

Entwicklung eines datenvisualisierenden Tools zur Entscheidungsunterstützung im Target Sustainability Design (TSD)



Verfasser

Hakan Özbucak

Thesis-Begleiterin:

Prof. Dr. Margarete Olender

Anita Naneva

Thesis-Expertin:

INEB, Amt für Industrielle Betriebe

Praxispartner*in:

Eigenständigkeitserklärung

«Ich erkläre hiermit,

dass ich die vorliegende Master-Thesis mit dem Titel «Entwicklung eines datenvisualisierenden Tools zur Entscheidungsunterstützung im Target Sustainability Design (TSD)» selbst und selbständig verfasst habe,

dass ich sämtliche nicht von mir selbst stammenden Textstellen bzw. Bestandteile eines Werkes (Bilder, Grafiken, Codes, etc.) gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln korrekt zitiert und die verwendeten Quellen gut sichtbar erwähnt habe;

dass ich in einem Verzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme wie Chatbots [z.B. ChatGPT], Übersetzungs- [z.B. DeepL] Paraphrasier- [z.B. Quillbot]) oder Programmierapplikationen [z.B. Github Copilot] deklariert und ihre Art der Verwendung offenlege und bei den entsprechenden Textstellen angegeben habe,

dass ich sämtliche immateriellen Rechte an von mir allfällig verwendeten Materialien wie Bilder oder Grafiken erworben habe oder dass diese Materialien von mir selbst erstellt wurden;

dass das Thema, die Arbeit oder Teile davon nicht bei einem Leistungsnachweis eines anderen Moduls verwendet wurden, sofern dies nicht ausdrücklich mit der Dozentin oder dem Dozenten im Voraus vereinbart wurde und in der Arbeit ausgewiesen wird;

dass ich mir bewusst bin, dass meine Arbeit auf Plagiate und auf Drittautorschaft menschlichen oder technischen Ursprungs (künstliche Intelligenz) überprüft werden kann;

dass ich mir bewusst bin, dass die Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik einen Verstoß gegen diese Eigenständigkeitserklärung bzw. die ihr zugrundeliegenden Studierendenpflichten der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik verfolgt und dass daraus disziplinarische (Verweis oder Ausschluss aus dem Studiengang) Folgen resultieren können.»

Vorname Nachname: Hakan, Özbucak

Ort, Datum: Muttenz, 23.05.2025

Unterschrift:

Vorwort

Diese Masterarbeit ist der Abschluss meines Studiums Master of Science in Virtual Design and Construction (VDC) an der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) in Muttenz. Im Verlauf des Studiums entwickelte sich ein besonderes Interesse an der Frage, wie Nachhaltigkeit in Bauprojekte integriert werden kann. Die Themenwahl orientierte sich deshalb am Ziel, einen konkreten Mehrwert für die berufliche Praxis zu schaffen insbesondere im Hinblick auf meine Tätigkeit als Projektleitung im Bereich Abwasseranlagen beim Amt für Industrielle Betriebe (AIB) des Kantons Basel-Landschaft.

In der täglichen Praxis zeigt sich immer wieder, dass Entscheidungen in frühen Projektphasen überwiegend auf ökonomische Aspekte ausgerichtet sind. Ökologische und soziale Kriterien geraten dabei oft in den Hintergrund, obwohl gerade sie wesentlich zur langfristigen Qualität und Verantwortung eines Bauvorhabens beitragen.

Die vorliegende Arbeit widmet sich daher der Entwicklung eines datenvisualisierenden Tools auf Grundlage der Target Sustainability Design (TSD)-Methodik, das Nachhaltigkeitsaspekte bereits in frühen Projektphasen sichtbar und vergleichbar macht.

Ein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Margarete Olender für die engagierte fachliche Begleitung sowie Anita Naneva für die fundierte Unterstützung als Expertin. Ebenso danke ich dem Amt für Industrielle Betriebe, das durch die Bereitstellung relevanter Projektdaten die praxisnahe Umsetzung dieser Arbeit ermöglicht hat.

Während der Ausarbeitung dieser Thesis konnten wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden, die das Verständnis für nachhaltige Entscheidungsfindung im Bauwesen vertieft haben. Es bleibt zu hoffen, dass auch die Lesenden dieser Arbeit einen fachlichen Nutzen daraus ziehen und zur weiteren Auseinandersetzung mit dem Thema angeregt werden.

Abstract

Nachhaltiges Bauen ist ein komplexer Prozess, der mit einer Vielzahl von Daten, Akteuren und Anforderungen verbunden ist. Aufgrund des hohen Ressourcenverbrauchs, der zunehmenden ökologischen Anforderungen sowie steigender Kosten steht die nachhaltige Planung häufig vor strukturellen Hemmnissen, wodurch ökologische Zielsetzungen in der Entscheidungsfindung nur unzureichend berücksichtigt werden. Insbesondere Bauherren stehen vor der Herausforderung, Entscheidungen zu treffen, die ökonomische, ökologische und soziale Aspekte gleichwertig einbeziehen. Dabei werden besonders die sozialen Aspekte trotz ihrer gesellschaftlichen Relevanz in der Praxis oft vernachlässigt.

Um dieser Herausforderung entgegenzuwirken, wurde die Target Sustainability Design (TSD)-Methodik entwickelt. Die Methodik baut auf dem Target Value Design (TVD) auf und zielt darauf ab, die drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie und Ökonomie) gleichgewichtet zu bewerten. Es existiert bisher jedoch noch kein Werkzeug dafür, dass diese Methodik umfassend umzusetzen kann.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein datenvisualisierendes Prototyp-Tool entworfen, das die Entscheidungsfindung in frühen Planungsphasen unterstützt. Es basiert auf den Prinzipien der TSD-Methodik und wurde anhand eines realen Fallbeispiels, der Gebäudehülle der maschinellen Vorklärung der ARA Birsig, getestet. Der Vergleich zweier Fassadenvarianten zeigt, dass die Stahlbetonfassade im Hinblick auf die TSD-Kriterien besser abschneidet.

Aus informellen Feedbackgesprächen mit Praxisbeteiligten wurden erste Rückmeldungen zur Bedienbarkeit und Verständlichkeit des Tools eingeholt. Diese bestätigen zudem, dass die visuelle Darstellung der Nachhaltigkeitskennzahlen ein hohes Potential bietet, die Verständlichkeit der Ergebnisse und die Kommunikation zu verbessern. Gleichzeitig wurden während der Entwicklung auch Herausforderungen bezüglich der Datenverfügbarkeit, Softwarekomplexität und Nutzeranforderungen festgestellt. Diese sollten in zukünftigen Weiterentwicklungen berücksichtigt und weiterentwickelt werden.

Schlagworte:

Nachhaltigkeit, Target Value Design (TVD), Target Sustainability Design (TSD), Entscheidungsfindung, BIM, IFC, LCSA, LCA, LCC

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AIB	Amt für Industrielle Betriebe
BIM	Building Information Modeling
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen
CO ₂ e	Kohlenstoffdioxid-Äquivalente
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
GWP	Global Warming Potential
IFC	Industry Foundation Classes
INEB	Institut für Nachhaltigkeit und Energie am Bau
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Cost
LCSA	Life Cycle Sustainability Assessment
LOD	Level of Development
LOG	Level of Geometry
LOI	Level of Information
MRC	Material Recycling Content
NIMMO	Nachhaltigkeitsbewertungssystem Immobilien (ZHAW/IMMO Zürich)
NWA	Nutzwertanalyse
RDBMS	relationaler Datenbankmanagementsystemen
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
S-LCA	Social Life Cycle Assessment
SNBS	Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz
TSD	Target Sustainability Design
TVD	Target Value Design
UMI	Urban Mining Index
UNEP	United Nations Environment Programme
ZPR	Zeitpräferenzrate

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	.....	III
Abstract	.....	IV
Abkürzungsverzeichnis	.....	V
1 Einleitung	.....	1
1.1 Ausgangslage und Motivation	.....	1
1.2 Beschreibung des Forschungsbedarfs	.....	1
1.3 Ziel der Arbeit und erwartete Resultate	.....	2
1.4 Abgrenzung der Arbeit	.....	2
1.5 Aufbau und Struktur dieser Arbeit	.....	2
2 Theoretische Grundlagen	.....	3
2.1 Nachhaltigkeit in der Baubranche: Konzepte und Modelle	.....	3
2.1.1 Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit	.....	3
2.1.2 Schwache vs. starke Nachhaltigkeit	.....	3
2.1.3 Nachhaltigkeitsdimensionen in der Baubranche	.....	4
2.2 Target Sustainability Design	.....	5
2.2.1 Target Value Design	.....	5
2.2.2 Erweiterung des TVD zu TSD	.....	6
2.2.3 Soziale Aspekte	.....	9
2.2.4 Ökonomische Aspekte	.....	11
2.2.5 Urbane Mine	.....	15
2.2.6 Ökologische Aspekte	.....	18
2.3 Ökobilanzierung	.....	20
2.3.1 Relevanz in der Schweiz	.....	21
2.3.2 Methoden zur Ökobilanzierung	.....	21
2.3.3 Ökobilanzierungstool viride (greenDESIGN & greenBIM)	.....	22
2.4 Datenmanagement Baubranche	.....	23
2.5 Kostenstrukturen in der Baubranche	.....	24
2.5.1 Definition Kostenstruktur	.....	24
2.5.2 Klassifikationssystem nach CRB	.....	24
2.6 Detaillierungsgrad im BIM-Kontext	.....	25
2.6.1 Strukturierung von BIM-Modellen mit LOD, LOG und LOI	.....	25
2.7 Datenvisualisierungstools	.....	26
2.7.1 Power BI als Datenvisualisierungstool	.....	26
2.7.2 Speckle als Schnittstelle zu Power BI und BIM	.....	27
3 Stand der Forschung	.....	28
3.1 Anforderungen & Hürden der Tools für die TSD-Methodik	.....	28
3.1.1 Relevanz der drei Säulen der Nachhaltigkeit	.....	28
3.1.2 Technische Herausforderungen	.....	29

3.2	Analyse relevanter digitaler Werkzeuge	29
3.2.1	Überblick untersuchter Tools.....	30
3.3	Fazit & Forschungslücke	30
4	Methodik	32
4.1	Theoretische Grundlagen.....	32
4.1.1	Vorrecherche.....	33
4.1.2	Literaturrecherche	33
4.1.3	Bewertungsbogen der relevanten Tools	34
4.1.4	Feedback-Gespräch der relevanten Tools.....	35
4.2	Empirische Untersuchung - eingebettet Fallstudie	35
4.2.1	Auswahl und Relevanz des Fallbeispiels.....	36
4.2.2	Datenbeschaffung und -aufbereitung	36
4.3	Lösungskonzept.....	37
4.3.1	Entwicklung TSD-Tool.....	37
4.3.2	Prozessbeschreibung TSD-Tool.....	37
4.3.3	Feedback- Gespräche aus der Praxis	38
5	Fallstudie ARA Birsig	39
5.1	Auswahl und Relevanz des Fallbeispiels.....	39
5.2	Beschreibung des Fallbeispiels	39
5.3	Datenbeschaffung und -aufbereitung	40
5.3.1	Sach- und Formalziele (Zielumfang).....	40
5.3.2	Plandaten.....	41
5.3.3	Kostendaten.....	43
5.3.4	Treibhausgasemissionen aus der KBOB-Liste	44
6	Lösungskonzept.....	46
6.1	Zielsetzung Lösungskonzept.....	46
6.2	Anforderungen	46
6.3	Fachliche Beschreibung.....	47
6.3.1	Aufbau TSD-Tool	47
6.3.2	Rollen.....	47
6.3.3	Prozessbeschreibung Variantenentscheidung.....	48
6.4	Systemarchitektur und eingesetzte Software	48
6.5	Berechnungsansätze	50
6.5.1	Qualität und Funktionalität (Zielumfang).....	50
6.5.2	Soziale Aspekte	52
6.5.3	Umweltfolgekosten.....	54
6.5.4	Urbane Mine (Restwert/Entsorgungskosten)	59
6.5.5	Lebenszykluskosten.....	59
6.6	Prozess zum Ermitteln des nachhaltigen Wertes der Variante 1	61
6.6.1	Erstellung IFC-Modell mit Revit.....	61

6.6.2	Erstellung der Mengenliste mit Speckle.....	62
6.6.3	Überführung der Daten in die Access Datenbank.....	62
6.6.4	Überführung der Daten aus der Access Datenbank in das Power BI.....	63
6.7	Feedback aus der Praxis	63
6.7.1	Zusammenfassung Feedbackgespräche.....	63
6.8	Ergebnisse aus dem Fallbeispiel.....	64
7	Diskussion	69
7.1	Zusammenfassung zentraler Ergebnisse	69
7.2	Interpretation der Ergebnisse in Hinblick auf die Forschungsfragen	69
7.2.1	Analyse von Ökobilanzierungs- und Zirkularitätstools im TSD-Kontext.....	69
7.2.2	Anforderungen an ein entscheidungsunterstützendes TSD-Tool.....	69
7.2.3	Datenunsicherheit und Detaillierungsgrad in frühen Planungsphasen	70
7.3	Limitationen der Forschung.....	70
7.3.1	Umweltfolgekosten	70
7.3.2	Lebenszykluskosten	71
7.3.3	Urbane Mine	71
7.3.4	Soziale Aspekte	71
7.3.5	Abhängigkeit der Software	72
8	Fazit und Ausblick.....	73
8.1	Fazit zum TSD-Tool	73
8.2	Ausblick für zukünftige Arbeiten	73
9	Verzeichnisse	74
9.1	Literaturverzeichnis	74
9.2	Abbildungsverzeichnis	80
9.3	Tabellenverzeichnis	81
9.4	Hilfsmittelverzeichnis.....	82
10	Anhänge	84

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Motivation

In der heutigen Bau- und Infrastrukturbranche, insbesondere im Bereich der Wasserwirtschaft, stehen Projektleiter vor der Herausforderung, Investitionsprojekte erfolgreich abzuwickeln, die sowohl strengen ökologischen Anforderungen als auch begrenzten Budgets gerecht werden. Diese Herausforderungen sind im Amt für Industrielle Betriebe Basel-Landschaft, das Abwasserreinigungsanlagen plant, baut, betreibt und unterhält, von besonderer Bedeutung.

Das Target Sustainability Design (TSD) bietet eine innovative Methode, um diese Zielkonflikte zu überwinden (Olender & Rosen, 2023). Es ermöglicht, Nachhaltigkeitsziele gezielt in einer frühen Phase zu erheben und systematisch in die Planung einzubinden. Dadurch können die ökologischen und ökonomischen Anforderungen der Projekte besser erreicht werden.

Die Relevanz dieser Arbeit ergibt sich aus der zunehmenden Bedeutung von Nachhaltigkeit in allen Bereichen der Bau- und Infrastrukturprojekte. In der Wasserwirtschaft, insbesondere bei der Planung und dem Betrieb von Kläranlagen, ist die Berücksichtigung von ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitszielen nicht nur eine regulatorische Anforderung, sondern auch ein Beitrag zum globalen Ziel der Nachhaltigkeit, wie es in der Agenda 2030 der Vereinten Nationen formuliert ist (United Nations General Assembly, 2015). Darüber hinaus bieten die Untersuchung und Anwendung der TSD-Methode in diesem spezifischen Kontext wertvolle Erkenntnisse, die auf ähnliche Projekte in anderen Bereichen der Bauwirtschaft übertragen werden können.

Als zukünftiger Projektleiter werde ich vor der Herausforderung stehen, komplexe Bauprojekte zu leiten, die nicht nur ökonomischen Anforderungen gerecht werden müssen, sondern auch ökologische und soziale Ziele berücksichtigen. Diese Arbeit bietet eine solide Grundlage für zukünftige berufliche Herausforderungen. Sie gibt mir zudem ein Werkzeug an die Hand, um nachhaltige und innovative Lösungen für die sich wandelnden Anforderungen in der Bau- und Infrastrukturbranche zu entwickeln.

1.2 Beschreibung des Forschungsbedarfs

In dieser Arbeit wird die folgende Hauptfragestellung betrachtet:

Wie können in den frühen Phasen von Bauprojekten Entscheidungen getroffen werden, die Nachhaltigkeitsfaktoren der Target Sustainability Design-Methodik anhand eines datenvisualisierenden Tools berücksichtigen?

Aus dieser Hauptfragestellung leiten sich die folgenden Teilfragestellungen ab:

Welche relevanten digitalen Ökobilanzierungstools stehen derzeit für den Einsatz in der Baubranche zur Verfügung?

Welche wesentlichen Anforderungen muss das Datenvisualisierungstool erfüllen, um eine Grundlage für die Entscheidungsfindung im Rahmen der TSD-Methodik zu bieten?

Welcher Detaillierungsgrad der Daten ist im Entscheidungsprozess erforderlich und wie kann mit der unterschiedlichen Genauigkeit der Daten in frühen Projektphasen umgegangen werden?

1.3 Ziel der Arbeit und erwartete Resultate

Das Ziel der Arbeit ist es, einen Prototyp eines datenvisualisierenden Tools zu entwickeln, das vor allem bei Entscheidungsfindungen unterstützt und einen Ansatz zur Integration ökologischer, ökonomischer und sozialer Ziele in Bauprojekten aufzeigt. Dabei wird erwartet, dass die Anwendung der TSD-Methodik Potenziale zur Reduzierung von Zielkonflikten bietet und als Ausgangspunkt für weitere Überlegungen in zukünftigen Projekten dienen kann.

1.4 Abgrenzung der Arbeit

Die Arbeit konzentriert sich auf die frühen Planungsphasen und schliesst spätere Phasen wie die Ausführungsphase bewusst aus, um den Umfang der Masterarbeit nicht zu überschreiten. Der Hauptfokus liegt auf der Entwicklung eines Dashboards, das zusätzlich zu den Kosten die Nachhaltigkeitsfaktoren visualisiert und den Entscheidungsprozess unterstützt.

Es wird kein marktreifes Tool entwickelt, sondern ein erster praxisorientierter Ansatz, um die TSD-Methodik in einem realen Projektkontext prototypisch zu testen und methodisch fundiert weiterzuentwickeln. Im Vordergrund steht die praktische Erprobung, um die Anwendbarkeit, den Nutzen und die Grenzen der Methodik zu untersuchen. Der entwickelte Prototyp dient als Grundlage für zukünftige Optimierungen und die systematische Integration der Nachhaltigkeitsbewertung in frühe Planungsphasen.

Im Rahmen der Fallstudie eines Kläranlagen-Erweiterungsprojektes «Ausbau ARA Birsig», das über reale Daten verfügt, wird eine Entscheidungsfindung im Detail veranschaulicht. Für das Dashboard werden in einem kleinen Umfang zwei Entwürfe im Rahmen eines Variantenvergleichs generiert, der Detaillierungsgrad wird während der Arbeit herausgefunden. Fehlende Daten werden durch Annahmen oder Beispieldaten ersetzt, ohne dass diese detailliert nachgerechnet werden, um die Arbeit anschaulicher zu gestalten.

Die Arbeit fokussiert sich dabei darauf, nicht alle Aspekte vollkommen abzudecken, sondern sie mit zu berücksichtigen. So werden vereinfachte Annahmen getroffen, um die Aspekte der TSD-Methodik abzubilden. Die Arbeit fokussiert sich auf die Bewertung von CO₂-Emissionen als Hauptumweltfolgekosten. Weitere Umweltfolgekosten, wie Auswirkungen auf Wasserressourcen oder Biodiversität, werden nicht berücksichtigt, um die Arbeit handhabbar zu halten. Die Betriebsprozesse der Kläranlage werden ebenfalls nicht mit einbezogen, da der Fokus ausschliesslich auf den baulichen Massnahmen und dem Lebenszyklus des Bauwerks liegt.

1.5 Aufbau und Struktur dieser Arbeit

Die vorliegende Masterarbeit ist in acht aufeinander aufbauende Kapitel gegliedert. In Kapitel 2 werden theoretische Grundlagen, darunter Konzepte der Nachhaltigkeit, die TSD-Methodik sowie Aspekte wie Lebenszykluskosten, Ökobilanzierung, Datenmanagement und Visualisierung vermittelt. Diese bilden die Basis für die Entwicklung des TSD-Tools. Kapitel 3 analysiert den aktuellen Stand der Forschung und identifiziert durch den Vergleich bestehender digitaler Werkzeuge mit der TSD-Methodik bestehende Lücken. Die daraus abgeleitete Forschungslücke bildet die Grundlage für die weitere Untersuchung. Kapitel 4 beschreibt das methodische Vorgehen dieser Arbeit, das sich aus Literaturrecherche, Fallstudienanalyse und der iterativen Entwicklung eines datenvisualisierenden Tools zusammensetzt.

In Kapitel 5 wird die Fallstudie «Erweiterung ARA Birsig» vorgestellt. Es werden die Ausgangslage, die Datenaufbereitung sowie der Aufbau der Varianten für den späteren Vergleich dargelegt. Darauf aufbauend wird in Kapitel 6 das Lösungskonzept erläutert, das auf den theoretischen Grundlagen und den Daten aus dem Fallbeispiel basiert und die Struktur, Funktionsweise sowie die Berechnungslogik des entwickelten Tools beschreibt. Kapitel 7 beinhaltet die Diskussion, in der die Ergebnisse eingeordnet, die Forschungsfragen beantwortet und die Implikationen für die TSD-Methodik reflektiert werden. Kapitel 8 «Fazit und Ausblick» fasst die Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick auf potenzielle Weiterentwicklungen des Tools und zeigt Perspektiven für eine breitere Anwendung auf.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die für die Arbeit relevanten zentralen Konzepte, Definitionen sowie bestehende Theorien und Modelle behandelt. Es wird die TSD-Methodik eingeführt, auf deren Grundlage das datenvisualisierende Tool entwickelt wird. Darüber hinaus werden weitere Aspekte erläutert, die für das Verständnis des Toolaufbaus wesentlich sind, darunter Datenvisualisierung, Datenbanken, Ökobilanzierung und Kostenstrukturen. Ergänzend wird der aktuelle Stand der Forschung aufgezeigt, insbesondere in Bezug auf bestehende digitale Ökobilanzierungs- und Zirkularitätstools, um den wissenschaftlichen Kontext der Arbeit zu verorten und eine fundierte Basis für die spätere Methodenanwendung und Toolentwicklung zu schaffen.

2.1 Nachhaltigkeit in der Baubranche: Konzepte und Modelle

Die erste offizielle Definition von «nachhaltiger Entwicklung» wurde im Brundtland-Bericht «Our Common Future» veröffentlicht, der im Jahr 1987 publiziert wurde (ARE, 2025). Darin wird nachhaltige Entwicklung als ein Prozess beschrieben, der die gegenwärtigen Bedürfnisse befriedigt, ohne dabei zu riskieren, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können (Brundtland, 1987, pp. 36-37; ARE, 2025). Mit dem Bericht wurde erstmals die Verknüpfung ökologischer, ökonomischer und sozialer Zielsetzungen in einem ganzheitlichen Entwicklungsverständnis betont (Aras & Crowther, 2013).

2.1.1 Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit

Das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit, international als «three pillars of sustainability» bekannt, fordert die gleichwertige Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte im Sinne nachhaltiger Entwicklung. Die Ursprünge dieses Konzepts lassen sich auf politische und wissenschaftliche Diskurse seit den 1980er-Jahren zurückführen, auch wenn eine theoretisch fundierte Herkunft bis heute nicht eindeutig belegt werden konnte (Purvis et al., 2019).

Ergänzend zu dieser politischen Entwicklung wurde im wirtschaftlichen Kontext der Begriff «triple bottom line (TBL)» 1997 von Elkington eingeführt (Jeurissen, 2000). Das Konzept fordert, dass der Erfolg von Unternehmen und Projekten nicht ausschliesslich anhand finanzieller Kennzahlen, sondern auch an Umweltwirkungen und gesellschaftlichem Mehrwert gemessen wird. Während die drei Säulen der Nachhaltigkeit primär als gesellschaftspolitisches Leitbild fungieren, stellt der TBL-Ansatz einen operativen Bewertungsrahmen dar, der insbesondere in Unternehmen Anwendung findet (Alhaddi, 2015, pp. 6, 8). Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit werden in Anlehnung an (Purvis et al., 2019) wie folgt charakterisiert:

Tabelle 1: Drei Dimensionen der Nachhaltigkeit nach (Purvis et al., 2019)

Ökonomische Dimension	Bezieht sich auf die langfristige Sicherung von wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit durch effiziente Ressourcennutzung, Innovationsfähigkeit und stabile Finanzstrukturen.
Ökologische Dimension	Umfasst den Erhalt natürlicher Lebensgrundlagen durch Emissionsminderung, Ressourcenschonung, Klimaschutz und Biodiversitätserhalt.
Soziale Dimension	Thematisiert Aspekte wie soziale Gerechtigkeit, partizipative Entscheidungsprozesse, Bildung, Chancengleichheit sowie die Sicherung von Lebensqualität und gesellschaftlichem Zusammenhalt.

2.1.2 Schwache vs. starke Nachhaltigkeit

In der Literatur von Döring und Ott wird beim Thema Nachhaltigkeit zwischen der schwachen und der starken Nachhaltigkeit unterschieden (vgl. Abbildung 1). Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Konzepten liegt in der Frage, wie Naturkapital bewertet wird und ob es durch andere Kapitalformen wie technisches, soziales oder Humankapital ersetzt werden darf (Döring & Ott, 2001).

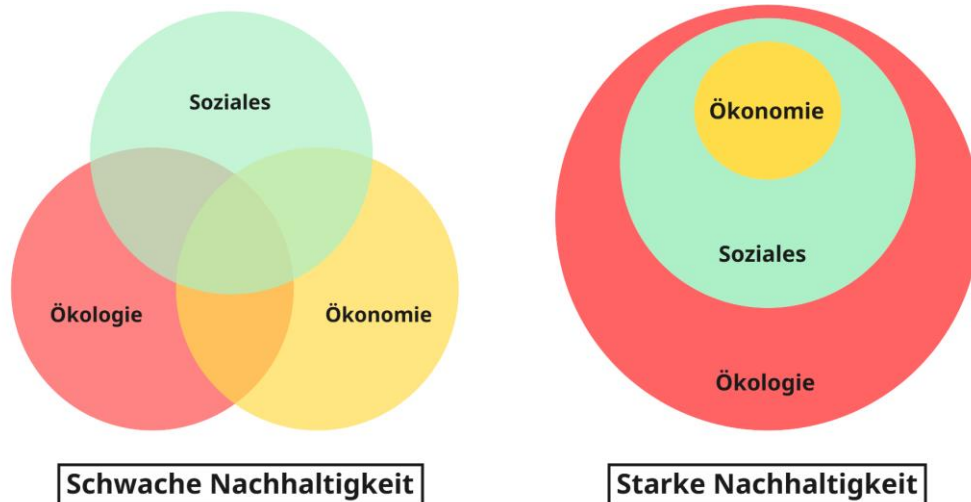


Abbildung 1: Schwache und starke Nachhaltigkeit in Anlehnung an (Olender & Rosen, 2023, p. 12)

Schwache Nachhaltigkeit

Die schwache Nachhaltigkeit erlaubt es in ihrem Modell, die drei Säulen der Nachhaltigkeit gegeneinander aufzuwiegen. Ein Projekt, Unternehmen oder Vorhaben kann demnach auch dann als nachhaltig gelten, wenn es negative Auswirkungen auf die Umwelt hat, solange diese durch starke wirtschaftliche oder soziale Leistungen ausgeglichen werden. Das Naturkapital wird in diesem Modell folglich als ersetzbar betrachtet, etwa durch technologische Innovation oder wirtschaftliches Wachstum (Döring & Ott, 2001).

Starke Nachhaltigkeit

Im Gegensatz zur schwachen Nachhaltigkeit geht die starke Nachhaltigkeit davon aus, dass Naturkapital, insbesondere kritische ökologische Systeme, nicht durch andere Kapitalformen ersetzt werden kann. Zur Begründung wird auf planetare Grenzen sowie bio- und physikalische Kippunkte verwiesen, deren Überschreitung irreversible Schäden verursachen kann (Lanz, 2020). Dieses Verständnis spiegelt sich auch in der Agenda 2030 wider, die den langfristigen Erhalt natürlicher Lebensgrundlagen als Voraussetzung für eine globale nachhaltige Entwicklung betont (United Nations General Assembly, 2015). Ziel der starken Nachhaltigkeit ist es daher, zentrale ökologische Funktionen unabhängig von ökonomischen Abwägungen dauerhaft zu schützen.

2.1.3 Nachhaltigkeitsdimensionen in der Baubranche

Nachhaltigkeit in der Baubranche ist von besonderer Relevanz, da sie zu den ressourcenintensivsten Wirtschaftszweigen zählt und gleichzeitig einer der grössten Treiber ökologischer, sozialer und ökonomischer Veränderungen zählt (Goh et al., 2020, pp. 1-2).

Eine wirkliche Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit gelingt nur durch die integrale Betrachtung aller drei Dimensionen «Ökologie», «Ökonomie» und «Soziales» über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg. Gerade in Projekten mit knapp bemessenen Investitionsbudgets führt die Kombination ambitionierter ökologischer Anforderungen mit strikten Kosten- und Terminvorgaben häufig zu klassischen Zielkonflikten (Olender & Rosen, 2023).

Im Sinne einer starken Nachhaltigkeit sind Naturressourcen nicht ersetzbar, weshalb ihre gleichberechtigte Integration in Entscheidungsprozesse zwingend erforderlich ist. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, Methoden anzuwenden, die Nachhaltigkeitsziele nicht als ergänzend, sondern als integralen Bestandteil der Projektplanung begreifen. Dieser Problematik stellt sich das Target Sustainability Design, welches dafür entwickelt wurde, um diese Lücke zu schliessen. Dabei wird im anschliessenden Kapitel in die TSD-Methodik eingeführt, um aufzuzeigen, wie

Entscheidungsprozesse in frühen Projektphasen um ökologische und soziale Aspekte erweitert werden können.

2.2 Target Sustainability Design

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Target Sustainability Design-Methodik als zentrale Grundlage für die Entscheidungsunterstützung in frühen Projektphasen eingeführt, um nachhaltige und kosteneffiziente Lösungen zu entwickeln. Die Methodik wurde auf Basis der Target Value Design-Methode konzipiert, um den wachsenden Anforderungen an die Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren gerecht zu werden. Im Folgenden werden die grundlegenden Prinzipien dieser Methodik kurz erläutert, um die Basis des entwickelten Tools nachvollziehbar zu machen.

2.2.1 Target Value Design

Das Target Sustainability Design basiert auf dem Target Value Design, welches einen integrativen Managementansatz darstellt, der darauf abzielt, den Designprozess durch die Fokussierung auf den maximalen Wert für die Kundschaft zu optimieren (Denerolle, 2013, p. 4). Die TVD-Methodik wurde entwickelt, um sicherzustellen, dass alle Projektbeteiligten an einem Strang ziehen und eine klare sowie konsistente Zieldefinition gewährleisten. Dieser Ansatz verfolgt nicht nur Kosteneffizienz, sondern auch eine wertorientierte Planung, die den Bedürfnissen und Erwartungen der Stakeholder gerecht wird.

Dabei basiert die Methode auf dem Prinzip des «Target Costing», bei dem Kosten als primäres Zielkriterium und somit als Ausgangspunkt der Planung verwendet werden (Denerolle, 2013, p. 5,6). Im Rahmen des TVD wurde eine Formel beschrieben, die die Berechnung des Zielwerts (Target Value) anschaulich darstellt, indem sie den Zielumfang und die Zielkosten in einer Verhältnisformel miteinander in Beziehung setzt. Im Zielumfang werden Formalziele und Sachziele für das Projekt beschrieben. Die Formalziele bilden dabei das «Warum» eines Projekts ab. Sie beschreiben in übergeordneter Weise den Verwendungszweck und die angestrebten Werte, welche die Funktionalitätsanforderungen widerspiegeln. Im Gegensatz dazu konkretisieren die Sachziele das «Was» und benennen die charakteristischen Merkmale der baulichen Ausgestaltung sowie die spezifischen Anforderungen an die Nutzung. (Olender & Rosen, 2023, p. 7).

$$\boxed{\text{Zielwert}} = \frac{\boxed{\text{Zielumfang}}}{\boxed{\text{Zielkosten}}} = \frac{\boxed{\text{Funktionalität + Qualität}}}{\boxed{\text{Kosten}}}$$

Abbildung 2: TVD-Formel in Anlehnung an (Olender & Rosen, 2023, p. 10)

Das TVD ist so aufgebaut, dass eine Kerngruppe, auch «Core Group» genannt, aus den wichtigsten Entscheidungsträgern besteht, die den Projektfortschritt strategisch steuern. Diese Gruppe setzt sich typischerweise aus Projektleitern, Bauherrenvertretern sowie leitenden Planern und Architekten zusammen. Ergänzend dazu existieren funktionale Gruppen, die sogenannten Cluster-Gruppen «Cluster Groups», welche aus Fachspezialisten bestehen und spezifische Aufgabenbereiche wie Bauleitung und technische Gebäudeausrüstung (TGA) abdecken (vgl. Abbildung 3).

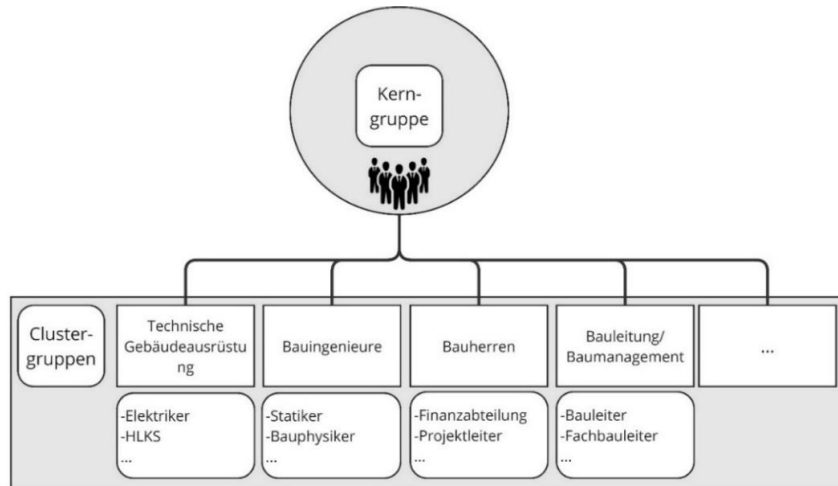


Abbildung 3: Beispielhafte Organisationsstruktur im Bauprojekt nach TVD (Eigene Darstellung, 2025)

Je nach Projekt können die Cluster-Gruppen unterschiedlich zusammengesetzt sein und sollten den projektspezifischen Anforderungen entsprechend angepasst werden. Diese Struktur fördert die Zusammenarbeit und Integration der verschiedenen Disziplinen, um frühzeitig Fehler und Änderungswünsche zu minimieren. Die Cluster-Gruppen arbeiten iterativ an Lösungen, um die festgelegten Kosten einzuhalten. Gleichzeitig ermöglicht die Struktur eine umfassende Budgetüberwachung und gestattet im Bedarfsfall die Umverteilung von Budgetmitteln zwischen den Cluster-Gruppen. Dadurch wird die Flexibilität geschaffen, bei Budgetüberschreitungen frühzeitig Massnahmen einzuleiten und das Budget gezielt anzupassen (Olender & Rosen, 2023, p. 11).

Das klassische TVD umfasst drei Stufen («Set Targets», «Design to Targets» und «Build to Target») (vgl. Anhang 1) (Olender, 2024, p. 13). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den ersten beiden Stufen, da diese die strategische Zieldefinition und die iterative Planungsphase abbilden. In Anhang 2 ist der vollständige Ablauf der Phasen Set Targets und Design to Targets grafisch dargestellt (Gilgen et al., 2023, pp. 17, 21). In diesem Ablauf werden das iterative Vorgehen und das Zusammenspiel der Auftraggebenden, der Kerngruppe und der Cluster-Gruppe aufgezeigt. Er bildet die Grundlage für den Ablauf der TSD-Methodik.

2.2.2 Erweiterung des TVD zu TSD

Aufgrund der wachsenden Anforderungen an Nachhaltigkeit in der Baubranche wird die TVD-Methodik durch das TSD erweitert. Der zentrale Unterschied liegt dabei in der zusätzlichen Integration ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitsfaktoren in den Entscheidungsprozess (Olender & Rosen, 2023, p. 14). Während die TVD-Methodik hauptsächlich auf die Erfüllung von Budgetvorgaben ausgerichtet ist, verfolgt die TSD-Methodik einen ganzheitlichen Bewertungsansatz, der Kosten systematisch mit sozialen und ökologischen Indikatoren in Projektentscheidungen integriert. Hierzu wurde eine Formel entwickelt, um den nachhaltigen Zielwert zu quantifizieren (vgl. Abbildung 4).

$$\begin{array}{c} \text{Nachhaltiger} \\ \text{Wert} \end{array} = \frac{(\text{Funktionalität} + \text{Qualität}) * \text{Soziales}}{\text{Kosten} + \text{Umwelt}} = \frac{\text{Mehrwert}}{\text{Resourcenaufwand}}$$

Abbildung 4: Formel nachhaltiger Wert im TSD nach (Olender & Rosen, 2023, p. 14)

Bewertungsmethodik im Target Sustainability Design

Zur praktischen Anwendbarkeit in Bauprojekten wurde die Gleichung weiter konkretisiert, um die Messbarkeit und Vergleichbarkeit nachhaltiger Faktoren zu ermöglichen (vgl. Abbildung 5). Diese Formel dient als Berechnungsgrundlage für das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte TSD-Tool.

$$\text{Nachhaltiger Wert} = \frac{(\text{Funktionalität} + \text{Qualität}) * \text{Sozialer Nutzen}}{(\text{Lebenszykluskosten} + \text{Umweltfolgekosten} - \text{Urbane Mine})}$$

$\left[\frac{\text{€} * \text{LC}}{\text{LC}} \right] \quad \left[\frac{\text{CO}_2\text{e} * \text{€}}{\text{tCO}_2} \right] \quad \left[\text{€} \right]$

Abbildung 5: Faktoren in der TSD-Gleichung in Anlehnung an (Olender & Rosen, 2023, p. 15)

Ähnlich wie bei der Budgetfestlegung im TVD werden im TSD bereits in den frühen Planungsphasen eines Projekts die Nachhaltigkeitsziele definiert. So lassen sich Materialien, Energieverbrauch und CO₂-Ausstoss über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes gezielt verbessern. Die Methode schafft klare Entscheidungsgrundlagen, nicht nur für Kosten, sondern auch für ökologische und soziale Auswirkungen.

Bewertungsskala und Interpretation des Nachhaltigen Wertes

Ziel der Methodik ist es, Projektvarianten in einer frühen Phase vergleichbar zu machen, indem neben monetären auch ökologischen und sozialen Aspekten berücksichtigt werden. Der nachhaltige Wert ist insgesamt dimensionslos. Die Einheiten im Zähler können je nach Projekt und Berechnungsansatz definiert werden.

In der Beispielberechnung des Berichts von Olender und Rosen wurden im Nenner die Einheiten €/m³ verwendet (Olender & Rosen, 2023, p. 24), da als Betrachtungsgegenstand ein Kalksandsteinmauerwerk herangezogen wurde, das im Rahmen eines Umbaus mithilfe der TSD-Methodik bewertet wurde. In der allgemeinen Formel wird im Nenner hingegen die Einheit € verwendet (Olender & Rosen, 2023, p. 15), während die im Zähler enthaltenen Werte, welche den sozialen Nutzen, die Funktionalität und die Qualität abbilden, dimensionslos bleiben.

Zur Veranschaulichung der in Abbildung 5 dargestellten Nachhaltigkeitsformel wird im Nenner die Einheit CHF/m³ verwendet, während im Zähler ein Referenzwert von 100 % angenommen wird. Es wird angenommen, dass die Kerngruppe einen Zielwert für den nachhaltigen Wert von 100 % definiert (vgl. Abbildung 6). Um den Zielwert von 100 % zu erreichen, müssten die Gesamtkosten, bestehend aus Lebenszykluskosten, Umweltfolgekosten und dem urbanen Minenwert, im Nenner exakt 100 CHF/m³ betragen. Bei 1000 CHF/m³ läge der nachhaltige Wert nur noch bei 10 %. Somit lassen sich Varianten anhand des nachhaltigen Wertes vergleichen. Die Methodik gibt keine festen Grenzwerte vor, sodass ein Wert von 100 % nicht den maximal möglichen nachhaltigen Wert darstellt. Die Bewertung muss projektspezifisch erfolgen und entsprechend angepasst werden. Von entscheidender Bedeutung ist, dass Varianten auf derselben Berechnungsgrundlage miteinander verglichen werden.



Nachhaltiger Wert	Klassifizierung	mögl. Kosten = (Lebenszykluskosten, Umweltfolgekosten, Urbane Mine)	Qualität, Funktionalität, Soziales
100%-70% 	Hervorragend – Extrem niedrige Lebenszykluskosten und Umweltfolgekosten oder sehr hoher urbaner Minenwert. Nur mit innovativen oder besonders ressourceneffizienten Ansätzen erreichbar.	<0-142.86 CHF/m ³	100%
50%-70%	Gut – Sehr nachhaltige Lösung, gut ausbalancierte Faktoren.	<142.86-200 CHF/m ³	100%
30-50%	Akzeptabel – Verbesserungsfähig, Umweltfolgekosten oder Lebenszykluskosten sind zu hoch.	<200-333,33 CHF/m ³	100%
<30% 	Nicht nachhaltig – Sehr hohe Kosten oder Umweltbelastung, kaum langfristiger Nutzen.	<333,33 CHF/m ³	100%

Abbildung 6: Beispielhafte Klassifikation des nachhaltigen Wertes in der TSD-Methodik (Eigene Darstellung, 2025)

Aufbauend auf dem Ablauf des TVD in Anhang 2 basiert der Ablauf des TSD in Anhang 3. Dabei werden im TVD lediglich die Kosten- und Leistungsziele definiert und auf Basis monetärer Parameter geprüft. Im Gegensatz dazu werden beim TSD in jeder Iteration zusätzlich ökologische

und soziale Indikatoren erfasst. Dabei wird der nachhaltige Wert anhand der TSD-Formel berechnet und anhand dieser wird geprüft, ob die berechneten Werte den Zielvorgaben entsprechen. Abweichungen werden in den anschliessenden Iterationen korrigiert.

Es konnte somit festgestellt werden, dass das TSD eine Weiterentwicklung des TVD darstellt, die sich durch die zusätzliche Berücksichtigung ökologischer und sozialer Nachhaltigkeitsaspekte auszeichnet. Mit dem Ansatz des TSD, wie er von (Olender & Rosen, 2023) formuliert wurde, wird nicht nur die Reduzierung der Kosten gefördert, sondern es wird auch ermöglicht, die Auswirkungen von Bauprojekten in einer frühen Phase durch iterative Anpassungen des Entwurfs mithilfe des nachhaltigen Wertes zu analysieren und zu steuern. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund globaler Herausforderungen wie dem Klimawandel sowie wachsender gesellschaftlicher Anforderungen an nachhaltige Bauweisen von zentraler Bedeutung.

Bewertungsmethodik im TSD

Die nachfolgende Tabelle 2 fasst die zentralen Komponenten und Indikatoren für das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Tool zusammen. Die Kriterien basieren auf der zugrunde liegenden Gleichung der TSD-Methodik sowie den methodischen Anforderungen. Die Faktoren sind mit spezifischen Metriken versehen, um eine transparente, standardisierte und vergleichbare Bewertung der Nachhaltigkeitsaspekte sicherzustellen.

Tabelle 2: Übersicht der Aspekte der TSD-Methodik nach (Olender & Rosen, 2023)

Komponente TSD	Beschreibung	Kriterien
Ökologische Aspekte	Beinhaltet Umweltfolgekosten und Ökobilanzen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks.	CO ₂ -Emissionen (CO ₂ e), Primärenergiebedarf, Wasserverbrauch, Ozonabbaupotenzial
Urbane Mine	Bauwerke als potenzielle Rohstofflager am Ende ihrer Nutzungsdauer; fördert zirkuläres Bauen.	Recyclingfähige Materialien, Anteil zirkulärer Materialien, Urban Mining Index
Soziale Aspekte	Faktoren, die den gesellschaftlichen Nutzen eines Bauwerks erhöhen, inklusive generationengerechter Verteilung der Umweltkosten.	Gesundheits- und Sicherheitsstandards, Generationengerechtigkeit, soziale Nutzungsdauer
Ökonomische Aspekte	Lebenszykluskosten einschliesslich Bau- und Betriebskosten.	Herstellungskosten, Betriebskosten, Projektrisiken, Budgetkontrolle
Nachhaltiger Wert	Verhältnis zwischen dem erzielten Mehrwert und dem Ressourcenaufwand.	Gesamtressourcenaufwand vs. Mehrwert für die Stakeholder

Faktoren des Target Sustainability Design

Im Rahmen des TSD werden verschiedene Aspekte und deren Faktoren analysiert und berücksichtigt. Nachfolgend werden die relevanten Aspekte definiert, deren Bedeutung für das TSD-Tool erläutert sowie Ansätze zur Quantifizierung dargestellt. Diese theoretischen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Berechnungsansätze des TSD-Tools, die in einem späteren Kapitel 6.5 behandelt werden. Abschliessend wird eine Beispielrechnung demonstriert, um die Messbarkeit der Faktoren zu verdeutlichen.

2.2.3 Soziale Aspekte

Begriff und Relevanz

Die sozialen Aspekte werden im TSD berücksichtigt, da sie einen wesentlichen Einfluss auf die Akzeptanz und den Erfolg eines Bauprojekts haben. Um den sozialen Nutzen messbar zu machen, können verschiedene Quellen und Ansätze herangezogen werden. Sie umfassen Kriterien wie Partizipation, Barrierefreiheit und Generationengerechtigkeit (Olender & Rosen, 2023, p. 28). Ziel ist es, den sozialen Nutzen messbar zu machen und in die Entscheidungsfindung zu integrieren. Dabei werden bestehende Ansätze und Systeme analysiert und projektspezifisch erweitert.

Messung und Bewertung sozialer Aspekte

Nachhaltigkeitszertifikate wie DGNB, BREEAM und LEED berücksichtigen soziale Faktoren wie Partizipation, Barrierefreiheit und Nutzerkomfort. Während BREEAM und LEED soziale Aspekte vorwiegend im Kontext ökologischer und technischer Nachhaltigkeit behandeln, integriert das DGNB-System soziale Kriterien gleichwertig mit ökologischen und ökonomischen Aspekten und verfolgt dabei einen ganzheitlichen Ansatz (CircularCulture, 2024). Dennoch stehen diese Zertifikate primär im Kontext ökologischer und baulicher Nachhaltigkeit, während die umfassende und standardisierte Messung komplexer sozialer Wirkungen, wie sozialer Gerechtigkeit oder demokratischer Teilhabe, noch nicht vollständig etabliert ist (Rickert, 2021, p. 60).

Ein alternatives System, das soziale Aspekte berücksichtigt, ist das von der Immobilienstadt Zürich (IMMO) und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) zusammen entwickelte Nachhaltigkeitsbewertungssystem für Immobilien (NIMMO) (vgl. Abbildung 7). Dieses System ermöglicht eine einfache und systematische Analyse von Nachhaltigkeitsmerkmalen, einschliesslich sozialer Aspekte (vgl. Abbildung 8), und unterstützt ein datenbasiertes sowie transparentes Management von Immobilienbeständen (SGNI, 2024).

Dimensionen	Umwelt	Gesellschaft	Wirtschaft
%	33.3 %	33.3 %	33.3 %
Themen	G1_Gesundheit & Wohlbefinden	W1_Gesundheit & Wohlbefinden	W1_Gebäude-performance
	G2_Gesundheit & Wohlbefinden	U2_Stoffkreisläufe	W2_Gebäude-attraktivität
	G3_Gesundheit & Wohlbefinden	U3_Natur & Landschaft	W3_Gebäude-resilienz

Abbildung 7: NIMMO Systemarchitektur in Anlehnung an (SGNI, 2024)

Nr	Kriterien	Nr	Kriterien	Nr	Kriterien
1	Klimaschutz - CO2	8	Innenraumluftqualität - Frischluftversorgung	19	Gebäudesubstanz
2	Klimaschutz - Energie	9	Innenraumluftqualität - Schadstoffe	20	Nutzbarkeit & Flächeneffizienz
3	Mobilität	10	Thermischer Komfort - Winter	21	Identitätsstiftender & (Bau-)kultureller Wert
4	Umweltschutz & Nachhaltige Beschaffung	11	Thermischer Komfort - Sommer	22	Klimaanpassung - Temperatur
5	Wertstoff-Management & Kreislaufwirtschaft	12	Visueller Komfort	23	Klimaanpassung - Extremwetter
6	Wasser-Management	13	Akustischer Komfort		
7	Ökosysteme & Biodiversität	14	Sicherheit		
		15	Barrierefreiheit		
		16	Aufenthaltsqualität innen		
		17	Aufenthaltsqualität aussen		

Abbildung 8: NIMMO Kriterien in Anlehnung an (SGNI, 2024)

Diese Indikatoren sollten gewichtet werden, um ihre relative Bedeutung im Projektkontext widerzuspiegeln. So kann beispielsweise Partizipation in öffentlichen Projekten eine höhere Gewichtung erhalten als in rein wirtschaftlich motivierten Bauvorhaben.

Limitationen und Herausforderungen

Die bestehenden Systeme erfassen soziale Nachhaltigkeit überwiegend qualitativ und indirekt. Eine vollständige Quantifizierung komplexer sozialer Effekte sowie eine eindeutige Vergleichbarkeit verschiedener Projekte bleiben bislang schwierig. Zudem besteht die Herausforderung, den Nutzen sozialer Massnahmen über die gesamte Nutzungsdauer eines Bauwerks hinweg abzubilden und systematisch zu bewerten.

Quantifizierung des sozialen Nutzens

Beispielhaft werden zwei Berechnungen des sozialen Nutzens dargestellt. Für die Berechnung wurde die Nutzwertanalyse (NWA)-Methode genutzt (Solis, 2023). In der ersten Berechnung wird der soziale Nutzen anhand einer gewichteten Summierung spezifischer Kriterien ermittelt, wobei die Gewichtung die relative Bedeutung jedes Kriteriums widerspiegelt (vgl. Abbildung 9).

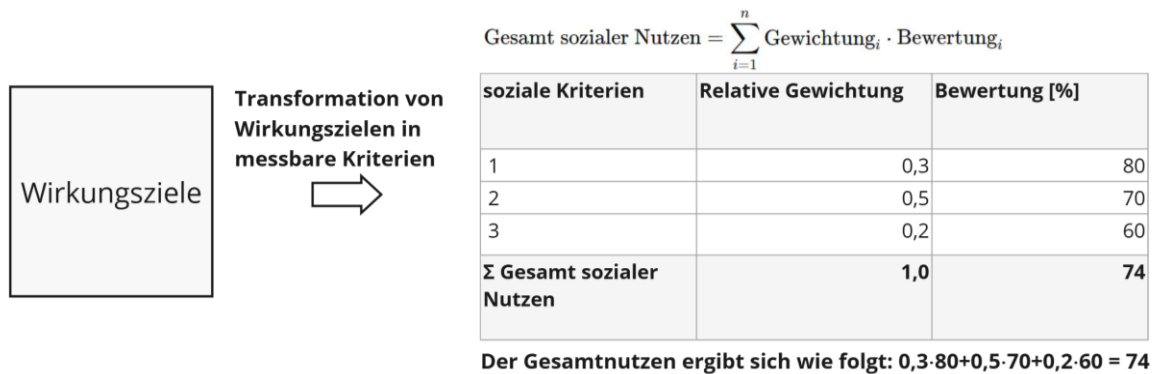


Abbildung 9: Berechnung des sozialen Nutzens mit NWA-Methode (Eigene Darstellung, 2025)

In der TSD-Methodik erfolgt die Berücksichtigung zukünftiger Nutzenwirkungen in der Regel nicht über eine direkte Bewertung, sondern durch Diskontierung auf Basis einer Zeitpräferenzrate (ZPR) (Olender & Rosen, 2023, p. 19). In dieser Arbeit wurde ergänzend eine explizite Nutzwertanalyse eingeführt, um soziale Aspekte differenzierter und transparenter abzubilden. Zur modellhaften Annäherung an die TSD-Bewertungslogik wurde in einer zweiten Berechnung eine ZPR von 1 % auf den sozialen Nutzen angewendet (vgl. Abbildung 10). Diese führt dazu, dass langfristig wirksame soziale Massnahmen rechnerisch geringer gewichtet werden, unabhängig davon, ob ihr realer Nutzen tatsächlich mit der Zeit abnimmt, etwa durch Alterung des Bauwerks oder gesellschaftlichen Wandel.

Die Diskontierung reduziert somit den heutigen Bewertungsbeitrag langfristiger sozialer Wirkungen. Bei einer angenommenen Nutzungsdauer von 30 Jahren und einer Diskontrate von 1 % ergibt sich ein Diskontierungsfaktor von 74 %. Das bedeutet, dass ein sozialer Nutzen, der erst in 30 Jahren wirksam wird, heute nur noch mit 74 % seines ursprünglichen Wertes in die Bewertung einfließt. Der verbleibende 26 % Anteil gilt damit als abgezinst bzw. abgeschwächte Wirkung, was den rechnerischen sozialen Gesamtnutzen entsprechend verringert.

Beispiel	Nutzungsdauer in Jahre [n]	Diskontrate [d] (in %)	Diskontierung [%]	Sozialer nutzen [%]
1	30	1	74	26
2	50	1	61	39
3	80	1	45	55

$$\text{Diskontierung} = (100\% - d)^n$$

$$\text{Sozialer Nutzen} = 100\% - \text{Diskontierung}$$

Abbildung 10: Sozialer Nutzen über die Nutzungsdauer (Eigene Darstellung, 2025)

Wird hingegen eine ZPR von 0 % angenommen, erfolgt keine rechnerische Abmilderung des sozialen Nutzens, da zukünftige Nutzenwirkungen gleichwertig mit gegenwärtigen berücksichtigt werden. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine konsistente Bewertung der sozialen Nachhaltigkeit im Sinne der TSD-Methodik und zeigt, wie stark sich Bewertungsannahmen auf die Sichtbarkeit sozialer Wirkungen im Entscheidungsprozess auswirken können.

2.2.4 Ökonomische Aspekte

Begriff und Relevanz

Im Rahmen des TSD wurde festgestellt, dass die ökonomische Dimension als essenzieller Bestandteil nachhaltiger Bauwerksplanung zu betrachten ist. Die Notwendigkeit, Bauprojekte unter restriktiven Budgetvorgaben zu realisieren, führte dazu, dass die Methodik die Lebenszykluskosten anstelle der reinen Errichtungskosten in den Fokus rückte. Unter Lebenszykluskosten werden alle im Verlauf des gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks anfallenden Kosten zusammengefasst, wobei insbesondere die Betriebskosten als massgeblicher Kostenfaktor in die Gesamtrechnung einbezogen werden (ISO 15686-5, 2017, p. 2; Olender & Rosen, 2023, p. 17).

Messung und Bewertung nach aktuellem Stand

In der folgenden Abbildung 11 wird veranschaulicht, dass die Lebenszykluskosten als ein Teilbereich der Whole Life Costs (WLC) betrachtet werden, wobei Letztere zusätzlich externe Kosten und Erträge beinhalten, die über den reinen Ressourcenverbrauch eines Bauwerks hinausgehen (ISO 15686-5, 2017). Ergänzend wird deutlich, dass während die Lebenszykluskosten ausschliesslich die während der Nutzungsdauer anfallenden Kosten summieren, die WLC einen umfassenderen ökonomischen Betrachtungsrahmen darstellen, der auch indirekte Effekte und Nutzenaspekte in die Bewertung einbezieht.

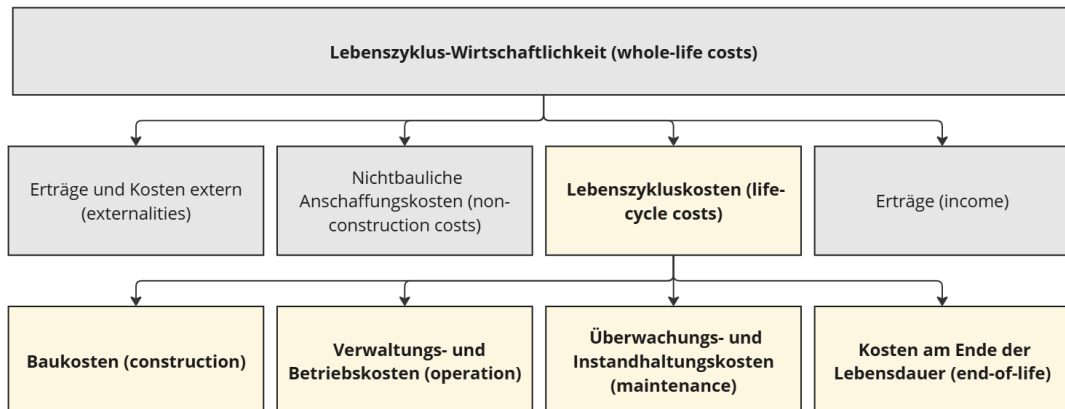


Abbildung 11: Umfang der Lebenszykluskosten in Anlehnung an (ISO 15686-5, 2017)

In der Literatur wird aufgezeigt, dass bislang in Europa keine einheitliche oder genormte Methodik zur Berechnung der Lebenszykluskosten etabliert wurde (Borrmann, 2021, p. 628; Olender & Rosen, 2023, p. 17). Auch in der Schweiz existieren verschiedene Ansätze, die in der Praxis relevant sind, um die Lebenszykluskosten zu bestimmen, wie im Schlussbericht «Lebenszykluskosten - eine effiziente und breite Anwendung» dokumentiert wurde (Bundesamt für Energie BFE, 2020).

Es wurden vier Ansätze identifiziert (vgl. Abbildung 12), deren Ergebnisse aufgrund unterschiedlicher Systemgrenzen, variierender Betrachtungszeiträume und divergierender Lebensdauern einzelner Bauteile nicht miteinander vergleichbar sind (Bundesamt für Energie BFE, 2020, p. 21). Es wurde festgestellt, dass sich die Methoden in qualitative und quantitative Ansätze unterteilen lassen, wobei qualitative Instrumente über weiche Kriterien mittels Checklisten bewertet werden, was einen gewissen Interpretationsspielraum sowie die Darstellung eines Erfüllungsgrades (beispielsweise anhand eines Ampelsystems oder einer einfachen Gut-/Schlecht-Einschätzung) ermöglicht (Bundesamt für Energie BFE, 2020, pp. 13 -14).

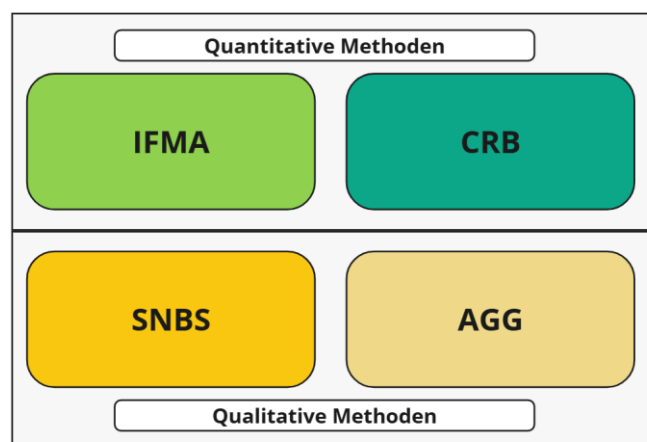


Abbildung 12: Übersicht quantitativer und qualitativer Methoden zur Lebenszykluskostenberechnung in Anlehnung an (Bundesamt für Energie BFE, 2020)

Zur weiteren Strukturierung wird der Lebenszyklus eines Bauwerks häufig in die Phasen Erstellung, Nutzung/Bewirtschaftung und Verwertung unterteilt (IFMA, 2023). Diese umfassen unter anderem Projektentwicklung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, Umbau sowie Rückbau- und Entsorgungskosten (GEFMA/IFMA, 2010):

Lebenszykluskosten nach CRB

Neben der quantitativen Berechnungsmethode der Lebenszykluskosten nach IFMA existiert ebenfalls eine quantitative Vorgehensweise gemäss der Methodik der CRB. Die Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung (CRB) hat eine dreiteilige LCC-Publikation zur Planung der Lebenszykluskosten herausgegeben, welche als Grundlage für die Betrachtung sämtlicher Phasen des Planungs- und Bauprozesses gemäss SIA 112 dient. Diese Publikationen umfassen (Bundesamt für Energie & CSD Ingenieure AG, 2020, pp. 16-17):

- Leitfaden LCC Planung der Lebenszykluskosten
- Handbuch LCC Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken
- Anwendungsbeispiel LCC zur Ermittlung der Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten von Bauwerken

Im Rahmen der Methodik werden zunächst die Herstellungskosten eines Bauwerks nach den Positionen des eBKP-H ermittelt. Anschliessend wird, basierend auf den im «Handbuch LCC» vorgegebenen Instandhaltungskennwerten und festgelegten Nutzungsdauern, für jedes Nutzungsjahr ein Prozentsatz der Herstellungskosten als Unterhaltsaufwand angesetzt

(Bundesamt für Energie & CSD Ingenieure AG, 2020, p. 62). Diese jährlichen Unterhaltskosten werden mithilfe eines Kalkulationszinssatzes, der sowohl die Inflation als auch den zeitlichen Werteverfall berücksichtigt, auf den heutigen Wert (Barwert) abgezinst. Abschliessend werden alle abgezinsten Unterhaltskosten über die gesamte Betrachtungsperiode (z. B. 60 Jahre) summiert und durch die Gesamtfläche des Bauwerks dividiert, um eine normierte Kennzahl (z. B. in CHF/m² GF·Jahr) zu erhalten (Bundesamt für Energie & CSD Ingenieure AG, 2020, p. 63).

Limitationen und Herausforderungen

Es wird festgestellt, dass die Methode der Lebenszykluskostenberechnung nach CRB ausschliesslich die Investitionskosten sowie fortlaufende Unterhalts- und Instandhaltungskosten erfasst. Betriebskosten für Versorgung, Energie und Reinigung werden nicht detailliert abgebildet, und Kosten, die am Ende des Lebenszyklus infolge von Entsorgungs- oder Rückbauprozessen anfallen, werden explizit ausgeklammert (CRB, 2012, p. 6). Ferner basiert die Methodik auf elementaren Durchschnittswerten der Bauteilpositionen gemäss eBKP-H, was eine differenzierte Analyse einzelner Kostenpositionen und das Aufzeigen spezifischer Optimierungspotenziale einschränkt (Bundesamt für Energie & CSD Ingenieure AG, 2020, p. 63).

Die CRB-Methodik deckt zwar Errichtungs- und grundlegende Unterhaltskosten ab, weist jedoch Lücken bei der detaillierten Erfassung von Betriebs-, Sanierungs- und Rückbaukosten auf. Das IFMA-Modell bietet hier eine umfassendere und differenziertere Abbildung aller Lebenszyklusphasen. Für eine Anwendung im Planungsalltag eignet sich die CRB-Methodik besonders aufgrund ihrer geringen Einstiegshürde und der praxisnahen Struktur nach eBKP-H-Klassifikation, die eine schnelle Abschätzung von Unterhaltskosten ermöglicht (Bundesamt für Energie BFE, 2020, p. 63)

Methoden der Investitionsrechnung

Es wurde festgestellt, dass verschiedene Berechnungsansätze zur Ermittlung der Lebenszykluskosten existieren. Dabei kommen zwei Verfahren am häufigsten zum Einsatz, nämlich das statische sowie das dynamische Verfahren. Das dynamische Verfahren basiert auf zukünftigen Zahlungsströmen, die mithilfe eines Kalkulationszinssatzes diskontiert werden, um den Zeitwert des Geldes abzubilden und eine langfristig fundierte Bewertung der Wirtschaftlichkeit zu ermöglichen. Im Gegensatz dazu beruhen statische Verfahren ausschliesslich auf gegenwärtigen Kostenkennwerten, ohne zukünftige Preisentwicklungen oder Zinsanpassungen zu berücksichtigen (Pelzeter, 2017, p. 65). Ergänzend hierzu verdeutlicht Abbildung 13 einen methodischen Überblick über die klassischen Investitionsrechenverfahren.

Klassische Verfahren	
Statische Methode	Dynamische Methode
Kostenvergleichsrechnung	Kapitalwertmethode
Gewinnvergleichsrechnung	Interne Zinsfussmethode
Rentabilitätsrechnung	Annuitätenmethode
Amortisationsrechnung	Payoff-Methode

Abbildung 13: Investitionsrechenverfahren in Anlehnung an (Schulte & Bone-Winkel, 2016)

Die Auswahl der Methode ist entscheidend für das Endresultat. Während die statische Berechnung einfacher durchzuführen ist als die dynamische, fehlt ihr die Abbildung des Zeitwerts

des Geldes (Pelzeter, 2007, p. 119). Es wurde zudem festgestellt, dass mit der dynamischen Methode eine realistischere Bewertung der Lebenszykluskosten erreicht werden kann (Pelzeter, 2007, p. 126).

Die Formel (1) für die dynamische Berechnung nach GEFMA/IFMA 220 lautet gemäss (Pelzeter, 2017, p. 66):

$$K = \sum_{t=0}^n \frac{Z}{(1+i)^t} \quad (1)$$

- K*: Kapitalwert der Lebenszykluskosten
- Z*: Zahlungsdifferenz der jährlichen Ein- und Auszahlungen
- i*: Kalkulationszinssatz in Dezimal
- n*: Anzahl der Jahre des Betrachtungszeitraums
- t*: Betrachtungszeitpunkt

Beispielrechnung

Zur Veranschaulichung wird ein Rechenbeispiel mit konstanten jährlichen Zahlungen über drei Jahre bei einem Kalkulationszinssatz von 5,5 % herangezogen.

Tabelle 3: Beispielrechnung der Barwertmethode nach der Formel (1):

t	Z _t (CHF)	Barwert (CHF)
1	1'100	947
2	9'000	897
3	4'000	851

Der Kapitalwert K ergibt sich durch die Summe der abgezinnten Werte:
 $K \approx 947 + 897 + 851 = 2'695$ CHF

Interpretation des Kapitalwertes

Bei der Bewertung von Lebenszykluskosten eines Bauwerks wird jene Variante als wirtschaftlicher angesehen, die den höchsten Kapitalwert bei positiven Ergebnissen beziehungsweise den geringsten negativen Kapitalwert aufweist. Im Vergleich zur statischen Methode, bei der alle Kosten ohne Abzinsung addiert werden, bietet die dynamische Methode eine präzisere Darstellung der finanziellen Auswirkungen zeitlich gestaffelter Zahlungen. Sie ist daher insbesondere für nachhaltige Bauprojekte mit langfristigem Planungshorizont besser geeignet, da sie den Zeitwert des Geldes berücksichtigt und somit eine realistischere Entscheidungsgrundlage schafft.

Bauteilnutzungsdauer

Zudem stehen für die Annahmen zur Nutzungsdauer der Bauteile verschiedene Informationsquellen zur Verfügung. So kann beispielsweise die Nutzungsdauer gemäss SIA 2032 Anhang C herangezogen werden (SIA 2032, 2013). Darüber hinaus bietet das BNB ein Merkblatt mit verschiedenen Nutzungsdauern der Bauteile (Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2017). Auch werden im LCC-Handbuch von CRB die Durchschnittswerte der Bauteilpositionen nach eBKP-H angegeben, die als normative Referenzgrössen zur Standardisierung der Kostenermittlung herangezogen werden (CRB, 2012).

Im weiteren Verlauf der Analyse wurde ein Lebenszykluskosten-Berechnungstool evaluiert. Hierfür wurde das Tool Keevalue getestet, welches anhand praxisbezogener Daten und KI-gestützter Verfahren Daten aus vergleichbaren Projekten extrahiert und diesen Beispielen zuordnet (keeValue ag, 2025). Es zeigte sich, dass die auf aggregierter Ebene ermittelten Werte nur schwer einzelnen Bauteilen zugeordnet werden können. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse ist im Anhang 8 aufgeführt.

Umgang mit Unsicherheiten

Die Berechnung von Lebenszykluskosten ist grundsätzlich mit Unsicherheiten verbunden, da insbesondere die Prognose von Preisentwicklungen, die tatsächliche Nutzungsdauer von Bauteilen sowie mögliche technische Entwicklungen oder sich ändernde gesetzliche Rahmenbedingungen nur eingeschränkt vorhersehbar sind (Körkemeyer et al., 2019, p. 9). Zur Berücksichtigung dieser Unsicherheiten werden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Dabei werden zentrale Annahmen, wie beispielsweise Preissteigerungsraten, systematisch variiert, um den Einfluss auf die Lebenszykluskosten und die daraus abgeleiteten Bewertungen zu analysieren. Dieses Vorgehen erfolgt iterativ, um Schwellenwerte zu identifizieren, bei deren Überschreitung sich die Vorteilhaftigkeit einer Variante gegenüber einer anderen verändert. Dadurch wird eine fundierte Entscheidungsgrundlage geschaffen, die auch unter variierenden Rahmenbedingungen belastbar bleibt (Pelzeter, 2017, p. 67).

2.2.5 Urbane Mine

Begriff und Relevanz

Der Begriff «Urbane Mine» bezeichnet Gebäude als Rohstofflager im Rahmen des übergeordneten Urban-Mining-Ansatzes. Dieser verfolgt das Ziel, Städte als Quellen wertvoller, sekundär nutzbarer Rohstoffe für eine zirkuläre Wirtschaft zu betrachten (Neligan, 2023). Für die TSD-Methodik ist es von zentraler Bedeutung, nicht nur die aktuelle Nutzung eines Bauwerks zu bewerten, sondern auch dessen zukünftiges Potenzial als Rohstoffquelle zu erfassen. Durch die Integration der urbanen Mine können negative Wertverluste, die durch Rückbau- und Entsorgungskosten entstehen, teilweise kompensiert und die nachhaltige Wertsteigerung von Bauwerken gefördert werden (Olender & Rosen, 2023, p. 20).

Trotz bestehender Initiativen wie der EU-Taxonomie existieren bislang keine einheitlichen Indikatoren zur Messung der Kreislauffähigkeit in der gebauten Umwelt. Harmonisierte Bewertungsmethoden und standardisierte Indikatoren werden jedoch zunehmend entwickelt und bilden eine Grundlage für fundierte Entscheidungsprozesse, unter anderem durch das ISO-Komitee ISO/TC 323 Circular Economy (dos Santos Gonçalves et al., 2025, p. 1; Wasmer, 2025).

Im Bericht der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) wird dargelegt, dass im deutschsprachigen Raum eine Vielzahl an Methoden zur Bewertung der Zirkularität existiert, wie in Abbildung 14 dargestellt wird. Diese Methoden werden systematisch hinsichtlich ihrer Berechnungsebenen, ihrer Anwendungsphasen sowie der Teilindikatoren für Kreislaufführung und Kreislauffähigkeit miteinander verglichen. Dadurch werden die individuellen Grenzen und Potenziale der jeweiligen Ansätze deutlich aufgezeigt (DGNB, 2024, p. 6).

Methode	Circularity Score (CS)	Concular Circularity Performance Index (CPX)	DGNB Zirkularitätsindex (DGNB ZI)	EPEA Circularity Passport® Buildings (CP)	IBO Entsorgungsi ndikator (EI)	Madaster Circularity Indicator (MCI)	Urban Mining Index (UMI)	Recycling-Graph	Zirkularitätsindex zur Bewertung der Kreislauffähigkeit (Bund)
Umfang									
Ebenen	Bauteilebene, Materialebene 	Bauteilebene, Materialebene 	Gebäude-, Bauteil-, Materialebene 	Gebäude-, Bauteil-, Materialebene 	Bauteilebene 	Gebäude-, Bauteil-, Materialebene 	Gebäude-, Bauteil-, Materialebene 	Gebäude-, Bauteil-, Materialebene 	Gebäude-, Bauteil-, Materialebene
Phasen	Heutiger + zukünftiger Beitrag ♻️ + ♻️	Heutiger Beitrag ♻️	Heutiger + zukünftiger Beitrag ♻️ + ♻️	Heutiger + zukünftiger Beitrag ♻️ + ♻️	Heutiger Beitrag ♻️	Heutiger + zukünftiger Beitrag ♻️ + ♻️	Heutiger + zukünftiger Beitrag ♻️ + ♻️	Zukünftiger Beitrag ♻️	Zukünftiger Beitrag ♻️
Kreislaufführung (Pre-Use)	Materialherkunft	Materialherkunft	Materialherkunft, Bau-/Abbruchabfälle, Schadstoffbelastung	Materialherkunft, CO ₂ -Fußabdruck, Schadstoffbelastung	Materialherkunft, CO ₂ -Fußabdruck	Materialherkunft, CO ₂ -Fußabdruck	Materialherkunft, CO ₂ -Fußabdruck, Schadstoffbelastung	-	-
Kreislauffähigkeit (Post-Use)	Wiedereinsatzbarkeit, Demontagefähigkeit, Materialverwertung	Wiedereinsatzbarkeit, Demontagefähigkeit, Materialverwertung	Materialverträglichkeit, Demontagefähigkeit, Werkstofftrennbarkeit, Materialverwertung	Demontagefähigkeit, Werkstofftrennbarkeit, Materialverwertung	Materialverwertung	Demontagefähigkeit, Materialverwertung	Materialverträglichkeit, Demontagefähigkeit*, Materialverwertung*	Demontagefähigkeit, Materialverwertung	Materialverträglichkeit, Demontagefähigkeit, Materialverwertung

= Gebäudeebene = Bauteilebene = Materialebene
 ♻️ = Heutiger Beitrag (Pre-Use) ♻️ = Zukünftiger Beitrag (Post-Use) ♻️ + ♻️ = beide Phasen
 * Nach materialspezifischem EoL-Szenario für selektiven Rückbau bzw. üblichem Abbruch inkl.
 Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Rückbaus
 ** MCI basiert auf dem Material Circularity Indicator der Ellen MacArthur Foundation

Abbildung 14: Relevante Zirkularitätsbewertungsmethoden nach Ebenen, Lebenszyklusphasen und Indikatoren in Anlehnung an (DGNB, 2024)

Urban Mining Index

Für die TSD-Methodik wird der Urban Mining Index (UMI) als bevorzugtes Instrument hervorgehoben, da er die Kreislaufpotenziale von Baukonstruktionen quantitativ bewertet. Ziel der Methodik ist es, in der frühen Phase der Neubauplanung das Potenzial zur rückbaufähigen und ressourcenschonenden Rückführung verbauter Materialien systematisch zu erfassen. Dabei werden sowohl technische Aspekte wie die Demontierbarkeit und Sortenreinheit als auch wirtschaftliche Faktoren wie der Aufwand und der Restwert beim Rückbau berücksichtigt (Rosen, 2020, pp. 5, 8).

Wirtschaftlichkeit des selektiven Rückbaus

Zur Bewertung der Rückbauwahrscheinlichkeit werden zwei zentrale Parameter herangezogen. Der Faktor Arbeit quantifiziert den Aufwand für den selektiven Rückbau eines Bauteils unter Berücksichtigung des Einsatzes von Personal und Maschinen (Rosen, 2020, pp. 98-105). Der Faktor Wert bildet die wirtschaftliche Relevanz eines Bauteils ab, indem er Entsorgungskosten und potenzielle Erlöse für das zurückgewonnene Material berücksichtigt (Rosen, 2020, pp. 105-106). Beide Faktoren werden miteinander verrechnet, um eine realistische Einschätzung der Rückbaupraxis zu ermöglichen.

Urban Mining Indicator

Das Endergebnis der UMI-Methodik ist der sogenannte Urban Mining Indicator, ein aggregierter Kennwert auf Gebäudeebene, der auf den Einzelbewertungen aller verbauten Bauteile basiert. Die Grundlage zur Ermittlung des Urban Mining Indicators bildet die Bewertung aller verbauten Bauteile anhand ihrer Kreislaufpotenziale, die im Rahmen der UMI-Methodik differenziert nach Pre-Use- und Post-Use-Phase (vgl. Tabelle 4) berechnet werden (Rosen, 2020, p. V).

In die Berechnung des Urban Mining Indicators fließen Materialien mit Closed-Loop-Potenzial vollständig ein, während solche mit Loop-Potenzial aufgrund des verbundenen Qualitätsverlusts nur zur Hälfte gewichtet werden. Die Einzelbewertungen der Bauteile werden unter Berücksichtigung ihres Massenanteils am Gesamtgebäude zusammengeführt, um den Urban Mining Indicator zu bestimmen. Dieser gibt an, welcher Anteil der verbauten Materialmasse potenziell in technischen oder biologischen Kreisläufen verbleiben kann (Rosen, 2020, pp. 278-283).

Lebenszyklusphasen des UMI

Der UMI berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks, beginnend mit der Pre-Use-Phase (z. B. Wiederverwendung vorhandener Materialien) über die Use-Phase (z. B. Austauschbarkeit von Komponenten) bis hin zur Post-Use-Phase (z. B. Recycling oder Entsorgung) (vgl. Tabelle 4, Abbildung 15) (Rosen, 2020, p. 12).

Tabelle 4: Lebenszyklusphasen nach UMI

Lebenszyklusphase	Beschreibung
Pre-Use-Phase	In der Pre-Use-Phase wird die Herkunft der eingesetzten Materialien betrachtet. Bewertet wird, ob Materialien bereits recycelt wurden, aus erneuerbaren Rohstoffen stammen oder als wiederverwendete Bauteile in das neue Gebäude eingebracht werden (Rosen, 2020, p. 33). Zur Quantifizierung wird unter anderem die Rezyklierbarkeitsrate, auch Material Recycling Content (MRC), verwendet. Dieser Kennwert gibt an, wie hoch der Anteil an Sekundärmaterialien in einem Produkt ist und liefert damit eine belastbare Datengrundlage zur Bestimmung des Closed-Loop-Potenzials (Rosen, 2020, p. 94). Je höher der MRC, desto höher fällt das bewertete Kreislaufpotenzial aus.
Use-Phase	Die Use-Phase bezieht sich auf die Nutzungsdauer des Gebäudes. Im Fokus stehen hier die Austauschhäufigkeit und Langlebigkeit der Bauteile. Materialien, die langlebig sind oder modular bzw. reparaturfreundlich verbaut wurden, erhöhen die Ressourceneffizienz und verringern das Abfallaufkommen während der Betriebszeit des Gebäudes (Rosen, 2020, p. 33).
Post-Use-Phase	In der letzten Phase wird analysiert, wie gut die Materialien nach dem Rückbau getrennt, aufbereitet und wiederverwertet werden können. Hier spielen vor allem die Demontierbarkeit und Sortenreinheit eine Rolle. Darüber hinaus wird auf Grundlage der zuvor genannten Faktoren Arbeit und Wert bewertet, ob ein selektiver Rückbau wirtschaftlich und technisch realistisch umsetzbar ist. Ziel ist es, möglichst viele Materialien in möglichst geschlossenen Kreisläufen zu halten (Rosen, 2020, pp. 33, 97).

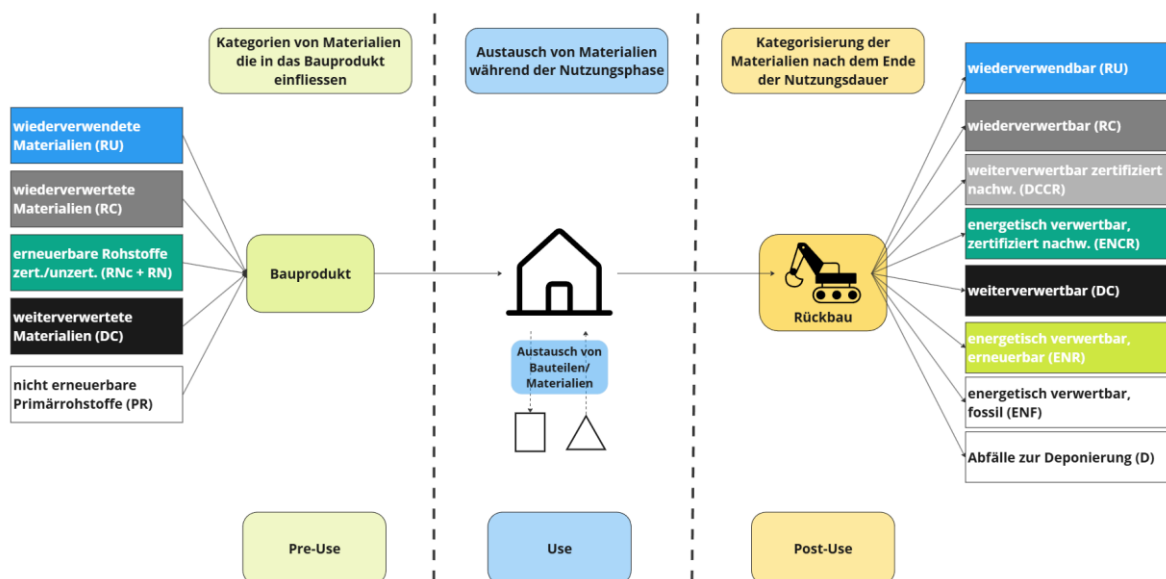


Abbildung 15: Systematik des Urban Mining Index zur Berechnung der Kreislaufpotenziale in Anlehnung an (Rosen, 2020, p. 175)

Kreislaufpotenziale

Dabei werden alle eingesetzten Materialien sowie die daraus entstehenden Wert- und Abfallstoffe analysiert und anhand der Qualitätsstufen ihrer Nachnutzung bewertet. Es wird ermittelt, wie hoch der Anteil zirkulär einsetzbarer Materialien im Verhältnis zur Gesamtmasse aller verwendeten Materialien ist. Grundlage bilden die sogenannten Kreislaufpotenziale, die sich in zwei Kategorien gliedern (vgl. Abbildung 16):

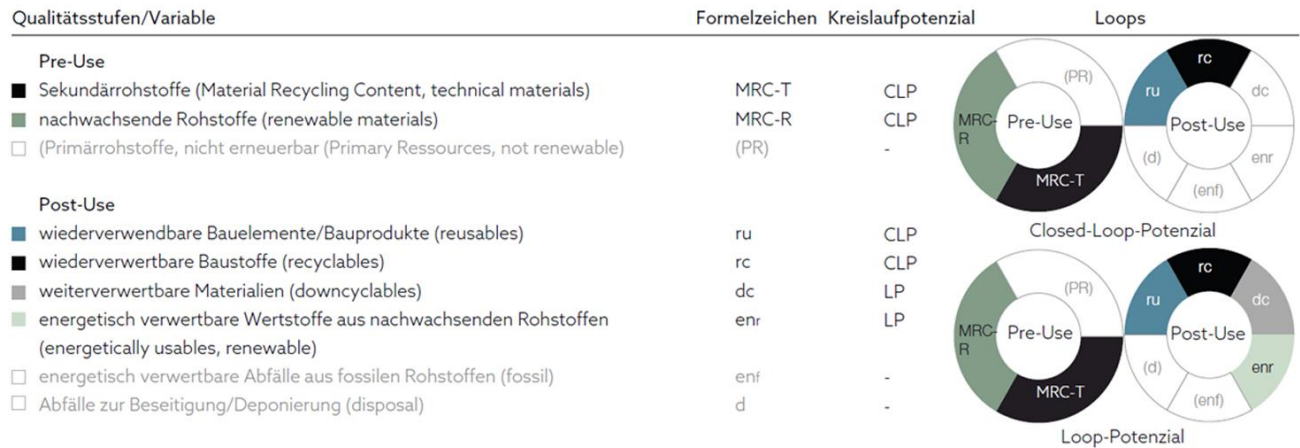


Abbildung 16: Kreislaufpotenziale im Urban Mining Index (Rosen, 2020, p. 161)

Closed-Loop-Potenzial

Das Closed-Loop-Potenzial bezeichnet die Anteile der Materialien, die ohne Qualitätsverlust wiederverwendet oder recycelt werden können (Rosen, 2020, p. 25).

Loop-Potenzial

Das Loop-Potenzial umfasst die Anteile der Materialien, die mit Qualitätsverlust weiterverwertet werden (Downcycling) (Rosen, 2020, p. 25).

Die beiden Potenziale werden getrennt sowohl in der Pre-Use- als auch in der Post-Use-Phase berechnet.

2.2.6 Ökologische Aspekte

Der ökologische Aspekt, insbesondere die Ökobilanz und die daraus abgeleiteten Umweltfolgekosten, wird im Rahmen des TSD berücksichtigt, um eine ganzheitliche und nachhaltige Bewertung von Bauprojekten sicherzustellen. Dadurch wird gewährleistet, dass neben den ökonomischen und sozialen auch die ökologischen Auswirkungen eines Bauwerks über dessen gesamten Lebenszyklus hinweg quantifiziert und reduziert werden können. Umweltfolgekosten umfassen beispielsweise gesellschaftliche Aufwendungen zur Bewältigung von klimabedingten Schäden, Gesundheitsbelastungen oder dem Verlust an Biodiversität. Diese externen Kosten betreffen nicht nur unmittelbar die Umwelt, sondern wirken sich langfristig auch auf die Lebensqualität zukünftiger Generationen aus (Olender & Rosen, 2023, pp. 18, 19).

Messung und Bewertung ökologischer Aspekte

Ein zentrales Element der Ökobilanz stellt die Monetarisierung der Emissionen dar, insbesondere jener von CO₂. Zur Gewährleistung von Vergleichbarkeit und Einheitlichkeit werden Treibhausgasemissionen auf Grundlage ihres Global Warming Potentials (GWP) in CO₂-Äquivalente (CO₂e) umgerechnet (DGNB, 2021, p. 5).

Dazu stehen etablierte Datenbanken zur Verfügung, die ökologische Kennwerte für Baumaterialien bereitstellen. In Deutschland ist dies die «ÖKOBAUDAT¹», welche auf der DIN EN 15804 basiert und Umweltproduktdeklarationen (EPDs) enthält (Bundesinstitut für Bau-,

¹ <https://www.oekobaudat.de>

Stadt- und Raumforschung, 2023). In der Schweiz kommen die «Ökobilanzdaten im Baubereich²» zur Anwendung, herausgegeben von KBOB, ecobau und IPB (vgl. Anhang 16). Diese berücksichtigen teilweise regionale Faktoren wie typische Transportdistanzen für Baumaterialien (Frischknecht, 2022). Beide Datenbanken dienen der Bewertung ökologischer Auswirkungen von Baumaterialien über den gesamten Lebenszyklus. Es ist zu beachten, dass in den Berechnungsansätzen der Treibhausgasemissionen länderspezifische Unterschiede bestehen. In der Schweiz dürfen beispielsweise keine negativen Emissionen in die Berechnung der CO₂e für die Zielwertbestimmung einbezogen werden, da die SIA 390/1 das Ziel verfolgt, Treibhausgasemissionen vollständig zu vermeiden (SIA 390/1, 2025, pp. 4, 15). Im Gegensatz dazu ist in Deutschland die Anrechnung negativer Treibhausgasemissionen nach EN 15804+A2:2019 zulässig (Sarah Mille, 2025).

Politisch festgelegte CO₂-Preise bieten eine gewisse Orientierung, gelten jedoch in verschiedenen Ländern nicht uneingeschränkt als allgemeiner Massstab zur Bewertung sämtlicher CO₂-Emissionen. In Deutschland beträgt der CO₂-Preis im Jahr 2024 beispielsweise rund 45 € pro Tonne CO₂ (Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2024), während in der Schweiz ab 2022 ein Preis von 120 CHF pro Tonne CO₂ festgesetzt wurde (UFAM, 2024). Dieser Preis bezieht sich ausschliesslich auf fossile Brennstoffe wie Heizöl und Erdgas.

Im Gegensatz dazu werden wissenschaftlich abgeleitete Klimakosten, wie sie etwa vom Umweltbundesamt (UBA) für Deutschland ermittelt werden, als umfassendere Masszahl verstanden, da sie die globalen Folgeschäden einer zusätzlichen Tonne CO₂e berücksichtigen. Für das Jahr 2024 (siehe Tabelle 5) beziffert das UBA die Klimakosten beispielsweise mit 300 € pro Tonne CO₂e bei einer Zeitpräferenzrate von 1 % und mit 880 € pro Tonne CO₂e bei einer Zeitpräferenzrate von 0 % (UBA, 2024). Diese Werte beruhen auf globalen Klimafolgeschätzungen, die die weltweiten Schäden infolge einer zusätzlichen Tonne CO₂e einbeziehen. Dazu zählen unter anderem Überschwemmungen, Dürren sowie der Verlust an Biodiversität, die infolge des Klimawandels auftreten und unabhängig davon sind, in welchem Land die Emissionen verursacht werden.

Die Zeitpräferenzrate (ZPR) beeinflusst dabei die Gewichtung zukünftiger Klimakosten und ist ein entscheidender Faktor für die Bewertung von Generationengerechtigkeit. Während eine ZPR von 0 % zukünftige und heutige Schäden gleich bewertet, berücksichtigt eine positive Rate (z. B. 1 %) zukünftige Schäden in reduzierter Form, was den Anreiz für ambitionierte Klimaschutzziele verringern kann (UBA, 2020, p. 8). Nach Auffassung des Umweltbundesamts ist eine positive Zeitpräferenzrate, also ein Wert grösser als 0 %, ethisch nicht zu rechtfertigen, da sie dem Ziel der Generationengerechtigkeit widerspricht. Um eine faire Bewertungsgrundlage zu schaffen, sollten zukünftige Schäden ebenso berücksichtigt werden wie heutige (Olender & Rosen, 2023, p. 19). Die Berechnung der Umweltfolgekosten kann wie folgt durchgeführt werden:

1. Zunächst werden die über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks entstehenden Treibhausgasemissionen in Form von CO₂e quantifiziert.
2. Die Emissionen werden mit einem spezifischen CO₂e-Preis multipliziert, um die Klimakosten zu bestimmen.
3. Die Höhe der daraus resultierenden Klimakosten hängt unter anderem von der gewählten ZPR ab, welche bestimmt, in welchem Verhältnis heutige und zukünftige Umweltbelastungen zueinander gewichtet werden. Eine ZPR von 0 % steht für eine gleichwertige Berücksichtigung aller Generationen und damit für ein hohes Mass an Generationengerechtigkeit, während positive Werte künftige Kosten rechnerisch abwerten.

² <https://www.ecobau.ch>

Tabelle 5: Klimakosten in Anlehnung an (Umweltbundesamt, 2024)

Klimakosten 2024 in Euro pro Tonne Kohlendioxid	2024	2030	2050
1 % reine Zeitpräferenzrate (Höhergewichtung der Wohlfahrt der heutigen Generation gegenüber der Wohlfahrt künftiger Generationen)	300	335	435
0 % reine Zeitpräferenzrate (Gleichgewichtung der Wohlfahrt der Generationen)	880	940	1.080

Tabelle 6: Berechnung der Klimakosten

Klimakosten	1% reine Zeitpräferenzrate	0% reine Zeitpräferenzrate	Berechnung
(1) Preis gemäss UBA (€/t CO ₂ e)	300	880	
(2) Abzgl. bezahlte Emissionen aus dem EU-Emissionshandel (€/t CO ₂ e)	-56	-56	
(3) Ungedeckte Klimafolgekosten (€/t CO ₂ e)	244	824	(3)=(1)-(2)
(4) Produzierter CO ₂ aus Herstellung (t CO ₂ e/m ³)	15	15	
(5) Bezogen auf 1m ³ neu produziertes (€/m ³)	47	204	(5)=(3)*(4)

Die Logik der Diskontierung auf Basis einer Zeitpräferenzrate betrifft nicht nur ökologische, sondern auch soziale Aspekte. Da viele soziale Massnahmen, wie etwa Barrierefreiheit oder Nutzerkomfort, langfristige Wirkungen entfalten, wird deren Nutzen bei positiver Diskontierung ebenfalls rechnerisch abgewertet. Dieser Effekt wurde in Kapitel 2.2.3 berücksichtigt, indem der soziale Nutzen über die gesamte Nutzungsdauer hinweg unter Anwendung einer Zeitpräferenzrate von 1 % berechnet wurde. Auf diese Weise wird eine konsistente Bewertung aller Nachhaltigkeitsdimensionen im Sinne der TSD-Methodik ermöglicht.

Die im vorhergehenden Kapitel dargestellten ökologischen Aspekte verdeutlichen die Relevanz von Umweltfolgekosten im Rahmen nachhaltiger Entscheidungsprozesse. Um diese quantifizieren und systematisch in die TSD-Methodik integrieren zu können, bedarf es einer methodisch fundierten Erhebung der zugrunde liegenden Umweltwirkungen. An dieser Stelle setzt die Ökobilanzierung an, die im folgenden Kapitel 2.3 behandelt wird.

2.3 Ökobilanzierung

Die Ökobilanzierung dient der systematischen Erfassung und Bewertung der Umweltwirkungen von Bauwerken über deren Lebenszyklus hinweg. Dabei spielt die Ökobilanzierung eine grundlegende Rolle, um die Umweltfolgekosten für die TSD-Methodik zu bestimmen, wie bereits im vorherigen Kapitel thematisiert wurde (vgl. Kapitel 2.2.6).

2.3.1 Relevanz in der Schweiz

Im August 2019 wurde vom Bundesrat der Schweiz als Reaktion auf den Sonderbericht des Weltklimarates (IPCC) zur Erderwärmung von 1,5 °C der Beschluss gefasst, bis Mitte des Jahrhunderts eine ausgeglichene Treibhausgasbilanz anzustreben. Sektoren wie Gebäude, Verkehr und Industrie bieten dabei grosse Potenziale zur Reduktion von Treibhausgasen (BAFU, 2025).

Zur Erreichung des Netto-Null-Ziels und zur systematischen Reduktion der Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich spielen normative Grundlagen eine zentrale Rolle. In der Schweiz bilden verschiedene SIA-Normen, Empfehlungen sowie Datensammlungen die methodische Basis für die energetische und ökologische Bewertung von Bauwerken. Diese Regelwerke definieren unter anderem Berechnungsverfahren, Bezugsgrössen und Bewertungsmaßstäbe für die graue Energie und die Treibhausgasemissionen. Nach dem Kreislauforientiertes Bauen Charta zählen dazu folgende (cbc, 2025, pp. 9-10):

Tabelle 7: Übersicht Regelwerke zur Ökobilanzierung in Anlehnung an (cbc, 2025)

Regelwerk	Bezeichnung	Inhaltlicher Schwerpunkt	Relevanz für die Ökobilanzierung
SIA 2032:2020	Graue Energie von Gebäuden	Definiert das Verfahren zur Berechnung der grauen Treibhausgasemissionen (THGE)	Methodische Grundlage für die ökologische Bewertung von Gebäuden
SIA 380:2016	Energie im Hochbau	Grundlagen für energetische Berechnungen, insbesondere die Definition der Energiebezugsfläche (EBF)	Festlegung der Bezugsgrössen für die energetische und ökologische Analyse
SIA-Merkblatt 2032, Anhang C	Lebensdauer und Amortisationszeiten von Bauteilen	Gibt normierte Lebensdauern und Amortisationszeiträume für Bauteile vor	Grundlage für die Lebenszyklusanalyse und Bilanzzeiträume
SIA 390/1:2025 (ehemals SIA 2040)	Klimapfad Gebäude (Nachfolger von SIA 2040)	Definiert nutzungsspezifische Grenz- und Zielwerte für Energie und Treibhausgase	Zielwerte für Nachhaltigkeitsbewertungen in Planung und Betrieb
KBOB-Ökobilanzdaten (KBOB, 2024)	Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich	Umweltkennwerte für Baustoffe, Gebäudetechnik, Energie, Transporte und Entsorgung	Liefert Umweltkennwerte zur Bilanzierung in LCA-Tools

Ergänzend zu den technischen Normen haben sich in der Schweiz verschiedene Nachhaltigkeitslabels etabliert, die ökologische Anforderungen systematisch in die Planung und Ausführung von Bauprojekten integrieren. Diese Labels greifen auf die zuvor genannten Normen und Datengrundlagen zurück und konkretisieren sie durch praxisnahe Bewertungs- und Zertifizierungsverfahren (cbc, 2025, p. 10; ecobau, 2025). Zu den zentralen Systemen zählen unter anderem «SNBS Hochbau», «Minergie-ECO», «GEAK» (Gebäudeenergieausweis der Kantone in Kombination mit SIA-Standards) sowie das Nachhaltige Bauen Schweiz (NNBS). Diese Labels definieren spezifische Kriterien und Zielwerte für graue Energie und Treibhausgasemissionen und unterstützen Bauherrschaften dabei, ihre Projekte auf Netto-Null-Klimaziele auszurichten (cbc, 2025, p. 10; ecobau, 2025).

2.3.2 Methoden zur Ökobilanzierung

In der Literaturübersicht wurde identifiziert, dass gegenwärtige Ökobilanzierungstools verschiedene Integrationsmethoden mit BIM-Modellen verwenden, um relevante

Nachhaltigkeitskennwerte wie Treibhausgasemissionen, Ressourcenverbrauch oder Umweltwirkungen zu generieren. Dabei wird zwischen folgende Methoden in Tabelle 8 und Abbildung 17 unterschieden (Chen et al., 2024, p. 10):

Tabelle 8: Übersicht der Ökobilanzierungsmethoden

Methoden	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
1. BOQ-Import	Automatisierter Export von Mengenlisten aus BIM in LCA-Tools	Automatisierte Mengenermittlung; einfache Übergabe an LCA	Begrenzte Integrationstiefe; potenzieller Informationsverlust
2. IFC-Import	Export von BIM-Modellen im IFC-Format zur standardisierten Weiterverarbeitung in LCA-Software	Hohe Interoperabilität durch Standardformat	Verlust semantischer Tiefe bei IFC; Umstrukturierung notwendig
3. BIM-Viewer	Visualisierung von LCA-Ergebnissen in einem Viewer ohne direkte Modellbearbeitung	Kombination aus detaillierter Analyse und 3D-Visualisierung	Keine direkte LCA-Modellierung möglich
4. BIM-Plug-in	Direkte LCA-Bewertung innerhalb der BIM-Software durch Plug-ins	Integrierte Analyse ohne Export; Nutzung externer Datenbanken	Hoher manueller Aufwand; eingeschränkte Automatisierung
5. LCA mit Dynamo	LCA-Berechnung mittels visueller Programmierung (z. B. Dynamo) in BIM	Hohe Anpassbarkeit; Einbettung der Ergebnisse ins Modell	Erfordert Programmierkenntnisse; aufwendig in der Einrichtung

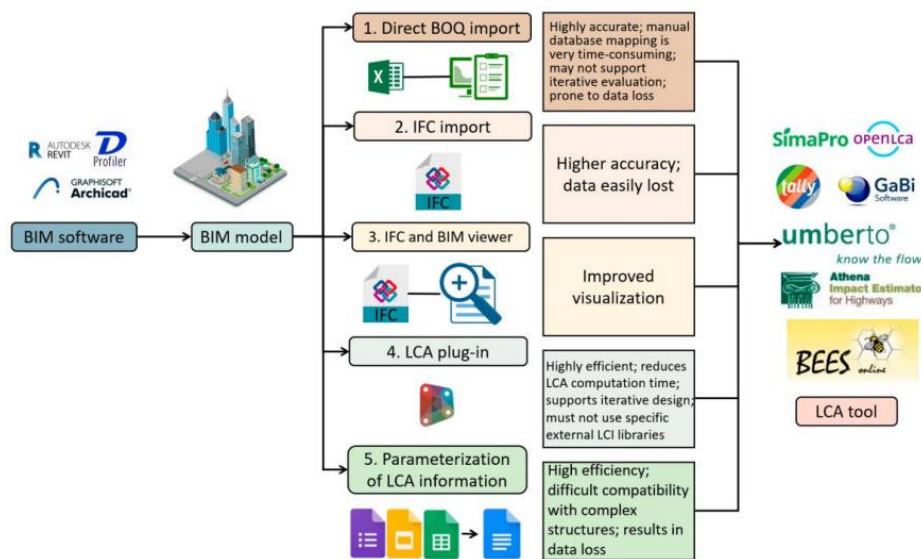


Abbildung 17: Übersicht der Methoden für die Ökobilanzierung mit BIM (Chen et al., 2024)

2.3.3 Ökobilanzierungstool viride (greenDESIGN & greenBIM)

Das Ökobilanzierungstool viride ermöglicht die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten für die Planung von Bauwerken in frühen Phasen eines Projekts. Das Tool wurde am Institut für Nachhaltigkeit und Energie am Bau (INEB) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) entwickelt.

Dabei war das Ziel, die Treibhausgasemissionen mithilfe des Tools zu reduzieren und gleichzeitig die Digitalisierung in der Baubranche voranzutreiben. Viride umfasst zwei unterschiedliche Bewertungsmethoden (vgl. Abbildung 18), die beide für die frühen Projektphasen konzipiert wurden und unterschiedliche Anforderungen an die Datenverfügbarkeit adressieren (Anita Naneva, 2025).

Das Modul greenDESIGN basiert auf der manuellen Eingabe von Bauteilmengen und eignet sich für die Bewertung von Treibhausgasemissionen in frühen Projektphasen, in denen i. d. R. keine digitalen Bauwerksmodelle (DBM) vorliegen. Es unterstützt insbesondere die Szenarienanalyse sowie erste Optimierungsschritte hinsichtlich Material- und Ressourcennutzung.

Im Gegensatz dazu setzt greenBIM auf digitale Gebäudemodelle im IFC-Format mit einem Detaillierungsgrad von LOD 150-200. Diese Methode erlaubt präzisere Berechnungen und Visualisierungen von Umweltauswirkungen auf Grundlage modellbasierter Informationen und kommt typischerweise in fortgeschritteneren frühen Planungsphasen zum Einsatz.

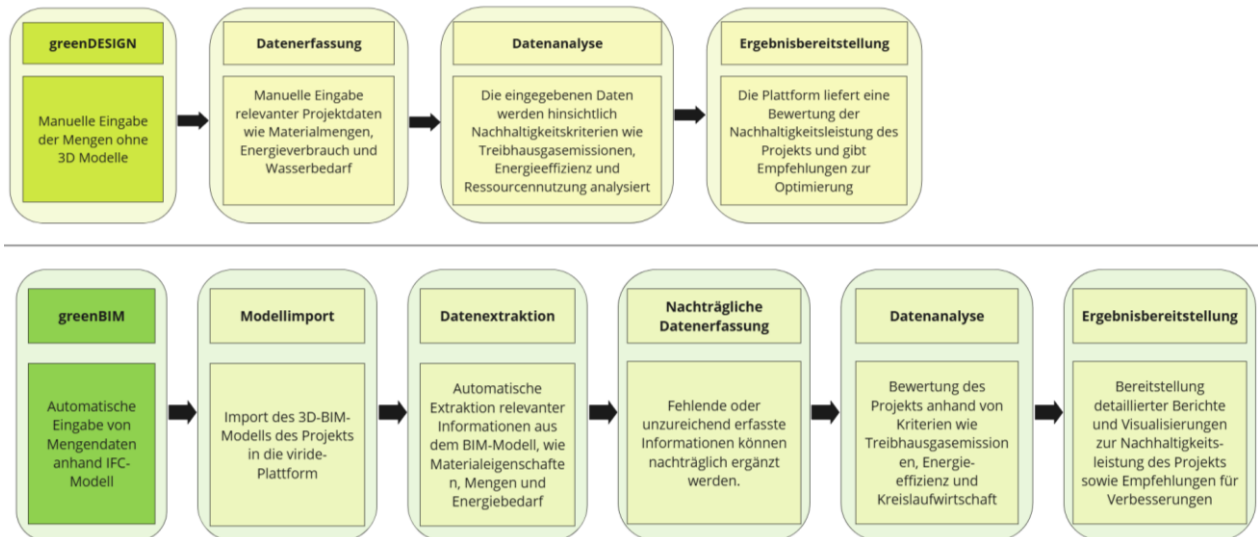


Abbildung 18: Methoden von viride zur Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten (Eigene Darstellung, 2025)

Wesentliche Merkmale der Plattform

Die Plattform berechnet derzeit die Treibhausgasemissionen für die Erstellungsphase eines Projekts, wobei die Erweiterung auf die Betriebsphase im Verlauf des Jahres 2025 geplant ist. Die Plattform ist kompatibel mit relevanten Richtlinien und Zertifizierungssystemen wie KBOB, SIA2032, SIA2040, SIA390/1, SIA380/1, SIA2024, SIA2039, Minergie-P-A/ECO, SNBS (Anita Naneva, 2025). Das Tool liefert zudem standardisierte Ökobilanzdaten, die auf den Schweizer Markt abgestimmt sind und bietet damit ein hohes Potenzial zur Berechnung von Umweltfolgekosten für die TSD-Methodik.

Die Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in die Planung setzt neben geeigneten Bewertungswerkzeugen wie viride auch eine strukturierte und verlässliche Datenbasis voraus. Während viride durch die Kombination von greenDESIGN und greenBIM ökologische Bewertungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg ermöglicht, stellt sich für das TSD-Tool die Frage, wie die zugrunde liegenden Informationen effizient organisiert und verarbeitet werden können. Vor diesem Hintergrund gewinnt ein systematisches Datenmanagement an Bedeutung, das im nachfolgenden Kapitel 2.2.4 mit Blick auf die Anforderungen der Baubranche erläutert wird.

2.4 Datenmanagement Baubranche

In der Baubranche fallen derzeit kontinuierlich grosse Datenmengen an. Es ist wichtig, diese sauber zu erfassen und verarbeiten zu können, um sie für Entscheidungsprozesse in der Projektentwicklung anwenden zu können (Boje et al., 2023, p. 1). Für die TSD-Methodik ist es besonders in den frühen Phasen notwendig, sämtliche relevanten Informationen zu erfassen, um fundierte Aussagen zum nachhaltigen Wert treffen zu können. Die dazu grundlegenden Definitionen zu den Datenbanken (DB) und Datenbankmanagementsystemen (DBMS) sowie eine ausführliche Beschreibung zu den relationalen Datenbankstrukturen und zur Eignung von Microsoft Access als DBMS sind in Anhang 4 ausgeführt.

2.5 Kostenstrukturen in der Baubranche

Die strukturierte Gliederung von Baukosten bildet die Grundlage für eine einheitliche Erfassung, Analyse und den Vergleich von Projekten. Je nach Land und regionaler Praxis kommen dabei unterschiedliche Klassifikationssysteme zur Anwendung. In diesem Kapitel werden jene Systeme behandelt, die im Kontext des entwickelten TSD-Tools von Relevanz sind.

2.5.1 Definition Kostenstruktur

Die Kostenstruktur stellt eine hierarchisch gegliederte Systematik dar, welche sämtliche Kosten eines Bauprojekts in übergeordnete und untergeordnete Kategorien einordnet (Gyueun Lee et al., 2022, p. 2). Ergänzend betonen (Royano et al., 2023, p. 22), dass eine derartige strukturierte Aufgliederung die Vergleichbarkeit von Projekten verbessert und eine fundierte Kostenkontrolle sowie wirtschaftliche Entscheidungsfindung über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks unterstützt.

Dabei existieren international bereits verschiedene Klassifizierungssysteme, die einen einheitlichen Rahmen für die Organisation und Darstellung von Baukosten bieten. Systeme wie CoClass (Schweden), Uniclass 2015 (UK) und OmniClass (USA/Kanada) haben sich in unterschiedlichen Märkten etabliert und verfolgen das Ziel, Baukosten systematisch zu erfassen und zu analysieren (Royano et al., 2023, p. 2). Diese Klassifikatoren ermöglichen es, Kosteninformationen auf verschiedenen Detailebenen, von groben Schätzungen in der Konzeptphase bis hin zu detaillierten Aufschlüsselungen während der Ausführung, transparent darzustellen. Es wird zudem festgehalten, dass international bisher kein einheitliches Klassifizierungssystem existiert. Dies könnte daran liegen, dass die Klassifikationssysteme historisch unterschiedlich gewachsen und entwickelt worden sind und eine Harmonisierung deshalb erschwert ist.

Während international Systeme wie CoClass, Uniclass 2015 und OmniClass weit verbreitet sind und ein einheitliches Rahmenwerk für die Organisation von Baukosten bieten, zeigt sich in der Schweiz ein eigener, ebenso systematischer Ansatz. Im Kontext der Schweizer Bau- und Immobilienwirtschaft agiert die CRB (Zentrum für Baufachinformationen) als Kompetenzzentrum für Standards, das in Zusammenarbeit mit Berufsfachleuten und Partner- Organisationen standardisierte Arbeitsmittel entwickelt (Kfl, 2024).

2.5.2 Klassifikationssystem nach CRB

Der elementbasierte Baukostenplan Hochbau (eBKP-H), entwickelt vom CRB (Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung), bietet eine strukturierte Gliederung der Baukosten nach Bauteilen und Baukonstruktionen. Die Norm SN 506 511 definiert dabei drei Ebenen (CRB, 2020):

- Hauptgruppen (z.B. C «Konstruktion Gebäude»)
- Elementgruppen (z.B. C01 «Fundament, Bodenplatte»)
- Elemente (z.B. C01.01 «Unterbau Fundament, Bodenplatte»)

Diese Gliederung ermöglicht eine eindeutige und transparente Kostenermittlung im Hochbau. Der eBKP-H dient als Arbeitsinstrument, um Baukosten, vom Planungsbeginn bis zur Inbetriebnahme, genau zu erfassen, zu vergleichen und auszuwerten. Durch die auf Elementen basierende Gliederung (vgl. Anhang 9) können Baukostenplaner schnell erkennen, bei welchen Bauteilen die höchsten Aufwendungen liegen und wo Optimierungspotenzial besteht (CRB, 2024).

In dieser Arbeit wird der eBKP-H gezielt zur Berechnung der Nutzungskosten herangezogen. Grundlage hierfür bilden die im CRB-Leitfaden zur Lebenszykluskostenbetrachtung definierten normierten Prozentsätze (vgl. Kapitel 2.2.4), die für verschiedene Bauteilgruppen gelten. Die Herstellungskosten selbst wurden nicht systematisch nach eBKP-H klassifiziert, sondern direkt aus den in der Fallstudie verfügbaren Offerten, Leistungsverzeichnissen und Erfahrungswerten erhoben (vgl. 5.3.3). Diese Datenbasis wurde im Anschluss manuell aufbereitet und einer

strukturierten Datenbank zugeführt, um die Integration in das entwickelte TSD-Tool zu ermöglichen (vgl. 6.5.5).

Die strukturierte Kostengliederung bildet somit eine wichtige Voraussetzung für die Verknüpfung bauökonomischer Informationen mit digitalen Planungsmodellen. Damit diese Informationen im Rahmen der TSD-Methodik nutzbar gemacht werden können, ist ein angemessener Detaillierungsgrad im BIM-Modell erforderlich. Das folgende Kapitel beschreibt, wie dieser aufgebaut ist und welche Anforderungen sich daraus für Nachhaltigkeitsanalysen ergeben.

2.6 Detaillierungsgrad im BIM-Kontext

Die Building Information Modeling (BIM)-Methode erfordert je nach Projektphase unterschiedliche Detaillierungsgrade von Modellen. Um den Informationsgehalt und die geometrische Ausarbeitung zu strukturieren, wurden dafür verschiedene Konzepte entwickelt, darunter Level of Development (LOD), Level of Geometry (LOG), Level of Information (LOI).

2.6.1 Strukturierung von BIM-Modellen mit LOD, LOG und LOI

Ursprünglich wurde das Klassifikationssystem des Level of Development (LOD) vom American Institute of Architects (AIA) eingeführt. Es unterteilt den Entwicklungsgrad eines BIM-Modells in fünf Stufen LOD 100, 200, 300, 400 und 500. Diese Stufen beschreiben sowohl die geometrische Genauigkeit als auch den Informationsgehalt eines Bauteils im Modell (BIM Template, 2023). In späteren Entwicklungen wurde das LOD-Konzept in die Komponenten Level of Geometry (LOG) und Level of Information (LOI) differenziert, um eine präzisere Trennung zwischen geometrischen und alphanumerischen Modellinhalten zu ermöglichen (Abualdenien & Borrmann, 2022, p. 373; AGT, 2025a).

Der LOG bezeichnet die im Modell darzustellende geometrische Detailgenauigkeit. Er reicht von einfachen, symbolischen Darstellungen (LOG 100) über konzeptuelle Volumina (LOG 200), technische Ausführungen (LOG 300/350) bis hin zu hersteller- und montagespezifischen Geometrien (LOG 400) und as-built-Daten (LOG 500). Die LOG-Stufe wird projektspezifisch definiert und orientiert sich an den Anforderungen der jeweiligen Planungs- oder Betriebsphase (AGT, 2025b).

Der LOI umfasst alle alphanumerischen und dokumentarischen Daten, die Bauteilen in einem BIM-Modell zugewiesen werden. Dabei handelt es sich um nicht-geometrische Daten wie Materialeigenschaften, technische Spezifikationen, Kosteninformationen, Lebenszyklusdaten oder Wartungshinweise. Der Informationsgehalt entwickelt sich parallel zum Projektfortschritt und orientiert sich an den jeweiligen Anforderungen der Planungs-, Ausführungs- und Betriebsphasen. Die Informationsdichte steigt projektphasenabhängig und wird in Stufen gegliedert. LOI 100 enthält grobe Angaben für die Konzeptphase, LOI 200 liefert erste technische Details, LOI 300 stellt qualitätsgesicherte Informationen für die Ausführungsplanung bereit. LOI 400 beinhaltet vollständige herstellereinspezifische Angaben, während LOI 500 den realisierten Bauzustand mitsamt Betriebsdaten abbildet (vgl. Abbildung 19) (AGT, 2025c).


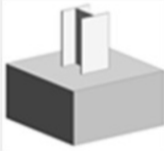

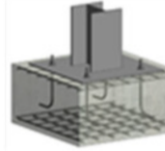

Level of Development (LOD)	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
Level of Geometry (LOG)					
Level of Information (LOI)	Raumbereiche, Konzeptfachplaner und Planer	Bauteile und Ausbauelemente: Position, Grösse, Material	Bauteilspezifikation, Qualität und Gestaltung	Alle Ausführungs-details festgelegt	Zertifikate und Produktdokumentation

Abbildung 19: LOD-Stufen 100-500 in Anlehnung an (Leonovich, 2021, p. 8; Naneva, 2019, p. 21)

In wissenschaftlichen Arbeiten, beispielsweise von Santos et al. und Soust-Verdaguer et al., wird darauf hingewiesen, dass für die Durchführung einer verlässlichen Lebenszyklusanalyse oder Lebenszykluskostenanalyse mindestens ein Detaillierungsgrad von LOD 300 erforderlich ist. Bei diesem Detaillierungsgrad sind hinreichend genaue Informationen über Geometrie und Materialien enthalten, um die relevanten Nachhaltigkeitsaspekte abzubilden (Berges-Alvarez et al., 2024, p. 14). Eine standardisierte Zuordnung von LOG und LOI in Verbindung mit dem LOD trägt somit wesentlich zur Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von Analyseergebnissen bei und stellt eine wichtige Grundlage für die Anwendung der TSD-Methodik dar.

Die strukturierte Modellierung von Geometrie- und Informationsinhalten in Form von LOD, LOG und LOI ermöglicht eine datenbasierte Grundlage für Nachhaltigkeitsbewertungen im Rahmen der TSD-Methodik. Damit diese Informationen jedoch effektiv in Entscheidungsprozesse integriert werden können, ist eine visuelle Aufbereitung erforderlich, die komplexe Zusammenhänge verständlich vermittelt und gezielte Handlungsoptionen aufzeigt. Das folgende Kapitel widmet sich daher der Rolle datenvisualisierender Werkzeuge und untersucht, wie diese zur Entscheidungsunterstützung im Planungsprozess beitragen können.

2.7 Datenvisualisierungstools

Nach der Feststellung, welche Vorteile eine Datenbank bei der strukturierten Verwaltung projektbezogener Informationen bietet, ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die bloße Verfügbarkeit der Daten nicht ausreicht, um fundierte und zielgerichtete Entscheidungen zu unterstützen. Erst durch die Visualisierung der aggregierten Datenbestände wird es möglich, komplexe Zusammenhänge transparent und verständlich darzustellen (Islam & Jin, 2019, p. 1). Die visuelle Aufbereitung von Daten kann dazu beitragen, eine gemeinsame Sichtweise auf relevante Projektmetriken zu schaffen, wodurch sowohl die Koordination als auch das Verständnis unter den Projektbeteiligten verbessert werden. Insbesondere im Kontext von Lean Construction konnten durch den Einsatz visueller Dashboards die Bereiche Kommunikation, Sicherheit und Zusammenarbeit signifikant gestärkt werden. Darüber hinaus eröffnet eine anwenderfreundliche Datenvisualisierung die Möglichkeit, auch Nutzer ohne vertiefte Kenntnisse im Bereich der Datenanalyse in Entscheidungsprozesse einzubinden und somit eine breitere Beteiligung zu fördern (Somik Ghosh et al., 2024, pp. 487, 488).

2.7.1 Power BI als Datenvisualisierungstool

Das Business-Intelligence-Tool von Microsoft, bekannt als Power BI, dient der strukturierten Visualisierung von Daten und unterstützt Entscheidungstragende dabei Entscheidungen zu treffen (Schlegel, 2024). Die Architektur basiert auf vier Modulen (Power Query, Power Pivot, Power Map und Power View), welche es ermöglichen, Daten aus heterogenen Quellen zu importieren, zu bereinigen, zu modellieren und interaktiv darzustellen.

Es wird festgestellt, dass Power BI die automatisierte Anbindung von über 120 Datenquellen ermöglicht und eine Echtzeitdarstellung interaktiver Dashboards bietet. Dabei wird die Echtzeitaktualisierung der Abfrageergebnisse in Kombination mit der Nutzung leistungsfähiger Kalkulationsfunktionen (DAX) als zentraler Vorteil hervorgehoben (Cheng & Gu, 2022, p. 16). Auch bietet Power BI die Möglichkeit, Berichte ortsunabhängig über Web- und Mobilgeräte bereitzustellen, um den Projektstatus kontinuierlich überwachen zu können. Zudem können Daten sowohl über den Dateiimport als auch über direkte Datenverbindungen erfasst werden (Microsoft, 2025). Die Abbildung 20 zeigt schematisch den typischen Datenfluss innerhalb der Power-BI-Umgebung, von der Anbindung interner und externer Datenquellen über Power BI Desktop bis zur Veröffentlichung in der Cloud sowie dem mobilen oder webbasierten Zugriff durch verschiedene Endgeräte (TPG, 2025).

Im Unterschied zu konventionellen Anwendungen wie Microsoft Excel ermöglicht Power BI eine effizientere Handhabung grosser und dynamischer Datensätze. Dies wird durch fortschrittliche Datenmodellierungsfunktionen, automatisierte Aktualisierungen sowie eine benutzerfreundliche Oberfläche gewährleistet. Während Excel bei der Verarbeitung umfangreicher Datenmengen und

der Anbindung multipler Datenquellen zunehmend an seine Grenzen stösst, überzeugt Power BI durch eine leistungsfähige In-Memory-Verarbeitung und die nahtlose Integration heterogener Datenquellen (Söhlike, 2024).

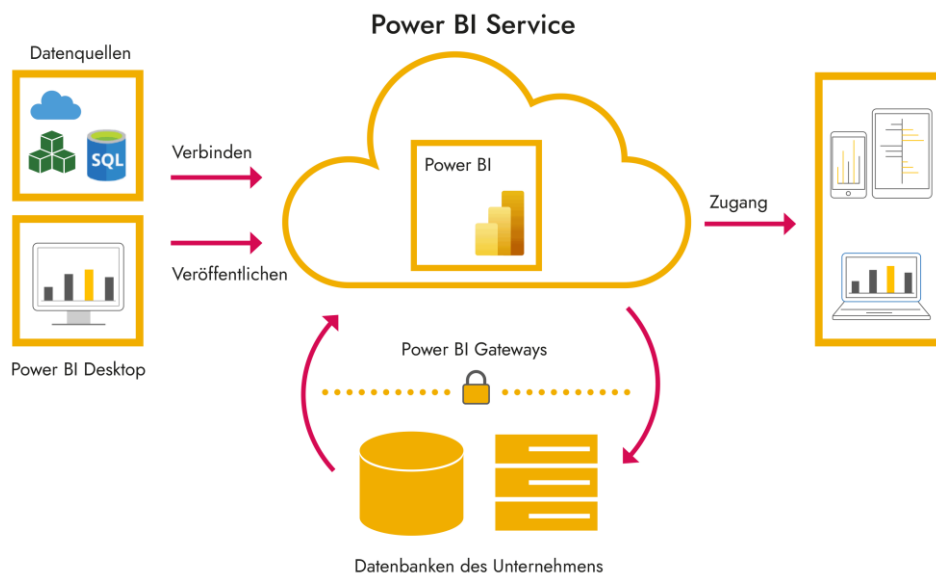


Abbildung 20: Datenfluss in der Power-BI-Architektur (TPG, 2025)

2.7.2 Speckle als Schnittstelle zu Power BI und BIM

BIM-Modelle gewinnen in der Baubranche zunehmend an Bedeutung, da sie sämtliche relevanten Informationen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes speichern. Power BI bietet die Möglichkeit, diese Daten strukturiert und visuell aufzubereiten, um fundierte Entscheidungsprozesse zu unterstützen (Kadcha et al., 2022, p. 1). Da BIM-Modelle jedoch nicht direkt in Power BI importiert werden können, stellt Speckle eine zentrale Schnittstelle zwischen den für die Erstellung von BIM-Modellen eingesetzten Autorensoftwares und Power BI dar. Speckle ist eine Open-Source-Plattform zur Verwaltung, Verteilung und Integration von AEC- und BIM-Daten und ermöglicht deren Weiterverarbeitung in Drittanwendungen (Poinet et al., 2020, p. 1). Die Plattform besteht aus folgenden zentralen Komponenten:

- Zentraler Server: Dient als Speicherort, an dem alle BIM-Daten versioniert und zentral verwaltet werden (Speckle, 2025a).
- Client-Bibliotheken (SDKs): Speckle bietet Verbindungen zu gängiger Planungssoftware wie Revit, Rhino oder Excel. Diese ermöglichen das automatisierte Senden und Empfangen von Daten zwischen lokalen Anwendungen und dem Speckle-Server, um Informationen effizient auszutauschen (Poinet et al., 2020).
- Konnektoren: Diese ermöglichen die Extraktion von BIM-Daten aus nativen Modellierungsumgebungen und deren Überführung in offene Datenformate (z. B. JSON oder IFC), wodurch eine Weiterverarbeitung in Visualisierungs- oder Analyseumgebungen wie Power BI möglich wird (Speckle, 2025a).

Darüber hinaus unterstützt Speckle kollaborative Arbeitsprozesse, Versionskontrolle und eine kontinuierliche Aktualisierung von Daten. Diese Funktionen ermöglichen die nahtlose Integration von BIM-Modellen in Analyseumgebungen und erleichtern dadurch die Erstellung interaktiver Dashboards und dynamischer Visualisierungen (Speckle, 2025b).

Zusammenfassend dient Speckle als Brücke zwischen verschiedenen Autorensoftwares, indem ein strukturierter und automatisierter Datenaustausch ermöglicht wird. Auf diese Weise wird die Integration von BIM-Modellen in Power BI erleichtert und eine datengestützte Entscheidungsfindung über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks hinweg unterstützt.

3 Stand der Forschung

In diesem Kapitel wird der aktuelle Stand der Forschung zu den bestehenden Tools analysiert, um zu prüfen, ob sie die TSD-Methodik erfüllen können. Dabei wird untersucht, ob und inwieweit bestehende Werkzeuge bereits in der Lage sind, die drei zentralen Nachhaltigkeitsdimensionen (Ökologie, Ökonomie und Soziales) integrativ abzubilden.

Zu Beginn werden die bestehenden Anforderungen sowie methodische und technische Herausforderungen bei der Digitalisierung der TSD-Methodik identifiziert (Kapitel 3.1). Anschliessend wird darauf aufbauend relevante digitale Ökobilanzierungs- und Zirkularitätstools bezüglich ihrer Funktionalitäten und Kompatibilität mit dem TSD-Ansatz bewertet (Kapitel 3.2). Abschliessend wird eine Forschungslücke aufgezeigt, die den Bedarf für ein datenvisualisierendes Tool in der frühen Planungsphase begründet (Kapitel 3.3).

3.1 Anforderungen & Hürden der Tools für die TSD-Methodik

Im ersten Schritt wird der aktuelle Stand bestehender digitaler Ansätze analysiert, mit dem Ziel zu untersuchen, inwieweit die Integration der ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension bislang realisiert werden konnte.

3.1.1 Relevanz der drei Säulen der Nachhaltigkeit

Die Target Sustainability Design-Methode adressiert die starke Nachhaltigkeit, indem sie die drei Dimensionen ökologisch, ökonomisch und sozial in frühen Planungsphasen berücksichtigt (Olender & Rosen, 2023, p. 2). Ziel ist es, eine umfassende Entscheidungsunterstützung zu ermöglichen, die auf einer ganzheitlichen der drei Nachhaltigkeitsdimension auch «Triple-Bottom-Line» auf Englisch genannt basiert. Dabei wird in der Norm EN 15642 das Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) festgelegt, welches die Dimension als ökologischen (LCA), ökonomischen (LCC) und sozialen (S-LCA) Aspekte definiert (Berges-Alvarez et al., 2024, p. 1).

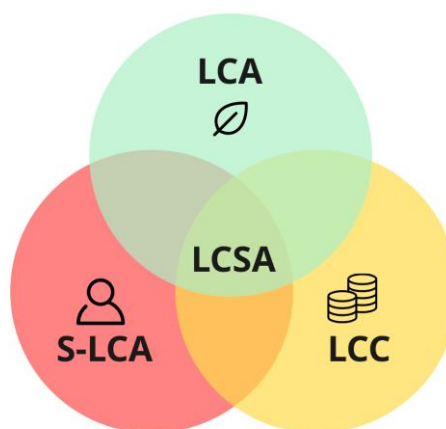


Abbildung 21: Life Cycle Sustainability Assessment

Nach den Autoren Larsen et al. ist bisher eine vollständige digitale Umsetzung dieser integrierten Herangehensweise jedoch weder in der Praxis noch in der Forschung etabliert (Larsen et al., 2022, p. 3). Zwar gibt es zahlreiche Ansätze, LCA und LCC in BIM-basierte Tools zu integrieren, doch geschieht dies meist nur für einzelne Nachhaltigkeitsdimensionen. Eine aktuelle Literaturstudie zeigt, dass etwa 76 % der untersuchten Fälle BIM nur zur Bewertung einer Dimension (entweder Umwelt oder Kosten) einsetzen. Die Kopplung von BIM mit LCA ist dabei am weitesten verbreitet, während LCC häufig ergänzend zu LCA behandelt wird (Berges-Alvarez et al., 2024, p. 13; Leichter & Piccardo, 2024, p. 16).

Hingegen ist festzustellen, dass S-LCA bisher kaum Eingang betrachtet wird. In der Literatur gibt es sehr wenige Studien, die BIM gezielt mit der sozialen Lebenszyklusanalyse verbinden ((Berges-Alvarez et al., 2024, p. 13; Leichter & Piccardo, 2024, p. 16)). Somit wurde ein Trend zu LCSA in den letzten Jahren festgestellt, also der gleichzeitigen Betrachtung aller drei Säulen, allerdings bisher fast ausschliesslich in Forschungsprojekten (Berges-Alvarez et al., 2024, p. 13).

Ein aktueller Forschungsbeitrag, der diese Limitierung adressiert, ist das von (Soust-Verdaguer et al., 2024) entwickelte «Smart BIM3LCA Tool». Dieses ermöglicht eine automatisierte Bewertung von Bauteilvarianten auf Basis des LCSA direkt innerhalb einer BIM-Umgebung. Durch die Integration einer Triple-Bottom-Line-Datenbank, die ökologische (CO₂-Äquivalente), ökonomische (Kosten) und soziale (Arbeitsstunden) Indikatoren umfasst, wird eine ganzheitliche Bewertung ermöglicht. Die Entscheidungsfindung erfolgt über die Anwendung der Multi-Criteria-Decision-Making-Methode TOPSIS, mit der eine gewichtbare Auswahl der geeignetsten Materialalternative getroffen werden kann. Damit stellt dieses Tool einen wichtigen Schritt zur operativen Umsetzung von LCSA in der digitalen Bauplanung dar. Die Anwendung bleibt jedoch auf prototypische Fallstudien beschränkt.

3.1.2 Technische Herausforderungen

Neben den methodischen Unterschieden bestehen auch erhebliche technische Hürden. Kritisch angesehen wird davon die Datenverfügbarkeit über den gesamten Lebenszyklus. Das TSD-Tool müsste in der Lage sein, Material- und Bauteildaten aus dem BIM-Modell mit umfangreichen Ökobilanzdaten (z. B. Umweltwirkungen pro kg Material), Kostenkennwerten (Investitions- und Nutzungskosten) sowie sozialen Daten (etwa Arbeitsbedingungen oder Nutzergesundheit) anzureichern. Datensätze hierfür liegen jedoch oft nur lückenhaft vor (Lu et al., 2024, p. 4).

Auch wurde festgestellt, dass viele Anwendungen nur Tragwerk und Gebäudehülle analysieren, während die technische Gebäudeausrüstung unberücksichtigt bleibt (Berges-Alvarez et al., 2024, p. 13). Ein Grund dafür ist, dass die BIM-Modelle in der frühen Projektphase meist einen LOD zwischen 200 und 300 aufweisen; dieser Detailgrad reicht jedoch nicht aus, um alle nötigen technischen Parameter für Kosten-, Umwelt- und Sozialbewertungen abzubilden. In Bezug auf das BIM-Modell wird empfohlen, einen LOD von mindestens 300 zu verwenden, um eine vollständige LCSA-Bewertung durchführen zu können (Berges-Alvarez et al., 2024, p. 14).

Ein weiteres Problem ist die Interoperabilität der Tools. In der gängigen Praxis werden für BIM, LCA, LCC und S-LCA verschiedene spezialisierte Softwarelösungen eingesetzt, zwischen denen Informationen manuell oder halbautomatisch übertragen werden. Diese Fragmentierung führt zu Medienbrüchen und kann Datenverluste verursachen (Nwodo et al., 2017, p. 2). Die Forschung versucht, dies durch teilautomatisierte und dynamische Kopplungen zu verbessern. So zeichnet sich ein Wandel von rein manuellen Datentransfers zu halbautomatischen Workflows und weiter zu direkt gekoppelten dynamischen Integrationen ab (Berges-Alvarez et al., 2024, pp. 13-14). Die Herausforderung besteht weiterhin darin, BIM-Datenmodelle mit zusätzlichen Nachhaltigkeitsinformationen so anzureichern, dass eine softwareübergreifende Kompatibilität gewährleistet ist. Dabei stösst das IFC-Format an seine Grenzen, da sie zwar geometrische und physische Eigenschaften abbilden, jedoch keine direkten Verknüpfungen zu Umweltindikatoren oder sozialen Kenngrößen enthalten. Hier wären Erweiterungen oder neue Datenmodelle notwendig, um LCA-, LCC- und S-LCA-Informationen gemeinsam mit dem BIM-Modell zu verwalten (Berges-Alvarez et al., 2024).

In frühen Planungsphasen von Bauprojekten bestehen erhebliche Unsicherheiten hinsichtlich zentraler Entwurfparameter, wodurch die Durchführung präziser Lebenszyklusanalyseergebnisse erheblich erschwert wird (Li et al., 2023, p. 4). Hinzu kommt, dass einzelne Bauteile unterschiedliche Nutzungsdauern aufweisen, deren Annahmen stark von regionalen Standards, bauartspezifischen Eigenschaften oder herstellerspezifischen Angaben abhängen und somit eine zusätzliche Quelle von Unsicherheit darstellen (Li et al., 2023, p. 7). Es bedarf daher methodischer Ansätze, um diese Unsicherheiten systematisch zu erfassen und die zugrunde liegenden Annahmen transparent darzustellen. Ohne derartige Verfahren bleibt die Belastbarkeit eines Tools, das die TSD-Methodik anwendet begrenzt (Larsen et al., 2022).

3.2 Analyse relevanter digitaler Werkzeuge

Aufbauend auf der Analyse der bestehenden Anforderungen und Herausforderungen bei der digitalen Umsetzung der TSD-Methodik (vgl. Kapitel 3.1) wird im Folgenden untersucht, welche

derzeit verfügbaren digitalen Werkzeuge in der Lage sind, einzelne oder mehrere dieser Anforderungen zu erfüllen. Im Zentrum steht dabei die Bewertung existierender Ökobilanzierungs- und Zirkularitätstools hinsichtlich ihrer Funktionalitäten, Schnittstellen und Kompatibilität mit der TSD-Methodik.

3.2.1 Überblick untersuchter Tools

Basierend auf einer Literaturrecherche sowie ergänzenden Feedbackgesprächen mit Experten der Ökobilanzierung und Zirkularität wurden insgesamt 12 digitale Werkzeuge identifiziert, die aktuell in der Baubranche zur Bewertung ökologischer Nachhaltigkeit eingesetzt werden (vgl. Tabelle 9). Die Auswahl umfasst international etablierte sowie insbesondere im Schweizer Kontext genutzte LCA-Tools. Ergänzend dazu wurden drei spezialisierte Tools identifiziert, welche spezifisch den Aspekt der urbanen Mine adressieren und aufgrund ihrer spezifischen Funktionen von den Experten als besonders relevant bewertet wurden (vgl. Anhang 6).

Tabelle 9: Übersicht relevanter Tools im Hinblick auf TSD-Anforderungen aus (Anhang 6)

Aspekte	Tools
Ökobilanzierung	One Click LCA, SimaPro, Tally, Athena EcoCalculator, Viride, EcoTool, Lesosai, Enerweb, vyzn
Zirkularität/ urbane Mine	Madaster, Urban Mining Index, Concular

Alle untersuchten Werkzeuge ermöglichen umfassende ökologische Bewertungen (LCA). Im Bereich der ökonomischen Nachhaltigkeit (LCC) bietet einzig One Click LCA eine automatisierte Berechnung an, während alle anderen Anwendungen entweder manuelle Kostenmodellierungen voraussetzen oder gänzlich auf diese verzichten. Die soziale Dimension der Nachhaltigkeit (S-LCA) ist in keinem Tool standardmässig integriert, wobei nur SimaPro eine optionale Erweiterung mittels der Social Hotspots-Datenbank ermöglicht.

Funktionalitäten zur Bewertung von Urban-Mining-Aspekten sind ausschliesslich in spezialisierten Anwendungen wie Madaster, Urban Mining Index und Concular implementiert. Native BIM-Schnittstellen in Form von IFC-Import oder Plug-ins sind bei One Click LCA, Tally, Viride und vyzn vorhanden. In Bezug auf spezifische schweizerische Rahmenbedingungen erfüllen fünf Anwendungen (Viride, EcoTool, Lesosai, Enerweb, vyzn) automatisiert relevante Normen und Datenbanken wie SIA 2032 und KBOB. Dieselben Tools unterstützen auch die schweizerischen Standards Minergie-ECO und SNBS. Die Integration der CRB eBKP-H-Struktur erfolgt hingegen ausschliesslich durch Viride, EcoTool und Lesosai.

3.3 Fazit & Forschungslücke

Die durchgeführte Analyse hat gezeigt, dass bisher kein digitales Werkzeug existiert, die alle Aspekte der TSD-Methodik (ökologisch, ökonomisch, sozial sowie Urban Mining) simultan und umfassend integriert. Während der Bereich der ökologischen Bewertung (LCA) methodisch gut entwickelt und bereits weitgehend standardisiert ist, zeigen die untersuchten digitalen Werkzeuge erhebliche Defizite in der systematischen Einbindung ökonomischer (LCC) und sozialer (S-LCA) Aspekte. Zirkularität Funktionalitäten wie bei der urbanen Mine sind bisher nur in spezialisierten Lösungen fragmentiert vorhanden und nicht integrativ in bestehende Ökobilanzierungstools eingebunden.

Ein weiteres Defizit stellt die mangelnde Integration dieser Nachhaltigkeitsdimensionen in einer einzigen, ganzheitlichen Plattform dar. Die vorhandenen digitalen Werkzeuge konzentrieren sich meist isoliert auf eine einzelne Nachhaltigkeitsdimension, sodass eine umfassende Entscheidungsunterstützung, insbesondere in frühen Projektphasen, nicht gewährleistet wird. Zudem zeigen sich in der Praxis erhebliche Schwierigkeiten hinsichtlich der Interoperabilität und Kompatibilität der verfügbaren digitalen Werkzeuge mit spezifischen Anforderungen des

Schweizer Kontexts, insbesondere hinsichtlich Normen (SIA 2032), nationaler Datenbanken (KBOB, CRB) und Standards (Minergie-ECO, SNBS).

Insbesondere die soziale Dimension (S-LCA) bleibt methodisch unterentwickelt, obwohl in jüngster Zeit vereinzelte Prototypen wie das Smart BIM3LCA-Tool erste Ansätze zur Integration aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen demonstrieren konnten. Dennoch verbleiben solche Ansätze bisher meist auf der Ebene akademischer Studien und prototypischer Entwicklungen, ohne dass kommerziell nutzbare und in der Praxis etablierte Lösungen existieren.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass derzeit kein digitales Werkzeug existiert, das alle vier Kernaspekte der TSD-Methodik (ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit sowie Urban Mining) gemeinsam, vollständig und in einer Plattform integriert abbildet. Insbesondere die systematische Verknüpfung dieser Dimensionen sowie deren Anwendung in frühen Planungsphasen bleiben bislang unzureichend umgesetzt. Diese identifizierte Forschungslücke bildet den Ausgangspunkt der vorliegenden Arbeit. Ziel ist es, ein datenvisualisierendes Prototyp-Tool zu entwickeln, das den Anforderungen der TSD-Methodik gerecht wird und eine einfache, verständliche sowie praxisnahe Entscheidungsunterstützung für Projektleitende bietet.

4 Methodik

In diesem Kapitel wird die Methodik dieser Arbeit beschrieben. Der Forschungsprozess folgt einer fünfstufigen Struktur, wie sie in Abbildung 22 dargestellt ist.

Zunächst erfolgte eine explorative Vorrecherche mit einer anschliessenden Literaturrecherche zur Bestimmung des Stands der Forschung und relevanter digitaler Werkzeuge, ergänzt durch Feedbackrunden mit Expertinnen zur Validierung im Schweizer Kontext.

Anschliessend wurden Daten zu dem Fallbeispiel aus dem Projekt «Erweiterung ARA Birsig» beschafft, in Speckle, Excel und Access aufbereitet und zu Kennzahlen verdichtet. Auf dieser Basis entstand ein Power BI-Prototyp, der in informellen Feedbackgesprächen mit verschiedenen Fachexperten überarbeitet wurde. Der fertige Prototyp wurde anschliessend den Projektleitern vorgestellt, um weitere Rückmeldungen zu erhalten.

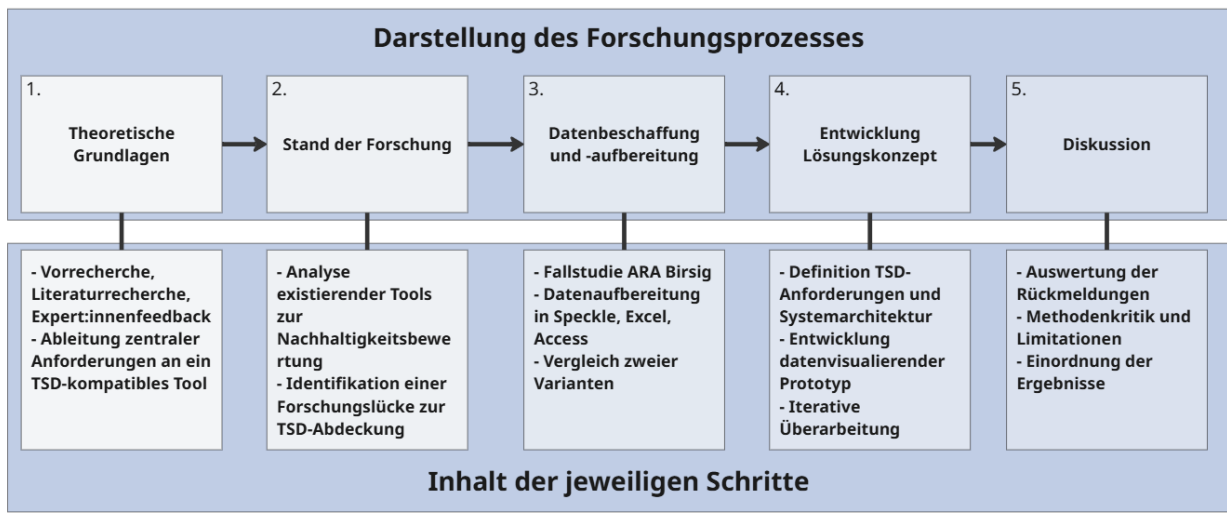


Abbildung 22: Ablauf Forschungsprozess

4.1 Theoretische Grundlagen

Die theoretischen Grundlagen wurden in drei aufeinanderfolgende Phasen unterteilt der Vorrecherche, der Literaturrecherche und Feedbackrunden (vgl. Abbildung 23). In der ersten Phase erfolgte eine explorative Vorrecherche, um einen ersten thematischen Überblick zu gewinnen. In einer zweiten Phase eine Literaturrecherche, in der relevante Fachliteratur, wissenschaftliche Artikel und technische Berichte identifiziert wurden, die sowohl den aktuellen Stand der Forschung als auch bestehende digitale Werkzeuge thematisieren. In der dritten Phase wurden Feedbackgespräche gehalten, um die eruierten relevanten Tools auf die Relevanz in der Schweiz zu prüfen. Die Tools wurden in einer Tabelle dokumentiert und anhand mehrerer Kriterien bewertet, um zu ermitteln, ob bereits Anwendungen existieren, die die TSD-Methodik abdecken.



Abbildung 23: Ablauf theoretische Grundlagen

4.1.1 Vorrecherche

Zur ersten Orientierung im Themenfeld wurde auf Basis der «Quick and Dirty» Methode eine Vorrecherche durchgeführt, welche eine schnelle Erfassung des thematischen Rahmens ermöglicht. Die Vorrecherche basiert auf der Untersuchung der Schnittmengen zwischen den verschiedenen zentralen Themen (vgl. Abbildung 28), die für die Entwicklung eines Hilfstools im Kontext der Target Sustainability Design-Methodik von entscheidender Bedeutung sind.

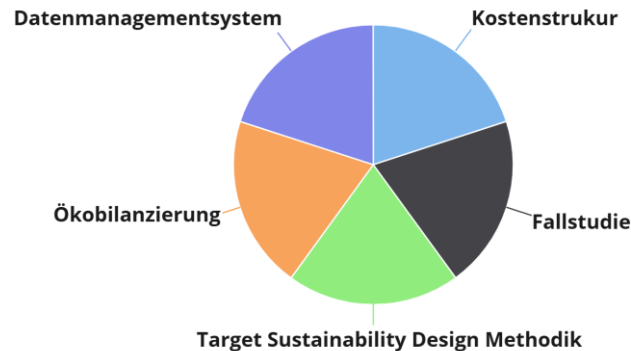


Abbildung 24: Zentrale Themen der Grundlagenstudie

Relevante Literaturen:

- eBKP-H SN 506511 Baukostenplan Hochbau, CRB - Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, 2020
- eBKP-H Anwenderhandbuch Baukostenplan Hochbau, CRB - Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, 2012
- Integrated BIM-Based LCA for the Entire Building Process Using an Existing Structure for Cost Estimation in the Swiss Context, Anita Naneva, 2020
- The Potential of Digitalization for Sustainability: A Building Process Perspective, Anita Naneva, 2019
- Target Sustainability Design - Anwendung von Nachhaltigkeit auf die Target Value Design Methode, Margarete Olender, Rosen, 2019
- Business Intelligence Tools for Dashboard Development, Khatuwal, Puri, 2022

4.1.2 Literaturrecherche

Die zweite Phase der theoretischen Grundlagen diente der Erfassung des aktuellen Stands der Forschung sowie der Identifikation bestehender Tools, die eine Integration von Nachhaltigkeitsaspekten in frühen Planungsphasen unterstützen. Für die Analyse wurden Suchplattformen wie «Google Scholar», «Scopus» und «MDPI» herangezogen, da diese über umfangreiche Sammlungen einschlägiger Literatur verfügen.

Zur Strukturierung der Recherche wurde der «Block-Building-Approach³» angewendet, bei dem der Untersuchungsgegenstand in thematische Blöcke untergliedert wurde, um systematisch relevante Informationen zu erfassen. Ergänzend kam die Methode der «Successive Fractions⁴» zur Anwendung, sodass von allgemeinen zu spezifischen Suchbegriffen übergegangen wurde, um die zielgerichtete Identifikation relevanter Literatur zu gewährleisten (vgl. Abbildung 25). Die Begriffstabellen und Filter der Literaturrecherche sind im Anhang 5 dokumentiert.

³ Das Block-Building-Approach ist eine Herangehensweise, die dabei helfen soll, Suchstrings für eine Literaturrecherche zu entwickeln. Dabei wird ein Thema in «Blöcken» aufgeteilt, um relevante Informationen zu sammeln (VRIJE University, 2025).

⁴ Die Successive Fractions Methode ist eine Suchstrategie, in der systematisch die Suchstrings schrittweise vom groben zunehmend verfeinert werden (Russell-Rose, 2016).

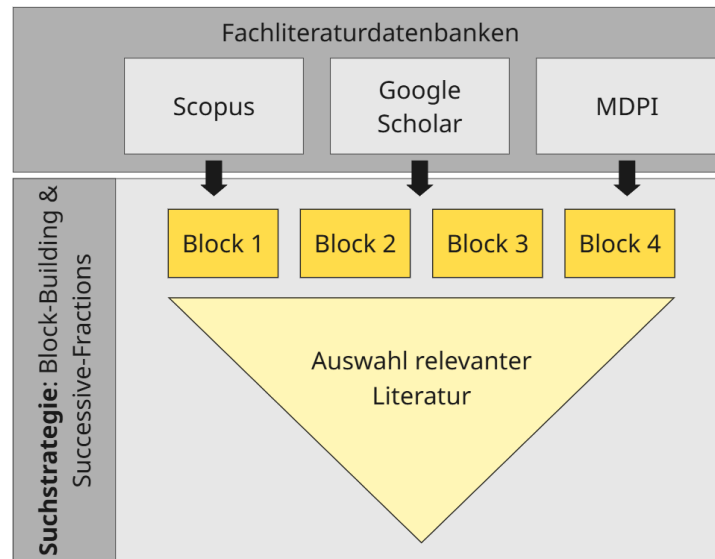


Abbildung 25: Literaturrecherche nach Block-Building- und Successive-Fractions-Methode

4.1.3 Bewertungsbogen der relevanten Tools

Auf Basis der theoretischen Grundlagen zur TSD-Methodik wurde ein strukturiertes Bewertungsraster entwickelt. Das Bewertungsraster basiert auf der Entscheidungsmatrix nach (Dahm, 2021), die sich zur Bewertung und vergleichenden Gegenüberstellung komplexer Entscheidungsparameter eignet. Das Ziel war es, die identifizierten Tools anhand zentraler Bewertungskriterien zu analysieren und zu prüfen, inwieweit sie die Anforderungen der TSD-Methodik erfüllen.

Dabei wurde eine Entscheidungs- und Vergleichsmatrix erstellt, in der auf der linken Seite sämtliche Bewertungskriterien und auf der rechten Seite die zu bewertenden Tools aufgeführt sind. Die Bewertungsmatrix umfasst folgende Hauptkategorien (vgl. Tabelle 10):

Tabelle 10: Hauptkategorien der Bewertungsmatrix

Hauptkategorien	Faktoren
Allgemeine Toolinformationen	Anbieter, geografische Herkunft, Veröffentlichungsjahr
Modellierungs- und Nutzungsaspekte	BIM-Fähigkeit, Benutzerfreundlichkeit, Softwaretyp
Kompatibilität mit Schweizer Rahmenbedingungen	Normenkompatibilität, Datenbasiskompatibilität, Bewertungssystemkompatibilität, Strukturierungssystemkompatibilität
Aspekte der TSD-Methodik	Soziale Aspekte, Ökologie, Ökonomie, urbane Mine

Für die Hauptkategorie «Aspekte der TSD-Methodik» wurde anhand eines binären Ampelsystems nach (Donne, 2024) dokumentiert, inwieweit das jeweilige Tool die Anforderungen der TSD-Methodik erfüllt. Dabei wurde ausschliesslich zwischen «erfüllt» (Grün) und «nicht erfüllt» (Rot) unterschieden. Die Zwischenkategorie «teilweise erfüllt» wurde bewusst ausgeschlossen, um eine klare und eindeutige Bewertungslogik sicherzustellen (vgl. Tabelle 11).

Tabelle 11: Beispiel Funktionsweise Übersichtstabelle der Tools

Kriterien	Bewertungsgrundlage	Tool 1	Tool 2
Kriterium A	XX	erfüllt	Nicht erfüllt
Kriterium B	XX	Nicht erfüllt	erfüllt

Die vollständige Bewertung sämtlicher Tools ist in Anhang 6 dokumentiert. Die Erkenntnisse aus der Matrix flossen direkt in die Entwicklung und Abgrenzung des im Rahmen dieser Arbeit

konzipierten Tools ein. Die Bewertungsmatrix wurde nachträglich um Zirkularitäts-Tools ergänzt, die im Rahmen weiterer Fachgespräche identifiziert und in die Analyse aufgenommen wurden.

4.1.4 Feedback-Gespräch der relevanten Tools

Im Anschluss an die Literaturrecherche erfolgten einfache «Feedbackgespräche», um die identifizierten Tools aus der Literaturrecherche auf Relevanz im spezifischen Kontext der Schweiz zu prüfen. Ziel dieser Phase war es, die Praxistauglichkeit und Anschlussfähigkeit der Tools an die Anforderungen der TSD-Methodik zu anhand der Tabelle eine Rückmeldung zu erhalten Grundlage war eine Tabelle, da die relevanten Tools wie viride nicht in der Literaturrecherche aufgetaucht sind. Tools, die nicht durch die Literaturrecherche identifiziert wurden, jedoch auf Empfehlung von Fachpersonen genannt oder verwendet wurden, wurden ergänzend mit dem Kürzel FA (Fachinput) in die Analyse aufgenommen.

Die Feedback-Gespräche wurden in verschiedenen Formaten durchgeführt:

- Ein persönliches Gespräch mit einem Ökobilanzierungsexperten der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW)
- Ein gezielter Austausch mit einem Fachspezialisten aus dem Entwicklungsteam des Tools Viride
- Gespräche mit mehreren Fachpersonen für Nachhaltigkeit und digitale Bauprozesse im Rahmen des Digital Real Estate Summit

Auf Grundlage eines Hinweises der Thesis-Begleiterin wurde die ursprünglich auf Ökobilanzierungstools fokussierte Bewertungsmatrix um eine zusätzliche Kategorie erweitert, welche nun auch digitale Werkzeuge mit dem Schwerpunkt Zirkularität berücksichtigt. Diese Erweiterung trägt dem Umstand Rechnung, dass Aspekte wie Wiederverwendbarkeit, Materialpässe und Urban Mining zunehmend an Bedeutung in der ökologischen Bewertung gewinnen und in der TSD-Logik als Bestandteil der funktionalen Nachhaltigkeit zu interpretieren sind.

In diesem Zusammenhang wurden zusätzliche Feedbackgespräche für Zirkularitätstools geführt:

- Austausch mit einer Expertin für den Urban Mining Index (Deutschland)
- Gespräch mit einem Projektmitarbeiter von Madaster (Deutschland)

Die Rückmeldungen flossen in die Erweiterung der Bewertungsmatrix ein, wobei die beschränkte Kompatibilität der genannten Tools mit den schweizerischen Normen und Datenstrukturen (z. B. KBOB, SIA, CRB) kritisch berücksichtigt wurde.

4.2 Empirische Untersuchung - eingebettet Fallstudie

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein qualitatives Fallstudiendesign nach (Yin, 2009) gewählt, da die Forschungsfrage auf ein vertieftes Verständnis komplexer Entscheidungsprozesse in frühen Projektphasen unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsfaktoren abzielt. Nach (Zainal, 2007) wird die Fallstudienmethode als besonders geeignet angesehen, wenn eine umfassende Analyse eines Phänomens im realen Kontext angestrebt wird. Dabei werden nach Yin grundsätzlich vier Typen von Fallstudiendesigns unterschieden, abhängig davon, ob ein oder mehrere Fälle untersucht werden und ob eine holistische oder eingebettete Betrachtung erfolgt (vgl. Abbildung 26).

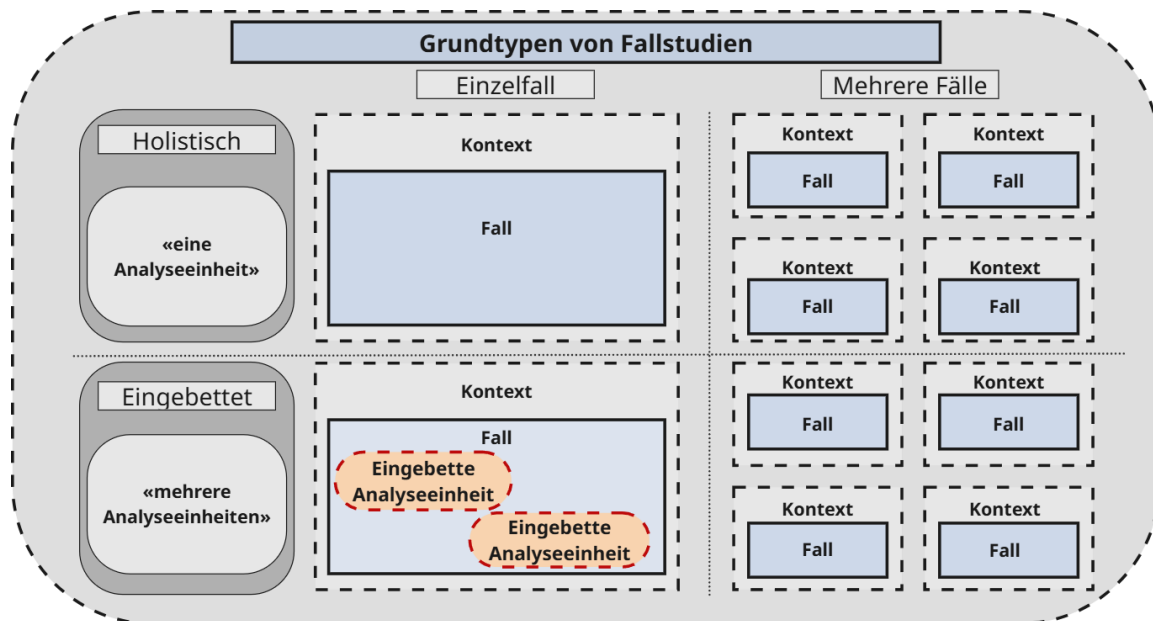


Abbildung 26: Grundtypen von Fallstudien in Anlehnung an (Lamker, 2014, p. 14)

Für die vorliegende Untersuchung wird eine eingebettete Einzelfallstudie gewählt. Diese erlaubt es, innerhalb eines übergeordneten Falls, dem im Fallbeispiel «Erweiterung ARA Birsig», mehrere Untersuchungseinheiten zu analysieren. In diesem Fall werden zwei Fassadenvarianten als Teilfälle betrachtet, die im Hinblick auf Nachhaltigkeitskriterien nach der TSD-Methodik mit einem datenvisualisierenden Tool analysiert werden. Durch diese Struktur wird die Anwendung und Aussagekraft des entwickelten Tools im konkreten Projektkontext geprüft.

4.2.1 Auswahl und Relevanz des Fallbeispiels

Das Projekt «Erweiterung ARA Birsig» bietet Daten zu einem realen Variantenentscheid, der als geeignet eingeschätzt wurde, um die Anwendung der TSD-Methodik exemplarisch zu erproben. Besonders relevant ist dabei die Verfügbarkeit eines BIM-Modells sowie detaillierter Planunterlagen, die eine Rekonstruktion des Entscheidungsfalls ermöglichen. Dadurch kann der Variantenvergleich mithilfe des entwickelten Tools unter realitätsnahen Bedingungen durchgeführt werden.

4.2.2 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Die Datenbeschaffung wurde vor der Konzeptentwicklung durchgeführt, um eine valide Grundlage für das Lösungskonzept zu schaffen. Dabei stellt die Dienststelle AIB vom Kanton Basel-Landschaft die Daten der Fallstudie für das Projekt «Erweiterung ARA Birsig» zur Verfügung. Die Fallstudie der maschinellen Vorklärung an der ARA Birsig wird methodisch als Beurteilungsfall (Case-Problem-Method) durchgeführt. Dieser Ansatz eignet sich, weil er explizit auf die bewertende Gegenüberstellung zweier Lösungsvarianten (Stahlbetonwand versus Stahl-Sandwichfassade) abzielt und damit eine quantitative Bewertung der verfügbaren Daten ermöglicht (Starke & Schuster, 2008). Dazu wurden folgende Datensätze erhoben:

Interne Projektdaten (Fallbeispiel ARA Birsig)

- Planungsunterlagen: IFC-Modelle, technische Berichte und 2D-Pläne aus unterschiedlichen Projektphasen, Machbarkeitsstudie, Vorprojekt, Bauprojekt, Ausschreibung und Realisierung.
- Kostendaten: Einheitspreise (Stand 2022) aus den Leistungsverzeichnissen aus dem Projekt

Externe Datenquellen

- Ökobilanzdaten: CO₂- Äquivalente aus der Ecobau-Tabelle (KBOB- Liste «Ökobilanzdaten im Baubereich»)
- Recyclinghofdaten: Positive Restwerte und negative Entsorgungskosten, protokolliert durch die regionale Schrottannahme

- Kostenkennwerte aus den CRB-Literaturen zur Ergänzung
- Bauteil Nutzungsdauern nach SIA 2032 Anhang C, BNB-Nutzungsdauertabelle

Dabei lag der Fokus auf der pragmatischen Zusammenstellung und Aufbereitung der relevanten Informationen zur weiteren Verarbeitung, ohne eine systematische wissenschaftliche Qualitätsprüfung aller erhobenen Daten vorzunehmen. Die aufbereiteten Informationen wurden anschliessend für die Entwicklung einer relationalen Access-Datenbank standardisiert.

Eine klassische Triangulation, beispielsweise durch Interviews oder Beobachtungen, wurde aufgrund des Rahmens dieser Arbeit nicht durchgeführt. Die Analyse ist somit auf den spezifischen Fallkontext beschränkt, eine Generalisierbarkeit auf andere Projekte ist nur eingeschränkt möglich. Die Ergebnisse dienen primär der exemplarischen Prüfung der Tool-Anwendung im realen Projektkontext.

4.3 Lösungskonzept

Aufbauend auf den theoretischen Grundlagen sowie den Erkenntnissen aus der Fallstudie wird in diesem Kapitel das konzeptionelle Vorgehen zur Entwicklung eines datenvisualisierenden Prototyps vorgestellt, der im Rahmen der TSD-Methodik als Entscheidungsunterstützung dient. Dabei werden Zielsetzung, fachliche Voraussetzungen, beteiligte Rollen und die zugrunde liegende technische Systemarchitektur beschrieben.

4.3.1 Entwicklung TSD-Tool

Das Lösungskonzept basiert auf theoretischen Grundlagen und empirischen Ergebnissen. Das Ziel war es, ein Tool zu entwickeln, das die theoretischen Grundlagen der TSD-Methodik mit den verfügbaren Projektdaten verknüpft und in Form eines Dashboards eine übersichtliche Entscheidungsunterstützung ermöglicht.

Die Konzeption des Tools erfolgte iterativ und orientierte sich an den in Kapitel 6.2 hergeleiteten Anforderungen. Diese umfassten unter anderem die Fähigkeit zur Verarbeitung unsicherer Daten in frühen Projektphasen, die strukturierte Visualisierung nach den TSD-Kategorien sowie die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Varianten.

Für die Umsetzung wurde ein Prototyp in Power BI entwickelt und auf einer Access-Datenbank aufgebaut, in die Mengen aus dem IFC-Modell über Speckle übertragen und mit ökologischen sowie ökonomischen Indikatoren ergänzt wurden. Die Berechnungen basierten auf der TSD-Gleichung und umfassten Qualität, soziale Kriterien, Umweltfolgekosten, Urban Mining und Lebenszykluskosten (vgl. Abbildung 34). Ein Variantenvergleich an der Gebäudehülle der ARA Birsig diente der Validierung von Machbarkeit und Datenkonsistenz.

4.3.2 Prozessbeschreibung TSD-Tool

Zur Visualisierung der Abläufe bei der Anwendung des entwickelten TSD-Tools wurde ein vereinfachtes Prozessdiagramm erstellt, das sich grundsätzlich an der Business Process Model and Notation (BPMN 2.0) orientiert. Das BPMN stellt eine standardisierte grafische Spezifikationssprache dar, die zur Modellierung von Workflows und Geschäftsprozessen verwendet wird (Borrmann, 2021, p. 80).

Dabei wurden im vorliegenden Diagramm die relevanten Rollen innerhalb der TSD-Methodik sowie deren Interaktionen mit dem Tool entlang des Entscheidungsprozesses, von der Variantenentwicklung bis zur Analyse im Dashboard, abgebildet (vgl. Anhang 17).

Allerdings wurde von der vollständigen Umsetzung aller BPMN-Standards bewusst abgewichen. So wurden externe Systeme wie Power BI, Speckle oder Access-Datenbanken nicht in eigenen Swimlanes dargestellt, sondern grafisch in den Prozessfluss integriert. Damit wird versucht, die Lesbarkeit und einer intuitivere Nachvollziehbarkeit des Ablaufs zu gewährleisten, insbesondere für Nutzergruppen ohne BPMN-Vorkenntnisse. Zudem wurden Icons und Farben verwendet, um den Verlauf vom Entwurf bis zur Abnahme des Modells visuell zu unterstützen.

4.3.3 Feedback- Gespräche aus der Praxis

Im ursprünglichen Proposal war geplant, den Prototyp im Rahmen eines Design-Thinking-Zyklus zu entwickeln. Dabei war es vorgesehen, drei iterative Feedback-Loops durchzuführen, in denen das Ampelbewertungssystem nach (Donne, 2024) sowie einer modifizierten System Usability Scale (Brooke, 1996) zur Anwendung kommen sollten. Aufgrund enger Abgabeterminierung und fehlender Kapazitäten für Einverständniserklärungen sowie Transkriptionen konnte dieses standardisierte Vorgehen nicht vollständig realisiert werden.

Stattdessen wurden nicht strukturierte Feedbackgespräche durchgeführt, um in kurzer Zeit praxisrelevante Einschätzungen verschiedener Fachperspektiven zu gewinnen. Dieses Vorgehen orientiert sich an der qualitativ-heuristischen Sozialforschung, die unstrukturierte Dialoge als exploratives Instrument zur Entdeckung neuer Erkenntnisse empfiehlt (Kleining & Witt, 2000). Dazu wurden fünf Personengruppen befragt, ihre Anforderungen systematisch analysiert und die daraus gewonnenen Erkenntnisse schrittweise im Prototyp implementiert (vgl. Abbildung 27):

- LCA-Experten
- TSD-Methodik Expertin
- Externe aus Praxis
- Fachexperte Daten
- Mitarbeitende AIB (Projektleiter, Datenmanager)

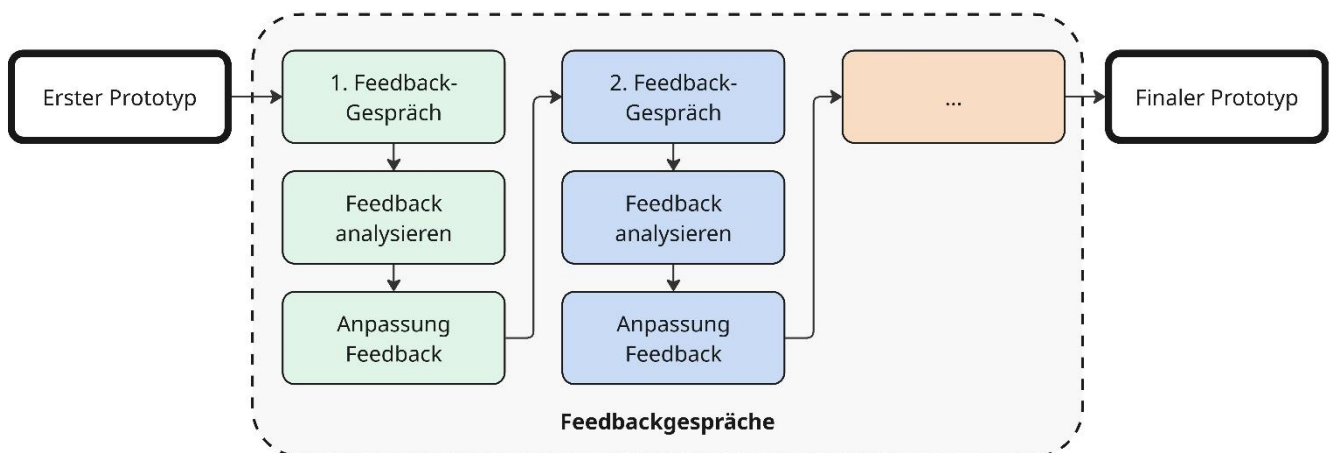


Abbildung 27: Ablauf Feedback-Gespräche

Die aus den Gesprächen abgeleiteten Empfehlungen wurden in Tabelle 12 erfasst und hinsichtlich ihrer Umsetzung dokumentiert. Dabei wurde nicht jedes Feedback vollständig umgesetzt. Einige Hinweise wurden kritisch reflektiert, aber aus methodischen, datentechnischen oder praktischen Gründen nicht übernommen. Diese Hinweise wurden jedoch als wichtige Impulse für zukünftige Weiterentwicklungen dokumentiert (vgl. Anhang 7).

Tabelle 12: Zusammenfassung der Feedback-Gespräche und Umsetzungsempfehlungen

Datum	Personen- gruppen	Auswahl für Feedback	Fachexperte	Feedback zum Tool	Übernommene Anpassung

Ziel war es, praxisnahe Anforderungen zu ermitteln und zu prüfen, inwiefern der Prototyp nutzerspezifische Erwartungen und methodische Vorgaben abdeckt. So konnten trotz zeitlicher und organisatorischer Einschränkungen nutzerspezifische Bedürfnisse flexibel und kontextsensitiv berücksichtigt werden.

5 Fallstudie ARA Birsig

In diesem Kapitel wird die Fallstudie beschrieben und erläutert, in welchem Kontext sie zur Arbeit steht. Zudem werden die damalige Variantenanalyse und Entscheidungsfindung beschrieben und die Datenbeschaffung aus der Fallstudie zusammengefasst. Diese Daten werden auf ihre Detaillierung untersucht und nebeneinander aufgestellt.

5.1 Auswahl und Relevanz des Fallbeispiels

Bereits zu Beginn der Masterarbeit wurde geprüft, welches reale Bauprojekt sich für eine vertiefte Fallstudienanalyse im Sinne der TSD-Methodik eignet. Im Fokus standen dabei Projekte, die sich mindestens in der Ausführungsphase befanden, um eine möglichst vollständige Datenverfügbarkeit sicherzustellen. Zentrale Auswahlkriterien sind in Tabelle 13 beschrieben:

Tabelle 13: Auswahlkriterien für das Fallbeispiel

Auswahlkriterien	Beschreibung
Vorhandener Variantenentscheid	Das Projekt sollte einen dokumentierten Entscheidungsprozess zwischen zwei oder mehr technischen Varianten aufweisen.
Datenverfügbarkeit	Es mussten belastbare Projektunterlagen wie Pläne, Modelle und Kosteninformationen in ausreichender Tiefe vorliegen.
Zugang zu Projektbeteiligten für Rückfragen	Die Verfügbarkeit von Ansprechpartnern und Experten aus der Praxis war erforderlich, um Unklarheiten klären zu können.

Als Fallbeispiel wurden vom Projektleiter des AIBs zwei Projekte vorgeschlagen. Das Projekt «Mischwasserbecken Duggingen» und die maschinelle Vorklärung aus dem Projekt «Erweiterung ARA Birsig». Während beim Projekt Duggingen zwar ein Variantenentscheid vorlag und es gut dokumentiert erschien, standen jedoch ausschliesslich zweidimensionale Planunterlagen zur Verfügung, wodurch eine detaillierte Rückverfolgung von Geometrien als aufwändig herausstellt. Aus diesem Grund wurde das Projekt nicht weiterverfolgt.

Stattdessen fiel die Wahl auf die maschinelle Vorklärung der ARA Birsig, die sowohl ein vollständiges BIM-Modell (IFC) mit hohem Detaillierungsgrad (LOG 400) als auch ausführliche Begleitunterlagen wie Ausschreibungsunterlagen, Leistungsverzeichnisse und technische Berichte umfasst. Diese Datenbasis ermöglichte eine realitätsnahe Rekonstruktion des ursprünglichen Variantenentscheids sowie eine methodisch fundierte Anwendung des entwickelten Datenvisualisierungstools.

Primär wurden praxisnahe Daten beschafft, um diese retrospektiv mithilfe des entwickelten Datenvisualisierungstools unter Berücksichtigung zusätzlicher Nachhaltigkeitsaspekte neu zu bewerten. Der Vergleich der zwei Fassadenvarianten (Stahlbetonwand vs. Stahl-Sandwichfassade) ermöglicht eine quantifizierbare Bewertung ökologischer und ökonomischer Kriterien. Die hierfür verwendeten Unterlagen wurden pragmatisch erhoben und zur weiteren Bearbeitung aufbereitet.

5.2 Beschreibung des Fallbeispiels

Die Kläranlage ARA Birsig in Therwil wurde vor über 20 Jahren in Betrieb genommen und erfordert heute erhebliche Erneuerungs- und Erweiterungsmassnahmen, um den aktuellen Anforderungen der Gewässerschutzgesetzgebung gerecht zu werden. Insbesondere die Eliminierung von Mikroverunreinigungen und das wachsende Einzugsgebiet erfordern Anpassungen.

Die Hauptziele der Erweiterung sind:

- Sicherstellung der Einhaltung gesetzlicher Grenzwerte.
- Kapazitätserweiterung zur Aufnahme des prognostizierten Wachstums bis 2045.

- Nachhaltige Nutzung von Ressourcen durch Energieeffizienz und -rückgewinnung.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde unter anderem eine maschinelle Vorklärung (MVK) geplant, die die fehlende Primärklärung ersetzen, den Primärschlamm effizient entfernen und die biologische Stufe entlasten soll. Im Zuge der Projektierung fanden iterative Überarbeitungen der MVK statt, wie sie in Abbildung 28 dargestellt sind. Von besonderem Interesse ist dabei der frühe Variantenentscheid, bei dem verschiedene technische und ökonomische Optionen hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen wurden. Unter anderem wurde zwischen einer Stahlbeton- und einer Stahl-Sandwichfassade abgewogen, wobei die kostengünstigere Stahlkonstruktion ausgewählt wurde.

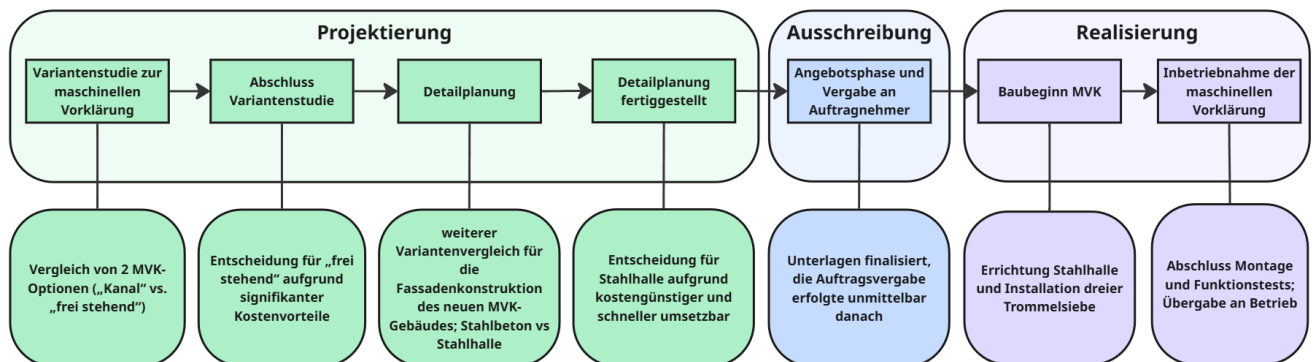


Abbildung 28: Ablauf Planung der maschinellen Vorklärung ARA Birsig

Der Bau der maschinellen Vorklärung wurde 2023 abgeschlossen; das Gebäude ist seither als eigenständige Stahlhalle unmittelbar an das bestehende Sandfanggebäude angebaut und in Betrieb.

Im weiteren Verlauf der Masterarbeit wird untersucht, inwieweit diese ursprünglich rein kostenbasierte Entscheidung durch eine ergänzende Bewertung ökologischer Kriterien nach der Target Sustainability Design-Methodik mithilfe des entwickelten Datenvisualisierungstools neu hinterfragt werden kann. Dabei wird die Detailplanung retrospektiv aufbereitet, um die Daten für den Variantenentscheid zwischen den verschiedenen Fassadenkonstruktionen zu erhalten.

5.3 Datenbeschaffung und -aufbereitung

Im Folgenden werden vorhandene Daten, die für das Projekt zur Verfügung stehen, gesammelt und aufbereitet. Die Dokumentenanalyse verfolgt das Ziel, die folgenden Informationen zu beschaffen und für die spätere Bewertung aufzubereiten:

- Sach- und Formalziele
- Plandaten
- Kostendaten
- Grundlagen zur Ökobilanzierung

5.3.1 Sach- und Formalziele (Zielumfang)

Auf Grundlage der TSD-Methodik wird der Projekt-Zielumfang definiert, aus dem sowohl Formalziele als auch Sachziele abgeleitet werden. Die Formalziele beschreiben in übergeordneter Weise den Verwendungszweck und die gewünschten Werte, welche die Funktionalitätsanforderungen abbilden (vgl. Tabelle 15). Im Gegensatz dazu erfassen die Sachziele die Qualitätsanforderungen, indem sie die charakteristischen Bauwerksmerkmale und die spezifischen Nutzungsanforderungen berücksichtigen (vgl. Tabelle 14) (Olender & Rosen, 2023, p. 7). Die Ableitung der Ziele erfolgte anhand interner Projektunterlagen, insbesondere des technischen Berichts «Erweiterung ARA Birsig» und wird im Folgenden dargestellt (HOLINGER AG, 2018):

Tabelle 14: Sachziele aus Projekt Erweiterung ARA Birsig

Sachziele
Es soll eine möglichst effiziente Entfernung des Primärschlammes aus dem Abwasser realisiert werden, um die hydraulische Belastung der nachfolgenden biologischen Stufen zu reduzieren.
Die hydraulischen Parameter (wie Durchflussrate und Verweilzeit) sind so zu optimieren, dass eine homogene Sedimentation und damit eine hohe Sedimentationsleistung erzielt wird.
Es ist darauf zu achten, dass durch die maschinelle Vorklärung eine möglichst geringe Verlustquote an Schlamm entsteht und gleichzeitig ein Rückfluss von gesiebttem Abwasser in den Zulauf minimiert wird.
Die Anlagenkonfiguration soll so ausgelegt werden, dass sie die Kapazität der bestehenden Anlage erweitert und zukünftige Anpassungen im Hinblick auf steigende Abwassermengen ermöglicht.

Tabelle 15: Formalziele aus Projekt Erweiterung ARA Birsig

Formalziele
Es ist die Einhaltung der relevanten normativen Vorgaben (z. B. DWA-Richtlinien, SIA-Normen) sicherzustellen, um eine standardisierte Auslegung und Betriebssicherheit zu gewährleisten.
Die Integration der mechanischen Vorklärung in das bestehende Prozessschema muss nahtlos erfolgen, sodass Schnittstellen zu nachfolgenden Behandlungsstufen (z. B. der biologischen Reinigung) transparent und dokumentiert sind.
Eine benutzerfreundliche Steuerung sowie eine lückenlose Prozessdokumentation sind zu implementieren, um eine effiziente Überwachung, Wartung und spätere Evaluierung der Anlagenleistung zu ermöglichen.

5.3.2 Plandaten

Im Rahmen des Vorprojekts wurde zunächst geprüft, ob die maschinelle Vorklärung als Kanalvariante oder als freistehendes Bauwerk ausgeführt werden sollte. Auf Grundlage dieser Überlegungen wurden erste 2D-Planunterlagen erstellt, die eine Ausführung mit Stahlbetonfassade vorsahen.

In einer anschliessenden Optimierungsphase erfolgte eine Variantenuntersuchung, bei der die Fassadenkonstruktionen in Beton- und Stahlbauweise systematisch gegenübergestellt wurden. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung wurde in einer späteren Projektphase ein detailliertes IFC-Modell für die Ausführung in Stahlbauweise erstellt. Dieses Modell wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Variante 1 betrachtet und bildet die Grundlage für die weitere Analyse. Als Variante 2 wird die ursprünglich geplante Ausführung mit Stahlbetonfassade herangezogen.

Variante 1 «Stahl-Sandwichfassade»

Für diese Variante stand ein BIM-Modell zur Verfügung mit einem LOG 400, das in der Realisierungsphase eingesetzt wird (vgl. Abbildung 29). Das Modell liess sich mit anderen IFC-Viewern problemlos anzeigen, jedoch zeigte sich, dass es von der Autorensoftware Revit nicht vollständig eingelesen werden konnte (vgl. Anhang 10). Dennoch konnten auf Grundlage des vorhandenen Modells die wesentlichen Geometrien extrahiert und nachmodelliert werden. Zudem war es erforderlich, den Bauteilen im Zuge der Nachmodellierung spezifische Identifikationsattribute zuzuweisen, die von der Datenbank erkannt und zugeordnet werden können.

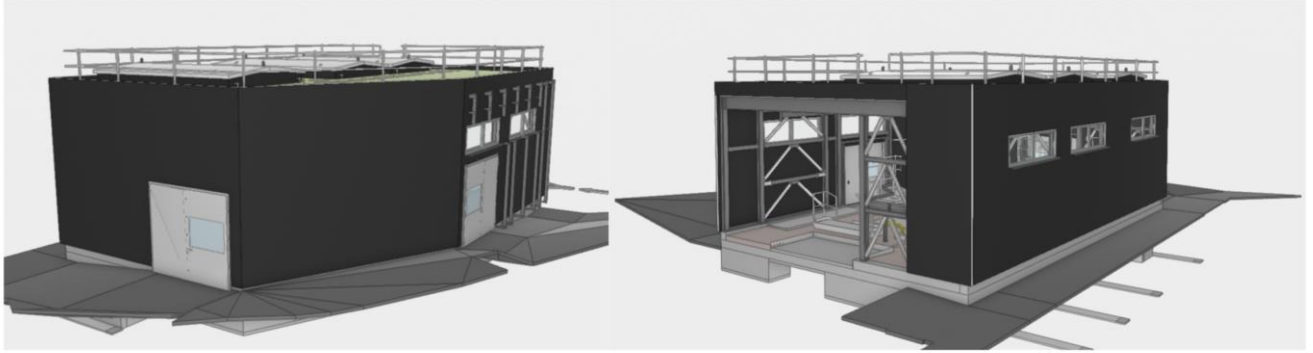


Abbildung 29: IFC-Modell der MVK aus der Fallstudie aus der Realisierungsphase

Im Rahmen der Untersuchung wird angenommen, dass der innere Ausbau sowie sämtliche Rohrleitungen unverändert bleiben. Somit fliesst ausschliesslich die Fassadenkonstruktion als massgeblicher Unterschied in die Variantenbewertung ein.

Auf dieser Grundlage wurde ein vereinfachtes Modell erstellt, das einen reduzierten Detaillierungsgrad aufweist (vgl. Abbildung 30). Ziel war es, ein Modell zu entwickeln, das einerseits den Anforderungen der TSD-Methodik hinsichtlich der notwendigen Informationsdichte genügt und andererseits den typischen Informationsstand in frühen Projektphasen realistisch abbildet. Dabei beinhaltet das nachmodellierte Modell folgende Bauteile (vgl. Anhang 11).

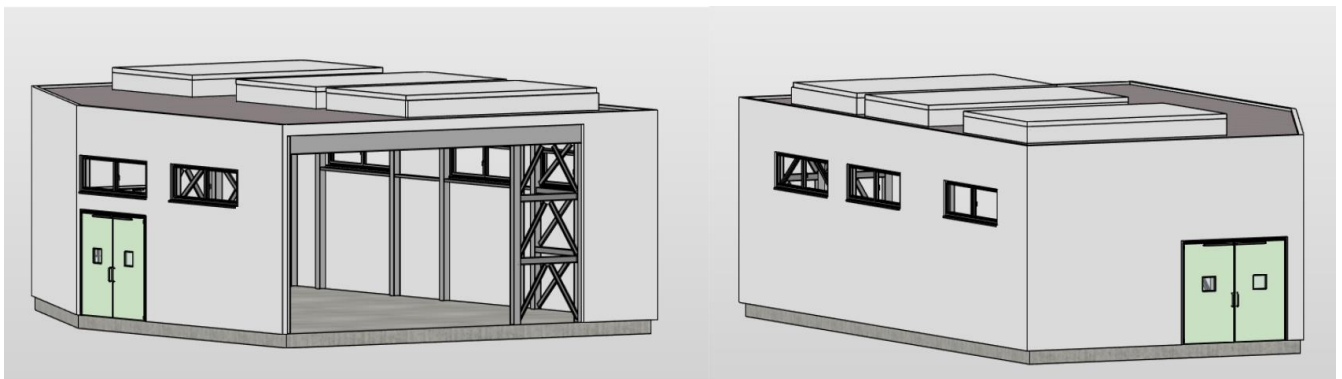


Abbildung 30: Nachmodellerte maschinelle Vorklärung mit Stahl-Sandwichfassade

Variante 2 «Stahlbetonfassade»

Da für die Stahlbetonfassaden Variante nur grobe 2D-Pläne verfügbar waren (vgl. Anhang 13), wurde sie basierend auf diesen Plänen und den Geometrien des aktuellen Aufbaus abgeleitet, die aus dem IFC-Modell der Ausführungsphase nachmodelliert wurden. Dabei wurden nur die wesentlichen Informationen modelliert. Diese Modellierung beinhaltet die folgenden Bauteile (vgl. Anhang 12).

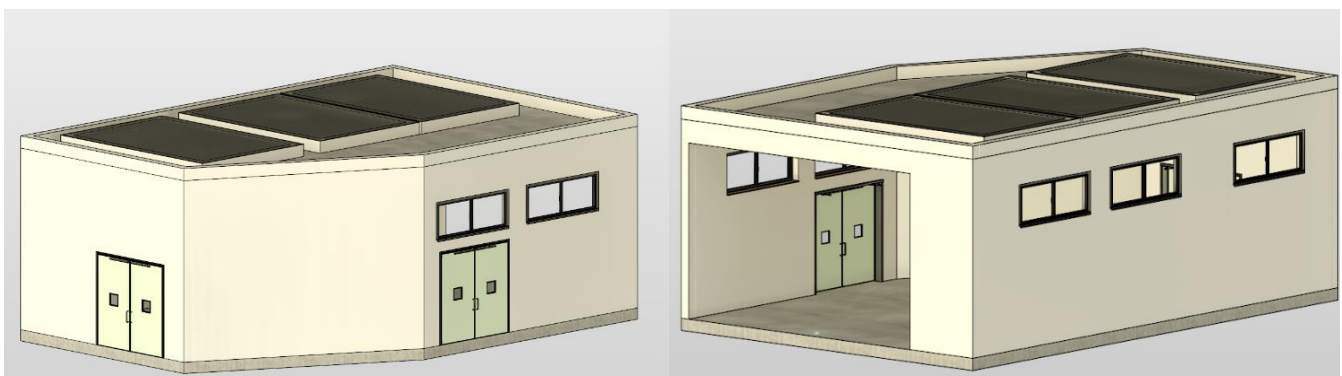


Abbildung 31: Nachmodellerte maschinelle Vorklärung mit Stahlbetonfassade

5.3.3 Kostendaten

Die Ermittlung der Einheitspreise erfolgte in einem zweistufigen Verfahren. Zunächst wurden jene Bauteile berücksichtigt, deren Kosten unmittelbar aus dem Leistungsverzeichnis hervorgingen. Zur Veranschaulichung wurden exemplarische Auszüge aus dem Leistungsverzeichnis im Anhang 15 aufgenommen. Für weitere Bauteile, für welche keine direkten Angaben vorlagen, wurden relevante Preise aus mehreren Angeboten aggregiert und als Mittelwerte angesetzt. Dadurch wurde eine konsolidierte und praxisnahe Kostenbasis geschaffen, die sowohl direkt ermittelte Daten als auch marktrelevante Durchschnittspreise berücksichtigt. Die resultierende Tabelle 16 dient später als Berechnungsgrundlage der Herstellkosten der Bauteile, welche mit den Bemessungen aus dem BIM-Modell zusammengeführt werden.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Bauteilpreise aus dem Fallbeispiel

Kostenposition	Einheit	Preis/ Einheit (CHF/Einheit)	LV/Annahme
Doppelfenster	Stückpreis	3520	LV
Aussentüre, 2-flügelig	Stück	11970	LV
Sandwichfassade (Brucha FP-P120)	Fläche	124	LV
Stahlbetonwand (Ortbeton + Bewehrung)	Kilogramm	0.26	Annahme
Stahlbetonbodenplatte 37 cm	Fläche	174	Annahme
Stahlbetondecke 25 cm	Fläche	152	Annahme
Stahlbetonaufkantung	Kilogramm	0.3125	Annahme
Stahlbetonattika	Kilogramm	0.3125	Annahme
HEA-Profile Feuerverzinkt	Kilogramm	3.05	LV
IPE-Profile Feuerverzinkt	Kilogramm	3.05	LV
HEB-Profile Feuerverzinkt	Kilogramm	3.05	LV
U-Profil Feuerverzinkt	Kilogramm	3.05	LV
Dachtragblech 1mm	Fläche	77	LV
Kies 12 cm	Fläche	7.2	LV aus anderem Projekt umgerechnet
Wärmedämmung 100 mm	Fläche	16	LV umgerechnet

Kosten die den Bauteilen nicht direkt zugewiesen werden konnten wurde als indirekte Kosten in der Tabelle 17 zusammengefasst.

Tabelle 17: Indirekte Kosten aus dem Fallbeispiel

Kostenposition	Einheit	Preis (CHF)
Baustelleneinrichtung und Schutzvorrichtungen	Gesamtpreis	28790
Statik	Gesamtpreis	7100
Massaufnahme	Gesamtpreis	1300
Montagekosten (Leiter 20 h /Chefmonteur 100 h/Monteur 200 h)	Gesamtpreis	32720

Restwerte/Entsorgungskosten Bauteile

Für die Bauteile wurde eine Erhebung der Restwerte bzw. der Kostenanteile auf einem örtlichen Recyclinghof durchgeführt. Die in der folgenden Tabelle 18 dargestellten Werte basieren auf den Angaben der im Anhang 14 dokumentierten E-Mail-Angaben. Positive Werte kennzeichnen Rückvergütungen, während negative Werte erforderliche Zuzahlungen anzeigen. Es ist zu

berücksichtigen, dass diese Werte für zuvor separierte und angelieferte Materialien gelten. Fehlende Angaben wurden aus Leistungsverzeichnissen anderer Projekte oder aus Onlinequellen übernommen.

Tabelle 18: Restwerte/Entsorgungswerte von Bauteilen

Bauteil	Richtpreis (CHF/t) März 2025	Bemerkung
Baustahl	170	
Edelstahl V2A	760	
Edelstahl V4A	1'670	
Verzinktes Stahlblech	110	
Aluminium pulverbeschichtet RAL 9006 (Weissaluminium)	1'400	
Beton C30/37	-100	
Sandwichelemente (Brucha FP-P120)	-350	
Photovoltaik-Module	-500	
Fenster	-205	Annahme nach ofri.ch ⁵
Tür	-205	Annahme
Dämmung	-100	Annahme
Stahlbetonwand (Baustahl/Beton)	-96,5	Annahme Anteil (Ba 1,3%/ Be 98,7) auf Basis von Tabelle 24
Stahlbetonbodenplatte (Baustahl/Beton)	-88,66	Annahme Anteil (Ba 4,2%/ Be 95,8) auf Basis von Tabelle 24
Stahlbetondecke (Baustahl/Beton)	-95,41	Annahme Anteil (Ba 1.7%/ Be 98,3) auf Basis von Tabelle 24
Stahlbetonbalken (Baustahl/Beton)	-87,85	Annahme Anteil (Ba 1.7%/ Be 98,3) auf Basis von Tabelle 24
Kies	-30	Annahme aus Hans-Meyer-AG ⁶

Preisliche Differenzen bei der Rückgewinnung und Verwertung von Materialien werden als erheblich bewertet. Der allgemeine Ablauf wird durch Eingangswiegung, Abladung, Befundung sowie materialgerechte Verarbeitung in entsprechenden Kanälen realisiert. Materialien, die getrennt angeliefert werden, erzielen höhere Vergütungen, während eine Aufbereitung auch vor Ort erfolgen kann. Bei Materialien mit Anhaftungen, wie Betonresten an Stahl, werden Preisabzüge vorgenommen. Die Trennung von Verbundmaterialien erfolgt mittels eines Gross-Shredders, wodurch eine wirtschaftlichere Rückgewinnung ermöglicht wird.

5.3.4 Treibhausgasemissionen aus der KBOB-Liste

Für die Fallstudie lagen keine zusätzlichen Informationen zu Treibhausgasemissionen vor. Diese Daten sind jedoch für das TSD-Tool unerlässlich, um die Umweltfolgekosten zu berechnen. Wie im vorherigen Kapitel 2.2.6 thematisiert, gibt es bereits Datenbanken, die die Treibhausgasemissionen der Baustoffe zur Verfügung stellen. Beispielsweise die Ökobaudat⁷ in

⁵ <https://www.ofri.ch/kosten/bauschutt-entsorgen>

⁶ https://hans-meyer-ag.ch/site/assets/files/1090/hans_meyer_ag_preisliste_2024_01_01_2024_privat.pdf?

⁷ <https://www.oekobaudat.de/datenbank/suche.html>

Deutschland und die KBOB-Liste «Ökobilanzdaten im Baubereich»⁸ aus der Schweiz (Frischknecht, 2022). Die für die Fallstudie zugrunde gelegten Grundlagen werden bevorzugt aus der KBOB-Liste herangezogen, die in Form einer Excel-Liste vorliegt, da sie auf den Schweizer Markt und die geltenden Richtlinien abgestimmt ist. Dabei umfasst die Liste zu den Baumaterialien jeweils folgende Punkte:

- Treibhausgasemissionen (basierend auf IPCC-Charakterisierungsfaktoren)
- Primärenergie, differenziert in erneuerbare und nicht erneuerbare (graue Energie) sowie als Gesamtsumme
- Stofflich genutzte Primärenergie (ermittelt aus oberen und unteren Heizwerten)
- Umweltbelastungspunkte (gemäss der Methode der ökologischen Knappheit)
- Gehalt an biogenem Kohlenstoff (ausgedrückt in kg C)

Da die vorliegende KBOB-Liste nicht direkt in die Access-Datenbank importiert werden kann, wurde die Tabelle modifiziert, um sie datenbankkompatibel zu machen. Dabei wurde die Excel-Tabelle angepasst und standardisiert, um die Einheitlichkeit und Datenkonsistenz sicherzustellen. Diese wurde in Anhang 16 dargestellt.

⁸ <https://www.ecobau.ch/de/instrumente/oekobilanzen>

6 Lösungskonzept

Dieses Kapitel stellt das konzeptionelle Vorgehen zur Entwicklung eines datenvisualisierenden Prototyps vor, der anhand der TSD-Methodik als Entscheidungsunterstützung dient. Dabei werden die aus den theoretischen Grundlagen und der Fallstudie gewonnenen Anforderungen in ein Lösungskonzept überführt, das Zielsetzung, fachliche Voraussetzungen, beteiligte Rollen und die technische Systemarchitektur integriert.

6.1 Zielsetzung Lösungskonzept

In dieser Arbeit wird ein interaktiver Prototyp entwickelt, der auf der TSD-Methodik basiert und das Ziel verfolgt, Nachhaltigkeitsaspekte bereits in frühen Planungsphasen in Variantenentscheidungen einzubeziehen. Das TSD-Tool strebt danach, ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeitskriterien zu berücksichtigen, indem es Informationen aus BIM-Modellen, Kostenanalysen und weiteren relevanten Quellen zusammenfasst, in Kennzahlen überführt und anschaulich visualisiert.

Die gewonnenen Kennzahlen sollen als Grundlage in der iterativen Entwurfsphase der Varianten dienen, um nachhaltigkeitsorientierte Entscheidungen zu treffen. Dabei soll es gleichzeitig helfen, Zielkonflikte zwischen Budgetvorgaben und Nachhaltigkeitszielen frühzeitig zu lösen.

6.2 Anforderungen

Im Folgenden werden die Anforderungen an das TSD-Tool beschrieben. Sie leiten sich einerseits aus den in «Kapitel 2» dargestellten theoretischen Grundlagen der TSD-Methodik ab und berücksichtigen andererseits die im Fallbeispiel «Erweiterung ARA Birsig» aus Kapitel 5 gewonnenen Datenanforderungen. Die hier definierten Anforderungen bilden die Brücke zwischen den methodischen Vorgaben und der anschliessenden Systemarchitektur aus Kapitel 6.4 und stellen sicher, dass alle Aspekte der Nachhaltigkeitsformel in das Tool integriert werden können.

Tabelle 19: Anforderungstabelle für das TSD-Tool

Anforderung nach der TSD-Methodik	Beschreibung
Unterstützung der frühen Entscheidungsfindung	Die Systemarchitektur muss in frühen Planungsphasen Entscheidungsgrundlagen auf Basis verfügbarer und unvollständiger Daten bieten.
Abbildung der Zielwerte (Targets)	Es muss möglich sein, Nachhaltigkeitsziele für ökologische, ökonomische und soziale Aspekte zu definieren und im Entscheidungsprozess sichtbar zu integrieren.
Transparente Darstellung der Nachhaltigkeitsaspekte	Alle relevanten Nachhaltigkeitsdimensionen müssen systematisch und nachvollziehbar abgebildet und visualisiert werden.
Berücksichtigung unsicherer und variabler Daten	Die Architektur muss den Umgang mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden und Unsicherheiten in den Eingangsdaten unterstützen.
Vergleichbarkeit von Varianten	Verschiedene Entwurfsvarianten müssen, anhand einheitlicher Kriterien hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeitsperformance vergleichbar gemacht werden.
Iterationsfähigkeit und Flexibilität	Änderungen an Zielen, Varianten und Rahmenbedingungen müssen im System schnell nachvollzogen und ausgewertet werden können.
Unterstützung der kollaborativen Entscheidungsfindung	Das System muss so gestaltet sein, dass unterschiedliche Projektbeteiligte auf Basis der visualisierten Daten gemeinsam Entscheidungen treffen können.
Visualisierung von Zielerreichung und Abweichungen	Die Systemarchitektur muss eine verständliche und schnelle Erkennbarkeit von Übereinstimmungen oder Abweichungen zwischen Zielen und aktuellen Varianten gewährleisten.

6.3 Fachliche Beschreibung

Im folgenden Abschnitt wird das TSD-Tool in vier Schritten dargestellt. Zuerst wird der technische Aufbau erläutert, anschliessend werden die vorgesehenen Rollen, die im Rahmen der Fallstudie beschrieben. Auf dieser Grundlage folgt die Prozessbeschreibung, in der der Einsatz des Tools im Variantenentscheidungsablauf aufgezeigt wird und abschliessend wird ein exemplarischer Anwendungsfall präsentiert.

6.3.1 Aufbau TSD-Tool

Das TSD-Tool wird aus mehreren zentralen Komponenten zusammengesetzt, die die Bewertung von Varianten auf Basis eines BIM-Modells mittels der TSD-Methode unterstützen (vgl. Abbildung 32):

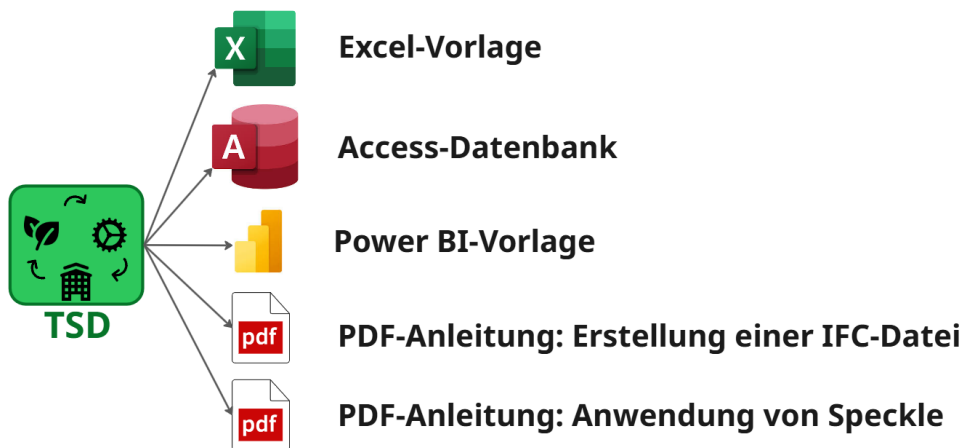


Abbildung 32: TSD-Tool Komponenten (Eigene Darstellung, 2025)

Excel-Vorlage

Es wird eine vordefinierte Excel-Vorlage bereitgestellt, welche mit relevanten Daten befüllt und anschliessend in die Access-Datenbank integriert wird.

Access-Datenbank

Eine vorbereitete Access-Datenbank wird eingesetzt, um vorhandene sowie neu erhobene Daten zu integrieren. Die Berechnungen werden mittels vorbereiteter Abfragen durchgeführt, bevor die Daten in die Power BI-Vorlage hochgeladen werden.

Power BI-Vorlage

Zur Visualisierung der Daten kommt eine Power BI-Vorlage zum Einsatz, die ein vorläufiges Designkonzept aufweist und die Daten aus der Access-Datenbank übernimmt.

PDF-Anleitung: Erstellung einer IFC-Datei

Eine Anleitung wird bereitgestellt, in der die erforderlichen Modellierungsprozesse zur Einlesung der Daten in das Tool beschrieben werden.

PDF-Anleitung: Anwendung von Speckle

Die Anleitung erläutert das erforderliche Vorgehen zur korrekten Anwendung der Speckle-Plattform.

6.3.2 Rollen

Um den Einsatz des Tools besser einordnen zu können, wird unter anderem darauf eingegangen, welche Rollen für die Anwendung des Tools vorgesehen sind. Eine Rolle innerhalb der Projektorganisation stellt eine zeitlich begrenzte Funktion dar, die einer Person zugewiesen wird. Sie umfasst klar definierte Aufgaben, Verantwortlichkeiten und Entscheidungsbefugnisse. Die

jeweiligen Aufgaben einer Rolle werden aus den Prozessen abgeleitet, für deren Durchführung und Ergebnisverantwortung sie zuständig ist (SIA 2051, 2017, p. 7). Im Rahmen der Variantenentscheidung in der frühen Projektphase wurden folgende Rollen berücksichtigt, die zur Strukturierung des Entscheidungsprozesses beitragen und die Erreichung der nachhaltigen Zielvorgaben unterstützen (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 20: Rollen im TSD-Tool

Rollen	Beschreibung
Bestellende (AIB)	Die Bestellenden Legen die Zielvorgaben fest, beauftragen die Machbarkeitsstudie und entscheiden über die Umsetzung. Sie tragen Verantwortung für Budget und strategische Ausrichtung (Olender & Rosen, 2023, p. 11).
Kerngruppe (Core Group)	Setzt sich aus Vertretern der Auftragnehmenden und des Kunden zusammen. Sie führt die Machbarkeitsstudie durch, legt den Zielumfang fest und überprüft die Varianten (Olender & Rosen, 2023, p. 11).
Cluster-Gruppe (Cluster Group)	Wird in der Phase „Design to Targets“ gebildet, um in Iterationszyklen variantenspezifische Lösungen zu erarbeiten. Die Ergebnisse werden der Kerngruppe zur Bewertung vorgelegt (Olender & Rosen, 2023, pp. 11-12).

Zusammenführung der Gruppen im Fallbeispiel

Im vorliegenden Fallbeispiel werden die Funktionen der Kerngruppe und der Cluster-Gruppe aufgrund des geringen Projektumfangs vereinigt. Das strategische Team der Kerngruppe übernimmt demnach gleichzeitig die Aufgaben der Cluster-Gruppe, wobei die Ausarbeitung der Varianten durch dieselben Akteure erfolgt.

6.3.3 Prozessbeschreibung Variantenentscheidung

Nachdem die wesentlichen Rollen erläutert wurden, wird der Ablauf der Variantenerstellung mithilfe des TSD-Tools dargestellt. Zur übersichtlichen Darstellung der Prozessschritte wurde ein vereinfachtes BPMN-Diagramm als Prozessvisualisierung erstellt. Dabei werden die an der Erstellung der Varianten gemäss der TSD-Methodik beteiligten Akteure aufgeführt und ihre kooperative Zusammenarbeit abgebildet (vgl. Anhang 17). Dieser Prozess basiert auf Vorgehensweise der TSD-Methode in der zweiten Stufe (Design to Targets) (vgl. Anhang 3) (Olender & Rosen, 2023, p. 10). Somit wird Projektbeteiligten ein Instrument zur Verfügung gestellt, mit dem überprüft wird, ob die definierten Nachhaltigkeitsziele eingehalten werden.

Nachdem der Bauherr die Vorgehensweise bestätigt hat, wird das Planerteam beauftragt, Varianten zu erstellen, die den vereinbarten Nachhaltigkeitszielen entsprechen. Es wird mindestens eine Iteration durchgeführt, in der die erarbeiteten Varianten von allen Beteiligten der Kerngruppe überprüft werden. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Tool soll dazu beitragen, eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu schaffen.

6.4 Systemarchitektur und eingesetzte Software

Für die Anwendung der TSD-Methodik in der vorliegenden Fallstudie wurde eine Kombination mehrerer Softwarelösungen implementiert. Diese dienen der digitalen Modellierung, der strukturierten Datenaufbereitung sowie der datenbasierten Visualisierung relevanter Nachhaltigkeitskennzahlen (vgl. Abbildung 33). Das Ziel ist es, mit der vorliegenden Systemarchitektur in den frühen Phasen der Planung den Entscheidungsprozess für den Variantenvergleich zu unterstützen, in dem sie auf (ökologische, ökonomische und soziale) Faktoren bewertet werden. Die verwendeten Komponenten werden hinsichtlich ihrer jeweiligen Funktionen beschrieben.

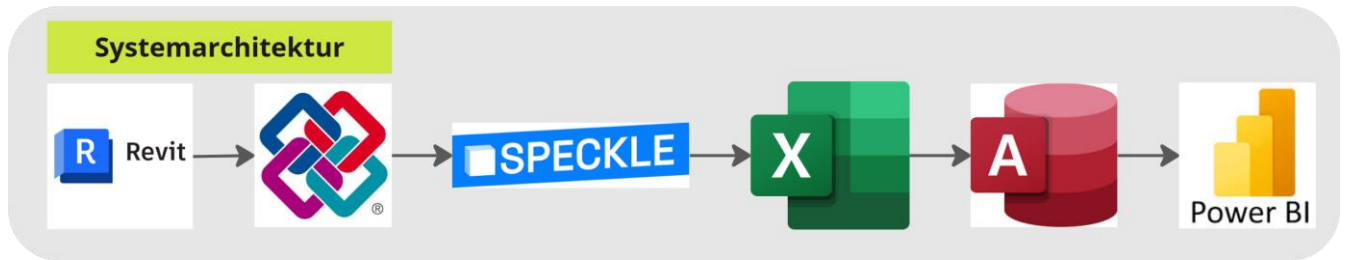


Abbildung 33: Systemarchitektur (Eigene Darstellung, 2025)

Revit

Die Autorensoftware Revit ist ein Werkzeug für die Erstellung von BIM-Modellen, das für die Planung und Modellierung von Bauprojekten verwendet wird. Dabei ermöglicht es die Erstellung präziser 3D-Modelle, die nicht nur die Geometrie eines Bauwerks, sondern auch dessen Eigenschaften abbilden (Autodesk, 2025). In der vorliegenden Fallstudie wurde Revit genutzt, um die Fassade der maschinellen Vorklärung nach zu modellieren, die als Grundlage für die Berechnung und die anschließende Anwendung der TSD-Methodik dient. Durch den IFC-Export werden dabei Daten wie Identifikationsschlüssel, Bemassungen und Geometrien übergeben, die im nächsten Schritt von der Access Datenbank verwertet werden.

Speckle

Speckle ist eine herstellerunabhängige Kollaborationsplattform für die Planung mit BIM, die den Datenaustausch zwischen verschiedenen Autorensoftwares ermöglicht (Dietmair et al., 2024, p. 1). In der vorliegenden Masterarbeit wurde Speckle genutzt, um ein in Revit erstelltes IFC-Modell an weitere Softwareumgebungen anzubinden. Mit dem Speckle-Connector-Plugin konnten die relevanten Daten aus dem IFC-Modell extrahiert, in einer Excel-Vorlage aufbereitet und in eine Access-Datenbank überführt werden. Zudem wurde der Power BI-Connector von Speckle verwendet, um die in der Access-Datenbank hinterlegten Informationen mit dem IFC-Modell zu verknüpfen und in Power BI zu visualisieren. Dadurch konnte ein konsistenter Datenfluss geschaffen werden, der als Grundlage für die Anwendung der TSD-Methodik zur Unterstützung der Entscheidungsfindung dient.

Microsoft Excel

Excel kommt in dieser Systemarchitektur als Werkzeug zur Datenvorbereitung und -bereinigung zum Einsatz. Bevor die Daten aus dem IFC-Modell in die Datenbank überführt werden konnten, mussten sie zunächst in die Excel-Vorlage importiert, aggregiert und strukturiert werden. Dies geschah, indem die vom Speckle-Connector bereitgestellten Daten den vordefinierten Tabellen zugewiesen wurden. Neben den vorgefertigten Tabellen für die IFC-Modelle stehen auch strukturierte Tabellen, für die im Projekt ermittelten, sozialen, sachlichen und formalen Ziele zur Verfügung. Während der Zuordnung der Daten kann ebenfalls eine Überprüfung auf Vollständigkeit erfolgen, um sicherzustellen, dass die Daten in einem geeigneten Format für die Weiterverarbeitung vorliegen. Die Excel-Vorlage dient somit als unterstützendes Tool zur Datenaufbereitung und gewährleistet, dass ausschliesslich valide Daten in die weiteren Analysetools überführt werden.

Microsoft Access

Microsoft Access wurde als Datenbanklösung verwendet, um die umfangreichen Daten, die während des Projekts erfasst wurden, zu strukturieren und zu verwalten. Access dient der Speicherung von Informationen wie beispielsweise CO₂-Emissionen, Kostenstrukturen und weiteren relevanten Kennzahlen aus den IFC-Modellen sowie den im Projekt ermittelten sozialen, sachlichen und formalen Zielen. Diese werden mithilfe vorgefertigter SQL-Abfragen berechnet und können im nächsten Schritt in Power BI eingelesen werden.

Power BI

Power BI wird als Visualisierungsplattform eingesetzt, um die strukturierten und vorverarbeiteten Daten in interaktive Dashboards zu integrieren. Mithilfe des Speckle-Connectors ist es möglich, die in Speckle hinterlegten IFC-Modelle direkt in Power BI abzurufen. Neben dem IFC-Modell kann auch die Access-Datenbank importiert werden. Die importierten Tabellen müssen anschliessend korrekt miteinander verknüpft werden, damit das Dashboard interaktiv funktioniert. Das Dashboard in Power BI vereinfacht komplexe Zusammenhänge, indem Parameter der TSD-Methodik wie Beispielweise Umweltfolgekosten, Lebenszykluskosten und weitere Kennzahlen in Beziehung gesetzt werden. Dadurch wird eine Entscheidungsgrundlage geschaffen, die eine Bewertung der Auswirkungen unterschiedlicher Planungsansätze auf die Nachhaltigkeit des Projekts ermöglicht.

6.5 Berechnungsansätze

Die Ermittlung des nachhaltigen Werts erfolgt, wie in Kapitel 2.2 beschrieben, durch die kombinierte Bewertung der Aspekte Qualität und Funktionalität, soziale Aspekte, Lebenszykluskosten, Umweltfolgekosten sowie der urbanen Mine. Die Berechnungsansätze für jeden dieser Teilaspekte stützen sich sowohl auf theoretische Grundlagen als auch auf empirisch erhobene oder auf plausiblen Annahmen basierende Daten aus dem Fallbeispiel.

Ziel dieses Abschnitts ist es, aufzuzeigen, wie die jeweilige Datenlage mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden berücksichtigt und in die Bewertung integriert wird. Die Berechnungen fließen in ein konsistentes Gesamtergebnis, das in den Prototyp überführt wird und dort als Entscheidungsgrundlage dient. Die Abbildung 34 stellt die Beziehungen zwischen den Aspekten dar und zeigt, wie diese im Tool zusammengeführt werden, um den nachhaltigen Wert zu berechnen. Die Methodik folgt einer vereinfachten, aber nachvollziehbaren Logik, die an die TSD-Vorgehensweise angelehnt ist.

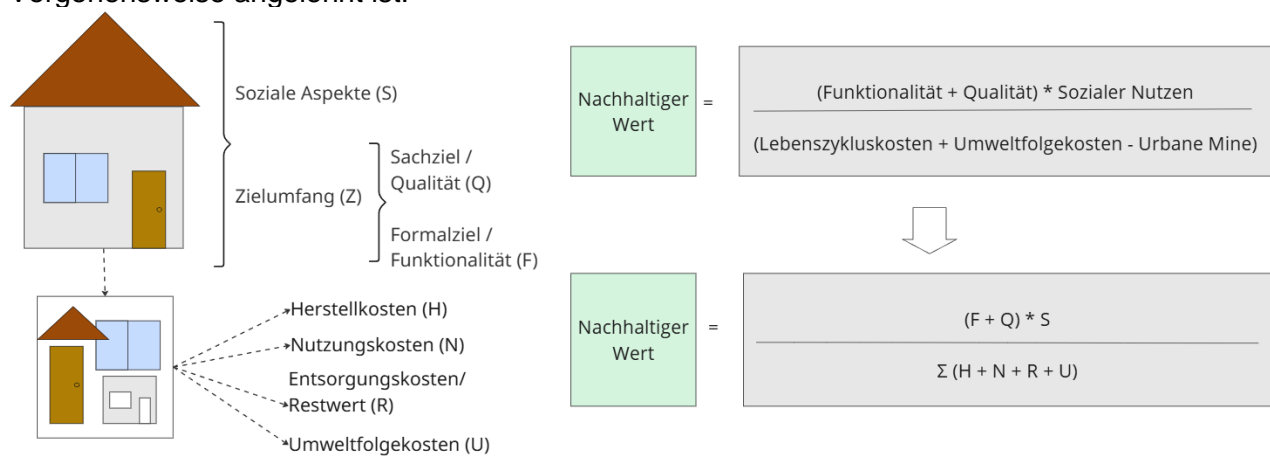


Abbildung 34: Übersicht Berechnungsansätze im TSD-Tool

6.5.1 Qualität und Funktionalität (Zielumfang)

Im Sinne der TVD-Methodik wird der Zielumfang durch die Dimensionen Funktionalität und Qualität bestimmt. Diese lassen sich differenzieren in Formalziele, die den Verwendungszweck und übergeordnete Zielsetzungen definieren, sowie Sachziele, welche die baulichen und nutzungsbezogenen Merkmale konkretisieren (Olender & Rosen, 2023, p. 7).

Um diese Ziele in den Nachhaltigkeitswert einfließen zu lassen, wurde in einem Austausch mit dem verantwortlichen Projektleiter eine Bewertung der Zielvorgaben hinsichtlich ihrer Relevanz vorgenommen. Dabei wurden die einzelnen Zielaspekte systematisch analysiert und gewichtet, sodass sich die folgenden Ergebnisse ergaben (vgl. Tabelle 21 & Tabelle 22).

Tabelle 21: Gewichtung der Sachziele

Sachziele	Gewichtung (in%)
Es soll eine möglichst effiziente Entfernung des Primärschlammes aus dem Abwasser realisiert werden, um die hydraulische Belastung der nachfolgenden biologischen Stufen zu reduzieren.	12,5
Die hydraulischen Parameter (wie Durchflussrate und Verweilzeit) sind so zu optimieren, dass eine homogene Sedimentation und damit eine hohe Sedimentationsleistung erzielt wird.	12,5
Es ist darauf zu achten, dass durch die maschinelle Vorklärung eine möglichst geringe Verlustquote an Schlamm entsteht und gleichzeitig ein Rückfluss von gesiebttem Abwasser in den Zulauf minimiert wird.	12,5
Die Anlagenkonfiguration soll so ausgelegt werden, dass sie die Kapazität der bestehenden Anlage erweitert und zukünftige Anpassungen im Hinblick aufsteigende Abwassermengen ermöglicht.	12,5

Tabelle 22: Gewichtung der Formalziele

Formalziele	Gewichtung (in%)
Es ist die Einhaltung der relevanten normativen Vorgaben (z. B. DWA-Richtlinien, SIA-Normen) sicherzustellen, um eine standardisierte Auslegung und Betriebssicherheit zu gewährleisten.	20
Die Integration der mechanischen Vorklärung in das bestehende Prozessschema muss nahtlos erfolgen, sodass Schnittstellen zu nachfolgenden Behandlungsstufen (z. B. der biologischen Reinigung) transparent und dokumentiert sind.	15
Eine benutzerfreundliche Steuerung sowie eine lückenlose Prozessdokumentation sind zu implementieren, um eine effiziente Überwachung, Wartung und spätere Evaluierung der Anlagenleistung zu ermöglichen.	15

Die formulierten Ziele werden in einer Excel-Vorlage aufgenommen und so umformatiert, dass sie von der Datenbank gelesen werden können (vgl. Abbildung 35). Für die Ermittlung des Zielumfangs wurde auf Grundlage dieser Tabelle folgende SQL-Abfrage erstellt (vgl. Anhang 24).

Limitation

Da sich die formulierten Ziele vorwiegend auf verfahrenstechnische Aspekte beziehen und die Variantenanalyse ausschliesslich die Gebäudehülle betrifft, wird der Zielumfang in der Nachhaltigkeitsgleichung des TSD-Modells vollständig über diesen Teilaspekt abgebildet. Dadurch fließt er mit 100 % Gewichtung in die Bewertung des Nachhaltigkeitswerts ein.

q_id	q_name	q_gewichtung	q_wert
	reduzierung hydraulische		
1	Belastung	0.125	1
2	Sedimentationsleistung	0.125	1
3	geringe Verlustquote an Schlamm	0.125	1
4	Anlagenkonfiguration	0.125	1
5	Einhaltung normativen Vorgaben	0.2	1
6	Integration in Prozessschema	0.15	1
7	benutzerfreundliche Steuerung	0.15	1



tbl_qualitaet			
q_id	q_name	q_gewichtu	q_wert
1	reduzierung h	0.13	1
2	Sedimentatior	0.13	1
3	geringe Verlus	0.13	1
4	Anlagenkonfig	0.13	1
5	Einhaltung no	0.20	1
6	Integration in I	0.15	1
7	benutzerfreun	0.15	1



Abbildung 35: Aufbereitung Daten Zielumfang

6.5.2 Soziale Aspekte

Im Kapitel 2.2.3 wurde zuvor definiert, dass unter sozialen Faktoren jene Kriterien zusammengefasst werden, welche die Bedürfnisse, Erwartungen und das Wohlbefinden der Nutzer in einem gebauten Umfeld adressieren. Im Beispiel aus der Literatur wurde der soziale Wert vereinfacht anhand der Nutzungsdauer und einer Diskontierung ermittelt (Olender & Rosen, 2023, p. 28). Für die vorliegende Arbeit wird jedoch ein alternativer Ansatz gewählt, der ebenfalls auf der Nutzwertanalyse basiert, wie dies bereits bei der Ermittlung des Zielumfangs Anwendung fand.

Zur Bestimmung der relevanten sozialen Wirkungsziele wurden zunächst die Kriterien von Immo Zürich als Bewertungsgrundlage herangezogen (SGNI, 2024). Diese wurden jedoch nicht detailliert analysiert, sondern in einem pragmatischen Ansatz gefiltert und angenommen. Zunächst erfolgte eine Auswahl relevanter Kriterien für die maschinelle Vorklärung in einem informellen Austausch mit dem Projektleiter, gefolgt von einer ergänzenden Prüfung durch einen Betriebsmitarbeiter. Daraus leiteten sich sechs Kriterien ab, die mit ihren Gewichtungen und Bewertungen in Anhang 18 dokumentiert sind. Zudem wird von einer Zeitpräferenzrate von 0 % ausgegangen, die zu keiner Abminderung des sozialen Nutzens führt.

Limitation

Trotz dieser Vorgehensweise bleiben bestimmte TSD-Aspekte unberücksichtigt: Partizipation aller Betroffenen über die Betriebsphase hinaus, Generationengerechtigkeit, soziale Nutzungsdauer sowie standortbezogene Mobilitäts- und Nahversorgungsparameter. Diese Einschränkungen resultieren aus begrenzter Daten- und Stakeholder Verfügbarkeit sowie dem engen Fokus auf die Betriebsnutzung der Halle. Die Ergebnisse dieses Vorgehens wurden als Annahmen für die weitere Arbeit übernommen, da keine tiefgehende methodische Bewertung erfolgte. Wobei die Faktoren Thermischer Komfort Winter und Sommer als relevant betrachtet worden sind, jedoch aufgrund dessen das die maschinelle Vorklärung nicht gekühlt oder beheizt wird ausseracht gelassen wurde.

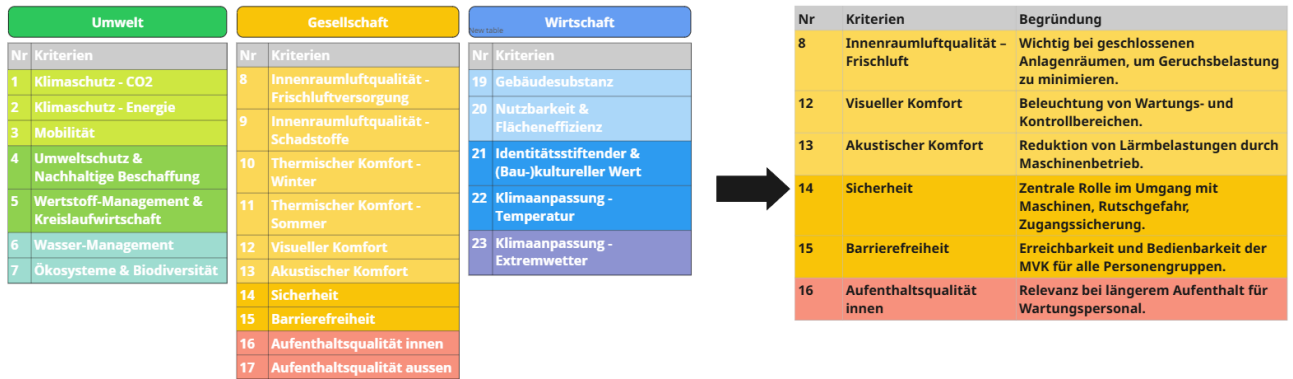


Abbildung 36: Bestimmung der sozialen Wirkungsziele der Varianten

Nach dem die relevanten sozialen Aspekte eruiert worden sind wurde denen jeweils folgende Gewichtung gegeben (vgl. Tabelle 23).

Tabelle 23: Gewichtung der sozialen Aspekte

Kriterien	Begründung	Gewichtung (in %)
Innenraumluftqualität - Frischluft	Wichtig bei geschlossenen Anlagenräumen, um Geruchsbelastung zu minimieren	20
Visueller Komfort	Beleuchtung von Wartungs- und Kontrollbereichen	10
Akustischer Komfort	Reduktion von Lärmbelastungen durch Maschinenbetrieb	20
Sicherheit	Zentrale Rolle im Umgang mit Maschinen, Rutschgefahr, Zugangssicherung	30
Barrierefreiheit	Erreichbarkeit und Bedienbarkeit der MVK für alle Personengruppen	10
Aufenthaltsqualität innen	Relevanz bei längerem Aufenthalt für Wartungspersonal	10

Die formulierten Ziele werden ebenfalls in einer Excel-Vorlage aufgenommen und so umformatiert, dass sie von der Datenbank gelesen werden können (vgl. Abbildung 37). Dabei wurde in der Access Datenbank die folgende SQL-Abfrage vorgenommen (vgl. Anhang 25)

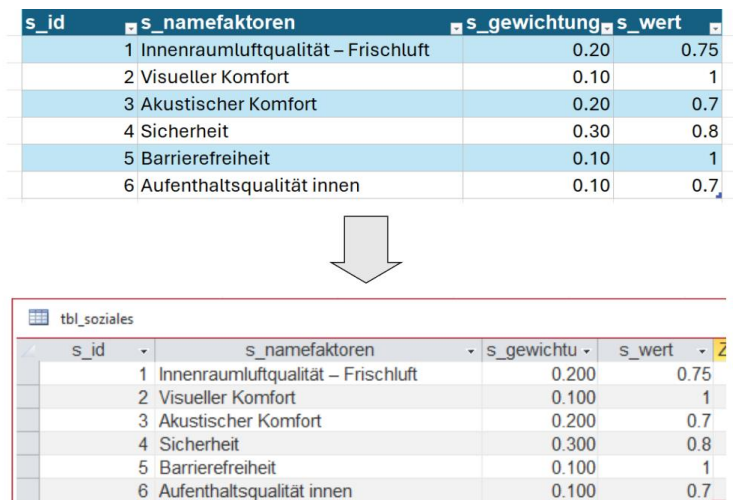


Abbildung 37: Aufbereitung sozialen Aspekte (Eigene Darstellung, 2025)

6.5.3 Umweltfolgekosten

Limitation

Bei der Erfassung der Umweltfolgekosten wurden ausschliesslich die CO₂e-Emissionen für Herstellung und Entsorgung herangezogen, wie sie in der KBOB-Datenbank ausgewiesen sind. Eine vollständige Ökobilanzierung nach DIN EN 15978 wurde aufgrund zeitlicher Einschränkungen nicht vorgenommen, sodass Transport, Installation, Betrieb sowie Recycling und Verwertung unberücksichtigt blieben. Somit wurden durchschnittliche KBOB-Werte den projektspezifischen Primärdaten, regionalen Energiemixen und Transportdistanzen vorgezogen. Weitere Umweltwirkungen, wie beispielsweise Ressourcenverbrauch, Wasserknappheit oder Biodiversitätsverluste, fanden ebenfalls keine Berücksichtigung.

Grundlage der Berechnung

Die Berechnung der Umweltfolgekosten erfolgt auf Basis der KBOB-Datenbank, welche in der Schweiz gemäss SIA 2032 als Standard für die Ökobilanzierung gilt (SIA 2032, 2013, p. 2). Die KBOB-Datenbank liefert detaillierte Angaben zu den einzelnen Baustoffen. Unter anderem beinhalten sie Daten zu den bei der Erstellung und Entsorgung entstehenden Treibhausemissionen je nach Baumaterial. Diese Datenbank, die ursprünglich in Form einer Excel-Tabelle vorlag, wurde bereits in Kapitel 5.3.4 aufbereitet und in eine datenbankkompatible Struktur umgewandelt. Es ist zu beachten, dass die Datenbank nicht vollständig ist, da unrelevante Bauteile, die nicht dem Beispiel berechnet wurden, als weniger relevant erachtet wurde.

Funktionsweise CO₂e Zuordnung

Aufgrund unterschiedlicher Einheiten und Angaben, die nicht unmittelbar mit dem erhaltenen Export-Werte vom BIM-Modell kompatibel sind, werden die Daten an mehreren Stellen angepasst, um eine korrekte Zuordnung der CO₂e-Werte in der Microsoft Access Datenbank zu den jeweiligen Baumaterialien zu gewährleisten. Verbundbauteile stellen hierbei eine besondere Herausforderung dar, da diesen Elementen nicht direkt ein einzelnes Baumaterial aus der KBOB-Tabelle zugeordnet werden kann. Auf dieser Basis erfolgt die Berechnung des CO₂e-Beitrags, indem der Anteil des Materials mit dessen spezifischem Emissionswert aus der KBOB-Datenbank verknüpft wird. Der Ablauf dieses Zuordnungsprozesses ist in Abbildung 38 schematisch dargestellt.

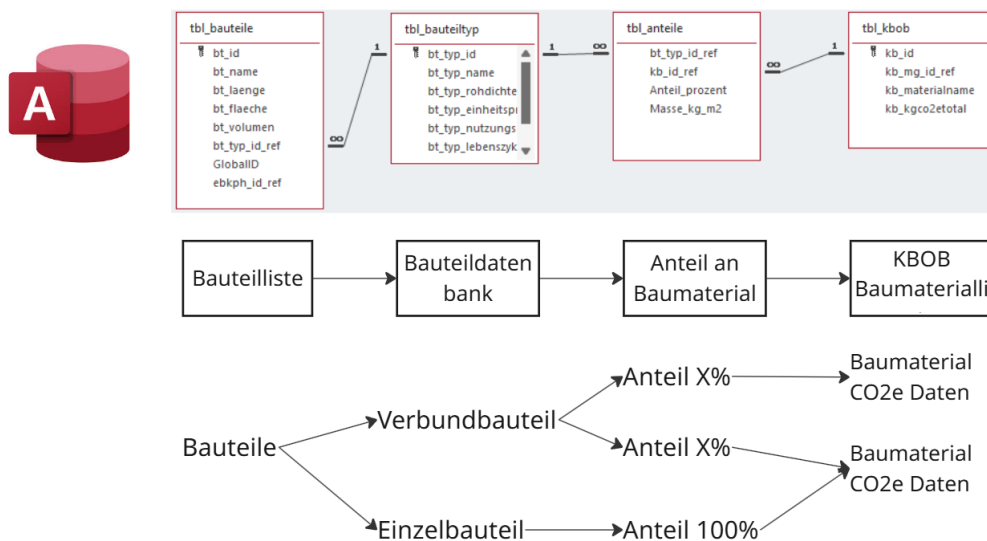


Abbildung 38: Ablauf Zuordnung der CO₂e pro Bauteil (Eigene Darstellung, 2025)

Beispielberechnungen zur CO₂e-Wertebestimmung

Zur Veranschaulichung wird anhand des Sandwich-Elements FP-P120 aus der Fallstudie ein Berechnungsansatz dargestellt. Die zugrunde liegenden Daten werden entweder aus technischen Datenblättern oder auf Basis erfahrungsbasierter Werte vorgegeben (vgl. Anhang 19).

Stahlbeton

Für Stahlbetonbauteile wurden die von «Oneclick LCA» bereitgestellten Werte herangezogen, wie in Tabelle 24 dargestellt (One Click LCA, 2021). Die zugrunde liegenden Annahmen orientieren sich an unterschiedlichen Bewehrungsanteilen, die abhängig vom jeweiligen Bauteiltyp definiert wurden. Diese Werte wurden der Access-Datenbank zur weiteren Berechnung hinzugefügt.

Zum Überprüfen der angenommenen Bewehrungsanteile aus Tabelle 24 wurde eine Betonwand mit einer Dicke von 20 cm aus dem Anhang D der SIA 2032 (SIA 2032, 2020b) herangezogen. In dieser wurde ein Stahlgehalt von $97,5 \text{ kg/m}^3$ angenommen, was in den Bereich der Werte für «Wände - normal» beziehungsweise «Wände - Wind» fällt. Auch wurden die Annahmen für Platten zweiseitig sowie für die Betonplatte aus Anhang D der SIA 2032 (SIA 2032, 2020b) mit einer Belegungsichte von 90 kg/m^3 als passend festgestellt. Für Fundamente liegen in der SIA keine spezifischen Angaben vor. Daher wurden für die Anteilstabelle in der Datenbank jeweils Mittelwerte der verfügbaren Werte übernommen (vgl. Abbildung 39).

Tabelle 24: Bewehrungsanteil in Stahlbetonbauteilen gemäss (One Click LCA, 2021)

Betonbauteil	Gewicht der Bewehrung in kg/m ³	Bewehrungsvolumen in m ³ /m ³ (abhängig vom genauen Stahl)	Stahlanteil an der Gesamtkonstruktion %
Basen	90-130	0,012-0,017	1,2 - 1,7 %
Balken	250-350	0,032-0,045	3,2 - 4,5 %
Deckbalken	135	0,017	1,7 %
Spalten	200-450	0,025-0,057	2,5 - 5,7 %
Bodenbalken	230-330	0,029-0,042	2,9 - 4,2 %
Fundamente	70-100	0,009-0,042	0,9 - 4,2 %
Pfahlkappen	110-150	0,014-0,019	1,4 - 1,9 %
Plattenplatten	95-135	0,012-0,017	1,2 - 1,7 %
Flösse	115	0,015	1,5 %
Stützmauern	110-150	0,014-0,019	1,4 - 1,9 %
Rippendecken	80-120	0,010-0,015	1 - 1,5 %
Platten - Einweg (Decke)	75-125	0,010-0,016	1 - 1,6 %
Platten zweiseitig (Decke)	67-135	0,009-0,017	0,9 - 1,7 %
Treppe	130-170	0,017-0,022	1,7 - 2,2 %
Zugbalken	130-170	0,017-0,022	1,7 - 2,2 %
Transferplatten	150	0,019	1,9 %
Wände - normal	70-100	0,009-0,013	0,9 - 1,3 %
Wände - Wind	90-150	0,011-0,019	1,1 - 1,9 %

tbl_anteile			
bt_typ_id_ref	Anteil_prozent	co2gesamt	kb_id_ref
aufkantung.stb	98.3		0 01.002
aufkantung.stb	1.7		0 06.003
bodenplatte.stb	97.45		01.002
bodenplatte.stb	2.55		06.003
bodenplatte.stb.37	17		
bodenplatte.stb.37	79		
bodenplatte.stb.37	3.7		
dach.dämmung.001	100		0 10.006.01
dachabdeckung.st.1	100		0 06.011
decke.stb	98.7		0 01.002
decke.stb	1.3		0 06.003
fassade.fp.p120	91.6		0 10.006
fassade.fp.p120	8.4		0 06.011
fenster.alu.001		632	
fenster.st.001		632	
träger.hea	100		06.011
träger.heb	100		06.011
träger.ipe	100		0 06.011
träger.u	100		0 06.011
tür.st.001	100		12.005
wand.stb	98.6		01.002
wand.stb	1.4		06.003

Abbildung 39: Anteilstabelle aus der Datenbank

Fenster

Für die Berechnung der CO₂e-Werte der Fenster wurden zwei Ansätze geprüft. Im ersten Ansatz kann die von der KBOB-Datenbank empfohlene Website «treeze⁹» zur Berechnung der CO₂e-Werte herangezogen werden, wobei die gewonnenen Daten in die zentrale Bauteiltabelle «tbl_anteile» in die Spalte «co2gesamt» eingetragen werden müssen (vgl. Abbildung 39).

Im zweiten Ansatz bestand die Möglichkeit, auf die in der KBOB-Datenbank referenzierten Fensterbauteile zu verweisen (vgl. Anhang 22). Was jedoch aufgrund begrenzter Variantenvielfalt und notwendiger manueller Aufschlüsselung weniger praktikabel erschien.

Für die Fallstudie wurde der erste Ansatz gewählt. Die im Anhang 22 dokumentierten Eingaben und Ergebnisse ergaben einen CO₂e-Wert von 637 kg pro Fenster für Herstellung und Entsorgung.

Der manuelle Eintrag der Treibhausgasemissionen erfolgt in der Tabelle «tbl_anteile» in der Spalte «co2gesamt» (vgl. Abbildung 39). Dadurch kann das TSD-Tool die CO₂e-Werte automatisch anhand der BIM-Geometrie und der KBOB-Werte zuordnen, aber auch komplexere Bauteile wie Fenster und Türen berücksichtigen. Grundsätzlich sollen alle Werte automatisch berechnet werden, doch bei Bauteilen mit komplizierten Geometrien werden manuelle Einträge vorgenommen, um eine vereinfachte Annahme zu treffen und so eine praktikable und präzise Emissionszuordnung zu ermöglichen.

Eingangstüren

Für die Berechnung der CO₂e-Emissionen der Türen wurde, analog zu den Fenstern, die von der KBOB empfohlene Website «treeze» genutzt, um die CO₂e-Emissionen für Herstellung und Entsorgung zu ermitteln. Es wurde jedoch festgestellt, dass für Stahltüren der Umweltrechner keine valide Aussage treffen konnte, da im Auswahlménü ausschliesslich Holztüren angeboten wurden.

Daher wurde der alternativ der zweite Ansatz angewendet, bei dem auf die in der KBOB-Datenbank hinterlegten Durchschnittswerte zurückgegriffen wurde. Der entsprechende CO₂e-Wert wurde auf die jeweilige Türfläche multipliziert. Für die Berechnung der Türen wurden folgende Annahmen getroffen:

⁹ <https://treeze.ch/de/rechner>

- KBOB-ID 12.05 (Aluminiumtür mit Glaseinsatz)
- konservative Flächenbasierte Multiplikation des CO2-Werts

Ermittlung der Umweltfolgekosten

Im Anschluss an die Ermittlung der CO2e-Emissionen pro Bauteil wurde eine Monetarisierung vorgenommen, um die Umweltfolgekosten zu bestimmen. Hierbei wurde der vom Umweltbundesamt (UBA) bei einer Präferenzrate von 0 % ermittelte CO2e-Preis herangezogen (vgl. Tabelle 5), der mit 880 € pro Tonne CO2e angesetzt wird und im Rahmen dieser Arbeit als 880 CHF/Tonne CO2e übernommen wurde. Eine Berücksichtigung von Umlenkungskosten, welche ausschliesslich fossile Brennstoffe betreffen und deren differenzierte Erfassung als überaus komplex eingestuft wurde, wurde nicht berücksichtigt.

Neben den Kosten wurden auch die Ersatzzyklen gemäss SIA 2032 ermittelt. Dabei wurde berücksichtigt, dass Bauteile, deren Lebensdauer, die des Gebäudes nicht übersteigt, mehrfach in die Berechnung einfließt. So ergibt sich beispielsweise bei einem Fenster mit einer Lebensdauer von 30 Jahren und einer Gebäudeannahme gemäss SIA 2032 von 60 Jahren ein Ersatzzyklus von 2, was bedeutet, dass die Herstellungs- sowie die Entsorgungskosten doppelt in die Berechnung der Umweltfolgekosten einfließen. In der Abfrage qry_Gesamtco2 pro Bauteil wurden diese Ansätze entsprechend integriert (vgl. Abbildung 40; siehe Anhang 24 für den SQL-Code).

bt_id	bt_name	ersatzzyklen	total_kgco2e	umweltfolgekosten_CHF
1	Basiswand: STB 300	1	3464.0978298	1039.22934894
2	Basiswand: STB 300	1	8251.11778274997	2475.33533482499
3	Basiswand: STB 300	1	1953.43739570508	586.031218711525
4	Basiswand: STB 300	1	3821.69480962891	1146.50844288867
5	Basiswand: STB 300	1	4269.68359680116	1280.90507904035
6	Label_Double Pivot Automatic Door_HB150-2_Push: USE TYPE CATALOG	2	4556.18475329513	1366.85542598854
7	Label_Double Pivot Automatic Door_HB150-2_Push: USE TYPE CATALOG	2	4556.18475329513	1366.85542598854
8	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 3300 x 1250	2	1264	379.2
9	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 3300 x 1250	2	1264	379.2
10	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 3300 x 1250	2	1264	379.2
11	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 3300 x 1250	2	1264	379.2
12	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 3300 x 1250	2	1264	379.2
13	Bodenplatte: STB 370	1	25397.276005185	7619.18280155551
14	Basiswand: Attika STB 300	1	323.517601799999	97.0552805399997
15	Basiswand: Attika STB 300	1	274.825663578945	82.4476990736835
16	Basiswand: Attika STB 300	1	223.110783049344	66.9332349148031
17	Basiswand: Attika STB 300	1	208.298448003213	62.4895344009639
18	Basiswand: Attika STB 300	1	462.5734131	138.77202393
19	Geschossdecke: STB 250	1	7178.94082288314	2153.68224686494
20	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	82.6110691999999	24.78332076
21	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	53.7190888383304	16.1157266514991
22	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	82.6110691999999	24.78332076
23	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	53.7190888383304	16.1157266514991
24	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	57.2947738	17.18843214
25	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	82.6110692000001	24.78332076
26	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	54.6299006	16.38897018
27	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	79.9461960000001	23.9838588
28	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	85.2759424	25.58278272
29	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	55.9623371999998	16.7887011599999
30	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	82.6110691999999	24.78332076
31	Basiswand: Aufkantung Stb 200	1	53.2974639999998	15.9892391999999
32	Geschossdecke: Abdeckung Stahl	1	8103.12060549703	2430.93618164911
33	Geschossdecke: Abdeckung Stahl	1	8103.12060549703	2430.93618164911
34	Geschossdecke: Abdeckung Stahl	1	8103.12060549703	2430.93618164911

Abbildung 40: Abfrage Umweltfolgekosten von Variante 2

Zusammenfassend basiert die Berechnung der Umweltfolgekosten hauptsächlich auf Basis der Geometrien des BIM-Modelles sowie der KBOB-Liste. Es wird jedoch noch die Möglichkeit geboten, manuelle Einträge zu erfassen in dem diese mithilfe von anderen Tools wie beispielsweise «Treeze» Treibhausgasemissionen berechnet werden können.

6.5.4 Urbane Mine (Restwert/Entsorgungskosten)

Limitation

Im Rahmen der TSD-Methodik wird empfohlen, Gebäude nach Ende ihrer Nutzungsdauer als Wertstofflager zu bewerten, wobei der Urban Mining Index (UMI) zur Messung der Zirkularitätsfähigkeit herangezogen wird. Es wird dadurch der Anteil der zirkulär nutzbaren Materialien ermittelt, wobei der potenzielle Rückgewinnungswert der Materialien eine entscheidende Rolle spielt (Olender & Rosen, 2023, p. 21). Die Bestimmung des UMI setzt jedoch eine umfangreiche Datenbeschaffung zu Recyclingraten, Rückbauaufwänden und sortenreiner Materialtrennung voraus.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Umfang der urbanen Mine bewusst auf den monetären Restwert der Baumaterialien beschränkt. Die Erfassung des UMI erfordert umfassende Daten zu Recyclingraten, Rückbauaufwänden und sortenreiner Materialtrennung, deren Verfügbarkeit und Genauigkeit in frühen Projektphasen nicht gewährleistet ist. Aus diesem Grund wird angenommen, dass alle Bauteile bereits in separate Fraktionen zerlegt und zum Recyclinghof transportiert wurden, wodurch Transport-, Rückbau- und Sortieraufwände nicht berücksichtigt werden. Auf diese Weise kann eine nachvollziehbare Integration der urbanen Mine in das Datenvisualisierungstool erfolgen, ohne dass die Validität der Ergebnisse durch nicht quantifizierbare Datenlücken gefährdet wird. Die vollständige Ermittlung des UMI und damit verbundener Zirkularitätsindikatoren wird als Aufgabe weiterer Untersuchungen definiert und liegt ausserhalb des Rahmens dieser Masterarbeit.

Grundlage der Berechnung

Die in dieser Arbeit herangezogenen monetären Restwerte/ Entsorgungskosten der Bauteile wurden auf der Basis einer Datenbeschaffung eines örtlichen Recyclinghofes ermittelt, welches in Kapitel 5.3.3 behandelt worden ist. Hierbei wurden sowohl die Restwerte der Baumaterialien als auch die anfallenden Entsorgungskosten der Bauteile erfasst. Diese Werte werden in die Berechnung der Lebenszykluskosten integriert, sodass eine quantifizierte Berücksichtigung der ökonomischen Effekte im Rahmen des vereinfachten Modells gewährleistet wird.

Die Ermittlung der Restwerte/Entsorgungskosten verfolgt, dabei in der Datenbank einer gewissen Logik. Die Access Datenbank bietet die Möglichkeit, diese Werte manuell in die Tabelle «tbl_bauteiltyp» in die Spalte «bt_typ_urbanemine» einzutragen (vgl. Anhang 27). Bauteile, die in der Einheit «Stück» geführt werden, werden dabei mit dem manuell erfassten Wert belegt. Für die übrigen Bauteile erfolgt die Berechnung der Restwerte beziehungsweise Entsorgungskosten anhand der Parameter Rohdichte, Volumen und Einheitspreis in CHF pro Tonne.

6.5.5 Lebenszykluskosten

Limitation

Die Erfassung der Lebenszykluskosten wurde in einem früheren Kapitel 2.2.4 erläutert. Dabei wurde festgestellt, dass eine vollständige Lebenszykluskostenanalyse zahlreiche Einflussfaktoren umfasst, die im Rahmen dieser Arbeit nicht vollständig abgebildet werden können.

Im vorliegenden TSD-Tool-Prototyp werden die Lebenszykluskosten daher nicht als aggregierter Summenwert dargestellt, sondern in ihre drei zentralen Teilkomponenten untergliedert. Diese differenzierte Darstellung dient der Steigerung der Kostentransparenz auf Bauteilebene und unterstützt gezielte Optimierungsentscheidungen in frühen Planungsphasen. Berücksichtigt werden ausschliesslich folgende Kostenkategorien:

- Herstellkosten
- Nutzungskosten (Betriebs und Instandhaltungskosten nach CRB)
- Entsorgungskosten

Neben den einzelnen Kostenstellen existieren in der Theorie verschiedene Verfahren zur Bestimmung der Lebenszykluskosten. Insbesondere werden dynamische und statische

Verfahren am häufigsten angewendet (Pelzeter, 2017, p. 65). Im Rahmen dieser Arbeit wird ein statischer Ansatz verfolgt. Auf eine Abzinsung künftiger Zahlungsströme mittels Kapitalwertmethode wird verzichtet, ebenso auf die Berücksichtigung inflationsbedingter Effekte. Die gewählte Vereinfachung dient der Zielsetzung, zentrale Kostenaspekte auf Basis verfügbarer Daten vergleichbar darzustellen.

Grundlage der Berechnung

Die Berechnungen stützen sich auf Daten aus dem BIM-Modell, ergänzt durch Angaben aus Leistungsverzeichnissen, Handbüchern und projektbezogenen Erfahrungswerten. Die drei Kostenkomponenten werden jeweils separat ermittelt und in der Datenbank gespeichert. Eine Gesamtaddition zu einem Lebenszykluskostenwert erfolgt nicht.

Herstellkosten

Die Herstellkosten basieren auf den im BIM-Modell enthaltenen Bauteilgeometrien. Diese werden den Einheitspreisen aus Leistungsverzeichnissen der Fallstudie sowie aus weiteren Projekten des AIB zugewiesen (vgl. Kapitel 5.3.3 & Anhang 28).

Nutzungskosten

Die «Nutzungskosten» werden in Anlehnung an den «CRB LCC-Leitfaden» bestimmt (CRB, 2012). Dazu erfolgt eine Klassifikation der Bauteile nach eBKP-H, anhand derer prozentuale Instandhaltungskennwerte zugeordnet und mit den jeweiligen Herstellkosten multipliziert werden. Eine zeitliche Verteilung oder dynamische Anpassung der Nutzungskosten erfolgt nicht. Die Berechnung orientiert sich an der angenommenen Gebäudenutzungsdauer von 60 Jahren sowie den jeweiligen Bauteilnutzungsdauern. Die Berechnung auf Access erfolgte mithilfe folgender SQL-Abfrage (vgl. Anhang 29)

Entsorgungskosten/Restwerte

Für die «Entsorgungskosten» wurden Durchschnittswerte aus einem regionalen Recyclinghof sowie aus Leistungsverzeichnissen früherer Projekte herangezogen (vgl. Tabelle 18). Positive Werte wurden im Sinne potenzieller Rückgewinne durch stoffliches Recycling als «Restwerte» gegengerechnet. Die Berechnung auf Access erfolgte mithilfe folgender SQL-Abfrage (vgl. Anhang 30)

Nutzungsdauer der Bauteile

Die Nutzungsdauer der Bauteile werden sofern vorhanden aus dem Anhang C der SIA 2032 (SIA 2032, 2020a, pp. 24–25) entnommen. Bei fehlenden Angaben wird ergänzend auf die Nutzungsdauer-Tabelle des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) zurückgegriffen (BBSR, 2017).

Abschliessend wurden alle Komponenten in einer zusammenfassenden SQL-Abfrage Kostenkategorien integriert. Dabei erfolgt die Berechnung vereinfacht nach dem statischen Verfahren gemäss Kapitel 2.2.4, basierend auf den Geometriedaten des vorhandenen BIM-Modells sowie den hinterlegten Werten in der Datenbank. Die Nutzungsdauer der maschinellen Vorklärung wurde auf 60 Jahre gesetzt, wobei die nutzungsspezifischen Lebensdauern der einzelnen Bauteile berücksichtigt wurden (vgl. Abbildung 41 & Anhang 31).

bt_id	bt_name	Herstellkosten	eg_lzm	bt_typ_nutzungs	Nutzungskosten	Entsorgungskosten	Ersatzzykler
172	Bodenplatte: STB 370	36988.173188172	0.01	60	22192.9039129032	14553.1326044663	1
178	Label_Double Pivot Automaf	27531	0.01	30	8259.3	135	2
179	Label_Double Pivot Automaf	27531	0.01	30	8259.3	135	2
148	Basiswand: Sandwichfassade	12317.9111825858	0.01	60	7390.74670955148	157.798391906346	1
145	Deckensystem: Stahlprofilbl	10193.3551232205	0.01	60	6116.0130739323	-994.010406428503	1
173	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	8096	0.01	30	2428.8	40	2
174	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	8096	0.01	30	2428.8	40	2
175	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	8096	0.01	30	2428.8	40	2
176	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	8096	0.01	30	2428.8	40	2

Abbildung 41: Gesamtkostenübersicht Bauteile - LZK-Berechnung nach TSD-Methodik

6.6 Prozess zum Ermitteln des nachhaltigen Wertes der Variante 1

Im Folgenden wird der Prozess beschrieben, wie das TSD-Tool angewendet wird diese wie in Abbildung dargestellt wird.

6.6.1 Erstellung IFC-Modell mit Revit

Im nächsten Schritt wird die Access-Datenbank in eine vorbereitete Power BI-Vorlage importiert. Diese Vorlage enthält bereits ein vorkonfiguriertes Dashboard, das auf die Struktur der Datenbank abgestimmt ist. Die importierten Daten müssen innerhalb von Power BI nochmals miteinander verknüpft werden, wobei insbesondere darauf zu achten ist, dass die Interaktivität zwischen den Visualisierungen durch beidseitige Beziehungen gewährleistet ist.

Zusätzlich wird das in Speckle hochgeladene IFC-Modell in das Power BI-Dashboard eingebunden und mit den Daten aus der Datenbank referenziert. Die Zuordnung erfolgt auf Basis eindeutiger IDs, wie in Kapitel 5.3.2 aufgeführt sind. Darüber hinaus wurden bisher nur wenige numerische Informationen hinterlegt, um grundsätzlich eine Verknüpfung des Modells mit der Access-Datenbank zu ermöglichen. Es werden folgende Informationen hinterlegt.

<Pset_MTH>				
A	B	C	D	E
Familie und Typ	ebkphid	IfcGUID	Bauteiltyp	ebkph
HEB Stütze: HEB 200	C03.02	2qLDKn3jvDRvM_5c4eLtsr	träger.heb	C03.02
HEB Stütze: HEB 200	C03.02	2qLDKn3jvDRvM_5c4eLtb6	träger.heb	C03.02
HEB Stütze: HEB 200	C03.02	2qLDKn3jvDRvM_5c4eLTY1	träger.heb	C03.02
HEB Stütze: HEB 200	C03.02	2qLDKn3jvDRvM_5c4eLtZM	träger.heb	C03.02
HEB Stütze: HEB 200	C03.02	2qLDKn3jvDRvM_5c4eLTXG	träger.heb	C03.02

Abbildung 42: Alphanummerische Information des IFC-Modells

Neben diesen Daten wurde auch berücksichtigt, Geometriedaten mitzugeben, um auf deren Basis die Kosten sowie die Ökobilanz zu bestimmen (vgl. Abbildung 43). Diese Geometriedaten wurden über die IFC-Exporteinstellungen definiert. Die verwendete IFC-Version spielt dabei keine Rolle, da die Versionen 2x3, 4 sowie 4x3add2 alle erforderlichen Informationen exportieren können.

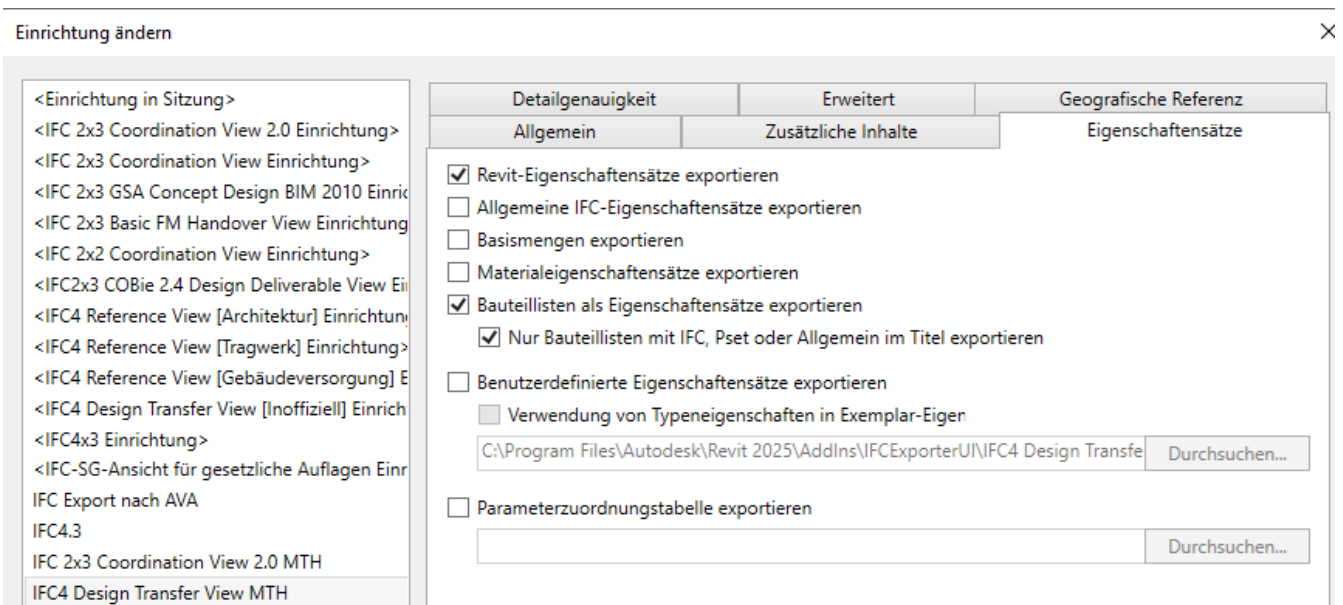


Abbildung 43: Revit Exporteinstellungen

6.6.2 Erstellung der Mengenliste mit Speckle

Um die Daten lesbar zu machen, wurde angestrebt, eine Liste mit allen notwendigen Informationen aus dem vorherigen Kapitel bereitzustellen. In Revit ist dies jedoch nicht ohne weiteres möglich, da die geometrischen Werte nicht automatisch ausgefüllt werden, da nicht alle Bauteile die gesamten Bemessungsparameter teilen. Daher wurde nach einer alternativen Lösung gesucht, um die Daten automatisiert in Tabellenform auszugeben und sie so für die Access-Datenbank nutzbar zu machen.

Die Wahl fiel auf die Plattform Speckle, da diese nach dem Upload des IFC-Modells mithilfe des «Speckle-Connectors» die relevanten Informationen in Excel ausgeben kann. Dafür kann ein Add-in für Excel installiert werden, das unter dem Namen «Excel Connector» verfügbar ist. Mit diesem Add-in lässt sich das zuvor hochgeladene IFC-Modell herunterladen, wobei gezielt gewünschte Attribute ausgegeben werden können. Diese Attribute wurden in einer Excel-Vorlage vordefiniert, sodass sie lediglich an den vorgesehenen Stellen eingefügt werden müssen, um anschliessend direkt in die Access-Datenbank übernommen werden zu können (vgl. Abbildung 44).

bt_id	bt_name	bt_laeng	bt_flaech	bt_volume	bt_typ_id_re	GlobalID	ebkph_id_r
1	HEB Stütze: HEB 200	4.70304424		0.036725317	träger.heb	42742c3312bd152b6d60de5c6f8a8da8,b8e25cb70629545adb66ed7821820a8a,	C03.02
2	HEB Stütze: HEB 200	4.70304424		0.036725317	träger.heb	974b567ed5a1bec3f05a333bb417e8b5,c39f56d802fa70235427d14138f54a43,	C03.02
3	HEB Stütze: HEB 200	4.70304424		0.036725317	träger.heb	f65a33b7d319a191bb99ec9d6d78f383,a2d588d0cff09a39054a0267e32cc2a1,	C03.02
4	HEB Stütze: HEB 200	4.70304424		0.036725317	träger.heb	1fdd182151f677a957609514419ecfb9,bb39f02005d750a81184ff4a67a140d9,	C03.02

Abbildung 44: Ausgabe Mengenliste in Excel mit Speckle-Connector

Dabei werden folgende Bemessungseinheiten je Bauteile automatisch aus Revit ausgegeben wie in Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Ausgabe Bemessungseinheit nach Bauteil

Bauteiltyp / Ausgabe Bemassung	m ²	m ³	Länge
Stütze		X	X
Balken		X	X
Fenster	X	X	
Tür	X	X	
Wand	X	X	
Boden	X	X	X
Decke	X	X	X

6.6.3 Überführung der Daten in die Access Datenbank

Die in Abbildung 44 genannte dargestellte Bauteilliste wird kopiert und in die Access-Datenbank-Vorlage eingefügt, sodass sie wie in Abbildung 45 ersichtlich, korrekt eingelesen werden kann.

tbl_id	bt_name	bt_laenge	bt_flaeche	bt_volumen	bt_typ_id_ref	GlobalID	ebkph
1	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	42742c3312bd152b6d60de5c6	C03.02
2	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	974b567ed5a1bec3f05a333bb	C03.02
3	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	f65a33b7d319a191bb99ec9d6	C03.02
4	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	1fdd182151f677a95760951441	C03.02
5	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	26ae4cc7df83135ed4b071efc0	C03.02
6	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	d5cf214c9db34d729a3ee4a98	C03.02
7	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	87ff9938d066d55c37a77ca4d3	C03.02
8	HEB Stütze: HEB 200	4.7	0.01	0.0367253166	träger.heb	584bf5c8a8df23b71183d53f88	C03.02
9	HEB Stütze: HEB 200	5.2	0.01	0.0404735594	träger.heb	3d22edf7a3aa26dfadefde2cca	C03.02

Abbildung 45: Eingesetzte Bauteilliste in die Access-Datenbank

Neben den geometrischen Daten werden auch weitere Informationen, wie soziale Aspekte sowie Sach- und Formalziele, in die Access-Datenbank überführt. Hierzu wurde in der Excel-Vorlage eine vorbereitete Tabelle erstellt, die ausgefüllt werden muss, um die Daten direkt in die Access-Datenbank übernehmen zu können, wie in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2.

Auf Basis der Tabelle 25 dargestellten Bauteilliste werden jene Bemassungseinheiten, die beim Export aus Revit nicht automatisch ausgegeben werden, nachträglich ergänzt. Für die spätere Berechnung in der Access-Datenbank wird insbesondere die Flächeneinheit ermittelt, sofern sie nicht direkt vorhanden ist, jedoch Länge und Volumen angegeben werden. Diese Flächenwerte werden mithilfe einer SQL-Abfrage «qry_acesstbl_bauteile_ergänze_flaeche» berechnet, wie im 0 dargestellt.

Dabei besitzt die Datenbankvorlage bereits für die Bauteile relevanten Daten in der Tabelle «tbl_bauteiltyp» und für die Ökobilanzierung in der Tabelle «tbl_anteile». Falls diese fehlen würden, müssten diese dementsprechend ergänzt werden. Aus den vorhandenen Daten sowie aus dem geometrischen Daten berechnet die Access-Datenbank die CO₂-Emissionen für Herstellung und Entsorgung eines Bauteils basierend auf Volumen, Materialanteilen und den CO₂-Emissionswerten aus der KBOB-Datenbank. Zudem wird die Datenbank genutzt, um die Einheitspreise dem Volumen vom Bauteil zuzuweisen und die Herstellkosten zu berechnen. Ausserdem wird sie dazu verwendet die Bauteile nach der eBKPH Struktur zu klassifizieren, um die Nutzungskosten zu berechnen.

6.6.4 Überführung der Daten aus der Access Datenbank in das Power BI

In einem nächsten Schritt wird die Access-Datenbank in die Power BI-Vorlage importiert. Diese Power BI-Vorlage besitzt bereits voreingestelltes Dashboard, welches auf die Datenbankstruktur angepasst ist. Diese Daten, die hochgeladen wurden, müssen nochmals miteinander referenziert werden, dabei ist es wichtig damit die Visuals jeweils miteinander interagieren können diese auch beidseitig einzustellen. Neben der Datenbank Daten muss auch der in Speckle hochgeladene IFC-Modell in das Power BI Dashboard eingelesen werden und mit der Datenbank referenziert werden wie in Anhang 33.

6.7 Feedback aus der Praxis

Dieser Abschnitt fasst das Vorgehen sowie die Rückmeldungen aus den Feedback Gesprächen des TSD-Tools zusammen. Nach Fertigstellung des ersten Entwurfs wurde das Tool im Rahmen eines iterativen Feedbackprozesses mit mehreren Experten aus der Praxis besprochen, um Optimierungspotenziale zu identifizieren und die Praxistauglichkeit des Lösungsansatzes zu überprüfen.

6.7.1 Zusammenfassung Feedbackgespräche

Im Rahmen von Feedbackgesprächen wurde der entwickelte Prototyp des datenvisualisierenden TSD-Tools mit verschiedenen Fachpersonen aus Praxis und Wissenschaft diskutiert (vgl Anhang 7). Ziel war es, zentrale Anforderungen aus der Praxis zu erfassen und Verbesserungspotenziale zu identifizieren. Die Gespräche mit TSD-Expert:innen, LCA-Spezialist:innen, BIM-

Verantwortlichen sowie Projektleitenden aus der AIB zeigten, dass der Prototyp methodisch korrekt aufgebaut ist und relevante Nachhaltigkeitskriterien bereits adressiert. Insbesondere wurde die Integration der CO₂e-Emissionswerte aus der KBOB-Datenbank und die strukturierte Datenverknüpfung in der Access-Datenbank positiv bewertet.

Kritisch hinterfragt wurde hingegen die fehlende Abbildung betrieblicher Emissionen. Empfehlungen betrafen unter anderem die Erweiterung der Visualisierungen um soziale Parameter, die Ergänzung standardisierter Strukturen (z. B. eBKP-H, KBOB-ID). Der BIM-Manager verwies zudem auf die Notwendigkeit, Inflation, Terminrisiken und zusätzliche Kostenarten wie Logistik im Tool zu berücksichtigen. Die von der Thesis-Betreuerin angeregte Erweiterung der SQL-Berechnung auf negative Restwerte wurde umgesetzt. Auch Hinweise zur Reduktion irreführender Farbcodierungen sowie zur Verbesserung der Nutzerführung flossen ein.

Das iterative Vorgehen führte zu einer schrittweisen Optimierung des TSD-Tool-Prototyps, was sowohl in der methodischen Diskussion (vgl. Kapitel 7.2) als auch in der Bewertung der Praxistauglichkeit (vgl. Kapitel 8.1) deutlich wird.

6.8 Ergebnisse aus dem Fallbeispiel

Nachdem der Aufbau und die Struktur des datenvisualisierenden TSD-Tools definiert und die Berechnung der relevanten Kennwerte durchgeführt wurden, erfolgt in diesem Abschnitt die Darstellung der Ergebnisse. Die Auswertung basiert auf zwei finalen Dashboards, die mit Power BI erstellt wurden. Jedes Dashboard umfasst eine Übersichtsseite mit zentralen Kennzahlen sowie ergänzende Seiten mit Detailanalysen zur CO₂-Bilanz und zur Kostenverteilung. Die zugrunde liegenden Daten wurden aus der eigens entwickelten Access-Datenbank automatisiert übernommen und in Power BI visualisiert.

Zudem wurde die Wirkung zentraler Bewertungsparameter, insbesondere der Zeitpräferenzrate (ZPR), systematisch berücksichtigt. Durch die Wahl einer ZPR von 0 % wurden Umweltfolgekosten vollständig monetarisiert und ohne rechnerische Abwertung in die Nachhaltigkeitsbewertung integriert. Dieser methodische Entscheid reflektiert das Prinzip der Generationengerechtigkeit, da heutige und zukünftige Umweltschäden gleich gewichtet werden. Dabei wurde ein Umweltfolgekosten von 880 CHF pro Tonne CO₂e berechnet wird in dem Variantenvergleich

Im Rahmen des Variantenvergleichs aus dem Fallbeispiel wurden zwei unterschiedliche Fassadensysteme analysiert. Dabei beinhaltet die Variante 1 eine Aussenhülle aus vorgefertigten Sandwichpaneelen, während in Variante 2 eine Lösung mit Stahlbetonfassade zugrunde gelegt wurde. Die Auswertung der berechneten Werte zeigt wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Varianten, insbesondere im Hinblick auf soziale, ökologische und ökonomische Kennzahlen. Die zentralen Vergleichswerte sind in Tabelle 26 zusammengefasst:

Tabelle 26: Ergebnisse der beiden Varianten aus dem Fallbeispiel

Aspekte	Variante 1	Variante 2	Differenz (V1-V2)
Soziales	0.80	0.87	+0.07
Zielumfang	1.00	1.00	0
Herstellkosten [CHF]	257'850	234'680	+23'170
Nutzungskosten [CHF]	126'050	111'520	+14'530
Entsorgungskosten/Restwert [CHF]	13'552	39'950	-26'398
Umweltfolgekosten [CHF]	273'327	94'374	+178'953
Gesamtkosten [CHF]	490'632	418'320	+72'312
Nachhaltiger Wert	0.12	0.18	-0,06

Die Analyse der Ergebnisse aus der Tabelle 26 zeigen, dass die Variante 2 in nahezu allen untersuchten Aspekten bessere Ergebnisse erzielt. Die Herstellungskosten liegen bei Variante 2

rund 9 % unter denen von Variante 1. Auch die Nutzungskosten sind um etwa 11,5 % geringer. Besonders deutlich fällt die Reduktion der Umweltfolgekosten aus: Mit einem Wert von 94'374 CHF verursacht Variante 2 etwa 65 % weniger Umweltfolgekosten als Variante 1 mit 273'327 CHF. Zudem beträgt die Differenz bei den Gesamtkosten ca. 72'312 CHF, was einer Einsparung von ca. 15% entspricht.

Die Varianten 1 und 2 erfüllen die funktionalen Projektziele vollständig. Der aggregierte Nachhaltigkeitswert von Variante 2 liegt mit 0.18 um 0.06 über demjenigen von Variante 1 (0.12), was einer Verbesserung von ungefähr 33 % entspricht. Diese Differenz unterstreicht die gesamtheitlich vorteilhaftere Wirkung von Variante 2 im Hinblick auf ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit.

Zur Veranschaulichung der Funktionsweise sowie der Ergebnisdarstellung des entwickelten Tools werden im Folgenden exemplarisch die drei finalen Dashboard-Seiten beider Varianten dargestellt. Diese umfassen eine zusammenfassende Übersicht, eine Detailseite zur ökologischen Bewertung sowie eine Auswertung der Kostenstruktur nach Bauteilgruppen.

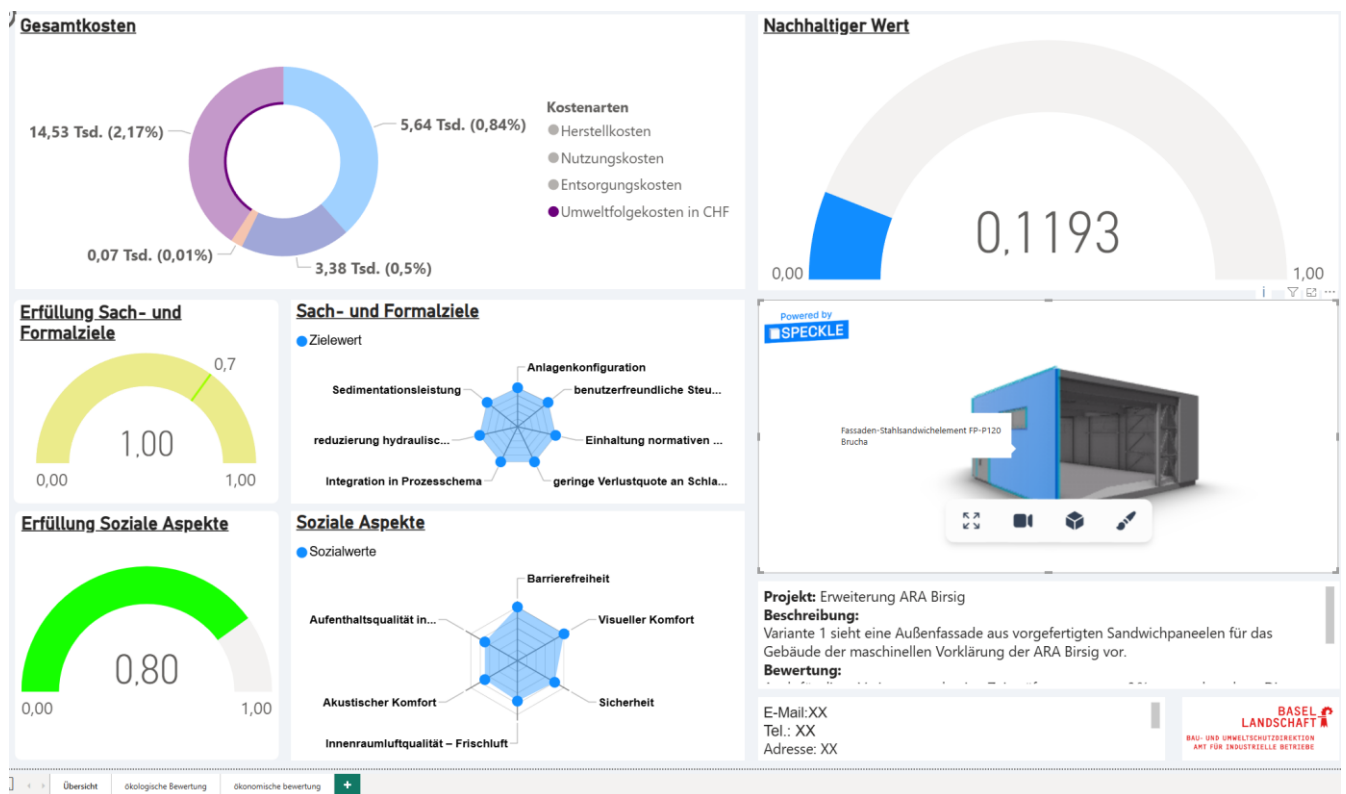


Abbildung 46: Übersichtsdashboard der Variante 1

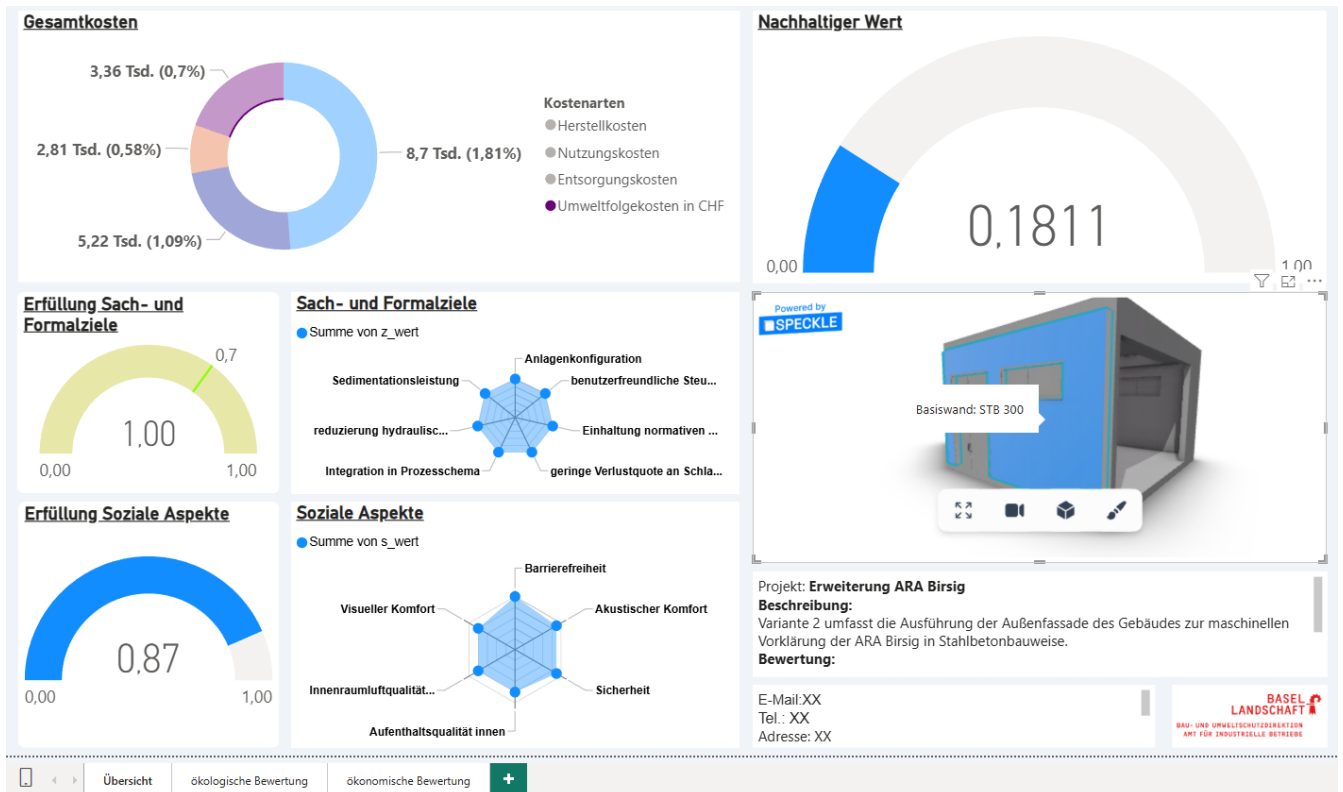


Abbildung 47: Übersichtsdashboard der Variante 2

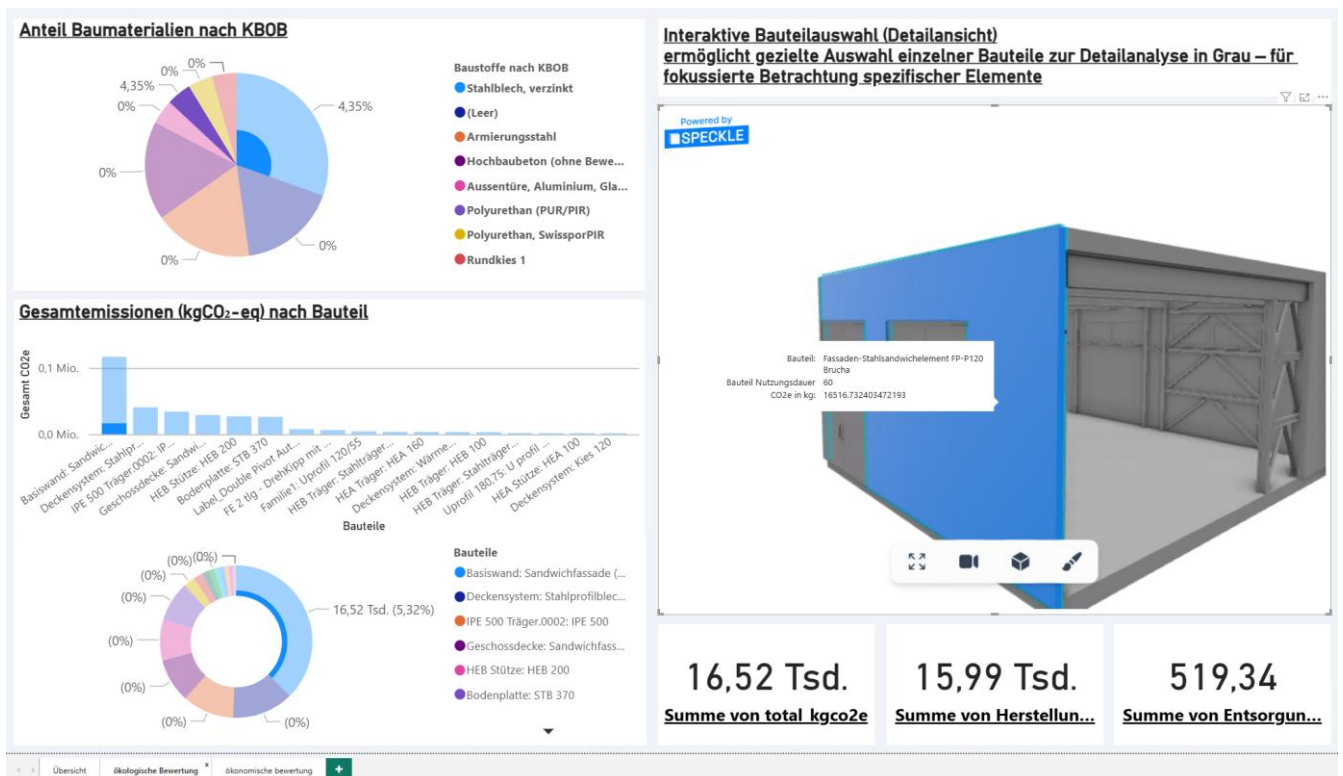


Abbildung 48: Ökologische Auswertung der Variante 1

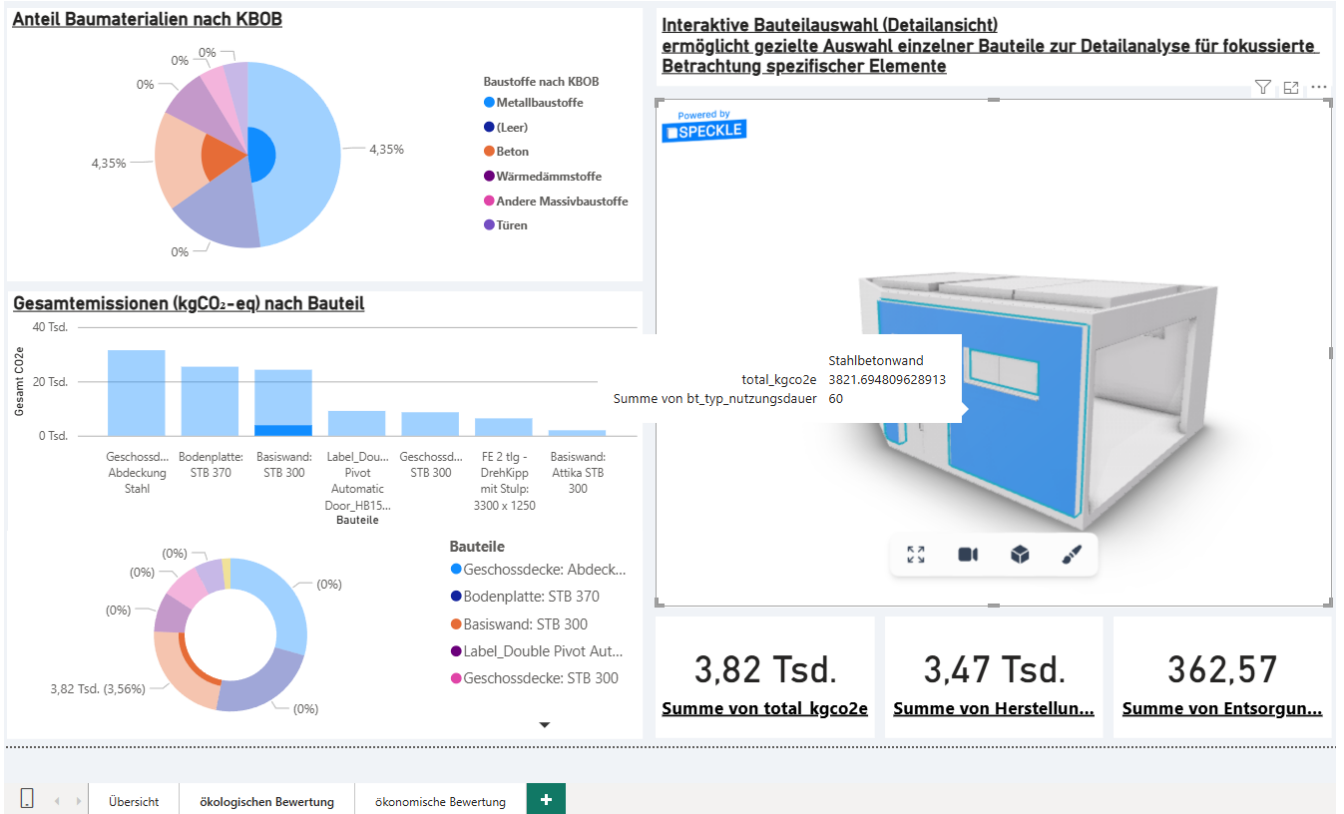


Abbildung 49: Ökologische Auswertung der Variante 2

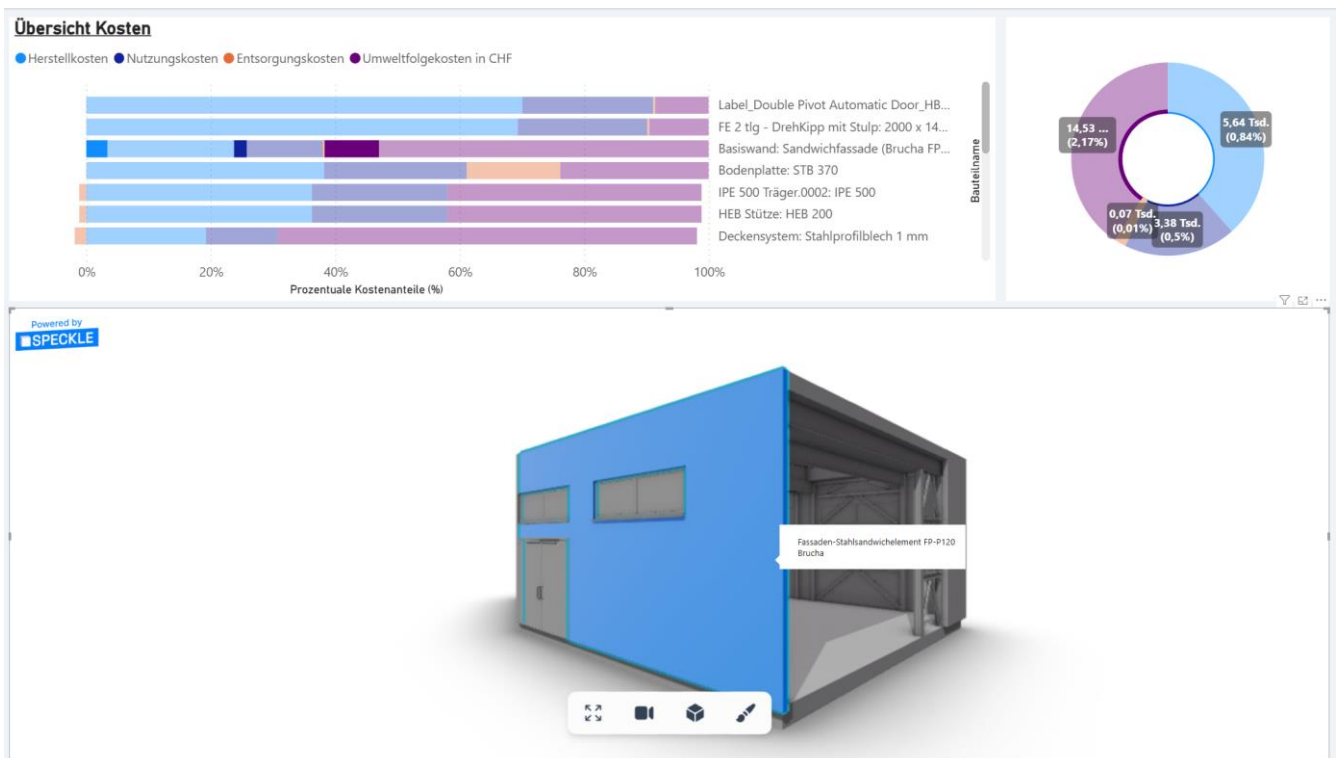


Abbildung 50: Kostenübersicht der Variante 1

Übersicht Kosten

● Herstellkosten ● Nutzungskosten ● Entsorgungskosten ● Umweltfolgekosten in CHF

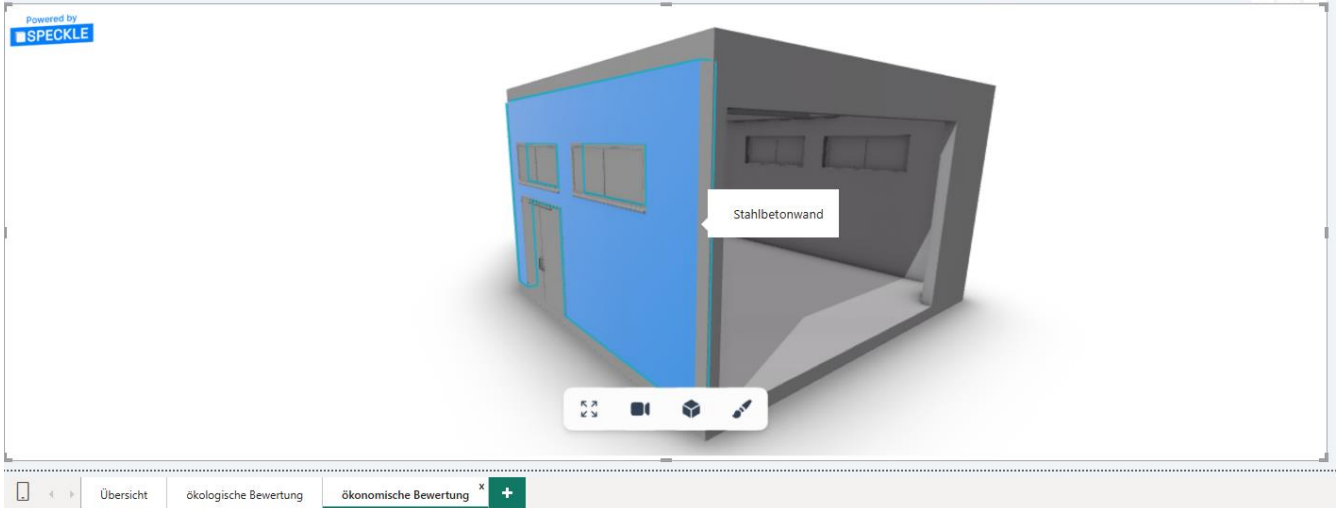
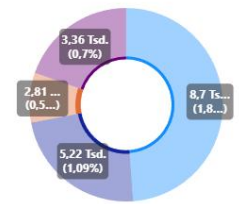
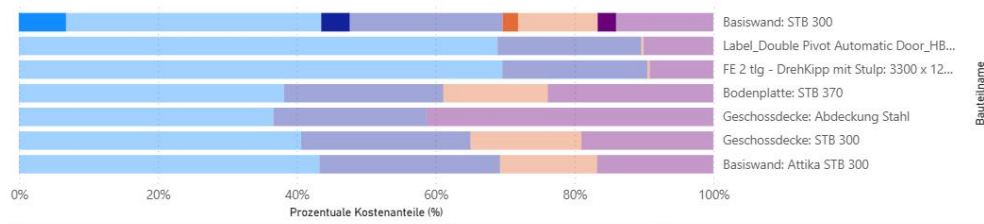


Abbildung 51: Kostenübersicht der Variante 2

7 Diskussion

7.1 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse

Das Ziel dieser Arbeit bestand in der Entwicklung eines Prototyps eines datenvisualisierenden Tools, mit dem die Entscheidungsfindung in frühen Planungsphasen anhand der TSD-Methodik unterstützt werden kann. Als Ausgangspunkt wurde die Problematik angenommen, dass ökologische und soziale Nachhaltigkeitsaspekte neben ökonomischen Aspekten in der gängigen Planungspraxis trotz bestehender Normvorgaben nach wie vor unzureichend in Entscheidungen einbezogen werden (Olender & Rosen, 2023, p. 2). Mit dem aktuellen Stand der Forschung in Kapitel 3 hat sich dieser Fakt insofern bestätigt, als bislang kaum digitale Werkzeuge existieren, die die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales integrativ und umfassend abbilden.

Auf dieser Grundlage wurde das TSD-Tool anhand einer Fallstudie zur Variantenentscheidung vom Projekt «Erweiterung ARA Birsig» entwickelt und erprobt (vgl. Kapitel 5.2). Dadurch konnte demonstriert werden, dass sich ökologische, ökonomische und soziale Kriterien bereits in einer frühen Projektphase strukturiert vergleichbar machen und in Form eines Variantenvergleichs visualisieren lassen. Damit adressiert das TSD-Tool die identifizierte Lücke, Nachhaltigkeitsziele nicht nur ergänzend, sondern als integralen Bestandteil der Planung zu berücksichtigen. Insgesamt zeigen die Ergebnisse (vgl. Kapitel 6.8), dass das entwickelte Hilfsmittel zu einer ganzheitlicheren Entscheidungsgrundlage beiträgt und Zielkonflikte zwischen Budgetvorgaben und Nachhaltigkeitszielen frühzeitig sichtbar macht.

7.2 Interpretation der Ergebnisse in Hinblick auf die Forschungsfragen

7.2.1 Analyse von Ökobilanzierungs- und Zirkularitätstools im TSD-Kontext

Zur Beantwortung der ersten Teilfragestellung wurde eine Analyse relevanter Ökobilanzierungs- und Zirkularitätstools durchgeführt. Als Grundlage dienten eine umfassende Literaturrecherche sowie strukturierte Feedbackgespräche, deren Ergebnisse in einer Vergleichstabelle zusammengeführt wurden (vgl. Anhang 6). Berücksichtigt wurden sowohl international etablierte als auch im Schweizer Kontext verbreitete Anwendungen wie One Click LCA, SimaPro, Tally, Athena EcoCalculator, Viride, EcoTool, Lesosai, Enerweb und vyzn. Ergänzend wurden spezialisierte Plattformen der Kreislaufwirtschaft, darunter Madaster, der Urban Mining Index und Concular, in die Untersuchung einbezogen (vgl. Kapitel 3). Die Analyse zeigte, dass die identifizierten Tools primär ökologische und teilweise ökonomische Aspekte abdecken. Zwar ermöglicht beispielsweise One Click LCA neben der Ökobilanz auch eine automatisierte Lebenszykluskostenabschätzung, jedoch wird die soziale Dimension der Nachhaltigkeit (S-LCA) von keinem der untersuchten Tools standardmässig integriert. Auch zirkuläre Aspekte wie das Potenzial zur Wiederverwendung von Bauteilen sind ausschliesslich in spezialisierten Einzelanwendungen adressiert und fehlen in den verbreiteten LCA-Tools. Somit wird die umfassende Logik der TSD-Methodik, welche eine gleichzeitige Berücksichtigung ökologischer, ökonomischer, sozialer und zirkulärer Kriterien vorsieht, durch kein bestehendes Tool vollständig abgebildet. Diese Erkenntnis unterstreicht die Relevanz und den Mehrwert des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Prototyps, der genau diese Lücke, die isolierte Betrachtung der Nachhaltigkeitsdimensionen in getrennten Werkzeugen, adressiert.

7.2.2 Anforderungen an ein entscheidungsunterstützendes TSD-Tool

Die zweite Teilfragestellung zielte auf die Anforderungen an ein datenvisualisierendes TSD-Tool ab. Aufbauend auf Literatur, Feedbackgesprächen und der Fallstudie wurden zentrale Anforderungen für das TSD-Tool abgeleitet (vgl. Kapitel 6.2). Das Tool muss in der Lage sein, belastbare Entscheidungsgrundlagen trotz unvollständiger Daten in frühen Planungsphasen bereitzustellen. Es soll ermöglichen, Zielwerte für Nachhaltigkeit und Projektziele zu definieren und im Entscheidungsprozess sichtbar zu machen, wobei alle relevanten Nachhaltigkeitsdimensionen, Umwelt, Wirtschaft und Soziales, nachvollziehbar abgebildet und visualisiert werden. Darüber hinaus muss die Anwendung den Umgang mit unterschiedlichen

Detailierungsgraden und unsicheren Eingangsdaten unterstützen. Unterschiedliche Varianten von Entwürfen sind anhand einheitlicher Kriterien im Hinblick auf ihren nachhaltigen Wert nach der TSD-Methodik vergleichbar zu machen. Zudem wurde gefordert, dass das System iterationsfähig und flexibel gestaltet ist, sodass Änderungen an Zielen, Varianten oder Rahmenbedingungen schnell nachvollzogen und neu bewertet werden können. Schliesslich soll das Tool die kollaborative Entscheidungsfindung unterstützen, indem es verschiedenen Projektbeteiligten erlaubt, auf Basis der visualisierten Daten gemeinsam Entscheidungen zu treffen, wie sie im Prozess in Anhang 17 vorgesehen ist. Diese Anforderungen gewährleisten, dass das Tool die methodischen Vorgaben der TSD-Methodik vollumfänglich abbilden kann.

7.2.3 Datenunsicherheit und Detaillierungsgrad in frühen Planungsphasen

In der dritten Forschungsfrage wurde während der Entwicklung des Tools festgestellt, dass in frühen Planungsphasen typischerweise mit unvollständigen, heterogenen und teils unsicheren Daten gearbeitet werden muss (Li et al., 2023). Da die Entscheidungsgrundlagen zum Zeitpunkt der Variantenwahl nur in Teilen strukturiert und transparent vorlagen, wurden ergänzende Annahmen aus späteren Projektphasen, vergleichbaren Projekten sowie der Fachliteratur hinzugezogen (vgl. Kapitel 5.3). Diese wurden im Tool nachvollziehbar dokumentiert und im Sinne einer ersten Bewertung verwendet.

Um dennoch erste Entscheidungen im Sinne der TSD-Methodik treffen zu können, wurde das Tool so konzipiert, dass es unterschiedliche Datenquellen, darunter IFC-Modelle, Excel-Tabellen, CO₂e-Daten sowie projektspezifische Annahmen, in einer relationalen Struktur zusammenführt (vgl. Kapitel 5.3 & Anhang 17). Dabei wurde aus der Literatur deutlich, dass die visuelle Aufbereitung dabei hilft, um komplexe Bewertungszusammenhänge verständlich und nachvollziehbar zu machen (Somik Ghosh et al., 2024). Die Kombination der strukturierten Daten in der Access-Datenbank und des Datenvisualisierungstools Power BI erwies sich als geeignet, um diese Informationen konsistent zu verknüpfen, Annahmen nachvollziehbar zu dokumentieren und zentrale Zielkonflikte transparent zu machen. Dies wurde ebenfalls positiv aus den Rückmeldungen der Feedbackgespräche bewertet (vgl. Kapitel 6.7).

Um den Aufwand in frühen Projektphasen gering zu halten, wurde das Tool so gestaltet, dass bereits ein BIM-Modell mit geringem bis mittlerem Detaillierungsgrad LOD 200 (vgl. Kapitel 2.6.1) ausreicht. Entscheidend ist dabei, dass die wichtigsten Bauteile enthalten sind und wenige strukturierte alphanumerische Informationen hinterlegt werden, wie etwa zur Bauteilklassifikation, sodass die Verknüpfung mit der Access-Datenbank problemlos möglich ist (vgl. 6.6.1). Während in der Literaturübersicht von (Berges-Alvarez et al., 2024) ein hoher Detailgrad für BIM vorgeschlagen wird, wurde dieser Ansatz aufgrund des in der Praxis geäusserten Aufwands- und Nutzungsrisikos bewusst vermieden. Die gewählte Datenstruktur ermöglicht stattdessen eine flexible Kombination aus modellbasierten Geometrien und manuell eingegebenen Informationen und erwies sich in der Fallstudie als praktikabel und anschlussfähig.

7.3 Limitationen der Forschung

7.3.1 Umweltfolgekosten

Ursprünglich war eine Anbindung an das Ökobilanzierungstool Viride vorgesehen, das eine valide CO₂e-Datengrundlage auf Basis schweizerischer Normen bietet. Da die von Viride exportierten CO₂e-Datensätze jedoch nicht ohne Weiteres in das bestehende Access-Datenbankschema übernommen werden konnten, wäre eine umfassende Datenharmonisierung erforderlich gewesen. Daher wurden standardisierte Emissionswerte der KBOB-Datenbank herangezogen, um die Ökobilanzierung pragmatisch umzusetzen und den Fokus auf die Implementierung der TSD-Logik zu legen.

Zur Berechnung der Umweltfolgekosten wurden ausschliesslich der CO₂e-Emissionen für Herstellung und Entsorgung herangezogen, wie sie in der KBOB-Datenbank ausgewiesen sind. Eine vollständige Ökobilanzierung gemäss DIN EN 15978 wurde aufgrund zeitlicher Restriktionen nicht durchgeführt, sodass die Phasen Transport, Installation, Betrieb sowie

Recycling und Verwertung unberücksichtigt blieben. Durchschnittliche KBOB-Werte wurden projektspezifischen Primärdaten, regionalen Energiemixen und Transportdistanzen vorgezogen, wodurch projektspezifische Abweichungen nicht erfasst werden. Weitere Umweltwirkungen, etwa Ressourcenverbrauch, Wasserknappheit oder Biodiversitätsverluste, fanden ebenso keine Berücksichtigung.

Als Monetarisierungsfaktor wurde ein einheitlicher Wert von 880 CHF pro Tonne CO₂e gemäss dem UBA-Konzept bei 0 % Präferenzrate angewendet (vgl. Tabelle 5). Dieser Ansatz bildet die Klimafolgekosten generationengerecht ab, kann jedoch nationale Besonderheiten sowie die Umlenkungskosten fossiler Brennstoffe nur unzureichend reflektieren. Verbundbauteile und komplexe Fenster- bzw. Türsysteme wurden mittels vereinfachter Materialanteile und manueller Annahmen zugeordnet, wodurch die Konsistenz der Emissionszuordnung beeinträchtigt sein kann (vgl. Kapitel 6.5.3). Insgesamt ist anzumerken, dass die Kombination aus zeitlichen Einschränkungen, standardisierten Datensätzen und vereinfachten Zuordnungslogiken zu einer partiellen Abbildung der tatsächlichen Umweltfolgekosten führt.

7.3.2 Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskostenberechnung erfolgte in einem vereinfachten statischen Verfahren ohne Berücksichtigung von Diskontierungsraten, Preisentwicklungen oder Inflationsfaktoren (vgl. 6.5.5). Die Einbeziehung beschränkte sich auf Herstellungskosten, Nutzungskosten als Instandhaltungskennwert nach (CRB, 2012) sowie Entsorgungskosten, die aus einem örtlichen Recyclinghof erhoben worden sind (vgl. 5.3.3 & Anhang 14). Dynamische Aspekte wie zukünftige Preisunsicherheiten, Risikoaufschläge oder gebäudetechnische Betriebskosten wurden nicht berücksichtigt. Dadurch fehlen zentrale Bestandteile einer vollständigen Lebenszykluskostenberechnung gemäss (ISO 15686-5, 2017). Die Nutzung von CRB-Mittelwerten führt zu einer Generalisierung, die projektspezifische Differenzierungen ausschliesst. Die Berücksichtigung indirekter Kosten für die Herstellung erfolgt zudem über pauschale Zuschläge, in diesem Fall 15 % für Planungs- und Montagekosten (vgl. 6.5.5), was zwar pragmatisch, jedoch methodisch ungenau bleibt, da projektspezifische Unterschiede und bauteilbezogene Aufwände unberücksichtigt bleiben.

7.3.3 Urbane Mine

Die Bewertung der urbanen Mine erfolgte ausschliesslich über monetäre Restwerte, die aus einem lokalen Recyclinghof sowie aus Rückbauofferten anderer Projekte erhoben worden sind (vgl. Tabelle 18 & Anhang 14). Eine strukturierte Anwendung des Urban Mining Index (UMI) konnte aufgrund fehlender detaillierter Bauteildaten im Fallbeispiel nicht realisiert werden und hätte den zeitlichen Rahmen dieser Arbeit überschritten. Wesentliche Kriterien des UMI wie Demontierbarkeit, Stofftrennung oder Kreislaufpotenziale wurden demzufolge nicht abgebildet. Zugrunde gelegt wurde die Annahme, dass sämtliche Bauteile sortenrein demontiert und zum Recyclinghof transportiert wurden, wodurch der tatsächliche Rückbauaufwand sowie ökologische Rückbaufolgen nicht erfasst werden. In der Konsequenz wird das Potenzial der urbanen Mine als Nachhaltigkeitsfaktor in der TSD-Methodik nicht vollständig repräsentiert.

7.3.4 Soziale Aspekte

Die Erhebung der sozialen Aspekte stützt sich auf eine Nutzwertanalyse mit vereinfachter Gewichtung ausgewählter Parameter (z. B. Innenraumluftqualität, Sicherheit), basierend auf dem NIMMO-System (vgl. Kapitel 2.2.3). Die Auswahl der Kriterien und deren Gewichtung erfolgte auf Grundlage von Annahmen, die gemeinsam mit dem Betriebspersonal sowie dem Projektleiter, der das Projekt aus dem Fallbeispiel betreut, getroffen wurden (vgl. Kapitel 6.5.2). Wichtige TSD-relevante Dimensionen wie Partizipation, Generationengerechtigkeit oder Mobilitätsaspekte wurden aus pragmatischen Gründen ausgeschlossen. Darüber hinaus wurden thermische Komfortaspekte bewusst vernachlässigt, da das betrachtete Gebäude weder beheizt noch gekühlt wird. Die soziale Bewertung beruht demnach auf einem reduzierten, Experten basierten Kriterienkatalog (vgl. Anhang 18), dessen Validität ohne ergänzende

Datenerhebungen (z. B. Nutzerbefragungen) und formalisierte Beteiligungsverfahren eingeschränkt bleibt.

7.3.5 Abhängigkeit der Software

Es wurde zunehmend festgestellt, dass die Nutzung mehrerer Tools, insbesondere neuer und innovativer Softwarelösungen, die noch nicht lange auf dem Markt sind, mit Vorsicht zu genießen ist. So kam es während der Erstellung des Prototyps zu grundlegenden Updates der zentralen Schnittstellensoftware Speckle, wodurch ältere Versionen fehleranfällig wurden und die neue Version zum Zeitpunkt der Arbeit noch nicht vollständig funktional war. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit weiterhin die stabilere ältere Version verwendet, wodurch die Gebäude im Modell graulich dargestellt werden und keine Farbuweisung enthalten. Die neuere Softwareversion wäre grundsätzlich einsatzbereit, wurde jedoch aufgrund des aktuellen Entwicklungsstands nicht berücksichtigt. Der Prototyp wurde daher nicht auf die neueste Version angepasst. Die bisher verwendete Version läuft dennoch stabil und kann weiterhin genutzt werden. Ein zukünftiges Update auf die aktuelle Version wird empfohlen und könnte in einem nächsten Schritt umgesetzt werden.

8 Fazit und Ausblick

8.1 Fazit zum TSD-Tool

Ziel dieser Masterarbeit war es, ein datenvisualisierendes Tool zu entwickeln, das die Entscheidungsfindung in frühen Projektphasen im Sinne der TSD-Methodik unterstützt. Ausgangspunkt war die Feststellung, dass ökologische und soziale Aspekte in der Planungspraxis trotz normativer Vorgaben nur unzureichend in Entscheidungsprozesse einbezogen werden. Die entwickelte Lösung wurde anhand der Variantenwahl (vgl. 5.3.2) zur Erweiterung der ARA Birsig erprobt und ermöglichte es, ökologische, ökonomische und soziale Kriterien strukturiert zusammenzuführen, vergleichbar zu machen und im Rahmen eines Variantenvergleichs zu visualisieren.

Die Analyse bestehender Tools zeigte, dass bisherige Lösungen vor allem ökologische und ökonomische Aspekte abdecken, jedoch weder soziale Kriterien noch Urban Mining integrativ einbeziehen. Das entwickelte Tool schliesst diese Lücke durch einen prototypischen Ansatz. Die Anforderungen an das Tool wurden aus Theorie und Praxis abgeleitet und umfassen unter anderem Visualisierbarkeit, Vergleichbarkeit, Iterationsfähigkeit sowie Interoperabilität. Für die Anwendung in frühen Phasen wurde ein mittlerer Detaillierungsgrad gewählt, der eine Kombination aus modellbasierten und manuellen Eingaben ermöglicht und trotz eingeschränkter Datenlage nachvollziehbare Bewertungen erlaubt.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das entwickelte TSD-Tool einen ersten prototypischen Beitrag zur digitalen Entscheidungsunterstützung in frühen Projektphasen leistet, jedoch noch kein vollständig ausgereiftes, marktreifes System darstellt. Insbesondere hinsichtlich der vollumfänglichen Abbildung der TSD-Methodik bestehen noch Defizite, da der Prototyp gewisse Vereinfachungen und Begrenzungen aufweist. Nichtsdestotrotz liefert der Ansatz im Vergleich zu bestehenden Tools innovative Impulse, vor allem durch die Integration sozialer Nachhaltigkeitsaspekte mittels einer Nutzwertanalyse (Solis, 2023). Die Ergebnisse demonstrieren den methodischen Fortschritt, den die Berücksichtigung der sozialen Dimension in der Bauplanung darstellt, ein Aspekt, der in konventionellen Ökobilanzierungswerkzeugen bislang kaum systematisch verankert ist.

8.2 Ausblick für zukünftige Arbeiten

Die vorliegende Arbeit legt eine Grundlage für ein datenvisualisierendes Bewertungssystem, das Nachhaltigkeitsaspekte integrativ bereits in frühen Planungsphasen berücksichtigt. Der Prototyp hat gezeigt, dass selbst in datenarmen Phasen eine erste Nachhaltigkeitsbewertung auf Basis der TSD-Methodik möglich ist, sofern Methodik, Datenstruktur und Visualisierung aufeinander abgestimmt sind. Viele Berechnungsansätze wurden bewusst vereinfacht, daher ist eine Vertiefung dieser Ansätze und eine Erweiterung der Datenbasis anzustreben, etwa durch zusätzliche Ökobilanz- und Rückbau-Daten sowie standardisierte Bewertungsgrundlagen für soziale Kriterien. Für eine valide Weiterentwicklung sind standardisierte Nutzwertanalysen und die Einbindung relevanter Akteure essenziell. Deren Rückmeldungen sollten systematisch in die Gewichtung und Auswahl der Kriterien einfließen.

Ein Piloteinsatz in einem ähnlichen Bauprojekt sollte die praktische Anwendbarkeit des Tools überprüfen, insbesondere, ob die im IFC-Modell verfügbaren Informationen ausreichen oder zusätzliche Eingaben erforderlich sind und ob der Einsatz in interdisziplinären Teams mit allen TSD-Akteuren (Bauherrschaft, Planung, Betrieb) (vgl. Anhang 17) die Tool-Nutzung verbessert. Langfristig sollte das TSD-Tool so weiterentwickelt werden, dass eine cloudbasierte Datenbank eingesetzt wird, die einen direkten und schnellen Zugriff auf aktuelle Informationen ermöglicht. Dadurch entfällt das manuelle Versenden oder Ablegen von Dateien in separaten Plattformen wie SharePoint. Das übergeordnete Ziel besteht darin, ein Instrument zu schaffen, das in Planungsprozesse eingebunden wird und einen konkreten Beitrag zu mehr Nachhaltigkeit in Bauprojekten leistet.

9 Verzeichnisse

9.1 Literaturverzeichnis

- Abualdenien, J., Borrmann, A., 2022. *Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review*. ITcon 27, 363–392. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.018>
- AGT, 2025a. Level of Development (LOD) in BIM einfach erklärt [WWW Document]. URL <https://agt-akademie.de/glossar/level-of-development-lod/> (accessed 5.19.25).
- AGT, 2025b. Level of Geometry (LOG) im BIM: Detaillierungsgrad erklärt [WWW Document]. URL <https://agt-akademie.de/glossar/level-of-geometry-log/> (accessed 5.19.25).
- AGT, 2025c. Level of Information (LOI) im BIM erklärt [WWW Document]. URL <https://agt-akademie.de/glossar/level-of-information-loi/> (accessed 5.19.25).
- Alhaddi, H., 2015. *Triple Bottom Line and Sustainability: A Literature Review*. Business and Management Studies 1, 6–10. <https://doi.org/10.11114/bms.v1i2.752>
- Anita Naneva, 2025. viride (greenDESIGN & greenBIM) [WWW Document]. URL <https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/hochschulen/architektur-bau-geomatik/institute/ineb/ineb-forschung/nachhaltiges-bauen-und-betreiben/greenbim> (accessed 4.11.25).
- Aras, G., Crowther, D., 2013. *Sustainable Practice: The Real Triple Bottom Line*, Emerald Group Publishing Limited, in: Crowther, D., Aras, G. (Eds.), . Emerald Group Publishing Limited, pp. 1–18. [https://doi.org/10.1108/S2043-0523\(2013\)0000005004](https://doi.org/10.1108/S2043-0523(2013)0000005004)
- ARE, F.O. for S.D., 2025. 1987: Brundtland Report [WWW Document]. URL <https://www.are.admin.ch/are/en/home/medien-und-publikationen/publikationen/nachhaltige-entwicklung/brundtland-report.html> (accessed 4.20.25).
- Autodesk, 2025. Revit für Architektur und Gebäudeplanung | Autodesk [WWW Document]. URL <https://www.autodesk.com/de/products/revit/architecture> (accessed 4.4.25).
- BAFU, B. für U.B. | O. fédéral de l'environnement O. | U. federale dell'ambiente, 2025. Netto-Null-Ziel 2050 [WWW Document]. URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/massnahmen-der-schweiz-zur-verminderung-ihrer-treibhausgasemissionen/ziele-der-schweiz-zur-verminderung-ihrer-treibhausgasemissionen/indikatives-ziel-2050.html> (accessed 4.11.25).
- BBSR, 2017. *Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)*.
- Berges-Alvarez, I., Martínez-Rocamora, A., Marrero, M., 2024. *A Systematic Review of BIM-Based Life Cycle Sustainability Assessment for Buildings*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Sustainability 16, 11070. <https://doi.org/10.3390/su162411070>
- BIM Template, 2023. Understanding Level of Development (LOD) in BIM [WWW Document]. BIM Template. URL <https://bimtemplate.com/blog/bim-lod> (accessed 4.30.25).
- BMZ, 2025. Klimaabkommen von Paris [WWW Document]. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. URL <https://www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602> (accessed 4.5.25).
- Boje, C., Hahn Menacho, Á.J., Marvuglia, A., Benetto, E., Kubicki, S., Schaubroeck, T., Navarrete Gutiérrez, T., 2023. *A framework using BIM and digital twins in facilitating LCSA for buildings*. Journal of Building Engineering 76, 107232. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107232>
- Borrmann, A., 2021. *Building Information Modeling*, Springer Verlag.
- Brooke, J., 1996. *SUS - A quick and dirty usability scale*.
- Brucha, 2025. BRUCHAPaneel FP-P [WWW Document]. Brucha. URL <https://www.brucha.com/produkte/paneele/bruchapaneel-fp-p> (accessed 4.8.25).
- Brundtland, G.H., 1987. *Our Common Future*.
- SIA 2051, 2017. *Building Information Modelling (BIM - Grundlagen zur Anwendung der BIM-Methode*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

- Bundesamt für Energie BFE, 2020. *BFE-LCC-Schlussbericht*.
- Bundesamt für Energie, CSD Ingenieure AG, 2020. *Lebenszykluskosten – eine effiziente und breite Anwendung*.
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2023. *Technisch/formale Informationen und Regeln zur ÖKOBAUDAT-Datenbank*.
- Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 2017. *Nutzungsdauern von Bauteilen*.
- Cambier, C., 2020. *Research and Development Directions for Design Support Tools for Circular Building*.
- cbc, 2025. *CBC-Leitfaden AMBITION & KPIs AKTIONSFELDER & MASSNAHMEN*.
- Chen, Z., Chen, L., Zhou, X., Huang, L., Sandanayake, M., Yap, P.-S., 2024. *Recent Technological Advancements in BIM and LCA Integration for Sustainable Construction: A Review*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Sustainability 16, 1340. <https://doi.org/10.3390/su16031340>
- Cheng, J., Gu, X., 2022. *Design and Application of Real-Time Analysis Model for Accounts Receivable Based on PowerBI*, in: 2022 Asia-Pacific Computer Technologies Conference (APCT). Presented at the 2022 Asia-Pacific Computer Technologies Conference (APCT), pp. 16–20. <https://doi.org/10.1109/APCT55107.2022.00011>
- CircularCulture, 2024. *Green Building Zertifizierungen: Ein Überblick über LEED, DGNB und Co*. CircularCulture. URL <https://www.circularculture.eu/green-building-zertifizierungen-ein-ueberblick-ueber-leed-dgnb-und-co/> (accessed 12.5.24).
- CRB, 2024. *Baukostenplan Hochbau eBKP-H [WWW Document]*. Home. URL <https://www.crb.ch/de/normen-standards/baukostenplane/baukostenplan-hochbau-ebkp-h> (accessed 5.19.25).
- CRB, 2020. *eBKP-H SN 506 511 Elementbasierter Baukostenplan Hochbau*.
- CRB, 2012. *LCC Handbuch Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken*.
- Dahm, J., 2021. *Die Entscheidungsmatrix*, Springer, in: Dahm, J. (Ed.), *Die Entscheidungsmatrix: Besser fühlen – klar denken – erfolgreich entscheiden*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 35–54. https://doi.org/10.1007/978-3-662-62375-6_3
- Denerolle, S., 2013. *The application of Target Value Design to the design phase of 3 hospital projects*.
- Dervishaj, A., Gudmundsson, K., 2024. *From LCA to circular design: A comparative study of digital tools for the built environment*. Resources, Conservation and Recycling 200, 107291. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107291>
- DGNB, 2024. *DGNB QUALITÄTSSTANDARD FÜR ZIRKULARITÄTSINDIZES FÜR BAUWERKE*.
- DGNB, 2021. *BENCHMARKS FÜR DIE TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER GEBÄUDEKONSTRUKTION*.
- Dietmair, K., Esser, S., Harder, B., 2024. *Incremental model updates in BIM: a critical analysis of the collaboration platform Speckle*.
- Donne, D., 2024. *7 Feedback-Methoden für bessere Kommunikation [WWW Document]*. URL <https://blog.hubspot.de/service/feedback-methoden> (accessed 10.1.24).
- Döring, R., Ott, K., 2001. *Nachhaltigkeitskonzepte*. Zeitschrift für Wirtschafts- und Unternehmensethik 2, 315–342.
- dos Santos Gonçalves, J., Claes, S., Ritzen, M., 2025. *Measuring Circularity of Buildings: A Systematic Literature Review*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Buildings 15, 548. <https://doi.org/10.3390/buildings15040548>
- Dou, S., Zhu, H., Wu, S., Shen, Y., 2024. *A review of information technology application in reducing carbon emission: From buildings to tunnels*. Journal of Cleaner Production 452, 142162. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142162>
- ecobau, 2025. *ecobau / Instrumente / Nachhaltiges Bauen [WWW Document]*. URL <https://www.ecobau.ch/de/instrumente/nachhaltiges-bauen> (accessed 4.11.25).
- Edwin Schicker, 2017. *Datenbanken und SQL*, Informatik & Praxis. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16129-3>

- Ellul, C., Loo, R., Floros, G., 2024. *Exploring the Potential of NoSQL Databases for a BIM and 3D GIS enabled Location Framework for Construction Digital Twins and the Golden Thread*, Copernicus GmbH. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences X-4-W5-2024, 137–145. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W5-2024-137-2024>
- Frischknecht, R., 2022. *Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz*.
- Fufa, S.M., Flyen, C., Flyen, A.-C., 2021. *How Can Existing Buildings with Historic Values Contribute to Achieving Emission Reduction Ambitions?*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Applied Sciences 11, 5978. <https://doi.org/10.3390/app111135978>
- GEFMA/IFMA, 2010. *Lebenszykluskostenrechnung im FM - Einführung und Grundlagen* [WWW Document]. URL <https://www.dinmedia.de/de/technische-regel/gefma-ifma-220-1/137982564> (accessed 3.14.25).
- Gilgen, E., Olender, M., Hischier, M., Gerber, M., 2023. *ZP-PO-FS24 Projektorganisation. 01 – Modulübersicht & Target Value Design*.
- Goh, C.S., Chong, H.-Y., Jack, L., Mohd Faris, A.F., 2020. *Revisiting triple bottom line within the context of sustainable construction: A systematic review*. Journal of Cleaner Production 252, 119884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119884>
- Google, 2025. *Was ist eine relationale Datenbank (RDBMS)?* [WWW Document]. Google Cloud. URL <https://cloud.google.com/learn/what-is-a-relational-database> (accessed 5.21.25).
- SIA 2032, 2020a. *Graue Energie – Ökobilanzierung für die Erstellung von Gebäuden*, SIA.
- Gyueun Lee, Gitaek Lee, Seokho Chi, 2022. *Automatic Classification of Construction Work Codes in Bill of Quantities of National Roadway Based on Text Analysis* [WWW Document]. <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-12730>
- Hauer, I., Butuza, A., Muntean, C., 2011. *Finite Products Administration with MS Access*. SIA 2032, 2020b. *Herleitung der Vorprojektdaten gemäss Anhang D*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- HOLINGER AG, 2018. *Technischer Bericht Vorprojekt*.
- IFMA, 2023. *IFMA Faktenblatt: Kosten im Lebenszyklus der Immobilie*.
- IONOS, 2025. *Kostenlose Microsoft-Access-Alternativen: Die besten Tools im Überblick* [WWW Document]. IONOS Digital Guide. URL <https://www.ionos.de/digitalguide/server/tools/microsoft-access-alternativen-im-ueberblick/> (accessed 4.10.25).
- Islam, M., Jin, S., 2019. *An Overview of Data Visualization*, in: 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). Presented at the 2019 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT), pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICISCT47635.2019.9012031>
- ISO 15686-5, 2017. *ISO 15686-5 Buildings and constructed assets — Service life planning —*.
- Jeurissen, R., 2000. *John Elkington, Cannibals With Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Journal of Business Ethics 23, 229–231. <https://doi.org/10.1023/A:1006129603978>
- Kadcha, Y., Legmouz, D., Hajji, R., 2022. *AN INTEGRATED BIM-POWER BI APPROACH FOR DATA EXTRACTION AND VISUALIZATION*, Copernicus GmbH. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLVIII-4-W4-2022, 67–73. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W4-2022-67-2022>
- Kapoor, K., Amydala, N.S., Ambooken, A., Scheinberg, A., 2023. *Measuring Circularity in Cities: A Review of the Scholarly and Grey Literature in Search of Evidence-Based, Measurable and Actionable Indicators*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Sustainability 15, 14302. <https://doi.org/10.3390/su151914302>
- KBOB, 2024. *Liste der Ökobilanzdaten im Baubereich (2009/1:2022, Version 6.2)* [WWW Document]. URL <https://www.kbob.admin.ch/de/oekobilanzdaten-im-baubereich> (accessed 4.19.25).

- Kfl, 2024. Whitepaper [WWW Document]. URL https://www.crb.ch/Stories/2025_Whitepaper_Modellbasierte_Ausschreibungen.html (accessed 3.8.25).
- Khadim, N., Agliata, R., Marino, A., Thaheem, M.J., Mollo, L., 2022. *Critical review of nano and micro-level building circularity indicators and frameworks*. Journal of Cleaner Production 357, 131859. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131859>
- Kleining, G., Witt, H., 2000. *The Qualitative Heuristic Approach: A Methodology for Discovery in Psychology and the Social Sciences. Rediscovering the Method of Introspection as an Example*. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research 1. <https://doi.org/10.17169/fqs-1.1.1123>
- SIA 390/1, 2025. *Klimapfad – Treibhausgasbilanz über den Lebenszyklus von Gebäuden*, SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- Körkemeyer, K., Kurzrock, B.-M., Krumke, S.O., Heim, K., Wasser, N.-M., Aldenhoff, D., Holzhauser, M., Besenbruch, I., 2019. *Entwicklung einer Methode zur Simulation von Gebäude-Lebenszykluskosten - LZK-SIM [BAU]*, Forschungsinitiative Zukunft Bau. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- SIA 2032, 2013. *Korrigenda C1 zu SIA 2032:2010 de*, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- Lamker, C., 2014. *Fallstudien*.
- Lanz, K., 2020. Was bedeutet eigentlich «Nachhaltigkeit»? [WWW Document]. Plattform Agenda 2030. URL <https://www.plattformagenda2030.ch/was-bedeutet-eigentlich-nachhaltigkeit/> (accessed 4.20.25).
- Larsen, V.G., Tollin, N., Sattrup, P.A., Birkved, M., Holmboe, T., 2022. *What are the challenges in assessing circular economy for the built environment? A literature review on integrating LCA, LCC and S-LCA in life cycle sustainability assessment, LCSA*. Journal of Building Engineering 50, 104203. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.104203>
- Leichter, M., Piccardo, C., 2024. *Assessing life cycle sustainability of building renovation and reconstruction: A comprehensive review of case studies and methods*. Building and Environment 262, 111817. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.111817>
- Leonovich, 2021. *3D-Modeling for Life Cycle of the Structure*. ResearchGate. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2021-20-1-5-9>
- Li, J., Lützkendorf, T., Balouktsi, M., Bi, X., Alaux, N., Potrč Obrecht, T., Passer, A., Han, C., Yang, W., 2023. *Identifying uncertainties in the whole life carbon assessment of buildings: Sources, types, and potential actions*. Building and Environment 244, 110779. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110779>
- Lu, W., Lou, J., Ababio, B.K., Zhong, R.Y., Bao, Z., Li, X., Xue, F., 2024. *Digital technologies for construction sustainability: Status quo, challenges, and future prospects*, Nature Publishing Group. npj Mater. Sustain. 2, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s44296-024-00010-2>
- Microsoft, 2025. Veröffentlichen im Web aus Power BI - Power BI [WWW Document]. URL <https://learn.microsoft.com/de-de/power-bi/collaborate-share/service-publish-to-web> (accessed 5.20.25).
- Naneva, A., 2019. *The Potential of Digitalization for Sustainability: A Building Process Perspective*, ETH Zurich 75 p. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-B-000374140>
- Neligan, A., 2023. *Urban Mining für eine zirkuläre Wirtschaft*.
- Nwodo, M.N., Anumba, C.J., Asadi, S., 2017. *BIM-Based Life Cycle Assessment and Costing of Buildings: Current Trends and Opportunities*, American Society of Civil Engineers 51–59. <https://doi.org/10.1061/9780784480847.007>
- OECD, 2021. *Overview of Relevant Methods, Tools and Metrics*. OECD, Paris. <https://doi.org/10.1787/593a1038-en>
- Olender, M., 2024. *Target Sustainability Design - Eine Methode zur Integration von Nachhaltigkeit in Projektprozesse*.
- Olender, M., Rosen, A., 2023. *Target Sustainability Design - Anwendung von Nachhaltigkeit auf die Target Value Design Methode*. Phase0 - Journal für integriertes Planen, Bauen und Betreiben. <https://doi.org/10.21428/71cd88bc.d2f0ccfc>

- One Click LCA, 2021. Average Quantities of Reinforcement in Concrete [WWW Document]. One Click LCA Help Centre. URL <https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360020943800-Average-Quantities-of-Reinforcement-in-Concrete> (accessed 4.12.25).
- Pelzeter, A., 2017. *Lebenszyklus-Management von Immobilien*.
- Pelzeter, A., 2007. *Building optimisation with life cycle costs – the influence of calculation methods*, Emerald Group Publishing Limited. Journal of Facilities Management 5, 115–128. <https://doi.org/10.1108/14725960710751861>
- Pfeiffer, F., 2019. Fallstudie [WWW Document]. Scribbr. URL <https://www.scribbr.ch/methodik-ch/fallstudie/> (accessed 5.22.24).
- Poinet, P., Stefanescu, D., Tsakiridis, G., Grimshaw Architects, De Boissieu, A., Grimshaw Architects, Papadonikolaki, E., Bartlett School of Construction and Project Management, 2020. *Supporting collaborative design and project management for AEC using Speckle's interactive data flow diagram*, Design Computation Ltd., in: DC I/O 2020. Presented at the Design Computation Input/Output 2020, Design Computation Ltd. <https://doi.org/10.47330/DCIO.2020.VYBA4375>
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, 2024. CO2-Preis für Kohle- und Abfallbrennstoffe | Bundesregierung [WWW Document]. Die Bundesregierung informiert | Startseite. URL <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/co2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622> (accessed 12.1.24).
- Purvis, B., Mao, Y., Robinson, D., 2019. *Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins*. Sustain Sci 14, 681–695. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>
- Rickert, A., 2021. *ICG-Praxisleitfaden Social Impact Investing*.
- Rosen, A., 2020. *Entwicklung einer Systematik zur quantitativen Bewertung der Kreislaufkonsistenz von Baukonstruktionen in der Neubauplanung*.
- Royano, V., Gibert, V., Serrat, C., Rapinski, J., 2023. *Analysis of classification systems for the built environment: Historical perspective, comprehensive review and discussion*. Journal of Building Engineering 67, 105911. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.105911>
- Russell-Rose, T., 2016. *Search Strategy Formulation: A Framework For Learning*. Information Interaction. URL <https://isquared.wordpress.com/2016/06/08/search-strategy-formulation-a-framework-for-learning/> (accessed 5.21.25).
- Sarah Mille, 2025. EN 15804+A2: Was die Änderungen für EPDs bedeuten | One Click LCA [WWW Document]. URL <https://oneclicklca.com/de/articles/en-15804-changes-epds> (accessed 4.8.25).
- Schlegel, 2024. Gartner-Nachdruck [WWW Document]. URL <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2HVUGEM6&ct=240620&st=sb> (accessed 4.6.25).
- Schulte, Bone-Winkel, 2016. Immobilienökonomie I [WWW Document]. URL https://www.beck-shop.de/schulte-bone-winkel-schaefers-hrsg-immobilienoekonomie-i/product/13687912?srsId=AfmBOor1JCu-HMVLjXtjigydfVdYhDEakki7ujDTQJh_Vg39CHH9Lf57 (accessed 3.15.25).
- SGNI, 2024. NIMMO - SGNI [WWW Document]. URL <https://www.sgni.ch/nimmo> (accessed 11.24.24).
- Söhlke, L., 2024. *Power BI vs Excel – Das richtige Tool für Ihr Unternehmen*. INKUBIT. URL <https://www.inkubit.com/2024/05/31/power-bi-vs-excel/> (accessed 5.20.25).
- solid IT, 2025. historischer Trend der Popularität relationaler DBMS [WWW Document]. URL https://db-engines.com/en/ranking_trend/relational+dbms (accessed 4.11.25).
- Solis, T., 2023. Nutzwertanalyse – Komplexe Entscheidungen rational treffen [WWW Document]. Scribbr. URL <https://www.scribbr.ch/methodik-ch/nutzwertanalyse/> (accessed 3.9.25).
- Somik Ghosh, Nirmalya Mukherjee, Tammy McCuen, 2024. *Use of Visual Dashboards in Construction Projects*.
- Soust-Verdaguer, B., Gutiérrez Moreno, J.A., Cagigas, D., Hoxha, E., Llatas, C., 2024. *Supporting sustainability assessment of building element materials using a BIM-plugin*

- for multi-criteria decision-making. *Journal of Building Engineering* 97, 110818. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110818>
- Speckle, 2025a. FAQs | Speckle Docs [WWW Document]. URL <https://speckle.guide/user/faqs.html> (accessed 5.20.25).
- Speckle, 2025b. Connect With Speckle [WWW Document]. URL <https://www.speckle.systems/product/connect> (accessed 4.6.25).
- Starke, S., Schuster, I., 2008. 3.2 Fallstudien als Bestandteile von Trainings - Das Beispiel Mount Everest.
- TPG, 2025. Microsoft Power BI – was ist das und wofür nutzen? - TPG The Project Group [WWW Document]. URL <https://www.theprojectgroup.com/de/office-365-microsoft-power-bi> (accessed 5.20.25).
- UBA, 2020. *Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten Kostensätze*.
- UBA, S., 2024. Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen [WWW Document]. Umweltbundesamt. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/gesellschaftliche-kosten-von-umweltbelastungen> (accessed 12.1.24).
- UFAM, B. für U.B. | O. fédéral de l'environnement O. | U. federale dell'ambiente, 2024. Erhebung der CO2-Abgabe auf Brennstoffe [WWW Document]. URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/schweizer-klimapolitik/co2-abgabe/erhebung-der-co2-abgabe-auf-brennstoffen.html> (accessed 12.1.24).
- UNEP, 2024. Noch nicht zweckmässig gebaut: Die weltweiten Emissionen im Bausektor sind weiterhin hoch und steigen weiter [WWW Document]. URL <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/not-yet-built-purpose-global-building-sector-emissions-still-high> (accessed 4.5.25).
- United Nations Environment Programme, 2024. *2023 Global Status Report for Buildings and Construction: Beyond foundations - Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095>
- United Nations General Assembly, 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development | Department of Economic and Social Affairs [WWW Document]. URL <https://sdgs.un.org/2030agenda> (accessed 9.22.24).
- VRIJE University, 2025. LibGuides: Research Skills - Advanced: Building block method [WWW Document]. URL <https://libguides.vu.nl/c.php?g=418072&p=5258023> (accessed 5.21.25).
- Wasmer, R., 2025. SNV-Story #3 - SNV [WWW Document]. URL <https://www.snv.ch/de/normenwelt-einfach-erklaert/story-3.html> (accessed 3.20.25).
- Wurster, S., Ladu, L., 2022. *Triple-C: A Tridimensional Sustainability-Oriented Indicator for Assessing Product Circularity in Public Procurement*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. *Sustainability* 14, 13936. <https://doi.org/10.3390/su142113936>
- Xue, K., Hossain, M.U., Liu, M., Ma, M., Zhang, Y., Hu, M., Chen, X., Cao, G., 2021. *BIM Integrated LCA for Promoting Circular Economy towards Sustainable Construction: An Analytical Review*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute. *Sustainability* 13, 1310. <https://doi.org/10.3390/su13031310>
- Yin, R.K., 2009. *Case Study Research: Design and Methods*. SAGE.
- Zainal, Z., 2007. *Case Study As a Research Method*.
- Zhang, J., Jiang, M., Liu, K., Peng, F., Tang, G., 2015. *The Design of the Security Supervision and Evaluation System of Construction Machines and Tools based on the Development of Microsoft Access*, Atlantis Press, in: Proceedings of the 2015 International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology. Presented at the 2015 International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology, Atlantis Press, Guangzhou, China. <https://doi.org/10.2991/icaemt-15.2015.64>

9.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schwache und starke Nachhaltigkeit in Anlehnung an	4
Abbildung 2: TVD-Formel in Anlehnung an (Olender & Rosen, 2023, p. 10)	5
Abbildung 3: Beispielhafte Organisationsstruktur im Bauprojekt nach TVD	6
Abbildung 4: Formel nachhaltiger Wert im TSD nach (Olender & Rosen, 2023, p. 14)	6
Abbildung 5: Faktoren in der TSD-Gleichung in Anlehnung an (Olender & Rosen, 2023, p. 15)	7
Abbildung 6: Beispielhafte Klassifikation des nachhaltigen Werts in der TSD-Methodik	7
Abbildung 7: NIMMO Systemarchitektur in Anlehnung an (SGNI, 2024)	9
Abbildung 8: NIMMO Kriterien in Anlehnung an (SGNI, 2024)	9
Abbildung 9: Berechnung des sozialen Nutzens mit NWA-Methode	10
Abbildung 10: Sozialer Nutzen über die Nutzungsdauer (Eigene Darstellung, 2025)	11
Abbildung 11: Umfang der Lebenszykluskosten in Anlehnung an (ISO 15686-5, 2017)	11
Abbildung 12: Übersicht quantitativer und qualitativer Methoden	12
Abbildung 13: Investitionsrechenverfahren in Anlehnung an (Schulte & Bone-Winkel, 2016)	13
Abbildung 14: Relevante Zirkularitätsbewertungsmethoden nach Ebenen	16
Abbildung 15: Systematik des Urban Mining Index zur Berechnung der Kreislaufpotenziale	17
Abbildung 16: Kreislaufpotenziale im Urban Mining Index (Rosen, 2020, p. 161)	18
Abbildung 17: Übersicht der Methoden für die Ökobilanzierung mit BIM (Chen et al., 2024)	22
Abbildung 18: Methoden von viride zur Bewertung von Nachhaltigkeitsaspekten	23
Abbildung 19: LOD-Stufen 100-500 in Anlehnung an	25
Abbildung 20: Datenfluss in der Power-BI-Architektur (TPG, 2025)	27
Abbildung 21: Life Cycle Sustainability Assessment	28
Abbildung 22: Ablauf Forschungsprozess	32
Abbildung 23: Ablauf theoretische Grundlagen	32
Abbildung 24: Zentrale Themen der Grundlagenstudie	33
Abbildung 25: Literaturrecherche nach Block-Building- und Successive-Fractions-Methode	34
Abbildung 26: Grundtypen von Fallstudien in Anlehnung an (Lamker, 2014, p. 14)	36
Abbildung 27: Ablauf Feedback-Gespräche	38
Abbildung 28: Ablauf Planung der maschinellen Vorklärung ARA Birsig	40
Abbildung 29: IFC-Modell der MVK aus der Fallstudie aus der Realisierungsphase	42
Abbildung 30: Nachmodellierte maschinelle Vorklärung mit Stahl-Sandwichfassade	42
Abbildung 31: Nachmodellierte maschinelle Vorklärung mit Stahlbetonfassade	42
Abbildung 32: TSD-Tool Komponenten (Eigene Darstellung, 2025)	47
Abbildung 33: Systemarchitektur (Eigene Darstellung, 2025)	49
Abbildung 34: Übersicht Berechnungsansätze im TSD-Tool	50
Abbildung 35: Aufbereitung Daten Zielumfang	52
Abbildung 36: Bestimmung der sozialen Wirkungsziele der Varianten	53
Abbildung 37: Aufbereitung sozialen Aspekte (Eigene Darstellung, 2025)	53
Abbildung 38: Ablauf Zuordnung der CO ₂ e pro Bauteil (Eigene Darstellung, 2025)	54
Abbildung 39: Anteilstabelle aus der Datenbank	57
Abbildung 40: Abfrage Umweltfolgekosten von Variante 2	58
Abbildung 41: Gesamtkostenübersicht Bauteile - LZK-Berechnung nach TSD-Methodik	60
Abbildung 42: Alphanummerische Information des IFC-Modells	61
Abbildung 43: Revit Exporteinstellungen	61
Abbildung 44: Ausgabe Mengenliste in Excel mit Speckle-Connector	62
Abbildung 45: Eingesetzte Bauteilliste in die Access-Datenbank	63
Abbildung 46: Übersichtsdashboard der Variante 1	65
Abbildung 47: Übersichtsdashboard der Variante 2	66
	80

Abbildung 48: Ökologische Auswertung der Variante 1	66
Abbildung 49: Ökologische Auswertung der Variante 2	67
Abbildung 50: Kostenübersicht der Variante 1	67
Abbildung 51: Kostenübersicht der Variante 2	68
Abbildung 52: Relationales Datenbankmodell in MS Access (Eigene Darstellung, 2025)	87
Abbildung 53: Rangliste der am häufigsten genutzten RDBMS nach solid IT (solid IT, 2025)	88
Abbildung 54: Übersicht Klassifizierung nach eBKP-H (CRB, 2020, p. 59)	99
Abbildung 55: Datenblatt Sandwich-Element der Marke Brucha (Brucha, 2025)	110
Abbildung 56: Rechenbeispiel Sandwichelement (Eigene Darstellung, 2025)	111

9.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Drei Dimensionen der Nachhaltigkeit nach (Purvis et al., 2019)	3
Tabelle 2: Übersicht der Aspekte der TSD-Methodik nach (Olender & Rosen, 2023)	8
Tabelle 3: Beispielrechnung der Barwertmethode nach der Formel (1:	14
Tabelle 4: Lebenszyklusphasen nach UMI	17
Tabelle 5: Klimakosten in Anlehnung an (Umweltbundesamt, 2024)	20
Tabelle 6: Berechnung der Klimakosten	20
Tabelle 7: Übersicht Regelwerke zur Ökobilanzierung in Anlehnung an (cbc, 2025)	21
Tabelle 8: Übersicht der Ökobilanzierungsmethoden	22
Tabelle 9: Übersicht relevanter Tools im Hinblick auf TSD-Anforderungen aus (Anhang 6)	30
Tabelle 10: Hauptkategorien der Bewertungsmatrix	34
Tabelle 11: Beispiel Funktionsweise Übersichtstabelle der Tools	34
Tabelle 12: Zusammenfassung der Feedback-Gespräche und Umsetzungsempfehlungen	38
Tabelle 13: Auswahlkriterien für das Fallbeispiel	39
Tabelle 14: Sachziele aus Projekt Erweiterung ARA Birsig	41
Tabelle 15: Formalziele aus Projekt Erweiterung ARA Birsig	41
Tabelle 16: Zusammenfassung der Bauteilpreise aus dem Fallbeispiel	43
Tabelle 17: Indirekte Kosten aus dem Fallbeispiel	43
Tabelle 18: Restwerte/Entsorgungswerte von Bauteilen	44
Tabelle 19: Anforderungstabelle für das TSD-Tool	46
Tabelle 20: Rollen im TSD-Tool	48
Tabelle 21: Gewichtung der Sachziele	51
Tabelle 22: Gewichtung der Formalziele	51
Tabelle 23: Gewichtung der sozialen Aspekte	53
Tabelle 24: Bewehrungsanteil in Stahlbetonbauteilen gemäss (One Click LCA, 2021)	56
Tabelle 25: Ausgabe Bemessungseinheit nach Bauteil	62
Tabelle 26: Ergebnisse der beiden Varianten aus dem Fallbeispiel	64

9.4 Hilfsmittelverzeichnis

Assistenzsystem	Teile / Stelle(n) in der Arbeit	Art des Einsatzes
ChatGPT ¹⁰ ChatGPT-4o ChatGPT-4o-mini-high	Abstract, Einleitung, Theoretische Grundlagen, Stand der Forschung, Methodik, Fallstudie, und Diskussion, Fazit und Ausblick	Generierte Textentwürfe basierend auf vom Verfasser manuell erstellten Notizen und Kerninhalten. Alle generierten Inhalte wurden inhaltlich, stilistisch und fachlich überprüft, umformuliert und in den Kontext der Arbeit integriert. Formulierungsbeispiele für komplexe Sachverhalte wurden eingeholt und vollständig adaptiert.
ChatGPT ChatGPT-4o ChatGPT-4o-mini-high	Gesamte Arbeit	Überprüfung von Rechtschreibung und Grammatik. Der gesamte Text wurde in ChatGPT eingefügt und auf Korrekturen überprüft. Die korrigierte Version wurde anschliessend in die Arbeit übernommen und stellenweise vom Verfasser eigenständig angepasst.
ChatGPT ChatGPT-4o-mini-high	Lösungskonzept	Für die Erstellung der SQL-Abfragen in MS Access wurde Chatgpt verwendet, um die Codes zu prüfen und zu ergänzen und erweitern.
DeepL write ¹¹	Gesamte Arbeit	Die Gesamte Arbeit wurde auf Rechtschreibung und Grammatik überprüft. Der korrigierte Text wurde in die Arbeit wieder eingefügt und vereinzelt durch den Verfasser angepasst.
DeepL Translate	Quellen, Papers in Englischer Sprache. Abstract	Übersetzung von ganzen Inhaltsteilen
Microsoft (MS)-Word	Gesamte Arbeit	Dokumentation der Thesis
Zotero ¹²	Gesamte Arbeit	zum Organisieren und Zitieren von Literatur
Miro ¹³	Abbildungen	-Für die Erstellung von Abbildungen genutzt
Goolge Scholar ¹⁴	Recherche	Suchmaschine für wissenschaftliche Literatur und Quellen
IEEE Xplore ¹⁵	Recherche	Suchmaschine für wissenschaftliche Literatur und Quellen
Scopus ¹⁶	Recherche	Suchmaschine für wissenschaftliche Literatur und Quellen
MDPI	Recherche	Suchmaschine für wissenschaftliche Literatur und Quellen
SNV-Connect	Alle aktuellen Normen	Zugriff und Download aller verwendeten

¹⁰ <https://chatopenai.de/>

¹¹ <https://www.deepl.com/translator>

¹² <https://www.zotero.org/>

¹³ <https://miro.com/de/>

¹⁴ <https://scholar.google.com/>

¹⁵ <https://ieeexplore.ieee.org/>

¹⁶ <https://www.scopus.com/home.uri>

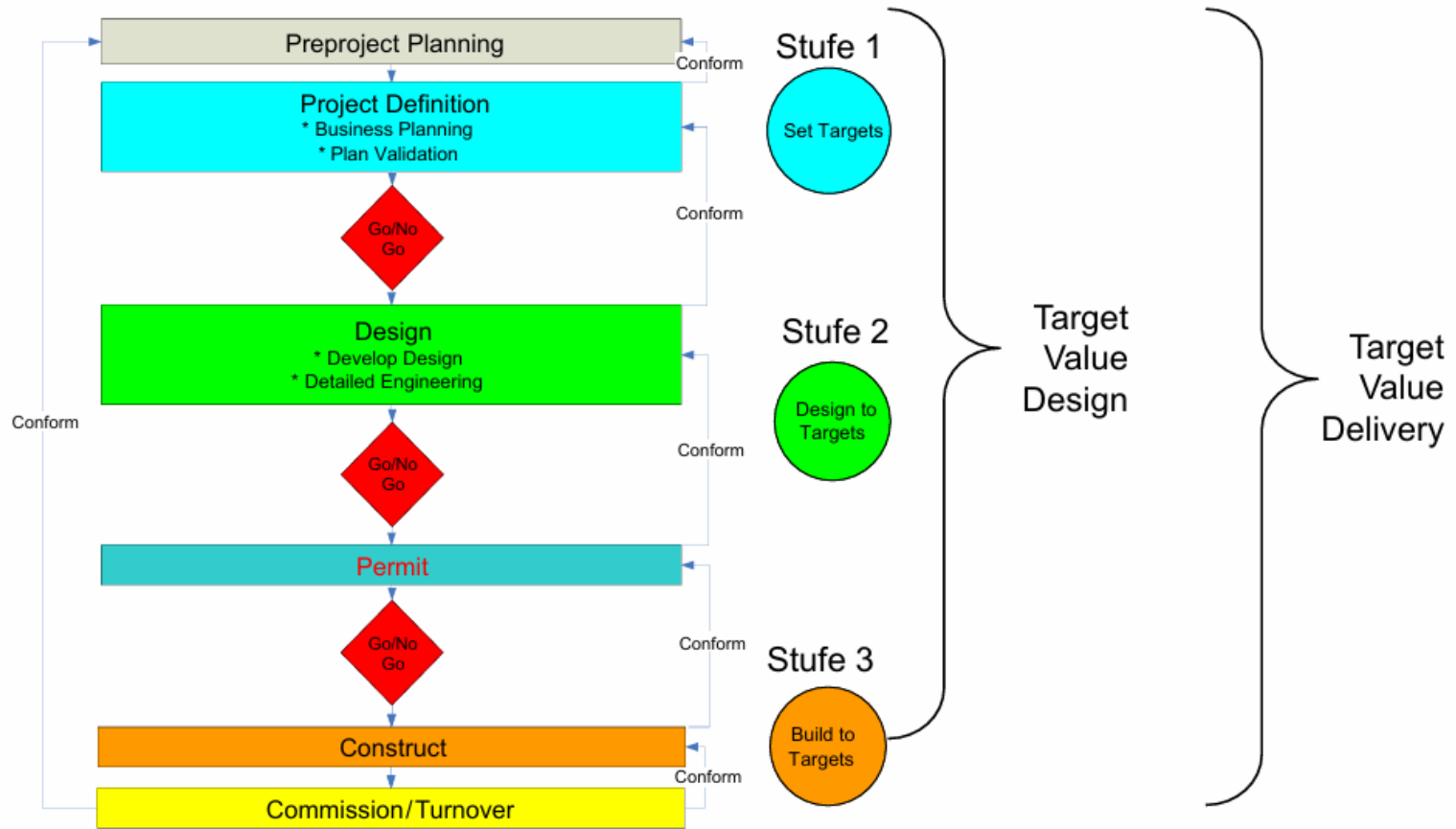
		Normen
Revit	Lösungskonzept	Modellierung vom Grundmodell, mit anschliessendem Export der notwendigen Dateien für die Weiterverarbeitung im Prototyp
Speckle	Lösungskonzept	Teil des Prototyps
MS-Access	Lösungskonzept	Teil des Prototyps
MS-Excel	Lösungskonzept	Teil des Prototyps
MS-Power BI	Lösungskonzept	Teil des Prototyps

10 Anhänge

Anhang 1	Target Value Design Prozess.....	85
Anhang 2	Ablaufdiagramm der TVD-Methodik	86
Anhang 3	Ablaufdiagramm der TSD-Methodik	86
Anhang 4	Beschreibung relationaler Datenbanken und Microsoft Access	87
Anhang 5	Literaturrecherche	90
Anhang 6	Übersichtstabelle der relevanten Tools	94
Anhang 7	Dokumentation Feedback-Gespräche.....	95
Anhang 8	Screenshots aus Keevalue	96
Anhang 9	Übersicht 1./2. Ebene der eBKP-H Struktur	99
Anhang 10	Variante 1 IFC-Modell aus dem Projekt.....	100
Anhang 11	Bauteilgruppe Variante 1.....	101
Anhang 12	Bauteilgruppe Variante 2.....	101
Anhang 13	Plangrundlagen der Variante Stahlbetonfassaden	102
Anhang 14	Erhebung Restwerte Recyclinghof	103
Anhang 15	Ausschnitt Leistungsverzeichnis aus Fallbeispiel	106
Anhang 16	Aufbereitung der KBOB-Liste für die Access Datenbank.....	107
Anhang 17	Prozessablauf TSD-Tool.....	108
Anhang 18	Bewertungsmatrix der sozialen Kriterien für den Variantenvergleich.....	109
Anhang 19	Beispielhafte CO ₂ e Ermittlung der Sandwichelement	110
Anhang 21	Berechnungslogik in Access	112
Anhang 22	Ökobilanzdaten Fenster nach KBOB.....	113
Anhang 23	Berechnung CO ₂ für Doppelfenster	114
Anhang 24	Zielumfang SQL-Abfrage	115
Anhang 25	Sozialer Nutzen SQL-Abfrage.....	115
Anhang 26	SQL-Abfrage Umweltfolgekosten	116
Anhang 27	Access Tabelle «tbl_bauteiltyp».....	117
Anhang 28	Ermittlung der Herstellkosten	118
Anhang 29	SQL-Abfrage Nutzungskosten.....	119
Anhang 30	SQL-Abfrage Entsorgungskosten/Restwerte.....	119
Anhang 31	SQL-Abfrage Gesamtkostenübersicht Bauteile	120
Anhang 32	SQL-Abfrage zur Ermittlung der Fläche	120
Anhang 33	Referenzierung der Daten in Power BI.....	120

Anhang 1 Target Value Design Prozess

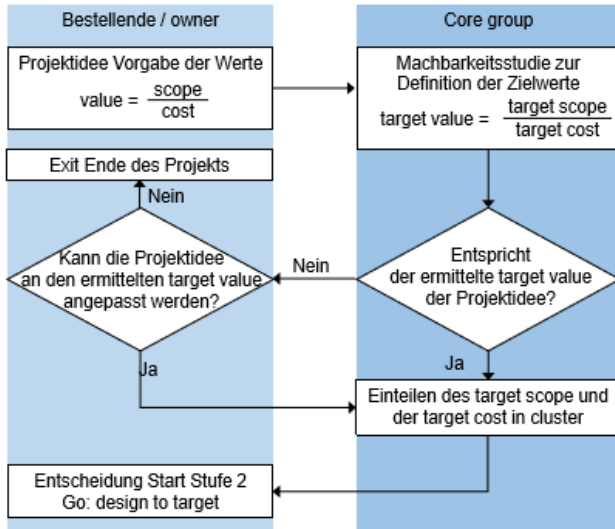
TVD Prozess



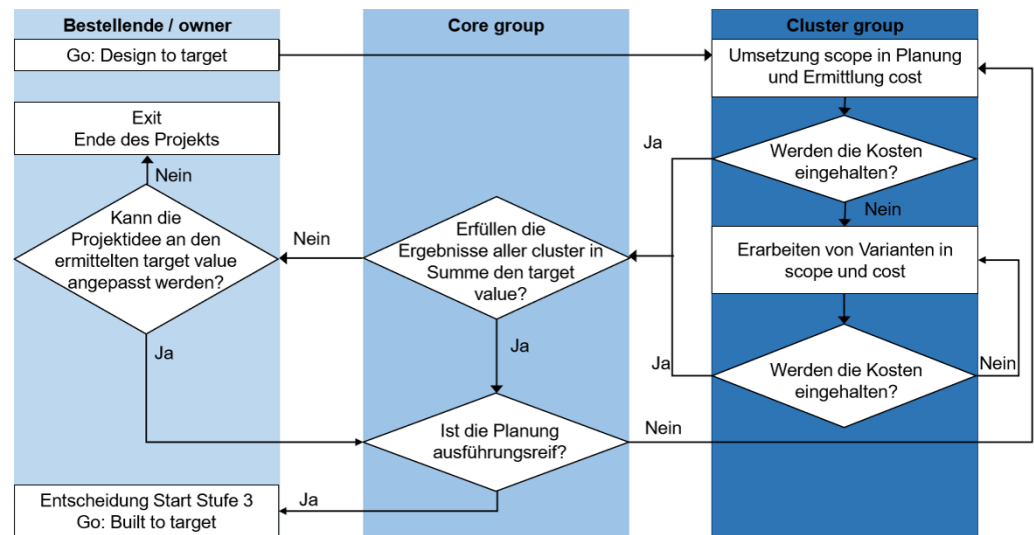
Quelle: Ballard, Morris (2010) / Do, Ballard, Tillmann (2015)

Anhang 2 Ablaufdiagramm der TVD-Methodik

TVD Stufe 1: Set Targets

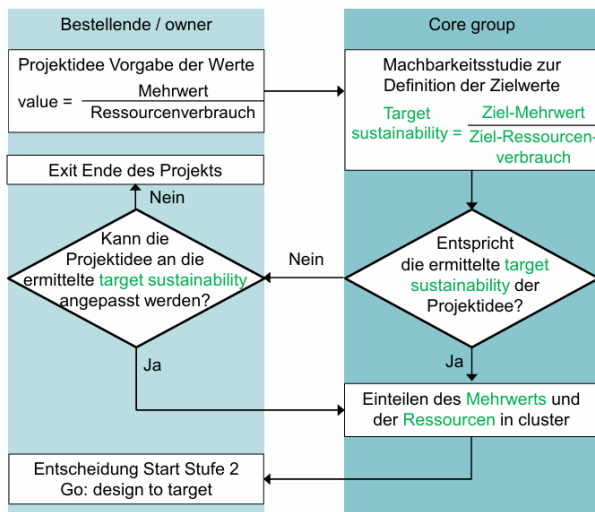


TVD Stufe 2: Design to Target

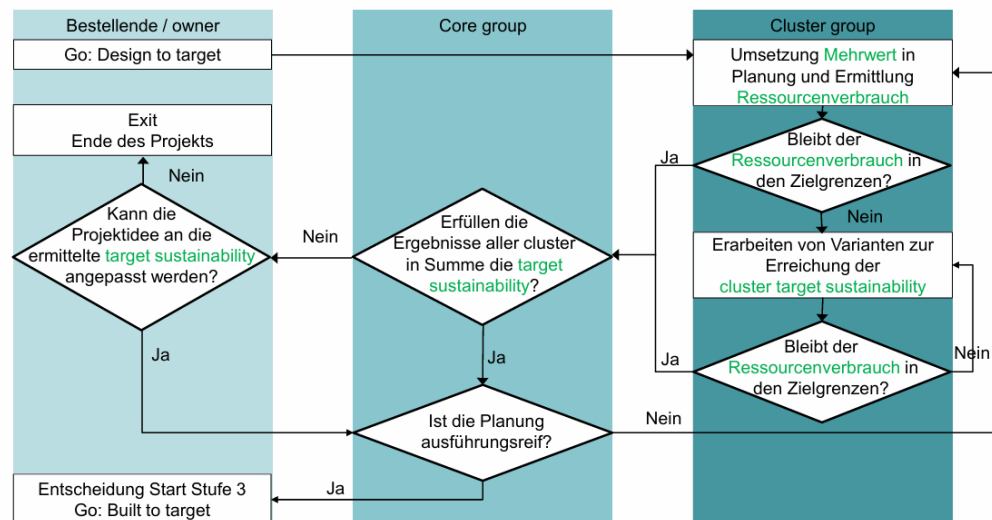


Anhang 3 Ablaufdiagramm der TSD-Methodik

TSD Stufe 1: Set Targets



TSD Stufe 2: Design to Target



Anhang 4 Beschreibung relationaler Datenbanken und Microsoft Access

Datenbank und Datenbankmanagementsystem

Mit dem Begriff «Datenbank» wird eine organisierte Sammlung von Daten in digitaler Form verstanden, die auf einem Computer, Server oder in einer Cloud gespeichert ist. Ein Datenbankmanagementsystem (DBMS) übernimmt dabei die wesentliche Softwarefunktion zur Steuerung des Zugriffs auf die hinterlegten Daten. Ein DBMS zeichnet sich insbesondere durch die effiziente Speicherung grosser Datenmengen im primären und sekundären Speicher sowie durch die Möglichkeit aus, den Datenzugriff durch differenzierte Rechtevergabe zu steuern (Edwin Schicker, 2017, pp. 1-4).

Eine detaillierte Beschreibung einer relationalen Datenbank (RDB), sowie deren Tabellenaufbau, Schlüsseldefinitionen und Abfragesprache SQL, wird in Anhang A bereitgestellt. Ebenso werden dort die spezifische Implementierung in Microsoft Access, die Modellierung von Datenbeziehungen sowie eine Analyse der Anwendbarkeit dieses RDBMS im Kontext des TSD-Tools ausführlich erläutert.

Relationale Datenbanken

Eine relationale Datenbank (RDB) bietet die Möglichkeit Informationen strukturiert in Tabellen, Zeilen und Spalten zu speichern. Durch das Zusammenführen von Tabellen werden in einer RDB Verknüpfungen zwischen Informationen hergestellt, wodurch die Beziehungen unterschiedlicher Datenpunkte sichtbar werden und entsprechend Erkenntnisse abgeleitet werden können. Die Verknüpfung der Tabellen erfolgt über Primär- und Fremdschlüssel, wodurch Beziehungen zwischen verschiedenen, Datensätzen abgebildet werden können (Google, 2025).

Der Zugriff und die Manipulation der Daten erfolgen über die strukturierte Abfragesprache SQL, was eine flexible und vielseitige Datenaufbereitung erlaubt (Ellul et al., 2024, p. 138). Eine beispielhafte Struktur eines relationalen Datenbankmodells, welche die Zuordnung von Bauteilen, Typologien, Materialien und Lebenszyklusparametern veranschaulicht, ist in Abbildung 52 dargestellt.

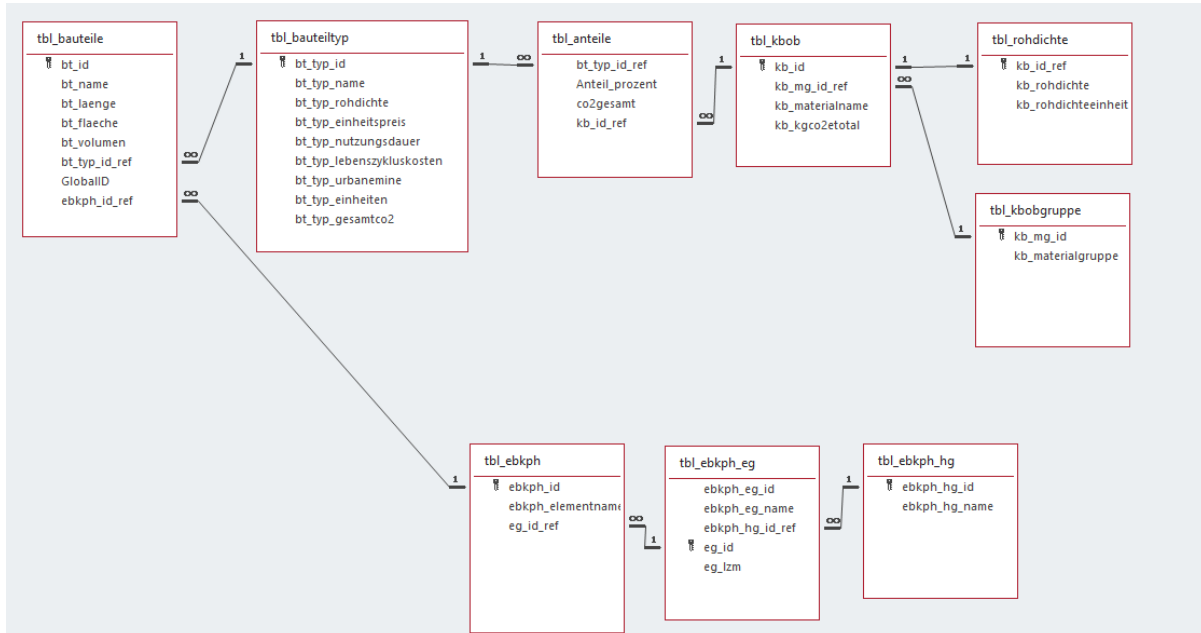


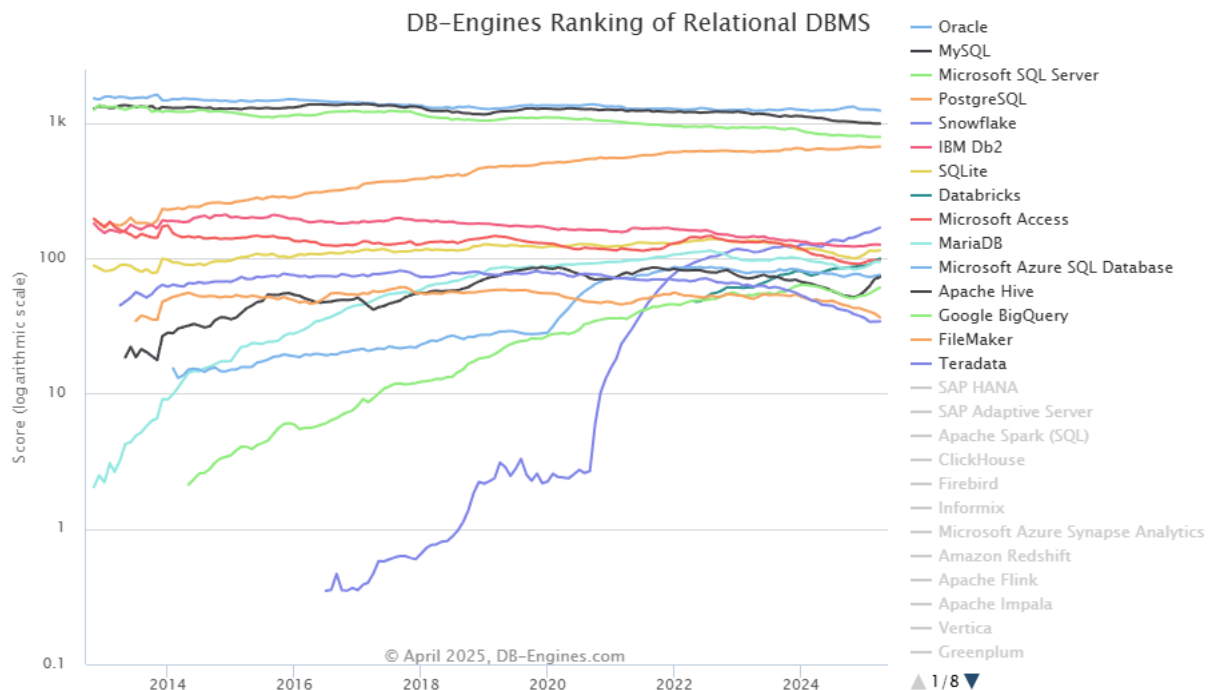
Abbildung 52: Relationales Datenbankmodell in MS Access (Eigene Darstellung, 2025)

Microsoft Access als Datenbank

Die Verarbeitung grosser und komplexer Datenmengen erfordert in der Baubranche praktikable und anwenderfreundliche Systeme. Damit das TSD-Tool den nachhaltigen Wert eines Bauwerks bewerten kann, müssen die zugrunde liegenden Daten strukturiert vorliegen. Daher erscheint es sinnvoll, diese Daten in einem relationalen Datenbankmanagementsystem (RDBMS) zu verwalten.

Nach dem Ranking von «solid IT» gehört Microsoft Access zu den zehn am häufigsten genutzten relationalen Datenbanksystemen (RDBMS) (vgl. Abbildung 53). Dabei wurden die RDBMS auf ihre Popularität anhand der folgenden Kriterien festgelegt (solid IT, 2025):

- Anzahl der Erwähnungen des Systems auf Websites
- Allgemeine Interessen im System
- Häufigkeit der technischen Diskussionen über das System
- Anzahl der Stellenangebote, in denen das System erwähnt wird
- Anzahl der Profile in beruflichen Netzwerken, in denen das System erwähnt wird
- Relevanz in sozialen Netzwerken



Die Wahl von Microsoft Access als Datenbanklösung begründet sich durch die Erfüllung spezifischer Anforderungen an Flexibilität, Benutzerfreundlichkeit und die strukturierte Verwaltung mittelgrosser Datenmengen in frühen Projektphasen. Die grafische Benutzeroberfläche von Access ermöglicht eine rasche Erstellung und Anpassung relationaler Datenbankmodelle, ohne dass umfangreiche Programmierkenntnisse erforderlich sind (Zhang et al., 2015, p. 321). Dadurch wird die Umsetzung prototypischer Datenbank Anwendungen im Rahmen der frühen TSD-Entwicklung unterstützt.

Die in Access integrierten Softwaretools, welche das Hinzufügen, Ändern oder Löschen von Daten, die Ausführung von Datenabfragen sowie die Erstellung von Berichten umfassen, tragen zur flexiblen Organisation und Verarbeitung der in der Datenbank vorliegenden Informationen bei (Hauer et al., 2011, p. 145). Somit wird gewährleistet, dass sowohl die Entwicklung als auch der spätere Einsatz der datenbasierten Anwendung im Projektkontext praktikabel und nutzerorientiert erfolgt.

Zudem ist Microsoft Access speziell für kleinere bis mittlere Datenmengen konzipiert worden (Zhang et al., 2015, p. 321). Im Unterschied zu klassischen Server-Datenbanksystemen wird bei Access die gesamte Datenbank in einer einzigen Datei gespeichert, wodurch eine einfache Handhabung und Portabilität gewährleistet wird (IONOS, 2025). Die dadurch erzielte effiziente Erfassung, Verwaltung und Auswertung projektbezogener Informationen qualifiziert Access als kosteneffiziente, weit verbreitete und praxiserprobte Plattform für die prototypische Umsetzung des Tools.

Auf Grundlage der strukturierten Datenhaltung stellt sich nun die Frage, welche Inhalte innerhalb der Datenbank erfasst werden sollen, um die Nachhaltigkeitsbewertung im Rahmen des TSD-Tools zu ermöglichen. Von zentraler Bedeutung sind dabei die projektbezogenen Kostendaten, deren Struktur im nächsten Kapitel näher betrachtet wird.

Anhang 5 Literaturrecherche

Fragestellung des Themas:

Gibt es Tools, die die drei Säulen der Nachhaltigkeit (ökologisch, sozial, ökonomisch) in der frühen Planungsphase eines Bauprojekts durch den Einsatz von BIM und Integration von LCA, LCC und Circular Economy abdecken?

Begriffstabelle

Stichwörter (eigene, Author Keywords)	Block 1: Life Cycle & Sustainability	Block 2: Construction / BIM	Block 3: Early Phase	Block 4: Tools & Assessment Approaches	Block 5: Circularity / Urban Mining	Block 6: Social / Economic / TBL
Synonyme	"Life Cycle Assessment", "LCA", "LCSA", "Sustainability"	"Building Information Modeling", "BIM", "AEC"	"early design", "early phase", "early stage"	"Tool", "Application", "Method", "Model", "Framework"	"Circularity", "Circular Economy", "Urban Mining"	"Life Cycle Cost", "LCC", "S-LCA", "Triple Bottom Line"
Schlagwörter (Subject Headings, ggf. Ober-/Unterbegriffe, verwandte Begriffe)	environmental assessment, life cycle analysis, ecological	construction industry, building sector, built environment	conceptual design phase, pre-design phase	assessment software, decision support, visualization tools	reuse, resource recovery, material passports	social indicators, economic analysis, sustainability integration
Stichwörter (eigene, Author Keywords)	environmental impact, sustainability indicators, carbon footprint	construction planning, building projects, digital twin	design stage, pre-construction, planning	evaluation method, assessment criteria, digital tool	material cycle, closed-loop design	cost evaluation, social sustainability, integrated assessment

Auswahlkriterien	
Publikationstypen	Wissenschaftliche Artikel, Konferenzbeiträge
Zeitraum	2020-2025
Sprachen	Englisch
Zugänglichkeit	Es muss über die FHNW zugänglich sein

Suchstring Google Scholar¹⁷

"Triple Bottom Line" AND BIM AND "early design" AND ("Life Cycle Assessment" OR LCA) AND ("Life Cycle Cost" OR LCC) AND ("Circularity" OR "Circular Economy") AND ("Social Life Cycle Assessment" OR S-LCA)

Resultate: 39

Suchstring MDPI¹⁸

"Building Information Modeling" OR BIM AND "Life Cycle Sustainability Assessment" OR LCSA AND "Life Cycle Cost" OR LCC AND "Life Cycle Assessment" OR LCA AND "Social Life Cycle Assessment" OR S-LCA AND triple bottom line

Resultate: 32

Suchstring Scopus¹⁹

(("early design" OR "early phase" OR "early stage" OR "conceptual design") AND ("Social Life Cycle Assessment" OR s-lca OR "Triple Bottom Line") AND ("Building Information Modeling" OR bim)) AND (("Life Cycle Sustainability Assessment" OR lcsa)) AND (("Life Cycle Assessment" OR lca)) AND (("Life Cycle Cost" OR lcc)) AND (("Social Life Cycle Assessment" OR s-lca OR "Triple Bottom Line")) AND PUBYEAR > 2021 AND PUBYEAR < 2025 AND PUBYEAR > 2021 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (OA , "all"))

Resultate: 29

¹⁷ <https://scholar.google.com>

¹⁸ <https://www.mdpi.com>

¹⁹ <https://www.elsevier.com/de-de/products/scopus>

Fragestellung des Themas:

Welche relevanten digitalen Ökobilanzierungstools stehen derzeit für den Einsatz in der Baubranche zur Verfügung?

Begriffstabelle

Criteria	Block 1: Life Cycle Assessment (LCA)	Block 2: Construction Sector	Block 3: Early Design Phase	Block 4 tools	Block 5 Circularity	Block 6 state of the art
Keywords (own, Author Keywords)	Life Cycle Assessment, LCA, Environmental Assessment, Sustainability, Lifecycle	Construction, Building Industry, Architecture, AEC	Early design phase, Conceptual design, Pre-design	application, overview	circularity	current state, application, overview
Synonyms	Environmental Analysis, Lifecycle Analysis,	Construction Sector, Building Planning, Infrastructure	Initial phase, Concept study	tool	reuse	review
Subject Headings (related terms)	Carbon Footprint, LCA, Life Cycle Assessment	Aec, construction, building	Conceptual Phase, Design Phase, early phase,	tool, software, application	Circularity, reuse, Urban mining	Review, current state, state of the art

Literatur Bewertungskriterien	
Relevanz der Titel	Artikel, deren Titel eindeutig Bezug zur Thematik haben, werden berücksichtigt.
Inhaltliche Relevanz	Auf Basis der Abstracts und Einleitungen wird geprüft, ob die Inhalte in den Kontext der Forschungsfrage passen.

Auswahlkriterien	
Publikationstypen	Wissenschaftliche Artikel, Konferenzbeiträge
Zeitraum	2018-2025
Sprachen	Deutsch, Englisch
Zugänglichkeit	Es muss über die FHNW zugänglich sein

Suchstring Google Scholar

Suchmaschine	Google Scholar
Methode	Block building und Most specific first Methode
Suchstring:	"madaster" and "Circulytics" AND ("review" OR "overview") AND "building" AND "LCA" AND "design"
Resultat:	13
Relevante wissenschaftliche Arbeiten	(Khadim et al., 2022), (Cambier, 2020), (OECD, 2021), (Wurster & Ladu, 2022), (Kapoor et al., 2023)

Suchstring Scopus

Datenbank:	Scopus (https://www.scopus.com)
Suchstring:	(TITLE-ABS-KEY("review" OR "current state" OR "state of the art" OR "Übersicht" OR "Ansätze") AND TITLE-ABS-KEY("Bau*" OR "building" OR "construction" OR "aec") AND TITLE-ABS-KEY("LCA" OR "Ökobilanzierung" OR "Life Cycle Assessment" OR "Carbon footprint") AND ALL("Conceptual Phase" OR "Design Phase" OR "early phase") AND ALL("cirtularity" OR "reuse" OR "urban mining" OR "zirkularität" OR "Kreislaufwirtschaft") AND ALL("tool" OR "application" OR "applikation" OR "Software" OR "Anwendung")) AND PUBYEAR > 2014 AND PUBYEAR < 2025
Resultat:	24
Relevante wissenschaftliche Arbeiten	(Dervishaj & Gudmundsson, 2024), (Dou et al., 2024), (Fufa et al., 2021), (Xue et al., 2021)

Anhang 6 Übersichtstabelle der relevanten Tools

Quelle		Literaturrecherche = LI Feedbackgespräche = FG													
Faktoren	Beschreibung	Prüfkriterium	LI, FG	LI	LI	LI	Fa	Fa	Fa	Fa	Fa	FG	FG	FG	
			Ökobilanzierungstool-Tool One Click LCA	SimaPro	Tally	Athena EcoCalculator	Viride	EcoTool	Lesosai	Enerweb	vyzn	Zirkularitäts-Tool Madaster	Urban Mining Index	Concular	
Info	Website & Anbieter	URL / Anbieter	oneclicklca.com – One Click LCA Ltd	simapro.com – PRé Sustainability B.V.	choesetally.com - Zusammenschluss aus Building Transparency, KT, Innovations, thinkstep und Autodesk	athenasmi.org - Athena Institute	viride.ch – FHNW/INEB	ecotool.org – ZPF Ingenieure AG	wesosai.com – E4tech	enerweb.ch – Enerhaus Web Services	vyzn.tech – vyzn AG	madaster.com - Madaster Services	urban-mining-index.de – Hottgenroth Software AG (Initiator Dr. Anja Rosen)	concular.de – Concular GmbH	
Info	Geographische Region, in der das Tool entwickelt wurde	Region	Finnland	Niederlande	USA	Kanada	Schweiz	Schweiz	Schweiz	Schweiz	Schweiz	Niederlande	Deutschland	Deutschland	
Info	Jahr der Erstveröffentlichung oder Markteinführung	Jahr	2001	1990	2013	1997	2020	2022	2003	2018	2022	2017	2020	2020	
BIM fähig?	Es wird betrachtet ob es möglich mithilfe eines BIM Modelles IFC/ nativ Daten zu generieren	Ist es möglich mithilfe eines BIM Modelles IFC/ nativ Daten zu generieren?	Ja - Starke BIM-Integration (Plugins für Revit, Tekla u.a.; IFC/gbXML-Import) bidirektionaler Sync (BIM -> LCA)	Nein - Keine direkte BIM-Anbindung (Datenimport via CSV/Excel; kein Revit/IFC-Plugin)	Ja - Voll in Revit integriert (als Add-In/keriantimberlca.com; Materialmapping im BIM; Export BOM zu EC:keriantimberlca.com)	Nein - (manuelle Eingabe oder Excel-Import)	Ja - IFC-basiert (Import von BIM-Modellen) alternativ auch manuelle Eingabe („greenDESIGN“)	Nein - Kein BIM-Plugin (Eingabe über Web-GUI mittels Bauteilkatalog) bisher kein IFC-Import	Ja - BIM-Modul vorhanden (IFC- und gbXML-Import seit V2021) übernimmt Bauteile von Energie- in Ökobilanzmodul	Nein - hat aber ein Flächentool (Kann PDF-Pläne auslesen) theoretisch ableitbar aus BIM-modell	Ja - Volle BIM-Basiertheit: 3D/IFC-Modell als Input, KI optimiert Bauteile; Revit/IFC-Daten via Cloud importierbar; Export auch möglich	Ja - BIM/Excel-Import; bevorzugt IFC-Modell-Upload (automatische Materialstückliste) alternativ Excel; teils API zu CAD	Ja - Nutzt HottCAD eine eigene CAD-Anwendung um IFC zu lesen; es wird nicht erwähnt wie mithilfe IFC UMI berechnet wird im Eco-Pass)	Ja - Schnittstellen: Möglichkeit IFC/DWG-Upload (zum Materialpass-Erstellen); meist Inventar vor Ort + Excel-Import	
Benutzerfreundlichkeit	Benutzerfreundlichkeit des Tools für Anwender	intuitiv, Einarbeitung erforderlich, für Experten geeignet	intuitiv	Einarbeitung erforderlich	Einarbeitung erforderlich	Einarbeitung erforderlich	Einarbeitung erforderlich	für Experten geeignet	für Experten geeignet	Einarbeitung erforderlich	intuitiv	intuitiv	für Experten geeignet	intuitiv	
Softwaretyp	Gibt an, ob das Tool als Web-Version, Plug-in oder Desktop-Anwendung verfügbar ist	In welcher Form ist das Tool verfügbar? (Web-Version, Plug-in, Desktop-Version)	Webversion, Plugin	Desktop-Version	Plugin (Revit)	Desktop-Version	Web-Version	Web-Version	Desktop-Version	Web-Version	Web-Version	Web-Version	Desktop-Version	Web-Version	
Normenkompatibilität	Wird die Einhaltung der SIA 2032 unterstützt bzw. geprüft?	Einhaltung der SIA 2032	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	
Datenbasiskompatibilität	Sind KBOB-Daten im Tool verfügbar bzw. eingebunden?	KBOB-Ökobilanzdaten	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	
Bewertungssystemkompatibilität	Werden Anforderungen des Minergie-ECO-Standards geprüft oder abgebildet?	Minergie ECO	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	
Bewertungssystemkompatibilität	Ist das Tool SNBS-kompatibel bzw. als SNBS-Hilfsmittel zugelassen?	SNBS	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	
Strukturierungssystemkompatibilität	Können eBKP-Strukturen integriert werden?	CRB eBKP Preise	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	
Soziales (S-LCA)	Abbildung sozialer Lebenszyklus-Aspekte	Wird S-LCA abgebildet?	Keine Social-LCA-Module	Optional via Add-on (Social Hotspots Database für Arbeitsrechte etc.) nicht standardmässig integriert	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module	Keine Social-LCA-Module
Ökonomie (LCC)	Lebenszykluskosten (LCC) einschliesslich Bau- und Betriebskosten.	Werden LCC berücksichtigt (min. Herstellungskosten, Nutzungskosten)?	Umfassende Analyse der Lebenszykluskosten LCC (Berücksichtigt Bau- und Betriebskosten sowie Budgetkontrolle)	Keine vollständige Berücksichtigung LCC (Kosten können als Flüsse manuell modelliert werden aber hoher Aufwand, keine fertigen Reports)	Keine LCC (Kostenrechnung nicht enthalten)	Keine LCC (Kostenrechnung nicht enthalten)	Keine LCC (Kosten nicht Teil des Tools)	Keine LCC (Kosten nicht Teil des Tools)	Keine LCC	Keine LCC	Umfassende Analyse der LCA (Detailierte Bewertung ökologischer Faktoren, inklusive Energiebedarf und Emissionen)	Keine LCC	Keine LCC	Keine LCC	
Ökologie (LCA)	Beinhaltet Ökobilanzen über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks.	Können CO2-Emissionen (CO2e) über den gesamten Lebenszyklus quantifiziert werden?	Umfassende Analyse der LCA (CO2e, Primärenergiebedarf und andere Umweltmetriken über den gesamten Lebenszyklus)	Umfassende Analyse der LCA (Fokus auf CO2e-Emissionen, Lebenszyklusanalyse über BIM-Integration)	Umfassende Analyse der LCA (ökologischer Faktoren, inklusive Energiebedarf und Emissionen)	Umfassende Analyse der LCA (GHG-Emissionen aus Erstellung, Betrieb, Mobilität)	Umfassende Analyse der LCA (Berechnet die UBP, Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	Umfassende Analyse der LCA (rechnet die Graue energie, Treibhausgasemission)	
Urbane mine	Betrachtet Bauwerke als potenzielle Rohstofflager am Ende ihrer Nutzungsdauer	Wird die Wiederverwendbarkeit bewertet und ein potenzieller Restwert ausgewiesen?	Keine spezifische Funktion zur Erfassung von Wiederverwendung oder Restwert eines Restwerks	Kein Modul für Wiederverwendbarkeit oder Restwertermittlung verfügbar	Kein Modul für Wiederverwendbarkeit oder Restwertermittlung verfügbar	Kein Modul für Wiederverwendbarkeit oder Restwertermittlung verfügbar	Keine spezifischen Funktionen für Urban Mining oder zirkuläres Bauen.	Keine spezifischen Funktionen für Urban Mining oder zirkuläres Bauen.	Keine spezifischen Funktionen für Urban Mining oder zirkuläres Bauen.	Keine spezifischen Funktionen für Urban Mining oder zirkuläres Bauen.	Keine spezifischen Funktionen für Urban Mining oder zirkuläres Bauen.	Ermöglicht die Analyse Bietet eine umfassende Dokumentation für wieder verwendbare Materialien.	Ermöglicht die Analyse Bietet eine umfassende Dokumentation für wieder verwendbare Materialien.	Ermöglicht die Analyse Bietet eine umfassende Dokumentation für wieder verwendbare Materialien.	
TSD-Methodik eignung	Es wird betrachtet, ob die TSD-Methodik vollständig erfüllt abgedeckt wird	Werden alle Aspekte der TSD-Methodik abgedeckt?	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	

Anhang 7 Dokumentation Feedback-Gespräche

Datum	Dauer	Personengruppe	Feedback-Thema	Fachexperte	Feedbacks zum Tool	Umgesetzte Anpassung
17.03.2025	01:00	Externer aus Praxis	Bewertung Entscheidungsunterstützung	BIM-Manager	<ul style="list-style-type: none"> •Es wurde empfohlen die Inflation bei den Kosten zu berücksichtigen, da die Kosten für den Arbeits- und Materialmarkt sehr stark variieren •Es wird eine Risikoanalyse empfohlen •Das Dashboard könnte erweitert weitere Kosten wie Logistikkosten, Lieferanten Bauteile, Anzahl an Arbeitsstunden und Anzahl an Arbeiter zur Erstellung. •Ergänzung des Tools auf terminliches, da neben dem Kosten das nächste wichtige Aspekt Termine •Es wird geraten das BIM-Modell den LOD für den Vorprojekt nicht zu erhöhen auf 300 da es zu Kostenintensiv ist und riskant das die Variante nicht genutzt wird 	Dashboard wurde um Kostenaspekte erweitert
02.04..2025; 07.05.2025	01:00	TSD-Methodik Expertin / Thesis Betreuerin	Überprüfung methodisches Verständnis	TSD-Expertin	<ul style="list-style-type: none"> •Es wurde festgestellt, dass eine Optimierung des zugrunde liegenden Prozesses erforderlich ist. •Es wurde empfohlen, die Darstellung der Entsorgungskosten im Restwert sowohl in positiver als auch in negativer Ausprägung zu implementieren. •Hinweis auf Begrenzung der sozialen Kriterienauswahl und Erweiterungspotenzial durch standardisierte Bewertungsmethoden (z. B. Nutzwertanalysen) •Hinweis, dass partizipative soziale Aspekte aktuell noch fehlen •Hinweis ZPR-Rate grösser null hat zur folge, dass auch sozialer Nutzen abgeschwächt wird. 	Anpassung TSD-Prozess, SQL-Anpassung für negative Werte, ZPR auf 0 gesetzt
03.04.2025	00:30	Externer aus Praxis	Nutzung von Speckle	CEO Speckle	<ul style="list-style-type: none"> •Es wurde positives Feedback hinsichtlich der Nutzerfreundlichkeit abgegeben. •Ergänzende Anmerkungen wurden nicht übermittelt. 	keine Änderungen
07.04.2025	01:00	LCA-Experte / Fachexperte Thesis	Überprüfung der Berechnungslogik	LCA-Experte 1	<ul style="list-style-type: none"> •Berechnung sind plausibel keine Einwände •Hinweis ergänzung von, KBOB-ID, eBKP-H Struktur je Bauteil im Dashboard •Hinweis zum Berechnen des Zielwerts der SIA 2040 könnten in der Zukunft der Richtwert «Betrieb» nach SIA 380/1 und «Mobilität» SIA 2039 ergänzt werden, für den Richtwert «Erstellung» fehlt noch die Gebäudetechnik CO2 Angaben nach 2032. •Zufrieden mit der Art wie ökobilanziert wird 	keine Änderungen
17.04.2025	01:00	Dozent Studiengang VDC	Überprüfung der Datenbankstruktur und Dashboard	Datenbankexperte	<ul style="list-style-type: none"> •Farbgebung der Visuals Farben sollen rausgenommen werden, da sie je nach modellierung unterschiedlich sein kann und irreführend 	Entfernung farbiger Visuals im Dashboard
18.04.2025	01:00	Mitarbeiter AIB	Bewertung Entscheidungsunterstützung	Projektleiter 1	<ul style="list-style-type: none"> •Die Dashboards vereinen und einzelnen Aspekte einfach gegenüberstellen mit Dropdown •Wunsch beider Varianten je einzelner Aspekte sollten nebeneinander stehen und vergleichbar gemacht werden können 	keine Änderungen
18.04.2025	01:00	Mitarbeiter AIB	Bewertung Entscheidungsunterstützung	Projektleiter 2	<ul style="list-style-type: none"> • Empfehlung, CBA statt Nutzwertanalyse, um Manipulation durch Gewichtung zu vermeiden und Baseline-Entscheidungen zu ermöglichen 	keine Änderungen
22.04.2025	02:00	Mitarbeiter AIB	Prüfung auf Entscheidungsrelevanz und Nachhaltigkeit	Datenmanager + Nachhaltigkeitsexperte	<ul style="list-style-type: none"> • Visuals in drei Fenster aufteilen und vergrössern •Inhaltlich in drei Fenster aufteilen und die Visuals vergrössern •CO2 werte in Herstellung und Entsorgung aufteilen •Empfehlung, soziale Kriterien detaillierter und aufteilbar darzustellen, etwa durch standardisierte Parameter 	Anpassung Dashboard, Änderung SQL-Abfragen
05.05.2025	01:00	LCA-Experte / Mitarbeiter FHNW	Prüfung auf Plausibilität der CO2e- Werte	LCA-Experte 2	<ul style="list-style-type: none"> •Die Darstellung sei auf den ersten Blick plausibel und intuitiv verständlich •Es solle explizit hervorgehoben werden, dass nur Erstellung und Entsorgung bilanziert sind – Betrieb ist nicht Teil der Abbildung. 	keine Änderungen

Anhang 8 Screenshots aus Keevalue

1. Eingabe der administrativen und quantitativen Objektdaten

Objektdaten

Ausgangslage: **Neubau geplant**

Objektbezeichnung *: **MVK ARA Therwil Beton**

Postleitzahl und Ort *: **4106 Therwil**

Strasse und Nr.: **Erlenstrasse 60** **645**

Hauptnutzung *: **Industrielle Produktion, Werkhallen** **M**

Sicherheitsstufe *: **Sicherheitsrundgang und Zugangskontrolle**



Objektbezeichnung

Mit maximal 60 Zeichen umschreiben Sie kurz das Objekt gemäss Ihrem Schema z.B. 1803_C1_MFH im Park.

Quantität

Geschossfläche GF SIA 416 *: **234**

Gebäudevolumen GV SIA 416 *: **1230**

Mittlere Geschosshöhe GV / GF SIA 416: **5.26**

Anteil Gebäudevolumen unter Terrain: **% (optional)**

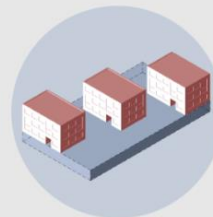
Bearbeitete Umgebungsfläche BUF SIA 416 *: **60**

Anzahl Gebäude: **2**

Anzahl Geschosse über / unter Terrain *: **1** **0**

Anzahl unterirdische Parkplätze: **0**

Transportanlagen *: **Nein**



Anzahl Gebäude

Gebäude sind eigenständig und werden einzeln gezählt, wenn sie thermisch voneinander unabhängig sind. Betrachtet werden dabei Gebäudeteile über Terrain.

2. Wichtige Komplexitäts- und Qualitätsmerkmale einstellen

Komplexität

Dachform *: **Flachdach**

Energie und Ökostandard * / PV-Anlage: **Gesetzlicher Standard** **Photovoltaikanlage**

Konstruktion über Terrain *: **Edle, hochwertige oder schwere Materialisierung**

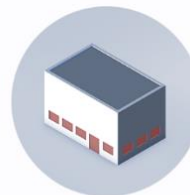
Grundstück- und Bauplatzverhältnisse: **1**

Vorbereitungsarbeiten: **1**

Repetition vorgefertigter Elemente: **1**

Komplexität der Gebäudeform: **1**

Fensteranteil: **1**



WK2 tiefe Wertklasse geringer Fensteranteil

• Anteil Öffnungen (Fenster, Aussentüren, Aussentore) 3%-15%

Qualität

Elektroanlage: **1**

Heizungs-, Lüftungs-, Klimaanlage: **1**

Heizung *: **keine Heizung**

Lüftung *: **Lüftung (Zu- und Abluft)**

Kälte *: **Nein**

Sanitäranlagen / Küche: **1**

Ausbau 1: **1**

Ausbau 2: **1**

Umgebung: **1**



WK2 tiefe Wertklasse

wenige und einfache Umgebungsarbeiten

z.B. - sehr kleiner Hartflächenanteil
- wenig Terraingestaltung (z.B. Erdarbeiten im ebenen Gelände)
- keine Umgebungsbauwerke wie Stützmauern etc.
- einfache Grünflächen mit wenig und einfacher Bepflanzung und ohne Einfriedungen
- einfache Werkleitungsanschlüsse

Life Cycle Planner

Nutzungsdauer *

Betrachtungszeitraum *

Start Betrachtungszeitraum *

Mit Abbruch (Rückbau) *

Auf Abbruch bewirtschaften (Jahre) *

Inflation Bau *

Inflation Verwaltung und Dienstleistungen *

Inflation Ver- und Entsorgung *

Inflation Unterhalt (Instandhaltung) *

Nominaler Kalkulationszinssatz *



Life Cycle
Bitte geben Sie die zur Berechnung der Gebäudelebenszykluskosten notwendigen Daten ein. Bei Bedarf überschreiben Sie die Voreinstellungen.

Handeintrag

Reserve CHF

Bemerkungen
Allgemeine Bemerkungen mit maximal 5000 Zeichen



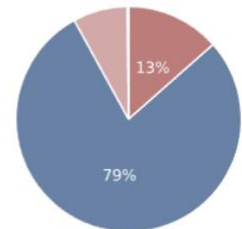
Handeintrag
Mit einem Handeintrag können zusätzliche Kosten für sp Arbeiten oder Ausbauten wie z. B. Baugrundverbesserung Altlasten, Staubsaugeranlage, Bauherrenberatung etc. so Bemerkungen festgehalten werden. Die Einträge können den entsprechenden BKP-Stellen zugewiesen werden und erleichtern eine spätere Nachvollziehbarkeit der Resultat

4. Kostenschätzung erstellt

Ihre Eingaben wurden erfolgreich validiert. Untenstehend finden Sie die Ergebnisse.

Zusammenstellung Kapitalkosten (discounted cash outflow)

	60 Jahre		pro Jahr	
	CHF	CHF / m2 GF	CHF / a	CHF / a m2 GF
Erstellungskosten	955'000.-	4'081.-	38'285.-	164.-
Bewirtschaftungskosten (Vollkosten)	5'561'140.-	23'766.-	222'938.-	953.-
Erneuerungskosten	553'986.-	2'367.-	22'209.-	95.-
Rückbaukosten	12'274.-	52.-	492.-	2.-
Total Kapitalkosten inkl. MwSt.	7'082'400.-	30'267.-	283'924.-	1'213.-



Gliederung nach BKP	CHF	Anteile	Kennwerte *
---------------------	-----	---------	-------------

* Kennwerte bezogen auf CHF/m² GF SIA 416, Kennwert Umgebung bezogen auf CHF/m² BUF SIA 416

Planungs- und Bauzeit

Planungszeit	11 Monate
Bauzeit	5 Monate

Gliederung nach BKP	CHF	Anteile	Kennwerte *
---------------------	-----	---------	-------------

* Kennwerte bezogen auf CHF/m² GF SIA 416, Kennwert Umgebung bezogen auf CHF/m² BUF SIA 416

Planungs- und Bauzeit

Planungszeit	11 Monate
Bauzeit	5 Monate

Bewirtschaftungskosten pro Jahr

Vollkosten	CHF	Kennwerte *
1 Verwaltung	6'100.-	26.07
2 Betrieb	138'500.-	591.88
21 Ver- und Entsorgungskosten	2'500.-	10.68
211 Strom	1'500.-	6.41
213 Wasser	200.-	0.85
214 Übrige Ver- und Entsorgungskosten	800.-	3.42
22 Instandhaltung	3'500.-	14.96
23 Reinigung	2'200.-	9.40
24 Kontrolle und Sicherheit	130'000.-	555.56
25 Abgabe und Beiträge	300.-	1.28
Bewirtschaftungskosten CHF inkl. MwSt.	144'600.-	617.95

EK Eigentümerkosten, NK Nebenkosten Mieter	EK CHF	NK CHF	EK Kennwerte *	NK Kennwerte *
1 Verwaltung	800.-	5'400.-	3.42	23.08
2 Betrieb	5'600.-	130'000.-	23.93	555.56
21 Ver- und Entsorgungskosten		800.-		3.42
211 Strom		500.-		2.14
213 Wasser		200.-		0.85
214 Übrige Ver- und Entsorgungskosten		100.-		0.43
22 Instandhaltung	1'400.-	1'700.-	5.98	7.26
23 Reinigung		1'400.-		5.98
24 Kontrolle und Sicherheit	3'900.-	126'100.-	16.67	538.89
25 Abgabe und Beiträge	300.-		1.28	
Bewirtschaftungskosten CHF inkl. MwSt.	6'400.-	135'400.-	27.35	578.63

* Kennwerte bezogen auf CHF/m² GF SIA 416 pro Jahr

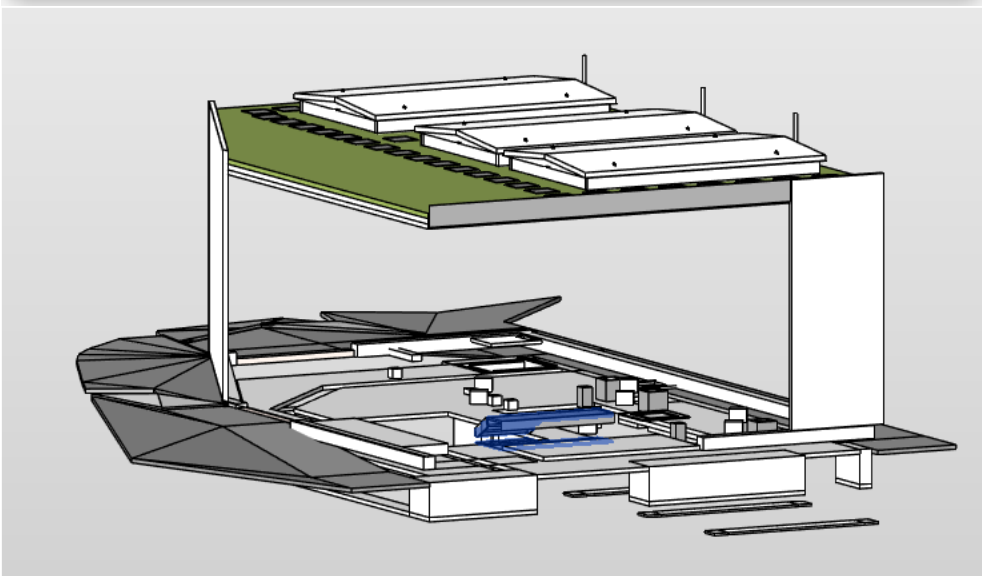
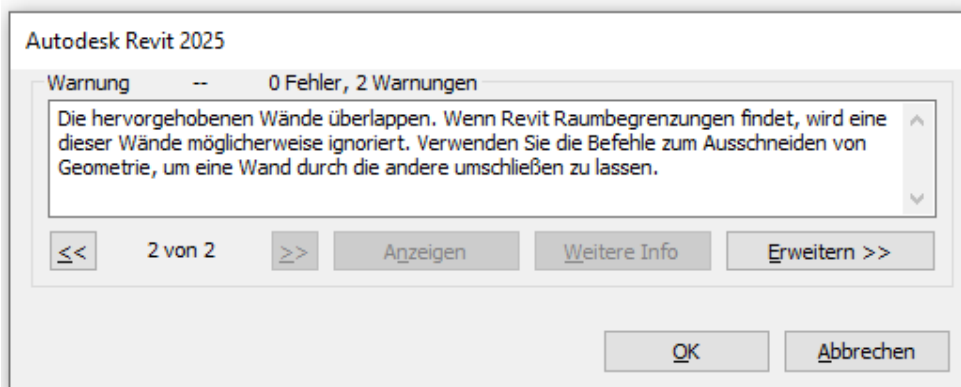
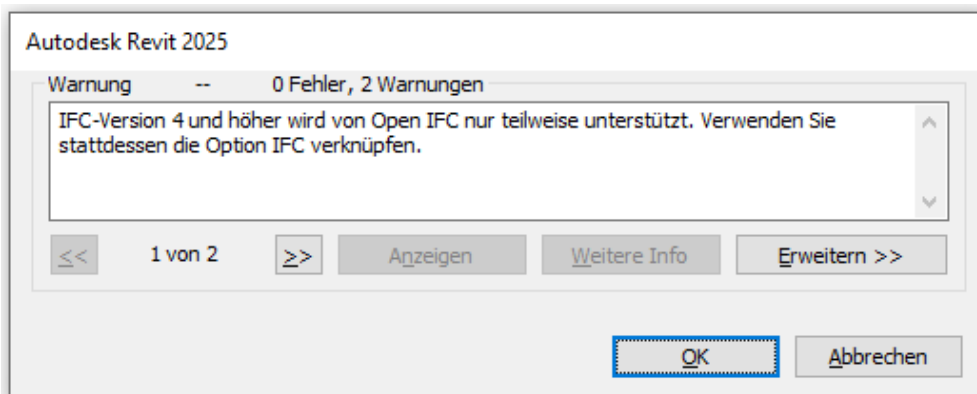
Anhang 9 Übersicht 1./2. Ebene der eBKP-H Struktur

Anlagekosten	Erstellungskosten	Bauwerkskosten	A Grundstück	A01 Grundstück, Baurecht	A02 Nebenkosten zu Grundstück, Baurecht																		
			B Vorbereitung	B01 Untersuchung, Aufnahme, Messung	B02 Baustelleneinrichtung	B03 Provisorium	B04 Erschliessung durch Werkleitungen	B05 Rodung, Rückbau	B06 Baugrube	B07 Baugrundverbesserung, Bauwerksicherung	B08 Gerüst	B09 Anpassung angrenzendes Bauwerk											
			C Konstruktion Gebäude	C01 Fundament, Bodenplatte	C02 Wandkonstruktion	C03 Stützenkonstruktion	C04 Deckenkonstruktion, Dachkonstruktion	C05 Ergänzende Leistung zu Konstruktion															
			D Technik Gebäude	D01 Elektroanlage	D02 Gebäudeautomation	D03 Sicherheitsanlage	D04 Technische Brandschutzanlage	D05 Wärmetechnische Anlage	D06 Kältetechnische Anlage	D07 Lufttechnische Anlage	D08 Wasbertechnische Anlage	D09 Abwassertechnische Anlage											
				D10 Gastech-nische Anlage	D11 Anlage für Spezial-maschinen	D12 Beförderungs-anlage																	
			E Äussere Wandbekleidung Gebäude	E01 Äussere Wandbekleidung unter Terrain	E02 Äussere Wandbekleidung über Terrain	E03 Element in Aussenwand																	
			F Bedachung Gebäude	F01 Dachhaut	F02 Element zu Dach																		
			G Ausbau Gebäude	G01 Trennwand, Innenfür, Innenlar	G02 Bodenbelag	G03 Wandbekleidung	G04 Deckenbekleidung	G05 Einbauten, Schutzeinrichtung zu Ausbau	G06 Ergänzende Leistung zu Ausbau														
			H Nutzungsspezifische Anlage Gebäude	H01 Produktions-anlage	H02 Laboranlage	H03 Grosseküche	H04 Wäscherei-, Reinigungs-anlage	H05 Anlage für Gesundheit	H06 Anlage für Bildung, Kultur	H07 Sportanlage, Freizeitanlage	H08 Anlage für Erholung	H09 Weitere nutzungsspezifische Anlage											
			I Umgebung Gebäude	I01 Umgebungsgestaltung	I02 Bauwerk in der Umgebung	I03 Grünfläche	I04 Hartfläche	I05 Technik Umgebung	I06 Ausstattung Umgebung														
			J Ausstattung Gebäude	J01 Mobiliar	J02 Kleininventar	J03 Textilien	J04 Kunst am Bau																
			V Planungskosten	V01 Planer	V02 Unternehmer	V03 Auftraggeber																	
			W Nebenkosten zu Erstellung	W01 Bewilligung, Gebühr	W02 Versicherung, Garantie	W03 Kapitalkosten	W04 Bewirtung, Öffentlichkeitsarbeit, Entschädigung	W05 Inbetriebnahme	W06 Vermietung, Verkauf	W07 Betriebsfertig													
			Y Reserve, Teuerung	Y01 Reserve	Y02 Teuerung																		
			Z Mehrwertsteuer	Z01 Mehrwertsteuer																			

Abbildung 54: Übersicht Klassifizierung nach eBKP-H (CRB, 2020, p. 59)

Anhang 10 Variante 1 IFC-Modell aus dem Projekt

Der folgende Screenshot zeigt die Versuche, das aus dem Projekt stammende IFC-Modell in die Autorensoftware Revit 2025 zu importieren. Dabei traten zwei Warnungen auf: einerseits die eingeschränkte Unterstützung der verwendeten IFC-Version, andererseits die Überlappung von Wänden innerhalb des Modells. Trotz dieser Einschränkungen konnte das Modell als Grundlage verwendet werden, um die Variante im Rahmen der vorliegenden Arbeit nachzumodellieren. Das daraus resultierende vereinfachte Modell diente der weiteren Datenaufbereitung und Integration in das entwickelte Datenvisualisierungstool.



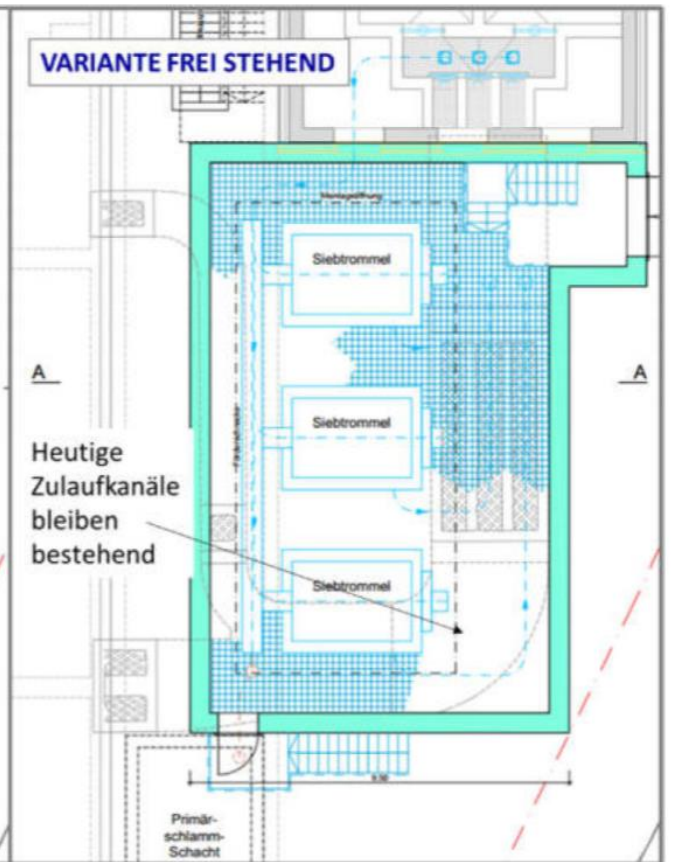
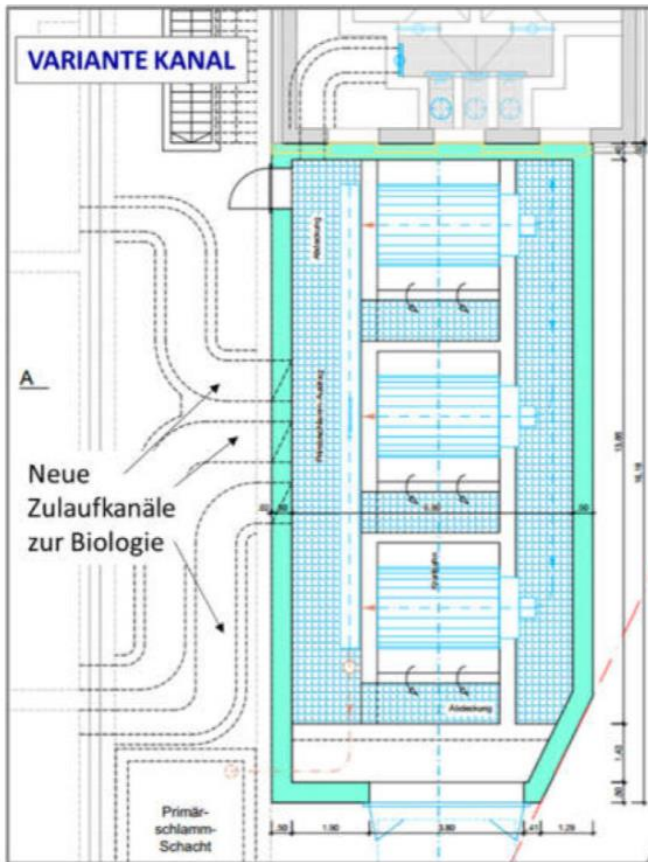
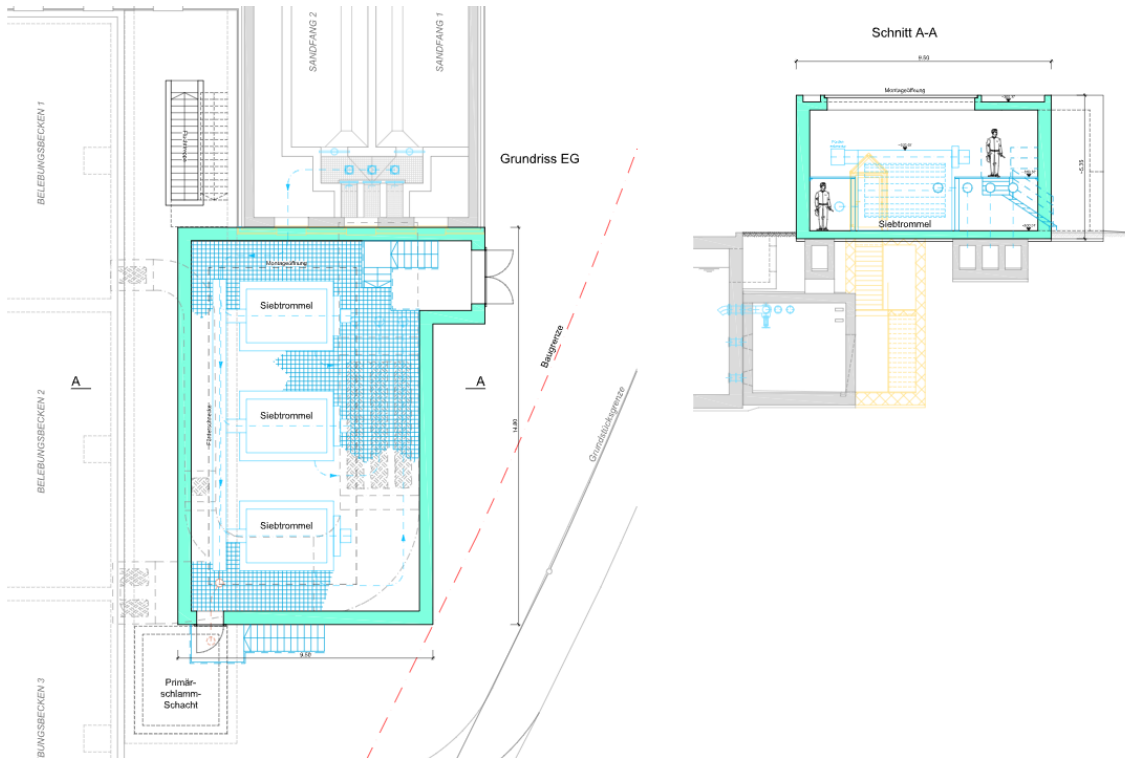
Anhang 11 Bauteilgruppe Variante 1

Funktionale Gruppe	Enthaltene Bauteile
Stahlträger	HEB 200-Stützen, IPE 500-Träger, HEA 160-Träger, U-Profile (120/55 & 180/75)
Sandwichfassade	Brucha FP-P120 Paneele
Bodenplatte	Stahlbetonbodenplatte (370 mm)
Dachsystem	Stahlprofilblech (1 mm), Wärmedämmung, Kiesauflage
Fenster	Aluminium–Dreh-Kipp-Elemente (verschiedene Abmessungen)
Türen	Doppel-Schwenk-Automatiktüren (HB150-2)

Anhang 12 Bauteilgruppe Variante 2


Funktionale Gruppe	Enthaltene Bauteile
Wände	Basiswände (STB 300), Attikawände (STB 300), Aufkantungen (STB 300)
Decken und Platten	Bodenplatte (STB 370), Geschossdecke (STB 300)
Dachabdeckung	Stahlabdeckung auf Geschossdecke
Türen	Double-Pivot-Automatic-Doors (HB150-2)
Fenster	FE 2-tlg. Dreh-Kipp-Elemente (3300 x 1250)

Anhang 13 Plangrundlagen der Variante Stahlbetonfassaden



Anhang 14 Erhebung Restwerte Recyclinghof

18.03.25, 21:09

 Outlook

RE: Anfrage zu Materialverwertung & Rückgewinnung – Masterarbeit FHNW

Datum Di, 18.03.2025 13:59

An Hakan Özbucak (s)

Guten Tag Herr Özbucak

Vielen Dank für die Anfrage. Gerne habe ich ihnen die Antworten unten direkt zu ihren Fragen geschrieben. Bitte beachten sie, dass die Preise ohne Mengenkenntnisse angegeben wurden und es sich daher um Richtpreise handelt. Sollte ein konkretes Projekt daraus entstehen, können sie gerne wieder auf mich zukommen um die Entsorgung im Detail abzusprechen. Die Preise gelten grundsätzlich

Bei Fragen stehe ich ihnen gerne zur Verfügung.

Freundliche Grüsse

Lagermanagement



Diese Nachricht und allfällige angehängte Dokumente sind vertraulich und nur für den/die Adressaten bestimmt. Sollten Sie nicht der beabsichtigte Adressat sein, ist jede Offenlegung, Weiterleitung oder sonstige Verwendung dieser Information nicht gestattet. In diesem Fall bitten wir, den Absender zu verständigen und die Information zu vernichten. Für Übermittlungsfehler oder sonstige Irrtümer bei Übermittlung besteht keine Haftung.

18.03.25, 21:09

E-Mail – Hakan Özbucak (s) – Outlook

From: Hakan Özbucak (s) [REDACTED]
Sent: Sunday, March 16, 2025 3:59 PM
To: [REDACTED]
Subject: Anfrage zu Materialverwertung & Rückgewinnung – Masterarbeit FHNW

Sehr geehrte Damen und Herren

Im Rahmen meiner Masterarbeit an der FHNW beschäftige ich mich mit der Urbanen Mine und der Bewertung der Rückgewinnung von Baustoffen aus Rückbauprojekten. Mein Ziel ist es, die wirtschaftlichen und ökologischen Aspekte der Wiederverwendung und Verwertung von Baumaterialien anhand einer Fallstudie zu analysieren.

Das betrachtete Objekt ist eine bestehende Anlage, für die ich die potenziellen Erlöse sowie die Kosten für Abtransport und fachgerechte Entsorgung verschiedener Materialien ermitteln möchte. Da ich eine anbieterneutrale Analyse erstelle, werde ich die Namen der angefragten Unternehmen anonymisieren.

Ich wäre Ihnen sehr dankbar, wenn Sie mir Informationen zu den folgenden Punkten geben könnten:

1. Allgemeiner Ablauf & Anforderungen an Materialien

- Wie läuft der Prozess der Materialannahme und -verwertung bei Ihnen ab?

Eingangswiegung, Ablad, Befundung, Verarbeitung je nach Material im geeigneten Kanal/Aggregat

- Müssen Materialien bereits auf der Baustelle vorbehandelt oder getrennt werden?

Nicht zwingend, jedoch je besser es getrennt angeliefert wird, desto besser ist die Vergütung

- Werden Materialien vor Ort (bei Ihnen im Recyclinghof) aufbereitet oder muss dies bereits vor dem Transport erfolgen?

Wir können es gerne für sie aufbereiten

2. Verwertungspreise & Rückgewinnung von Materialien

Metalle (Baustahl & Edelstahl)

- Welche Rückkaufwerte bzw. Entsorgungskosten gelten für:
 - Baustahl Feuerverzinkt (S235JR, S355) → Träger unterschiedlicher Längen und Grössen

Vergütung CHF 170.-/to. (Richtpreis Basis März)

- Edelstahl (V2A, V4A – 1.4301, 1.4404)

V2A Vergütung CHF 760.-/to. (Tagespreis)

V4A Vergütung CHF 1'670.-/to. (Tagespreis)

- verzinktes Stahlblech

Vergütung CHF 110.-/to. (Richtpreis Basis März)

- Armierungseisen

Vergütung CHF 150.-/to. (Richtpreis Basis März)

- Aluminium pulverbeschichtet RAL 9006 (Weissaluminium)

Vergütung CHF 1'400.-/to. (Tagespreis)

- Gibt es Zuschläge für verzinkte oder beschichtete Materialien (z. B. Betonreste an Stahl)?

Bei Anhaftung gibt es Abzüge

- Gibt es eine Mindestmenge, ab der eine Rücknahme wirtschaftlich ist?

500 kg

Beton C30/37

- Welchen Entsorgungspreis pro Tonne oder m³ setzen Sie für Stahlbeton an?(Werden andere Einheiten verwendet?)

*CHF 100.-/to. Zuzahlung bei Stücken unter 70*70 cm*

- Muss Stahlbeton bereits auf der Baustelle von der Bewehrung getrennt werden?

18.03.25, 21:09

E-Mail – Hakan Özbucak (s) – Outlook

*Ja***Sandwichelemente (Brucha FP-P120)**

- Welche Entsorgungskosten fallen für Sandwichelemente mit Metallkaschierung an?
Gibt es eine Wiederverwendungsmöglichkeit oder nur Entsorgung?

CHF 350.-/to. Zuzahlung. Wir werden es Entsorgen

- Wie sieht es mit den Sandwichelementen aus die Fenster oder Türen beinhalten wie im Bild?

*Können entfernt werden, ansonsten übernehmen wir dies***Photovoltaik-Module**

- Können Solarpaneele recycelt oder weiterverwendet werden?

Ja, diese können mir durch unsere Tochterfirma Immark recyceln.

- Welche Vergütung oder Entsorgungskosten gelten für PV-Module?

*CHF 500.-/to. Zuzahlung***Fenster**

- Dimensionen Doppelfenster B 3.30xH1.0m

*Können so entsorgt werden bei uns***Tür**

- Dimensionen Tür B3.00xH28m
- Glaseinsatz in Tir B1.34xH 0.9 m

*Können so entsorgt werden bei uns***3. Zusätzliche Fragen (falls möglich)**

- Wie erfolgt die Trennung von Verbundmaterialien wie Sandwichelementen und beschichteten Stählen?

In unserem Gross-Shredder

- Gibt es Preisunterschiede für verschiedene Grössen und Zustände von Metallen?

Ja, je besser es getrennt ist, desto besser ist es für sie preislich.

Ich wäre Ihnen sehr verbunden, wenn Sie mir eine Rückmeldung zu den genannten Punkten geben könnten. Falls für eine genauere Bewertung weitere Angaben benötigt werden, stehe ich Ihnen gerne zur Verfügung.

Vielen Dank im Voraus für Ihre Unterstützung.

Mit freundlichen Grüßen,
Hakan Özbucak

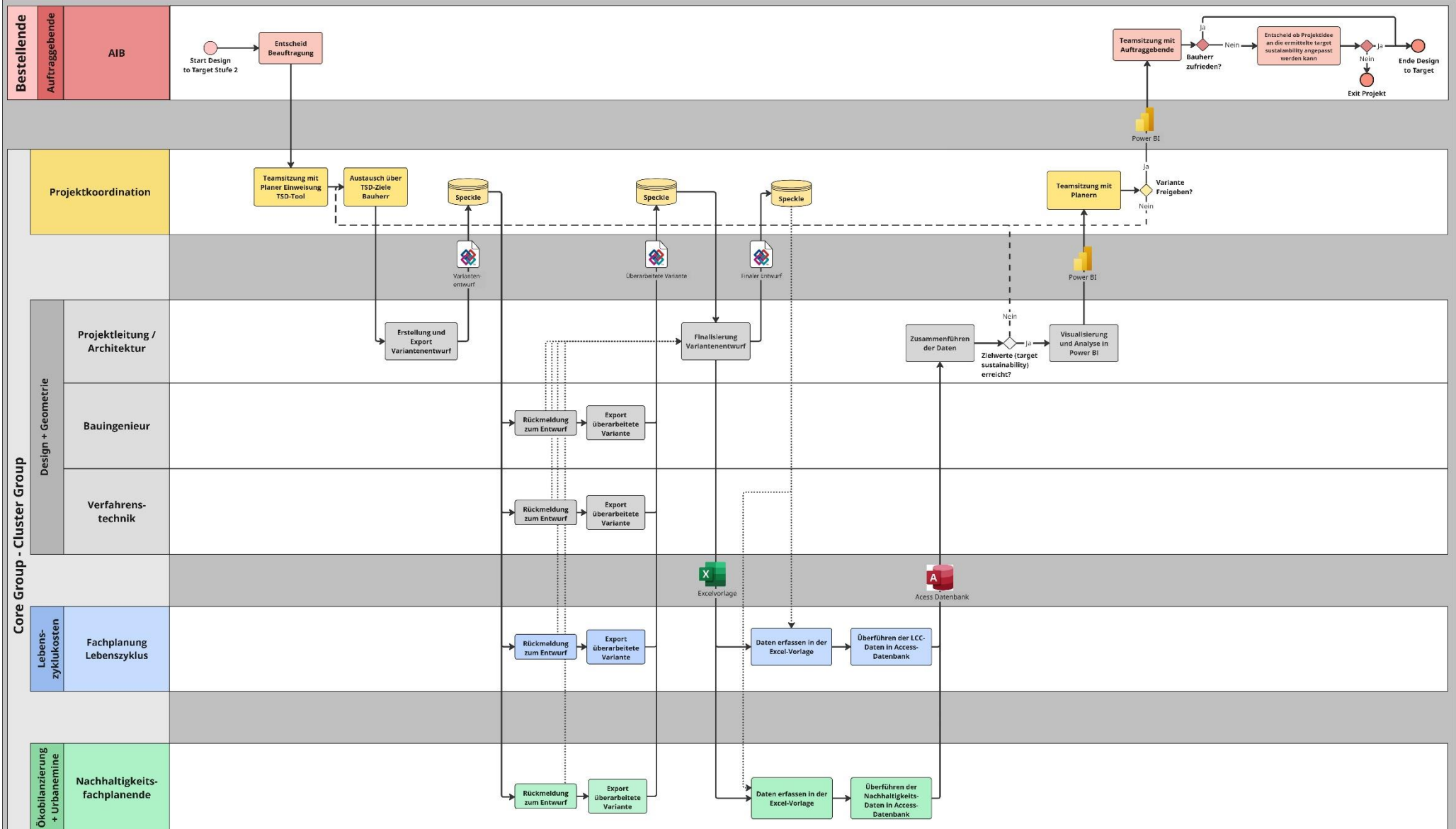
Anhang 15 Ausschnitt Leistungsverzeichnis aus Fallbeispiel

Es werden Exemplarische Ausschnitte des Leistungsverzeichnisses in konsolidierter Form dargelegt.
Das vollständige Leistungsverzeichnis steht auf Anfrage zur Verfügung.

Pos.	Bezeichnung der Arbeiten	Einheit	Ausmass	Einheitspreis CHF	Betrag CHF
1.5	Material für Stahlbauhallenkonstruktion Stahlkonstruktion aus Stahlgüte S235JR feuerverzinkt - Hallenkonstruktion gemäss HOL-Vorstatik - Hallenstützen 16x HEB200 mit Fussplatte mit nötigen Anschlüssen für Bühnenkonstruktion, Hauptdachträger, Dachrandträger, etc. - Dachhauptträger 8x IPE500 mit nötigen Anschlüssen für Hallenstützen, Kranbahnträger, etc. - Dachquerträger 6x HEA160 mit nötigen Anschlüssen - Dachrandträger HEA160 (2xHallenlängsseite) mit nötigen Anschlüsse - nötige Wandausfachung/Diagonalen mit Stahlprofile, wenn notw. - nötige Dachausfachung/Diagonalen mit Stahlprofile, wenn notw. Totalgewicht in kg	kg	15000	3.05	45'750.-
4.10.1	Doppelfenster in Nord-Fassade Abmessungen li.W. 1.65 x 1.0 m bxh (von aussen links) festverglast Abmessungen li.W. 1.65 x 1.0 m bxh (von aussen rechts) 1x öffnend DIN links + kippbare Flügel mit Handhebel Doppelfenster	Stk	3	3520.-	10560.-
	Kerndicke 120 mm, U=0,21 W/m²K nach EN 12667 inkl. Fugenanteil G=14,6 kg/m² Material innen: RAL9002, Grauweiss Material aussen: RAL 9006, Weissaluminium innen Profil 1 Standard / aussen Profil 6 Micro Linierung15 innen Blechdicke Standard / aussen Blechdicke Standard Baubreite 1000 mm / Brandkennziffer 5.2 inkl. aller notwendigen Montagematerialien u. Verschnitt Diese wird im „Doppel-Nut-Feder-Stecksystem“ ausgeführt. Dabei wird außen der Schraubenkopf aufgrund des speziellen Labyrinthprofils durch das anschliessende Paneel vollkommen abgedeckt. Die integrierten Dichtungen gewährleisten bestmögliche Dichtheit gegen Wind. Profiltyp: Profil 6 mm Baubreite: 1'000 mm Profilhöhe: 2 mm Blechstärke: 0.60 / 0.50 mm Verlegerichtung: vertikal Die Befestigung erfolgt mittels rostfreien Schrauben und Dichtscheiben auf Stahlbaukonstruktion Befestiger-Typ: nach Paneelhersteller Befestiger-Anzahl: nach Pan.herst. Stk./m2 - Nord-Fassade* m2 88 124.- 10912.- - Ost-Fassade m3 17 124.- 2108.- - Süd-Fassade* m4 43 124.- 5332.- - Südwest-Fassade m5 45 124.- 5580.- - West-Fassade* m6 38 124.- 4712.- *Netto-Fläche: Türen und Fenster sind abgezogen! - Dimensionen Doppelfenster B 3.30 x H 1.0 m 5 Stk - Dimensionen Tür B 3.00 x H 2.8 m 2 Stk - Glaseinsatz in Tür B 1.34 x H 0.9 m				

Anhang 17 Prozessablauf TSD-Tool

Anhang: Prozessablauf für die Tool-Anwendung



Anhang 18 Bewertungsmatrix der sozialen Kriterien für den Variantenvergleich

Umwelt		Gesellschaft		Wirtschaft	
Nr	Kriterien	Nr	Kriterien	Nr	Kriterien
1	Klimaschutz - CO2	8	Innenraumluftqualität - Frischluftversorgung	19	Gebäudesubstanz
2	Klimaschutz - Energie	9	Innenraumluftqualität - Schadstoffe	20	Nutzbarkeit & Flächeneffizienz
3	Mobilität	10	Thermischer Komfort - Winter	21	Identitätsstiftend & (Bau-)kultureller Wert
4	Umweltschutz & Nachhaltige Beschaffung	11	Thermischer Komfort - Sommer	22	Klimaanpassung - Temperatur
5	Wertstoff-Management & Kreislaufwirtschaft	12	Visueller Komfort	23	Klimaanpassung - Extremwetter
6	Wasser-Management	13	Akustischer Komfort		
7	Ökosysteme & Biodiversität	14	Sicherheit		
		15	Barrierefreiheit		
		16	Aufenthaltsqualität innen		
		17	Aufenthaltsqualität aussen		



- Innenraumluftqualität - Frischluftversorgung
- Visueller Komfort
- Akustischer Komfort
- Sicherheit
- Barrierefreiheit
- Aufenthaltsqualität innen

Kriterium	Gewichtung (%) - max 100	Stahlfassade		Stahlbetonfassade		
		V1	Bewertung zwischen 0-1,0	V2	Bewertung zwischen 0-1,0	
Innenraumluftqualität - Frischluftversorgung	20	0,75	Durchlässiger als Beton nur aufgrund Lüftdurchlasser Spalten (Da es Gerüche gibt ist es nicht von benachbarten Nachbarn)	0,8	Die dichte Betonhülle weist nur minimale Fugen auf, sodass Kontrollelemente für Zuluftöffnungen ausreichend sind.	
Visueller Komfort	10	1	Stahlfassade vermittelt durch ihre glatte, reflektierende Oberfläche einen modernen, futuristischen Gesamteindruck.	0,8	Betonoberflächen absorbieren einen grossen Teil des einfallenden Licht. Raum wirkt dunkler (subjektiv)	
Akustischer Komfort	20	0,7	schlechtere Schalldämmung	0,9	Betonwand absorbiert und dämpft Schall besser	
Sicherheit	30	0,8		0,9	Betonwände verfügen über hohe Feuerwiderstandsklassen (unwahrscheinlich das es da brennt)	Beton ist im feuchten Umfeld einer Kläranlage unempfindlich gegenüber Korrosion
Barrierefreiheit	10	1	-	1	-	
Aufenthaltsqualität innen	10	0,7	Stahl-Sandwichfassade führt zu ausgeprägten Temperaturschwankungen	0,8	speichert Wärme und gewährleistet eine gleichmässige Innentemperatur bei wechselnden Aussenbedingungen.	

Anhang 19 Beispielhafte CO₂e Ermittlung der Sandwichelement

Sandwich-Element FP-P120

Für die Berechnung des Sandwich-Elements werden folgende technische Parameter berücksichtigt:

PANEEL TYP	FP-P 80	FP-P 100	FP-P 120	FP-P 140	FP-P 160	FP-P 180	FP-P 200
Kerndicke mm	80	100	120	140	160	180	200
PIR+ halogenfrei U-Wert W/m ² K nach EN 14509 incl. Fugenanteil	0,278	0,217	0,180	0,153	0,134	0,119	0,107
iQTec auf Anfrage U-Wert W/m ² K nach EN 14509 incl. Fugenanteil	0,239	0,187	0,155	0,132	0,115	0,102	0,092
Gewicht kg/m ²	11,75	12,55	13,35	14,15	14,95	15,75	16,55

Abbildung 55: Datenblatt Sandwich-Element der Marke Brucha (Brucha, 2025)

Aussenblech

- Blechdicke aussen: 6mm
- Blechdicke innen: 5 mm
- KBOB ID: 06.010
- Rohdichte: 7.850 kg/m³

Dämmkern

- Dämmkerndicke: 120 mm
- KBOB ID: trifft zu auf ca. 10.006 Polyurethan (PUR/PIR)
- Rohdichte: ca. 40 kg/m³

Die Gesamtdicke des Bauteils wird durch die Summe des Dämmkerns und der Bleche auf ca. 131 mm summiert. Für die Flächenberechnung wird ein Flächenbezug von 1 m² angenommen, sodass sich folgendes Gesamtvolumen ergibt:

- $V_{\text{total}} = 0,131 \text{ m}^3/\text{m}^2$

Für das Blech wird ein Volumen von ca. 0,011 m³/m² angenommen, woraus sich folgende Volumenanteile ergeben:

- Anteil Stahl = $(0,011 / 0,131) \approx 8,4 \%$
- Anteil Dämmkern: $(0,120 / 0,131) \approx 91,60 \%$

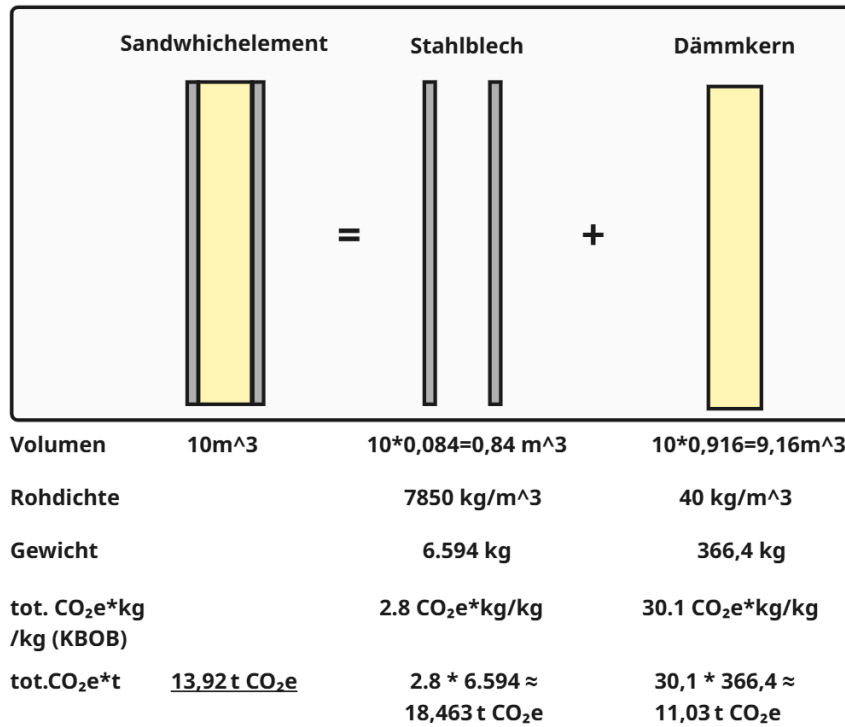
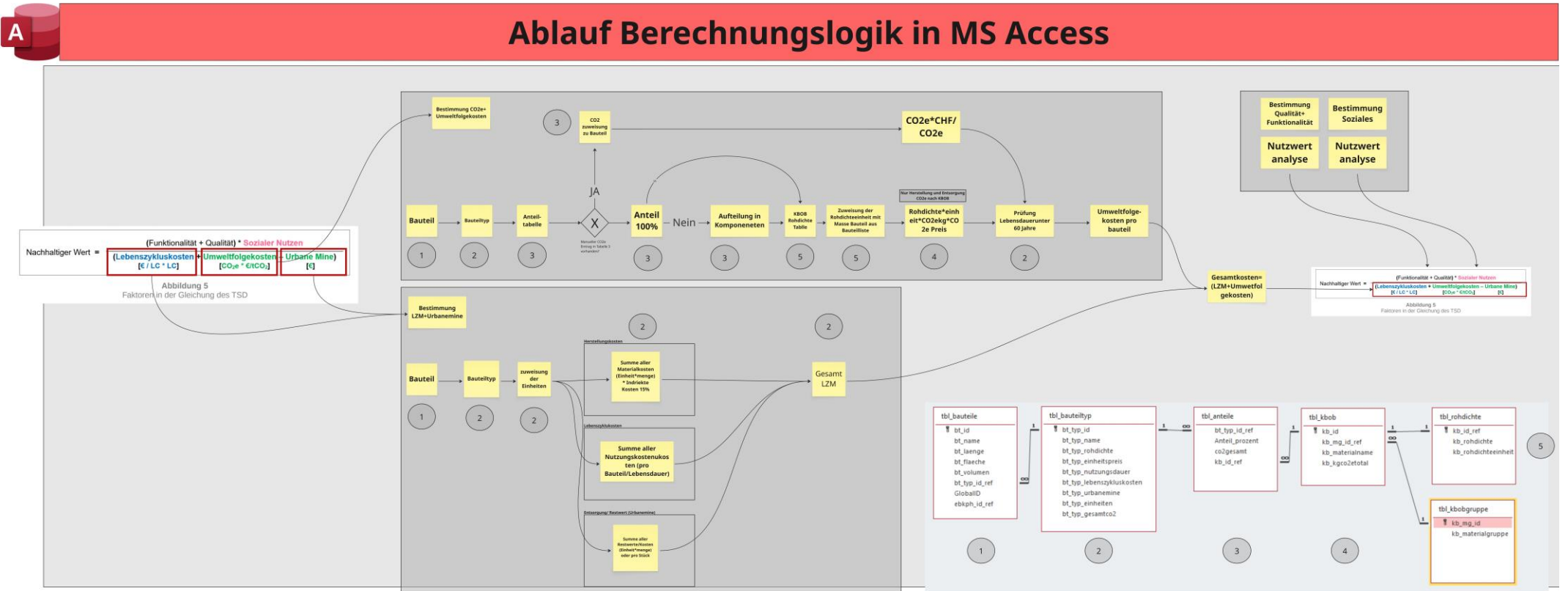


Abbildung 56: Rechenbeispiel Sandwichelement (Eigene Darstellung, 2025)

Bei einem Gesamtvolumen von 10 m³ wird infolgedessen ca. 29,5 t CO₂e-Emission für Herstellung und Entsorgung bestimmt.

Anhang 21 Berechnungslogik in Access



Anhang 22 Ökobilanzdaten Fenster nach KBOB

KBOB	Bezeichnung	kg/m ²	m ²	CO ₂ e	GLO	REO
05	Fenster, Sonnenschutz, Fassadenverkleidungen					
05.008	Fassade, Pfosten-Riegel, Alu/Glas ¹	-	m ²	329.000	313.000	15.500
05.022	Fassadenplatte, Aluverbund, 4 mm	7.1	m ²	74.900	66.600	8.270
05.028	Fassadenplatte, Glasfaserbeton					
05.028.01	Fassadenplatte, Glasfaserbeton Ecomur, 15mm	33.6	m ²	44.886	43.680	1.206
05.028.02	Fassadenplatte, Glasfaserbeton Ecomur, 18mm	40.3	m ²	53.837	52.390	1.447
05.023	Fassadenplatte, Hochdrucklaminatplatte (HPL), 8.1 mm	11.6	m ²	73.400	58.400	15.000
05.025	Fassadenplatte, Kalkstein, 30 mm	78	m ²	11.000	7.670	3.310
05.024	Fassadenplatte, Kunststoff glasfaserverstärkt (GFK), 1.6 mm	2.4	m ²	31.700	25.700	6.000
05.004	Fensterrahmen Aluminium ^{2,5}	-	m ²	246.000	230.000	16.200
05.005	Fensterrahmen Holz ^{2,6}	-	m ²	77.700	70.600	7.120
05.006	Fensterrahmen Holz-Metall ^{2,6}	-	m ²	134.000	126.000	8.230
05.007	Fensterrahmen Kunststoff/PVC ^{2,6}	-	m ²	115.000	103.000	11.800
05.001	Isolierverglasung 2-fach, Ug-Wert 1.1 W/m ² K, Dicke 24 mm ³	-	m ²	70.700	65.800	4.910
05.009	Isolierverglasung 2-fach, Ug-Wert 1.1 W/m ² K, Dicke 18 mm ³	-	m ²	78.900	74.800	4.090
05.010	Isolierverglasung 2-fach, ESG, Ug-Wert 1.1 W/m ² K ³	-	m ²	87.000	82.100	4.910
05.002	Isolierverglasung 2-fach, VSG, Ug-Wert 1.1 W/m ² K ³	-	m ²	128.000	119.000	8.730
05.011	Isolierverglasung 2-fach, ESG/VSG, Ug-Wert 1.1 W/m ² K ³	-	m ²	144.000	136.000	8.730
05.003	Isolierverglasung 3-fach, Ug-Wert 0.5 W/m ² K, Dicke 36 mm ³	-	m ²	128.000	121.000	6.830
05.012	Isolierverglasung 3-fach, Ug-Wert 0.6 W/m ² K, Dicke 40 mm ³	-	m ²	110.000	102.000	7.680
05.013	Isolierverglasung 3-fach, ESG/ESG, Ug-Wert 0.6 W/m ² K ³	-	m ²	143.000	135.000	7.680
05.014	Isolierverglasung 3-fach, ESG/ESG/ESG, Ug-Wert 0.6 W/m ² K ³	-	m ²	159.000	151.000	7.680
05.015	Isolierverglasung 3-fach, VSG, Ug-Wert 0.6 W/m ² K ³	-	m ²	168.000	156.000	11.500
05.016	Isolierverglasung 3-fach, ESG/VSG, Ug-Wert 0.6 W/m ² K ³	-	m ²	185.000	174.000	11.500
05.020	Putzträgerplatte kunstharzgebunden 13 mm	6.3	m ²	16.600	16.400	268
05.021	Putzträgerplatte mineralisch gebunden 12.5 mm	14.4	m ²	9.910	9.300	612
05.026	Rahmenverbreiterung, PVC	15.0	m ²	99.700	66.500	33.300
05.027	Rahmenverbreiterung, Spanplatte	17.8	m ²	43.500	35.900	7.590
05.018	Sonnenschutz, Ausstellstoren motorisiert ⁴	-	m ²	150.000	148.000	2.110
05.017	Sonnenschutz, Lamellenstoren motorisiert ⁴	-	m ²	133.000	131.000	1.620
05.019	Sonnenschutz, Rollläden motorisiert ⁴	-	m ²	168.000	167.000	800

Anhang 23 Berechnung CO₂ für Doppelfenster

Fensterrechner

Abmessungen Einheit

Breite der Maueröffnung aussen		3.30	m
Höhe der Maueröffnung aussen		1.25	m

Rahmen

Rahmenmaterial	Aluminium	▼
Montageart	Passmontage	
Anzahl Fensterflügel	2 Flügel	▼

Oberflächenbehandlung Holz- und Holz-Metallfenster

Oberflächenbehandlung	deckend gestrichen	▼
-----------------------	--------------------	---

Verglasung

Isolierverglasung	3-fach, Dicke 40 mm	▼
Material Glasrandverbund	Kunststoff	▼

Nutzung

Falls keine Angaben zu den Wärmedurchgangskoeffizienten gemacht werden können, werden Standardwerte verwendet. Die Standardwerte sind abhängig von der Rahmenart, der Isolierverglasung und des Glasrandverbunds.

Option a: U_w bekannt

Wärmedurchgangskoeffizient Fenster		0.00	W/m ² K
------------------------------------	--	------	--------------------

Option b: U_g, U_r, ψ_g bekannt

Wärmedurchgangskoeffizient Isolierverglasung		0.00	W/m ² K	Standardwert: 0.8 W/m ² K
Wärmedurchgangskoeffizient Fensterrahmen		0.00	W/m ² K	Standardwert: 1.5 W/m ² K
Wärmedurchgangskoeffizient Glasrandverbund		0.00	W/mK	Standardwert: 0.08 W/m ² K

Verwendeter Wärmedurchgangskoeffizient Fenster		1.04	W/m ² K
--	--	------	--------------------

Standort für Heizgradtage ▼

Standort für Heizgradtage	Basel-Binningen	▼	
Heizgradtage		2745	Kelvin * Tage pro Jahr

Heizgradtage 2011 bis 2020 (langjährige Mittelwerte) gemäss SIA 381/3 für verschiedene Standorte abgerufen unter: <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/nebenkostenabrechnungen/heizgradtage-hgt/>

Technologie zur Wärmeerzeugung ▼

Technologie zur Wärmeerzeugung	Wärmepumpe Luft / Wasser (15kW, Altbau, Strom CH)	▼
--------------------------------	---	---

Wärmeverlust durch das Fenster pro Jahr		283	kWh pro Jahr
Wärmeverlust durch das Fenster in 30 Jahren		8'501	kWh in 30 Jahren

Umweltbelastung über Nutzungsdauer von 30 Jahren

Treibhausgasemissionen (THG-E) ▼

Herstellung	571.1 kg CO ₂ -eq/Fenster	
Verglasung	185.3 kg CO ₂ -eq/Fenster	
Rahmen	385.8 kg CO ₂ -eq/Fenster	
Oberflächenbehandlung	0.0 kg CO ₂ -eq/Fenster	<i>nur für Holz- und Holz-Metallfenster ausgewiesen</i>
Nutzung während 30 Jahren	492.0 kg CO₂-eq/Fenster	
Entsorgung	66.0 kg CO ₂ -eq/Fenster	
Total (Herstellung und Entsorgung)	637.0 kg CO₂-eq/Fenster	<i>Resultate auf vier Stellen gerundet</i>
Total (Herstellung, Nutzung, Entsorgung)	1'130.0 kg CO₂-eq/Fenster	

Anhang 24 Zielumfang SQL-Abfrage

SQL-Abfrage in Access

```
1 SELECT Sum([z_gewichtung]*[z_wert]) AS GesamtScore  
2 FROM tbl_zielumfang;
```

Datenblattansicht Access

GesamtScore
1

Anhang 25 Sozialer Nutzen SQL-Abfrage

SQL-Abfrage in Access

```
1 SELECT Sum([s_gewichtung]*[s_wert]) AS GesamtScore  
2 FROM tbl_soziales;
```

Datenblattansicht Access

GesamtScore
0.8

Anhang 26 SQL-Abfrage Umweltfolgekosten

SQL-Abfrage in Access

```

1 SELECT b.bt_id, b.bt_name, IIf(
2   IIf(IsNull(t.bt_typ_nutzungsdauer), 60, t.bt_typ_nutzungsdauer) < 60,
3   1 + Int(59 / IIf(IsNull(t.bt_typ_nutzungsdauer), 60, t.bt_typ_nutzungsdauer)),
4   1
5 ) AS ersatzzyklen, (
6   Sum(
7     IIf(
8       IIf(IsNull(a.co2gesamt), 0, a.co2gesamt) > 0,
9       IIf(IsNull(a.co2gesamt), 0, a.co2gesamt),
10      IIf(
11        (IsNull(r.kb_rohdichteinheit)
12         OR r.kb_rohdichteinheit = ""
13         OR IsNull(r.kb_rohdichte)),
14        b.bt_flaeche
15        * (IIf(IsNull(a.anteil_prozent), 0, a.anteil_prozent) / 100)
16        * IIf(IsNull(k.kb_kgco2etotal), 0, k.kb_kgco2etotal),
17        IIf(
18          IIf(IsNull(r.kb_rohdichteinheit), "", r.kb_rohdichteinheit) = 'kg/m3',
19          b.bt_volumen
20          * (IIf(IsNull(a.anteil_prozent), 0, a.anteil_prozent) / 100)
21          * IIf(IsNull(r.kb_rohdichte), 0, r.kb_rohdichte)
22          * IIf(IsNull(k.kb_kgco2etotal), 0, k.kb_kgco2etotal),
23          b.bt_flaeche
24          * (IIf(IsNull(a.anteil_prozent), 0, a.anteil_prozent) / 100)
25          * IIf(IsNull(r.kb_rohdichte), 0, r.kb_rohdichte)
26          * IIf(IsNull(k.kb_kgco2etotal), 0, k.kb_kgco2etotal)
27        )
28      )
29    )
30  )
31  * IIf(
32    IIf(IsNull(t.bt_typ_nutzungsdauer), 60, t.bt_typ_nutzungsdauer) < 60,
33    1 + Int(59 / IIf(IsNull(t.bt_typ_nutzungsdauer), 60, t.bt_typ_nutzungsdauer)),
34    1
35  )
36 ) AS total_kgco2e, (
37   Sum(
38     IIf(
39       IIf(IsNull(a.co2gesamt), 0, a.co2gesamt) > 0,
40       IIf(IsNull(a.co2gesamt), 0, a.co2gesamt),
41       IIf(
42        (IsNull(r.kb_rohdichteinheit)
43         OR r.kb_rohdichteinheit = ""
44         OR IsNull(r.kb_rohdichte)),
45        b.bt_flaeche
46        * (IIf(IsNull(a.anteil_prozent), 0, a.anteil_prozent) / 100)
47        * IIf(IsNull(k.kb_kgco2etotal), 0, k.kb_kgco2etotal),
48        IIf(
49          IIf(IsNull(r.kb_rohdichteinheit), "", r.kb_rohdichteinheit) = 'kg/m3',
50          b.bt_volumen
51          * (IIf(IsNull(a.anteil_prozent), 0, a.anteil_prozent) / 100)
52          * IIf(IsNull(r.kb_rohdichte), 0, r.kb_rohdichte)
53          * IIf(IsNull(k.kb_kgco2etotal), 0, k.kb_kgco2etotal),
54          b.bt_flaeche
55          * (IIf(IsNull(a.anteil_prozent), 0, a.anteil_prozent) / 100)
56          * IIf(IsNull(r.kb_rohdichte), 0, r.kb_rohdichte)
57          * IIf(IsNull(k.kb_kgco2etotal), 0, k.kb_kgco2etotal)
58        )
59      )
60    )
61  )
62  * IIf(
63    IIf(IsNull(t.bt_typ_nutzungsdauer), 60, t.bt_typ_nutzungsdauer) < 60,
64    1 + Int(59 / IIf(IsNull(t.bt_typ_nutzungsdauer), 60, t.bt_typ_nutzungsdauer)),
65    1
66  )
67  * 0.88
68 ) AS umweltfolgekosten_CHF
69 FROM (((tbl_bauteile AS b INNER JOIN tbl_bauteiltyp AS t ON b.bt_typ_id_ref = t.bt_typ_id) LEFT JOIN tbl_anteile AS a ON t.bt_typ_id = a.bt_typ_id_ref) LEFT JOIN tbl_kbob AS k ON a.kb_id_ref = k.kb_id) LEFT JOIN
70 tbl_rohdichte AS r ON a.kb_id_ref = r.kb_id_ref
71 GROUP BY b.bt_id, b.bt_name, t.bt_typ_nutzungsdauer;

```

Datenblattansicht

bt_id	bt_name	ersatzzyklen	total_kgco2e	umweltfolgekosten_CHF
174	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	2	1264	1112.32
173	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	2	1264	1112.32
175	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	2	1264	1112.32
176	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	2	1264	1112.32
177	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp:	2	1264	1112.32
178	Label_Double Pivot Automa	2	3837.099084192	3376.64719408896
179	Label_Double Pivot Automa	2	3837.099084192	3376.64719408896
51	HEB Träger: Stahlträger 500,€	1	419.240029996817	368.931226397199
64	Familie1: Uprofil 120/55	1	96.8938985136511	85.266630692013

Anhang 27 Access Tabelle «tbl_bauteiltyp»

bt_typ_id	bt_typ_name	bt_typ_rohdichte	bt_typ_einheit	bt_typ_nutzungs	bt_typ_lebens:	bt_typ_urbanemine	bt_typ_einheit
☒ aufkantung.stb	Stahlbetonaufkantung	2.350.00	0.31	60	0.00		87.90 kg
☒ aufkantung.stb.20	Stahlbetonaufkantung 20 cm	2.350.00	160.00	60	0.00		15.00 m2
☒ balken.st.001	Stahlträger	7.850.00	3.05	60	0.00		0.17 kg
☒ bodenplatte.stb	Stahlbetonplatte als Flachfundatic	2.400.00	174.00	60	0.00		88.66 m2
☒ bodenplatte.stb.37	Stahlbetonplatte als Flachfundatic	2.400.00	0.19	60	0.00		0.00 kg
☒ dach.dämmung.001	PUR Dämmschicht 12cm	165.00	16.00	60	0.00		100.00 m2
☒ dach.kies.001	Kiesschicht 12 cm	1.600.00	7.20	60	0.00		30.00 m2
☒ dach.st.001	Trapez Dachtragblech 1 mm	7.850.00	77.00	60	0.00		-110.00 m2
☒ dachabdeckung.st.1	Dachabdeckung Stahl 1cm	7.850.00	3.05	60	0.00		0.17 kg
☒ decke.stb	Decke Stahlbeton	2.400.00	152.00	60	2.000.00		95.41 m2
☒ decke.stb.25	Geschossdecke Stahlbeton 25 cm	2.400.00	152.00	60	2.000.00		10.00 m2
☒ fassade.fp.p120	Fassaden-Stahlsandwichelement	40.00	124.00	60	1.000.00		350.00 m2
☒ fenster.alu.001	Doppelfenster 3.3 x 1m	0.00	3.520.00	30	500.00		20.00 stk
☒ fenster.pvc.001	Fenster PVC 1.1 x 1.4m	0.00	300.00	30	500.00		10.00 stk
☒ fenster.st.001	Doppelfenster 3.3 x 1m	0.00	3.700.00	30	2.000.00		20.00 stk
☒ fenster.st.002	Doppelfenster 3.3 x 2m	0.00	3.520.00	30	2.000.00		40.00 stk
☒ träger.hea	HEA Profil Stahlträger fz	7.850.00	3.05	60	0.00		-110.00 kg
☒ träger.heb	HEM Profil Stahlträger fz	7.850.00	3.05	60	0.00		-110.00 kg
☒ träger.ipe	IPE Profil Stahlträger fz	7.850.00	3.05	60	0.00		-110.00 kg
☒ träger.r	Rechteck Profil Stahlträger fz	7.850.00	3.05	60	0.00		-110.00 kg
☒ träger.u	U Profil Stahlträger fz	7.850.00	3.05	60	0.00		-110.00 kg
☒ tür.h.001	Tür mit Verglasung aus Holz 3x3 m	0.00	5.000.00	30	300.00		67.50 stk
☒ tür.st.001	Aussentüre, 2-flügelig mit Panik-F	0.00	11.970.00	30	300.00		67.50 stk
☒ tür.st.002	Aussentüre, 2-flügelig mit Panik-F	0.00	10.000.00	60	300.00		67.50 stk
☒ wand.stb	Stahlbetonwand	2.400.00	0.26	60	1.000.00		96.50 kg
☒ wand.stb.20	Stahlbetonwand 20 cm	2.400.00	160.00	60	1.000.00		15.00 m2
☒ wand.stb.30	Stahlbetonwand 30 cm	2.350.00	170.00	60	1.000.00		15.00 m2

Anhang 28 Ermittlung der Herstellkosten

Die Herstellkosten werden als Summe der Materialkosten und ergänzender Baunebenkosten, wie Umgebungs- und Vorbereitungsarbeiten, definiert. Zur automatisierten Erfassung der Herstellkosten werden die im BIM-Modell enthaltenen Geometriedaten extrahiert und den entsprechenden Einheitspreisen zugeordnet. Die Einheitspreise wurden aus dem Leistungsverzeichnis entnommen und in der Datenbank den jeweiligen Bauteilen zugewiesen diese sind in Kapitel 5.3.3 beschrieben.

Es wird berücksichtigt, welche Masseinheiten im Revit-Export vorliegen. Hierbei wurden die Einheitspreise aus dem Leistungsverzeichnis den potenziell ausgegebenen Revit-Export-Einheiten pro Bauteil zugeordnet. Stückkosten werden dabei direkt erfasst, während Gesamtkosten auf Stückkosten umgerechnet werden. Für Bauteile, bei denen die Kosten in Kilogramm angegeben werden, wird eine spezifische Rohdichte zugewiesen. Die Gesamt-Herstellkosten werden durch Multiplikation des Bauteilvolumens mit der zugewiesenen Rohdichte und dem entsprechenden Kilopreis berechnet.

Bauteile/ Attribute	Revit IFC Export	Kostenart aus vergangenen Projekten AIB
Wand (bsp. Stahlbeton)	Volumen/Fläche/Länge	Volumen / Fläche
Decken/ Boden /Fundament /Bodenplatten	Volumen/Fläche/Dicke	Volumen / Fläche
Stützen / Balken	Länge/ Volumen	kg
Fenster	Volumen/ Fläche	Stück
Tür	Volumen/ Fläche	Stück
Geländer	Länge	Gesamtkosten

Für die Datenbank wurde entschieden es zu ermöglichen die Bauteile für die drei einheiten möglich zu machen zum berechnen. Somit würde sich für die jeweilig eingetragene Einheit folgende Berechnungsansatz wie in folgender Tabelle.

Einheiten der Bauteilpreise	Berechnungsansatz
Flächenpreis	$m^2 \times \frac{CHF}{m^2}$
Stückpreis	$stk * \frac{CHF}{stk}$
Kilogrammpreis	$m^3 * \frac{kg}{m^3} * \frac{CHF}{kg}$

Für die Berechnung der Herstellkosten wurde festgestellt, dass neben den Materialkosten weitere indirekte Kostenpositionen anfallen, welche überwiegend aus den Bereichen Planung und Montage bestehen. Es wird festgestellt, dass die Materialkosten etwa 85 % der Gesamtkosten ausmachen, während die indirekten Kostenanteile gemäss Leistungsverzeichnis ca. 15 % betragen. Eine direkte Zuweisung der Planungskosten auf einzelne Bauteileinheiten wird als wenig sinnvoll erachtet. Daher wird ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem die fertig berechneten Materialkosten um einen pauschalen Zuschlag von 15 % erweitert werden, um die indirekt zuweisbaren Kosten abzubilden. Dieser Zuschlag setzt sich dabei aus 7 % für Montagearbeiten und 8 % für Planungsleistungen zusammen. Der pauschale Prozentsatz wird zu Beginn der Abfrage als variabler Parameter festgelegt, um bei Bedarf Anpassungen zu ermöglichen. Die so ermittelten Zuschläge werden mit den Materialkosten multipliziert

und zu diesen addiert, um die finalen Herstellkosten zu ermitteln. Dabei wurde folgende SQL-Abfrage erstellt, um die Herstellkosten zu berechnen:

```

1 SELECT b.bt_id, b.bt_name, IIf(t.bt_typ_einheiten='stk',t.bt_typ_einheitspreis,IIf(t.bt_typ_einheiten='kg',b.bt_volumen*t.bt_typ_rodichte*t.bt_typ_einheitspreis,IIf(t.bt_typ_einheiten='m2',b.bt_flaeche*t.bt_typ_einheitspreis,0)) AS Materialkosten, (IIf(t.bt_typ_einheiten='stk',t.bt_typ_einheitspreis,IIf(t.bt_typ_einheiten='kg',b.bt_volumen*t.bt_typ_rodichte*t.bt_typ_einheitspreis,IIf(t.bt_typ_einheiten='m2',b.bt_flaeche*t.bt_typ_einheitspreis,0)))*0.15 AS IndirekteKosten, (IIf(t.bt_typ_einheiten='stk',t.bt_typ_einheitspreis,IIf(t.bt_typ_einheiten='kg',b.bt_volumen*t.bt_typ_rodichte*t.bt_typ_einheitspreis,IIf(t.bt_typ_einheiten='m2',b.bt_flaeche*t.bt_typ_einheitspreis,0)))*1.15 AS Herstellkosten
2 FROM Tbl_bauteiltyp AS t INNER JOIN Tbl_bauteile AS b ON t.bt_typ_id = b.bt_typ_id_ref;
3

```

bt_id	bt_name	Materialkosten	IndirekteKosten	Herstellkosten
172	Bodenplatte: STB 370	32163.62885928	4824.544328892	36988.173188172
179	Label_Double Pivot Automatic Door_HB150-2	11970	1795.5	13765.5
178	Label_Double Pivot Automatic Door_HB150-2	11970	1795.5	13765.5
148	Basiswand: Sandwichfassade (Brucha FP-P120)	10711.227115292	1606.6840672938	12317.911825858
145	Deckensystem: Stahlprofilblech 1 mm	8863.78706367	1329.5680595505	10193.3551232205
150	Basiswand: Sandwichfassade (Brucha FP-P120)	5756.055983432	863.4083975148	6619.4643809468
146	Basiswand: Sandwichfassade (Brucha FP-P120)	4900.88892596	735.13338894	5636.022264854
149	Basiswand: Sandwichfassade (Brucha FP-P120)	4528.02136926	679.203205389	5207.224574649
177	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 2000 x 1400	3520	528	4048
176	FE 2 tlg - DrehKipp mit Stulp: 2000 x 1400	3520	528	4048

Anhang 29 SQL-Abfrage Nutzungskosten

SQL-Abfrage in Access

```

1 SELECT b.bt_id, b.bt_name, t.bt_typ_nutzungsdauer, e.eg_lzm, (
2     IIf(
3         Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten)) = 'stk',
4         t.bt_typ_einheitspreis,
5         IIf(
6             Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten)) = 'kg',
7             CDbl(b.bt_volumen * t.bt_typ_rodichte * t.bt_typ_einheitspreis),
8             IIf(
9                 Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten)) = 'm2',
10                b.bt_flaeche * t.bt_typ_einheitspreis,
11                0
12            )
13         )
14     ) * 1.15 * e.eg_lzm * 60
15 ) AS Nutzungskosten
16 FROM (Tbl_bauteile AS b INNER JOIN Tbl_bauteiltyp AS t ON b.bt_typ_id_ref = t.bt_typ_id) INNER JOIN tbl_ekph_eg AS e ON Left(b.ekph_id_ref, 3) = e.ekph_eg_id;

```

Datenblattansicht

bt_id	bt_name	bt_typ_nutzungs	eg_lzm	Nutzungskosten
172	Bodenplatte: STB 370	90	0.01	22192.9039129032
62	Familie1: Uprofil 120/55	60	0.01	45.4149686908639
45	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	195.228055198088
44	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	192.670233102728
43	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	192.727327345928
42	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	205.025427331209
41	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	205.019717906889
53	Familie1: Uprofil 120/55	60	0.01	50.0983412306852
54	Familie1: Uprofil 120/55	60	0.01	55.0510748511796
55	Familie1: Uprofil 120/55	60	0.01	57.9641994222152
51	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	196.501256821448
56	Familie1: Uprofil 120/55	60	0.01	25.1120818132943
48	HEB Träger: Stahlträger 500,€	60	0.01	191.421971088217

Anhang 30 SQL-Abfrage Entsorgungskosten/Restwerte

SQL-Abfrage in Access

```

1 SELECT b.bt_id, b.bt_name, -IIf(t.bt_typ_einheiten='stk',t.bt_typ_urbanemine/1000,(b.bt_volumen*t.bt_typ_rodichte*t.bt_typ_urbanemine)/1000) AS Entsorgungskosten
2 FROM tbl_bauteile AS b INNER JOIN tbl_bauteiltyp AS t ON b.bt_typ_id_ref = t.bt_typ_id;
3

```

Datenblattansicht

bt_id	bt_name	Entsorgungskosten
172	Bodenplatte: STB 370	-14553.1326044663
181	Deckensystem: Kies 120	-665.435201085777
180	Deckensystem: Wärmedäm	-190.44186421163
148	Basiswand: Sandwichfassade	-157.798391906346

Anhang 31 SQL-Abfrage Gesamtkostenübersicht Bauteile

SQL-Abfrage in Access

```

1 SELECT b.bt_id, b.bt_name, (IIf(Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten))='stk';t.bt_typ_einheitspreis,IIf(Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten))='kg';CDBl(b.bt_volumen*t.bt_typ_rohdichte*t.bt_typ_einheitspreis),IIf(Trim(LCase(t.
bt_typ_einheiten))='m2';b.bt_flaeche*t.bt_typ_einheitspreis,0))) * 1.15 * IIf(60/t.bt_typ_nutzungsdauer=Int(60/t.bt_typ_nutzungsdauer);60/t.bt_typ_nutzungsdauer;Int(60/t.bt_typ_nutzungsdauer)+1)) AS Herstellkosten, e.
eg_lzm, t.bt_typ_nutzungsdauer, ((IIf(Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten))='stk';t.bt_typ_einheitspreis,IIf(Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten))='kg';CDBl(b.bt_volumen*t.bt_typ_rohdichte*t.bt_typ_einheitspreis),IIf(Trim(LCase(t.
bt_typ_einheiten))='m2';b.bt_flaeche*t.bt_typ_einheitspreis,0))) * 1.15 * e.eg_lzm * 60)) AS Nutzungskosten, (IIf(Trim(LCase(t.bt_typ_einheiten))='stk';t.bt_typ_urbanemine;CDBl(b.bt_volumen*t.bt_typ_rohdichte*t.
bt_typ_urbanemine)/1000)*IIf(60/t.bt_typ_nutzungsdauer=Int(60/t.bt_typ_nutzungsdauer);60/t.bt_typ_nutzungsdauer;Int(60/t.bt_typ_nutzungsdauer)+1)) AS Entsorgungskosten, IIf(60/t.bt_typ_nutzungsdauer=Int(60/t.
bt_typ_nutzungsdauer);60/t.bt_typ_nutzungsdauer;Int(60/t.bt_typ_nutzungsdauer)+1)) AS Ersatzzyklen
2 FROM (Tbl_bauteile AS b INNER JOIN Tbl_bauteiltyp AS t ON b.bt_typ_id_ref = t.bt_typ_id) INNER JOIN tbl_ebkph_eg AS e ON Left(b.ebkph_id_ref,3)=e.ebkph_eg_id;
3

```

Anhang 32 SQL-Abfrage zur Ermittlung der Fläche

SQL-Abfrage in Access

```

qry_access_tbl_bauteile_ergänze_flaeche
1 UPDATE tbl_bauteile SET tbl_bauteile.bt_flaeche = bt_volumen/bt_laenge
2 WHERE (((tbl_bauteile.bt_flaeche) Is Null Or (tbl_bauteile.bt_flaeche)=0) And ((tbl_bauteile.bt_laenge)>0) And ((tbl_bauteile.bt_volumen)>0));
3

```

Anhang 33 Referenzierung der Daten in Power BI

