenzobjekt ist ein fiktiver Hochhausbau in Wien mit Standort an der Donauplatte im 20. Wiener Gemeindebezirk. Im Folgenden wird das Projekt kurz umrissen. Angaben, welche aus den Plänen und dem ArchiCAD Modell nicht ersichtlich sind, wurden ergänzt. Die Mengenermittlung erfolgt auf Basis der unter Punkt 4.1.1 beschriebenen Bilanzgrenze. Eine detaillierte Liste der Bauteile und der zugehörigen Annahmen findet sich in Anhang A.

Die Fundierung des Objekts erfolgt mittels Bohrpfählen und einer Bodenplatte. In den drei Untergeschossen ist eine Tiefgarage untergebracht. Die Ausführung der Untergeschosse erfolgt als weiße Wanne. Das Grundskelett des Hochbaus besteht aus lotrechten und geneigten Stahlbetonstützen und Hohldielendecken, welche auf einem Stahl-Beton-Verbund-Rost aufliegen. Es erfolgt eine dreigeschossige Gliederung des Stahlbetonskeletts. Die Hohldielendecke wird dabei nur in jeder dritten Ebene ausgeführt. Dazwischen befinden sich jeweils drei Geschosse in Holzbauweise. Insgesamt gibt es 39 Regelgeschosse in 13 „Paketen“. Die drei Erdgeschossebenen sind individuell gestaltet. Das Dach ist teilweise begehrbar (Plattenbelag) und teilweise als extensives Gründach ausgeführt. Der Kern aus Stahlbeton beinhaltet zwei Treppenhäuser, die Aufzugsschächte und die Hauptschächte der Haustechnik. Die äußere Fassadenhülle (windbrechende Schicht) besteht aus einer verglasten Pfosten-Riegel-Konstruktion. Dahinter befindet sich ein unkonditionierter, begehrbarer Zwischenraum. So entsteht im Prinzip eine belüftete Korridorfassade bzw. belüftete Mehrgeschossfassade, welche nach allen drei Stockwerken unterteilt ist. Die

tatsächliche thermische Gebäudehülle bilden schlussendlich die zurückversetzten Holzwände der Regelgeschosse. Es wird angenommen, dass in allen Regelgeschossen Büronutzung stattfindet.

Flächen:

- BGF_{kond} (konditioniert): ca. 50.440 m²
- BGF_{Pufferräume}: ca. 16.070 m²
- BZF: ca. 58.475 m² (=BGF_{kond}+0,5*BGF_{Pufferräume})
- NGFa: ca. 44.960 m²
- NGFb: ca. 10.670 m²
- Nutzfläche: ca. 39.750 m²
- Tiefgarage: ca. 4.290 m²

Die Ermittlung der Brutto-Grundfläche (BGF) erfolgt nach der ÖNORM B 1800. Die konditionierten Flächen umfassen auch die Stiegenhäuser. Die unkonditionierten Bereiche (Pufferräume) umfassen die Flächen zwischen äußerer und innerer Fassade, also Loggien, Balkone, Terrassen, sowie die Tiefgarage.

Das Aufmaß und die Massen wurden aus den Plandaten bzw. dem ARCHICAD Modell und teilweise computerunterstützt ermittelt. Die Aufbereitung und Verarbeitung der Daten erfolgten in Excel. Wenn notwendig wurden Informationen oder Daten ergänzt bzw. geändert.

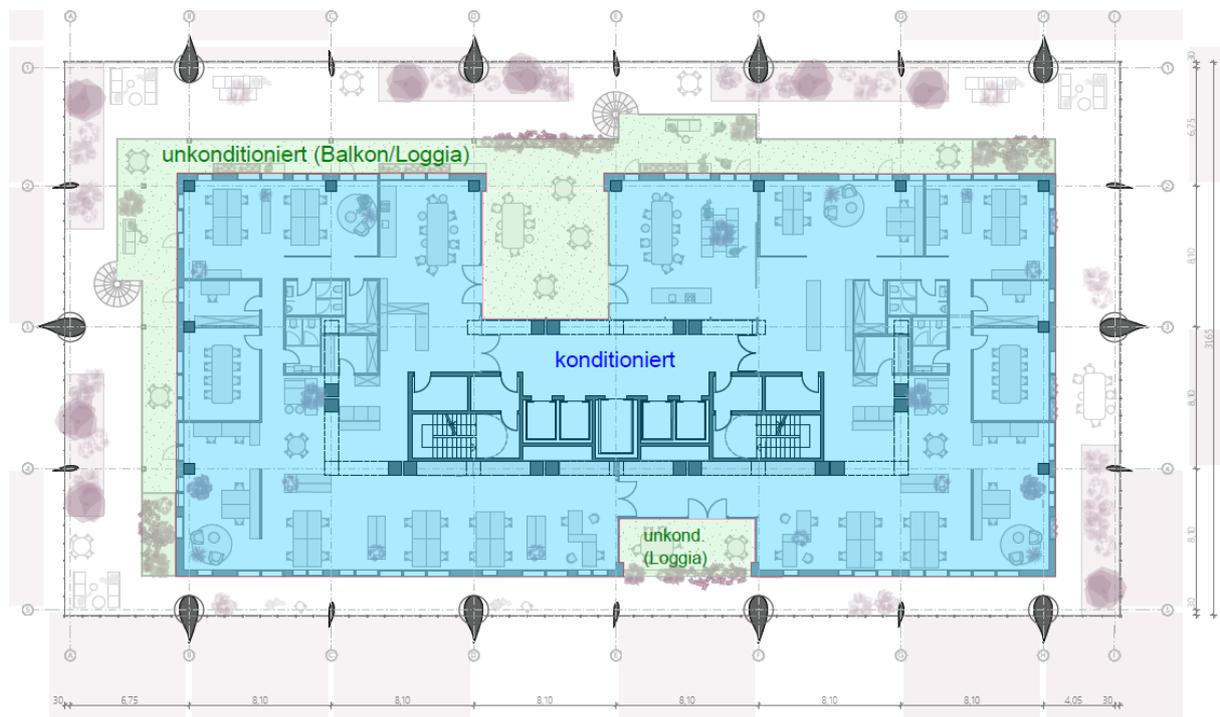


Abb. 4.5: Grundriss Regelgeschoss, Quelle: Studentengruppe ISDEC2030 – konditionierte (blau) und unkonditionierte (grün) Bereiche der BGF

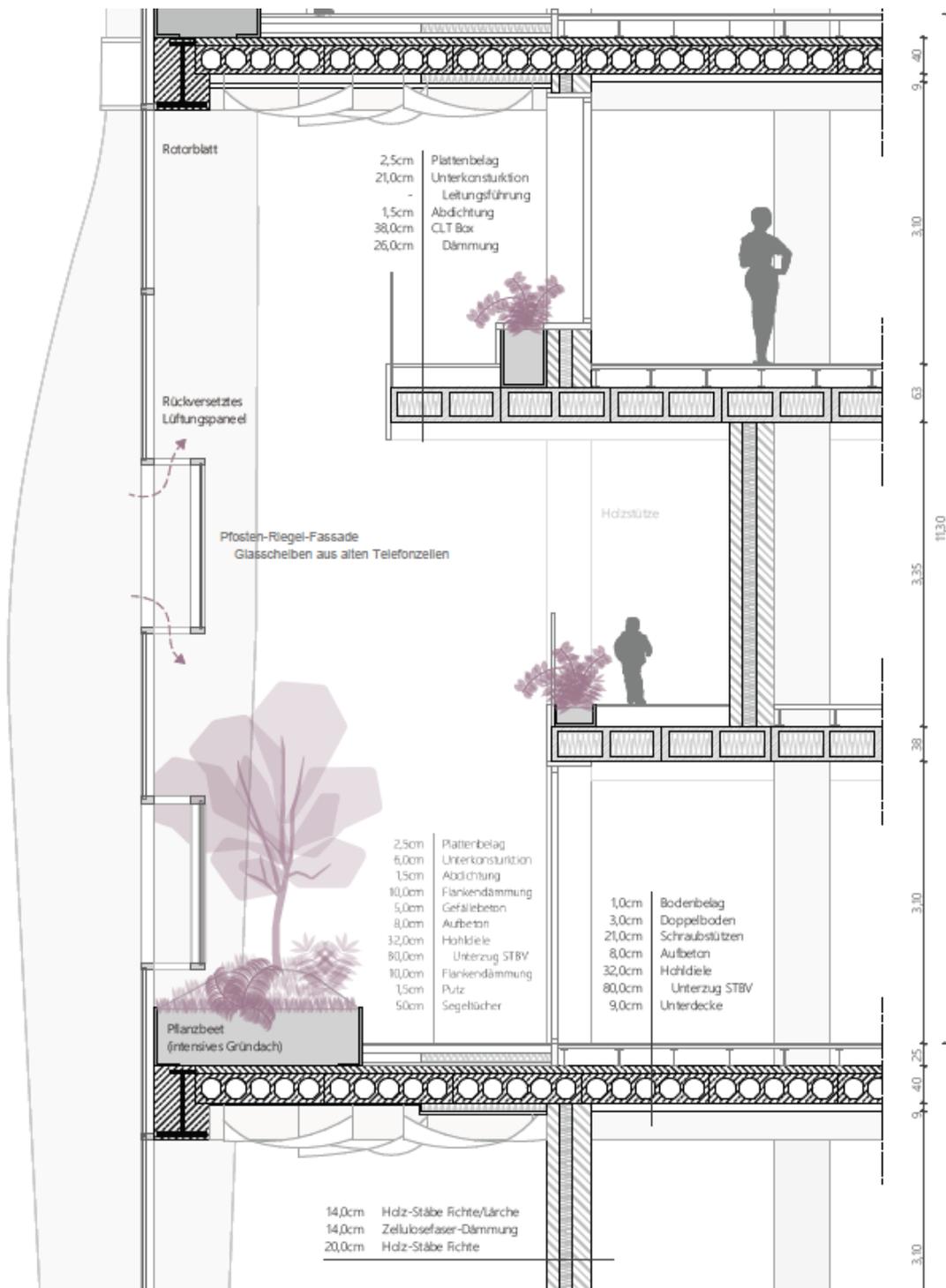


Abb. 4.6: Detailschnitt mit Angabe diverser Aufbauten, Quelle: Studentengruppe ISDEC2030

4.4.2 Use Case 1 (ReUse)

Der Use Case 1 beschreibt den Anwendungsfall „ReUse“:

1) Stützen aus wiederverwendeten Windrad Rotorblättern: Die äußeren Stützen des Gebäudes werden aus wiederverwendeten Rotorblättern errichtet. Bei der Kostenermittlung werden folgende drei Varianten betrachtet

- Best Case – negativer Kaufpreis (aufgrund teurer Entsorgung)
- Middle Case – Schenkung

- Worst Case – positiver Kaufpreis
- 2) Windbrechende Schicht mit wiederverwendeten Glaselementen: Die Glaselemente der windbrechenden Schicht werden aus wiederverwendetem Glas, z.B. Einscheibensicherheitsglas (ESG) von ausrangierten Telefonzellen, gebaut. Da gem. ÖNORM B 3716 1-3 die absturzsichernde Funktion nicht durch ESG erfolgen kann, werden dafür 15% der Glasfläche aus Verbundsicherheitsglas ausgeführt.
 - 3) Wiederverwendeter Systemboden: Die Calciumsulfatplatten des Doppelbodens werden aus Sekundärmaterial ausgeführt. Es bestehen bereits Geschäftsmodelle zur Wiederverwendung von Doppelbodenplatten in einem geschlossenen Kreislauf. Die Stahl-Unterkonstruktion wird in derzeitiger Anwendung noch nicht wiederverwendet, weshalb nur die Platten als ReUse ausgeführt werden. Bei den Kosten werden folgende zwei Varianten betrachtet
 - Wiederverwendung – keine Aufbereitung der Platten
 - Weiterverwendung– mit Aufbereitung der Platten (z.B. schleifen, tauschen des umlaufenden Kantenbandes etc.)
 - 4) Fenster: Fenster aller Art bzw. deren Flügel eignen sich grundsätzlich für die Wiederverwendung. Im gegenständlichen Use Case 1 (ReUse) werden gem. Empfehlung von Romm ZT die Flügelrahmen inkl. Verglasung der Holzfenster, nicht aber die Blendrahmen, wiederverwendet. Die Blendrahmen müssen für die wiederverwendeten Flügel maßgefertigt werden. Bei Fixverglasungen wird der gesamte Rahmen inkl. der Verglasung wiederverwendet. Diese Variante ist in der Ökobilanzierung abgebildet. Bei den Kosten werden zusätzlich folgende zwei Varianten betrachtet
 - Wiederverwendung des gesamten Fensters inkl. Rahmen
 - Wiederverwendung des gesamten Fensters mit Glastausch (ist aufgrund der vorgesetzten windbrechenden Schicht eigentlich nicht notwendig)
 - 5) Träger: Die Verbundträger (Fertigteile) werden mit wiederverwendeten Stahlträgern ausgeführt. Es wird angenommen, dass die wiederverwendeten Stahlprofile im Werk mit konventionellem Beton und Bewehrungsstahl zu Fertigteilen verbunden werden.

4.4.3 Use Case 2 (konventionell)

Der Use Case 2 beschreibt den Anwendungsfall „konventionell“. Dabei werden die unter 4.4.2 beschriebenen Elemente durch konventionelle, neue Elemente ersetzt.

- 1) Die äußeren Stützen des Gebäues werden aus Stahlbeton ausgeführt.
- 2) Die Glaselemente der windbrechenden Schicht sind zu 100% Neuelemente (15% VSG, 85% ESG).
- 3) Der Systemboden besteht zu 100% aus Neuelementen.
- 4) Die Fenster sind 100% Neuelemente.
- 5) Die Verbundträger (Fertigteile) sind 100% Neuelemente.

5 Demonstrative Berechnung anhand eines Fallstudien Elements

5.1 Beispielhafte OI3-Ermittlung

Anhand von Bauteil 7 wird die Ermittlung des OI3 Index schrittweise beispielhaft erläutert.

1) Festlegung von Schichtaufbau und Aufmaß des Bauteils in der Bauteilliste

Bauteil Nr.	Produkt lt. Projekt (wenn angegeben)		Fläche (gerundet 10m ²)	Aufbau Allgemein	Materialstärke/ Dicke [EH]		Anmerkung
Bauteil 7	FB-Aufb. innen Systemboden o. Beleg	Lindner Nortec	44.000 m ²	Material	inhomogen [cm]		
				Systemboden Platten (Doppelboden) ReUse	16,50	als ReUse Produkt - z.B. Produkt Lindner Loop	
				Systemboden Schraubstützen	16,50	Anteil Platten 97,3%, Anteil Stützen 2,7%	
				Estrich	5,00	Annahme	
				Trennlage PE (0,2mm)	0,02	Annahme	
				Trittschalldämmung (Mineralwolle)	2,50	Annahme	

2) Erfassung der erforderlichen Materialdaten und Bauteilinformationen (Datenerhebung)

Einheit	[kg/m ³]	[Jahre]				[kg/m ²]	[m]	
Materialbezeichnung lt Datenbank	Dichte	IBO LD	Referenz-einheit	Quelle	Dataset	Fl. gew.	Dicke	EPD
Doppelbodensystem Typ NORTEC	303	50	kg*	ökobaudat	specific	50	0,165	EPD-LIN-20210022-IBA1-DE
Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	100	50	kg*	ökobaudat	average			EPD-FMI-20210019-IBG1-DE
Zementestrich	2400	50	kg	ökobaudat	generic			
Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	1000	25	kg*	ökobaudat	generic	0,2	0,0002	

MJ/Funkt. Einh.					kg CO2 eq./Funkt.Einh.					kg SO2 eq./Funkt. Einh.				
PENRT					GWP					AP				
A1-A3	A4	A5	C1-C4	D	A1-A3	A4	A5	C1-C4	D	A1-A3	A4	A5	C1-C4	D
5,8400	0,4040	0,0022	0,2566	-0,4680	0,2520	0,0326	0,0041	0,2464	-0,0516	0,0006	0,0001	0,0000	0,0001	-0,0001
16,0300	0,2898	0,3606	0,2394	-	1,1740	0,0213	0,1843	0,0245	-	0,0070	0,0000	0,0002	0,0001	-
1,2090	0,1208		0,2619	-	0,1836	0,0090		0,0182	-	0,0002	0,0000		0,0001	-
67,8000	0,1208		0,4865	-20,0800	1,9970	0,0090		2,7826	-1,3725	0,0260	0,0000		0,0003	-0,0012

3) Verknüpfung von Aufbau und Material je Schicht und Festlegung der ReUse-Szenarien für A1-A3 und B4 durch Angabe des Schichtalters

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht [a]	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f _{RU}	Dicke der Schicht [m]	
1	Systemboden Platten (Doppelboden) ReUse	Doppelbodensystem Typ NORTEC	35	50	50	0,00	0,165	
2	Systemboden Schraubstützen	Doppelbodensystem Typ NORTEC	0	50	50	1,00	0,165	
3	Estrich	Zementestrich	0	50	50	1,00	0,05	
4	Trennlage PE (0,2mm)	Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	0	25	50	1,00	0,0002	
5	Trittschalldämmung (Mineralwolle)	Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	0	50	50	1,00	0,025	
6			0	0	0	1,00	0	
7			0	0	0	1,00	0	
8			0	0	0	1,00	0	
9			0	0	0	1,00	0	
10			0	0	0	1,00	0	
							Dicke des Bauteils	0,2402

Jeder Schicht des Modells wird ein Material der Materialdatentabelle zugewiesen.

Die Bauteilschicht 1 wird mit einem Schichtalter von 35 Jahren wiederverwendet, der ReUse Faktor ergibt sich somit zu f_{RU}=0. Die restlichen Schichten sind neu, daher ist der ReUse Faktor 1.

Bei Schicht 4 wurde die Nutzungsdauer manuell angepasst, da die Trennlage erst mit der Estrichsanierung getauscht wird.

A	Austauschzyklen gesamt n [-]	Szenario Austausch UpStream		Modul B4		
		davon ReUse ($0 \leq n_{RU} \leq n$)	davon "neu" $n_{neu} = n - n_{RU}$	$n_{RU} * 0 * (A1-A3) + n_{neu} * 1 * (A1-A3) + n * (C1-C4)$ PEnt	GWP	AP
1	1	1	0	0,257	0,246	0,000
2	1	0	1	6,097	0,498	0,001
3	1	0	1	1,471	0,202	0,000
4	1	0	1	68,286	4,780	0,026
5	1	0	1	16,269	1,198	0,007
6	0	0	0	0,000	0,000	0,000
7	0	0	0	0,000	0,000	0,000
8	0	0	0	0,000	0,000	0,000
9	0	0	0	0,000	0,000	0,000
10	0	0	0	0,000	0,000	0,000
I				92,380	6,925	0,034

Bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren und einer Nutzungsdauer von 50 Jahren müssen die Schichten einmal getauscht werden. Für Schicht 1 wird angenommen, dass diese auch beim Austausch wieder aus Sekundärmaterial besteht. Daher ist der Faktor für die Anzahl der Austauschzyklen $n_{RU}=1$ und $n_{neu}=0$.

4) Massenermittlung

Die Masse jeder Schicht/jedes Bauteils wird für die Errichtungsphase sowie für das Ende des Betrachtungszeitraums ermittelt. Erste ergibt sich aus der Fläche, Schichtstärke und der Dichte des Materials. Zweitere wird durch Multiplikation der Errichtungsmasse mit der Anzahl der Austauschzyklen $(n+1)$ ermittelt.

Konstruktionsfläche [m ²]	44.000,00
---------------------------------------	-----------

A	bei Errichtung	nach 100 Jahren
	Masse [kg]	Masse [kg]
1	2.141.040,00	2.141.040,00
2	58.960,00	117.920,00
3	5.280.000,00	10.560.000,00
4	8.800,00	17.600,00
5	110.000,00	220.000,00
6	-	-
7	-	-
8	-	-
9	-	-
10	-	-
I	7.598.800,00	13.056.560,00

5) Ermittlung der absoluten Umweltindikatoren

Die absoluten Umweltindikatoren werden durch Multiplikation der Massen [kg] mit den Umweltindikatoren pro deklarierte Einheit [M]/kg für Errichtung und nach 100 Jahren ermittelt.

bei Errichtung					
PE _{err} [GJ]	A1-A3	GWP(total) [t CO ₂ eq.]	A1-A3	AP [kg SO ₂ eq.]	A1-A3
-	-	-	-	-	-
344,33	344,33	14,86	14,86	35,73	35,73
6.383,52	6.383,52	969,41	969,41	811,01	811,01
596,64	596,64	17,57	17,57	228,89	228,89
1.763,30	1.763,30	129,14	129,14	770,22	770,22
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
9.087,79	9.087,79	1.130,98	1.130,98	1.845,85	1.845,85

nach 100 Jahren							
PE _{BG3+,LZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,BG3+,LZ} [t CO ₂ eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*
1098,78	-	549,39	549,39	1054,93	-	527,47	527,47
718,91	344,33	359,46	15,13	58,77	14,86	29,38	14,53
15532,39	6383,52	7766,19	1382,67	2131,06	969,41	1065,53	96,12
1201,84	596,64	600,92	4,28	84,12	17,57	42,06	24,49
3579,26	1763,30	1789,63	26,33	263,67	129,14	131,83	2,69
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
22.131,18	9.087,79	11.065,59	1.977,80	3.592,55	1.130,98	1.796,27	665,29

AP _{BG3+,LZ} [kg SO ₂ eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*
456,13	-	228,06	228,06
84,02	35,73	42,01	6,28
2703,78	811,01	1351,89	540,88
462,29	228,89	231,15	2,26
1560,47	770,22	780,23	10,01
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
5.266,69	1.845,85	2.633,35	787,50

6) Ermittlung des OI3 Index

$$\begin{aligned}
 OI3_{BG3+,BZF,LZ} = & \frac{1}{3} \left[\frac{0,1m^2}{MJ} \left(\frac{PENRT_{BG3+,LZ}}{BZF} \right) + \frac{0,5m^2}{kgCO_2eq.} \left(\frac{GWP_{Total,BG3+,LZ}}{BZF} \right) \right. \\
 & \left. + \frac{400m^2}{kgSO_2eq.} \left(\frac{AP_{BG3+,LZ}}{BZF} \right) \right] \quad \text{vgl. (4)}
 \end{aligned}$$

OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3			
OIPENRT [-]	OIGWP [-]	OIAP [-]	OI3 _{BG3+,BGF,LZ} [-]
1,88	9,02	3,12	4,67
1,23	0,50	0,57	0,77
26,56	18,22	18,50	21,09
2,06	0,72	3,16	1,98
6,12	2,25	10,67	6,35
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
37,85	30,72	36,03	34,86

6 Fallstudie: Ergebnisse Ökobilanz

6.1 Ergebnisse Use Case 1 (ReUse)

Der Use Case 1 (ReUse) repräsentiert die Variante „ReUse“ und stellt das Gebäude wie geplant dar. Für den Use Case getroffene Annahmen und Daten sind dem Kapitel 4 zu entnehmen. Die Bauteile und deren Aufbauten finden sich in Anhang A.

Tabelle 6.1: Gesamtergebnisse Use Case 1 - Überblick

	Errichtung			Ende des Betrachtungszeitraums			OI3 _{BG3+,BZF,LZ} ReUse [OI3-Punkte]
	PENRT [GJ]	GWPTotal [t CO2 eq.]	AP [kg SO2 eq.]	PENRT [GJ]	GWPTotal [t CO2 eq.]	AP [kg SO2 eq.]	
Bauteil 1	13.843,5	1.785,2	2.858,4	15.582,9	1.914,6	3.299,4	21,9
Bauteil 2	1.405,5	190,8	301,5	1.603,4	205,6	351,9	2,3
Bauteil 3	772,6	104,9	165,8	881,4	113,0	193,4	1,3
Bauteil 4	11.629,0	3.787,8	2.939,7	11.789,5	280,0	2.993,3	14,3
Bauteil 5	15.670,6	2.100,6	3.275,8	17.253,0	2.218,3	3.675,6	24,5
Bauteil 6	3.739,9	507,8	802,3	4.266,3	547,0	936,3	6,1
Bauteil 7 ReUse	9.087,8	1.131,0	1.845,8	22.131,2	3.592,5	5.266,7	34,9
Bauteil 8	1.869,4	110,3	102,6	4.145,5	237,0	264,5	3,6
Bauteil 9	3.169,6	179,4	200,6	7.356,3	489,9	490,4	6,7
Bauteil 10	2.669,1	186,0	205,0	5.910,3	379,2	487,1	5,6
Bauteil 11	1.873,6	98,1	363,8	19.515,7	2.257,8	4.540,7	27,9
Bauteil 12	1.400,3	93,6	77,5	2.843,2	189,9	170,6	2,6
Bauteil 13	2.113,1	81,9	346,0	8.743,0	565,7	1.678,6	10,4
Bauteil 15	1.762,5	107,1	360,6	3.624,0	241,9	758,5	4,5
Bauteil 16	1.861,5	61,5	82,9	5.274,7	208,7	267,4	4,2
Bauteil 17	1.523,2	24,0	76,5	4.438,1	119,0	290,2	3,5
Bauteil 18	450,7	34,5	182,2	1.381,3	106,2	558,5	2,4
Bauteil 19	2.712,8	2.541,0	1.303,1	2.958,0	212,1	1.359,8	5,4
Bauteil 20	1.204,1	30,4	281,5	2.490,7	60,9	584,7	2,9
Bauteil 21	141,2	7,9	17,9	295,6	18,2	40,9	0,3
Bauteil 22	3.698,8	502,2	793,5	4.219,5	541,0	926,0	6,1
Bauteil 23	1.896,6	241,4	387,8	2.126,0	258,5	445,9	3,0
Bauteil 24	425,7	62,9	97,4	497,6	68,3	115,8	0,7
Bauteil 25 ReUse	20.543,4	1.569,5	5.403,0	41.982,7	3.287,1	11.015,4	58,4
Bauteil St 1 ReUse	-	-	-	571,3	1.161,9	132,7	3,9
Bauteil St 2	1.670,2	234,3	359,0	1.836,8	246,7	401,2	2,7
Bauteil St 3	4.229,7	593,4	909,1	4.651,7	624,8	1.015,9	6,7
Bauteil St 4	4.927,1	691,2	1.059,0	5.418,7	727,8	1.183,4	7,9
Bauteil St 5	18,1	18,5	9,2	39,3	2,9	18,7	0,1
Bauteil Tr 1 ReUse	2.989,6	441,8	683,9	3.526,5	481,2	818,9	5,2
Fenster 1 ReUse	502,7	3,5	86,1	1.633,1	261,8	302,6	2,4
Fenster 2 ReUse	-	-	-	129,0	190,3	46,5	0,7
Fenster 3 ReUse	97,0	0,7	16,6	311,2	49,1	57,0	0,4
Fenster 4	2.479,1	182,9	613,8	7.494,9	583,2	1.861,4	10,2
Türe 1	135,6	25,5	13,4	230,0	14,8	27,5	0,2
Türe 2	609,3	54,5	167,1	1.155,5	101,3	314,7	1,7
Summe	123.123,1	4.807,7	26.388,2	218.307,8	22.558,4	46.892,2	295,7

Zum besseren Verständnis und Überblick wird an dieser Stelle noch einmal eine kompakte Bauteilliste angeführt:

Tabelle 6.2: Bauteilliste kompakt – Aufmaß und Massen bei Errichtung

Bauteil 1	Fundamentplatte Keller	1.870 m ²	15.259 t
Bauteil 2	Kellerdecke inkl Rampen	3.420 m ²	1.724 t
Bauteil 3	Oberste Kellerdecke	1.880 m ²	948 t
Bauteil 4	CLT Decke roh	30.810 m ²	3.521 t
Bauteil 5	Hohldielendecke roh	21.180 m ²	13.962 t
Bauteil 6	Decke Kern STB roh (massiv)	4.550 m ²	4.586 t
Bauteil 7 ReUse	FB-Aufb. innen Systemboden o. Belag	44.000 m²	7.599 t
Bauteil 8	Fußbodenaufbau Plattenbelag (Balkon)	3.320 m ²	204 t
Bauteil 9	Fußbodenaufbau Plattenbelag Flankendämmung ("Freifläch	3.190 m ²	579 t
Bauteil 10	Fußbodenaufbau Plattenbelag ("Freifläche")	4.160 m ²	739 t
Bauteil 11	Belag Teppich	18.700 m ²	97 t
Bauteil 12	Belag Fliese	6.600 m ²	188 t
Bauteil 13	Resilient Floor Tiles	18.700 m ²	155 t
Bauteil 14	Belag Parkett (n.b.)	0 m ²	0 t
Bauteil 15	Unterdecke (abgeh. Decke)	16.510 m ²	189 t
Bauteil 16	Dachaufbau begehbar	1.010 m ²	141 t
Bauteil 17	Dachaufbau ext. Gründach	1.010 m ²	200 t
Bauteil 18	Unterdeckendämmung unterste Geschoßdecke	1.230 m ²	41 t
Bauteil 19	Außenwand Holz	10.380 m ²	1.683 t
Bauteil 20	Innenwand Lehmabau	12.090 m ²	389 t
Bauteil 21	Schachtwand	1.250 m ²	27 t
Bauteil 22	Kern Stahlbeton	12.000 m ²	4.536 t
Bauteil 23	Keller Außenwand (STB)	1.970 m ²	2.017 t
Bauteil 24	Stiegenlauf Kern	1.250 m ²	620 t
Bauteil 25 ReUse	Glasfassade	27.350 m²	1.431 t
Stütze 1 ReUse	Rotorblatt	3.220 m	728 t
Stütze 2	Stütze Stahlbeton	1.590 m	1.465 t
Stütze 3	Stütze Stahlbeton schräg	3.020 m	3.711 t
Stütze 4	Bohrpfahl	2.150 m	4.323 t
Stütze 5	Holzstütze	400 m	12 t
Träger 1 ReUse	Stahlbeton-Verbund	4.180 m	5.359 t
Fenster 1 ReUse	Fenster (1,35x2,15m) ReUse	1.352 Stk	158 t
Fenster 2 ReUse	Balkontüre schmal (0,9 x 3 m) ReUse	1.534 Stk	150 t
Fenster 3 ReUse	Balkontüre breit (1,35 x 3 m) ReUse	234 Stk	27 t
Fenster 4	Pfosten Riegel Fassade (Terrasse)	1.620 m ²	58 t
Türe 1	Innentüre (0,9 x 2,1 m)	842 m ²	22 t
Türe 2	Innentüre Brandschutz (1 x 2,1 m)	491 m ²	30 t

6.1.1 Gesamtergebnis OI3 Index

Für das Gesamtgebäude ergibt sich im Use Case 1 (ReUse) der OI3_{BG3+,BZF,LZ} zu **295,66** Punkten.

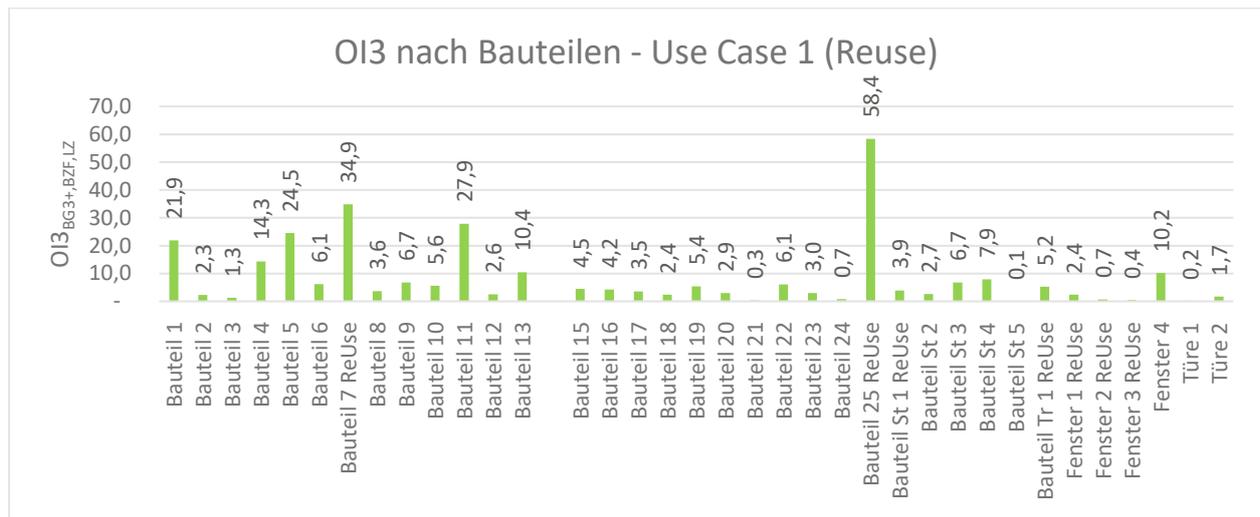


Abb. 6.1: Tabellarische Aufstellung des OI3 Index je Bauteil des UC1

6.1.2 Gesamtergebnis Ökoindikatoren

Über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren unter Berücksichtigung der gewählten räumlichen Bilanzgrenzen werden folgende Umweltwirkungen hinsichtlich des Gesamtbedarfs an nicht erneuerbarer Energie, globales Erwärmungspotential (total) und Versauerungspotential für die betrachteten Lebenszyklusphasen Herstellung (A1-A3), Instandsetzung (B4) und Entsorgung im Use Case 1 (ReUse) ermittelt.

Tabelle 6.3: Ergebnisse der Ökobilanzierung von UC1 (ReUse) (BG3+) über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren nach Phasen – Gesamt, pro m² NGFa und pro m² BGF

Gesamt	PENRT	GWptotal	AP
	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]
Herstellung (A1-A3)	123.123	4.808	26.388
Instandsetzung (B4)	84.576	7.779	17.382
Entsorgung (C1-C4)	10.609	9.971	3.122
Summe graue Emissionen	218.308	22.558	46.892

NGFa	PENRT	GWptotal	AP
	[GJ/m ²]	[kg CO2 eq./m ²]	[kg SO2 eq./m ²]
Herstellung (A1-A3)	2,66	104,02	0,57
Instandsetzung (B4)	1,83	168,31	0,38
Entsorgung (C1-C4)	0,23	215,74	0,07
Summe graue Emissionen	4,72	488,07	1,01

BGF	PENRT	GWptotal	AP
	[GJ/m ²]	[kg CO2 eq./m ²]	[kg SO2 eq./m ²]
Herstellung (A1-A3)	1,85	72,29	0,40
Instandsetzung (B4)	1,27	116,96	0,26
Entsorgung (C1-C4)	0,16	149,92	0,05
Summe graue Emissionen	3,28	339,17	0,71

6.1.3 Bauteilergebnisse

Folgend werden die Ergebnisse einzelner Bauteile kritisch hinterfragt und im Detail betrachtet.

Diese Bauteile tragen zu mehr als 5% zum OI3 Index des gegenständlichen Use Case bei und machen in Summe 56,7% aus:

- Bauteil 25 (19,8%)
- Bauteil 7 (11,8%)
- Bauteil 11 (9,4%)
- Bauteil 5 (8,3%)
- Bauteil 1 (7,4%)

Bauteil 1 – Plattenfundament

Mit 21,9 Punkten trägt das Platten Fundament zu 7,4% zum gesamten $OI3_{BG3+,BZF,LZ}$ bei. Dies ist auf die massive Bauweise und die Fundamenthöhe von 3 m – und die dadurch entstehende enorme Menge an Stahlbeton zurückzuführen.

Bauteil 5 – Hohldielendecke

Obwohl die Hohldielendecke nur jedes dritte Geschoss ausgeführt wird, entstehen hier ebenso sehr hohe Gesamtmassen an Stahlbeton und damit einhergehend eine hohe Umweltwirkung von 8,3%.

Bauteil 7 – Fußbodenaufbau Systemboden

Trotz der Ausführung des Systembodens als ReUse Bauteil sind insgesamt sehr hohe Mengen an Estrich erforderlich. Die Estrichschicht ist konstruktiv erforderlich, um eine Schalldämmung der Gesamtdecke zu gewährleisten (siehe auch Kapitel 4.2.8). Es wurde keine detaillierte bauphysikalische Betrachtung des Trittschalls durchgeführt, eine Ausführung ohne Estrich und Mineralwolle wäre aus ökologischer Sicht jedoch zu bevorzugen.

Bauteil 11 - Teppichboden

Die Nutzungsdauer für Teppichboden ist mit 10 Jahren sehr kurz. In einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren muss dieser neun Mal getauscht werden, wodurch sich die großen Auswirkungen dieses Bauteils erklären lassen.

Bauteil 25 – windbrechende Fassade

Der Umwelteinfluss der Pfosten-Riegel-Fassade ist im Allgemeinen schon durch die Verwendung der Materialien Glas, Aluminium bzw. Stahl und Dichtmaterial sehr groß. Stahlprofile bei der Unterkonstruktion sind aus ökologischer Sicht Aluminiumprofilen vorzuziehen (El khouli et al., 2014). Zusätzlich ist die Fläche dieses Bauteils sehr groß.

Im gegenständlichen Fall ist die hohe Umweltwirkung zudem auf die engmaschige Gestaltung der Fassade zurückzuführen. Durch die Verwendung der Scheiben von Telefonzellen wird ein Rastermaß von etwa 2 x 1 m vorgegeben. Dadurch entstehen sehr viele Laufmeter an Trägerprofilen, Dichtungen und Alu-Deckleisten. Als ökologische Verbesserung könnte z.B. eine punktweise oder nur teilweise lineare Befestigung angedacht werden (durch eine Reduktion der linearen Befestigung lediglich auf die Längsseiten könnten etwa ein Drittel der Deckleisten und ein Teil der Trägerprofile eingespart werden).

Ein ReUse der Glasscheiben einer Pfosten-Riegel-Fassade ist daher erst ab einer gewissen Scheibengröße sinnvoll, wenn die zusätzlichen Umweltwirkungen der Pfosten und Riegel die

eingesparten Umweltwirkungen der Glasbauteile nicht übersteigen. Von ReUse kleinformatiger Scheiben in Pfosten-Riegel-Fassaden ist daher abzusehen.

6.2 Ergebnisse Use Case 2 (konventionell)

Der Use Case 2 repräsentiert die Variante „konventionell“ und stellt eine alternative Variante des geplanten Gebäudes dar. Dazu wurden die ReUse Bauteile des Use Case 1 (ReUse) durch konventionelle Bauteile ersetzt. Für den Use Case getroffene Annahmen und Daten sind dem Kapitel 4 zu entnehmen. Die Bauteile und deren Aufbauten finden sich in Anhang A.

Tabelle 6.4: Gesamtergebnisse Use Case 2 – Überblick

	Errichtung			Ende des Betrachtungszeitraums			OI _{3BG3+,BZF,LZ} konv [OI3-Punkte]	
	PENRT	GWPTotal	AP	PENRT	GWPTotal	AP		
	[GJ]	[t CO ₂ eq.]	[kg SO ₂ eq.]	[GJ]	[t CO ₂ eq.]	[kg SO ₂ eq.]		
Bauteil 1	13.843,5	1.785,2	2.858,4	15.582,9	1.914,6	3.299,4	21,9	
Bauteil 2	1.405,5	190,8	301,5	1.603,4	205,6	351,9	2,3	
Bauteil 3	772,6	104,9	165,8	881,4	113,0	193,4	1,3	
Bauteil 4	11.629,0	-	3.787,8	2.939,7	11.789,5	280,0	2.993,3	14,3
Bauteil 5	15.670,6	2.100,6	3.275,8	17.253,0	2.218,3	3.675,6	24,5	
Bauteil 6	3.739,9	507,8	802,3	4.266,3	547,0	936,3	6,1	
Bauteil 7 konv	21.591,5	1.670,5	3.143,3	47.138,5	4.671,6	7.861,6	58,1	
Bauteil 8	1.869,4	110,3	102,6	4.145,5	237,0	264,5	3,6	
Bauteil 9	3.169,6	179,4	200,6	7.356,3	489,9	490,4	6,7	
Bauteil 10	2.669,1	186,0	205,0	5.910,3	379,2	487,1	5,6	
Bauteil 11	1.873,6	98,1	363,8	19.515,7	2.257,8	4.540,7	27,9	
Bauteil 12	1.400,3	93,6	77,5	2.843,2	189,9	170,6	2,6	
Bauteil 13	2.113,1	-	81,9	346,0	8.743,0	565,7	1.678,6	10,4
Bauteil 15	1.762,5	107,1	360,6	3.624,0	241,9	758,5	4,5	
Bauteil 16	1.861,5	61,5	82,9	5.274,7	208,7	267,4	4,2	
Bauteil 17	1.523,2	24,0	76,5	4.438,1	119,0	290,2	3,5	
Bauteil 18	450,7	34,5	182,2	1.381,3	106,2	558,5	2,4	
Bauteil 19	2.712,8	-	2.541,0	1.303,1	2.958,0	212,1	1.359,8	5,4
Bauteil 20	1.204,1	-	30,4	281,5	2.490,7	60,9	584,7	2,9
Bauteil 21	141,2	7,9	17,9	295,6	18,2	40,9	0,3	
Bauteil 22	3.698,8	502,2	793,5	4.219,5	541,0	926,0	6,1	
Bauteil 23	1.896,6	241,4	387,8	2.126,0	258,5	445,9	3,0	
Bauteil 24	425,7	62,9	97,4	497,6	68,3	115,8	0,7	
Bauteil 25 konv	32.368,7	2.213,0	11.450,4	65.633,2	4.574,1	23.110,3	103,1	
Bauteil St 1 konv	3.382,4	474,5	727,0	3.719,9	499,6	812,4	5,4	
Bauteil St 2	1.670,2	234,3	359,0	1.836,8	246,7	401,2	2,7	
Bauteil St 3	4.229,7	593,4	909,1	4.651,7	624,8	1.015,9	6,7	
Bauteil St 4	4.927,1	691,2	1.059,0	5.418,7	727,8	1.183,4	7,9	
Bauteil St 5	18,1	-	18,5	9,2	39,3	2,9	18,7	0,1
Bauteil Tr 1 konv	14.520,7	1.572,8	2.859,4	15.057,6	1.612,2	2.994,4	20,0	
Fenster 1 konv	3.842,0	221,8	1.095,6	11.651,0	937,7	3.331,3	16,9	
Fenster 2 konv	3.591,2	234,8	1.066,0	10.902,6	894,8	3.244,4	16,2	
Fenster 3 konv	651,8	35,6	182,4	1.975,6	157,8	554,4	2,8	
Fenster 4	2.479,1	182,9	613,8	7.494,9	583,2	1.861,4	10,2	
Türe 1	135,6	-	25,5	13,4	230,0	14,8	27,5	0,2
Türe 2	609,3	54,5	167,1	1.155,5	101,3	314,7	1,7	
Summe	169.850,7	8.092,6	38.876,9	304.101,0	26.882,4	71.161,3	412,2	

Folgend sind die abgeänderten Bauteile noch einmal angeführt. Die übrigen Bauteile finden sich in der Übersicht im vorhergehenden Kapitel 6.1.1.

Tabelle 6.5: Bauteilvarianten für Use Case 2 (konventionell)

BT 7 konv.	Variante FB-Aufb. innen Systemb. o. Belag	44.000 m ²	7.599 t
BT 25 konv.	Variante Glasfassade	27.350 m ²	1.431 t
Stütze 1 konv.	Variante Stütze Stahlbeton	3.220 m	2.968 t
Träger 1 konv.	Variante Stahlbeton-Verbund	4.180 m	5.359 t
Fenster 1 konv.	Variante Fenster (1,35x2,15m)	1352 Stk	158 t
Fenster 2 konv.	Variante Balkontüre schmal (0,9 x 3 m)	1534 Stk	150 t
Fenster 3 konv.	Variante Balkontüre breit (1,35 x 3 m)	234 Stk	27 t

6.2.1 Gesamtergebnis OI3 Index

Für das Gesamtgebäude ergibt sich im Use Case 2 (konventionell) der OI3_{BG3+,BZF,LZ} zu **412,23** Punkten.

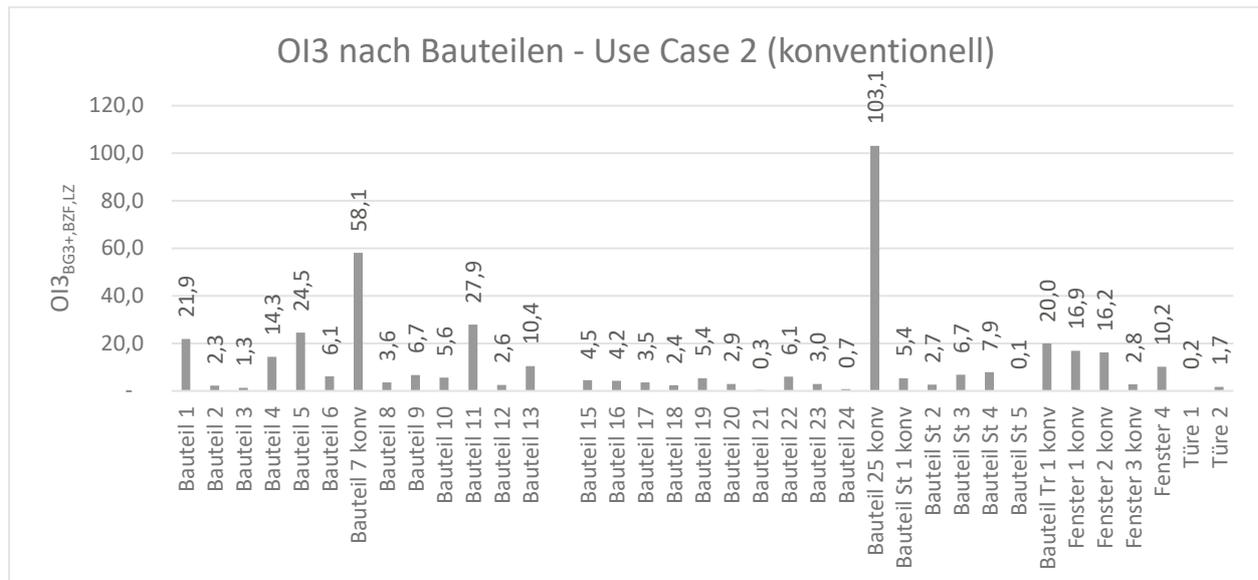


Abb. 6.2: Tabellarische Aufstellung des OI3 Index je Bauteil des UC2

6.2.2 Gesamtergebnis Ökoindikatoren

Über den Betrachtungszeitraum von 100 Jahren unter Berücksichtigung der gewählten räumlichen Bilanzgrenzen können folgende Umweltwirkungen hinsichtlich des Gesamtbedarfs an nicht erneuerbarer Energie, globales Erwärmungspotential (total) und Versauerungspotential für die betrachteten Lebenszyklusphasen Herstellung (A1-A3), Instandsetzung (B4) und Entsorgung (C1-C4) im Use Case 2 (konventionell) ermittelt werden.

Tabelle 6.6: Ergebnisse der Ökobilanzierung von Use Case 2 (konventionell) (BG3+) über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren nach Phasen – Gesamt, pro m² NGFa und pro m² BGF

Gesamt	PENRT	GWPTotal	AP
	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]
Herstellung (A1-A3)	169.851	8.093	38.877
Instandsetzung (B4)	123.876	9.955	29.209
Entsorgung (C1-C4)	10.375	8.835	3.075
Summe graue Emissionen	304.101	26.882	71.161

NGFa	PENRT	GWPTotal	AP
	[GJ/m ²]	[kg CO2 eq./m ²]	[kg SO2 eq./m ²]
Herstellung (A1-A3)	3,67	175,09	0,84
Instandsetzung (B4)	2,68	215,38	0,63
Entsorgung (C1-C4)	0,22	191,15	0,07
Summe graue Emissionen	6,58	581,62	1,54

BGF	PENRT	GWPTotal	AP
	[GJ/m ²]	[kg CO2 eq./m ²]	[kg SO2 eq./m ²]
Herstellung (A1-A3)	2,55	121,68	0,58
Instandsetzung (B4)	1,86	149,68	0,44
Entsorgung (C1-C4)	0,16	132,83	0,05
Summe graue Emissionen	4,57	404,19	1,07

6.2.3 Bauteilergebnisse

Folgend werden die Ergebnisse einzelner Bauteile kritisch hinterfragt und im Detail betrachtet. Diese Bauteile tragen zu mehr als 5% zum OI3 Index des gegenständlichen Use Case bei und machen in Summe 75,1% aus:

- Bauteil 25 (25,0%)
- Bauteil 7 (14,1%)
- Bauteil 11 (6,8%)
- Bauteil Tr 1 (6,8%)
- Bauteil 5 (6,0%)
- Bauteil Fe 1 (5,7%)
- Bauteil Fe 2 (5,5%)
- Bauteil 1 (5,3%)

Bauteil 25 – windbrechende Fassade

Da in diesem Use Case zusätzlich die Verglasung schlagend wird, ist der Umwelteinfluss noch signifikanter.

Bauteil 7 – Fußbodenaufbau Systemboden

Siehe 6.1.3. Zusätzlich werden auch noch die Calciumsulfat Doppelbodenplatten berücksichtigt.

Bauteil 11 - Teppichboden

Siehe 6.1.3.

Bauteil Tr 1 – Stahl-Beton-Verbund-Träger

Aufgrund des massiven Stahlquerschnitts (ca. HEB 700) im Verbundträger, welcher im Use Case 2 schlagend wird, sind die Auswirkungen dieses Bauteils in der konventionellen Variante maßgebend.

Bauteil 5 – Hohldielendecke

Siehe 6.1.3.

Bauteil Fe 1 und Fe 2

Es werden unter diesem Titel insgesamt 2.886 Fenster verbaut, wodurch mehr als 8.000 m² Fensterfläche mit Mehrscheibenverglasung entstehen. Diese haben aufgrund der hohen Umweltwirkungen der Verglasung auch einen hohen Einfluss auf das Gesamtergebnis.

Bauteil 1 – Plattenfundament

Siehe 6.1.3.

7 Fallstudie: Ergebnisse & Use Case Vergleich Kostenermittlung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Kostenermittlung der relevanten ReUse Elemente behandelt. Aufgrund der Art der Aufarbeitung der Kostenermittlung findet der Vergleich zwischen Use Case 1 (ReUse) und Use Case 2 (konventionell) im gleichen Zuge mit der Präsentation der Ergebnisse statt. In den folgenden Unterkapiteln werden die Ergebnisse und Vergleiche auf Bauteilebene durchgeführt.

7.1 Gebäudeebene

Ein Vergleich der Kosten auf Gebäudeebene ist aufgrund fehlender Datengrundlagen bzw. Benchmarks zu Errichtungskosten für Hochhäuser auf Ebene des Kostenrahmens nicht möglich. Eine detaillierte Kostenermittlung (Kostenschätzung/Kostenberechnung) des Gesamtgebäudes auf Basis der bekannten Elemente wurde aus Gründen des hohen Aufwands nicht durchgeführt.

7.2 Bauteil 7 – Doppelboden

Für den Doppelboden werden bei der Kostenermittlung im Use Case 1 (ReUse) zwei Varianten betrachtet:

- Wiederverwendung – ReUse ohne Aufbereitung
- Weiterverwendung – ReUse mit Aufbereitung

Die Kostenermittlung bezieht sich auf die Kostenbereiche 2 & 4. In der Kostenermittlung nicht berücksichtigt sind u.a. zusätzliche Planungsaufwände, zusätzliche Unterhalts- und Wartungskosten, unsichere Marktsituation und erhöhte Risiken.

Tabelle 7.1 zeigt die potenziellen Minderkosten für Wiederverwendung (ohne Aufbereitung) und Weiterverwendung (mit Aufbereitung) von Doppelböden mit Calciumsulfatplatten gegenüber den Neukosten. Bei Wiederverwendung können, unter Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung, etwa 33% eingespart werden, bei Weiterverwendung beträgt das Einsparungspotential 23%.

Werden Abbruch und Entsorgung nicht berücksichtigt betragen die Kosten für Doppelböden mit wiederverwendeten Platten etwa 86% der Neukosten (Einsparung von 14%), die Kosten bei Weiterverwendung der Platten mit Aufbereitung betragen dann etwa 96% der Kosten eines Neuproduktes (Einsparung von 4%).

Bei telefonischer Rückfrage bei einem Unternehmen, welches aufbereitete Doppelbodenplatten anbietet, wurde mitgeteilt, dass gebrauchte Doppelbodenplatten dort derzeit nicht günstiger angeboten werden als Neuware. Als Grund dafür wurde genannt, dass die Qualität der ReUse Elemente der von neuen Platten entspricht. Je nach angebotenen ReUse-Produkt werden entweder nur die Oberfläche (Belagsseite) oder zusätzlich auch die Kantenbänder aufbereitet. Die Gewährleistung des aufbereiteten Produkts entspricht der des Neuprodukts. Abholung und Transportkosten werden vom Unternehmen übernommen, während die Demontage nicht im Leistungsumfang enthalten ist und vom Doppelbodenbesitzer zu organisieren ist.

Die Vorteile einer Wiederverwendung liegen für Bauherrschaften somit rein auf der ökologischen Seite, da diese den gleichen Preis für ein Neuprodukt bezahlen. Der Doppelbodenbesitzer erspart sich jedoch die Kosten für Entsorgung und Transport.

Da künftig jedoch auch immer häufiger ökologische Werte mit finanziellen verknüpft werden (z.B. Taxonomie Verordnung, CO₂ Bepreisung, finanzielle Aufwertung von Immobilien durch Gebäudezertifizierungen) kann auch in dieser Hinsicht ein finanzieller Mehrwert für Stakeholder entstehen.

Tabelle 7.1: Kostenauswertung Doppelboden in Anlehnung an das Factsheet Kosten und Werte in der Kreislaufwirtschaft (IG LEBENSZYKLUS BAU, 2022)

Preis/m², ohne Montage: 70 €/m²
 Quelle: Erfahrungswert Experte
 Gesamtfläche Doppelboden: 44.000 m²

Pos.	%-Anteil*	pro m ²	Gesamt
Neu			
Produktion	60%	€ 70,0	
Montage (inkl. Transport)	40%	€ 46,7	
Neukosten	100%	€ 116,7	€ 5.133.333
Demontage (Abbruch)	3%	€ 3,6	
Entsorgung	16%	€ 18,8	
	19%	€ 22,4	€ 985.600

Pos.	%-Anteil*	pro m ²	Gesamt
Wiederverwendung			
Demontage (inkl. Transport)	20%	€ 23,3	
Lagerung 6 Monate	9%	€ 10,6	
Neuteile	13%	€ 15,2	
Montage (inkl. Transport)	44%	€ 51,3	
Kosten ReUse Produkt	86%	€ 100,5	€ 4.419.800
MK Demontage (Abbruch)	3%	-€ 3,6	
MK Entsorgung	16%	-€ 18,8	
Summe MK Demontage & Entsorgung		-€ 22,4	-€ 985.600
ReUse Kosten abzügl. Demontage und Entsorgung	67%	€ 78,1	€ 3.434.200
ReUse Minderkosten (MK) ggü. Neukosten	-33%	-€ 38,6	-€ 1.699.133

Pos.	%-Anteil*	pro m ²	Gesamt
Weiterverwendung			
Demontage (inkl. Transport)	20%	€ 23,3	
Aufbereitung inkl. Lagerung 6 Monate	23%	€ 26,8	
Neuteile	13%	€ 15,2	
Montage (inkl. Transport)	40%	€ 46,7	
Kosten ReUse Produkt	96%	€ 112,0	€ 4.928.000
MK Demontage (Abbruch)	3%	-€ 3,6	
MK Entsorgung	16%	-€ 18,8	
Summe MK Demontage & Entsorgung		-€ 22,4	-€ 985.600
ReUse Kosten abzügl. Demontage und Entsorgung	77%	€ 89,6	€ 3.942.400
ReUse Minderkosten (MK) ggü. Neukosten	-23%	-€ 27,1	-€ 1.190.933

* %-Anteil immer bezogen auf 100% Neukosten, Werte gemäß (IG LEBENSZYKLUS BAU, 2022)

7.3 Bauteil Fenster 1-3

Für die Fenster werden bei der Kostenermittlung im Use Case 1 (ReUse) drei Varianten betrachtet:

- ReUse Fenster „nur Flügel“ – Wiederverwendung von Flügel, Rahmen neu
- ReUse Fenster „Gesamt“ – Wiederverwendung von Flügel und Blendrahmen
- ReUse Fenster „Gesamt mit Glastausch“ - Wiederverwendung von Flügel und Blendrahmen mit Glastausch

Die Kostenermittlung bezieht sich auf die Kostenbereiche 2 & 4. In der Kostenermittlung nicht berücksichtigt sind u.a. zusätzliche Planungsaufwände, zus. Haustechnikkosten & bauphysikalische Anforderungen, zusätzliche Unterhalts- und Wartungskosten, unsichere Marktsituation und erhöhte Risiken.

7.3.1 Variante ReUse Fenster „Gesamt“

Tabelle 7.2: Kostenauswertung Fenster „Gesamt“ in Anlehnung an eine zur Verfügung gestellte Berechnung von Romm ZT

Pos.	Kosten/m ² Index* Kosten/m ²		Gesamt	Flügeltür	Fixelement	Flügel Fenster	
	2016	1,32 2016 -> 2022					2022
Höhe h [m]				3,00	3,00	2,15	
Breite b [m]				1,35	0,90	1,35	
Element Fläche [m ²]				4,10	2,70	2,90	
Stk.			3.120	234	1.534	1.352	
Gesamt Fläche [m²]			9.022,0	959,4	4.141,8	3.920,8	
Demontage	€ 55,00		€ 72,60	€ 654.997,20	€ 297,66	€ 196,02	€ 210,54
Transport	€ 8,00		€ 10,56	€ 95.272,32	€ 43,30	€ 28,51	€ 30,62
Dichtung	€ 7,50		€ 9,90		€ 40,59		€ 28,71
Glastausch	€ 100,00		€ 132,00				
Aludeckschale	€ 75,00		€ 99,00	€ 405,90	€ 267,30	€ 287,10	
Montage	€ 100,00		€ 132,00	€ 541,20	€ 356,40	€ 382,80	
ReUse Kosten/Element				€ 1.328,65	€ 848,23	€ 939,77	
ReUse Kosten			€ 319,52	€ 2.882.665,50	€ 310.903,16	€ 1.301.187,89	€ 1.270.574,45
MK-Abbruch	-€ 15,00		-€ 19,80		-€ 81,18	-€ 53,46	-€ 57,42
MK-Entsorgung	-€ 4,20		-€ 5,54		-€ 22,73	-€ 14,97	-€ 16,08
MK-Abbr. & Ents./Element			-€ 25,34		-€ 103,91	-€ 68,43	-€ 73,50
MK-Abbr. & Ents.			-228.653,57		-€ 24.315,03	-€ 104.969,78	-€ 99.368,76
ReUse Kosten abzügl. MK-Abbr. & Ents.			€ 2.654.011,93		€ 1.224,74	€ 779,80	€ 866,28
Neukosten	€ 330,00		€ 435,60	€ 3.929.983,20	€ 1.785,96	€ 1.176,12	€ 1.263,24
Minderkosten %			-32%		-31%	-34%	-31%
ReUse Minderkosten/Element (ggü. Neukosten)					-€ 561,22	-€ 396,32	-€ 396,96
ReUse Minderkosten (MK) ggü. Neukosten			-€ 1.275.971,27		-€ 131.326,51	-€ 607.949,97	-€ 536.694,79

*Index: Baukostenindex Gesamtbaukosten insgesamt (Jahresdurchschnitt) gemäß Statistik Austria
<https://www.statistik.at/Indexrechner/Controller>

Tabelle 7.3: Darstellung der Einsparung für ReUse Fenster mit Demontage des Blendrahmens

Summe konventionell		€ 3.929.983
Summe ReUse	73%	€ 2.882.666
Einsparung ReUse Wiederverwendung	-27%	-€ 1.047.318
MK Abbr. & Ents.	-6%	-228.653,57
max. Einsparung ReUse inkl. MK Dem. & Entsorgung	-32%	-€ 1.275.971

Tabelle 7.3 zeigt die potenziellen Minderkosten für Wiederverwendung von Holzfenstern mit Alu-Deckschale. Bei Wiederverwendung können, unter Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung, etwa 32% eingespart werden.

Werden Abbruch und Entsorgung nicht berücksichtigt, betragen die Kosten für Wiederverwendung der Fenster etwa 73% der Neukosten (Einsparung von 27%).

Die Berechnung erfolgt auf Basis von zur Verfügung gestellten Berechnungen von Romm ZT. DI Thomas Romm ZT ist Stakeholder bei Baukarussell und kann auf langjährige Erfahrung mit dem Thema ReUse zurückblicken.

7.3.2 Variante ReUse „nur Flügel“

Da die Demontage der Fensterstöcke beim Ausbau des Gesamtfensters der aufwändigste Teil ist wird seitens Herrn Romm empfohlen, nur die Fensterflügel zu demontieren und wiederzuverwenden, da dies mit sehr wenig Aufwand durchführbar ist. In diesem Fall müssen die neuen Rahmen für die demontierten Flügel maßgefertigt werden. Hierbei entstehen Vorteile, wenn eine hohe Anzahl gleichartiger Fensterflügel zur Verfügung stehen.

In folgender Tabelle wurde daher die Berechnung an eine reine Wiederverwendung der Fensterflügel (Flügelrahmen inkl. Beschläge und Verglasung) angepasst.

Tabelle 7.4: Kostenauswertung Fenster „nur Flügel“ in Anlehnung an eine zur Verfügung gestellte Berechnung von Romm ZT

Pos.	Kosten/m ² Index		Kosten/m ²	Gesamt	Flügeltür	Fixelement	Flügel Fenster
	2016	1,32					
Höhe h [m]		2016 -> 2022			3,00	3,00	2,15
Breite b [m]					1,35	0,90	1,35
Element Fläche [m ²]					4,10	2,70	2,90
Stk.				3.120	234	1534	1352
Gesamt Fläche [m²]				9.022,0	959,4	4.141,8	3.920,8
Demontage Fixelement	€ 55,00		€ 72,60			€ 196,02	
Demontage Flügel (25%)	€ 13,75		€ 18,15		€ 74,42		€ 52,64
Transport	€ 8,00		€ 10,56		€ 43,30	€ 28,51	€ 30,62
Dichtung	€ 7,50		€ 9,90		€ 40,59		€ 28,71
Glastausch (n.e.)	€ 100,00		€ 132,00				
Aludeckschale	€ 75,00		€ 99,00		€ 405,90	€ 267,30	€ 287,10
Montage	€ 100,00		€ 132,00		€ 541,20	€ 356,40	€ 382,80
Fensterrahmen neu - Holz					€ 150,40		€ 121,01
ReUse Kosten/Element					€ 1.255,81	€ 848,23	€ 902,88
ReUse Kosten			€ 312,10	€ 2.815.745,12	€ 293.858,38	€ 1.301.187,89	€ 1.220.698,84
MK-Abbruch	-€ 15,00		-€ 19,80		-€ 81,18	-€ 53,46	-€ 57,42
MK-Entsorgung	-€ 4,20		-€ 5,54		-€ 22,73	-€ 14,97	-€ 16,08
MK-Abbr. & Ents./Element			-€ 25,34		-€ 103,91	-€ 68,43	-€ 73,50
MK-Abbr. & Ents.				-228.653,57	-€ 24.315,03	-€ 104.969,78	-€ 99.368,76
ReUse Kosten abzügl. MK-Abbr. & Ents.				€ 2.587.091,55	€ 1.151,89	€ 779,80	€ 829,39
Neukosten	€ 330,00		€ 435,60	€ 3.929.983,20	€ 1.785,96	€ 1.176,12	€ 1.263,24
Minderkosten %				-34%	-36%	-34%	-34%
ReUse Minderkosten/Element (ggü. Neukosten)					-€ 634,07	-€ 396,32	-€ 433,85
ReUse Minderkosten (MK)				-€ 1.342.891,65	-€ 148.371,29	-€ 607.949,97	-€ 586.570,39

Es zeigt sich, dass gegenüber der Wiederverwendung des Gesamtfensters nur 2 % zusätzlich eingespart werden. In Abhängigkeit der Einsparung bei der Demontage kann ein Maximalwert für die Kosten der Fensterrahmen errechnet werden, bis zu dem sich die reine Wiederverwendung der Flügel und Neuerrichtung der Rahmen auszahlt. Im gegenständlichen Fall sind dies 25,66 Euro/ lfm Rahmen (223,25 €/Fenster) für die Flügeltüre und 22,56 Euro/ lfm Rahmen (157,91 €/Fenster) für das Flügel Fenster.

Tabelle 7.5: Darstellung der Einsparung für ReUse Fenster ohne Demontage des Blendrahmens

Summe konventionell		€ 3.929.983
Summe ReUse	72%	€ 2.815.745
Einsparung ReUse Wiederverwendung	-28%	-€ 1.114.238
MK Abbr. & Ents.	-6%	-228.653,57
max. Einsparung ReUse inkl. MK Dem. & Entsorgung	-34%	-€ 1.342.892

Tabelle 7.5 zeigt die potenziellen Minderkosten für Wiederverwendung von Holzfenstern mit Alu-Deckschale, wenn nur die Flügel wiederverwendet werden. Bei Wiederverwendung können, unter Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung, etwa 33% eingespart werden. Die Einsparungen sind daher geringfügig höher als bei der vorhergehenden Variante.

Werden Abbruch und Entsorgung nicht berücksichtigt, betragen die Kosten für Wiederverwendung der Fenster etwa 72% der Neukosten (Einsparung von 28%).

7.3.3 Variante ReUse Fenster „Gesamt mit Glastausch“

Tabelle 7.6: Kostenauswertung Fenster „Gesamt mit Glastausch“ in Anlehnung an eine zur Verfügung gestellte Berechnung von Romm ZT

Pos.	Kosten/m ² Index*		Kosten/m ²	Gesamt	Flügeltür	Fixelement	Flügel Fenster
	2016	1,32 2016 -> 2022					
Höhe h [m]					3,00	3,00	2,15
Breite b [m]					1,35	0,90	1,35
Element Fläche [m ²]					4,10	2,70	2,90
Stk.				3.120	234	1.534	1.352
Gesamt Fläche [m²]				9.022,0	959,4	4.141,8	3.920,8
Demontage	€ 55,00		€ 72,60	€ 654.997,20	€ 297,66	€ 196,02	€ 210,54
Transport	€ 8,00		€ 10,56	€ 95.272,32	€ 43,30	€ 28,51	€ 30,62
Dichtung	€ 7,50		€ 9,90		€ 40,59		€ 28,71
Glastausch	€ 100,00		€ 132,00		€ 541,20	€ 356,40	€ 382,80
Aludeckschale	€ 75,00		€ 99,00		€ 405,90	€ 267,30	€ 287,10
Montage	€ 100,00		€ 132,00		€ 541,20	€ 356,40	€ 382,80
ReUse Kosten/Element					€ 1.869,85	€ 1.204,63	€ 1.322,57
ReUse Kosten			€ 451,52	€ 4.073.569,50	€ 437.543,96	€ 1.847.905,49	€ 1.788.120,05
MK-Abbruch	-€ 15,00		-€ 19,80		-€ 81,18	-€ 53,46	-€ 57,42
MK-Entsorgung	-€ 4,20		-€ 5,54		-€ 22,73	-€ 14,97	-€ 16,08
MK-Abbr. & Ents./Element			-€ 25,34		-€ 103,91	-€ 68,43	-€ 73,50
MK-Abbr. & Ents.				-228.653,57	-€ 24.315,03	-€ 104.969,78	-€ 99.368,76
ReUse Kosten abzügl. MK-Abbr. & Ents.				€ 3.844.915,93	€ 1.765,94	€ 1.136,20	€ 1.249,08
Neukosten	€ 330,00		€ 435,60	€ 3.929.983,20	€ 1.785,96	€ 1.176,12	€ 1.263,24
Minderkosten %				-2%	-1%	-3%	-1%
ReUse Minderkosten/Element (ggü. Neukosten)					-€ 20,02	-€ 39,92	-€ 14,16
ReUse Minderkosten (MK) ggü. Neukosten				-€ 85.067,27	-€ 4.685,71	-€ 61.232,37	-€ 19.149,19

*Index: Baukostenindex Gesamtbaukosten insgesamt (Jahresdurchschnitt) gemäß Statistik Austria
<https://www.statistik.at/Indexrechner/Controller>

Tabelle 7.7: Darstellung der Einsparung für Reuse Fenster „Gesamt mit Glastausch“

Summe konventionell	100%	€ 3.929.983
Summe ReUse	104%	€ 4.073.570
Einsparung ReUse Wiederverwendung	4%	€ 143.586
MK Abbr. & Ents.	-6%	-228.653,57
max. Einsparung ReUse inkl. MK Dem. & Entsorgung	-2%	-€ 85.067

Tabelle 7.7 zeigt, dass für Holzfenster mit Alu-Deckschale eine Wiederverwendung mit Glastausch nicht wirtschaftlich ist. Bei Wiederverwendung können, unter Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung, nur 2% eingespart werden.

Werden Abbruch und Entsorgung nicht berücksichtigt, betragen die Kosten für Wiederverwendung der Fenster etwa 104% der Neukosten (Mehrkosten von 4%).

Ein Glastausch wird auch aus ökologischer Sicht nicht empfohlen, da ein Großteil der Umweltwirkungen auf die Verglasung zurückzuführen ist.

7.4 Bauteil Stütze 1 – Rotorblätter

Für die Rotorblattstützen werden bei der Kostenermittlung im Use Case 1 (ReUse) drei Varianten betrachtet:

- Best Case – negativer Kaufpreis
- Middle Case – Schenkung
- Worst Case – positiver Kaufpreis

Die Kostenermittlung bezieht sich auf die Kostenbereiche 2 & 4. In der Kostenermittlung nicht berücksichtigt sind u.a. zusätzliche Planungsaufwände, zusätzliche Haustechnikkosten, zusätzliche Unterhalts- und Wartungskosten sowie die Demontagekosten. Die unsichere Marktsituation und erhöhten Risiken wurden teilweise über die Variantenbildung dargestellt. Die Umsetzung des Projektes mit Rotorblattstützen wäre jedoch neben dem Kaufpreis mit weiteren hohen Unsicherheiten und Risiken verbunden.

Tabelle 7.8: Kostenauswertung Rotorblattstütze für Use Case 1 (ReUse) - Best Case (negativer Kaufpreis), Middle Case (Schenkung) und Worst Case (positiver Kaufpreis)

Rotorblattstütze - Best Case					
Pos.	Einheiten	Kosten/Einheit	Kosten/Stütze	Kosten gesamt	Quelle
Kaufpreis	5,2 t	-€ 500,0 /Tonne	-€ 2.600,0	-€ 364.000	Woschitz
Manipulationskosten	2 Schnitte	€ 100,0 /Schnitt	€ 200,0	€ 28.000	Woschitz
Verbindungstechnik	2 Verbindungen	€ 500,0 /Verbindung	€ 1.000,0	€ 140.000	Woschitz
Transport inkl. be- und entladen		€ 5.000,0 /Stütze	€ 5.000,0	€ 700.000	Woschitz
Kosten ReUse			€ 3.600,0	€ 504.000	
MK Demontage	5,2 t	€ 0,0	€ 0,0	€ 0	n.b. da UC1=UC2
MK Entsorgung	5,2 t	€ 0,0 /Tonne	€ 0,0	€ 0	n.b. da bereits negativer Kaufpreis
Summe MK Demontage & Entsorgung			€ 0,0	€ 0	
ReUse Kosten abzügl. Demontage und Entsorgung			€ 3.600,0	€ 504.000	
Rotorblattstütze - Middle Case					
Pos.	Einheiten/Stütze	Kosten/Einheit	Kosten/Stütze	Kosten gesamt	Quelle
Kaufpreis	5,2 t	€ 0,0 /Tonne	€ 0,0	€ 0	Annahme Schenkung
Manipulationskosten	2 Schnitte	€ 100,0 /Schnitt	€ 200,0	€ 28.000	Woschitz
Verbindungstechnik	2 Verbindungen	€ 500,0 /Verbindung	€ 1.000,0	€ 140.000	Woschitz
Transport inkl. be- und entladen		€ 5.000,0 /Stütze	€ 5.000,0	€ 700.000	Woschitz
Kosten ReUse			€ 6.200,0	€ 868.000	
MK Demontage		€ 0,0	€ 0,0	€ 0	n.b. da UC1=UC2
MK Entsorgung	5,2 t	-€ 270,0 /Tonne	-€ 1.404,0	-€ 196.560	Wien Energie
Summe MK Demontage & Entsorgung			-€ 1.404,0	-€ 196.560	
ReUse Kosten abzügl. Demontage und Entsorgung			€ 4.796,0	€ 671.440	
Rotorblattstütze - Worst Case					
Pos.	Einheiten/Stütze	Kosten/Einheit	Kosten/Stütze	Kosten gesamt	Quelle
Kaufpreis	5,2 t	€ 940,0 /Tonne	€ 4.888,0	€ 684.320	Annahme Schenkung
Manipulationskosten	2 Schnitte	€ 100,0 /Schnitt	€ 200,0	€ 28.000	Woschitz
Verbindungstechnik	2 Verbindungen	€ 500,0 /Verbindung	€ 1.000,0	€ 140.000	Woschitz
Transport inkl. be- und entladen		€ 5.000,0 /Stütze	€ 5.000,0	€ 700.000	Woschitz
Kosten ReUse			€ 11.088,0	€ 1.552.320	
MK Demontage		€ 0,0	€ 0,0	€ 0	n.b. da UC1=UC2
MK Entsorgung	5,2 t	-€ 270,0 /Tonne	-€ 1.404,0	-€ 196.560	Wien Energie
Summe MK Demontage & Entsorgung			-€ 1.404,0	-€ 196.560	
ReUse Kosten abzügl. Demontage und Entsorgung			€ 9.684,0	€ 1.355.760	

Tabelle 7.9: Kostenauswertung Stahlbetonstütze für Use Case 2 (konventionell)

Stützenlänge gesamt:	3.220 m
Breite b_1 :	0,6 m
Breite b_2 :	0,6 m
Querschnittsfläche:	0,36 m ²
Bewehrung:	160 kg/m ³

Stahlbeton Stützen

Pos.	Einheiten	Kosten/Einheit	€ gesamt
Schalungsfläche	7.728 m ²	€ 73,0	€ 564.144
Bewehrung	185.472 kg	€ 1,8	€ 333.850
Beton 50/60	1.159 m ³	€ 293,0	€ 339.646
Kosten konventionell			€ 1.237.639

Tabelle 7.10: Darstellung der Einsparung für Rotorblattstütze

Summe konventionell	100%	€ 1.237.639
Summe ReUse Best Case	41%	€ 504.000
Summe ReUse Middle Case	70%	€ 868.000
Summe ReUse Worst Case	125%	€ 1.552.320
Minderkosten ReUse Best Case	-59%	-€ 733.639
Minderkosten ReUse Middle Case	-30%	-€ 369.639
Minderkosten ReUse Worst Case	25%	€ 314.681
Minderkosten Abbruch & Entsorgung	-16%	-€ 196.560
best case Einsparung ReUse exkl. MK Entsorgung	-59%	-€ 733.639
worst case Mehrkosten ReUse inkl. MK Entsorgung	10%	€ 118.121

Tabelle 7.10 zeigt die potenziellen Minderkosten für Wiederverwendung von Rotorblättern als Außenstützen gegenüber der Errichtung konventioneller Stahlbetonstützen. Bei Wiederverwendung könnten, unter Berücksichtigung der Minderkosten für die Entsorgung, etwa 75% im Best Case (negativer Kaufpreis) eingespart werden. Für den Middle Case (Schenkung) ergibt sich ein Minus von 30%.

Wird die Entsorgung nicht berücksichtigt, betragen die Kosten für Wiederverwendung der Rotorblätter etwa 41% der Neukosten (Einsparung von 59%) im Best Case, die Kosten im Middle Case betragen dann etwa 70% der Kosten eines Neuproduktes (Einsparung von 30%). Der Abbruch wird nicht berücksichtigt, da sich der Kaufpreis immer auf den demontierten Zustand bezieht. Die Demontagekosten sind bei Wiederverwendung und Entsorgung ident und können daher in der Berechnung vernachlässigt werden. Es wird an dieser Stelle festgehalten, dass die Demontage von Windrädern mit Hilfe eines Autokrans erfolgt und grundsätzlich kostenintensiv ist.

Weiters wird nochmals angemerkt, dass für die Ausführung der Windradstützen im Use Case 1 (ReUse) gegebenenfalls zusätzliche Kosten anfallen können und zu berücksichtigen wären. Diese sind zum Beispiel Kosten für Brandschutzmaßnahmen (Fassadensprinklerung, Beschichtungen, etc.) welche jedoch in der Planung nicht berücksichtigt sind und den Technik-Kosten (Kostenbereich 3) zuzuordnen sind. Weiter Kosten können für Versuche zur statischen Nach-

weisführung entstehen, welche unter zusätzliche Planungskosten (Kostenbereich 7) fallen. Diese wurden in gegenständlicher Arbeit nicht berücksichtigt.

7.5 Bauteil 25 – windbrechende Glasfassade

Für die windbrechende Glasfassade wird bei der Kostenermittlung im Use Case 1 (ReUse) nur eine Variante betrachtet.

Die Kostenermittlung bezieht sich auf die Kostenbereiche 2 & 4. In der Kostenermittlung nicht berücksichtigt sind u.a. zusätzliche Planungsaufwände, zusätzliche Haustechnikkosten & bau-physikalische Anforderungen, zusätzliche Unterhalts- und Wartungskosten, unsichere Marktsituation und erhöhte Risiken.

Tabelle 7.11: Kostenauswertung windbrechende Fassade

Fläche Fassade	27.350 m ²	Anteil ESG 85%, Anteil VSG 15%
davon 85% ESG, 15% VSG		
Rahmenlänge gesamt	41.768 m	
Gewicht Stahlprofil	19,6 kg/m	
Facharbeiter	60 €/h	

UC2 konventionell

Pos.	Kosten/m ²	Kosten gesamt	Quelle
Stahlprofile (150x100x5)	€ 149,7	€ 4.093.264	BKI Positionen 2022
Verglasung ESG 8mm	€ 87,2	€ 2.028.097	BKI Positionen 2022
Verglasung VSG 8mm	€ 80,2	€ 329.182	BKI Positionen 2022
Aluminiumprofil inkl. Dichtung	€ 42,8	€ 1.169.504	BKI Positionen 2022
Transport	€ 0,0	€ 0	Annahme
Neukosten	€ 278,6	€ 7.620.047	

UC1 ReUse

Pos.	Kosten/m ²	Kosten gesamt	Quelle
Stahlprofile	€ 149,7	€ 4.093.264	BKI Positionen 2022
Verglasung ESG 8 mm (ReUse)	€ 50,0	€ 1.162.375	
<i>Kaufpreis</i>	€ 0,0	€ 0	Annahme
<i>Demontage, Transport, Lagerung, Aufbereitung</i>	€ 20,0	€ 464.950	Stricker et. al & Annahme
<i>Montage</i>	€ 30,0	€ 697.425	BKI Positionen 2022 (Leistungsansatz)
Verglasung VSG 8mm	€ 80,2	€ 329.182	BKI Positionen 2022
Aluminiumprofil	€ 42,8	€ 1.169.504	BKI Positionen 2022
ReUse Kosten	€ 247,0	€ 6.754.325	

MK Abbruch (Demontage, Transport)	-€ 15,0	-€ 410.250,0	Annahme basierend auf Romm ZT
MK Entsorgung	-€ 0,8	-€ 21.880	Durchschnitt div. Entsorgungser-Websites
Summe MK Dem. & Ents.	-€ 15,8	-€ 432.130,0	

Tabelle 7.12: Darstellung der Einsparung für die windbrechende Fassade

Summe konventionell		€ 7.620.047
Summe ReUse	89%	€ 6.754.325
Minderkosten ReUse	-11%	-€ 865.722
Minderkosten Abbruch & Entsorgung		-€ 432.130
max. Einsparung ReUse inkl. MK Dem. & Entsorgung	-17%	-€ 1.297.852

Tabelle 7.12 zeigt die potenziellen Minderkosten für die Wiederverwendung von ESG Scheiben in der windbrechenden Fassade gegenüber der konventionellen Bauweise. Bei Wiederver-

wendung können, unter Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung, etwa 17% eingespart werden.

Wird Abbruch und Entsorgung der ReUse Elemente nicht berücksichtigt, betragen die Kosten für Wiederverwendung der Rotorblätter etwa 89% der Kosten für das konventionelle Bauteil (Einsparung von 11%).

Auch hier gilt es wie beim Thema der Ökobilanz zu hinterfragen, inwiefern sich die Wiederverwendung in Abhängigkeit der Scheibengröße rentiert. Durch größere Scheiben fallen weniger Laufmeter Rahmenkonstruktion an, wodurch die Kosten maßgeblich reduziert werden könnten. Die Mehrkosten für Rahmen bei kleinteiligen Scheiben sollten die eingesparten Kosten für Wiederverwendung nicht überschreiten.

7.6 Bauteil Träger 1 – Stahl-Beton-Verbund

Für Stahl-Beton-Verbund-Träger konnten im Zuge der Diplomarbeit weder belastbare Kosten für den Use Case 2 (konventionell) aus dem BKI noch für den Use Case 1 (ReUse) ermittelt werden.

8 Variantenvergleich und Schlussfolgerungen

In Tabelle 8.1 sind die Gesamt- und Bauteilerggebnisse der Kostenermittlung und OI3 Index der ReUse Bauteile. Zu beachten ist, dass sich das Gesamtergebnis der Kosten nur auf die Summe der Elementkosten der in der Tabelle angeführten Bauteile bezieht (Gesamtkostenermittlung wurde nicht durchgeführt, siehe Kapitel 4.3).

Tabelle 8.1: Gesamtgegenüberstellung OI3 und Kosten

	Kosten ReUse	Kosten konv	Veränderung [%]	OI3 ReUse	OI3 konv	Veränderung [%]
Gesamt	€ 15.366.070,02	€ 17.921.002,23	-14,3%	295,7	412,2	-28,3%
BT 7	€ 4.928.000,00	€ 5.133.333,33	-4,0%	34,9	58,1	-40,0%
BT 25	€ 6.754.324,90	€ 7.620.046,50	-11,4%	58,4	103,1	-43,4%
ST 1	€ 868.000,00	€ 1.237.639,20	-29,9%	3,9	5,4	-27,0%
Tr 1	€ -	€ -	k.A.	5,2	20,0	-73,8%
Fe 1-3	€ 2.815.745,12	€ 3.929.983,20	-28,4%	3,5	35,9	-90,2%

8.1 Vergleich OI3 Index - Gebäudeebene

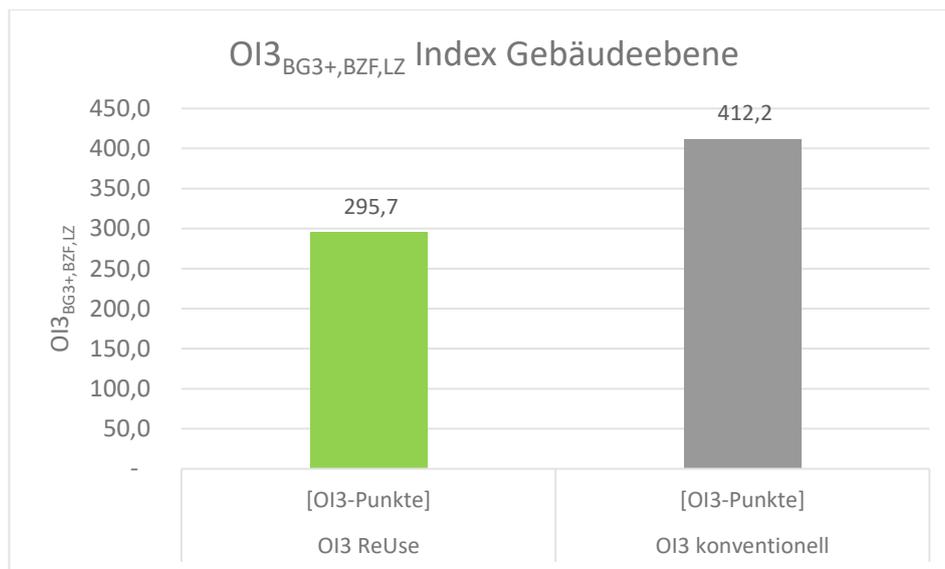


Abb. 8.1: OI3_{BG3+,BZF,LZ} Gebäudeebene

Abb. 8.1 stellt den OI3_{BG3+,BZF,LZ} der beiden Use Cases auf Gebäudeebene gegenüber. In Tabelle 8.2 werden die prozentuellen und absoluten Einsparungen des OI3 Index zwischen Use Case 1 (ReUse) und Use Case 2 (konventionell) gesamt und je Bauteil dargestellt. Je niedriger das Ergebnis, desto besser ist die Ökoeffizienz (vgl. Abb. 8.3).

Tabelle 8.2: Prozentuelle und absolute Verbesserung des OI3 – UC1 ReUse gegenüber UC2 konventionell

Verbesserung		
ReUse ggü. konventionell	Δ prozentuell	Δ absolut
Gesamt OI3	-28,28%	-116,57 Pkte
Bauteil 7 OI3 (Systemboden)	-40,01%	-23,25 Pkte
Bauteil 25 OI3 (Glasfassade)	-43,36%	-44,73 Pkte
Stütze 1 OI3 (Rotorblatt)	-27,00%	-1,46 Pkte
Träger 1 OI3 (STB-Verbund-Träger)	-73,76%	-14,76 Pkte
Fenster 1 OI3 (1,35 x 2,15 m)	-86,00%	-14,54 Pkte
Fenster 2 OI3 (0,9 x 3 m)	-95,53%	-15,44 Pkte
Fenster 3 OI3 (1,35 x 3 m)	-84,25%	-2,39 Pkte

Zur Orientierung und Einordnung der Berechnungsergebnisse werden im (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022) OI3-Klassen definiert (siehe Abb. 8.3). Es liegt jedoch nur eine Referenztabelle für den OI3_{BG3,BZF} vor. Daher müssen die Ergebnisse der gegenständlichen Arbeit aus Abb. 8.1 erst um die Phasen C1-C4 bereinigt werden, um eine Klassifizierung gem. OI3-Klassen vornehmen zu können. Der OI3_{BG3,BZF} umfasst nur die Phasen A1-A4 und B4.

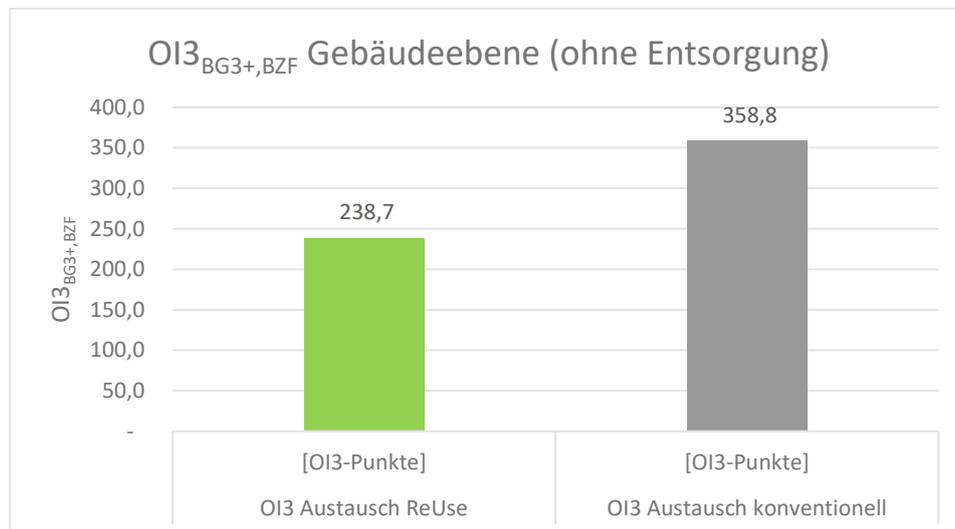


Abb. 8.2: OI3 Index der Bilanzgrenze BG3+ unter Berücksichtigung der Phasen A1-A3 & B4 (ohne C1-C4)

Gebäude mit einem OI3_{BG3,BZF} kleiner 200 Punkten weisen eine hervorragende Ökoeffizienz auf, während die ökologische Auswirkung von Gebäuden mit einem OI3_{BG3,BZF} über 650 Punkten sehr groß ist.

KLASSE	OI3 _{BG3,BZF}	
	von	bis
A	kleiner als 199	199
B	200	289
C	290	379
D	380	469
E	470	559
F	560	649
G	650	größer als 650

Abb. 8.3: Auszug OI3 Klassen für den OI3_{BG3,BZF} aus (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022)

Das betrachtete Gebäude im Use Case 1 kommt in der Klasse B zu liegen. Dies kann als sehr gutes Ergebnis betrachtet werden. Die Klassen A und B werden im Normalfall nur von Sanierungen erreicht.

Das konventionelle Gebäude aus Use Case 2 wird hingegen am hinteren Ende der Klasse C eingestuft.

Das Ergebnis kann als erwartungsgemäß angesehen werden. Das konventionelle Gebäude schneidet grundsätzlich ebenfalls gut ab, da beim Gesamtentwurf auf eine ökologische Bauweise geachtet wurde. Durch die Einbindung von ReUse Bauteilen kann das Ergebnis jedoch deutlich verbessert und die ökologischen Auswirkungen verringert werden.

8.2 Vergleich Ökoindikatoren - Gebäudeebene

Vergleich Ökoindikatoren (100 Jahre)



Abb. 8.4: Vergleich der Ökoindikatoren in UC1 ReUse und UC2 konventionell

Abb. 8.4 stellt die Ökoindikatoren der beiden Use Cases auf Gebäudeebene bei einem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren gegenüber. In Tabelle 8.3 werden die prozentuellen und absoluten Einsparungen der Ökoindikatoren des Use Case 1 (ReUse) gegenüber dem Use Case 2 (konventionell) dargestellt.

Tabelle 8.3: Prozentuelle und absolute Verbesserung – Ökoindikatoren UC1 ReUse ggü. UC2 konventionell

Verbesserung	ReUse ggü. konventionell	Δ prozentuell	Δ absolut
Gesamt PENRT		-28,2%	-85.793 GJ
Gesamt GWP		-16,1%	-432 t CO2 eq.
Gesamt AP		-34,1%	-24.269 kg SO2 eq.

Ein Vergleich der Ergebnisse mit Benchmarks oder anderen Studien fällt äußerst schwer. (Gervasio & Dimova, 2018) analysieren in einer Literaturrecherche die Umweltleistung von Gebäuden mit dem Ziel Benchmarks für die Ergebnisse von Lebenszyklusanalysen zu entwickeln. Dabei wird festgestellt, dass ein Vergleich von Ökoindikatoren kaum möglich ist, da den Studien

einerseits zumeist unterschiedliche methodische Ansätze, Datenbanken und Rahmenbedingungen zu Grunde liegen und andererseits oft ein Mangel an Information vorliegt. Zum Beispiel werden die Ergebnisse vieler Studien nach der Gebäudefläche normiert, jedoch wird nicht angegeben, ob es sich um Netto- oder Bruttogrundfläche handelt. Weiters wird der Umfang der Studien (z.B. von der Wiege bis zur Bahre oder von der Wiege bis zum Werkstor) teilweise nicht angegeben. Diese Umstände erschweren bzw. verunmöglichen die Vergleichbarkeit von Studienergebnissen.

8.3 Vergleich OI3 und Ökoindikatoren - Bauteilebene

8.3.1 Bauteil 7 – Doppelboden

Vergleicht man Tabelle 6.1 und Tabelle 6.4, so entsteht bei Gesamtbetrachtung des Bauteils 7 ReUse (entspricht Fußbodenaufbau Systemboden ohne Belag, Wiederverwendung der Calciumsulfatplatten) eine Verbesserung des OI3 Index gegenüber dem konventionellen Bauteil 7 von 40 %.

Betrachtet man nur die Komponenten des Doppelbodens (also nur Platten und Stützen ohne die Estrichschicht) entspricht dies einer Verbesserung des OI3 von 81 % (vgl. Tabelle 8.4).

Es können je Wiederverwendungszyklus der Doppelbodenplatten 12.504 GJ (PENRT), 539,5 t CO₂ Äq. (GWP) und 1.297,5 kg SO₂ Äq. (AP) gegenüber einem Neubauteil eingespart werden (entspr. Δ konventionell – ReUse).

Tabelle 8.4: Bauteil 7 – Doppelboden, Vergleich ReUse – konventionell

	PENRT [GJ]			GWP [t CO ₂ eq]			AP [kg SO ₂ eq]			OI ₃ _{B7,1Z}
	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	
Platten ReUse	-	549,4	549,4	-	527,5	527,5	-	228,1	228,1	4,7
Platten konventionell	12.503,7	13.053,1	549,4	539,5	1.067,0	527,5	1.297,5	1.525,5	228,1	27,9
Stützen (kein ReUse)	344,3	359,5	15,1	14,9	29,4	14,5	35,7	42,0	6,3	0,8
Summe ReUse	344,3	908,8	564,5	14,9	556,8	542,0	35,7	270,1	234,3	5,4
Summe konventionell	12.848,0	13.412,5	564,5	554,4	1.096,4	542,0	1.333,2	1.567,5	234,3	28,7
Verbesserung ReUse zu konventionell	-97,3%	-93,2%	0,0%	-97,3%	-49,2%	0,0%	-97,3%	-82,8%	0,0%	-81,0%

8.3.2 Bauteil 25 – windbrechende Glasfassade

Gemäß Tabelle 8.5 entsteht bei Betrachtung des Bauteils 25 ReUse (Wiederverwendete ESG-Verglasung) eine Verbesserung des OI3 Index von 43% gegenüber dem konventionellen Bauteil 25.

Es können je Wiederverwendungszyklus der ESG-Verglasung 11.825,3 GJ (PENRT), 643,5 t CO₂ Äq. (GWP) und 6.047,4 kg SO₂ Äq. (AP) gegenüber einem Neubauteil eingespart werden (entspr. Δ konventionell – ReUse).

Tabelle 8.5: Bauteil 25 – windbrechende Glasfassade, Vergleich ReUse – konventionell

	PENRT [GJ]			GWP [t CO ₂ eq]			AP [kg SO ₂ eq]			OI3
	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	
BT ReUse	20.543,4	20.991,4	447,9	1.569,5	1.643,6	74,1	5.403,0	5.507,7	104,7	58,4
BT Konventionell	32.368,7	32.816,6	447,9	2.213,0	2.287,1	74,1	11.450,4	11.555,1	104,7	103,1
Verbesserung ReUse zu konventionell	-36,5%	-36,0%	0,0%	-29,1%	-28,1%	0,0%	-52,8%	-52,3%	0,0%	-43,4%

Es wird auf die bereits unter Punkt 6.1.3, Bauteil 25 angeführten Ergebnisbewertung hingewiesen. Durch die Verwendung großformatiger Scheiben bzw. Reduzierung der Rahmen könnte eine weitere Verbesserung herbeigeführt werden.

8.3.3 Bauteil Stütze 1 – Außenstütze (Rotorblatt)

Gemäß Tabelle 8.6 entsteht bei Betrachtung des Bauteils Stütze 1 ReUse (wiederverwendete Windrad Rotorblätter) eine Verbesserung des OI3 Index von 27% gegenüber dem konventionellen Bauteil Stütze 1 (Stahlbetonstütze).

Der Bauteilvergleich steht stellvertretend für ein Open Loop Szenario, bei dem das Bauteil nicht in seiner ursprünglichen Funktion wiederverwendet wird. Weiters erfolgt der Vergleich in den Use Cases zwischen zwei unterschiedlichen Materialien, weshalb sich auch in der EoL Phase (C1-C4) Differenzen ergeben.

Es können je Wiederverwendungszyklus der Rotorblätter 3.148,6 GJ (PENRT) und 679,2 kg SO₂ Äq. (AP) gegenüber einem Neubauteil eingespart werden, wohingegen zusätzliche 662,2 t CO₂ Äq. (GWP) entstehen (entspr. Δ konventionell – ReUse). Es ist jedoch nicht davon auszugehen, dass die Rotorblätter nach Ausbau aus dem Gebäude einem weiteren Nutzungszyklus zugeführt werden können.

Tabelle 8.6: Bauteil Stütze 1 – Außenstütze, Vergleich ReUse – konventionell

	PENRT [GJ]			GWP [t CO ₂ eq]			AP [kg SO ₂ eq]			OI3
	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	
BT ReUse	-	-	571,3	-	-	1.161,9	-	-	132,7	3,9
BT konventionell	3.382,4	-	337,5	474,5	-	25,1	727,0	-	85,4	5,4
Verbesserung ReUse zu konventionell	-100,0%	0,0%	69,3%	-100,0%	0,0%	4525,1%	-100,0%	0,0%	55,3%	-27,0%

Aufgrund der aufwendigen Kompositbauweise und dem Materialmix fallen dem Rotorblatt sehr hohe Umweltwirkungen in der EoL Phase zu. Die Abfälle können bei hohen Temperaturen zum Beispiel in einem Brennofen der Zementherstellung verbrannt werden (Quelle: Gespräch Woschitz, 2023).

Nach Gesprächen mit Experten kann ein ReUse von Windradflügeln, vor allem im „Open Loop“, kontrovers diskutiert werden. Einerseits könnten durch häufiges ReUse dem Markt falsche Signale gesendet werden, welche die Entwicklung neuer, recyclingfähiger oder dauerhafterer Materialien bzw. eine „Closed Loop“ Wiederverwendung hemmen. Dabei verschiebt sich das Hauptproblem der aufwändigen Entsorgung nur um einen oder mehrere Lebenszyklen nach hinten, es findet jedoch keine Reduktion der Herstellung neuer Windradflügeln statt. Andererseits werden in den kommenden Jahren trotz allem große Mengen an Windradflügeln, welche bereits verbaut sind, anfallen. Und dafür wird es jedenfalls Lösungen für das EoL und die Entsorgung benötigen.

8.3.4 Bauteil Träger 1 – Stahl-Beton-Verbund Träger

Gemäß Tabelle 8.7 entsteht bei Betrachtung des Bauteils Träger 1 ReUse (wiederverwendete Stahlprofile) eine Verbesserung des OI3 Index von 74% gegenüber dem konventionellen Bauteil Träger 1.

Es können je Wiederverwendungszyklus 11.531,1 GJ (PENRT), 662,0 t CO₂ Äq. (GWP) und 2.175,5 kg SO₂ Äq. (AP) gegenüber einem konventionellen Neubauteil eingespart werden (entspr. Δ konventionell – ReUse).

Tabelle 8.7: Bauteil Träger 1 – Stahl-Beton-Verbund Träger, Vergleich ReUse – konventionell

	PENRT [GJ]			GWP [t CO ₂ eq]			AP [kg SO ₂ eq]			OI3
	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	
BT ReUse	2.989,6	-	536,9	441,8	-	39,4	683,9	-	135,0	5,2
BT konventionell	14.520,7	-	536,9	1.572,8	-	39,4	2.859,4	-	135,0	20,0
Verbesserung ReUse zu konventionell	-79,4%	0,0%	0,0%	-71,9%	0,0%	0,0%	-76,1%	0,0%	0,0%	-73,8%

8.3.5 Bauteil Fenster 1-3

Gemäß Tabelle 8.8 entsteht bei Betrachtung der Bauteile Fenster 1 bis 3 ReUse (wiederverwendete Fensterflügel und Fixverglasung) eine Verbesserung des OI3 Index von 90% gegenüber den konventionellen Bauteilen Fenster 1 bis 3.

Es können je Wiederverwendungszyklus 7.485,2 GJ, 496,4 t CO₂ Äq. und 2.241,4 kg SO₂ Äq. gegenüber einem konventionellen Neubauteil eingespart werden (entspr. Δ konventionell – ReUse).

Tabelle 8.8: Bauteil 1-3 Fenster, Vergleich ReUse – konventionell

	PENRT [GJ]			GWP [t CO ₂ eq]			AP [kg SO ₂ eq]			OI3
	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	A1-A3	B4	C1-C4	
BT ReUse	599,7	1.382,3	91,4	4,2	334,1	171,2	102,7	270,7	32,7	3,5
BT konventionell	8.084,9	16.352,8	91,4	492,2	1.221,7	171,2	2.344,0	4.753,4	32,7	35,9
Verbesserung ReUse zu konventionell	-92,6%	-91,5%	0,0%	-100,8%	-72,6%	0,0%	-95,6%	-94,3%	0,0%	-90,2%

8.4 Vergleich OI3 – 100:0 und linear

Im Zuge der Ausarbeitung wurde ersichtlich, dass die lineare Methode nicht für eine frühe Projektphase geeignet ist, da eine Aussage über das Alter eines Bauteils erst getroffen werden kann, wenn dieses konkret feststeht. Hier Annahmen über das Alter des Bauteils zu treffen ist nicht zielführend. Außerdem eignet sich die lineare Methode aus diesem Grund auch nicht für eine Betrachtung von mehreren Zyklen. Daher wurde auf die Darstellung von Zahlenergebnissen verzichtet, da diese keine Aussagekraft hätten.

8.5 Schlussfolgerungen - Modulebene

8.5.1 Modul A4 – Transporte zur Baustelle

Das Szenario-Modul A4 ist grundsätzlich bereits mit vielen Unsicherheiten wie der Wahl der Transportmittel sowie der Abschätzung der Transportdistanzen und Transportmittelauslastung behaftet. Eine Betrachtung der Transporte über alle Austauschzyklen würde die Unsicherheiten aus den Annahmen weiter erhöhen, da Annahmefehler über alle Zyklen mitgenommen und multipliziert werden. Es entstehen zusätzliche Unsicherheiten durch die künftigen Änderungen im Transportwesen (allgemeine Energiewende, zukünftig mehr Elektromobilität, etc.) und die damit verbundene ungewisse Veränderung in den Datensätzen im Modul A4.

Betreffend die Bauteile, die für ReUse vorgesehen sind, müsste zusätzlich abgeschätzt werden, ob diese direkt am Standort wiederverwendet werden oder ob diese erst angeliefert werden müssen.

Eine Abschätzung der Transporte für den gesamten Betrachtungszeitraum wäre aus den oben angeführten Gründen nicht realistisch. Das Modul A4 wird daher nur für die Ersterrichtung betrachtet. Eine Differenzierung zwischen dem Use Case 1 (ReUse) und Use Case 2 (konventionell) konnte aufgrund fehlender Grundlagen sowie der frühen Projektphase nicht erfolgen.

Anhand der erfassten Daten lässt sich feststellen, dass der Anteil des Modul A4 auf Basis der zugrundeliegenden Annahmen für Transporte für den Use Case 2 (konventionell) jedoch nur einen relativ geringen Anteil an den gesamten Umweltwirkungen hat. Im Vergleich zum Modul A1-A3 betragen diese nur rund 3-6%, im Vergleich zum Modul A1-A3 und C1-C4 rund 3% (vgl. Tabelle 8.9). Eine Studie des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (König, 2017) kommt zu dem Schluss, dass die Transporte zur Baustelle nur untergeordnete Relevanz haben und vernachlässigt werden können.

Eine Differenzierung der Transportdaten zwischen Use Case 1 (ReUse) und Use Case 2 (konventionell) macht daher vor allem in der frühen Projektphase kaum Sinn. Um eine konkrete Aussage treffen zu können, ob ReUse bedeutende Auswirkungen auf das Modul A4 hat bzw. ob diese positiv oder negativ sind, kann nur in einer tiefgreifenden Studie untersucht werden und würde den Rahmen dieser Arbeit übersteigen. (Kellenberger & Althaus, 2009) empfehlen Transporte für den Vergleich verschiedener Baustoffe in der Ökobilanz nicht zu vernachlässigen.

Aus Sicht des Autors können die Abweichungen der Umweltauswirkungen zwischen den Transporten für ReUse und den Transporten für die konventionelle Bauweise als gering angesehen werden. In ökologischer Hinsicht scheint es allgemein sinnvoll auf eine regionale Beschaffung des Baumaterials zu achten (Achatz et al., 2021), unabhängig von ReUse oder konventioneller Bauweise, und somit die Transportemissionen zu reduzieren.

Tabelle 8.9: Modul A4 im Use Case 2 (konventionell)

	A4		
	PENRT	GWPtrtotal	AP
	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]
Bauteil 1	532,2	39,4	98,6
Bauteil 2	55,9	4,1	10,4
Bauteil 3	30,7	2,3	5,7
Bauteil 4	1.216,8	90,7	207,3
Bauteil 5	515,0	38,2	95,3
Bauteil 6	148,7	11,0	27,6
Bauteil 7 konv	1.559,6	121,5	278,7
Bauteil 8	50,8	3,7	21,6
Bauteil 9	65,4	4,8	22,8
Bauteil 10	83,3	6,1	29,4
Bauteil 11	78,4	5,7	24,2
Bauteil 12	38,9	2,9	16,9
Bauteil 13	89,4	6,6	16,0
Bauteil 15	31,6	2,4	4,0
Bauteil 16	26,9	2,0	8,6
Bauteil 17	26,6	2,0	4,8
Bauteil 18	12,0	0,9	1,0
Bauteil 19	261,3	19,3	58,9
Bauteil 20	68,2	5,0	14,9
Bauteil 21	4,6	0,3	1,0
Bauteil 22	147,0	10,9	27,3
Bauteil 23	72,0	5,3	13,3
Bauteil 24	18,0	1,3	3,4
Bauteil 25 konv	176,0	11,7	26,9
Bauteil St 1 konv	105,9	7,8	19,6
Bauteil St 2	52,3	3,9	9,7
Bauteil St 3	132,4	9,8	24,5
Bauteil St 4	154,3	11,4	28,6
Bauteil St 5	1,5	0,1	0,3
Bauteil Tr 1 konv	300,2	22,3	53,2
Fenster 1 konv	10,4	0,8	2,0
Fenster 2 konv	6,9	0,5	1,3
Fenster 3 konv	2,0	0,2	0,4
Fenster 4	2,6	0,0	0,1
Türe 1	2,6	0,2	0,5
Türe 2	8,9	0,7	2,7
Summe	6.089,0	456,1	1.161,4
% von A1-A3	3,6%	5,6%	3,0%
% von A1-A3 + C1-C4	3,4%	2,7%	2,8%
Summe A1-A3	169.850,7	8.092,6	38.876,9
Summe A1-A3 + C1-C4	180.225,5	16.927,4	41.952,1

8.5.2 Modul A5 – Errichtung/Einbau

Ein Großteil der generischen Datensätze der ÖKOBAU.DAT weist das Modul A5 nicht aus. Aufgrund der fehlenden Datengrundlage ist eine Bewertung dieses Moduls somit nicht möglich. Dies wird auch in einer Studie des Bayerischen Landesamtes für Umwelt festgehalten (König, 2017). Sofern das Modul A5 ausgewiesen ist, enthalten die Datensätze der ÖKOBAU.DAT bzw. EPD zumeist nur Angaben zur Entsorgung der Verpackung, da diese Daten durch die Hersteller selbst erhoben werden können. Daten zum allgemeinen Baustellenbetrieb wurden nicht recherchiert. Diese werden im Normalfall auch nicht von den Produktherstellern erfasst. Es kann festgehalten

werden, dass ReUse jedoch keinen nennenswerten Einfluss auf das Modul A5 hat und hier andere Faktoren im Baubetrieb als maßgeblich erachtet werden. Für weiterführende Erkenntnisse zur Nachhaltigkeit im Baubetrieb und zur CO₂ neutralen Baustelle wird auf ein entsprechendes Forschungsprojekt von (Obernosterer et al., 2021) verwiesen.

8.5.3 Modul D – Potential für Wiederverwertung, Rückgewinnung und Recycling

Bei der Erfassung des Moduls D fiel auf, dass keiner der verfügbaren Datensätze der ÖKOBAU-DAT eine Wiederverwendung berücksichtigt. Im Modul D werden in den meisten Fällen thermische Verwertung, Recycling oder Deponierung abgebildet.

In der Variante ReUse werden Modul D Daten ebenfalls mit dem ReUse Faktor nach der 100:0 Methode multipliziert und somit nicht mehr ausgewiesen, da Vorteile bzw. Belastungen theoretisch schon durch die Reduktion der Module A1-A3 gegengerechnet sind (Mielecke et al., 2017). Somit sind die Vorteile des ReUse nur im ersten Wiederverwendungszyklus relevant.

Jedoch ist diese Vorgehensweise zu hinterfragen, da realistischerweise mit jedem Wiederverwendungszyklus Primärmaterial und die Herstellung neuer Produkte eingespart werden und daher durchaus Vorteile demgegenüber entstehen können.

Die erfassten Daten des Modul D können Tabelle 8.10 und Tabelle 8.11 entnommen werden. Es wird festgehalten, dass keine expliziten Szenarien für das Modul D (Design for Deconstruction – Downstream Betrachtung) entwickelt wurden, da der Fokus dieser Arbeit auf der Upstream Betrachtung von ReUse liegt.

Tabelle 8.10: Modul D im Use Case 1 (ReUse)

	Modul D			Modul A1-A3, B4, C1-C4		
	PENRT	GWPtrtotal	AP	PENRT	GWPtrtotal	AP
	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]
Bauteil 1	- 1.669,5	- 128,1	- 283,0	15.582,9	1.914,6	3.299,4
Bauteil 2	- 190,8	- 14,6	- 32,4	1.603,4	205,6	351,9
Bauteil 3	- 104,9	- 8,0	- 0,0	881,4	113,0	193,4
Bauteil 4	- 32.204,0	- 2.182,8	- 319,9	11.789,5	280,0	2.993,3
Bauteil 5	- 1.512,8	- 116,0	- 256,5	17.253,0	2.218,3	3.675,6
Bauteil 6	- 507,8	- 38,9	- 86,1	4.266,3	547,0	936,3
Bauteil 7 ReUse	- 408,6	- 30,2	- 34,4	22.131,2	3.592,5	5.266,7
Bauteil 8	- 728,6	- 18,5	- 0,0	4.145,5	237,0	264,5
Bauteil 9	- 1.502,6	- 64,2	- 78,8	7.356,3	489,9	490,4
Bauteil 10	- 965,2	- 27,2	-	5.910,3	379,2	487,1
Bauteil 11	- 782,3	- 45,4	- 56,2	19.515,7	2.257,8	4.540,7
Bauteil 12	- 11,8	- 0,9	- 1,6	2.843,2	189,9	170,6
Bauteil 13	- 4.495,5	- 256,6	- 430,8	8.743,0	565,7	1.678,6
				-	-	-
Bauteil 15	- 683,7	- 71,5	- 137,6	3.624,0	241,9	758,5
Bauteil 16	- 1.463,5	- 47,3	- 63,5	5.274,7	208,7	267,4
Bauteil 17	- 1.469,5	- 47,8	- 64,6	4.438,1	119,0	290,2
Bauteil 18	-	-	-	1.381,3	106,2	558,5
Bauteil 19	- 15.943,3	- 1.190,0	- 1.225,6	2.958,0	212,1	1.359,8
Bauteil 20	- 685,5	- 51,7	- 58,9	2.490,7	60,9	584,7
Bauteil 21	- 45,1	- 4,7	- 9,1	295,6	18,2	40,9
Bauteil 22	- 502,2	- 38,5	- 85,1	4.219,5	541,0	926,0
Bauteil 23	- 219,9	- 16,9	- 37,3	2.126,0	258,5	445,9
Bauteil 24	- 69,8	- 5,4	- 11,8	497,6	68,3	115,8
Bauteil 25 ReUse	- 11.228,0	- 1.040,8	- 4.069,0	41.982,7	3.287,1	11.015,4
Bauteil St 1 ReUse	-	-	-	571,3	1.161,9	132,7
Bauteil St 2	- 159,7	- 12,2	- 27,1	1.836,8	246,7	401,2
Bauteil St 3	- 404,4	- 31,0	- 68,6	4.651,7	624,8	1.015,9
Bauteil St 4	- 471,1	- 36,1	- 79,9	5.418,7	727,8	1.183,4
Bauteil St 5	- 231,6	- 17,5	- 17,6	39,3	2,9	18,7
Bauteil Tr 1 ReUse	- 489,8	- 453,2	- 83,0	3.526,5	481,2	818,9
Fenster 1 ReUse	- 701,6	- 46,1	- 56,0	1.633,1	261,8	302,6
Fenster 2 ReUse	-	-	-	129,0	190,3	46,5
Fenster 3 ReUse	- 135,3	- 8,9	- 10,8	311,2	49,1	57,0
Fenster 4	- 804,8	- 60,0	- 178,4	7.494,9	583,2	1.861,4
Türe 1	- 506,8	- 25,1	-	230,0	14,8	27,5
Türe 2	- 408,8	- 42,4	- 90,7	1.155,5	101,3	314,7
Summe	- 81.708,72	- 6.178,54	- 7.954,24	218.307,83	22.558,45	46.892,18

Tabelle 8.11: Modul D im Use Case 2 (konventionell)

	Modul D			Modul A1-A3, B4, C1-C4		
	PENRT	GWPTotal	AP	PENRT	GWPTotal	AP
	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]	[GJ]	[t CO2 eq.]	[kg SO2 eq.]
Bauteil 1	- 1.669,54	- 128,06	- 283,04	15.582,85	1.914,63	3.299,36
Bauteil 2	- 190,84	- 14,64	- 32,35	1.603,39	205,57	351,90
Bauteil 3	- 104,90	- 8,05	- 0,02	881,40	113,00	193,44
Bauteil 4	- 32.203,97	- 2.182,79	- 319,87	11.789,49	279,96	2.993,31
Bauteil 5	- 1.512,76	- 116,03	- 256,46	17.253,01	2.218,34	3.675,63
Bauteil 6	- 507,78	- 38,95	- 86,09	4.266,33	546,98	936,34
Bauteil 7 konv	- 2.412,61	- 251,20	- 544,87	47.138,53	4.671,63	7.861,63
Bauteil 8	- 728,63	- 18,48	- 0,03	4.145,51	236,97	264,48
Bauteil 9	- 1.502,56	- 64,21	- 78,76	7.356,34	489,94	490,44
Bauteil 10	- 965,21	- 27,16	-	5.910,30	379,21	487,15
Bauteil 11	- 782,34	- 45,38	- 56,15	19.515,66	2.257,81	4.540,69
Bauteil 12	- 11,80	- 0,86	- 1,56	2.843,17	189,90	170,64
Bauteil 13	- 4.495,48	- 256,56	- 430,85	8.743,00	565,70	1.678,59
				-	-	-
Bauteil 15	- 683,71	- 71,52	- 137,57	3.623,97	241,94	758,50
Bauteil 16	- 1.463,46	- 47,35	- 63,55	5.274,74	208,67	267,42
Bauteil 17	- 1.469,52	- 47,80	- 64,57	4.438,09	119,03	290,16
Bauteil 18	-	-	-	1.381,29	106,23	558,50
Bauteil 19	- 15.943,28	- 1.190,04	- 1.225,65	2.958,03	212,14	1.359,81
Bauteil 20	- 685,52	- 51,70	- 58,89	2.490,66	60,95	584,72
Bauteil 21	- 45,13	- 4,72	- 9,08	295,60	18,21	40,88
Bauteil 22	- 502,20	- 38,52	- 85,14	4.219,45	540,97	926,05
Bauteil 23	- 219,85	- 16,86	- 37,27	2.126,01	258,48	445,87
Bauteil 24	- 69,75	- 5,35	- 11,83	497,57	68,27	115,78
Bauteil 25 konv	- 12.286,56	- 1.113,27	- 4.464,51	65.633,17	4.574,12	23.110,27
Bauteil St 1 konv	- 323,42	- 24,81	- 54,83	3.719,86	499,63	812,40
Bauteil St 2	- 159,70	- 12,25	- 27,07	1.836,82	246,71	401,15
Bauteil St 3	- 404,44	- 31,02	- 68,57	4.651,75	624,80	1.015,92
Bauteil St 4	- 471,12	- 36,14	- 79,87	5.418,71	727,81	1.183,42
Bauteil St 5	- 231,55	- 17,48	- 17,60	39,29	2,92	18,75
Bauteil Tr 1 konv	- 4.483,97	- 453,17	- 894,54	15.057,59	1.612,23	2.994,43
Fenster 1 konv	- 1.648,30	- 108,33	- 98,23	11.650,96	937,74	3.331,28
Fenster 2 konv	- 1.142,45	- 75,68	- 56,07	10.902,58	894,80	3.244,43
Fenster 3 konv	- 310,18	- 20,37	- 19,39	1.975,59	157,82	554,41
Fenster 4	- 804,75	- 60,03	- 178,38	7.494,87	583,20	1.861,42
Türe 1	- 506,79	- 25,13	-	229,99	14,77	27,46
Türe 2	- 408,84	- 42,36	- 90,71	1.155,46	101,33	314,71
Summe	- 91.352,89	- 6.646,25	- 9.833,39	304.101,05	26.882,43	71.161,34

8.6 Schlussfolgerungen Kosten

Wie aus den Ergebnissen im Kapitel 7 ersichtlich ist, können die Bauteil-Kosten durch Wiederverwendung von Bauteilen bzw. Bauteilelementen reduziert werden.

Tabelle 8.12: mögliche Einsparung in den Kostenbereichen 2 und 4 ohne Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung²⁷

Bauteil	ReUse		Quellen	konventionell		Quellen	% - Verbesserung
BT 7 - Doppelboden	96,0%	€ 4.928.000	IG Lebenszyklus Bau, Romm ZT	100%	€ 5.133.333	IG Lebenszyklus Bau, Romm ZT	-4%
BT25 - Glasfassade	88,6%	€ 6.754.325	BKI, Romm ZT, Stricker, Annamen	100%	€ 7.620.047	BKI	-11%
ST 1 - Stütze Rotorblatt	70,1%	€ 868.000	Woschitz	100%	€ 1.237.639	BKI	-30%
Tr 1 - Verbund Träger	-	k.A.		-	k.A.		-
Fe 1-3 - Fenster	71,6%	€ 2.815.745	Romm ZT, Heinze	100%	€ 3.929.983	Romm ZT	-28%
		€ 15.366.070			€ 17.921.002		-14%

Tabelle 8.13: mögliche Einsparungen in den Kostenbereichen 2 und 4 mit Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung²⁷

Bauteil	ReUse		Quellen (zusätzlich)	konventionell		Quellen (zusätzlich)	% - Verbesserung
BT 7 - Doppelboden	76,8%	€ 3.942.400	-	100%	€ 5.133.333	-	-23%
BT25 - Glasfassade	83,0%	€ 6.322.195	Internetrecherche, Romm ZT	100%	€ 7.620.047	-	-17%
ST 1 - Stütze Rotorblatt	54,3%	€ 671.440	Wien Energie	100%	€ 1.237.639	-	-46%
Tr 1 - Verbund Träger	-	k.A.		-	k.A.		-
Fe 1-3 - Fenster	65,8%	€ 2.587.092	-	100%	€ 3.929.983	-	-34%
		€ 13.523.126			€ 17.921.002		-25%

Jedoch müssten für eine holistische Beurteilung noch weitere Kosten im Gesamtprozess wie zusätzliche Planungskosten, Haustechnik Kosten, Unterhaltskosten (z.B. Rücklagen als Kompensation für fehlende Gewährleistung) untersucht werden. (Stricker et al., 2021) stellten fest, dass die Kosten auf Bauteilebene bei Wiederverwendung geringer sind. Aufgrund individueller Lösungen für Anschlussdetails, schwer kalkulierbaren Materialresten, Mehraufwänden in der Planung und fehlenden etablierten Abläufen und Märkten können diese Einsparungen jedoch nicht über die Gesamtkosten mitgenommen werden. Daher ist auch für die Ergebnisse der gegenständlichen Arbeit nicht davon auszugehen, dass bei Gesamtbetrachtung der Use Case 1 ReUse deutlich günstiger bleibt als der Use Case 2 konventionell.

Ein detaillierter Vergleich der Kosten auf Bauteilebene wurde bereits im Zuge der Ergebnisdarstellung durchgeführt (siehe Kapitel 7). Laut (Stricker et al., 2021) lohnt sich die Wiederverwendung finanziell vor allem bei Bauteilen mit aufwendigen Fertigungsprozessen wie Türen oder Fenster, so lange diese auch leicht zu bergen sind. Vor allem in Hochlohnländern schlagen die Lohnleistungen für Rückbau, Aufbereitung und Wiedereinbau meist deutlicher zu Buche als die Materialkosten.

²⁷ In der Tabelle berücksichtigte Varianten: BT 7 – Variante Weiterverwendung, ST1 – Middle Case, Fe 1-3 – Variante ReUse "nur Flügel"

Im Zuge weiterer wissenschaftlicher Arbeiten wäre eine eingehendere Untersuchung der Verhältnismäßigkeit der Einsparungen zu den Gesamtkosten für gegenständliches Projekt und im Allgemeinen für Hochbauprojekte erstrebenswert. Dies konnte aufgrund der komplexen Thematik und fehlenden Kostengrundlagen für Hochhausprojekte nicht durchgeführt werden. Eine tiefgreifende Untersuchung würde den Rahmen der Arbeit jedoch übersteigen und kann in weiterführender Forschung untersucht werden.

8.7 Angetroffene Problemstellungen und Anwendungsschwierigkeiten

8.7.1 Intransparente Daten

Die Datensätze in der ÖKOBAUDAT sind nur zu einem gewissen Grad transparent und nachvollziehbar. Zum Beispiel fehlen in einigen Fällen textliche Beschreibungen oder benötigte Angaben zum untersuchten Produktsystem. Gerade bei generischen Datensätzen fällt es daher teilweise schwer, den genauen Umfang des Produktsystems nachvollziehen zu können.

8.7.2 Inkonsistente Daten

Obwohl die Datensätze der ÖKOBAUDAT alle auf normierter Basis erstellt wurden, gibt es teilweise erhebliche Unterschiede zwischen den Datensätzen. So weichen z.B. die Anzahl der bewerteten Module sowie der Bewertungsumfang der Module oft ab. Als Beispiel wird das Modul A5 herangezogen. Dieses wird zum Teil überhaupt nicht deklariert, teilweise sind darin Daten aus dem Modul D der Verpackungsentsorgung erfasst, welche eigentlich gesondert ausgewiesen werden sollten. Manchmal sind die Daten für die Gutschriften der Verpackungsentsorgung auch in Modul D erfasst.

8.7.3 Fehlerhafte Daten

Im Zuge der Arbeit wurden auf diversen Plattformen und EPD offensichtlich fehlerhafte bzw. unschlüssige Datensätze vorgefunden. Dies betrifft sowohl spezifische EPD-Datensätze als auch generische Datensätze. Eine Überprüfung der Unschlüssigkeiten ist meist mit hohem Aufwand verbunden, da nicht alle Daten des Hintergrundsystems frei zugänglich oder verfügbar sind. Dies ist vor allem dann problematisch, wenn nicht mehrere ähnliche Datensätze zur Validierung oder als Alternative zur Verfügung stehen.

8.7.4 Fehlende Daten

Für viele Bauprodukte fehlt es generell an Daten für Ökoindikatoren. Oft finden sich auch bereits ungültige Datensätze, welche jedoch nicht erneuert wurden. Aufgrund der in Kapitel 3.1.3 angeführten Änderungen in den Normen wird der Datenstand für Datensätze nach EN 15804:A1 stetig abnehmen wohingegen Datensätze nach 15804:A2 steigen. Bis zum kompletten Übergang zur neuen Norm können jedoch zusätzliche Schwierigkeiten mit der Datenverfügbarkeit auftreten.

Umweltdaten zur Wiederverwendung sind zudem besonders schlecht zu finden. Dies betrifft vor allem spezifische Daten zu Wiederverwendung in den Modulen C1-C3 sowie im Modul D.

Auch bei den Kostendaten betreffend ReUse fehlt es an validen Datengrundlagen. Es handelt sich bei den in gegenständlicher Arbeit angeführten Werten oft um Erfahrungswerte, welche nicht durch andere Quellen validierbar sind.

8.7.5 GWP total

Eine Problemstellung stellt die Differenzierung des GWP_{total} in GWP_{fossil} und GWP_{biogen} in einigen Berechnungsschritten des (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022) dar.

In den Datensätzen der ÖKOBAUDAT EN 15804:A1 werden diese Daten noch nicht getrennt ausgewiesen und nur der Wert GWP_{total} zur Verfügung gestellt (Tabelle 8.14). Jedoch ist die Trennung des Wertes für die Berechnung des $OI3_{BG3+,BZF,ND}$, welcher nur die Module A1-A3 und B4 berücksichtigt, notwendig. Durch die Vermischung von GWP_{biogen} und GWP_{fossil} entstehen zum Teil verfälschte Ergebnisse, vor allem im Bereich von Holz bzw. anderen nachwachsenden Produkten.

Grund dafür ist, dass das im Holz gespeicherte biogene CO_2 in der EoL Phase mit den Modulen C1-C4 als Output Strom wieder in die Umwelt bzw. ins nächste Produktsystem übergeben wird und auch dort als positiver Wert wieder ausgewiesen ist. Im Sinne einer Bilanz fehlt dieser Output Strom daher bei Betrachtung des GWP_{total} und Nicht-Betrachtung der Module C1-C4 im $OI3_{BG3+,BZW,ND}$.

Tabelle 8.14: Beispiel 3- und 5-Schicht Massivholzplatte – Datensatz ÖKOBAUDAT gemäß EN 15804:A1

Einheit	Indikator	Rohstoff-bereitstellung A1	Herstellung A1-A3	Transport A2	Herstellung A3	Einbau A5	Transport C2	Abfall-behandlung C3	Recyclingpotential energetisch (Standardszenario) D	Recycling-potential stofflich D
kg CO2-Äqv.	Globales Erwärmungspotenzial (GWP)	-764.1	-647.4	24.73	91.92	0.8728	0.5358	810.1	-261.1	-11.13

Tabelle 8.15: Beispiel 3- und 5-Schicht Massivholzplatte – Datensatz ÖKOBAUDAT gemäß EN 15804:A2

Einheit	Indikator	Rohstoff-bereitstellung A1	Herstellung A1-A3	Transport A2	Herstellung A3	Einbau A5	Transport C2	Abfall-behandlung C3	Recyclingpotential energetisch (Standardszenario) D	Recycling-potential stofflich D
kg CO2-Äqv.	Globales Erwärmungspotenzial-fossil (GWP-fossil)	42.54	156.4	25.14	88.69	0.8724	0.5367	12.14	-247.9	-11.17
kg CO2-Äqv.	Globales Erwärmungspotenzial-biogen (GWP-biogenic)	-806.4	-806.4	0	0	0	0	806.4	0	0
kg CO2-Äqv.	Globales Erwärmungspotenzial-total (GWP-total)	-763.9	-650.1	25.14	88.69	0.8724	0.5367	818.6	-247.9	-11.17

5.4.3 $GWP_{Total,BGX,A1-A3,B4}$, $GWP_{fossil,BGX,A1-A3,B4}$, $GWP_{biogen,BGX,A1-A3,B4}$

Zur Berechnung der Kennzahl $GWP_{BGX,A1-A3,B4}$ wird zunächst die Kennzahl $GWP_{BS,A1-A3,B4}$ einer Bauteilschicht im Gebäude nach folgender Formel berechnet:

$$GWP_{fossil,BS,A1-A3,B4} = GWP_{fossil,BS,A1-A3} + \text{Aufrunden} \left[\frac{t_B - 1}{t_N} - 1 \right] * GWP_{fossil,BS,A1-A3}$$

$$GWP_{biogen,BS,A1-A3,B4} = GWP_{biogen,BS,A1-A3} + 0$$

$$GWP_{Total,BS,A1-A3,B4} = GWP_{fossil,BS,A1-A3,B4} + GWP_{biogen,BS,A1-A3,B4}$$

BS ... Bauteilschicht
 t_B ... Betrachtungszeitraum (z.B. 50 Jahre für Wohnbau)
 t_N ... Nutzungsdauer der Schicht

Die in biogenen Materialien gebundene Menge an Kohlenstoffen (GWP_{biogen}) wird somit nur einmal berücksichtigt. Daraus berechnet sich der $GWP_{Total,BGX,A1-A3,B4}$ - Wert eines Gebäudes als die Summe aller $GWP_{Total,BS,A1-A3,B4}$ -Werte aller Bauteilschichten.

Abb. 8.5: Ausschnitt aus (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022) zur Berechnung des $OI3_{BG3,BZF,ND}$

OI3 (Austausch)				
OIPENRT _{BG3+,A1-A3,B4} [-]	OIGWP _{Total,BG3+,A1-A3,B4} [-]	OIAP _{BG3+,A1-A3,B4} [-]	OI3 _{BG3+,BZF,ND} [-]	
5,24	-10,39	5,26	0,03	
4,54	-9,01	4,56	0,03	
4,87	-2,60	5,04	2,44	
5,24	-10,39	5,26	0,03	
-	-	-	-	
-	-	-	-	
-	-	-	-	
-	-	-	-	
-	-	-	-	
19,89	32,39	20,11	2,54	

Abb. 8.6: Ergebnis der Berechnung des $OI3_{BG3+,BZF,ND}$ für Bauteil 4 – CLT Decke

Wie Abb. 8.6 zeigt, verschiebt sich der GWP-Anteil des OI3 Index somit stark in den negativen Bereich, wodurch es zu einer Unterschätzung des OI3 Ergebnisses für Holzbauteile bzw. Bauteile aus nachwachsenden Rohstoffen kommt.

Erst in Datensätzen nach EN 15804:A2 werden in der ÖKOBAUDAT GWP_{fossil} und GWP_{biogen} getrennt dargestellt (Tabelle 8.15).

8.7.6 Modul D

Die Analyse des Modul D, ohne die Festlegung eines Rückbaukonzeptes sowie weiterer EoL Szenarien gestaltet sich als äußerst schwierig. Die erfassten Daten wurden lediglich aus den Datensätzen der ÖKOBAUDAT übernommen und entsprechen damit den dort festgelegten und nicht projektspezifischen Versorgungswegen. Diese bilden weitgehend die Standardentsorgungsszenarien und Stand der Technik betreffend EoL ab. Modul D Daten für den Entsorgungsweg „ReUse“ sind in den Datenbanken nicht vorhanden.

Wie bereits in 8.7.2 beschrieben, treten im Modul D häufig Inkonsistenzen betreffend Systemgrenzen und deklarierte Prozesse auf. Weiters ist das Modul D nicht immer ausgewiesen (vgl. 8.7.4).

9 Conclusio

In der Conclusio werden die anfangs aufgestellten Forschungsfragen beantwortet und auf die Hypothese eingegangen. Zudem wird ein Ausblick auf weitere Schritte und den möglichen Umgang mit den aufgezeigten Problemstellungen gegeben.

9.1 Beantwortung der Forschungsfragen und Hypothese

9.1.1 Hypothese

Die Verwendung von ReUse Baustoffen (im Hochhausbau) ist sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Hinsicht gegenüber einer konventionellen Bauweise zu bevorzugen.

Bereits (Thormark, 2000) zeigte, dass Gebäude aus wiederverwendeten Materialien einen beachtlichen Einfluss auf die Reduktion der negativen Umweltwirkungen haben. Das Ergebnis der gegenständlichen Arbeit bestätigt jedenfalls die Sinnhaftigkeit von ReUse in ökologischer Hinsicht. Auch zeigt das Ergebnis, dass ReUse ökonomisch unter gewissen Aspekten sinnvoll sein kann, wie auch in (Stricker et al., 2021) ersichtlich ist. In jedem Fall, in besonderer Hinsicht auf die Kosten, ist auf eine holistische Ergebnisdarstellung zu achten und es sind alle Aspekte eines Projektes mitzubetrachten. Neben der Betrachtung der quantitativen Ökobilanz sollten jedenfalls qualitative Aspekte wie z.B. der Entsorgungsindikator in der ökologischen Bewertung Berücksichtigung finden. Eine gesamtheitliche Betrachtung kann z.B. durch die Erstellung eines umfassenden materiellen Gebäudepasses (Honic et al., 2021) erfolgen.

Die Datenlage zu Ökobilanz- sowie Kostendaten beim Thema ReUse ist trotz allem noch gering. Es fehlt an allgemeinen Daten und wo diese vorhanden sind, fehlt es an Vergleichswerten. Kostendaten sind, sofern vorhanden, weitgehend Erfahrungswerte von Einzelprojekten und beruhen nicht auf einer validen statistischen Grundlage. Weiters fehlen etablierte Prozesse für Ökobilanzen zur Betrachtung des EoL und ReUse von Produkten über mehrere Produktlebenszyklen hinweg.

9.1.2 Forschungsfragen Ökoindex OI3

Wie kann ReUse bei der Errechnung des OI3-Ökoindex berücksichtigt werden?

ReUse kann, wie in gegenständlicher Arbeit gezeigt, zum Beispiel durch die Einführung eines ReUse Faktors berücksichtigt werden. Die 100:0 Cut-Off Allokationsmethode hat dabei viel Potential. Sie ist einfach in der Anwendung, benötigt kaum Annahmen und ist damit auch bereits in frühen Projektphasen anwendbar. Außerdem birgt sie wenige Risiken, dass Umweltwirkungen unberücksichtigt bleiben. Sie fördert das Upstream ReUse, bringt jedoch keine Benefits für die Planung von ReUse-fähigen Neubauteilen (Downstream). Es besteht jedoch die Gefahr, dass eine gegebenenfalls umweltintensive Herstellung von Neuprodukten ab dem zweiten Produktlebenszyklus durch die lastenfreie Übernahme unberücksichtigt bleibt.

Die ebenfalls betrachtete lineare Methode, welche sich an der Methode für den OI3 Index für Sanierungen richtet, eignet sich hingegen nicht für frühe Projektphasen da in diesen das Bauteilalter nicht bekannt ist. Weiters ist eine Betrachtung über den gesamten Betrachtungszeitraum

sehr komplex und wird nicht empfohlen. Die lineare Methode könnte als begleitende und informative Methode betrachtet werden und bietet sich ab der Ausführungsphase an, ab der das tatsächliche Alter der verbauten ReUse Bauteile bekannt ist.

Welche Auswirkungen hat ReUse auf den OI3-Ökoindex?

Die Auswirkungen von ReUse auf den OI3-Ökoindex können den Ergebnissen in den vorhergehenden Kapiteln in dieser Arbeit entnommen werden. Es zeigt sich, dass ReUse auf Basis der entwickelten Methode zur Berücksichtigung in der Berechnung durchaus einen großen Einfluss auf den OI3-Index hat. Für eine Verallgemeinerung der Aussage müsste die vorgeschlagene Methodik jedoch noch auf weitere Projekte angewendet werden.

9.1.3 Forschungsfragen Kostenermittlung

Wie kann ReUse bei der Errechnung der Kosten berücksichtigt werden?

Die Kostenermittlung von ReUse bleibt derzeit noch eine Einzelfallbetrachtung. Eine Allgemeine Methode oder Benchmarks zum Thema fehlen noch weitgehend.

Welche Auswirkungen hat ReUse auf die Errichtungskosten?

Die Kosten auf Bauteilebene sind bei Wiederverwendung gegenüber Neubauteilen oft geringer, wie auch von (Stricker et al., 2021) aufgezeigt.

Für eine holistische Beurteilung ist jedoch die Untersuchung weiterer Kosten im Gesamtprozess wie z.B. zusätzlicher Planungskosten, zusätzlicher Ausführungskosten (z.B. für individuelle Lösungen für Schnittstellen und Anschlussdetails), Haustechnik Kosten (z.B. ggf. benötigte Fassadensprinklerung bei Rotorblattstützen), Unterhaltskosten (z.B. Rücklagen als Kompensation für fehlende Gewährleistung oder erhöhte Wartung/Instandhaltung), zusätzlicher Risiken (z.B. fehlende etablierte Abläufen und Märkte, Vertragsgestaltung und rechtliche Unsicherheiten, schwer kalkulierbare Materialreste) nötig. Das Potential von ReUse auf Bauteilebene kann bei Gesamtbetrachtung nicht ausgeschöpft und mitgenommen werden.

9.2 Ausblick

Betrachtet man die Seite der ökologischen Gebäudebewertung, so braucht es einerseits Klarheit, wie EoL Prozesse in der Kreislaufwirtschaft einheitlich ökobilanziert werden können. Ansätze wie Produkte über mehrere Lebenszyklen hinweg berücksichtigt werden können existieren in der Literatur bereits, jedoch benötigt es noch konkretere Vorgaben in Richtlinien und Normen. Andererseits fehlen, vor allem beim Thema ReUse, noch weitgehend Daten für die Ökobilanzierung. In der Berechnung des OI3 Index findet das Thema Kreislaufwirtschaft und insbesondere das Thema ReUse noch kaum Berücksichtigung. Hier wären jedenfalls konkrete Umsetzungsvarianten zu erarbeiten. Diese Arbeiten soll hier ein erster Schritt sein und zeigen, dass ReUse im OI3 Index auf jeden Fall Berücksichtigung finden kann. Es benötigt jedoch eine ausgeglichene Vorgehensweise, welche sowohl für die Upstream Betrachtung (z.B. in Form des in dieser Arbeit vorgestellten ReUse Faktor), als auch für die Downstream Betrachtung (Daten für die EoL Module C1-C3 und Modul D). Ob der gewählte Ansatz mit der 100:0 Cut-Off-Allokationsmethode die

beste Variante ist, oder ob es für die Berechnung einer ReUse Faktors auch Alternativen geben kann, könnte in weiterführender Forschung betrachtet werden.

Was die Kostenermittlung angeht, so fehlt es auch hier weitgehend an Datengrundlagen. Grundlagen für die Kosten können jedoch nur durch die Umsetzung von konkreten Projekten generiert werden. Um von marktüblichen Preisen sprechen zu können, muss sich zuerst ein stabiler Markt für ReUse Bauteile bilden. Neben den Materialkosten spielen jedoch auch die Lohnkosten eine große Rolle. Aktuell wird selektiver Rückbau oft im Zuge von sozial geförderten Projekten durchgeführt, wobei das Lohnniveau sehr niedrig ist. Ob ReUse allgemein günstiger oder teurer ist, wird sich auch in näherer Zukunft nicht genau sagen lassen. Die Kostenermittlung für Gebäude ist meist umfangreich, einzelfallbezogen und mit vielen Unsicherheiten verbunden, weshalb Kostenangaben in verschiedenen Projektphasen zumeist eine Schwankungsbreite gemäß einem Kostentrichter zu Grunde gelegt werden. Solange es keine etablierten Systeme und Geschäftsmodelle für die Wiederverwendung gibt, bleibt die Beurteilung der Kosten für ReUse Bauteile mit großen Schwankungen verbunden und kann von Projekt zu Projekt variieren.

Abkürzungsverzeichnis

AP.....	en. Acidification Potential (de. Versauerungspotential)
BG.....	Bilanzgrenze
BT.....	Bauteil
EoL.....	en. End of Life (de. Lebensende)
EPD.....	en. Environmental Product Declaration (de. Umweltproduktdeklaration)
GWP.....	en. Global Warming Potential (de. Treibhauspotential)
ISDEC2030.....	Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge
MK.....	Mehrkosten, Minderkosten
PENRT.....	en. Primary Energy Non Renewable, Total (de. Nicht erneuerbare Primärenergie- total)
UC.....	Use Case

Literaturverzeichnis

- Achatz, A., Margelik, E., Romm, T., Kasper, T., & Jäger, D. (2021). *Kreislauf BAU wirtschaft* (Issue REP0757).
- Allacker, K., Mathieux, F., Manfredi, S., Pelletier, N., de Camillis, C., Ardente, F., & Pant, R. (2014). Allocation solutions for secondary material production and end of life recovery: Proposals for product policy initiatives. *Resources, Conservation and Recycling*, 88, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.016>
- Allacker, K., Mathieux, F., Pennington, D., & Pant, R. (2017). The search for an appropriate end-of-life formula for the purpose of the European Commission Environmental Footprint initiative. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(9), 1441–1458. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1244-0>
- Allesch, R. A., Laner, D., Roithner, C., Fazeni-Fraisl, K., Lindorfer, J., Moser, S., & Schwarz, M. (2019). *Energie- und Ressourceneinsparung durch Urban Mining-Ansätze*. <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/urban-mining.php>
- Bahr, C. (2022, June). Bauteillebensdauer - Schlüsselrolle beim nachhaltigen Bauen. *OIB Aktuell*.
- BKI. (2021). BKI Baupreise kompakt 2022 Neubau : statistische Baupreise für Positionen mit Kurztexten. In *BKI Baupreise kompakt 2022 Neubau : statistische Baupreise für Positionen mit Kurztexten*. BKI.
- BMK. (2020). *Ressourcennutzung in Österreich 2020* (Vol. 3).
- BMK. (2021). *Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich - Statusbericht 2021* (Vol. 2021, Issue Referenzjahr 2019).
- BMK. (2022). *Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2022 (Entwurfssfassung zur Konsultation)*.
- Daxbeck, H., Brauneis, L., Gassner, A., Lemmel, H., Neumayer, S., Buschmann, H., & Hippacher, H. (2015). *Rahmenbedingungen für den Aufbau und Initiierung eines regionalen Wiederverwendungsnetzwerkes für Bauteile aus dem Bauwesen als Beitrag zur Ressourcenschonung (Projekt: RaABA)*.
- De Wolf, C., Hoxha, E., & Fivet, C. (2020). Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. *Sustainable Cities and Society*, 61(June), 102322. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102322>
- Dechantsreiter, U. (2015). *Instrumente zur Wiederverwendung von Bauteilen und hochwertigen Verwertung von Baustoffen*.
- Deweerd, M., & Mertens, M. (2020). *A guide for identifying the reuse potential of construction products: Working Draft version 29.03.2020* (Issue Working Draft). <http://www.nweurope.eu/fcrbe>
- Eberle, U., Jepsen, D., Volz, S., Ausberg, L., & Reintjes, N. (2015a). B2.1 Die Ökobilanz. In *Ecodesign Kit*. Umweltbundesamt (UBA), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). https://www.ecodesignkit.de/fileadmin/user_upload/Dateien/PDFs/Themenpapiere/EcodesignKit_B2_1_Die_Oekobilanz_n.pdf
- Eberle, U., Jepsen, D., Volz, S., Ausberg, L., & Reintjes, N. (2015b). B2.4 Datenbanken. In *Ecodesign Kit*. Umweltbundesamt (UBA), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). <https://www.ecodesignkit.de/methoden/b2-analyse-und-bewertungsmethoden/b24-datenbanken/inhalt-und-einleitung/>
- EK. (2022). *Fragen & Antworten: Überarbeitung der Bauprodukteverordnung*. Europäische Kommission.
- El khouli, S., John, V., & Zeumer, M. (2014). *Nachhaltig konstruieren*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). Completing the Picture: How the circular economy tackles climate change 2021 Reprint. In *Ellen MacArthur Foundation* (Vol. 3, Issue 26 September).
- EU Green Deal. (2019). *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN EUROPÄISCHEN RAT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Der europäische Grüne Deal*.

- Fivet, C. (2019). Design of Load-Bearing Systems for Open-Ended Downstream Reuse. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012031>
- Fivet, C., & Brütting, J. (2020). Nothing is lost, nothing is created, everything is reused: structural design for a circular economy. *The Structural Engineer*, 98(1), 74–81. [https://www.istructe.org/journal/volumes/volume-98-\(2020\)/issue-1/nothing-is-lost-nothing-is-created-everything-is/](https://www.istructe.org/journal/volumes/volume-98-(2020)/issue-1/nothing-is-lost-nothing-is-created-everything-is/)
- Gervasio, H., & Dimova, S. (2018). *Environmental benchmarks for buildings*. European Commission. <https://doi.org/10.2760/073513>
- Projekt 'Zwischenraum - Raum für Nachbarschaft', Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge - ISDEC2030 Hahn, M., Bauernfeind, M., Kroboth, T. __ (2022).
- Honic, M., Kovacic, I., Aschenbrenner, P., & Ragossnig, A. (2021). Material Passports for the end-of-life stage of buildings: Challenges and potentials. *Journal of Cleaner Production*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128702>
- IBO, Ö. I. für B. und Ö. (n.d.). *Rückbau und Recycling - klimaaktiv FactSheet*. Retrieved 21 November 2022, from <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/rueckbau-und-recycling>
- IEA. (2019). *Material efficiency in clean energy transitions*. <https://www.iea.org/reports/material-efficiency-in-clean-energy-transitions>
- IEA. (2022). *Buildings*. <https://www.iea.org/reports/buildings>
- IG LEBENSZYKLUS BAU. (2022). *Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen - Factsheets*. www.ig-lebenszyklus.at
- ISDEC2030. (2022). *Interdisciplinary Student Design & Engineering Challenge - ISDEC2030 - Ausschreibungsunterlagen*. Institut für Hoch- und Industriebau, FB Integrale Planung und Industriebau.
- Joensuu, T., Leino, R., Heinonen, J., & Saari, A. (2022). Developing Buildings' Life Cycle Assessment in Circular Economy-Comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components. *Sustainable Cities and Society*, 77. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499>
- John, V., & Stark, T. (2021). Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten (RE-USE): Potenzial zur systematischen Wieder- und Weiterverwendung von Baukomponenten im regionalen Kontext und Realisierung eines Pilotprojektes. In *BBSR Online Publikation (Issue 027/2021)*.
- Kellenberger, D., & Althaus, H. J. (2009). Relevance of simplifications in LCA of building components. *Building and Environment*, 44(4), 818–825. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.002>
- König, H. (2017). *Projekt: Lebenszyklusanalyse von Wohngebäuden -Lebenszyklusanalyse mit Berechnung der Ökobilanz und Lebenszykluskosten - Endbericht*.
- Kovacic, I., Honic, M., Rechberger, H., Oberwinter, L., Lengauer, K., Hagenauer, A., Glöggler, J., & Meier, K. (2019). *Prozess-Design für den 'Building Information Modeling' (BIM) basierten, materiellen Gebäudepass*. <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
- Magistrat der Stadt Wien. (2019). *Smart City Wien Rahmenstrategie - 2019-2050 - Die Wiener Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*. <https://smartcity.wien.gv.at/site/>
- Malabi Eberhardt, L. C., van Stijn, A., Nygaard Rasmussen, F., Birkved, M., & Birgisdottir, H. (2020). Development of a Life Cycle Assessment Allocation Approach for Circular Economy in the Built Environment. *Sustainability*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/su12229579>
- Mielecke, C., Mielecke, T., & Lützkendorf, T. (2017). *Forschungsinitiative 'Zukunft Bau'-Wissenschaftliche Begleitung der Arbeitsgruppe 'Modul D' des Runden Tisches Nachhaltiges Bauen - Endbericht*.
- Ministry of the Environment. (2019). *Method for the whole life carbon assessment of buildings*. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-361-030-9>
- Obernosterer, R., Winkler, L., Lepuschitz, B., Weigert, M., Daxbeck, H., Goger, G., Hörzinger, N., & Kisliakova, N. (2021). *Die CO2 neutrale Baustelle*. <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
- OI3 Berechnungsleitfaden V5.0. (2022). *LEITFADEN ZUR BERECHNUNG des Oekoindex OI3 und des Treibhauspotentials für Bauteile und Gebäude*. IBO - Österreichisches Institut für Bauen

- und Ökologie GmbH.
<https://www.ibo.at/materialoekologie/lebenszyklusanalysen/oekoindex-oi3>
- Rosen, A. (2020). *Urban Mining Index - Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung*. Universität Wuppertal.
- Saghafi, M. D., & Hosseini Teshnizi, Z. S. (2011). Recycling value of building materials in building assessment systems. *Energy and Buildings*, 43(11), 3181–3188. <https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2011.08.016>
- Salem, E. (2020). *Wiederverwendung von Bauteilen im Bauwesen - eine technisch wirtschaftliche Analyse*. Universität für Bodenkultur Wien.
- Stricker, E., Brandi, G., Sonderegger, A., Angst, M., Buser, B., Massmünster, M., & Keßler, N. (2021). *Bauteile wiederverwenden : ein Kompendium zum zirkulären Bauen*. Park Books.
- Thelen, D., van Acoleyen, M., Huurman, W., Thomaes, T., van Brunschot, C., Edgerton, B., & Kubbinga, B. (2018). *Scaling The Circular Built Environment*.
- Thormark, C. (2000). Environmental analysis of a building with reused building materials. *International Journal of Low Energy & Sustainable Building*, 1. <https://www.researchgate.net/publication/276918260>
- UNEP. (2020). 2020 global status report for buildings and construction - executive summary. In *Global Alliance for Buildings and Construction*.
- van Stijn, A., Malabi Eberhardt, L. C., Wouterszoon Jansen, B., & Meijer, A. (2021). A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) model for building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105683. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105683>
- WEF. (2016). *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology Prepared*.
- Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M. S., Eskicioglu, C., & Sadiq, R. (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: A lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15(1), 81–91. <https://doi.org/10.1007/S10098-012-0481-6/TABLES/2>

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1: 3-D Rendering - Quelle: (Projekt 'Zwischenraum - Raum für Nachbarschaft', 2022).....	18
Abb. 1.2: Schnitte und Ansicht Quelle: (Projekt 'Zwischenraum - Raum für Nachbarschaft', 2022)	19
Abb. 2.1: Vorgehensweise Fallstudie - Studiendesign.....	22
Abb. 3.1: EPD-basierter Datensatz der ÖKOBAUDAT für Beton gem. EN 15804:A1 am Beispiel der Umweltindikatoren PERE und PERM.....	27
Abb. 3.2: baubook Datensatz für Beton.....	28
Abb. 3.3: Ansätze aus einer aktuellen Forschungsarbeit (Joensuu et al., 2022)	30
Abb. 3.4: Übersicht über unterschiedliche Allokationsmethoden aus (De Wolf et al., 2020).....	31
Abb. 3.5: Kosten neu und wiederverwendet - Projekt Kopfbauhalle K.118 (Stricker et al., 2021)...	32
Abb. 3.6: Kostenzusammensetzung je Bauteil Projekt Kopfbauhalle K.118 (Stricker et al., 2021) .	34
Abb. 4.1: räumliche Bilanzgrenzen – blaue Schraffur: berücksichtigt, orange Schraffur: nicht berücksichtigt.....	37
Abb. 4.2: Phasen des Lebenszyklus und Module für die Beschreibung und Beurteilung des Gebäudes gemäß EN 15978:2011 – roter Rahmen: für OI3, blauer Rahmen: gesondert bewertet	38
Abb. 4.3: Graphische Darstellung der OI3 Ermittlung	42
Abb. 4.4: Graphische Darstellung der Kostenermittlung	48
Abb. 4.5: Grundriss Regelgeschoss, Quelle: Studentengruppe ISDEC2030 – konditionierte (blau) und unkonditionierte (grün) Bereiche der BGF.....	50
Abb. 4.6: Detailschnitt mit Angabe diverser Aufbauten, Quelle: Studentengruppe ISDEC2030	51
Abb. 6.1: Tabellarische Aufstellung des OI3 Index je Bauteil des UC1	58
Abb. 6.2: Tabellarische Aufstellung des OI3 Index je Bauteil des UC2.....	61
Abb. 8.1: OI3 _{BG3+,BZF,LZ} Gebäudeebene.....	74
Abb. 8.2: OI3 Index der Bilanzgrenze BG3+ unter Berücksichtigung der Phasen A1-A3 & B4 (ohne C1-C4).....	75
Abb. 8.3: Auszug OI3 Klassen für den OI3 _{BG3,BZF} aus (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022).....	76
Abb. 8.4: Vergleich der Ökoindikatoren in UC1 ReUse und UC2 konventionell	77
Abb. 8.5: Ausschnitt aus (OI3 Berechnungsleitfaden V5.0, 2022) zur Berechnung des OI3 _{BG3,BZF,ND}	89
Abb. 8.6: Ergebnis der Berechnung des OI3 _{BG3+,BZF,ND} für Bauteil 4 – CLT Decke.....	89

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Gegenüberstellung der Umweltwirkungen des Bauwesens in % an der Gesamtwirkung der jeweiligen Kategorie aus unterschiedlichen Quellen	10
Tabelle 3.1: Indikatoren für die Umweltwirkung	24
Tabelle 3.2: Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes	24
Tabelle 3.3: Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes und der Output-Ströme	25
Tabelle 3.4: Gegenüberstellung ÖKOBAUDAT und baubook.....	27
Tabelle 6.1: Gesamtergebnisse Use Case 1 - Überblick.....	56
Tabelle 6.2: Bauteilliste kompakt – Aufmaß und Massen bei Errichtung	57
Tabelle 6.3: Ergebnisse der Ökobilanzierung von UC1 (ReUse) (BG3+) über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren nach Phasen – Gesamt, pro m ² NGFa und pro m ² BGF	58
Tabelle 6.4: Gesamtergebnisse Use Case 2 – Überblick.....	60
Tabelle 6.5: Bauteilvarianten für Use Case 2 (konventionell).....	61
Tabelle 6.6: Ergebnisse der Ökobilanzierung von Use Case 2 (konventionell) (BG3+) über einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren nach Phasen – Gesamt, pro m ² NGFa und pro m ² BGF	62
Tabelle 7.1: Kostenauswertung Doppelboden in Anlehnung an das Factsheet Kosten und Werte in der Kreislaufwirtschaft (IG LEBENSZYKLUS BAU, 2022)	65
Tabelle 7.2: Kostenauswertung Fenster „Gesamt“ in Anlehnung an eine zur Verfügung gestellte Berechnung von Romm ZT	66
Tabelle 7.3: Darstellung der Einsparung für ReUse Fenster mit Demontage des Blendrahmens	67
Tabelle 7.4: Kostenauswertung Fenster „nur Flügel“ in Anlehnung an eine zur Verfügung gestellte Berechnung von Romm ZT	68
Tabelle 7.5: Darstellung der Einsparung für ReUse Fenster ohne Demontage des Blendrahmens... ..	68
Tabelle 7.6: Kostenauswertung Fenster „Gesamt mit Glastausch“ in Anlehnung an eine zur Verfügung gestellte Berechnung von Romm ZT	69
Tabelle 7.7: Darstellung der Einsparung für Reuse Fenster „Gesamt mit Glastausch“.....	69
Tabelle 7.8: Kostenauswertung Rotorblattstütze für Use Case 1 (ReUse) - Best Case (negativer Kaufpreis), Middle Case (Schenkung) und Worst Case (positiver Kaufpreis)	70
Tabelle 7.9: Kostenauswertung Stahlbetonstütze für Use Case 2 (konventionell)	71
Tabelle 7.10: Darstellung der Einsparung für Rotorblattstütze	71
Tabelle 7.11: Kostenauswertung windbrechende Fassade.....	72
Tabelle 7.12: Darstellung der Einsparung für die windbrechende Fassade.....	72
Tabelle 8.1: Gesamtgegenüberstellung OI3 und Kosten.....	74
Tabelle 8.2: Prozentuelle und absolute Verbesserung des OI3 – UC1 ReUse gegenüber UC2 konventionell.....	75
Tabelle 8.3: Prozentuelle und absolute Verbesserung – Ökoindikatoren UC1 ReUse ggü. UC2 konventionell.....	77
Tabelle 8.4: Bauteil 7 – Doppelboden, Vergleich ReUse – konventionell.....	78
Tabelle 8.5: Bauteil 25 – windbrechende Glasfassade, Vergleich ReUse – konventionell.....	79
Tabelle 8.6: Bauteil Stütze 1 – Außenstütze, Vergleich ReUse – konventionell.....	79
Tabelle 8.7: Bauteil Träger 1 – Stahl-Beton-Verbund Träger, Vergleich ReUse – konventionell	80
Tabelle 8.8: Bauteil 1-3 Fenster, Vergleich ReUse – konventionell	80
Tabelle 8.9: Modul A4 im Use Case 2 (konventionell).....	82
Tabelle 8.10: Modul D im Use Case 1 (ReUse).....	84
Tabelle 8.11: Modul D im Use Case 2 (konventionell).....	85
Tabelle 8.12: mögliche Einsparung in den Kostenbereichen 2 und 4 ohne Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung.....	86
Tabelle 8.13: mögliche Einsparungen in den Kostenbereichen 2 und 4 mit Berücksichtigung der Minderkosten für Abbruch und Entsorgung ²⁷	86
Tabelle 8.14: Beispiel 3- und 5-Schicht Massivholzplatte – Datensatz ÖKOBAUDAT gemäß EN 15804:A1	88
Tabelle 8.15: Beispiel 3- und 5-Schicht Massivholzplatte – Datensatz ÖKOBAUDAT gemäß EN 15804:A2	88

Anhang A – Bauteilliste

Bauteil Nr.	Produkt It. Projekt (wenn angegeben)	Fläche (gerundet 10m ²)	Aufbau Allgemein	Materialstärke/Dicke [EH]	Anmerkung	
horizontal flächig						
Bauteil 1	Fundamentplatte Keller	-	1.870 m ²	Material	[cm]	
				Sauberkeitsschicht	20,00	Annahme
				Stahlbeton C25/30	300,00	Fläche & Stärke lt. ARCHICAD Modell
				Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m ³)	300,00	
Bauteil 2	Kellerdecke inkl Rampen	-	3.420 m ²	Material	[cm]	
				Beschichtung	-	Fläche = Deckenfläche je Geschoss * 1,05 (Faktor für Rampen und sonstiges)
				Stahlbeton C25/30	20,00	Stärke lt. Modell
				Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m ³)	20,00	
Bauteil 3	Oberste Kellerdecke	-	1.880 m ²	Material	[cm]	
				Aufbau (z.B. ext. Gründach)	-	Aufbau wird gem. BG nicht berücksichtigt (Außenanlagen)
				Stahlbeton C25/30	20,00	Fläche & Stärke lt. ARCHICAD Modell
				Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m ³)	20,00	
Bauteil 4	CLT Decke roh	Schneiderholz - best wood CLT BOX FS	30.810 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				CLT Platte	6,00	Fläche lt. ARCHICAD Modell, Stärke lt. Details (PDF Plakat)
				Luft/Dämmmaterial/CLT (40%/40%/20%)	26,00	Hohlraum zur Hälfte gefüllt
				CLT Platte	6,00	
Bauteil 5	Hohldielecke roh	Oberndorfer VSD	21.180 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Aufbeton	8,00	
				Bewehrungsanteil (1% ± 80 kg/m ³)	8,00	
				Hohldiele VSD-4-32/B,C (C 50/60)	32,00	Hohldiele vorgespannt
				Hohlraumanteil (45%)	32,00	
				Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m ³)	32,00	
Bauteil 6	Decke Kern STB roh (massiv)	-	4.550 m ²	Material	[cm]	
				Stahlbeton C25/30	40,00	Stärke lt. ARCHICAD Modell
				Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m ³)	40,00	
Bauteil 7	FB-Aufb. innen Systemboden o. Belag	Lindner Nortec	44.000 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Systemboden Platten (Doppelboden) ReUse	16,50	als ReUse Produkt - z.B. Produkt Lindner Loop
				Systemboden Schraubstützen	16,50	Anteil Platten 97,3%, Anteil Stützen 2,7%
				Estrich	5,00	Annahme
				Trennlage PE (0,2mm)	0,02	Annahme
				Trittschalldämmung (Mineralwolle)	2,50	Annahme
Bauteil 8	Fußbodenaufbau inkl. Plattenbelag (Balkon)	-	3.320 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Plattenbelag	2,50	je "Paket" eine Ebene mit Balkon (Annahme)
				Unterkonstruktion (Kunststoffstelzen)	21,00	keine detaillierte Planungsangabe - Annahme Kunststoffstelzen
				Abdichtung (Kunststoff)	0,15	
Bauteil 9	Fußbodenaufbau Flankendämmung inkl. Plattenbelag ("Freifläche")	-	3.190 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Plattenbelag	2,50	
				Unterkonstruktion (Kunststoffstelzen)	6,00	keine detaillierte Planungsangabe - Annahme Kunststoffstelzen
				Abdichtung (Kunststoff)	0,15	
				Flankendämmung (Druckbelastbar)	10,00	
				Gefällebeton 2% (2-7 cm) i.M.	4,50	
				Aufbeton (s. Bauteil 5)	-	
				Hohldiele (s. Bauteil 5)	-	
				Flankendämmung	10,00	
				Putz	0,50	
Bauteil 10	Fußbodenaufbau inkl. Plattenbelag ("Freifläche")	-	4.160 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Plattenbelag	2,50	
				Unterkonstruktion (Kunststoffstelzen)	17,00	keine detaillierte Planungsangabe - Annahme Kunststoffstelzen
				Abdichtung (Kunststoff)	0,15	
				Gefällebeton i.M.	4,50	
				Aufbeton (s. Bauteil 5)	-	
				Hohldiele (s. Bauteil 5)	-	
				Putz	0,50	
Bauteil 11	Belag Teppich	Tarkett - Desso	18.700 m ²	Material	[cm]	
				Teppich selbstliegend (ggf. Haftmittel)	1,00	Annahme: 42,5% der Bodenfläche sind Teppich
Bauteil 12	Belag Fliese	-	6.600 m ²	Material	[cm]	
				Fliese im Dünnbett	1,00	Annahme: 15% der Bodenfläche sind Fliesen
				Kleber/Mörtel	0,30	
Bauteil 13	Resilient Floor Tiles	MOGU floor tiles	18.700 m ²	Material	[cm]	
				Resilient Floor Covering (PUR) (ggf. Kleber bzw. Haftmittel)	0,80	Annahme 42,5% der Bodenfläche sind Resilient Floor Covering

Bauteil Nr.	Produkt It. Projekt (wenn angegeben)	Fläche (gerundet 10m ²)	Aufbau Allgemein	Materialstärke/Dicke [EH]	Anmerkung
Bauteil 14	Belag Parkett (n.b.)	6.600 m ²	Material Parkett, schwimmend verlegt	[cm] 1,00	Parkett als Bodenbelag nicht berücksichtigt
Bauteil 15	Unterdecke (abgeh. Decke)	16.510 m ²	Material UK CW Profile Dämmstoff (Schallschutz) Trockenbau Platte	[cm] 2,70 5,00 1,25	keine Angaben zu Aufbau und Materialien in Modell Annahme GKB Platte Annahme Mineralwolle Dämmung
Bauteil 16	Dachaufbau begehbar inkl. Plattenbelag	1.010 m ²	Material Plattenbelag Unterkonstruktion (Kunststoffstelzen) Filtervlies Dränage Abdichtung Gefälledämmung i.M Abdichtung/ Dampfsperre Aufbeton (siehe BT 5) Hohldiele (siehe BT 5) Unterdecke (siehe BT 15)	[cm] 2,50 6,00 0,50 3,00 0,50 20,00 1,50 - - -	keine Angabe zum Dachaufbau im Modell (Planung) keine detaillierte Planungsangabe - Annahme Kunststoffstelzen konstr. Annahme, bauphysikalisch nicht überprüft
Bauteil 17	Dachaufbau ext. Gründach	1.010 m ²	Material Substrat Filtervlies Dränage Abdichtung Gefälledämmung i.M Abdichtung/ Dampfsperre Aufbeton (siehe BT 5) Hohldiele (siehe BT 5) Unterdecke (siehe BT 15)	[cm] 8,50 0,50 3,00 0,50 20,00 1,50 - - -	Wurzelfest konstr. Annahme, bauphysikalisch nicht überprüft
Bauteil 18	Unterdecken dämmung unterste Geschoßdec	1.230 m ²	Material Oberputz Armierungsputz Mineralwolle	[cm] 0,30 0,50 20,00	
vertikal flächig					
Bauteil 19	Außenwand Holz	Naturl 10.380 m ²	Material Stäbe Fichte/Luft (6,5%) a Zellulosefaser Dämmung Stäbe Fichte/(Lärche)/Luft (6,8%) i	inhomogen [cm] 14,00 14,00 20,00	
Bauteil 20	Innenwand Lehm	- 12.090 m ²	Material Lehm- und Gipsplatte Holz UK (6*6 cm) (10%) Mineralwolle Dämmung (6*56,5 cm) (90%) Lehm- und Gipsplatte	inhomogen [cm] 2,00 6,00 6,00 2,00	2x2 cm a = 62,5 cm (Ständerabstand)
	Innenwand	ISTRAW 12.090 m ²	Material 2x Strohbauplatte Istraw 2x Spachtel	[cm] 11,60 1,00	alternative siehe Bauteil 20 2*5,8 cm 2*0,5 cm
Bauteil 21	Schichtwand	- 1.250 m ²	Material 2x Trockenbau GKB-F UK (CW Profil)	[cm] 2,50 7,50	GKB-F
Bauteil 22	Kern Stahlbeton	- 12.000 m ²	Material Stahlbeton C25/30 Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m ³)	[cm] 15,00 15,00	
	Kern Ytong	YTONG m ²	Material Leichtbetonstein		Kern standarmäßig in Stahlbeton gewählt (siehe BT 22)
Bauteil 23	Keller Außenwand (STB)	- 1.970 m ²	Material Stahlbeton C25/30 Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m ³)	[cm] 40,00 40,00	Fläche & Stärke lt. Modell, Annahme: Weiße Wanne

Bauteil Nr.	Produkt It. Projekt (wenn angegeben)	Fläche (gerundet 10m²)	Aufbau Allgemein	Materialstärke/Dicke [EH]	Anmerkung
Sonderelemente					
Bauteil 24	Stiegenlauf Kern	-	1.250 m²	Material Stahlbeton C25/30 Bewehrungsanteil (1% ± 80 kg/m³)	[cm] 20,00 20,00
Bauteil 25	Glasfassade	Telefonzelle	27.350 m²	Material Glas - Anteil ESG (ReUse) (85%) Glas - Anteil VSG (15%) Pfosten-Riegel-Konstruktion, Stahl	inhomogen [cm] 0,80 0,80 0,10 Glas ReUsed z.B. Telefonzelle - Abmessung ca. 0,8m*1,9m*0,8cm VSG untere 1,8 m, Rest ESG -> 15% zu 85% (Nötig aufgrund Sicherheitsvorschriften Absturzsicherung)
stabförmig Anzahl/Lfm					
Stütze 1	Rotorblatt	-	3.220 lfm	Material Glasfaser mix (Rotorblatt)	Querschnitt A [m²] keine Angaben ca. 50 alte Windräder (gleicher Bauart) benötigt l = 23 m
Stütze 2	Stütze Stahlbeton	-	1.590 lfm	Material Stahlbeton Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m³)	Querschnitt A [m²] 0,36 0,36 0,6*0,6
Stütze 3	Stütze Stahlbeton schräg	-	3.020 lfm	Material Stahlbeton Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m³)	Querschnitt A [m²] 0,48 0,48 0,6*0,8
Stütze 4	Bohrpfahl	-	2.150 lfm	Material Stahlbeton Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m³)	Querschnitt A [m²] 0,79 0,79 D = 1m
Stütze 5	Holzstütze	-	400 lfm	Material Bauholz	Querschnitt A [m²] 0,06 0,25*0,25
Träger 1	Stahlbeton-Verbund	-	4.180 lfm	Material Stahlbeton Bewehrungsanteil (1% ± 80 kg/m³) Baustahl	Querschnitt A [m²] 0,42 0,42 0,031 z.B. HEB 700 - ReUsed
Fenster/Türen					
Fenster 1	Fenster (1,35x2,15m)	-	1.352 Stk	Material 3-Scheiben-Verglasung Flügelrahmen Holz Blendrahmen Holz	Stärke [mm] 36,00 ReUsed ReUsed
Fenster 2	Balkontüre schmal (0,9 x 3 m)	-	1.534 Stk	Material 3-Scheiben-Verglasung Blendrahmen Holz	36,00 ReUsed ReUsed
Fenster 3	Balkontüre breit (1,35 x 3 m)	-	234 Stk	Material 3-Scheiben-Verglasung Flügelrahmen Holz Blendrahmen Holz	36,00 ReUsed ReUsed
Fenster 4	Pfosten Riegel Fassade (Terrasse)	-	1.620 m²	Material 3-Scheiben-Verglasung Pfosten-Riegel-Konstruktion, alu	[mm] 36,00 1,00 1 mm = "Faktor 1" für weitere Berechnung
Türe 1	Innentüre (0,9 x 2,1 m)	-	842 m²	Material Innentüre Holz	[cm] 4,00
Türe 2	Innentüre Brandschutz (1 x 2,1 m)	-	491 m²	Material Innentüre Stahl T90	[cm] 10,00

Bauteil Nr.	Produkt lt. Projekt		Fläche (gerundet 10m ²)	Aufbau Allgemein	Materialstärke/Dicke [EH]	Anmerkung
	(wenn angegeben)					

Szenariobauteile Use Case 2

Stütze 1 konventionell	Variante Stütze Stahlbeton	-	3.220 lfm	Material	Querschnitt A [m²]	
				Stahlbeton	0,36	0,6*0,6
				Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m ³)	0,36	
Bauteil 7 konventionell	Variante FB-Aufb.- Innen Systemb. o. Belag	Lindner Nortec	44.000 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Doppelboden Platten (neu)	3,00	z.B. Lindner Standard
				Systemboden Schraubstützen	21,00	
				Estrich	5,00	Annahme
				Trennlage PE (0,2mm)	0,02	Annahme
				Trittschalldämmung (Mineralwolle)	2,50	Annahme
Bauteil 25 konventionell	Variante Glasfassade	Telefon- zelle	27.350 m ²	Material	inhomogen [cm]	
				Glas - Anteil ESG (85%)	0,80	
				Glas - Anteil VSG (15%)	0,80	VSG untere 1,8 m, rest ESG -> 15% zu 85%
				Pfosten-Riegel-Konstruktion, Stahl	0,10	
Träger 1 konventionell	Variante Stahlbeton- Verbund	-	4.180 lfm	Material	Querschnitt A [m²]	
				Stahlbeton	0,42	
				Bewehrungsanteil (1% ± 80 kg/m ³)	0,42	
				Baustahl	0,031	z.B. HEB 700 - Neu
Fenster 1 konventionell	Variante Fenster (1,35x2,15m)	-	1.352 Stk	Material	Stärke [mm]	
				3-Scheiben-Verglasung	36,00	
				Flügelrahmen Holz		
				Blendrahmen Holz		
Fenster 2 konventionell	Variante Balkontüre schmal (0,9 x 3 m)	-	1.534 Stk	Material		
				3-Scheiben-Verglasung	36,00	
				Blendrahmen Holz		
Fenster 3 konventionell	Variante Balkontüre breit (1,35 x 3 m)	-	234 Stk	Material		
				3-Scheiben-Verglasung	36,00	
				Flügelrahmen Holz		
				Blendrahmen Holz		

Anhang B – Materialdatenliste

Materialbezeichnung lt Datenbank	Einheit [kg/m³]	MI/Funkt. Einh.						kg CO2 eq./Funkt.Einh.						kg SO2 eq./Funkt. Einh.					
		PENRT			GWP			GWP			AP			AP			AP		
		A1-A3	A4	A5	C1-C4	D	D	A1-A3	A4	A5	C1-C4	D	D	A1-A3	A4	A5	C1-C4	D	D
Doppelbodensystem Typ NORTEC	303	5,8400	0,4040	0,0022	0,2566	-0,4680	-	0,2520	0,0326	0,0041	0,2464	-0,0516	0,0006	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	-0,0001	-
Bewehrungsstahl "160 kg/m³"	160	8,7990	0,2416	-	0,0472	-	-	0,6834	0,0179	-	0,0035	-	0,0013	0,0000	-	0,0000	-	-	-
Bewehrungsstahl "120 kg/m³"	120	8,7990	0,2416	-	0,0472	-	-	0,6834	0,0179	-	0,0035	-	0,0013	0,0000	-	0,0000	-	-	-
Bewehrungsstahl "80 kg/m³"	80	8,7990	0,2416	-	0,0472	-	-	0,6834	0,0179	-	0,0035	-	0,0013	0,0000	-	0,0000	-	-	-
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	2400	0,3800	0,0220	0,0057	0,1182	-0,1163	-	0,0742	0,0016	0,0005	0,0088	-0,0089	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	2400	0,4163	0,0220	0,0057	0,1182	-0,1163	-	0,0821	0,0016	0,0005	0,0088	-0,0089	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60	2400	0,6292	0,0220	0,0057	0,1182	-0,1163	-	0,1250	0,0016	0,0005	0,0088	-0,0089	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000
Offene Walzprofile und Grobbleche	7850	11,4700	0,1728	-	0,0322	-3,9730	-	1,1250	0,0129	-	0,0018	-0,4134	0,0022	0,0000	-	0,0000	-	0,0000	-0,0008
binderholz Brettsperholz BBS	471	3,5200	0,3456	0,0034	0,0373	-12,9056	-	-1,3962	0,0258	0,0087	1,6281	-0,8747	0,0009	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0001	-0,0001
Trockenschüttung - Cemwood GmbH - Ausgleichschüttung	320	2,7750	0,3456	-	0,0658	-	-	-0,2963	0,0258	-	0,0049	-	0,0007	0,0001	-	0,0000	-	0,0000	-
Keramische Fliesen und Platten "2022"	2396	8,5698	0,2460	0,0036	0,0812	-0,0294	-	0,5270	0,0180	0,0130	0,0045	-0,0022	0,0004	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000
Fliesenkleber	1500	1,5170	-	0,0021	0,2857	-0,0420	-	0,3470	-	0,0088	0,0199	-0,0029	0,0003	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000
Sarnafil AT "1,5"	1100	30,1358	0,3423	2,4782	0,5480	-32,1839	-	1,0065	0,0254	0,1387	0,0773	-0,7636	0,0032	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	-0,0012	-0,0012
Sarnafil TG "2,0"	1000	60,0000	0,5900	4,9400	0,9500	-56,0000	-	1,5450	0,0441	0,2235	0,1339	-1,3250	0,0037	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	-0,0021	-0,0021
Resilient floor coverings - Parador GmbH	1038	13,6145	0,5759	-	0,4681	-7,2410	-	-0,5277	0,0423	-	1,4389	-0,4133	0,0022	0,0001	-	0,0005	-0,0007	-0,0007	-0,0007
Tufted modular carpet tiles with CQuest Bio backing and a pile material of PA 6 with 100% recycled content	517	19,3680	0,8100	0,6305	0,8060	-0,8087	-	1,0141	0,0593	0,1116	1,3199	-0,0469	0,0038	0,0003	0,0001	0,0009	0,0001	-0,0001	-0,0001
Lehmplatte	700	2,3243	0,1754	0,3919	0,0977	-0,0202	-	0,0038	0,0130	0,0270	0,0059	-0,0015	0,0004	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	-0,0000	-0,0000
Gipskartonplatte (Feuerschutz)(Dicke 0,0125 m)	800	3,3500	0,1754	0,3919	0,2619	-	-	0,1541	0,0130	0,0270	0,0470	-	0,0003	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	-	-
Knauf GfB Gipskartonplatten GKB Bauplatte und GKB1 Bauplatte imprägniert 12,5 mm; 8,5 kg / m²	680	3,0729	0,1607	0,3846	0,3119	-	-	0,1258	0,0120	0,0262	0,0890	-	0,0003	0,0000	0,0001	0,0001	0,0001	-	-
Mineralfolle-Dämmstoff im niedrigen Rohdichtebereich	24	23,2750	0,2898	0,5046	0,2393	-	-	1,3992	0,0213	0,1903	0,0658	-	0,0076	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	-	-
Mineralfolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	100	16,0300	0,2898	0,3606	0,2394	-	-	1,1740	0,0213	0,1843	0,0245	-	0,0070	0,0000	0,0002	0,0001	0,0001	-	-
EPS-Hartschaum	20	88,0000	0,1208	0,0080	0,5318	-23,9000	-	2,8850	0,0090	0,0194	3,3580	-1,3600	0,0034	0,0000	0,0000	0,0000	0,0003	-0,0013	-0,0013
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Produkt/Material Datensatz erweitert

Materialbezeichnung lt Datenbank	Einheit	[kg/m ³]	[Jahre]	Referenz- einheit	Quelle	Dataset	[kg/m ²]	[m]	EPD	Anmerkung
Dichte	IBO LD						Fl. gew.	Dicke		
Doppelbodensystem Typ NORTEC	303	50	kg*	ökobaudat	specific	50	0,165		EPD-LIN-20210022-IBA1-DE	
Bewehrungsstahl "160 kg/m ³ "	160	100	kg	ökobaudat	generic					
Bewehrungsstahl "120 kg/m ³ "	120	100	kg	ökobaudat	generic					
Bewehrungsstahl "80 kg/m ³ "	80	100	kg	ökobaudat	generic					
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	2400	100	kg*	ökobaudat	average					Entfernung entspricht ca. 20 km mit LKW
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	2400	100	kg*	ökobaudat	average					
Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60	2400	100	kg*	ökobaudat	average					ggf. Fehler in EPD -> Entfernung für A4 angepasst
Offene Walzprofile und Grobbleche	7850	100	kg	ökobaudat	average				EPD-BFS-20180116-IBG2-DE	
binderholz Brettspertholz BBS	471	100	kg*	ökobaudat	average				EPD-BBS-20190021-IBB1-DE	
Trockenschüttung - Cernwood GmbH - Ausgleichschüttung	320	50	kg*	ökobaudat	specific				EPD-AGS-31.0	
Keramische Fliesen und Platten "2022"	2396	50	kg*	EPD	average	17,97	0,0075		EPD-BKF-20220183-ICG1-DE	EPD von ift Rosenheim keine Angabe zu Dicke -> Annahme 7,5mm
Fliesenkleber	1500	50	kg*	ökobaudat	generic					
Sarnafil AT "1,5"	1100	25	kg*	ökobaudat	specific	1,65	0,0015		EPD-SIK-20200030-IBA1-DE	Szenario 1, ungerechnet mit Formel lt. EPD
Sarnafil TG "2,0"	1000	25	kg*	ökobaudat	specific	2,00	0,002		EPD-SIK-20190169-IBA1-DE	Szenario 1
Resilient floor coverings - Parador GmbH	1038	25	kg*	EPD	average	8,30	0,008		EPD-PAR-20180164-IBC1-EN	Eco Balance PUR
Tufted modular carpet tiles with CQuest Bio backing and a pile material of PA 6 with 100% recycled content	517	10	kg*	ökobaudat	average	5,38	0,0104		EPD-INT-20200181-CCC1-EN	Szenario 2 (thermische Verwertung); Schichtdicke weicht geringfügig von ÖKOBAUDAT ab
Lehmbauplatte	700	50	kg*	ökobaudat	generic	14	0,0200			
Gipskartonplatte (Feuerschutz)(Dicke 0,0125 m)	800	50	kg*	ökobaudat	generic	10	0,0125			keine Daten zu A4, A5, D -> ø aus spez. Datens.
Knauf GbA Gipskartonplatten GKB Bauplatte und GKB1 Bauplatte imprägniert 12,5 mm; 8,5 kg / m ²	680	50	kg*	ökobaudat	specific	8,5	0,0125		BAU EPD-KNAUF-2019-1-Gipskartonplatten-GaBi	ggf. Fehler bei A4
Mineralwolle-Dämmstoff im niedrigen Rohdichtebereich	24	50	kg*	ökobaudat	average				EPD-FMI-20210020-IBG1-DE	
Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	100	50	kg*	ökobaudat	average				EPD-FMI-20210019-IBG1-DE	
EPS-Hartschaum	20	50	kg*	EPD	average				EPD-IVH-20220230-CBG1-DE	
	2	22	24	25	26	27	28	29		

* funktionelle Einheit angepasst

Produkt/Material Datensatz erweitert

Materialbezeichnung lt Datenbank	Einheit [kg/m ³]	[Jahre]	Referenz- einheit	Quelle	Dataset	Fl. gew. Dicke	[m]	EPD	Anmerkung
	Dichte	IBO LD							
Bitumenbahnen V 60 (Dicke 0,005 m)	1000	35	kg*	ökobaudat	generic	5	0,005		
Vegetationssubstrat	1400	50	kg	ökobaudat	generic				
PE/PP Vlies	250	25	kg*	ökobaudat	generic	0,5	0,002		
Spplitt 2/15	1800	50	kg	ökobaudat	generic				
Putzmörtel-Armierungsputz	1600	35	kg	ökobaudat	average			EPD-IWM-20190156-IBG1-DE	Modul D sind Gutschr. aus A5 - daher vernachlässigt
Putzmörtel-Normalputz/Edelputz	1800	35	kg	ökobaudat	average			EPD-IWM-20190153-IBG1-DE	
Nadeschnittholz getrocknet (Durchschnitt DE)	485	50	kg*	ökobaudat	generic				Standardszenario energetische Verwertung; ohne A5
Loose Zellulosedämmung	60	50	kg	ökobaudat	average				Referenzdichte "Wolflinger Zellulosedämmung"
MAXI-TEC® CW- und UW-Profile "Decke"	65,63	50	kg*	ökobaudat	average	0,706			0,706 ist kg/m
MAXI-TEC® CW- und UW-Profile "VSS"	20,60	50	kg*	ökobaudat	average	0,706			0,706 ist kg/m
Zementestrich	2400	50	kg	ökobaudat	generic				
Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	1000	25	kg*	ökobaudat	generic	0,2	0,0002		
Holz Blendrahmen	2,11	35	m	ökobaudat	generic	2,11			2,11 ist kg/m
Holz Flügelrahmen	2,11	35	m	ökobaudat	generic	2,11			2,11 ist kg/m
Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	0,833	35	m ² xmm*	ökobaudat	generic	30	0,036		3 Scheiben (Floatglas) je 4mm und 16mm Abstand, Skaliert auf 1 mm
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Einscheibensicherheitsglas	2,5	50	m ² xmm*	ökobaudat	template	15	0,006		Skaliert auf 1 mm
Glas - Bundesverband Flachglas e.V. - Verbundsicherheitsglas	2,55	50	m ² xmm*	ökobaudat	template	15,3	0,006		Skaliert auf 1 mm
Tür - Hörmann KG Freisen - Stahl-Objektür T90; 60,04 kg/m ²	600	50	kg*	ökobaudat	specific	60,04	0,1	EPD-MT-0.1.2	
Spanplatte, melaminbeschichtet	638,98	50	kg*	ökobaudat	average				
Kunststoffteil aus laminiertem Polyestherharz (GFK, 30% Glasfaseranteil) "Glasfasermix Rotorblatt"	226,09	20	kg	ökobaudat	generic		0,04	EPD-VHI-20200163-IBH2-DE	
Stahlprofil	19,63	50	m*	ökobaudat	generic				
EPDM-Dichtungen für Aluminiumprofil	0,18	35	m	ökobaudat	generic				
Aluminiumprofil beschichtet	1,31	35	m*	ökobaudat	average			EPD-GDA-20190070-IBH1-DE	
LKW "20-26t zGG, 85%"			tkm	ökobaudat	generic				Achtung Datensatzgültigkeit 2022
LKW-Zug "34-40t zGG, 85%"			tkm	ökobaudat	generic				
Produkt/Material Datensatz erweitert	2	2,2	24	25	26	27	28	29	

*funktionelle Einheit angepasst

Anhang C – Bauteil Berechnungen OI3

Bauteil 1 Fundamentplatte Keller		Eingabe		Eingabe Optional			
Bauteilaufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		0 = neu			
A	Bauteilaufbau Modell	Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht [a]	Referenz-Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f _{RU}	Dicke der Schicht [m]
1	Sauberkeitsschicht	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20	0	100	100	1,00	0,2
2	Stahlbeton C25/30	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25	0	100	100	1,00	3
3	Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m ³)	Bewehrungsstahl "160 kg/m ³ "	0	100	100	1,00	3
4		-	0	0	0	1,00	0
5		-	0	0	0	1,00	0
6		-	0	0	0	1,00	0
7		-	0	0	0	1,00	0
8		-	0	0	0	1,00	0
9		-	0	0	0	1,00	0
10		-	0	0	0	1,00	0
I	Dicke des Bauteils	Dicke des Bauteils			Dicke des Bauteils		3,2

Für heterogene BT		OI3		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung					
Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Anteil [%]	flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m ²]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Errt} [GJ]	A1-A3	GWP(total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	AP	A1-A3
480,0	100,0%	480,00	18,97	897.600,00	897.600,00	341,09	341,09	66,57	66,57	97,61	97,61	97,61	97,61
7200,0	100,0%	7200,00	313,20	13.464.000,00	13.464.000,00	5.604,39	5.604,39	1.105,17	1.105,17	1.610,07	1.610,07	1.610,07	1.610,07
480,0	100,0%	480,00	277,50	897.600,00	897.600,00	7.897,98	7.897,98	613,42	613,42	1.150,72	1.150,72	1.150,72	1.150,72
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			609,68	15.259.200,00	15.259.200,00	13.843,46	13.843,46	1.785,16	1.785,16	2.858,41	2.858,41	2.858,41	2.858,41

		B4		C1-C4*		GWP _{663,I,Z} [t CO2 eq.]		B4		A1-A3		AP _{663,I,Z} [kg SO2 eq.]		B4		C1-C4*	
B _{663,I,Z} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{663,I,Z} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	A1-A3	AP _{663,I,Z} [kg SO2 eq.]	B4	A1-A3	AP	A1-A3	B4	C1-C4*			
447,15	341,09	-	106,07	74,47	66,57	7,90	66,57	125,07	7,90	97,61	97,61	97,61	97,61	27,45			
7195,39	5604,39	-	1591,00	1223,60	1105,17	118,43	1105,17	2021,84	118,43	1610,07	1610,07	1610,07	1610,07	411,77			
7940,31	7897,98	-	42,33	616,56	613,42	3,15	613,42	1152,45	3,15	1150,72	1150,72	1150,72	1150,72	1,73			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
15.582,85	13.843,46	-	1.739,39	1.914,63	1.785,16	129,47	1.785,16	3.299,36	129,47	2.858,41	2.858,41	2.858,41	2.858,41	440,96			

nach 100 Jahren

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteil 3 Oberste Kellerdecke

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]	
								100:0
1	Aufbau (z.B. ext. Gründach)	-	0	0	0	1,00	0	
2	Stahlbeton C25/30	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	0	100	100	1,00	0,2	
3	Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m³)	Bewehrungsstahl "120 kg/m³"	0	100	100	1,00	0,2	
4	-	-	0	0	0	1,00	0	
5	-	-	0	0	0	1,00	0	
6	-	-	0	0	0	1,00	0	
7	-	-	0	0	0	1,00	0	
8	-	-	0	0	0	1,00	0	
9	-	-	0	0	0	1,00	0	
10	-	-	0	0	0	1,00	0	
I	Dicke des Bauteils							0,2

0 = neu

Für heterogene BT		bei Errichtung			nach 100 Jahren			bei Errichtung			
Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	GWP [t CO2 eq.]	flächensbez. Masse (inhomogen) [kg/m²]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	A1-A3	GWP(total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
480,0	100,0%	480,00	480,00	20,88	902.400,00	902.400,00	375,62	375,62	74,07	74,07	107,91
24,0	100,0%	24,00	24,00	13,88	45.120,00	45.120,00	397,01	397,01	30,84	30,84	57,84
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
34,76	-	34,76	34,76	-	947.520,00	947.520,00	772,63	772,63	104,91	104,91	165,76

RT _{BG3,IZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,BG3,IZ} [t CO2 eq.]	nach 100 Jahren			OI3 (EoL)			OI3 (Austausch)							
					A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BG3,IZ} [kg SO2 eq.]	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP				
482,26	375,62	-	106,63	82,01	74,07	7,94	135,51	107,91	27,60	0,82	0,70	0,93	0,82	0,64	0,63	0,74	0,67	
399,14	397,01	-	2,13	30,99	30,84	0,16	57,93	57,84	0,09	0,68	0,27	0,40	0,45	0,68	0,26	0,40	0,45	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
881,40	772,63	-	108,76	113,00	104,91	8,10	193,44	165,76	27,69	1,51	0,97	1,32	1,27	1,32	0,90	1,13	1,12	

Bauteil 4 CLT Decke roh

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteil laufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]
100=0								
0 = neu								
A	1 CLT Platte	binderholz Brettsperrholz BBS	0	100	100	1,00	0,06	
	2 Luft/Dämmmaterial/CLT (40%/40%/20%)	binderholz Brettsperrholz BBS	0	100	100	1,00	0,26	
	3 Luft/Dämmmaterial/CLT (40%/40%/20%)	Trockenschüttung - Cemwood GmbH - Ausgleichs	0	50	100	1,00	0,26	
	4 CLT Platte	binderholz Brettsperrholz BBS	0	100	100	1,00	0,06	
	5	-	0	0	0	1,00	0	
	6	-	0	0	0	1,00	0	
	7	-	0	0	0	1,00	0	
	8	-	0	0	0	1,00	0	
	9	-	0	0	0	1,00	0	
	10	-	0	0	0	1,00	0	
I	Dicke des Bauteils				Dicke des Bauteils		0,38	

Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung	
Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	Flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m²]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	GWP (total) [t CO2 eq.]	AP [kg SO2 eq.]
28,3	100,0%	28,25	0,07	870.468,77	870.468,77	3.064,05	768,41
122,4	20,0%	24,49	0,06	754.406,27	754.406,27	2.655,51	665,95
83,2	40,0%	33,28	4,62	1.025.356,80	1.025.356,80	2.845,37	736,98
28,3	100,0%	28,25	0,07	870.468,77	870.468,77	3.064,05	768,41
0,0	200,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	300,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	400,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	500,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	600,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	700,0%	0,00	-	-	-	-	-
			4,81	3.520.700,60	3.520.700,60	11.628,99	2.939,74

nach 100 Jahren																					
Iz	OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C4				OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C4				OI3 (Austausch) A1-A3, B4												
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{Bes,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT [-]	OI ₃ Bes,IZ	OIAP [-]	OIPENRT [-]	OI ₃ Bes,IZ	OIAP [-]	OIPENRT [-]	OI ₃ Bes,IZ	OIAP [-]	OIPENRT [-]
3096,49	3064,05	-	32,44	201,87	-1215,35	-	1417,23	785,27	768,41	-	16,86	5,30	1,73	5,37	4,13	5,24	-10,39	5,26	0,03	0,03	0,03
2683,63	2655,51	-	28,11	174,95	-1053,31	-	1228,26	680,56	665,95	-	14,61	4,59	1,50	4,66	3,58	4,54	-9,01	4,56	0,03	0,03	0,03
2912,88	2845,37	-	67,51	-298,73	-303,76	-	5,03	742,21	736,98	-	5,24	4,98	2,55	5,08	2,50	4,87	-2,60	5,04	2,44	2,44	2,44
3096,49	3064,05	-	32,44	201,87	-1215,35	-	1417,23	785,27	768,41	-	16,86	5,30	1,73	5,37	4,13	5,24	-10,39	5,26	0,03	0,03	0,03
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11.789,49	11.628,99	-	160,51	279,96	- 3.787,78	-	4.067,74	2.993,31	2.939,74	-	53,57	20,16	2,39	20,48	14,34	19,89	- 32,39	20,11	2,54	2,54	2,54

Bauteil 5 Hohldelecke roh

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteilaufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]
A	1	Aufbeton	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	0	100	1,00	0,08
	2	Bewehrungsanteil (1% ± 80 kg/m ²)	Bewehrungsstahl "80 kg/m ³ "	0	100	1,00	0,08
	3	Hohlziele VSD-4-32/B,C (C 50/60)	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60	0	100	1,00	0,32
	4	Hohlraumanteil (45%)	-	0	0	1,00	0,32
	5	Bewehrungsanteil (1,5% ± 120 kg/m ³)	Bewehrungsstahl "120 kg/m ³ "	0	100	1,00	0,32
	6	-	-	0	0	1,00	0
	7	-	-	0	0	1,00	0
	8	-	-	0	0	1,00	0
	9	-	-	0	0	1,00	0
	10	-	-	0	0	1,00	0
I			Dicke des Bauteils				0,4

100:0

0 = neu

Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung					
Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Anteil [%]	OI3 ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]		Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3
			flächensbez. Masse (inhomogen) [kg/m ²]	ΔOI3							
192,0	100,0%	8,35	192,00	4.066.560,00	4.066.560,00	1.692,71	1.692,71	333,80	333,80	486,29	486,29
6,4	100,0%	3,70	6,40	135.552,00	135.552,00	1.192,72	1.192,72	92,64	92,64	173,78	173,78
768,0	55,0%	27,56	422,40	8.946.432,00	8.946.432,00	5.628,80	5.628,80	1.118,30	1.118,30	1.573,08	1.573,08
0,0	45,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
38,4	100,0%	22,20	38,40	813.312,00	813.312,00	7.156,33	7.156,33	555,82	555,82	1.042,67	1.042,67
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
		61,81	13.961.856,00	13.961.856,00	13.961.856,00	15.670,56	15.670,56	2.100,55	2.100,55	3.275,82	3.275,82

nach 100 Jahren																			
NRT _{BEG3,IZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,BEG3,IZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BEG3,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C4				OI3 (Austausch) A1-A3, B4			
												OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIBRU _{BEG3+,REF,IZ}	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIBRU _{BEG3+,REF,ND}
2173,24	1692,71	-	480,53	369,57	333,80	-	35,77	610,66	486,29	-	124,37	3,72	3,16	4,18	3,68	2,89	2,85	3,33	3,03
1199,11	1192,72	-	6,39	93,11	92,64	-	0,47	174,04	173,78	-	0,26	2,05	0,80	1,19	1,35	2,04	0,79	1,19	1,34
6685,97	5628,80	-	1057,17	1197,00	1118,30	-	78,69	1846,69	1573,08	-	273,61	11,43	10,24	12,63	11,43	9,63	9,56	10,76	9,98
7194,69	7156,33	-	38,36	558,67	555,82	-	2,85	1044,23	1042,67	-	1,57	12,30	4,78	7,14	8,07	12,24	4,75	7,13	8,04
17.253,01	15.670,56	-	1.582,45	2.218,34	2.100,55	-	117,78	3.675,63	3.275,82	-	399,81	29,50	18,97	25,14	24,54	26,80	17,96	22,41	22,39

Bauteil 7 Systemboden ReUse

Eingabe
 Eingabe Optional

100:0

0 = neu

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht [a]	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f _{ReU}	Dicke der Schicht [m]
1	Systemboden Platten (Doppelboden)	Doppelbodensystem Typ NORTEC	35	50	50	0,00	0,165
2	Systemboden Schraubstützen	Doppelbodensystem Typ NORTEC	0	50	50	1,00	0,165
3	Estrich	Zementestrich	0	50	50	1,00	0,05
4	Trennlage PE (0,2mm)	Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	0	25	50	1,00	0,0002
5	Trittschalldämmung (Mineralwolle)	Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebereich	0	50	50	1,00	0,025
6		-	0	0	0	1,00	0
7		-	0	0	0	1,00	0
8		-	0	0	0	1,00	0
9		-	0	0	0	1,00	0
10		-	0	0	0	1,00	0
I							Dicke des Bauteils 0,2402

Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung	
Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Anteil [%]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [G]	GWP (total) [t CO2 eq.]
50,0	97,3%	-	2.141.040,00	2.141.040,00	-	-	-
50,0	2,7%	0,43	58.960,00	117.920,00	344,33	14,86	35,73
120,0	100,0%	10,97	5.280.000,00	10.560.000,00	6.383,52	969,41	811,01
0,2	100,0%	1,21	8.800,00	17.600,00	596,64	17,57	228,89
2,5	100,0%	4,16	110.000,00	220.000,00	1.763,30	129,14	770,22
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
		16,76	7.598.800,00	13.056.560,00	9.087,79	1.130,98	1.845,85

nach 100 Jahren																			
PENRT _{IG3+,LZ} [G]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,IG3+,LZ} [t CO2 eq.]	OI3 (Eo) A1-A3, B4, C1-C3		OI3 (Austausch) A1-A3, B4		OI3 _{IG3+,BZF,ND} [-]										
					AP _{IG3+,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*		OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIGWP	OIAP	OIGWP				
1098,78	-	549,39	549,39	1054,93	527,47	527,47	456,13	228,06	1,88	9,02	3,12	4,67	-	-	-	-	-	-	-
718,91	344,33	359,46	15,13	58,77	14,86	29,38	84,02	42,01	1,23	0,50	0,57	0,77	1,18	0,25	0,49	0,64	1,82	0,30	0,30
15532,39	6383,52	7766,19	1382,67	2131,06	969,41	1065,53	2703,78	811,01	26,56	18,22	18,50	21,09	21,83	16,58	11,10	16,50	2,04	0,30	3,13
1201,84	596,64	600,92	4,28	84,12	17,57	42,06	462,29	231,15	2,06	0,72	3,16	1,98	2,04	0,30	3,13	1,82	6,03	2,21	10,54
3579,26	1763,30	1789,63	26,33	263,67	129,14	131,83	1560,47	770,22	6,12	2,25	10,67	6,35	6,03	2,21	10,54	6,26	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.131,18	9.087,79	11.065,59	1.977,80	3.592,55	1.130,98	1.796,27	5.266,69	2.633,35	37,85	30,72	36,03	34,86	31,08	19,34	25,25	25,23	-	-	-

Bauteil 7 FB-Aufb. innen Systemboden o. Belag

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteilaufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]
A							100,0	
1	Systemboden Platten (Doppelboden) ReUse	Doppelbodensystem Typ NORTEC	0	50	50	1,00	0,165	
2	Systemboden Schraubstützen	Doppelbodensystem Typ NORTEC	0	50	50	1,00	0,165	
3	Estrich	Zementestrich	0	50	50	1,00	0,05	
4	Trennlage PE (0,2mm)	Dampfbremse PE (Dicke 0,0002 m)	0	25	50	1,00	0,0002	
5	Trittschalldämmung (Mineralwolle)	Mineralwolle-Dämmstoff im mittleren Rohdichtebe	0	50	50	1,00	0,025	
6			0	0	0	1,00	0	
7			0	0	0	1,00	0	
8			0	0	0	1,00	0	
9			0	0	0	1,00	0	
10			0	0	0	1,00	0	
I							Dicke des Bauteils	0,2402

Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Für heterogene BT		OI3		bei Errichtung			nach 100 Jahren			bei Errichtung		
	Anteil [%]	flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m ²]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{int} [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]
50,0	97,3%	48,66	15,45	2.141.040,00	4.282.080,00	12.503,67	12.503,67	12.503,67	539,54	539,54	1.297,47	1.297,47	
50,0	2,7%	1,34	0,43	58.960,00	117.920,00	344,33	344,33	344,33	14,86	14,86	35,73	35,73	
120,0	100,0%	120,00	10,97	5.280.000,00	10.560.000,00	6.383,52	6.383,52	6.383,52	969,41	969,41	811,01	811,01	
0,2	100,0%	0,20	1,21	8.800,00	17.600,00	596,64	596,64	596,64	17,57	17,57	228,89	228,89	
2,5	100,0%	2,50	4,16	110.000,00	220.000,00	1.763,30	1.763,30	1.763,30	129,14	129,14	770,22	770,22	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			32,21	7.598.800,00	15.197.600,00	21.591,46	21.591,46	21.591,46	1.670,52	1.670,52	3.143,32	3.143,32	

PENRT _{ReG, LZ} [GJ]	nach 100 Jahren												OI3 (Austausch) A1-A3, B4						
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total, ReG, LZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{ReG, LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPERT [-]	OIGWP [-]	OIAP [-]	OIPERT [-]	OIGWP [-]	OIAP [-]	OIPERT [-]	
26106,13	12503,67	13053,06	549,39	2134,02	539,54	1067,01	527,47	305,107	1297,47	1525,53	228,06	44,64	18,25	20,87	27,92	42,77	9,23	17,75	23,25
718,91	344,33	359,46	15,13	58,77	14,86	29,38	14,53	84,02	35,73	42,01	6,28	1,23	0,50	0,57	0,77	1,18	0,25	0,49	0,64
15532,39	6383,52	7766,19	1382,67	2131,06	969,41	1065,53	96,12	2703,78	811,01	1351,89	540,88	26,56	18,22	18,50	21,09	21,83	16,58	11,10	16,50
1201,84	596,64	600,92	4,28	84,12	17,57	42,06	24,49	462,29	228,89	231,15	2,26	2,06	2,72	3,16	1,98	2,04	0,30	3,13	1,82
3579,26	1763,30	1789,63	26,33	263,67	129,14	131,83	2,69	1560,47	770,22	780,23	10,01	6,12	2,25	10,67	6,35	6,03	2,21	10,54	6,26
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47.138,53	21.591,46	23.569,26	1.977,80	4.671,63	1.670,52	2.335,82	665,29	7.861,63	3.143,32	3.930,82	787,50	80,61	39,95	53,78	58,11	73,85	28,57	43,00	48,47

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteil 9 Fußbodenaufbau Flankendämmung inkl. Plattenbelag ("Freifläche")

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor ^{f_{RU}}	Dicke der Schicht [m]
		Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht				
1	Plattenbelag	Keramische Fliesen und Platten "2022"	0	50	25	1,00	0,025
2	Unterkonstruktion (Kunststoffsteifen)	-	0	0	0	1,00	0,06
3	Abdichtung (Kunststoff)	Sarnafil AT "1,5"	0	25	25	1,00	0,0015
4	Flankendämmung (Druckbelastbar)	EPS-Hartschaum	0	50	50	1,00	0,1
5	Gefällebeton 2% (2-7 cm) i.M.	Beton der Druckfestigkeitsklasse C20/25	0	100	100	1,00	0,045
6	Aufbeton (s. Bauteil 5)	-	0	0	0	1,00	0
7	Hohlziele (s. Bauteil 5)	-	0	0	0	1,00	0
8	Flankendämmung	EPS-Hartschaum	0	50	35	1,00	0,1
9	Putz	Putzmörtel-Armierungsputz	0	35	35	1,00	0,005
10	-	-	0	0	0	1,00	-
I	Dicke des Bauteils		Dicke des Bauteils		Dicke des Bauteils		0,3365

100:0

0 = neu

Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Anteil [%]	Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		AP [kg SO ₂ eq.]	A1-A3	A1-A3
		OI3 ΔOI3 [-] (A1-A3)	Flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m ²]	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Err} [G]	GWP (total) [t CO ₂ eq.]	A1-A3	A1-A3			
59,9	100,0%	25,80	59,90	191.081,00	382.162,00	1.637,53	100,70	1.637,53	100,70	81,98	100,70	81,98
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,7	100,0%	2,63	1,65	5.263,50	21.054,00	158,62	5,30	158,62	5,30	16,63	5,30	16,63
2,0	100,0%	7,74	2,00	6.380,00	12.760,00	561,44	18,41	561,44	18,41	21,69	18,41	21,69
108,0	100,0%	4,27	108,00	344.520,00	344.520,00	130,92	25,55	130,92	25,55	37,47	25,55	37,47
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	100,0%	7,74	2,00	6.380,00	19.140,00	561,44	18,41	561,44	18,41	21,69	18,41	21,69
8,0	100,0%	2,71	8,00	25.520,00	76.560,00	119,69	11,05	119,69	11,05	21,11	11,05	21,11
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		50,88	579.144,50	856.196,00	3.169,64	3.169,64	179,41	3.169,64	179,41	200,57	179,41	200,57

NRT _{Bes,IZ} [GJ]	nach 100 Jahren										OI3 (Austausch) A1-A3, B4									
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total, Bes,IZ} [t CO ₂ eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{Bes,IZ} [kg SO ₂ eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIAP	OIGWP	OIAP	OIGWP	OIPENRT	OIAP	OIGWP	OIAP
3.337,17	1.684,11	1.684,11	15,52	204,87	100,70	103,30	0,87	185,78	81,98	98,34	5,45	5,71	1,75	1,75	1,72	2,91	5,60	1,72	1,12	2,81
646,02	484,51	484,51	2,88	22,82	5,30	17,11	0,41	68,34	16,63	51,26	0,45	1,10	0,20	0,47	0,59	1,09	0,18	0,18	0,46	0,57
1.129,67	561,44	564,83	3,39	79,66	18,41	39,83	21,42	46,75	21,69	23,38	1,68	1,93	0,68	0,32	0,98	1,92	0,31	0,31	0,30	0,84
171,63	130,92	130,92	40,71	28,58	25,55	-	3,03	48,00	37,47	-	10,54	0,29	0,24	0,33	0,29	0,22	0,22	0,22	0,26	0,23
1.694,50	561,44	1.129,67	3,39	119,49	18,41	79,66	21,42	70,13	21,69	46,75	1,68	2,90	1,02	0,48	1,47	2,88	0,47	0,45	1,27	1,27
377,36	119,69	251,58	6,10	34,52	11,05	23,01	0,46	71,43	21,11	47,62	2,71	0,65	0,30	0,49	0,48	0,61	0,28	0,28	0,43	0,44
7.356,34	3.169,64	4.114,69	72,00	489,94	179,41	262,92	47,61	490,44	200,57	267,35	22,52	12,58	4,19	3,35	6,71	12,32	3,19	3,01	3,01	6,17

Bauteil 10 Fußbodenaufbau inkl. Plattenbelag ("Freifläche")

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteilaufbau Mode II		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		100:0		Re Use		Dicke der Schicht	
A	Plattenbelag	1	Keramische Fliesen und Platten "2022"	Alter der Schicht	Referenz-Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	Re Use faktor f _{ReU}	Dicke der Schicht	[m]
2	Unterkonstruktion (Kunststoffsteinen)	2	-	0	0	0	1,00	0,025	0,17
3	Abdichtung (Kunststoff)	3	Sarnafil AT "1,5"	0	25	25	1,00	0,0015	0,0015
4	Gefällebeton i.M.	4	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 20/25	0	100	100	1,00	0,045	0,045
5	Aufbeton (s. Bauteil 5)	5	-	0	0	0	1,00	0	0
6	Hohldiele (s. Bauteil 5)	6	-	0	0	0	1,00	0	0
7	Putz	7	Putzmörtel-Armierungsputz	0	35	35	1,00	0,005	0,005
8	-	8	-	0	0	0	1,00	0	0
9	-	9	-	0	0	0	1,00	0	0
10	-	10	-	0	0	0	1,00	0	0
I	Dicke des Bauteils			Dicke des Bauteils			0,2465		

Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	OI3	bei Errichtung		nach 100 Jahren		P _{Errt} [G]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	bei Errichtung
			Masse [kg]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	ΔOI3 [-] (A1-A3)						
59,9	100,0%	25,80	249.184,00	25,80	498.368,00	2.135,47	2.135,47	131,32	131,32	106,91	106,91	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,7	100,0%	2,63	6.864,00	2,63	27.456,00	206,85	206,85	6,91	6,91	21,69	21,69	-
108,0	100,0%	4,27	449.280,00	4,27	449.280,00	170,73	170,73	33,32	33,32	48,86	48,86	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,0	100,0%	8,00	33.280,00	8,00	99.840,00	156,08	156,08	14,41	14,41	27,52	27,52	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.910,30		35,41	738.608,00	35,41	1.074.944,00	2.669,13	2.669,13	185,96	185,96	204,98	204,98	204,98

PENRT _{BG3,IZ} [G]	nach 100 Jahren										OI3 (Austausch) A1-A3, B4				
	A1-A3	B4	CI-C4*	AP _{BG3,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	CI-C4*	OIAP	OIAP	OIAP	OIAP	OIAP	OIAP	OIAP	OIAP
4.351,91	2.135,47	2.196,20	20,25	242,27	106,91	128,25	7,11	7,44	2,28	1,66	3,79	7,30	2,25	1,46	3,67
842,46	206,85	631,84	3,76	89,12	21,69	66,84	0,59	1,44	0,25	0,61	0,77	1,41	0,24	0,59	0,75
223,82	170,73	53,09	53,09	62,60	48,86	-	13,74	0,38	0,32	0,43	0,38	0,29	0,28	0,33	0,30
492,11	156,08	328,07	7,95	93,15	27,52	62,10	3,53	0,84	0,38	0,64	0,62	0,80	0,37	0,56	0,58
5.910,30	2.669,13	3.156,12	85,05	487,15	204,98	257,19	24,97	10,11	3,24	3,33	5,56	9,81	3,14	2,96	5,30

Bauteil 12 - Resilient Floor Tiles

 Eingabe
 Eingabe Optional

Bauteilaufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]
A		Resilient Floor Coverings - Parador GmbH		0	25	25	1,00	0,008
1	Resilient Floor Covering (PUR)			0	0	0	1,00	0
2				0	0	0	1,00	0
3				0	0	0	1,00	0
4				0	0	0	1,00	0
5				0	0	0	1,00	0
6				0	0	0	1,00	0
7				0	0	0	1,00	0
8				0	0	0	1,00	0
9				0	0	0	1,00	0
10				0	0	0	1,00	0
I		Dicke des Bauteils				Dicke des Bauteils		0,008

100:0

0 = neu

Für heterogene BT		OI3		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		GWP (total)		bei Errichtung		AP	
Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Anteil [%]	flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m ²]	$\Delta OI3$ [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	P_{Ent} [GJ]	A1-A3	A1-A3	A1-A3	[t CO2 eq.]	A1-A3	A1-A3	[kg SO2 eq.]	A1-A3
8,3	100,0%	8,30	5,50	155.210,00	620.840,00	620.840,00	2.113,10	2.113,10	2.113,10	2.113,10	81,91	81,91	81,91	345,95	345,95
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,743,00			5,50	155.210,00	620.840,00	620.840,00	2.113,10	2.113,10	2.113,10	2.113,10	81,91	81,91	81,91	345,95	345,95

nach 100 Jahren		OI3 (Eol) A1-A3, B4, C1-C3		OI3 (Austausch) A1-A3, B4											
³⁹ LZ [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BG3,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI _{BG3+,BGF,LZ}	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI _{BG3+,BGF,ND}
8.743,00	2.113,10	6.557,25	72,65	565,70	-81,91	424,27	223,33	14,95	4,84	11,48	10,42	14,45	0,70	9,47	7,74
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8.743,00	2.113,10	6.557,25	72,65	565,70	-81,91	424,27	223,33	14,95	4,84	11,48	10,42	14,45	0,70	9,47	7,74

Bauteil 15 Unterdecke (abgeh. Decke)

 Eingabe
 Eingabe Optional

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]	Exemplarische Auflistung	
								100:0	Baustoffeinteilung
1	UK CW Profile	MAXI-TEC® CW- und UW-Profile "Decke"	0	50	50	1,00	0,027		
2	Dämmstoff (Schallschutz)	Mineralwolle-Dämmstoff im niedrigen Rohdichtebe	0	50	50	1,00	0,05		
3	Trockenbau Platte	Knauf Gafli Gipskartonplatten GKB Bauplatte und GK	0	50	50	1,00	0,0125		
4		-	0	0	0	1,00	0		
5		-	0	0	0	1,00	0		
6		-	0	0	0	1,00	0		
7		-	0	0	0	1,00	0		
8		-	0	0	0	1,00	0		
9		-	0	0	0	1,00	0		
10		-	0	0	0	1,00	0		
I		Dicke des Bauteils					0,077		

Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren	
Flächenbezogene Masse [kg/m ²]	Anteil [%]	flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m ²]	OI3 Δ OI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Emitt} [GJ]	A1-A3	GWP(total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	A1-A3	A1-A3
1,8	100,0%	1,77	3,71	29.254,43	58.508,85	870,17	870,17	61,74	61,74	164,50	164,50	164,50	164,50
1,2	100,0%	1,20	2,43	19.812,00	39.624,00	461,12	461,12	27,72	27,72	150,49	150,49	150,49	150,49
8,5	100,0%	8,50	1,42	140.335,00	280.670,00	431,24	431,24	17,65	17,65	45,60	45,60	45,60	45,60
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			7,55	189.401,43	378.802,85	1.762,54	1.762,54	107,11	107,11	360,59	360,59	360,59	360,59

nach 100 Jahren												OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3				OI3 (Austausch) A1-A3, B4				
PENRT _{B63,IZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,B63,IZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{B63,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT [-]	OIGWP [-]	OIAAP [-]	OIPENRT [-]	OIGWP [-]	OIAAP [-]	OIPENRT [-]	OIGWP [-]	OIAAP [-]
1.742,22	870,17	871,11	0,94	123,62	61,74	61,81	0,07	329,83	164,50	164,91	0,41	2,98	1,06	2,26	2,10	2,98	1,06	2,25	2,09	2,09
931,73	461,12	465,87	4,74	58,05	27,72	29,02	1,30	304,58	150,49	152,29	1,80	1,59	0,50	2,08	1,39	1,58	0,47	2,06	1,37	1,37
950,02	431,24	475,01	43,77	60,27	17,65	30,14	12,49	124,09	45,60	62,04	16,44	1,62	0,52	0,85	1,00	1,47	0,30	0,62	0,80	0,80
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.623,97	1.762,54	1.811,98	49,44	241,94	107,11	120,97	13,86	758,50	360,59	379,25	18,66	6,20	2,07	5,19	4,48	6,03	1,83	4,93	4,26	4,26

Bauteil 16 Dachaufbau begehbar inkl. Plattenbelag

Eingabe
Eingabe Optional

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor _{f_{RU}}	Dicke der Schicht [m]
1	Plattenbelag	Keramische Fliesen und Platten "2022"	0	50	25	1,00	0,025
2	Unterkonstruktion (Kunststoffsteifen)	-	0	0	0	1,00	0,06
3	Filtervlies	PE/PP Vlies	0	25	25	1,00	0,005
4	Dränage	Splitt 2/15	0	50	25	1,00	0,03
5	Abdichtung	Sarnafil TG "2,0"	0	25	25	1,00	0,005
6	Gefälledämmung i.M	EPS-Hartschaum	0	50	50	1,00	0,2
7	Abdichtung/ Dampfsperre	Bitumenbahnen V 60 (Dicke 0,005 m)	0	35	35	1,00	0,015
8	Aufbeton (siehe BT 5)	-	0	0	0	1,00	0
9	Hohldiele (siehe BT 5)	-	0	0	0	1,00	0
10	Unterdecke (siehe BT 15)	-	0	0	0	1,00	0
I	Dicke des Bauteils		Dicke des Bauteils		Dicke des Bauteils		0,34

Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung			
		OI3 ΔOI3 [-] (A1-A3)	flä- chenbez. Masse (inhomogen) [kg/m²]	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Errt} [Gj]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3
59,9	100,0%	25,80	59,90	60.499,00	120.998,00	518,47	518,47	31,88	31,88	25,96	25,96
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3	100,0%	4,71	1,25	1.262,50	5.050,00	111,88	111,88	3,18	3,18	3,73	3,73
54,0	100,0%	0,62	54,00	54.540,00	218.160,00	10,30	10,30	0,80	0,80	1,13	1,13
5,0	100,0%	13,73	5,00	5.050,00	20.200,00	303,00	303,00	7,80	7,80	18,48	18,48
4,0	100,0%	15,47	4,00	4.040,00	8.080,00	355,52	355,52	11,66	11,66	13,74	13,74
15,0	100,0%	22,21	15,00	15.150,00	45.450,00	562,37	562,37	6,18	6,18	19,89	19,89
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
		82,53	140.541,50	1.861,54	417.938,00	1.861,54	1.861,54	61,50	61,50	82,93	82,93

PENRT _{BES,IZ} [Gj]	nach 100 Jahren										OI3 (Austausch) A1-A3, B4								
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,BES,IZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BES,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP		
1.056,59	518,47	533,21	4,92	64,86	31,88	32,71	0,27	58,82	25,96	31,14	1,73	1,81	0,55	0,40	0,92	1,77	0,55	0,36	0,89
450,79	111,88	338,09	0,81	31,78	3,18	23,83	4,76	16,69	3,73	12,51	0,44	0,77	0,27	0,11	0,39	0,77	0,11	0,10	0,33
75,01	10,30	56,26	8,45	5,37	0,80	4,03	0,54	15,63	1,13	11,73	2,78	0,13	0,05	0,11	0,09	0,07	0,03	0,03	0,04
1.231,19	303,00	923,39	4,80	33,91	7,80	25,44	0,68	76,95	18,48	57,71	0,75	2,11	0,29	0,53	0,97	2,07	0,27	0,51	0,95
715,34	355,52	357,67	2,15	50,44	11,66	25,22	13,57	29,60	13,74	14,80	1,07	1,22	0,43	0,20	0,62	1,22	0,20	0,19	0,53
1.745,82	562,37	1.163,88	19,57	22,30	6,18	14,87	1,25	69,73	19,89	46,48	3,35	2,99	0,19	0,48	1,22	2,89	0,16	0,41	1,15
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.274,74	1.861,54	3.372,50	40,70	208,67	61,50	126,09	21,07	267,42	82,93	174,38	10,12	9,02	1,78	1,83	4,21	8,78	1,31	1,59	3,89

Bauteil 19 Außenwand Holz

Eingabe
Eingabe Optional

100:0

0 = neu

Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor _{fu}	Dicke der Schicht [m]
1 Stäbe Fichte/Luft (6,5%) a	Nadelschmittholz getrocknet (Durchschnitt DE)	0	50	100	1,00	0,14
2 Zellulosefaser-Dämmung	Lose Zellulosedämmung	0	50	100	1,00	0,14
3 Stäbe Fichte/Lärche/Luft (6,8%) i	Nadelschmittholz getrocknet (Durchschnitt DE)	0	50	100	1,00	0,2
4	-	0	0	0	1,00	0
5	-	0	0	0	1,00	0
6	-	0	0	0	1,00	0
7	-	0	0	0	1,00	0
8	-	0	0	0	1,00	0
9	-	0	0	0	1,00	0
10	-	0	0	0	1,00	0
I	Dicke des Bauteils				Dicke des Bauteils	0,48

Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung			
		OI3 ΔOI3 [-] (A1-A3)	fläichenbez. Masse (inhomogen) [kg/m²]	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]
67,8	93,5%	6,55	63,42	658.324,09	658.324,09	985,50	985,50	985,50	1.003,97	1.003,97	498,66
8,4	100,0%	0,53	8,40	87.192,00	87.192,00	324,01	324,01	324,01	107,42	107,42	94,34
96,9	93,2%	9,33	90,31	937.445,45	937.445,45	1.403,33	1.403,33	1.403,33	1.429,65	1.429,65	710,08
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2.958,03	245,20	15,35	212,14	1.682.961,54	1.682.961,54	2.712,83	2.712,83	2.712,83	2.541,04	2.541,04	1.303,08

ENRT _{BG3,LZ} [GJ]	nach 100 Jahren										OI3 (AoL) A1-A3, B4, C1-C3				OI3 (AoL) A1-A3, B4				
	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BG3,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BG3,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI3 _{BG3+,RF,ND}	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI3 _{BG3+,RF,ND}
1.067,79	985,50	-	82,29	79,35	-1.003,97	-	1.083,33	509,50	498,66	-	10,85	1,83	0,68	3,49	2,00	1,69	8,58	3,41	1,16
369,74	324,01	-	45,73	19,79	-107,42	-	1.27,21	124,78	94,34	-	30,44	0,63	0,17	0,85	0,55	0,55	0,92	0,65	0,09
1.520,51	1.403,33	-	117,18	113,00	-1.429,65	-	1.542,65	725,53	710,08	-	15,44	2,60	0,97	4,96	2,84	2,40	12,22	4,86	1,66
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.958,03	2.712,83	-	245,20	212,14	- 2.541,04	-	2.753,18	1.359,81	1.303,08	-	56,73	5,06	1,81	9,30	5,39	4,64	21,73	8,91	2,72

Bauteil 20 Innenwand Lehmbau

Eingabe
Eingabe Optional

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	100:0		ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [m]
				0 = neu	Nutzungsdauer angepasst		
1	Lehmbauplatte	Lehmbauplatte	0	50	1,00	0,02	
2a	Holz UK (6*6 cm) (10%)	Nadelschnittholz getrocknet (Durchschnitt DE)	0	50	1,00	0,06	
2b	Mineralwolle dämmung (6*56,5 cm) (90%)	Mineralwolle-Dämmstoff im niedrigen Rohdichtebe	0	50	1,00	0,06	
3	Lehmbauplatte	Lehmbauplatte	0	50	1,00	0,02	
4	-	-	0	0	1,00	0	
5	-	-	0	0	1,00	0	
6	-	-	0	0	1,00	0	
7	-	-	0	0	1,00	0	
8	-	-	0	0	1,00	0	
9	-	-	0	0	1,00	0	
I	Dicke des Bauteils			Dicke des Bauteils		0,1	

Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Für heterogene BT			bei Errichtung			nach 100 Jahren			bei Errichtung			
	Anteil [%]	flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/m²]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Ernt} [G]	A1-A3	GWP(total) [t CO2 eq.]	A1-A3	GWP(total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]
14,0	100,0%	14,00	1,84	169.260,00	338.520,00	393,41	393,41	393,41	0,64	393,41	0,64	67,91	67,91
29,1	10,0%	2,91	0,30	35.146,36	70.292,71	52,61	52,61	52,61	53,60	52,61	53,60	26,62	26,62
1,4	90,0%	1,30	2,62	15.668,64	31.337,28	364,69	364,69	364,69	21,92	364,69	21,92	119,02	119,02
14,0	100,0%	14,00	1,84	169.260,00	338.520,00	393,41	393,41	393,41	0,64	393,41	0,64	67,91	67,91
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			6,00	389.335,00	778.669,99	1.204,12	1.204,12	1.204,12	30,39	1.204,12	30,39	281,46	281,46

PENRT _{BGS,IZ} [G]	nach 100 Jahren											OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3				OI3 (Austausch) A1-A3, B4		
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,BGS,IZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BGS,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI3 _{BGS+,BZF,ND} [-]
819,89	393,41	409,94	16,53	3,28	0,64	1,64	144,71	67,91	72,36	4,45	1,40	0,03	0,99	0,81	1,35	0,01	0,93	0,76
114,01	52,61	57,01	4,39	8,47	-53,60	4,24	57,84	26,62	27,20	0,58	0,19	0,07	0,37	0,21	0,18	0,46	0,36	0,03
736,88	364,69	368,44	3,75	45,91	21,92	22,95	240,89	119,02	120,44	1,43	1,26	0,39	1,65	1,10	1,25	0,37	1,63	1,08
819,89	393,41	409,94	16,53	3,28	0,64	1,64	144,71	67,91	72,36	4,45	1,40	0,03	0,99	0,81	1,35	0,01	0,93	0,76
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.490,66	1.204,12	1.245,33	41,21	60,95	-30,39	30,47	584,72	281,46	292,36	10,90	4,26	0,52	4,00	2,93	4,12	0,06	3,85	2,64

Bauteil 21 Schichtwand

Eingabe
Eingabe Optional

1000-0

0 = neu

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{ReU}	Dicke der Schicht [m]
		Alter der Schicht	0				
1	2x Trockenbau GKB-F	Gipskartonplatte (Feuerschutz)(Dicke 0,0125 m)	0	50	50	1,00	0,025
2	UK (CW-Profil)	MAXI-TEC® CW- und UW-Profil "VSS"	0	50	50	1,00	0,075
3		-	0	0	0	1,00	0
4		-	0	0	0	1,00	0
5		-	0	0	0	1,00	0
6		-	0	0	0	1,00	0
7		-	0	0	0	1,00	0
8		-	0	0	0	1,00	0
9		-	0	0	0	1,00	0
10		-	0	0	0	1,00	0
I		Dicke des Bauteils				1,00	0,1

Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		AP [kg SO2 eq.]
		ΔOI3 [-] (A1-A3)	Mass [kg]	Mass [kg]	Masse [kg]	P _{Errt} [G]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	
20,0	100,0%	3,49	25.000,00	50.000,00	83,75	83,75	3,85	3,85	7,00	
1,5	100,0%	1,54	1.931,12	3.862,24	57,44	57,44	4,08	4,08	10,86	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	
6,73			26.931,12	53.862,24	141,19	141,19	7,93	7,93	17,85	

[GJ]	nach 100 Jahren																		
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,Re3,I,Z} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{Re3,I,Z} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP
180,59	83,75	90,30	6,55	10,05	3,85	5,03	1,17	19,11	7,00	9,56	2,56	0,31	0,09	0,13	0,18	0,29	0,07	0,10	0,15
115,01	57,44	57,50	0,06	8,16	4,08	4,08	0,00	21,77	10,86	10,89	0,03	0,20	0,07	0,15	0,14	0,20	0,07	0,15	0,14
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
295,60	141,19	147,80	6,61	18,21	7,93	9,11	1,18	40,88	17,85	20,44	2,59	0,51	0,16	0,28	0,31	0,48	0,14	0,24	0,29

Bauteil 23 Keller-Außenwand (STB)

Eingabe
Eingabe Optional

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor _{f,Re}	Dicke der Schicht [m]	100:0		
								0 = neu		
1	Stahlbeton C25/30	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30	0	100	100	1,00	0,4			
2	Bewehrungsanteil (2% ± 160 kg/m³)	Bewehrungsstahl "160 kg/m³"	0	100	100	1,00	0,4			
3			0	0	0	1,00	0			
4			0	0	0	1,00	0			
5			0	0	0	1,00	0			
6			0	0	0	1,00	0			
7			0	0	0	1,00	0			
8			0	0	0	1,00	0			
9			0	0	0	1,00	0			
10			0	0	0	1,00	0			
I	Dicke des Bauteils							Dicke des Bauteils		0,8

Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	Für heterogene BT	OI3		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		GWP (total)		A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	226,16	161,63
			ΔOI3 [-] (A1-A3)	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Errt} [GJ]	A1-A3	A1-A3	GWP [t CO2 eq.]					
960,0	100,0%		41,76	960,00	1.891.200,00	1.891.200,00	787,21	787,21	155,24	155,24	155,24	155,24	787,21	226,16	226,16	226,16	226,16
64,0	100,0%		37,00	64,00	126.080,00	126.080,00	1.109,38	1.109,38	86,16	86,16	86,16	86,16	1.109,38	161,63	161,63	161,63	161,63
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%		-	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.126,01	1.896,59	-	78,76	2.017.280,00	2.017.280,00	2.017.280,00	1.896,59	1.896,59	241,40	241,40	241,40	241,40	1.896,59	387,79	387,79	387,79	387,79

[GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total, BGS, IZ} [t CO2 eq.]	nach 100 Jahren		OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3		OI3 (Austausch) A1-A3, B4									
					A1-A3	B4	AP _{BGS, IZ} [kg SO2 eq.]	C1-C4*	B4	AP _{BGS, IZ} [kg SO2 eq.]	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP		
1.010,69	787,21	-	223,48	171,87	155,24	16,63	284,00	226,16	57,84	1,73	1,47	1,94	1,71	1,35	1,33	1,55	1,41	
1.115,32	1.109,38	-	5,95	86,60	86,16	0,44	161,88	161,63	0,24	1,91	0,74	1,11	1,25	1,90	0,74	1,11	1,25	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.126,01	1.896,59	-	229,42	258,48	241,40	17,08	445,87	387,79	58,08	3,64	2,21	3,05	2,97	3,24	2,06	2,65	2,65	

Stütze 2 konv. Variante Stütze Stahlbeton

 Eingabe
 Eingabe Optional

Bauteilaufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Querschnittsfläche [m ²]
100:0								
0 = neu								
1	Stahlbeton	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 50/60	0	100	100	1,00	0,36	
2	Bewehrungsanteil (2% \pm 160 kg/m ³)	Bewehrungsstahl "160 kg/m ³ "	0	100	100	1,00	0,36	
3			0	0	0	1,00	0	
4			0	0	0	1,00	0	
5			0	0	0	1,00	0	
6			0	0	0	1,00	0	
7			0	0	0	1,00	0	
8			0	0	0	1,00	0	
9			0	0	0	1,00	0	
10			0	0	0	1,00	0	
I		Dicke des Bauteils						

Für heterogene BT		OI3		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung	
längenbezogene Masse [kg/m]	Anteil [%]	längenbez. Masse (inhomogen) [kg/m]	Δ OI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	$P_{E,Err}$ [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	AP [kg SO2 eq.]
864,0	100,0%	864,00	0,06	2.782.080,00	2.782.080,00	1.750,39	1.750,39	347,76	489,18
57,6	100,0%	57,60	0,04	185.472,00	185.472,00	1.631,97	1.631,97	126,75	237,78
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-
			0,10	2.967.552,00	2.967.552,00	3.382,36	3.382,36	474,51	726,96

nach 100 Jahren																	
PENRT _{B63,LZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,B63,LZ} [t CO2 eq.]	OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3			OI3 (Austausch) A1-A3, B4									
					AP _{B63,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP			
2.079,14	1.750,39	-	328,75	372,23	347,76	-	24,47	574,27	489,18	-	85,09	3,56	2,99	2,97	3,35	3,10	
1.640,71	1.631,97	-	8,75	127,40	126,75	-	0,65	238,13	237,78	-	0,36	1,84	2,79	1,08	1,63	1,83	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.719,86	3.382,36	-	337,50	499,63	474,51	-	25,12	812,40	726,96	-	85,44	6,36	5,78	4,06	4,97	4,94	

Träger 1 Stahlbeton-Verbund

Eingabe
Eingabe Optional

Bauteilaufbau Modell		entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle		100:0 0 = neu		ReUse faktor f _{RU}		Querschnittsfläche [m ²]	
A				Alter der Schicht	Referenz-Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst			
1	Stahlbeton	Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30		0	100	100	1,00	0,420	
2	Bewehrungsanteil (1% ± 80 kg/m ³)	Bewehrungsstahl "80 kg/m ³ "		0	100	100	1,00	0,420	
3	Baustahl	Offene Walzprofile und Grobbleche		50	100	100	0,00	0,031	
4				0	0	0	1,00	0	
5				0	0	0	1,00	0	
6				0	0	0	1,00	0	
7				0	0	0	1,00	0	
8				0	0	0	1,00	0	
9				0	0	0	1,00	0	
10				0	0	0	1,00	0	

Für heterogene BT			bei Errichtung				nach 100 Jahren				bei Errichtung			
längenbezogene Masse [kg/m]	Anteil [%]	längenbez. Masse (inhomogen) [kg/m]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	P _{Ent} [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	AP	
1008,0	100,0%	1008,00	0,05	4.213.440,00	4.213.440,00	4.213.440,00	1.753,84	1.753,84	345,85	345,85	503,86	503,86	503,86	
33,6	100,0%	33,60	0,02	140.448,00	140.448,00	140.448,00	1.235,80	1.235,80	95,98	95,98	180,05	180,05	180,05	
240,5	100,0%	240,51	-	1.005.324,69	1.005.324,69	1.005.324,69	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			0,07	5.359.212,69	5.359.212,69	5.359.212,69	2.989,65	2.989,65	441,84	441,84	683,91	683,91	683,91	

nach 100 Jahren																			
PENRT _{BG3,LZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,BG3,LZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BG3,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3				OI3 (Austausch) A1-A3, B4			
												OIPENRT [-]	OIOWP [-]	OIAPI [-]	OI3RU _{BG3+,BGF,LZ} [-]	OIPENRT [-]	OIOWP [-]	OIAPI [-]	OI3RU _{BG3+,BGF,ND} [-]
2.251,73	1.753,84	-	497,89	382,91	345,85	-	37,06	632,72	503,86	-	128,86	3,85	3,27	4,33	3,82	3,00	2,96	3,45	3,13
1.242,43	1.235,80	-	6,62	96,47	95,98	-	0,49	180,33	180,05	-	0,27	2,12	0,82	1,23	1,39	2,11	0,82	1,23	1,39
32,36	-	-	32,36	1,85	-	-	1,85	5,87	-	-	5,87	0,06	0,02	0,04	0,04	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.526,52	2.989,65	-	536,87	481,24	441,84	-	39,41	818,91	683,91	-	135,00	6,03	4,11	5,60	5,25	5,11	3,78	4,68	4,52

Fenster 1 Fenster (1,35x2,15m)

Eingabe Eingabe Optional

100:0		100:0		100:0		100:0		100:0		100:0		100:0	
A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor _{f_{RU}}	Dicke der Schicht [mm]	Referenzeinheit					
	Glas	-	0	0	0	1,00	0	0					
	1 3-Scheiben-Verglasung	Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	20	35	35	0,00	36	m ² *mm					
	2	-	0	0	0	1,00	0	0					
	3	-	0	0	0	1,00	0	0					
	4	-	0	0	0	1,00	0	0					
	Rahmen	-	0	0	0	1,00	0	0					
	1 Flügelrahmen Holz	Holz Flügelrahmen	20	35	35	0,00	0	m					
	2 Blendrahmen Holz	Holz Blendrahmen	0	35	35	1,00	0	m					
	3	-	0	0	0	1,00	0	0					
	4	-	0	0	0	1,00	0	0					
I	Fensterfläche [m ²]	Rahmenlänge [m] (Rahmen)											
	3.924,18	9.464,00											

Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren	
flächen-/längenbez. Masse [kg/EH]	Anteil [%]	flächensbez. Masse (inhomogen) [kg/EH]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30,0	100,0%	30,00	-	117.725,40	117.725,40	117.725,40	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,1	100,0%	2,11	-	19.969,04	19.969,04	19.969,04	-	-	-	-	-	-	-
2,1	100,0%	2,11	7,05	19.969,04	19.969,04	59.907,12	502,73	502,73	3,50	502,73	3,50	86,07	86,07
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			7,05	157.663,48	197.601,56	197.601,56	502,73	502,73	3,50	502,73	3,50	86,07	86,07

nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung		nach 100 Jahren	
PE _{err} [GJ]	OI3 [EOL]	OI3 [EOL]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	AP _{BEG,IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4* [-]	OI3R _{BEG,IZ} [-]					
118,26	-	-	-	43,53	-	29,02	14,51	0,20	0,37	0,30	0,29	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,36	-	2,24	1,12	114,77	-	76,52	38,26	0,01	0,98	0,00	0,33	-	-
1.511,53	502,73	1.007,69	1,12	104,27	-3,50	69,52	38,26	2,58	0,89	1,77	1,75	2,58	0,03
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.633,15	502,73	1.088,76	41,65	261,83	3,50	174,55	90,77	2,79	2,24	2,07	2,37	2,58	0,03

Eingabe		Eingabe Optional						
Fenster 2 Balkontüre schmal (0,9 x 3 m)		ReUse						
0 = neu		100=0						
A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{re}	Dicke der Schicht [mm]	Referenzeinheit
	Glas	-	0	0	0	1,00	0	0
	1 3-Scheiben-Verglasung	Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	20	35	35	0,00	36	m ² ·mm
	2	-	0	0	0	1,00	0	0
	3	-	0	0	0	1,00	0	0
	4	-	0	0	0	1,00	0	0
	Rahmen	-	0	0	0	1,00	0	0
	1 Blendrahmen Holz	Holz Blendrahmen	20	35	35	0,00	0	m
	2	-	0	0	0	1,00	0	0
	3	-	0	0	0	1,00	0	0
	4	-	0	0	0	1,00	0	0
I	Fensterfläche [m ²]	Rahmenlänge [m] (Rahmen)					Dicke des Bauteils	36
	4.141,80	11.965,20						

Für heterogene BT				bei Errichtung				nach 100 Jahren				bei Errichtung			
flächen-/längenbez. Masse [kg/EH]	Anteil [%]	flächenbez. Masse (inhomogen) [kg/EH]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Mass [kg]	Mass [kg]	Mass [kg]	P _{Errt} [GJ]	A1-A3	GWP(total) [t CO2 eq.]	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	GWP(total)	AP	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
30,0	100,0%	30,00	-	124.254,00	124.254,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2,1	100,0%	2,11	-	25.246,57	25.246,57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				149.500,57	149.500,57										

nach 100 Jahren												OI3 (EoI) A1-A3, B4, C1-C3				OI3 (Austausch) A1-A3, B4			
PenRT _{B63,LZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,B63,LZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{B63,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP	PenRT _{B63+RF,ND}	
124,81	-	83,21	41,60	45,15	-	30,10	15,05	45,94	-	30,63	15,31	-	0,39	0,31	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,39	0,31	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4,23	-	2,82	1,41	145,11	-	96,74	48,37	0,55	-	0,36	0,18	0,01	1,24	0,00	0,42	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
129,04	-	86,03	43,01	190,26	-	126,84	63,42	46,49	-	30,99	15,50	0,22	1,63	0,32	0,72	-	-	-	

Fenster 3 Balkontüre breit (1,35 x 3 m) konventionell

Eingabe Eingabe Optional

100:0

0 = neu

Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{RU}	Dicke der Schicht [mm]	Referenzeinheit	
Glas	-	0	0	0	1,00	0		
1 3-Scheiben-Verglasung	Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	0	35	35	1,00	36	m ² ·mm	
2	-	0	0	0	1,00	0		
3	-	0	0	0	1,00	0		
4	-	0	0	0	1,00	0		
Rahmen	-	0	0	0	1,00	0		
1 Flügelrahmen Holz	Holz Flügelrahmen	0	35	35	1,00	0	m	
2 Blendrahmen Holz	Holz Blendrahmen	0	35	35	1,00	0	m	
3	-	0	0	0	1,00	0		
4	-	0	0	0	1,00	0		
I		0	0	0	1,00	0		
Dicke des Bauteils							36	
Fensterfläche [m ²]	Rahmenlänge [m] (Rahmen)							
631,80	1.825,20							

Flächen-/längenbez. Masse [kg/EH]	Anteil [%]	bei Errichtung			nach 100 Jahren			bei Errichtung				
		flä- chenbez. Masse (inhomogen) [kg/EH]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	OI3	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	A1-A3	GWP (total) [t CO2 eq.]	AP [kg SO2 eq.]	A1-A3	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30,0	100,0%	30,00	64,23	18.954,00	56.862,00	450,85	450,85	36,50	36,50	146,01	146,01	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,1	100,0%	2,11	9,59	3.851,17	11.553,52	103,95	103,95	0,27	0,27	19,80	19,80	
2,1	100,0%	2,11	8,44	3.851,17	11.553,52	96,95	96,95	0,67	0,67	16,60	16,60	
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				82,26	26.656,34	79.969,03	651,75	651,75	35,56	182,41	182,41	

PENRT _{B63,LZ} [GJ]	nach 100 Jahren						OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3						OI3 (Austausch) A1-A3, B4						
	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total,B63,LZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{B63,LZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OIPENRT [-]	OIGWP [-]	OIAP [-]	OI3RU _{B63+,BSF,LZ} [-]	OIPENRT [-]	OIGWP [-]	OIAP [-]	OI3RU _{B63+,BSF,ND} [-]
1.371,60	450,85	914,40	6,35	116,38	36,50	77,59	2,30	445,03	146,01	296,69	2,34	2,35	1,00	3,04	2,13	2,31	0,94	3,00	2,08
312,48	103,95	208,32	0,22	21,33	-0,27	14,22	7,38	59,49	19,80	39,66	0,03	0,53	0,18	0,41	0,37	0,53	0,00	0,41	0,31
291,51	96,95	194,34	0,22	20,11	-0,67	13,41	7,38	49,88	16,60	33,25	0,03	0,50	0,17	0,34	0,34	0,50	0,01	0,34	0,28
1.975,59	651,75	1.317,06	6,78	157,82	35,56	105,22	17,05	554,41	182,41	369,60	2,39	3,38	1,35	3,79	2,84	3,34	0,93	3,74	2,67

Fenster 4 Pfosten Riegel Fassade (Terrasse)

Eingabe Eingabe Optional

0 = neu 100=0

Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f _{ReU}	Dicke der Schicht [mm]	Referenzeinheit
Glas	-	0	0	0	1,00	0	
1 3-Scheiben-Verglasung	Dreifachverglasung (Dicke: 0,036 m)	0	35	35	1,00	36	m ² *mm
2 Pfosten-Riegel-Konstruktion, alu	Pfosten/Riegelsystem aus Aluminium "m ² "	0	50	35	1,00	1	m ²
3	-	0	0	0	1,00	0	
4	-	0	0	0	1,00	0	
Rahmen	-	0	0	0	1,00	0	
1	-	0	0	0	1,00	0	
2	-	0	0	0	1,00	0	
3	-	0	0	0	1,00	0	
4	-	0	0	0	1,00	0	
I							
Fensterfläche [m ²]	Rahmenlänge [m] (Rahmen)						
1.620,00	-					36	

Für heterogene BT		bei Errichtung		nach 100 Jahren		bei Errichtung	
flächen-/längenbez Masse [kg/EH]	Anteil [%]	ΔOI3 [-] (A1-A3)	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	GWP(total) [t CO2 eq.]
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
30,0	100,0%	64,23	48.600,00	145.800,00	1.156,03	93,59	374,38
5,7	100,0%	56,12	9.234,00	27.702,00	1.323,05	89,36	239,44
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	0,00	-	-	-	-	-
		120,35	57.834,00	173.502,00	2.479,09	182,95	613,82

nach 100 Jahren																				
PENRT _{RG3,IZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total, RG3, IZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{RG3, IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3				OI3 (Austausch) A1-A3, B4					
											OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI3RU _{RG3+, BGF, IZ}	OIPENRT	OIGWP	OIAP	OI3RU _{RG3+, BGF, ND}		
3.516,91	1.156,03	2.344,61	16,27	298,42	93,59	198,95	5,89	1.141,11	374,38	760,74	5,99	6,01	2,55	7,81	5,46	5,93	2,40	7,68	5,34	
3.977,96	1.323,05	2.651,97	2,93	284,78	89,36	189,85	5,57	720,30	239,44	480,20	0,67	6,80	2,44	4,93	4,72	6,79	2,29	4,91	4,66	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7.494,87	2.479,09	4.996,58	19,20	583,20	182,95	388,80	11,45	1.861,42	613,82	1.240,95	6,65	12,82	4,99	12,73	10,18	12,72	4,69	12,60	10,00	

Türe 1 Innentüre (0,9 x 2,1 m)

Eingabe
Eingabe Optional

A	Bauteilaufbau Modell	entsprechende Bauteilschichten - Materialdaten Tabelle	Alter der Schicht	Referenz- Nutzungsdauer	Nutzungsdauer angepasst	ReUse faktor f_{ReU}	Dicke der Schicht [m]	100:0	
								0 = neu	
1	Innentüre Holz	Spanplatte, melaminbeschichtet	0	50	50	1,00	0,04		
2	-	-	0	0	0	1,00	0		
3	-	-	0	0	0	1,00	0		
4	-	-	0	0	0	1,00	0		
5	-	-	0	0	0	1,00	0		
6	-	-	0	0	0	1,00	0		
7	-	-	0	0	0	1,00	0		
8	-	-	0	0	0	1,00	0		
9	-	-	0	0	0	1,00	0		
10	-	-	0	0	0	1,00	0		
I	Dicke des Bauteils							0,04	

Für heterogene BT											
Flächenbezogene Masse [kg/m²]	Anteil [%]	OI3 $\Delta OI3$ [-] (A1-A3)	bei Errichtung			nach 100 Jahren			bei Errichtung		
			Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	Masse [kg]	PE _{err} [GJ]	A1-A3	A1-A3	AP [kg SO2 eq.]
25,6	100,0%	2,44	21.531,07	43.062,14	135,63	135,63	25,51	25,51	13,40	13,40	13,40
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,0	100,0%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229,99	100,0%	2,44	21.531,07	43.062,14	135,63	135,63	25,51	25,51	13,40	13,40	13,40

nach 100 Jahren																			
PENRT _{BG3,IZ} [GJ]	A1-A3	B4	C1-C4*	GWP _{total, BG3, IZ} [t CO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	AP _{BG3, IZ} [kg SO2 eq.]	A1-A3	B4	C1-C4*	OI3 (EoL) A1-A3, B4, C1-C3			OI3 (Austausch) A1-A3, B4				
												OIPENRT	OIGWP	OIAP	OIPENRT	OIGWP	OIAP		
229,99	135,63	114,99	-20,63	14,77	-25,51	7,39	32,89	27,46	13,40	13,73	0,33	0,39	0,13	0,13	0,19	0,46	0,22	0,18	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
229,99	135,63	114,99	-20,63	14,77	-25,51	7,39	32,89	27,46	13,40	13,73	0,33	0,39	0,13	0,13	0,19	0,46	0,22	0,18	

Anhang D – Kostengrundlagen

Bauteil	Pos.	EH	€/EH	Std/EH	Anmerkung	Quelle
BT25 - Glasfassade	Stahlstütze, Rohrprofil, Eckig	kg	5,00 €/kg	n.r.	unterer Durchschnitt	BKI Positionen 2022
BT25 - Glasfassade	Aluminiumprofile, Stahlkonstruktion	kg	28,00 €/m	n.r.	unterer Durchschnitt	BKI Positionen 2022
BT25 - Glasfassade	Verglasung ESG-Glas, 8mm	kg	130,00 €/m ²	0,5 h/m ²	Durchschnitt, inkl Befestigung	BKI Positionen 2022
BT25 - Glasfassade	Verglasung VSG-Glas, 8mm	kg	123,00 €/m ²	n.r.	Durchschnitt, inkl. Befestigung	BKI Positionen 2022
BT25 - Glasfassade	Demontage, Transport, Lagerung, Aufbereitung	m ²	20,00 €/m ²	n.r.	entspr. 2/3 der Montagekosten	Durchschnittsbildung von Werten aus Stricker et al
BT25 - Glasfassade	Abbruch Verglasung	m ²	15,00 €/m ²	n.r.		Annahme basierend auf Romm ZT
BT25 - Glasfassade	Entsorgung Verglasung	m ²	0,80 €/m ²	n.r.		div. Entsorgerwebsites
Fenster 1-3 - Holz Alu	Demontage Fixelement	m ²	72,60 €/m ²	n.r.	gilt auch für Dem. Flügel Fenster inkl. Rahmen	Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Demontage Flügel (25%)	m ²	18,15 €/m ²	n.r.	Demontage Flügel 25% des Aufwands	Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Transport	m ²	10,56 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Dichtung	m ²	9,90 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Glastausch (n.e.)	m ²	132,00 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Aludeckshale	m ²	99,00 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Fensterrahmen neu - Holz	m	17,29 €/m	n.r.	Stückpreis umgelegt auf Standardfenster (1,48x1,23)	Heinze Baupreisinfo
Fenster 1-3 - Holz Alu	MK-Abbruch	m ²	-19,80 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	MK-Entsorgung	m ²	-5,54 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Fenster 1-3 - Holz Alu	Holz Alu Fenster Neu	m ²	435,60 €/m ²	n.r.		Romm ZT
Stütze 1 - Rotorblatt	Kaufpreis - best case	t	-500,00 €/t	n.r.	negativer Kaufpreis	Woschitz
Stütze 1 - Rotorblatt	Kaufpreis - middle case	t	0,00 €/t	n.r.	Annahme Schenkung	-
Stütze 1 - Rotorblatt	Kaufpreis - worst case	t	999,72 €/t	n.r.	Durchschnittsbildung von 7 Positionen	www.wind-turbine.com
Stütze 1 - Rotorblatt	Manipulationskosten	Stk	100,00	n.r.	pro Schnitt durch Spezialunternehmen	Woschitz
Stütze 1 - Rotorblatt	Verbindungstechnik	Stk	500,00	n.r.	pro Verbindungspunkt	Woschitz
Stütze 1 - Rotorblatt	Transport inkl. be- und entladen	Stk	5000,00 €/Stütze	n.r.	pro Stütze	Woschitz
Stütze 1 - Rotorblatt	Entsorgung Rotorblatt	t	270,00 €/t	n.r.	Rechnung	Wien Energie
Stütze 1 - STB (konventionell)	Schalung, Stütze, rechteckig, glatt	m ²	73,00 €/m ²	n.r.	unterer Durchschnitt	BKI Positionen 2022
Stütze 1 - STB (konventionell)	Betonstahl, Bst 500B	kg	1,80 €/kg	n.r.	Durchschnitt	BKI Positionen 2022
Stütze 1 - STB (konventionell)	Beton C 50/60	m ³	293,00 €/m ³	n.r.	oberer Maximalwert (Aufwertung C25/30 auf C50/60)	BKI Positionen 2022
Doppelboden	Doppelboden Materialwert	m ²	70 €/m ²	n.r.	z.B. Lindner Doppelboden, ohne Montage	Romm ZT
Alles Preisbasis 2022						

Anhang E – Auszug ISDEC Projektmappe „Zwischenraum“

Quelle: (Projekt 'Zwischenraum - Raum für Nachbarschaft', 2022)



ZWISCHENRAUM

RAUM FÜR NACHBARSCHAFT

Martina Hahn | 51846276
 Tanja Kroboth | 51840765
 Martin Bauernfeind | 01478774

ISDEC 2030 

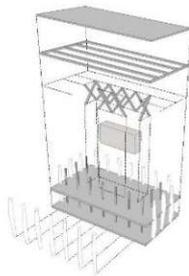
PROJEKTBE SCHREIBUNG

5



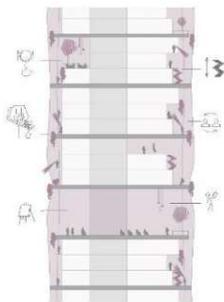
ARCHITEKTUR

Hauptgedanke der architektonischen Gestaltung war es die vertikale Anonymität eines Hochhauses zu lösen und nicht mehr nur in Ebenen sondern in übergreifenden Räumen zu denken. Das geplante Hochhaus gibt den Nutzer*innen die Möglichkeit in einem „ZWISCHENRAUM“ über jeweils 3 Ebenen zu kommunizieren und so eine vertikale Nachbarschaft im Gebäude entstehen zu lassen. Durch Treppen und Terrassen soll die sonst starke Anonymität im Hochhaus gelöst werden. Auch die Sockelzone soll durch eine offene und transparente Gestaltung Raum für sozialen Austausch und Begegnung mit der Natur schaffen.



INGENIEURBAU

Die Idee war es eine langlebige Stahlbetongerüst zu schaffen, in welches ein variables Holzsystem hineingebaut werden kann. Das Gerüst besteht aus Stahlbeton Hohldeckendecken auf STB-Verbund-Unterzügen. Als Außenstützen werden wiederverwendete GFK-Rotorblätter von Windrädern herangezogen, die Stützen im konditionierten Bereich bestehen aus STB. Der aussteifende Kern wird durch massiven Stahlbetonauskreuzungen ersetzt, welche für die Aussteifung dienen und die Struktur des Gebäudes auch im Inneren spürbar machen. Die liftführenden Schächte und Treppenhäuser können somit aus Ökobeton hergestellt werden, wodurch der STB-Anteil im Gebäude deutlich reduziert wird.



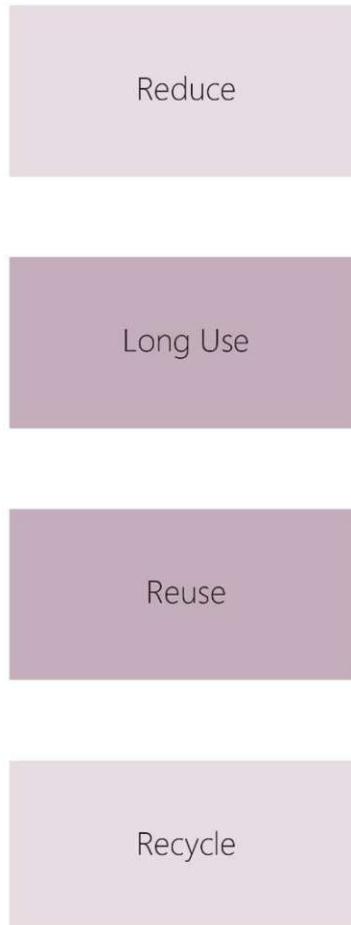
NACHHALTIGKEIT

Die 3 geschossige Gliederung des langlebigen Stahlbetongerüsts ermöglicht nicht nur das Einbringen vertikaler Begegnungszonen (soziale Nachhaltigkeit) sondern auch eine ökonomische und ökologische Bauweise. Innerhalb der 3 Geschosse können Wände und Decken aus Holz variabel kombiniert werden, wodurch flexible Nutzungsszenarien, Anpassbar- und Austauschbarkeitmöglich sind. Windrad-Rotorblätter als Stützen an der Fassade bilden den Hauptschwerpunkt des Circular Economy Gedankens und lassen so die Kreislauffähigkeit des Gebäudes nach außen sichtbar werden.

8 SCHWERPUNKT CIRCULAR ECONOMY

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft: ISDEC2020

Im Bericht „Ressourcenschonung und Nachhaltigkeit im Bauwesen“ der Stadt Wien werden 4 Kernpfeiler des Circular Economy Gedankens präsentiert. Aufgrund des Standortes und der Aufgabenstellung wurden für das vorliegende Projekt die Schwerpunkte „Long Use“ und „Reuse“ ausgewählt, um das übergeordnete Projektziel eines zirkulären Hochhauses zu erreichen.



SCHWERPUNKT CIRCULAR ECONOMY

9

LONG USE



NUTZUNGSFLEXIBILITÄT Die 3-geschossige Bauweise und ein regelmäßiger Stützenraster ermöglichen eine flexible Nutzung sowie die kostengünstige und leichte Möglichkeit der Umnutzung von Büro auf Wohnen, Hotel oder Mischnutzung.



BERÜCKSICHTIGUNG VON LEBENSDAUERN Durch die sortenreine Trennung in langlebiges STB-Gerüst und kurzlebigen Ausbau, sowie einfach zu lösende Verbindungen ist ein einfacher Tausch der einzelnen Komponenten möglich.



SOZIALE NACHHALTIGKEIT - AKZEPTANZ Die Akzeptanz bei den NutzerInnen ist wichtig, um das Gebäude lang ökonomisch betreiben zu können. Bei der Planung wurde der sozialen Nachhaltigkeit ein besonders hoher Stellenwert beigemessen.



NACHHALTIGES ENERGIEKONZEPT Ein nachhaltiges und zukunftsorientiertes Energiekonzept ermöglicht einen langen, umweltschonenden Betrieb. Getrennte Haustechnik, Einsatz von Geothermie und die Nutzung von Server-Abwärme.

REUSE



TRENNBARKEIT VON BAUTEILEN Bei den Verbindungen wurde auf die Trennbarkeit geachtet, um die Bauteile wiederzuverwenden. Die Holzelemente werden gesteckt, der Doppelboden verschraubt und nicht geklebt.



BESTEHENDES WEITER NUTZEN Noch vor dem ersten Planungsschritt wurden lokale Objekte recherchiert, welche in großen Mengen vorhanden sind und als Baumaterial geeignet sind. Zwei wesentlich entwurfsbestimmende Objekte:



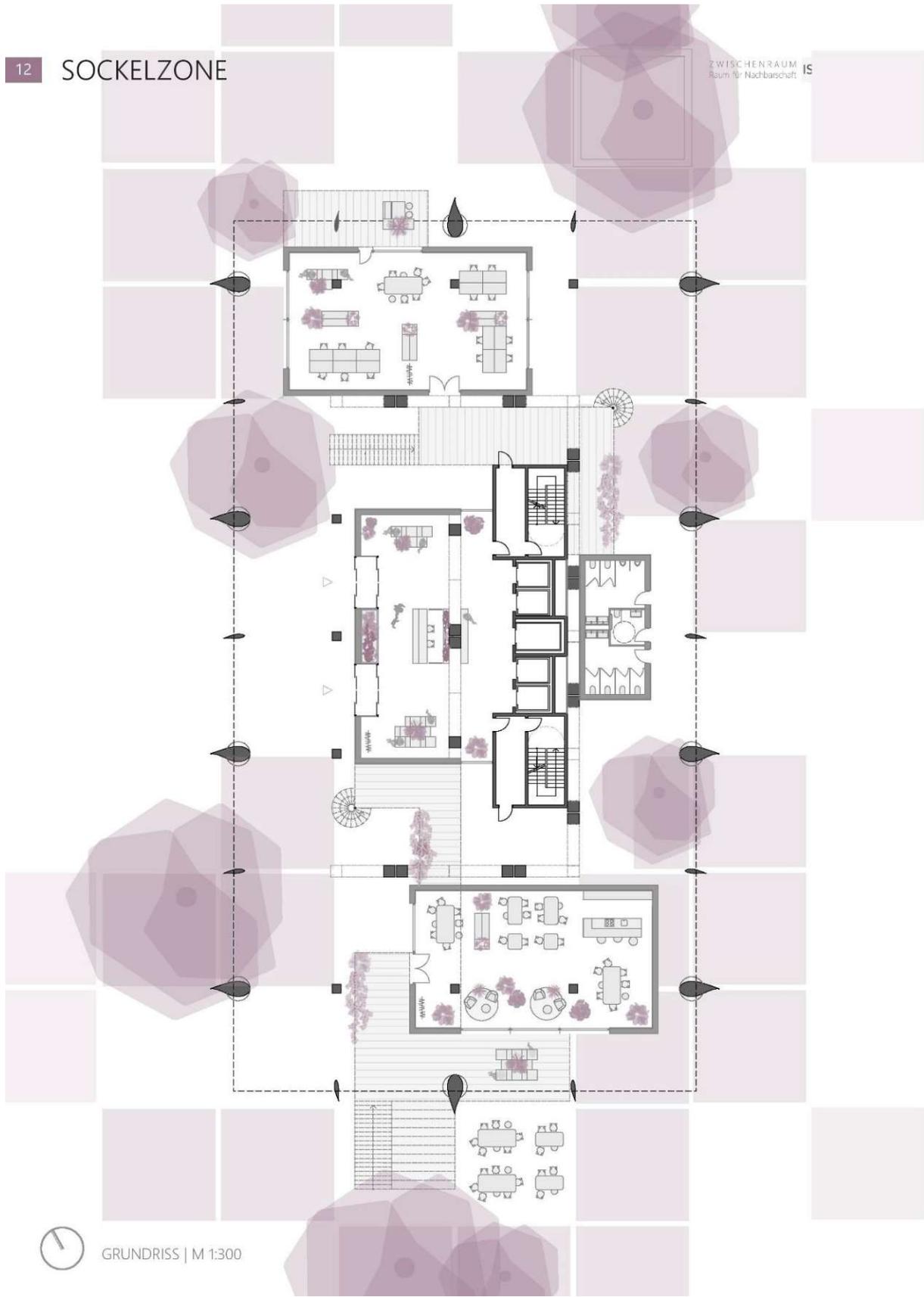
ROTORBLÄTTER ALS AUSSENSTÜTZEN Aufgrund der kurzen Lebensdauern von Windrädern sowie dem schlechten Recyclingmaterial können Rotorblätter ideal als Außenstützen für Hochhäuser wiederverwendet werden.



GLASSCHEIBEN VON TELEFONZELLEN Aufgrund der Änderung des Telekommunikationsgesetzes müssen in Österreich keine Telefonzellen mehr betrieben werden. Die Entsorgung ist für den Betreiber nicht wirtschaftlich.

12 SOCKELZONE

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft 15

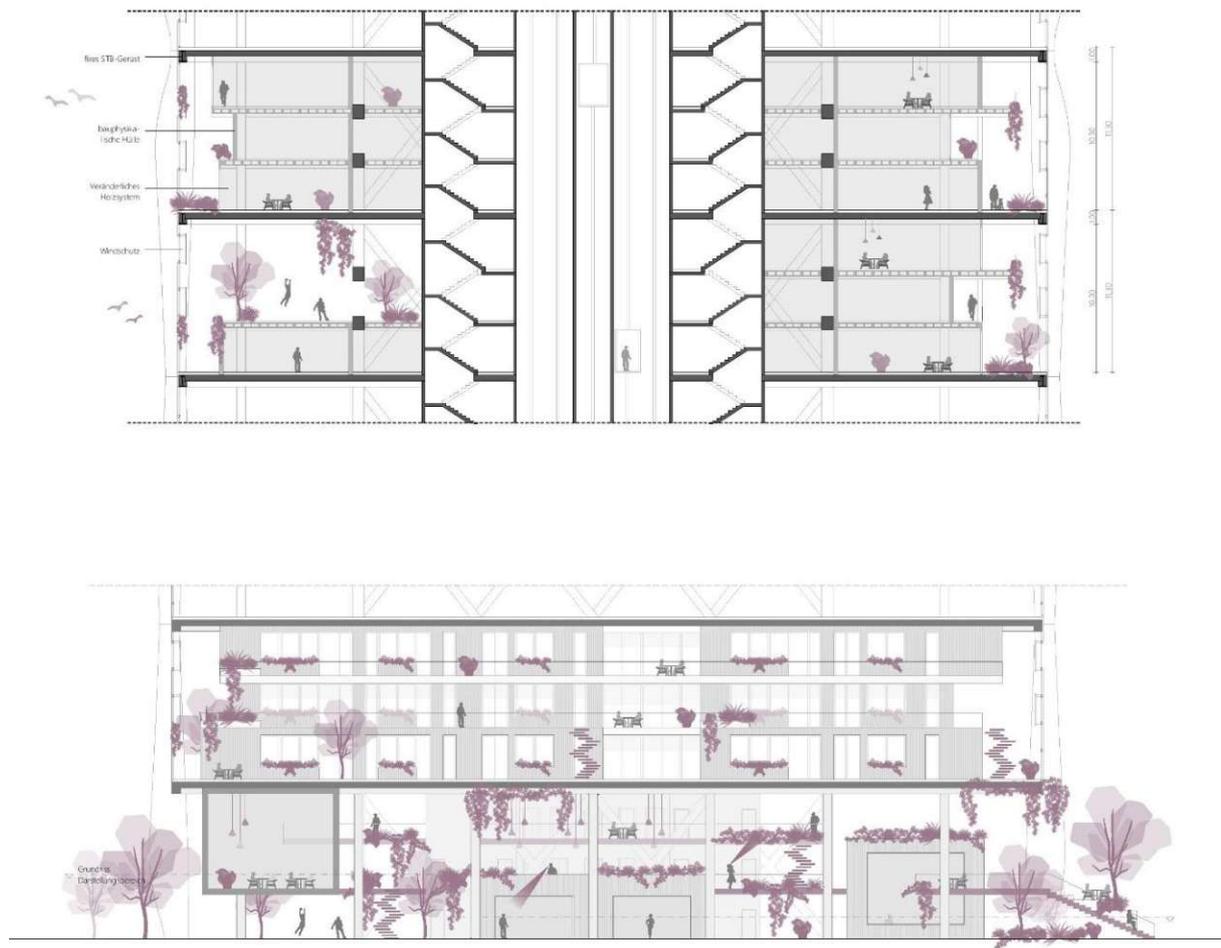


GRUNDRISS | M 1:300

SOCKELZONE - RAUM FÜR NATUR & MENSCH

13

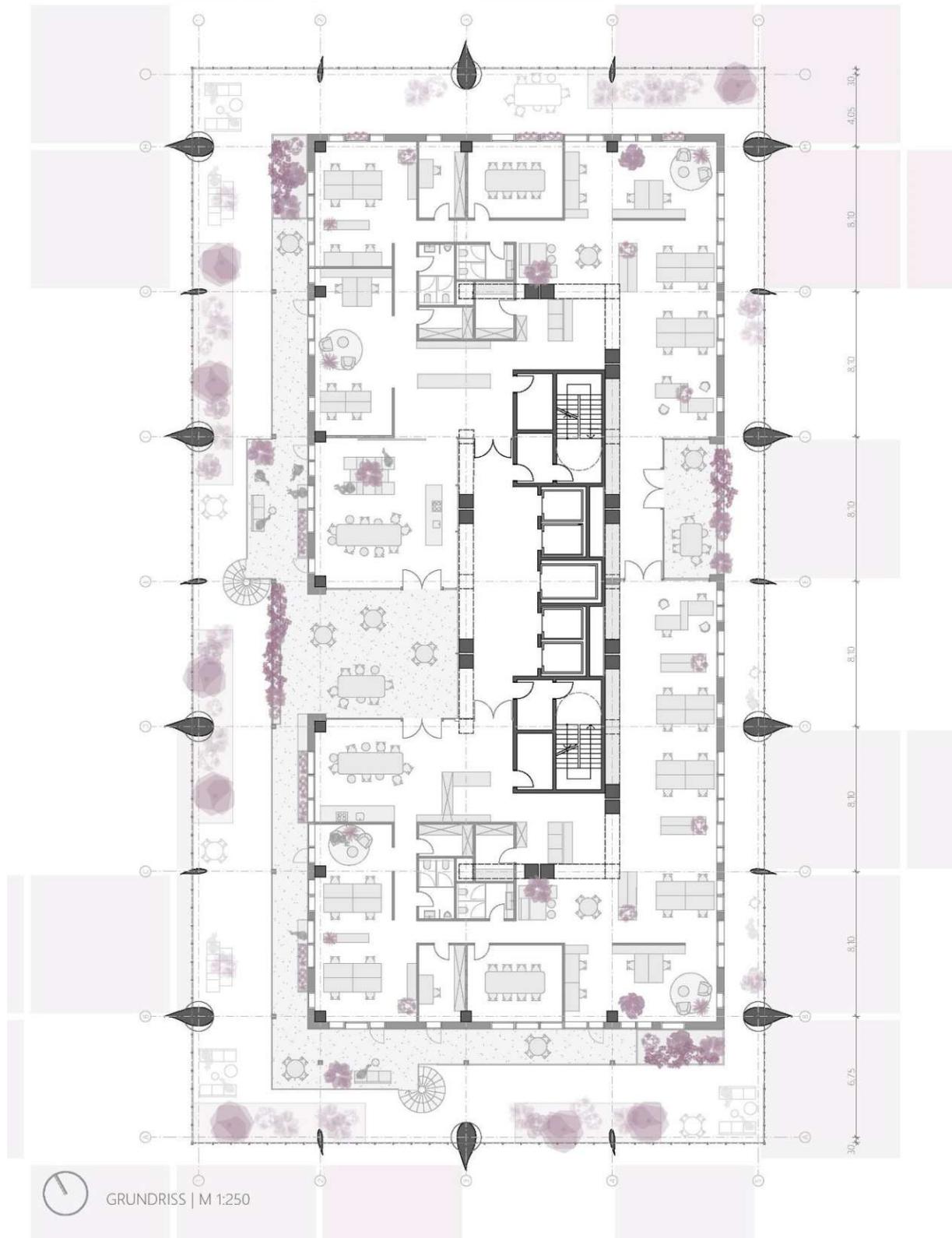
Die 3-geschossige Sockelzone bildet einen fließenden Übergang zum Außenraum. Nur wenige Räumlichkeiten in Form von „Boxen“ füllen den Raum. Der Großteil des Raumes aber bleibt Außenraum mit viel und üppiger Begrünung und soll so dem fehlenden Grünraum am Standort entgegenwirken. BesucherInnen können hier über mehrere Ebenen Kaffee trinken, Bücher lesen oder auch konsumfrei die Natur genießen. Zwischen diesen beiden Hüllen entsteht ein unkonditionierter Raum, der soziale Interaktion und geschoßübergreifende Nachbarschaft zulassen soll. Dies spiegelt abseits der ökologischen Nachhaltigkeit einen weiteren Schwerpunkt des Projektes wieder, nämlich die soziale Nachhaltigkeit.



SCHNITTANSICHT SOCKELZONE | M 1:400

14 REGELGESCHOSS BÜRO

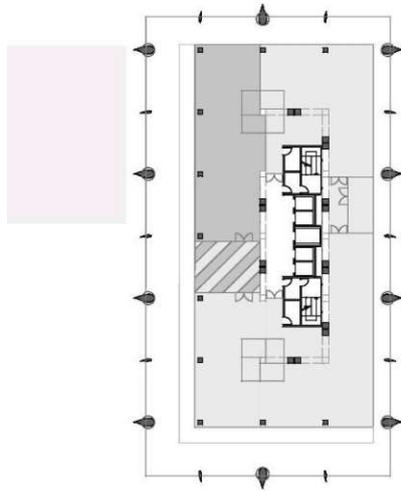
ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft ISDEC₂₀₀₀



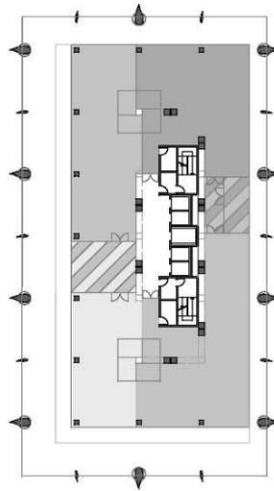
Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

NUTZUNGSFLEXIBILITÄT ÜBER ALLE GESCHOSSE

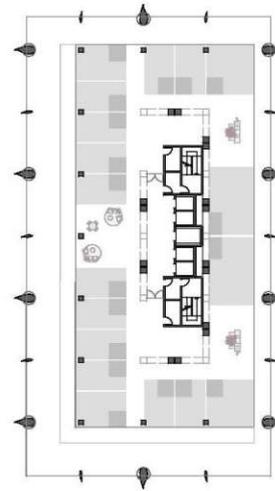
15



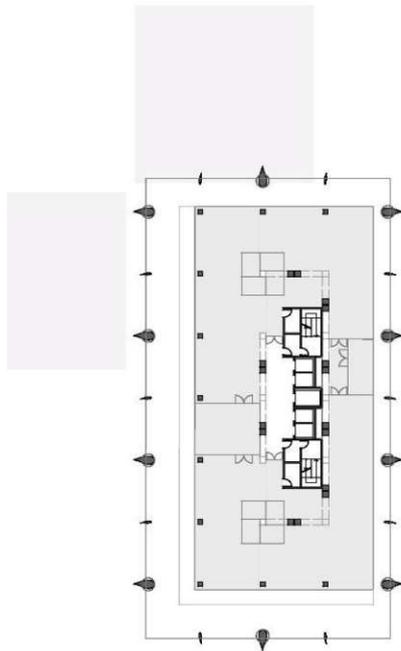
Großes und kleines Büro



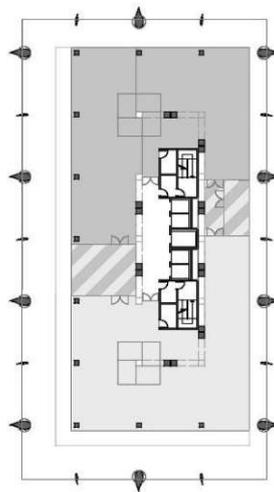
Vier kleine Büros



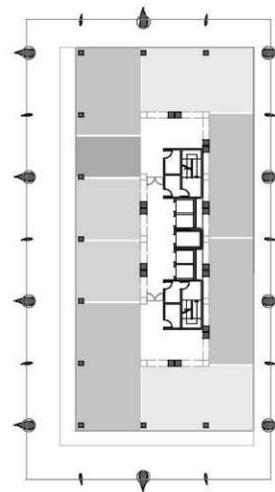
Hotel / Wohnheim



Großraumbüro



Zwei mittelgroße Büros

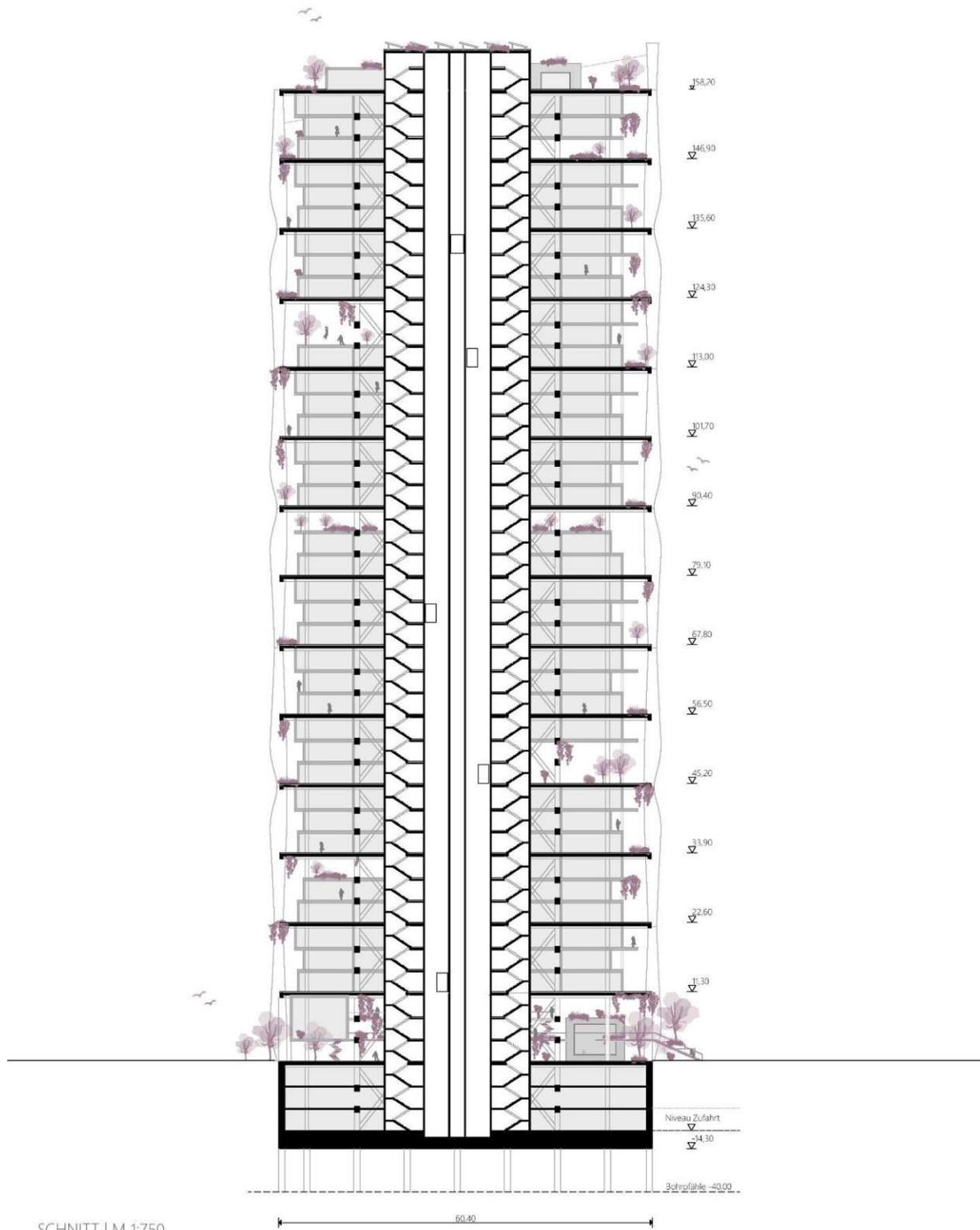


Wohnungsmix



16 LÄNGSSCHNITT

max. Höhe 175,00m
 ZWISCHENRAUM Raum für Nachbarschaft: ISDEC₂₀₂₀



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.

QUERSCHNITT

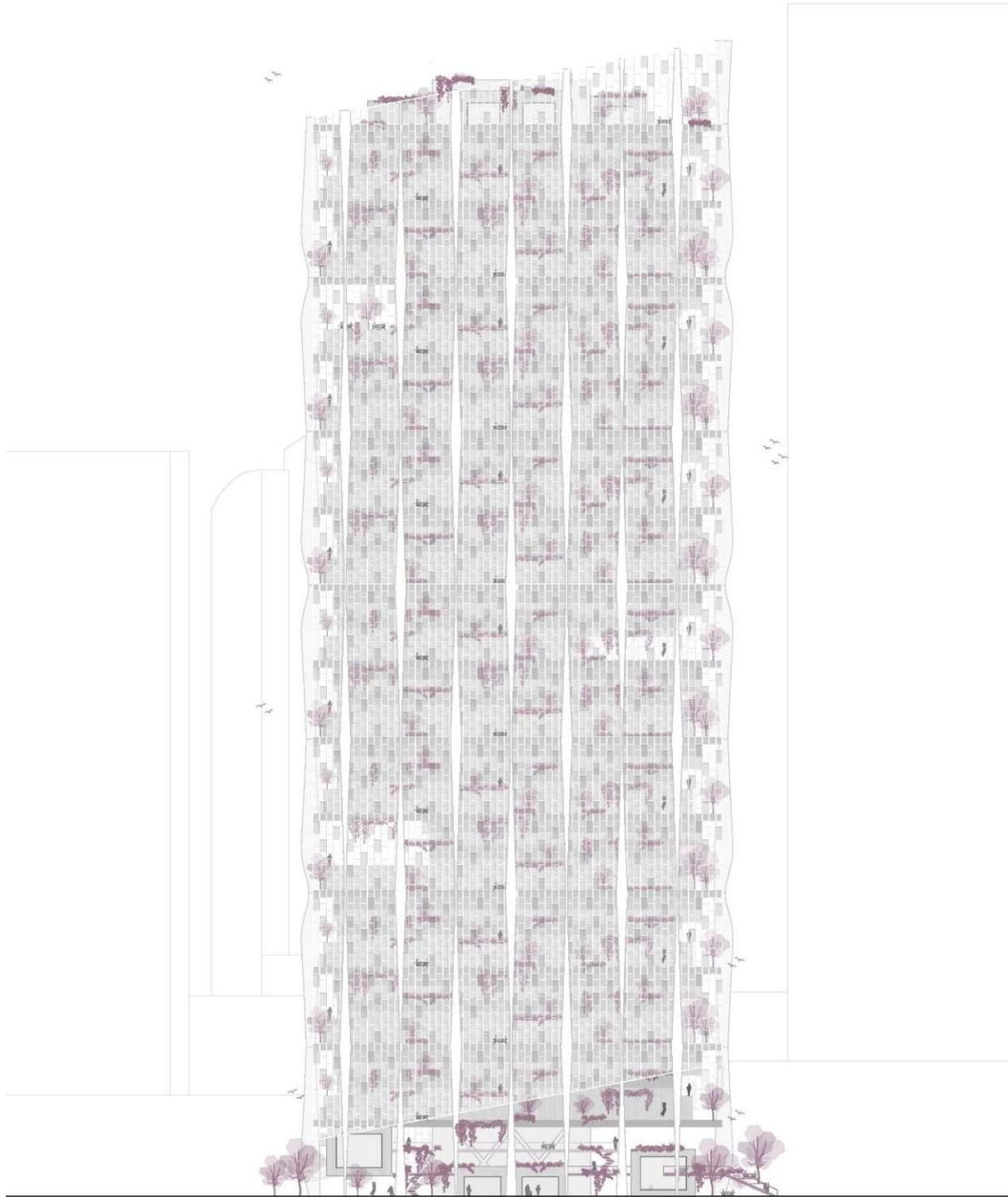




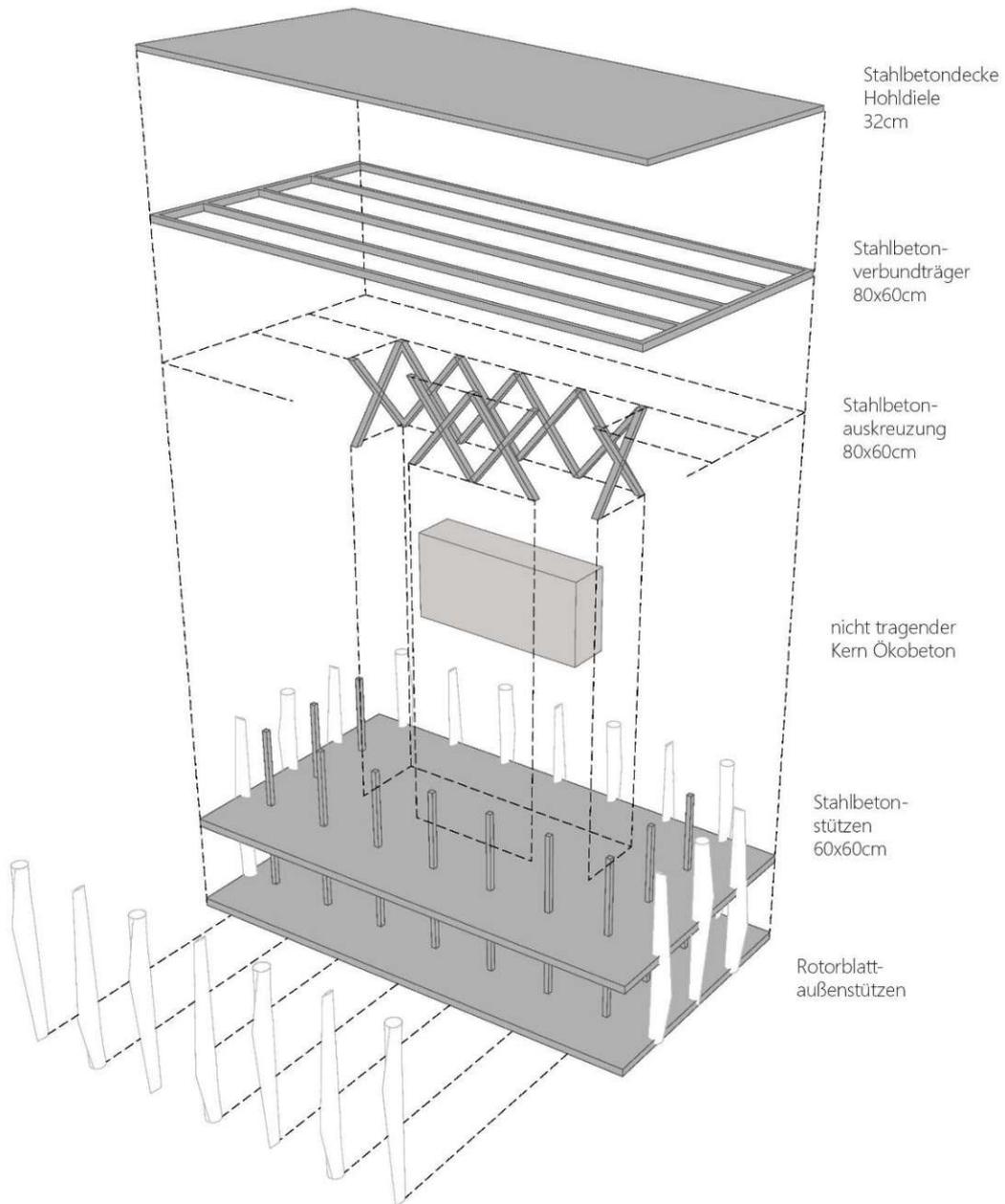
18

ANSICHT SÜDOST

19



ANSICHT SÜDOST | M 1:700



SHORT USE KOMPONENTEN

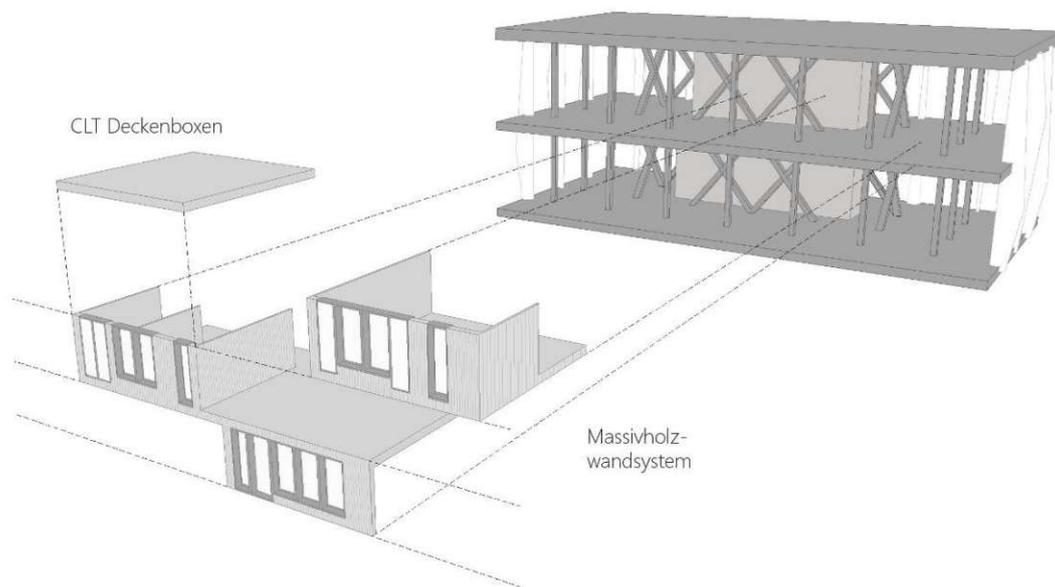
21

LONG USE

Die Long Use-Komponenten aus Stahlbeton, Rotorblättern und leichtem Kern schaffen ein langjähriges Gerüst, das viele Jahre überdauert und daher nur aus beständigen Materialien besteht. Das so erschaffene „Regal“ bietet flexible Möglichkeiten der Befüllung als SHORT USE Komponenten.

SHORT USE

Im Projekt angedacht ist die Variante der „Befüllung“ mit Holzwänden und Holzdecken. Witterungsgeschützt sitzt die Holzkonstruktion rückversetzt im Gerüst. Im Innenausbau erlaubt die leichte und kleinteilige Bauweise rasche Änderungen und Anpassungen der Raumstruktur.

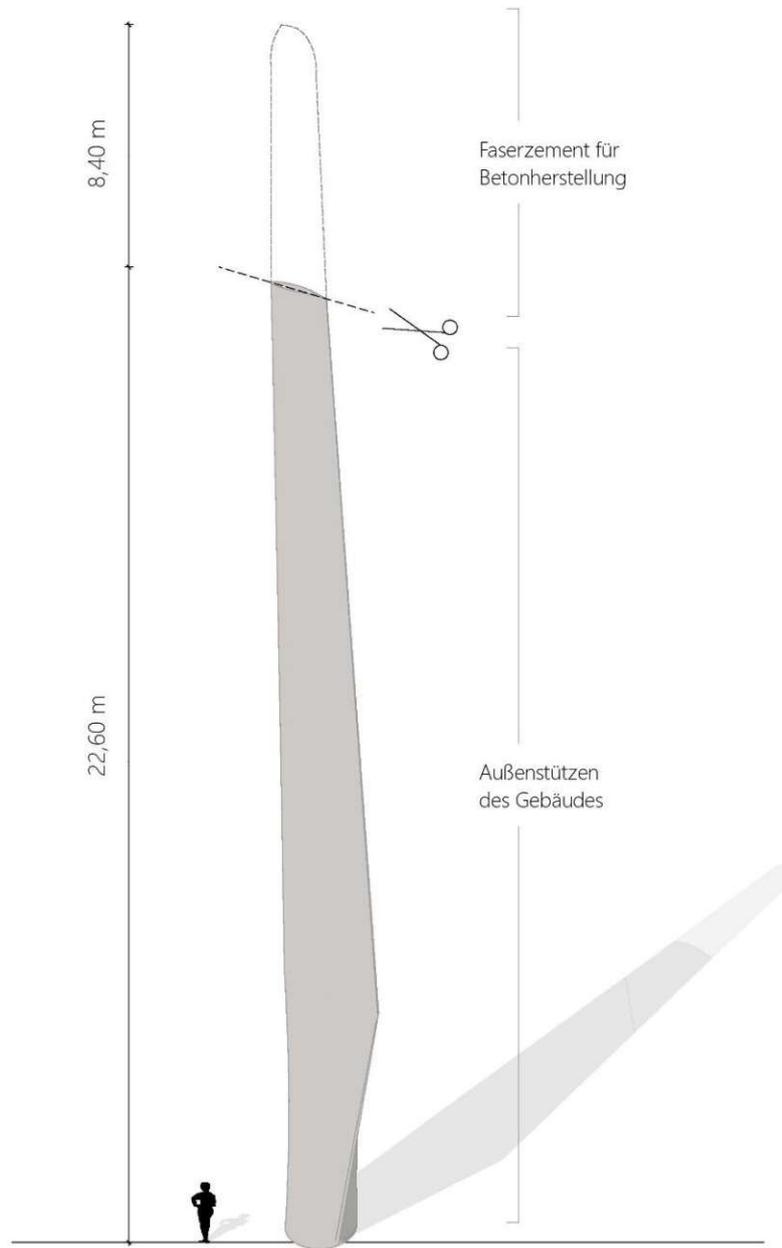


CLT Deckenboxen

Massivholz-
wandsystem

22

WINDRAD-ROTORBLATT ALS AUSSENSTÜTZE

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft: ISDEC₂₀₂₀

Einsatz von 140 Rotorblättern im Projekt

WINDRAD-ROTORBLATT ALS AUSSENSTÜTZE

23

WIESO ROTORBLÄTTER REUSEN?



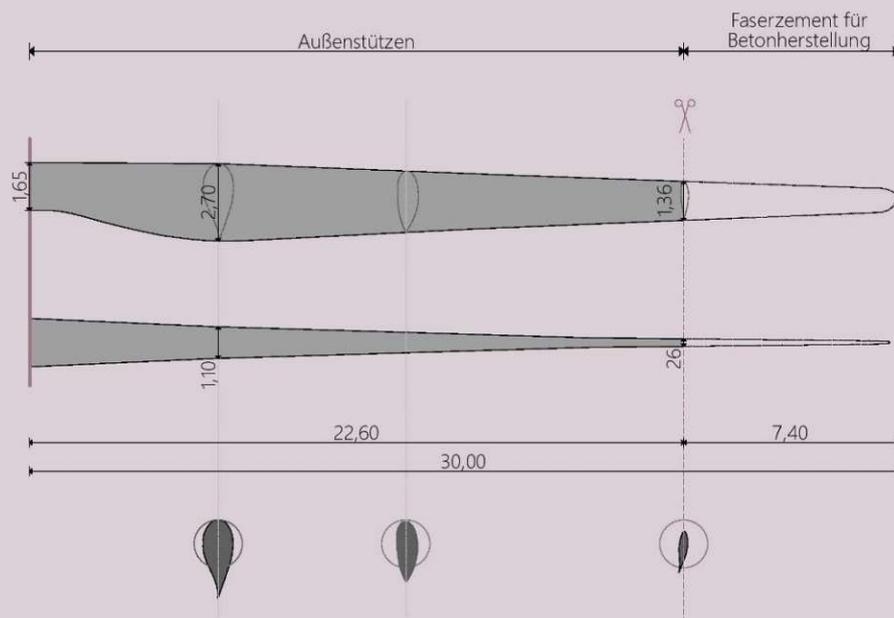
Entsorgung von Windrädern nach 20-30 Jahren
aufgrund Auslaufen von Förderungen, Tausch der Generatoren



Hohe Entsorgungskosten, kein Recycling möglich
3.600€ pro Rotorblatt, GFK-Material



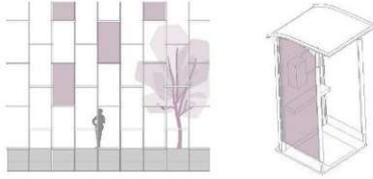
Hohe Tragfähigkeit & Witterungsbeständigkeit
Biegefestigkeit 140-150t, Widerstand gegen Ausreißen 1t



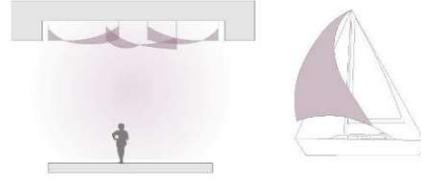
Anm.: Im Rahmen der Entwurfsausarbeitung fanden Abstimmungsgespräche mit dem Ingenieurbüro Woschitz statt, welches intensiv zum Einsatz von Rotorblättern im Hochbau forscht und Versuche zur Tragfähigkeit anstellt.

EINGESETZTE MATERIALIEN SHORT-USE

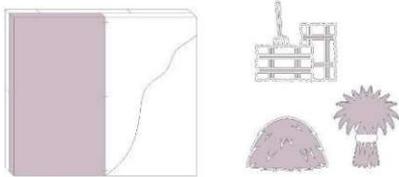
25



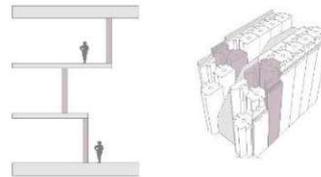
Telefonzellenscheibe als Windfassade
ca. 7.900 Stück



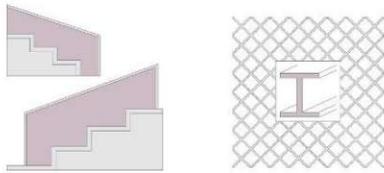
Segeltuch als abgehängte Decke
ca. 48.426 m²



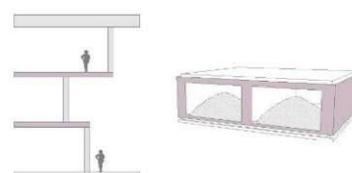
Strohbauplatte als Innenwand
ca. 2.150 Laufmeter



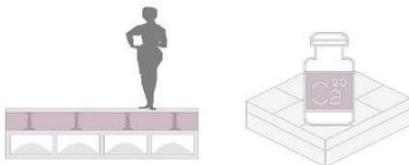
Naturi-Massivholz als Außenwand
ca. 6.767 m² bzw. 3.354 Laufmeter



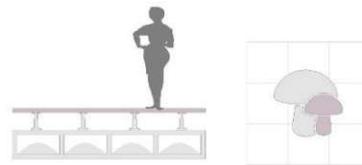
Stahlgitternetz als Absturzsicherung
ca. 1.814 Laufmeter



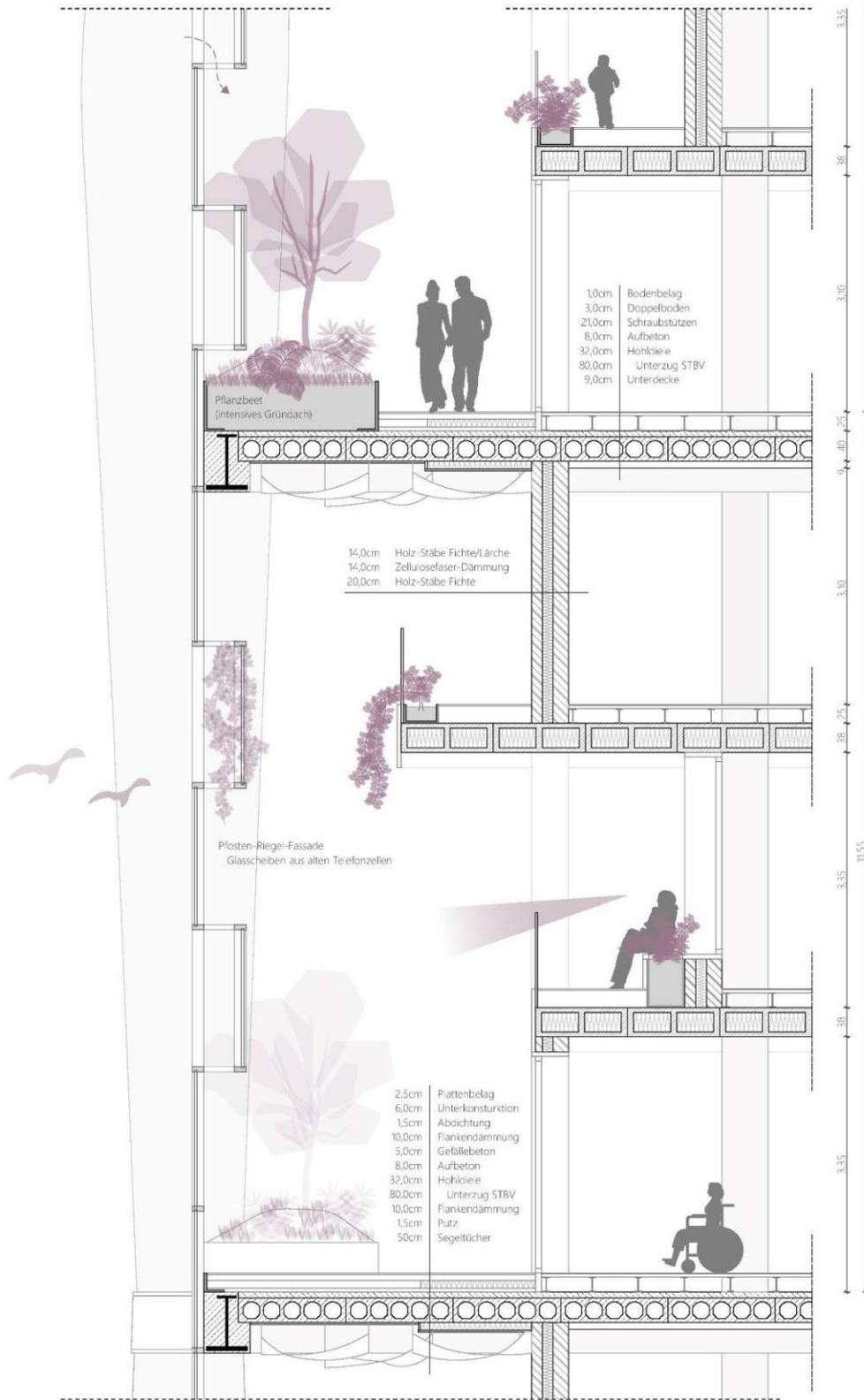
Holzboxendecke als Geschossdecke
ca. 33.980 m²



Doppelboden aus Calciumsulfat
ca. 116.390 m²



Bodenfliesen aus Mycel-Fasern (Pilz)
ca. 57.050 m²



38

Anhang 01:

MATERIALDATENBLÄTTER

ANHANGSVERZEICHNIS 01

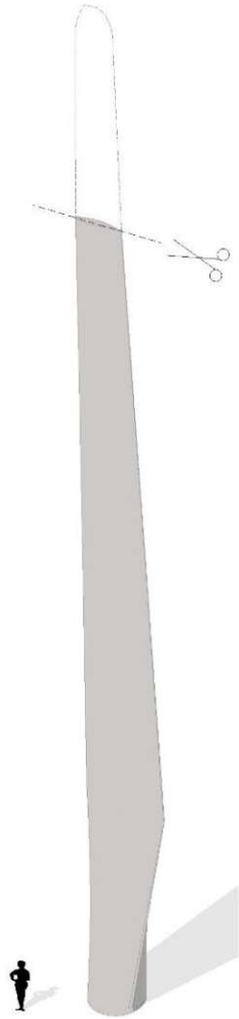
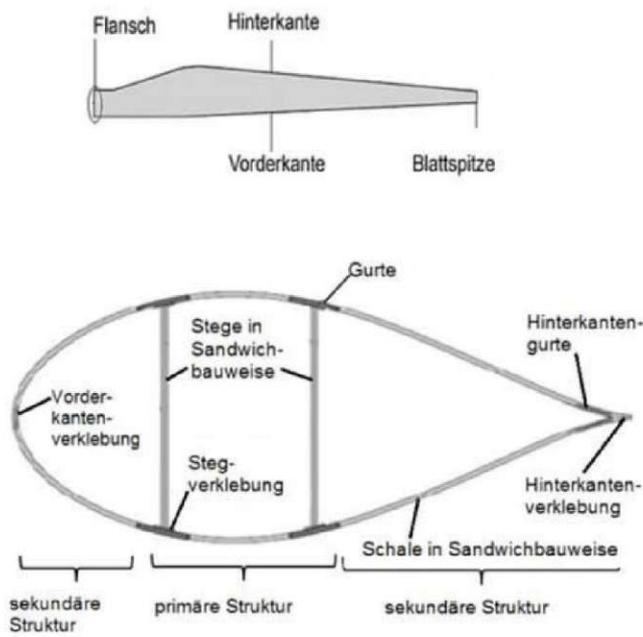
39

ROTORBLATT (AUSSENSTÜTZE)	S.40
HOHLDIELENDECKE	S.46
NATURI HOLZ (AUSSENWAND)	S.48
SCHNEIDER HOLZ (DECKE)	S.50
iSTRAW (INNENWAND)	S.52
NORTEC DOPPELBODEN	S.54
MOGU FLOOR TILES	S.56

Anm.: Die nachfolgenden Produkte wurden in der Planung aufgrund ihrer Regionalität sowie der Kompatibilität mit dem Projekt und der ökologischen Nachhaltigkeit unter dem Reuse- bzw. Recycling-Gedanken ausgewählt. Die Produkte stellen einen Vorschlag seitens Planung dar, andere Produkte sind unter der Voraussetzung der Gleichwertigkeit hinsichtlich o.a. Kriterien ebenfalls zulässig.

ROTORBLATT (AUSSENSTÜTZE)

Produkt: Dwind D6 - 64
 Bauteil: Außenstützen
 Link: Zusammenarbeit mit Woschitzgroup | <https://www.woschitzgroup.com> (2022/04)



46

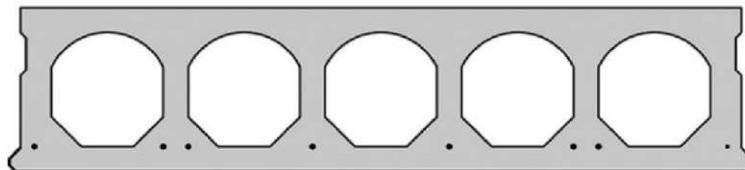
HOHLDIELENDECKE

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft: ISDEC₂₀₂₀

Produkt: VSD SPANNBETONHOHLDIELEN
 Bauteil: STB Decke
 Link: <https://www.oberndorfer.com/deckensysteme/vsd-vorgespannte-hohldiele> (2022/06)

VORTEILE LT. WEBSITE

- geringe Bauhöhe; weite Spannweiten
- bis zu 22 m große Spannweiten
- frei von Rissen
- wesentlich kleinere Durchbiegungen
- Einbau ohne Unterstellung



48

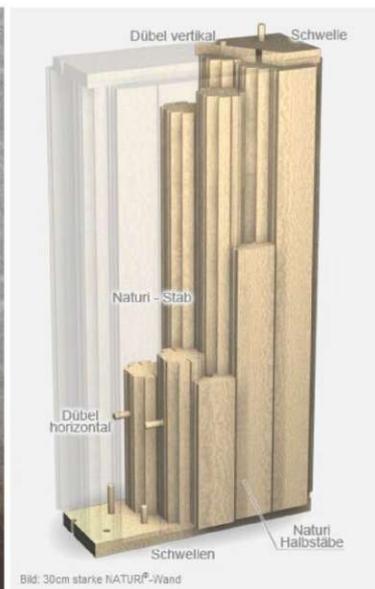
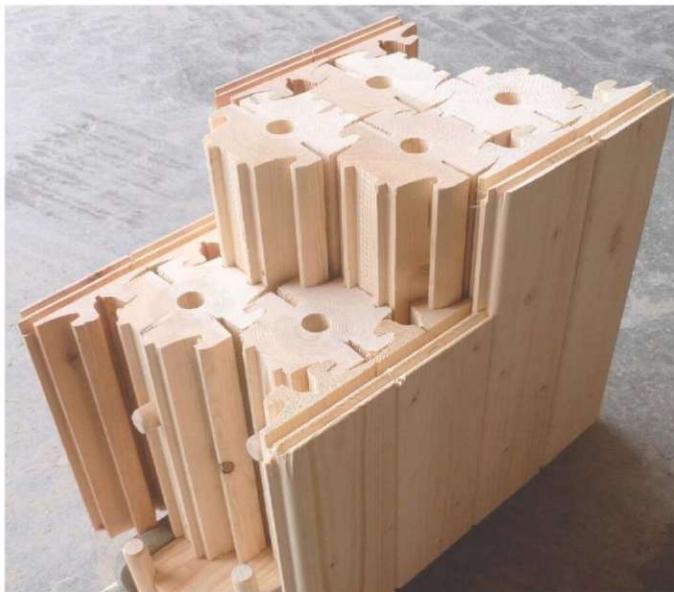
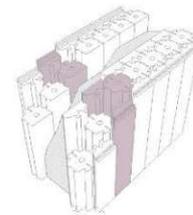
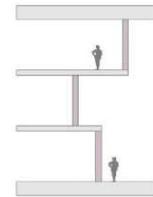
NATURI HOLZ

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft: ISDEC₂₀₂₀

Produkt: Massivholz – Wandsystem
 Bauteil: Außenwand
 Quelle: <http://www.naturi-haus.at> (2022/06)

VORTEILE LT. WEBSITE

- Winddicht ohne Leim und Folie durch patentierte Form
- Atmungsaktiv ohne Dampfsperre
- Ökologisch, hohe CO² Bindung
- Niedriger Energieverbrauch bei der Herstellung
- Niedrigenergiestandard (U-Wert 0,126 W/m²K)

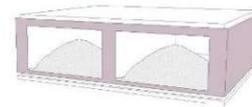
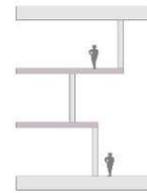


SCHNEIDER HOLZ (DECKE HOLZ)

Produkt: best wood CLT BOX – DECKE FS
 Bauteil: Geschossdecke Holz
 Link: <https://www.schneider-holz.com/de/produkte/holz/hohlkastenelement/dt-box-decke-fs/> (2022/06)

VORTEILE LT. WEBSITE

- integrierter Gefach-Schallschutz
- Brandschutzanforderungen
- für den mehrgeschossigen Wohnungsbau geeignet
- Spannweiten bis zu 9m
- hoher Vorfertigungsgrad



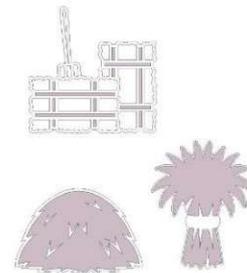
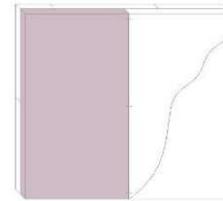
52

iSTRAW (INNENWAND)

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft ISDEC₂₀₂₀

Produkt: iSTRAW Strohbauplatten Trockenbau
 Bauteil: Trockenbau Innenwand
 Link: <http://www.istraw.de/strohbauplatte> (2022/06)

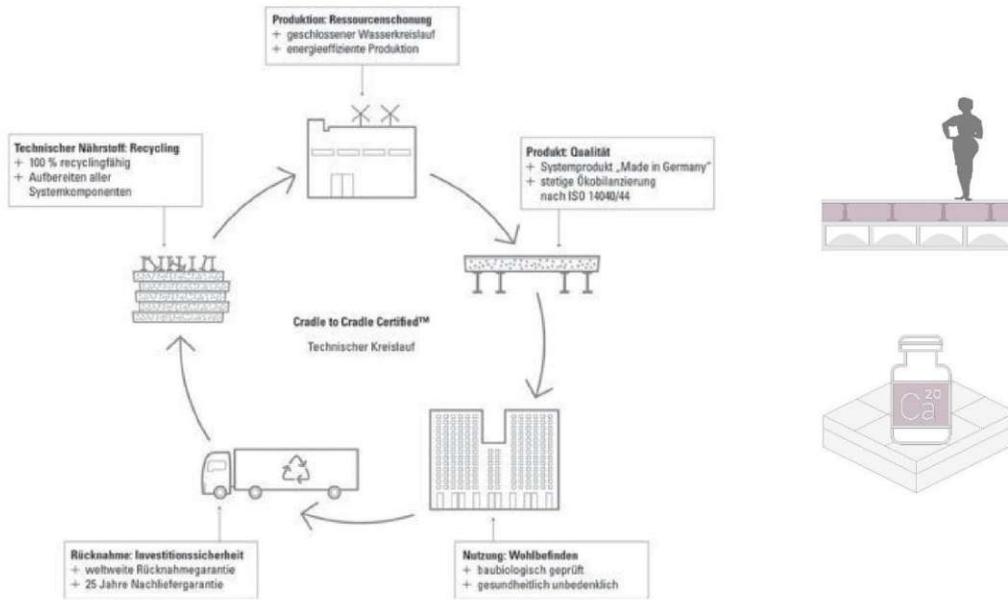
Standard Abmessung	800 x1200/3200mm
Stärke	38mm/58mm
Flächengewicht	15kg/22kg/m ²
Spezifische Dichte	ca. 379kg/m ³
Wärmeleitfähigkeit λ	0,099 W/ (mK)
Schalldämmung	28dB/32dB
Konsollast pro Schraube (ohne Dübel)	bis 80kg
Sd-Wert/Wasserdampfdiffusionswiderstand	0,36m/0,56m
Feuerwiderstandsklasse gemäß DIN EN 13501-2	EI 30 (F30 - feuerhemmend)
Brandverhalten gemäß – DIN EN 13501-1	E (normal entflammbar) [B2]
Brennendes Abfallen gemäß – DIN EN 13501-1	Nein
Widerstand gegen mechanische Beschädigung (EN 596)	bis 180 J (hoher Widerstand)
Spezifische Wärmekapazität (Sommerlicher Wärmeschutz)	2.100 J (kg/K)
GWP CO2eq/m ²	-23,9kg / - 36,5kg/m ²



54 NORTEC (DOPPELBODEN)

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft ISDEC₂₀₂₀

Produkt: NORTEC Doppelboden von Lindner
 Bauteil: Unterkonstruktion Doppelboden
 Link: https://www.lindner-group.com/de_AT/ausbauprodukte/boden/doppelboden/nortec/ (2022/06)



56

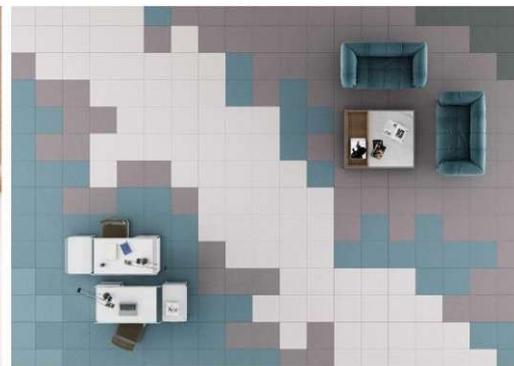
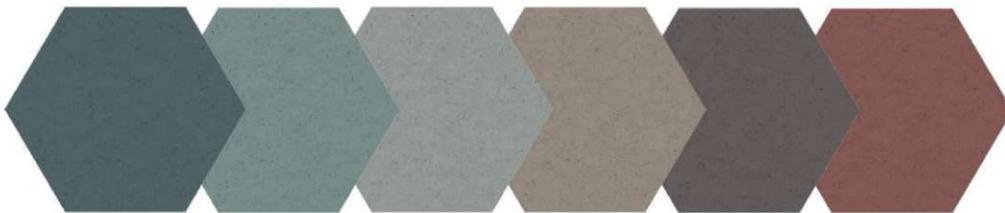
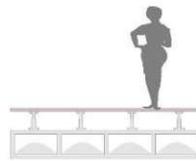
MOGU FLOOR TILES (BODENBELAG)

ZWISCHENRAUM
Raum für Nachbarschaft ISDEC2020

Produkt: mogu Floor Tiles
 Bauteil: Bodenbelag Doppelboden
 Link: <https://mogu.bio/mogu-floor/floor-tiles> (2022/06)

VORTEILE LT. WEBSITE

- Mycelium-Basis (Pilze)
- Schnell nachwachsender Rohstoff
- Minimaler Einsatz von Ressourcen
- 100% plastik-frei
- Biologisch abbaubares Material
- 87% biobasiertes Material



ZWISCHENRAUM

RAUM FÜR NACHBARSCHAFT

IMPRESSUM

Das Projekt wurde im Rahmen des Integrativen Entwerfens „ISDEC - Circular Spire“ im Masterstudium Architektur an der TU Wien unter den Vortragenden Maximilian Knoll und Eva Rotschopf entwickelt. Folgende Studierende haben am Projekt mitgewirkt:

MARTINA HAHN
Matrikelnummer: 51846276
E-Mail: e51846276@student.tuwien.ac.at
SS2022, Studentin der TU Wien

TANJA KROBOTH
Matrikelnummer: 51840765
E-Mail: e51840765@student.tuwien.ac.at
SS2022, Studentin der TU Wien

MARTIN BAUERNFEIND
Matrikelnummer: 01478774
E-Mail: e01478774@student.tuwien.ac.at
SS2022, Student der TU Wien

Die Inhalte der Präsentationsmappe sind geistiges Eigentum der Verfasser und bei Verwendung entsprechend zu zitieren.

ISDEC₂₀₃₀ 