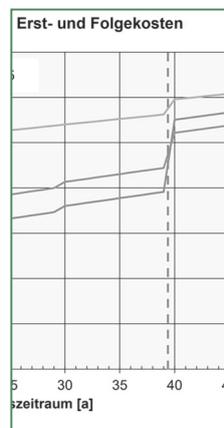
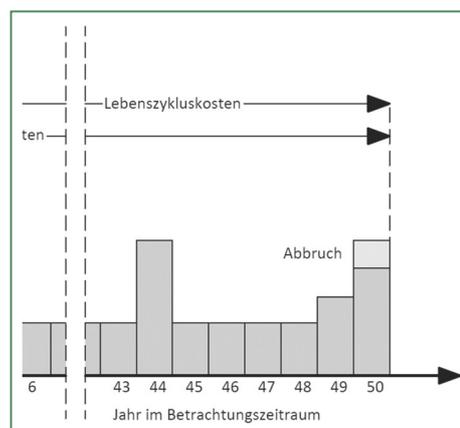
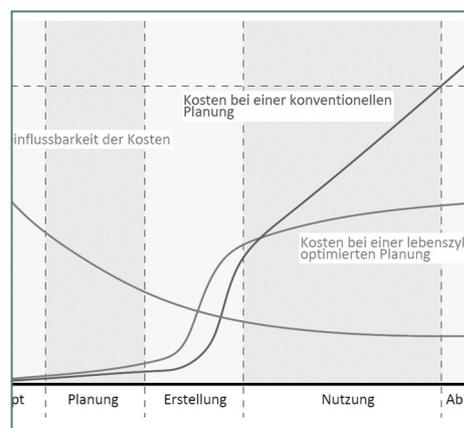
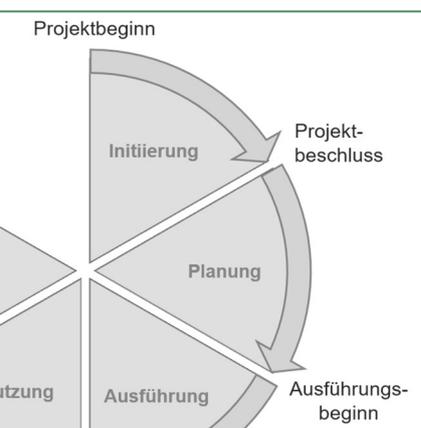


MASTERARBEIT



LEBENSZYKLUSKOSTEN IM EINFAMILIENHAUSBAU BETRACHTUNG DER LEBENSZYKLUSKOSTEN UNTERSCHIEDLICHER AUSSENWANDAUFBAUTEN ANHAND DER ÖNORM B 1801-4:2014

Stefan Hubmann, BSc

Vorgelegt am
 Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Betreuer
 Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler

Mitbetreuender Assistent
 Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Ralph Jakob Stöckl, BSc

Graz am 22. Mai 2021



Stefan Hubmann, BSc

LEBENSZYKLUSKOSTEN IM EINFAMILIENHAUSBAU
Betrachtung der Lebenszykluskosten unterschiedlicher Außen-
wandaufbauten anhand der ÖNORM B 1801-4:2014

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen - Bauwesen

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Christian Hofstadler

Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft

Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Ralph Jakob Stöckl, BSc

Graz, Mai 2021

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am
.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz,
date
(signature)

Anmerkung

In der vorliegenden Masterarbeit wird auf eine Aufzählung beider Geschlechter oder die Verbindung beider Geschlechter in einem Wort zugunsten einer leichteren Lesbarkeit des Textes verzichtet. Es soll an dieser Stelle jedoch ausdrücklich festgehalten werden, dass allgemeine Personenbezeichnungen für beide Geschlechter gleichermaßen zu verstehen sind.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen danken, die mir während meiner Diplomarbeit mit Rat und Tat zur Seite standen.

Für die Betreuung von universitärer Seite bedanke ich mich bei Herrn Assoc. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Christian Hofstadler und Herrn Dipl.-Ing. Dipl.-Ing. Ralph Jakob Stöckl, BSc.

Bedanken möchte ich mich auch bei meinen Freunden und Studienkollegen aus dem Verkehrswesenzeichensaal. Besonders möchte ich mich hier bei Alexander, Christoph, Mario, Mathias und Raphael bedanken. Danke an euch für diese großartige Studienzeit.

Besonderer Dank gebührt auch meiner Familie und meiner Freundin Melina, die mich die gesamte Ausbildungszeit hindurch unterstützt haben.

Kurzfassung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Thema der Lebenszykluskosten von Gebäuden. Konkret wird die Thematik anhand von gängigen Außenwandaufbauten im Einfamilienhausbereich betrachtet. Dabei wird untersucht, welche Außenwandvariante aus ökonomischer Sicht über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren die beste Option darstellt. Weiters wird auf den Zusammenhang zwischen den Erst- und Folgekosten eingegangen. Ziel dieser Arbeit ist es dabei, zu einer ökonomisch gesamtheitlichen Sichtweise von Planern und Bauherren beizutragen.

Im theoretischen Teil dieser Arbeit werden alle notwendigen Grundlagen zum Thema Lebenszykluskosten erarbeitet. Dabei wird auf grundlegende Begrifflichkeiten und allgemeine Regelwerke hinsichtlich der Lebenszykluskostenrechnung sowie den Lebenszyklusphasen eines Gebäudes eingegangen. Weiters werden die Zinsrechnung, sowie die verschiedenen Methoden der Investitionsrechnung anhand von Beispielen genauer erläutert.

Als Vorbereitung für die praktische Anwendung der Lebenszykluskostenrechnung wird auf die theoretische Vorgehensweise eingegangen. Dabei werden die der Berechnung zu Grunde liegenden Annahmen und Rechengänge genau beschrieben.

Der praktische Teil dieser Arbeit beschäftigt sich mit der Anwendung der Lebenszykluskostenrechnung. Anhand eines Musterprojektes werden fünf gängige Außenwandaufbauten im Einfamilienhausbau auf deren Lebenszykluskosten hin untersucht. Dies erfolgt anhand der Barwertmethode laut ÖNORM B 1801-4:2014.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden anschließend im praktischen Teil zusammengefasst und gegenübergestellt.

Dabei stellt sich das monolithische Hochlochziegelmauerwerk mit einer Wanddicke von ca. 54 cm aus ökonomischer Sicht als beste Option dar. Weiters wird eindeutig gezeigt, dass ein Zusammenhang zwischen der zu Beginn getätigten Investition und den daraus resultierenden Folgekosten besteht. Das Inkaufnehmen von höheren Anschaffungskosten trägt in diesem Vergleich zu einer deutlichen Reduzierung der Folgekosten über den Lebenszyklus des Gebäudes bei. Eine weitere Erkenntnis dieser Arbeit stellt der große Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Lebenszykluskosten eines Gebäudes dar. Je höher dieser angenommen wird, desto weniger Einfluss haben weiter in der Zukunft liegende Zahlungen auf die Lebenszykluskosten. Dies kann zu einer Veränderung der Rangfolge hinsichtlich der ökonomisch gesehen besten Variante führen.

Abstract

This master thesis deals with the topic of the life-cycle-costs of buildings. Specifically, the topic is considered based on common exterior wall structures in the single-family house sector. It is examined which exterior wall variant represents the best option from an economic point of view over the observation period of 50 years. Furthermore, the relationship between the initial and subsequent costs is examined. The aim of this work is to contribute to an economically holistic view of planners and builders. The aim is to move away from minimizing construction costs and towards optimizing life cycle costs.

In the theoretical part of this thesis, all necessary basics on the topic of life cycle costs are elaborated. Thereby, basic terms and general regulations regarding life cycle costing as well as the life cycle phases of a building are discussed. Furthermore, the interest calculation, as well as the different methods of the investment calculation, are explained in more detail based on examples.

In preparation for the practical application of life cycle costing, the theoretical procedure is described. The assumptions and calculation procedures on which the calculation is based are described in detail.

The practical part of this paper deals with the application of life cycle costing. Based on a sample project, five common exterior wall structures in single-family house construction are examined regarding to their life cycle costs. This is done using the net present value method according to ÖNORM B 1801-4:2014.

The results of this investigation are then summarized and compared in the practical part.

The monolithic vertically perforated brick masonry with a total thickness of 54 cm turns out to be the best option from an economic point of view. Furthermore, it is clearly shown that there is a correlation between the investment made at the beginning and the resulting follow-up costs. In this comparison, accepting higher acquisition costs contributes to a significant reduction in follow-up costs over the life cycle of the building. Another finding of this work is the great influence of the assumed imputed interest rate on the life cycle costs of a building. The higher the assumed interest rate, the less the influence of payments further in the future on the life cycle costs. This can lead to a change in the ranking of the economically best option.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Situationsanalyse	2
1.2	Zielsetzung und Forschungsfrage.....	3
1.3	Vorgehensweise	4
1.4	Gliederung der Arbeit.....	5
2	Theoretische Grundlagen	8
2.1	Begriffe und Definitionen.....	8
2.2	Historische Entwicklung der LZK	9
2.3	Allgemeine Regelwerke	10
2.3.1	ÖNORM B 1801-1:2015	10
2.3.2	ÖNORM B 1801-2:2011	12
2.3.3	ÖNORM B 1801-4:2014	13
2.3.4	ISO 15686-5:2017	14
2.3.5	EN 15643-4:2012	15
2.3.6	DIN 18960:2008	16
2.4	Lebenszyklusphasen eines Bauprojektes	17
2.4.1	Initiierungsphase	17
2.4.2	Planungsphase	18
2.4.3	Ausführungsphase	19
2.4.4	Nutzungsphase	19
2.4.5	Rückbauphase	19
2.5	Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten.....	20
3	Lebenszykluskostenberechnung	22
3.1	Definition und Abgrenzung.....	22
3.2	Zielsetzung	23
3.3	Betrachtungszeitraum.....	23
3.4	Systemgrenzen.....	25
3.5	Prognoseunsicherheiten	25
3.5.1	Reduktion der Ergebnisrelevanz.....	26
3.5.2	Dokumentation des Grades der Unsicherheit	26
3.6	Methoden der Investitionsrechnung	28
3.6.1	Statische Investitionsrechnung	28
3.6.2	Dynamische Investitionsrechnung	30
3.7	Zinsrechnung.....	31
3.7.1	Aufzinsung	31
3.7.2	Abzinsung	32
3.7.3	Bestimmung des Kalkulationszinssatzes (risikoloser Zinssatz) ..	33
3.8	Dynamische Investitionsrechnungsarten.....	34
3.8.1	Kapitalwertmethode.....	34
3.8.2	Annuitätenmethode	37
3.8.3	Dynamische Amortisationsrechnung	38
3.8.4	Interne Zinsfuß-Methode	41
3.9	Lebenszykluskostenberechnung laut ÖNORM B1801-4:2014.....	44
3.9.1	Nominalwertmethode	44
3.9.2	Barwertmethode (Discounted Cash Flow Method).....	44
3.9.3	Abschreibung und Finanzierung	46

4	Vorgehensweise zur Lebenszykluskostenermittlung	47
4.1.1	Errichtungskosten	47
4.1.2	Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskosten.....	48
4.1.3	Kosten durch Wärmeenergieverluste.....	52
4.1.4	Abbruch- und Entsorgungskosten	57
4.1.5	Preissteigerung und Kalkulationszinssatz.....	57
5	Praktische Anwendung der LZK-Rechnung	58
5.1	Projektvorstellung	58
5.2	Rahmenbedingungen	59
5.3	Vorstellung der Außenwandaufbauten	59
5.3.1	Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol	60
5.3.2	Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk	63
5.3.3	Stahlbetonmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle	65
5.3.4	Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade	68
5.3.5	Massivholzkonstruktion mit vorgehängter Fassade.....	70
6	Auswertung und Interpretation	72
6.1	Berechnungsergebnisse	72
6.1.1	Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol	72
6.1.2	Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk	73
6.1.3	Stahlbetonmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle	74
6.1.4	Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade	75
6.1.5	Massivholzkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade	76
6.1.6	Zusammenstellung der Barwerte.....	77
6.2	Gegenüberstellung der Ergebnisse.....	79
6.2.1	Errichtungskosten	79
6.2.2	Folgekosten	80
6.2.3	Lebenszykluskosten	81
6.3	Vergleich zwischen Erst- und Folgekosten.....	84
6.4	Sensitivitätsanalyse durch Variation des Kalkulationszinssatzes.....	86
7	Zusammenfassung	90
7.1	Resümee	90
7.2	Handlungsempfehlungen und Ausblick	92
A.1	Anhang	94
A.1.1	Dokumentation Barwertberechnung – AW 01	95
A.1.2	Dokumentation Barwertberechnung – AW 02	97
A.1.3	Dokumentation Barwertberechnung – AW 03	99
A.1.4	Dokumentation Barwertberechnung – AW 04	101
A.1.5	Dokumentation Barwertberechnung – AW 05	103
A.1.6	Baupreisindex.....	105
A.1.7	Umlaufgewichtete Durchschnittsrendite von Bundesanleihen	106
A.1.8	Mittlere Außentemperatur in der Heizperiode.....	107
A.1.9	K7-Blatt – Abbruch u. Erneuerung Fassade – AW 01	108
A.1.10	K7-Blatt – Abbruch u. Erneuerung Fassade – AW 03.....	109
A.1.11	Entsorgungskosten	110

Literaturverzeichnis	111
7.3 Bücher.....	111
7.4 Lehrunterlagen	112
7.5 Fachartikel.....	112
7.6 Normen	112
7.7 Internetquellen.....	113

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Ablaufschema – Teil 1	6
Abb. 1.2	Ablaufschema – Teil 2	7
Abb. 2.1	Historische Entwicklung „whole life-cycle costing“	10
Abb. 2.2	Planungssystem nach ÖNORM B1801-1:2015	11
Abb. 2.3	Kostengruppen	12
Abb. 2.4	Zusammenhang von Errichtungs-, Folge- und Lebenszykluskosten	12
Abb. 2.5	Lebenszykluskosten	13
Abb. 2.6	Kostenstruktur	14
Abb. 2.7	Arbeitsbereich „Nachhaltigkeit von Gebäuden“	15
Abb. 2.8	Lebenszyklus eines Bauprojektes	17
Abb. 2.9	Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten	20
Abb. 2.10	Zusammenhang Anschaffungs- u. Folgekosten	21
Abb. 3.1	Abgrenzung LZK u. GLZK	22
Abb. 3.2	Auswirkungen des Kalkulationszinssatzes und Betrachtungszeitraumes auf die LZK.....	24
Abb. 3.3	Histogramm - Kapitalwert	27
Abb. 3.4	Investitionsrechnungsarten	28
Abb. 3.5	Aufzinsung einer Zahlung	31
Abb. 3.6	Abzinsung einer Zahlung	32
Abb. 3.7	Graphische Ermittlung – interner Zinsfuß.....	43
Abb. 3.8	Lebenszykluskosten als Kapitalfluss	45
Abb. 3.9	Lebenszykluskosten mit Abschreibung und Finanzierung	46
Abb. 4.1	Technische Nutzungsdauer.....	48
Abb. 4.2	Einflussfaktoren - technische Nutzungsdauer	49
Abb. 4.3	Überblick – Instandhaltungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen.....	51
Abb. 4.4	Klima Atlas Kärnten – Heiztage	54
Abb. 4.5	Temperaturregionen Österreich	54
Abb. 4.6	Durchschnittlicher Gesamtstrompreis in Österreich	56
Abb. 5.1	Ansicht Süd - Mustergebäude	58
Abb. 5.2	Hochlochziegel mit Wärmedämmverbundsystem.....	60
Abb. 5.3	Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk.....	63
Abb. 5.4	Stahlbetonmauerwerk mit WDVS aus Mineralwolle	65
Abb. 5.5	Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade.....	68
Abb. 5.6	Massivholzkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade ..	70
Abb. 6.1	Lebenszykluskosten AW 01 -Aufteilung der Barwerte	73
Abb. 6.2	Lebenszykluskosten AW 02 -Aufteilung der Barwerte	74
Abb. 6.3	Lebenszykluskosten AW 03 -Aufteilung der Barwerte	75
Abb. 6.4	Lebenszykluskosten AW 04 -Aufteilung der Barwerte	76

Abb. 6.5	Lebenszykluskosten AW 05 -Aufteilung der Barwerte	77
Abb. 6.6	Übersicht der LZK als Barwerte und Zeitpunkt des Anfallens.....	78
Abb. 6.7	Gegenüberstellung der Errichtungskosten	79
Abb. 6.8	Gegenüberstellung der Folgekosten.....	80
Abb. 6.9	Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten.....	81
Abb. 6.10	Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten inkl. Kostenkomponenten.....	83
Abb. 6.11	Vergleich Erst- u. Folgekosten [€/m ²]	85
Abb. 6.12	Kostenverlauf	86
Abb. 6.13	Sensitivitätsanalyse - Kalkulationszinssatz.....	87

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Arten der Nutzungskostenermittlung	16
Tabelle 3.1	Angebote - Kostenvergleichsrechnung.....	30
Tabelle 3.2	Amortisationsrechnung - Ausgangssituation	39
Tabelle 3.3	Amortisationsrechnung - Einzahlungsüberschüsse	40
Tabelle 3.4	Amortisationsrechnung – Projekt A	40
Tabelle 3.5	Amortisationsrechnung – Projekt B	41
Tabelle 3.6	Barwert Versuchszinssatz p1	42
Tabelle 3.7	Barwert Versuchszinssatz p2	42
Tabelle 4.1	Koeffizienten des Regressionsmodells	55
Tabelle 4.2	Preissteigerung und Kalkulationszinssatz	57
Tabelle 5.1	Errichtungskosten AW 01 – Preisbasis 2020.....	60
Tabelle 5.2	Instandhaltung innen AW 01 – Preisbasis 2020	61
Tabelle 5.3	Instandhaltung außen AW 01 – Preisbasis 2020.....	61
Tabelle 5.4	Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 01 – Preisbasis 2020.....	62
Tabelle 5.5	Kosten durch Wärmeverluste AW 01 – Preisbasis 2020	62
Tabelle 5.6	Errichtungskosten AW 02 – Preisbasis 2020.....	63
Tabelle 5.7	Instandhaltung innen AW 02 – Preisbasis 2020	64
Tabelle 5.8	Instandhaltung außen AW 02 – Preisbasis 2020.....	64
Tabelle 5.9	Kosten durch Wärmeverluste AW 02 – Preisbasis 2020	65
Tabelle 5.10	Errichtungskosten AW 03 – Preisbasis 2020.....	66
Tabelle 5.11	Instandhaltung innen AW 03 – Preisbasis 2020	66
Tabelle 5.12	Instandhaltung außen AW 03 – Preisbasis 2020.....	66
Tabelle 5.13	Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 03 – Preisbasis 2020.....	67
Tabelle 5.14	Kosten durch Wärmeverluste AW 03 – Preisbasis 2020	67
Tabelle 5.15	Errichtungskosten AW 04 – Preisbasis 2020.....	69
Tabelle 5.16	Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 04 – Preisbasis 2020.....	69
Tabelle 5.17	Kosten durch Wärmeverluste AW 04 – Preisbasis 2020	69
Tabelle 5.18	Errichtungskosten AW 05 – Preisbasis 2020.....	71
Tabelle 5.19	Instandhaltung außen AW 05 – Preisbasis 2020.....	71
Tabelle 5.20	Kosten durch Wärmeverluste AW 05 – Preisbasis 2020	71
Tabelle 6.1	Lebenszykluskosten AW 01	73
Tabelle 6.2	Lebenszykluskosten AW 02	74
Tabelle 6.3	Lebenszykluskosten AW 03	75
Tabelle 6.4	Lebenszykluskosten AW 04	76
Tabelle 6.5	Lebenszykluskosten AW 05	77
Tabelle 6.6	Rangfolge	81
Tabelle 6.7	Vergleich Erst- u. Folgekosten [€/m ²]	85
Tabelle 6.8	Barwerte der LZK in Abhängigkeit des Kalkulationszinssatzes	89

Abkürzungsverzeichnis

LZK	Lebenszykluskosten
LCC	Life Cycle Cost
WLC	Whole Life Cost
ERK	Errichtungskosten
OFK	Objektfolgekosten
ONK	Objektnutzungskosten
AW	Außenwand
JAZ	Jahresarbeitszahl
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
EPS	Expandiertes Polysterol
IBO	Institut für Baubiologie und – Ökologie
OSB	oriented strand board
KLH	Kreuzlagenholz
UDRB	Umlaufgewichtete Durchschnittsrendite von Bundesanleihen

1 Einleitung

Betrachtet man das sozialpsychologische Modell des US-amerikanischen Psychologen Abraham H. Maslow, stellt das Sicherheitsbedürfnis nach den physiologischen Bedürfnissen wie Essen, Trinken und Schlafen, das zweitwichtigste Grundbedürfnis des Menschen dar.¹

Eine Wohnung bzw. Unterkunft ist ein zentraler Punkt, um dieses Sicherheitsbedürfnis des Menschen zu erfüllen. Diese sorgt für Wohlbefinden und dient als Schutz vor äußeren Einflüssen. Sie dient aber auch als Raum für persönliche Gegenstände und schafft eine Möglichkeit der Selbstverwirklichung. Weiters ist ein fixer Wohnsitz in der heutigen Zeit eine wichtige Voraussetzung für die Teilnahme am gesellschaftlichen Leben.

Laut aktuellen Studien stellt das Wohnen im Eigenheim nach wie vor die beliebteste Wohnform in Österreich dar. 60 % der Österreicher wünschen sich Eigentum, 41 % davon Hauseigentum.²

Meist ist mit der Entscheidung zum Bau eines Hauses auch die größte Investition im Leben von privaten Bauherren verbunden. Um solch ein Vorhaben langfristig finanziell leistbar zu machen, ist es allerdings notwendig, nicht nur die Errichtungskosten, sondern auch alle Kosten, die nach der Fertigstellung über die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes anfallen, zu berücksichtigen.³

Laufend ansteigende Nutzungskosten durch stetige Erhöhungen der Preise für Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung sowie der Versorgung mit Energie rücken die Thematik des lebenszyklusorientierten Planen und Bauens immer mehr in das öffentliche Interesse. Die Berechnung der Lebenszykluskosten und die Darstellung der Kostenentwicklung über einen definierten Betrachtungszeitraum stellt ein wichtiges Hilfsmittel dar, um diese Folgekosten bereits in den frühen Projektphasen berücksichtigen zu können.⁴

Da der Bauherr nicht nur Nutzer des Gebäudes ist, sondern gleichzeitig auch Investor, können die gewonnenen Erkenntnisse für strategische Entscheidungen genutzt werden und dazu beitragen, die langfristig kosteneffektivste Alternative zu finden.⁵

¹ Vgl. MASLOW, A.H.: Motivation und Persönlichkeit. S.49-52.

² Vgl. o. V.: Wohnstudie 2016: So ist Wohnen für junge Menschen kaum noch leistbar. <https://newsroom.spar-kasse.at/wohnstudie-2016-so-ist-wohnen-fuer-junge-menschen-kaum-noch-leistbar>. Datum des Zugriffs: 16.09.2020.

³ Vgl. IPSER, C.: Lebenszykluskostenbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 5.

⁴ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszykluskosten von Immobilien. S.2-3.

⁵ Vgl. IPSER, C.: Lebenszykluskostenbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 9.

1.1 Situationsanalyse

In der Planungsphase findet im Bereich des Einfamilienhausbaus im Regelfall eine alleinige Fokussierung auf die Errichtungskosten statt. Auf Basis der Entwurfs- bzw. Einreichplanung lässt sich aufgrund von Erfahrungswerten im Unternehmen bereits in einer sehr frühen Projektphase eine genaue Kostenberechnung durchführen. Sind die Planung und die anschließende Ausführung abgeschlossen, erfolgt die Übergabe an den Bauherren. Ab diesem Zeitpunkt gilt das Projekt für das planende bzw. ausführende Unternehmen als beendet.

Betrachtet man allerdings die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes, stellt diese Phase nur einen Bruchteil des gesamten zu betrachtenden Zeitraums dar. Die Nutzungsphase ist um ein Vielfaches länger als die Planungs- bzw. Errichtungsphase. Entsprechend hoch sind auch die Kosten für den Betrieb und die Erhaltung des Gebäudes. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung, dass bei der Entscheidung zum Bau nicht nur die Errichtungskosten, sondern auch die Folgekosten eines Gebäudes berücksichtigt werden.

Diese Folgekosten, die erst nach der Errichtung des Gebäudes entstehen, werden laut ÖNORM B 1801-2:2011 als Objektfolgekosten bezeichnet. Objektfolgekosten entstehen zum Beispiel durch den Betrieb des Gebäudes, wie der Reinigung, der Ver- und Entsorgung oder der Verwaltung. Weiters können im Laufe der Zeit Kosten für größere Instandsetzungsarbeiten oder Umbaumaßnahmen entstehen. Schlussendlich ist bei jedem Gebäude am Ende einer jeden Nutzungsphase zusätzlich noch mit Abbruch- bzw. Entsorgungskosten zu rechnen.⁶

Privaten Bauherren fehlt in der Regel das Bewusstsein für diese sogenannten Objektfolgekosten. Ihnen ist nicht bewusst, welche Auswirkungen die Planung und Produktauswahl auf die Lebenszykluskosten ihres Gebäudes hat. Eine Lebenszykluskostenberechnung kann als Hilfsmittel dienen, um unterschiedliche Bauweisen miteinander zu vergleichen und somit eine Entscheidungsgrundlage für die Investition zu schaffen. In den frühen Projektphasen getätigte Planungsentscheidungen haben langfristige und kostenintensive Auswirkungen auf die Objektfolgekosten. Den Zusammenhang von getätigten Planungsentscheidungen und der Produktauswahl mit daraus resultierenden Folgekosten zu erfassen und zu bewerten, stellt nicht fachkundigen Personen vor eine kaum lösbare Aufgabe.

⁶ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B1801-2: Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S.6

1.2 Zielsetzung und Forschungsfrage

Die Aufgabenstellung dieser Arbeit wird in Muss-, Soll-, Kann- und Nicht-Ziele untergliedert.

Muss-Ziel der gegenständlichen Untersuchung ist es, die finanziellen Auswirkungen von gewissen Planungsentscheidungen in den frühen Projektphasen auf die Lebenszykluskosten eines Gebäudes darzustellen. Konkret soll dies am Beispiel von gängigen Außenwandaufbauten im Einfamilienhausbereich untersucht werden. Hierfür wird eine Lebenszykluskostenberechnung auf Basis fünf unterschiedlicher Außenwandaufbauten durchgeführt. Das Ergebnis der Untersuchung soll aufzeigen, welche Außenwandvariante aus ökonomischer Sicht die beste Option darstellt.

Das Soll-Ziel umfasst die Darstellung des Zusammenhangs von Errichtungskosten und den daraus resultierenden Folgekosten. Dies soll das Einsparungspotenzial von gewissen Planungsentscheidungen aufzeigen und so zu einem Umdenken in der Planungsphase beitragen.

Die Variation des Kalkulationszinssatzes und das Untersuchen der Auswirkungen dieser Variation auf das Endergebnis wird als Kann-Ziel betrachtet.

Zu den Nicht-Zielen dieser Arbeit gehören die Betrachtung von architektonischen Ansprüchen oder ökologischen Gesichtspunkten. Es sollen lediglich ökonomische Kriterien berücksichtigt werden. Weiters sollen lediglich gängige Wandaufbauten im Einfamilienhausbereich untersucht werden. Andere Fassadenarten, wie z. B. Glas oder Paneel Fassaden, welche im Büro oder Industriebau eingesetzt werden, fließen nicht in diese Betrachtung ein.

Um die Ziele dieser Masterarbeit zu erreichen werden dementsprechend folgende Forschungsfragen formuliert:

Welche der untersuchten Varianten stellt aus ökonomischer Sicht die beste Option dar?

Welcher Zusammenhang lässt sich zwischen Erst- und Folgekosten ableiten?

Welchen Einfluss nimmt der Kalkulationszinssatz auf das Ergebnis?

1.3 Vorgehensweise

Anschließend an die Zielsetzung und Forschungsfrage wird nun die Forschungsmethodik erläutert. Hier wird beschrieben, wie konkret wissenschaftlich verwertbare Ergebnisse erzielt werden.

Um die Fragestellung dieser Masterarbeit beantworten zu können, werden die Lebenszykluskosten fünf gängiger Außenwandaufbauten im Einfamilienhausbereich untersucht. Basis für die Berechnung stellt ein Mustergebäude dar, welches im Jahr 2020 in Klagenfurt am Wörthersee errichtet wurde. Mittels der Barwertmethode laut ÖNORM B 1801-4:2014 werden die Lebenszykluskosten für die untersuchten Wandaufbauten ermittelt. Bei den untersuchten Varianten handelt es sich um solche, welche im Einfamilienhausbau häufig zur Anwendung kommen. Um einen Vergleich zwischen Massiv- und Holzbau herstellen zu können, werden sowohl Tragkonstruktionen in Ziegel bzw. Betonbauweise als auch Holzkonstruktionen untersucht.

Um zunächst die Errichtungskosten der einzelnen Varianten ermitteln zu können und somit deren Auswirkungen auf die LZK zu untersuchen, werden interne Kalkulationsansätze eines mittelständischen Generalunternehmers aus der Steiermark, welcher vorwiegend im Einfamilienhausbau tätig ist, verwendet. Preisbasis bilden dabei Jahrespreisvereinbarungen aus dem Jahr 2020.

Instandhaltungs- bzw. Sanierungsintervalle in Bezug auf Oberflächen und Fassadenkonstruktionen werden anhand von Literaturrecherchen ermittelt. Die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Bauteile ergeben sich durch Leistungsansätze aus der Literatur sowie Preisangaben von Entsorgungsunternehmen.

Die entstehenden Kosten aufgrund von Transmissionswärmeverlusten werden auf Basis der unterschiedlichen Wärmedurchgangskoeffizienten der untersuchten Außenwandaufbauten sowie den Kosten für die Wärmeenergie berechnet.

Die Berechnungsergebnisse der unterschiedlichen Varianten werden anschließend gegenübergestellt und analysiert. Aus den Ergebnissen der Gegenüberstellung wird eine Rangfolge ermittelt. Aus dieser Rangfolge soll hervorgehen, welche Variante die ökonomisch gesehen beste Lösung darstellt.

Weiters wird auf den Zusammenhang zwischen Investitions- und Folgekosten eingegangen. Dies soll dazu beitragen, eine fundierte Aussage darüber treffen zu können, ob jener Wandaufbau mit den geringsten Errichtungskosten tatsächlich höhere Folgekosten verursacht als jener mit den höchsten Erstkosten.

Abschließend wird auf den Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Lebenszykluskosten genauer eingegangen.

1.4 Gliederung der Arbeit

In Kapitel 1 dieser Arbeit erfolgt zunächst eine kurze Einführung in das Themengebiet. Es wird die Relevanz der Thematik erläutert sowie eine Situationsanalyse durchgeführt.

Um frühzeitig ein Verständnis zu vermitteln, welche Zielsetzung diese Arbeit verfolgt, werden aufbauend auf die Situationsanalyse, die Ziele dieser Arbeit erläutert und die Forschungsfragen formuliert. Anschließend wird im Abschnitt „Forschungsmethodik“ konkret beschrieben, wie wissenschaftliche Ergebnisse erzielt werden. Abschließend wird die Gliederung der Arbeit in bildlicher und schriftlicher Form dargestellt

Das zweite Kapitel soll dazu dienen, den Lesern ein grundlegendes Wissen für diese Arbeit zu vermitteln, dazu werden theoretische Grundlagen zum Themengebiet erarbeitet. Begriffsdefinitionen werden geklärt und die grundlegenden Regelwerke werden vorgestellt. Weiters wird tiefer auf die Entstehung und die Beeinflussbarkeit von Lebenszykluskosten sowie den einzelnen Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes eingegangen.

Zum Abschluss des theoretischen Teils dieser Arbeit wird im dritten Kapitel das Thema der Lebenszykluskostenberechnung behandelt. Als Basis für den praktischen Teil der Arbeit werden die grundlegenden Berechnungsmethoden vorgestellt. Dabei wird tiefer auf die Zinsrechnung sowie die Investitionsrechnung eingegangen.

In Kapitel 4 wird die genaue Vorgehensweise für die praktische Anwendung der Lebenszykluskostenberechnung beschrieben. Es werden die der Berechnung zu Grunde liegenden Annahmen und Rechenvorgänge genau erläutert.

Kapitel 5 beschäftigt sich mit der praktischen Anwendung der Lebenszykluskostenberechnung. Zunächst wird das Musterprojekt vorgestellt, auf welchem die Berechnungen beruhen. Weiters werden die angenommenen Rahmenbedingungen für die Berechnung beschrieben. Anschließend erfolgt die Vorstellung der unterschiedlichen Ausführungsvarianten für die Lebenszyklusbetrachtung. Auf Basis dieser unterschiedlichen Ausführungsvarianten wird eine dynamische Lebenszykluskostenberechnung, mittels der Barwertmethode laut ÖNORM B 1801-4:2014 durchgeführt.

In Kapitel 6 werden die Berechnungsergebnisse für die untersuchten Varianten präsentiert. Es erfolgt eine Gegenüberstellung und Interpretation. Weiters wird auf den Zusammenhang zwischen Erst- und Folgekosten sowie den Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Lebenszykluskosten eingegangen.

Im abschließenden Kapitel 7 erfolgt eine Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Arbeit und es wird ein Resümee gezogen.

Um den Lesern ein klares Bild bezüglich des Aufbaus dieser Arbeit zu geben, wird in Abb. 1.1 und Abb. 1.2 der Ablauf nochmals visuell dargestellt.

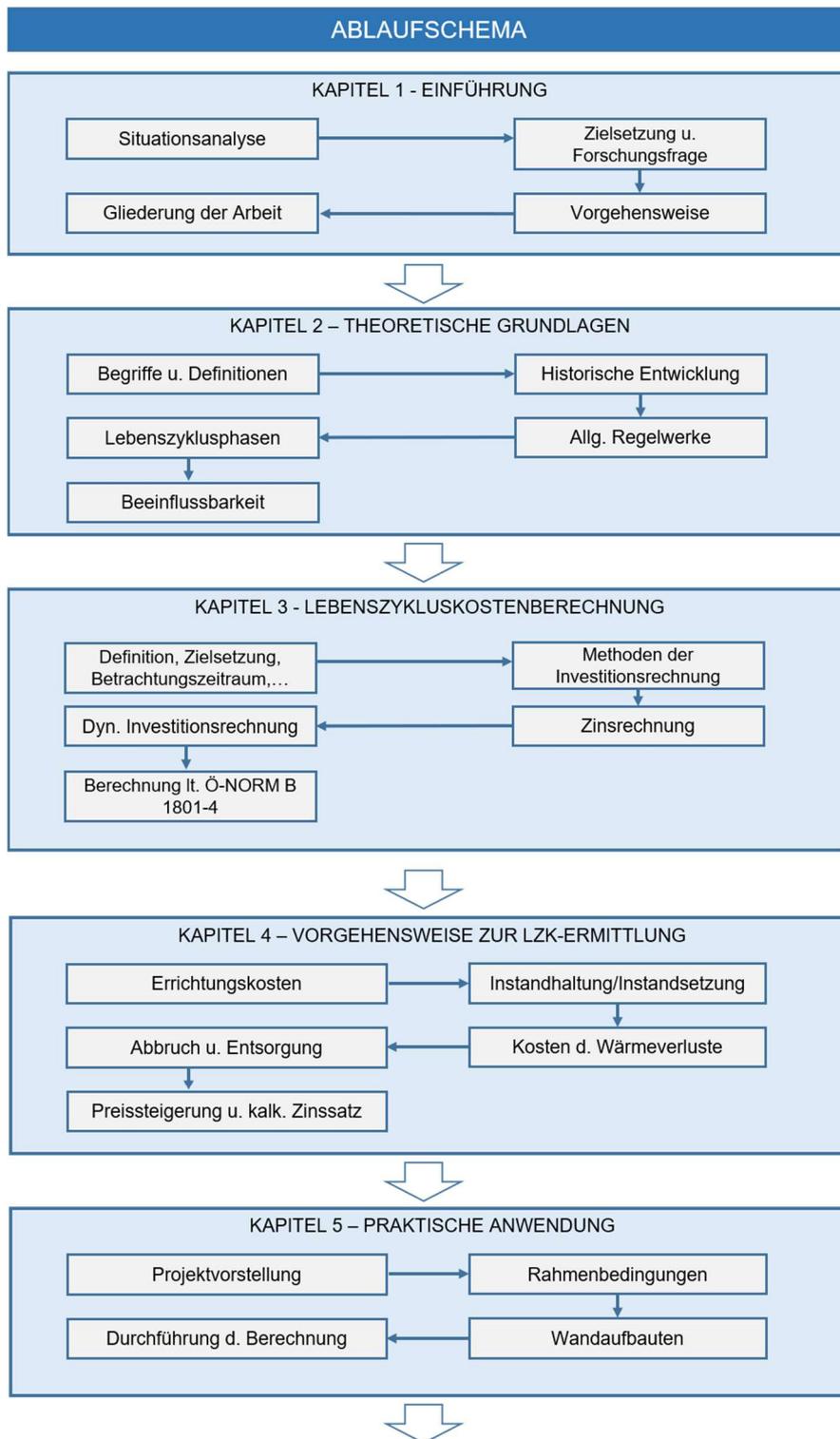


Abb. 1.1 Ablaufschema – Teil 1

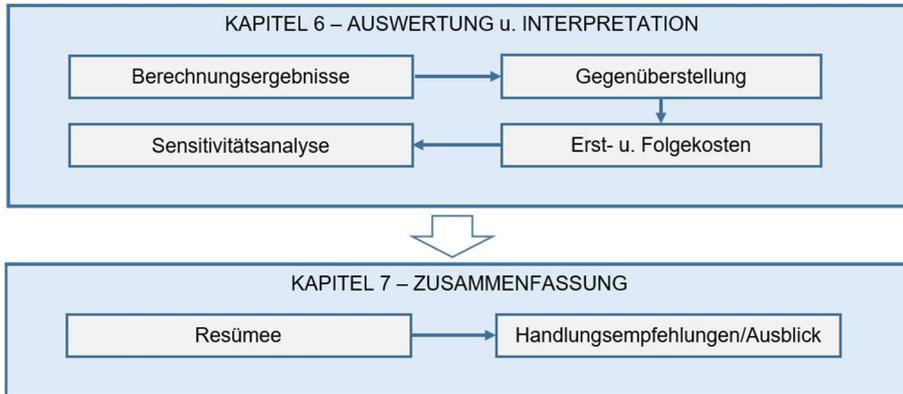


Abb. 1.2 Ablaufschema – Teil 2

2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel soll dazu dienen, den Lesern ein grundlegendes Wissen zum Themengebiet zu vermitteln und so zum besseren Verständnis dieser Arbeit beitragen. Hierfür werden theoretische Grundlagen zur Thematik anhand der bestehenden Literatur erarbeitet. Begriffsdefinitionen werden geklärt, es wird ein Einblick in die historische Entwicklung von Lebenszykluskostenbetrachtungen gegeben und grundlegende Regelwerke werden vorgestellt. Weiteres wird tiefer auf die Entstehung und die Beeinflussbarkeit von Lebenszykluskosten sowie den einzelnen Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes eingegangen.

2.1 Begriffe und Definitionen

Zum Themengebiet der Lebenszykluskosten gibt es sowohl im deutschsprachigen Raum als auch im nicht deutschsprachigen Ausland eine große Anzahl von unterschiedlichen Begrifflichkeiten. Um in dieser Arbeit ein einheitliches Verständnis zu schaffen und Fehlinterpretationen zu vermeiden, werden zunächst einige dieser Begriffe erläutert. Die nachstehende Aufzählung hat keinen Anspruch auf Vollständigkeit, es soll lediglich ein Überblick über die wichtigsten Begriffe und deren Definition gegeben werden.

Lebenszyklus: Alle miteinander verbundenen Phasen über die gesamte Lebensdauer eines Gegenstandes.⁷

Kosten: Der in Geldeinheiten bewertete Verzehr von wirtschaftlichen Gütern zur Erstellung von Sach- und Dienstleistungen. Diese werden auf Basis des entstandenen Aufwands hergeleitet.⁸

Gewinn: Die Differenz aus erzielten Erträgen und entstandenen Aufwendungen.⁹

Rentabilität: Das Verhältnis von Gewinn zu dem eingesetzten Kapital.¹⁰

Amortisationszeit: Die Zeitdauer, bis die Summe der Einzahlungsüberschüsse eines Investitionsobjektes gleich der Anschaffungsauszahlung entspricht.¹¹

Lebenszykluskosten (LZK): Summe der Errichtungskosten und der Objektfolgekosten eines Gebäudes.¹²

⁷ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: EN 15643-4:2012 – Nachhaltigkeit von Bauwerken–Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken. S.12.

⁸ Vgl. WEBER, J.: Kosten. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kosten>. Datum des Zugriffs: 14.11.2020

⁹ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 8.

¹⁰ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 8.

¹¹ Vgl. WEBER, J.: Amortisationsdauer. <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/amortisationsdauer>. Datum des Zugriffs: 06.12.2020

¹² Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B1801-2: Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S.4.

Life Cycle Cost (LCC): Gleichzustellen mit LZK.¹³

Whole Life Cost (WLC): Gesamtlebenszykluskosten berücksichtigen zusätzlich erwirtschaftete Einnahmen z. B. aus einer Vermietung, sowie Kosten, welche nicht im direkten Zusammenhang mit der Errichtung stehen und äußere Einflüsse auf die Kosten.¹⁴

Errichtungskosten (ERK): Summe aller Kosten, die für die Errichtung des Gebäudes anfallen, exklusiver der Kosten für den Baugrund.¹⁵

Objektfolgekosten (OFK): Summe der Nutzungskosten des Objektes inkl. der Kosten für den Abbruch und der Entsorgung.¹⁶

Objektnutzungskosten (ONK): Summe aller Kosten die während der Nutzung des Objektes anfallen, wie z. B. für den Gebäudebetrieb oder auch die Instandsetzung.¹⁷

2.2 Historische Entwicklung der LZK

Vor den 1970er-Jahren wurden Investitionsentscheidungen in der Bauindustrie ausschließlich auf Grundlage der anfallenden Investitionskosten getroffen. In anderen Industriezweigen wurde bereits damals die Meinung vertreten, dass es leichtsinnig sei, Entscheidungen ausschließlich aufgrund des Kapitalaufwandes zu treffen. Es wurde die Ansicht vertreten, dass durch möglicherweise höhere Anfangsinvestitionen auf lange Sicht im Vergleich zur billigeren Alternative erhebliche Kosteneinsparungen erzielt werden könnten. Diese Denkweise wurde in den 1960er-Jahren als „Terotechnology“ bekannt und markierte die Anfänge der Gesamtlebenszykluskostentheorie. In der Baubranche wurde diese Denkweise allerdings aufgrund von fehlenden Daten und mangeltem Interesse der Kapitalgeber für entstehende Folgekosten weitgehend ignoriert.¹⁸

In den frühen 1970er-Jahren tauchte erstmals der Begriff „Cost-in-use“ in der Literatur auf. In den darauffolgenden Jahren wurde diese Denkweise auch in der Bauindustrie immer präsenter. Es wurde erstmals das Zusammenspiel von Errichtungskosten und Bewirtschaftungskosten in der Gebäudeplanung berücksichtigt.¹⁹

¹³ Vgl. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-1: Building and constructed assets – Service life planning. S.2.

¹⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 8.

¹⁵ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekterrichtung. S.11.

¹⁶ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S.4.

¹⁷ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S.4.

¹⁸ Vgl. BOUSSABAIN, H. A.; KIRKHAM, R. J.: Whole Life-cycle Costing, Risk and Risk Responses. S. 4.

¹⁹ Vgl. BOUSSABAIN, H. A.; KIRKHAM, R. J.: Whole Life-cycle Costing, Risk and Risk Responses. S. 5.

1977 veröffentlichte das damalige britische Industrieministerium die erste Definition zu „Life-cycle costing“. Dabei handelte es sich um ein Konzept, welches buchhalterische, mathematische und statistische Ansätze zusammenführte, um alle Ausgaben, die während des Eigentums eines Objektes anfallen, zu berücksichtigen.²⁰

Gegen Ende der 1990er-Jahre entstand das Konzept der Gesamtlebenszykluskostenrechnung (Whole life-cycle costing). Bei diesem Konzept werden sowohl anfallende Kosten als auch Einnahmen, welche z. B. durch Vermietung generiert werden, in der Berechnung berücksichtigt. Dies machte es möglich, unter Berücksichtigung aller Zahlungsströme eine eindeutige Aussage über die Wirtschaftlichkeit eines Projektes zu treffen.²¹

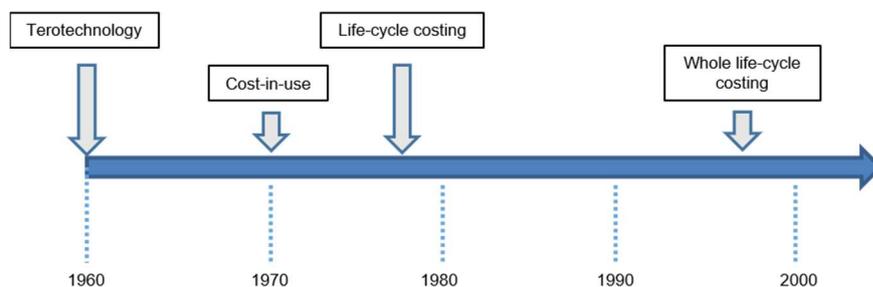


Abb. 2.1 Historische Entwicklung „whole life-cycle costing“²²

In der heutigen Zeit findet die Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden vermehrt Einzug in den Normen und Richtlinien. Dies trägt dazu bei, Investitionsentscheidungen auf Basis umfassender Untersuchungen treffen zu können. Im nachfolgenden Abschnitt werden einige dieser Regelwerke genauer erläutert.

2.3 Allgemeine Regelwerke

Für die Definition und die Berechnung der Lebenszykluskosten stehen sowohl nationale als auch internationale Regelwerke zur Verfügung. Im folgenden Abschnitt werden die maßgeblichen Normen beschrieben.

2.3.1 ÖNORM B 1801-1:2015

Die ÖNORM B 1801-1:2015 (Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 1: Objekterrichtung) dient als Basis für die Gliederung von Informationen in der

²⁰ Vgl. BOUSSABAIN, H. A.; KIRKHAM, R. J.: Whole Life-cycle Costing, Risk and Risk Responses. S. 5.

²¹ Vgl. BOUSSABAIN, H. A.; KIRKHAM, R. J.: Whole Life-cycle Costing, Risk and Risk Responses. S. 6.

²² in Anlehnung an BOUSSABAIN, H. A.; KIRKHAM, R. J.: Whole Life-cycle Costing, Risk and Risk Responses. S. 4.

Errichtungsphase von Bauprojekten. In dieser Norm werden die Grundlagen festgelegt, um Ergebnisse hinsichtlich Qualität, Kosten und Termine vergleichen zu können.²³

In Abb. 2.2 ist das Planungssystem der ÖNORM B 1801-1:2015 abgebildet. Dabei werden die Handlungsbereiche, welche sich in Qualität, Kosten und Termine gliedern, über alle Projektphasen mit den entsprechenden Untergliederungen dargestellt.

		Projektphase					
		Entwicklungsphase	Vorbereitungsphase	Vorentwurfsphase	Entwurfsphase	Ausführungsphase	Abschlussphase
Handlungsbereich	Qualität	Qualitätsziel	Qualitätsrahmen	Vorentwurfsbeschreibung	Entwurfsbeschreibung	Ausführungsbeschreibung	Qualitätsdokumentation
		Quantitätsziel	Raumprogramm	Vorentwurfsplanung	Entwurfsplanung	Ausführungsplanung	Planungsdokumentation
Kosten	Kosten	Kostenziel	Kostenrahmen	Kostenschätzung	Kostenberechnung	Kostenanschlag	Kostenfeststellung
	Finanzierung	Finanzierungsziel	Finanzierungsrahmen	Finanzierungsplan			
Termine	Termine	Terminziel	Terminrahmen	Grobschätzplan	Genereller Ablaufplan	Ausführungsterminplan	Terminfeststellung
	Ressourcen	Ressourcenziel	Ressourcenrahmen	Ressourcenplan			

Abb. 2.2 Planungssystem nach ÖNORM B1801-1:2015²⁴

Betrachtet man den Handlungsbereich „Kosten“, mit dem sich diese Arbeit beschäftigt, wird ersichtlich, dass mit zunehmenden Projektfortschritt bzw. mit zunehmenden Detaillierungsgrad der Planung auch die Kostenplanung immer genauer wird.

Um Kosten zuordnen zu können, sieht die Norm verschiedene Gliederungssysteme vor. Dabei wird zwischen der Anlage-, Bau- und Leistungsgliederung unterschieden. Abb. 2.3 zeigt die Baugliederung. Die Kosten werden hier vier verschiedenen Kostengruppen (Bauwerkskosten, Baukosten, Errichtungskosten, Gesamtkosten) zugeordnet.

²³ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-1:2015 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekterrichtung. S. 3.

²⁴ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-1:2015 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekterrichtung. S. 6.

Baugliederung	Abk.	Bauwerkskosten BWK	Baukosten BAK	Errichtungskosten ERK	Gesamtkosten GEK
0 Grund	GRD				
1 Aufschließung	AUF				
2 Bauwerk-Rohbau	BWR	100 %			
3 Bauwerk-Technik	BWT				
4 Bauwerk-Ausbau	BWA				
5 Einrichtung	EIR				
6 Außenanlagen	AAN				
7 Planungsleistungen	PLL				
8 Projektnebenleistungen	PNL				
9 Reserven	RES				

Abb. 2.3 Kostengruppen²⁵

2.3.2 ÖNORM B 1801-2:2011

Die ÖNORM B 1801-2:2011 (Bauprojekt- und Objektmanagement, Teil 2: Objekt-Folgekosten) bildet die Grundlage für die Kostenerfassung in der Nutzungsphase des Gebäudes.²⁶

Grundsätzlich bestehen die Objektfolgekosten aus den Kosten für den Gebäudebetrieb bzw. den Nutzungskosten sowie den Kosten für den Abbruch und die Entsorgung. Abb. 2.4 zeigt, welche Kostengruppen in der Lebenszykluskostenberechnung berücksichtigt werden bzw. wie die genaue Untergliederung erfolgt.

Finanzierungskosten											
Kostengruppierung gemäß ÖNORM B 1801-1											
Baugliederung											
Grund GRD											
Aufschließung AUF											
Bauwerk-Rohbau BWR	Bauwerkskosten BWK	Baukosten BAK	Errichtungskosten ERK	Gesamtkosten GEK	Anschaffungskosten						
Bauwerk-Technik BWT											
Bauwerk-Ausbau BWA											
Einrichtung EIR											
Außenanlagen AAN											
Planungsleistungen PLL											
Nebenleistungen NBL											
Reserven RES											
Kostengruppen gemäß ÖNORM B 1801-2											
Verwaltung											
Technischer Gebäudebetrieb					Kosten des Gebäudebetriebes KGB						
Ver- und Entsorgung											
Reinigung und Pflege											
Sicherheit											
Gebäudedienste											
Instandsetzung, Umbau (es ist sinngemäß die ÖNORM B 1801-1 einzuhalten)											
Sonstiges											
Objektbeseitigung, Abbruch											
									Gebäudebasiskosten GBK		Lebenszykluskosten LZK
										Nutzungskosten ONK	Folgekosten OFK

Abb. 2.4 Zusammenhang von Errichtungs-, Folge- und Lebenszykluskosten²⁷

Ergänzend ist zu erwähnen, dass die Objektfolgekosten nur jene Kosten beinhalten, die im Zusammenhang mit der Errichtung des Gebäudes und der gewöhnlichen Nutzung dieses stehen. Alle sich darüber hinaus ergebenden Kosten, also aus einer außergewöhnlichen Nutzung, werden als

²⁵ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B1801-1:2015 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekterrichtung. S. 11.

²⁶ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S. 3.

²⁷ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S. 6.

nutzerspezifische Kosten bezeichnet. Diese werden nicht als Objektfolgekosten angesetzt. Ein Beispiel für solche nutzerspezifischen Kosten wäre z. B. die Stromkosten für große technische Geräte in Krankenhäusern oder Rechenzentren.²⁸

2.3.3 ÖNORM B 1801-4:2014

Die ÖNORM B 1801-4:2014 (Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten) definiert unterschiedliche Begriffe und Methoden zur Berechnung der Lebenszykluskosten eines Gebäudes.

Die Anwendung dieser Norm, welche auf den ÖNORMEN B 1801-1:2015 und B 1801-2:2011 aufbaut, macht es möglich, die im Zuge einer Lebenszyklusberechnung gewonnenen Ergebnisse nachvollziehbar und vergleichbar zu machen.²⁹

Diese Ergebnisse enthalten eine Zusammenstellung aller Kosten eines Gebäudes, welche über ein Jahr anfallen. Daraus lässt sich ein Kostenverlauf über die gesamte Lebensdauer, gegliedert in Kostenbereiche und Jahre darstellen. Abb. 2.5 zeigt beispielhaft einen solchen Kostenverlauf über die gesamte Lebensdauer eines Objektes.

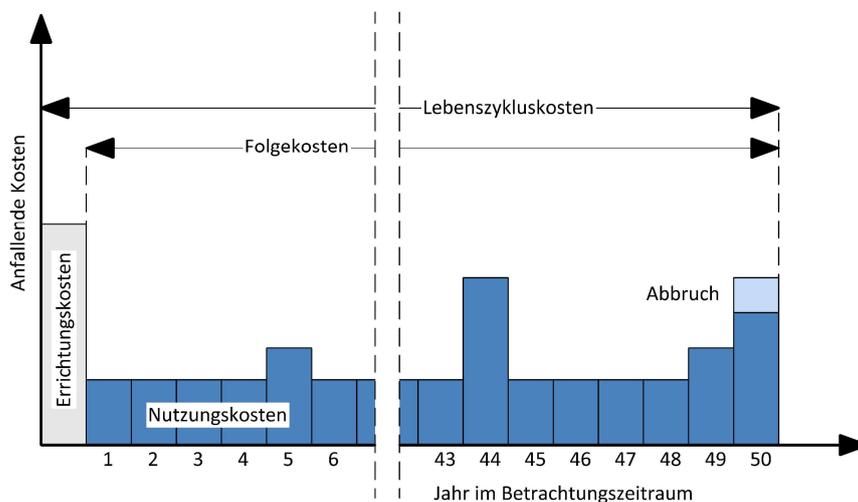


Abb. 2.5 Lebenszykluskosten³⁰

²⁸ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S. 11.

²⁹ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2012 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 3.

³⁰ in Anlehnung an AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2012 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

2.3.4 ISO 15686-5:2017

Die ISO 15686-5:2017 (Building and constructed assets-Service life planning, Part 5: Life-cycle costing) schafft international die notwendigen Grundlagen für die Verbreitung der Lebenszykluskostenberechnung in der Bauwirtschaft. Dabei wendet sich die Norm sowohl an Bauherren wie auch Planer und Betreiber.³¹

Die ISO 15686-5:2017 berücksichtigt im Vergleich zur ÖNORM, welche ausschließlich von Kosten spricht, auch alle Zahlungsströme, also Einnahmen und Ausgaben, welche innerhalb des Betrachtungszeitraums einer Immobilie anfallen, sofern diese eine Auswirkung auf die Investitionsentscheidung haben. Die Norm beschäftigt sich einerseits mit dem Vergleich unterschiedlicher Alternativen als relative Investitionsentscheidung und andererseits mit der absoluten Vorteilhaftigkeit einer Investition durch die Berücksichtigung von erzielbaren Einnahmen.³²

Die ISO 15686-5 baut die Kostenstruktur wie in Abb. 2.6 ersichtlich auf. In der ersten Ebene werden die Kosten in die Bereiche Externalities, Non-construction costs, Life cycle cost und Income gegliedert.

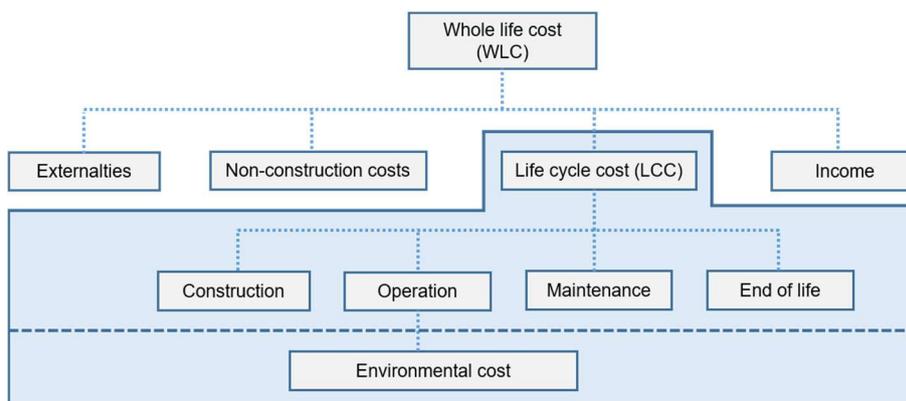


Abb. 2.6 Kostenstruktur³³

Diese Unterteilung der externen Kosten wird deshalb durchgeführt, da es oftmals nicht möglich ist, eine klare Aufteilung der Kosten auf Betreiber oder Nutzer durchzuführen.³⁴ Somit lässt sich feststellen, dass in der ISO 15686-5 Anteile der Nutzungskosten außerhalb der Lebenszykluskosten erfasst werden, die Kostenerfassung erfolgt hier in Gegensatz zu anderen Normen objektbezogen und nicht zeitpunktbezogen.

³¹ Vgl. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-5 Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life-cycle costing. S. VII.

³² Vgl. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-5 Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life-cycle costing. S. 6.

³³ in Anlehnung an INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-5 Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life-cycle costing. S. 7.

³⁴ Vgl. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-5 Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 5: Life-cycle costing. S. 6.

2.3.5 EN 15643-4:2012

Die ÖNORM EN 15643-4:2012 (Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die ökonomische Qualität) beschäftigt sich mit der Nachhaltigkeitsbewertung von Bauwerken in Bezug auf ihre ökonomische Qualität. Die Anforderungen berücksichtigen dabei sowohl die technischen als auch funktionalen Eigenschaften des Gebäudes.

Mittels Festlegung eines funktionalen Äquivalents, in dem sowohl die technischen als auch funktionalen Anforderungen festgelegt werden, wird eine Bewertung der ökonomischen Qualität des Gebäudes durchgeführt. Nachhaltigkeitsbewertungen können für das ganze Gebäude als auch für Teile davon bzw. für einzelne Bauelemente durchgeführt werden.

Abb.2.7 stellt die Einordnung der ÖNORM EN 15643-4:2012 in den vom Technical Comitee (TC 350) des europäischen Komitees für Normung (CEN) erarbeiteten Rahmenbedingungen dar. Die grau hinterlegten Kästchen, definieren den Arbeitsbereich zum Themengebiet der Nachhaltigkeit von Gebäuden.

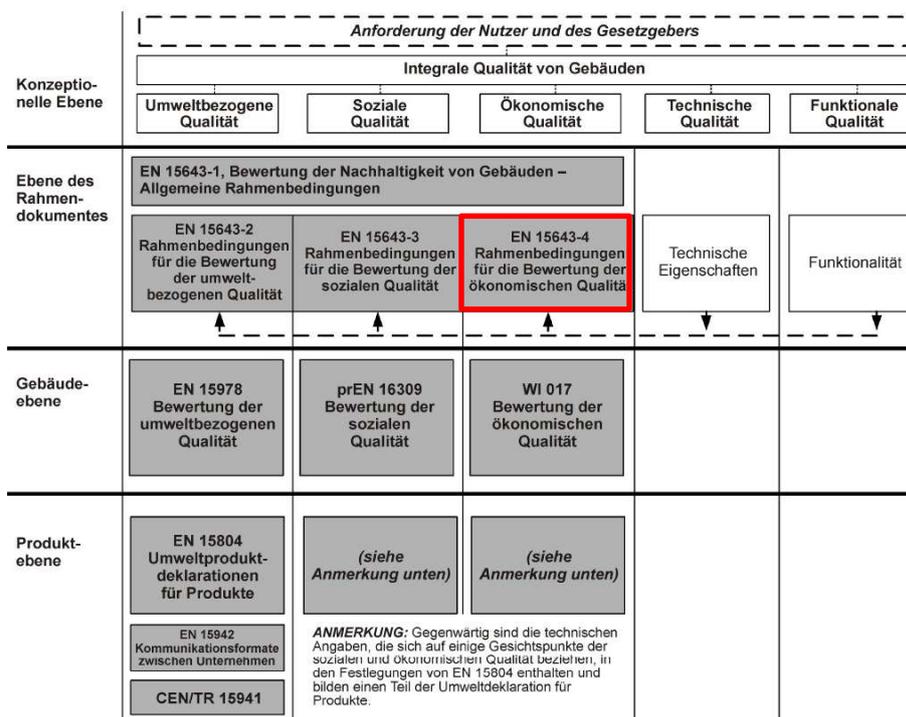


Abb. 2.7 Arbeitsbereich „Nachhaltigkeit von Gebäuden“³⁵

³⁵ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM EN 15643-4:2012 - Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die ökonomische Qualität. S.6.

2.3.6 DIN 18960:2008

Die DIN 18960:2008 (Nutzungskosten im Hochbau) dient zur Nutzungskostenplanung im Hochbau. Die Norm regelt im Speziellen die Ermittlung und die Gliederung der Kosten. Dies soll zu einer wirtschaftlichen und kostentransparenten Planung, Herstellung und Nutzung von Bauwerken beitragen.³⁶

Als Nutzungskosten werden hier alle Kosten verstanden, welche in baulichen Anlagen regelmäßig oder unregelmäßig während der Nutzungsphase anfallen. Die Kosten für die Erstellung, Umbau bzw. die Beseitigung des Gebäudes werden in der DIN 276-1 (Kosten im Bauwesen – Hochbau) erfasst.³⁷

Kosteneinflüsse, welche über den Betrachtungszeitraum wirken, sind zu beschreiben bzw. zu bewerten und in den Nutzungskostengruppen zu berücksichtigen. Unter Kosteneinflüsse werden hier Systemeigenschaften des Bauwerks, das Nutzerverhalten sowie die Systemumgebung verstanden.³⁸

Die Kostengruppen werden wie folgt unterschieden:

- Kapitalkosten
- Objektmanagementkosten
- Betriebskosten
- Instandsetzungskosten³⁹

Je nach Zweck bzw. den vorhandenen Grundlagen werden fünf Arten der Nutzungskostenermittlung mit zunehmendem Detaillierungsgrad unterschieden.

Tabelle 2.1 Arten der Nutzungskostenermittlung⁴⁰

Lfd. Nr.	Grundlage der Kostenermittlung	Nutzungskostenermittlung (DIN 18960)
0	A	C
1	Bedarfsplanung	Nutzungskostenrahmen
2	Vorplanung	Nutzungskostenschätzung
3	Entwurfsplanung	Nutzungskostenberechnung
4	Ausführungsvorbereitung	Nutzungskostenanschlag
5	Endgültige Kosten	Nutzungskostenfeststellung

³⁶ Vgl. DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG: DIN 18960:2008 - Nutzungskosten im Hochbau, S.3.

³⁷ Vgl. DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG: DIN 18960:2008 - Nutzungskosten im Hochbau, S.4.

³⁸ Vgl. DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG: DIN 18960:2008 - Nutzungskosten im Hochbau, S.5.

³⁹ Vgl. DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG: DIN 18960:2008 - Nutzungskosten im Hochbau, S.7.

⁴⁰ Vgl. DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG: DIN 18960:2008 - Nutzungskosten im Hochbau, S.6-7.

2.4 Lebenszyklusphasen eines Bauprojektes

Das Leben eines Bauprojektes wird in verschiedene Phasen gegliedert, dabei beschreibt der Begriff „Zyklus“ eine wiederholend auftretende gleichartige Phase.⁴¹ In der Lebenszykluskostenbetrachtung wird allerdings nur einer dieser wiederkehrenden Zyklen betrachtet. Somit wäre der Begriff der Lebensdauer oder Lebensspanne wohl zutreffender. In der Literatur hat sich allerdings die Symbolik des Kreises in der Darstellung des Lebenszyklus durchgesetzt, was vermutlich der Grund dafür ist, warum an diesem Begriff festgehalten wird.⁴² Die Abb. 2.8 zeigt anschaulich die Phasen im Lebenszyklus eines Bauprojektes.

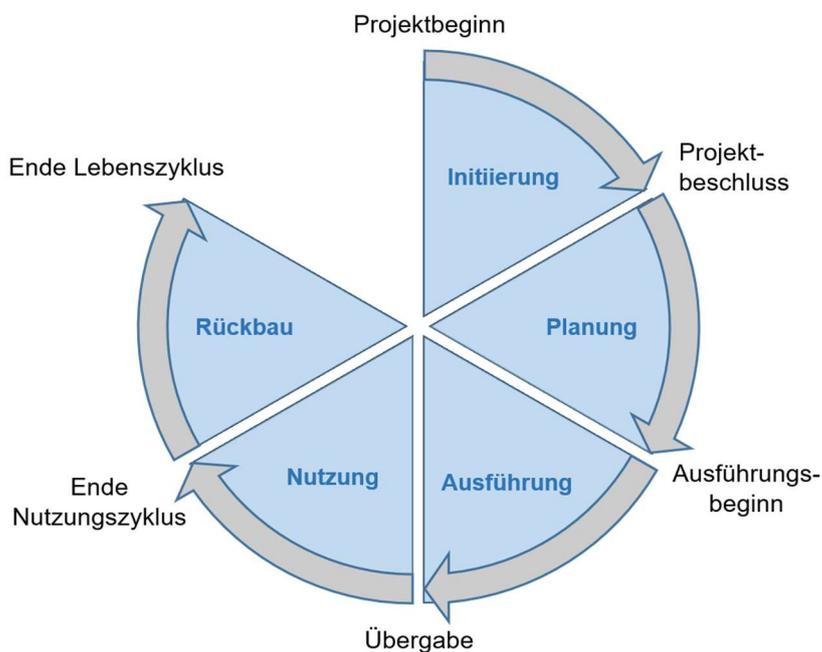


Abb. 2.8 Lebenszyklus eines Bauprojektes ⁴³

2.4.1 Initiierungsphase

Zu Beginn eines Bauvorhabens steht immer eine Idee des Bauherrn bzw. des Projektentwicklers, welche in eine klare Zieldefinition überführt werden müssen. Somit erfolgt in der ersten Lebenszyklusphase, der sogenannten Initiierungsphase die Bedarfsermittlung bzw. die Festlegung der Bau- und Ausstattungsqualität. Unter Berücksichtigung der definierten Anforderungen wird ein Raum- und Funktionsprogramm sowie ein erster Kostenrahmen erstellt. Aufbauend darauf erfolgt eine Machbarkeitsstudie, in der abgeklärt wird, ob die definierten Ziele hinsichtlich Qualität, Kosten

⁴¹ Vgl. LITAU, O.: Nachhaltiges Facility Management im Wohnungsbau. S. 19.

⁴² Vgl. PELZENTER, A.: Lebenszykluskosten von Immobilien. S. 37.

⁴³ in Anlehnung an IG LEBENSZYKLUS BAU: Der Weg zum lebenszyklusorientierten Hochbau. S. 8.

und Termine erreicht werden können. Weiters wird hier bereits ein Vergleich der Finanzierungsmöglichkeiten unter Berücksichtigung von steuerlichen und wirtschaftlichen Aspekten sowie eine Sicherung des Standortes durchgeführt. Den Abschluss dieser Phase stellt der Projektbeschluss dar.⁴⁴

In Bezug auf die Lebenszykluskosten sollten in dieser frühen Projektphase bereits erste Überlegungen hinsichtlich der zu erwartenden Kosten angestellt werden. Dabei sollte die Lebensdauer einzelner Bauteile, Wartungs- und Erneuerungsintervalle sowie die Kosten für den laufenden Betrieb bereits berücksichtigt werden. Durch diese frühe Betrachtung der Lebenszykluskosten können im weiteren Projektverlauf bereits Vorgaben für die weitere Planung definiert werden.⁴⁵

2.4.2 Planungsphase

Mit dem Projektbeschluss beginnt die Planungsphase. Die Planungsphase stellt aktuell einen linearen Prozess dar. In der Vor- bzw. Entwurfsplanung werden die Gebäudegeometrie hinsichtlich der Baumasse sowie der Fassadengestaltung und die funktionalen Zusammenhänge von Räumen und Verkehrswegen festgelegt. Weiters wird das konstruktive und energetische System definiert. Auf Grundlage des Vorentwurfes wird eine erste Kostenschätzung durchgeführt. Aufbauend auf dem Vorentwurf erfolgt die Entwurfs- bzw. Genehmigungsplanung. Auf Grundlage des Entwurfskonzeptes des Architekten erarbeiten die Fachplaner der einzelnen Gewerke ihre Projekte zur technischen Gebäudeausrüstung und der Tragwerksplaner führt die Bemessung der einzelnen Bauteile durch. Dies hat in einem solchen Detaillierungsgrad zu erfolgen, dass eine Ausschreibung der einzelnen Gewerke möglich ist. Nach Abschluss der Entwurfsplanung erfolgt nun die Genehmigung des Entwurfes durch die Bauherren bzw. werden im Anschluss daran die Unterlagen bei der Behörde für das Baugenehmigungsverfahren eingereicht. Wird der Entwurf von den Bauherren genehmigt bzw. ist die Baubewilligung erteilt, erfolgt die Ausführungsplanung. Auf Basis der Genehmigungsplanung werden alle ausführungsrelevanten Details hinsichtlich des Rohbaus, des Ausbaus und der Haustechnik erarbeitet. Parallel zur Ausführungsplanung erfolgt die Ausschreibung der einzelnen Gewerke. Der Bauherr bzw. Bauherrenvertreter verhandelt mit dem Bieter um die Auftragssumme bzw. über die Vertragsbestandteile. Danach werden die Vergabeentscheidungen getroffen. Aufgrund der gelegten Angebote ist es möglich, einen Kostenanschlag abzugeben.⁴⁶

Die Planungsphase eines Bauprojektes umfasst im Vergleich zu anderen Phasen im Lebenszyklus eines Gebäudes, wie z. B. die Nutzungsphase

⁴⁴ Vgl. IG LEBENSZYKLUS BAU: Leitfaden Hochbau-Prozessbild. S. 13.

⁴⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 166

⁴⁶ Vgl. SOMMER, H.: Projektmanagement im Hochbau. S. 80ff.

einen sehr kurzen Zeitraum. In dieser Phase werden allerdings fast alle wesentlichen Entscheidungen in Bezug auf die Folgekosten im Betrieb und somit den Lebenszykluskosten getroffen. Eine Einflussnahme z. B. auf die Energiekosten ist nach der Fertigstellung nur noch sehr beschränkt bzw. nur durch kostenintensive Umbaumaßnahmen möglich.⁴⁷

2.4.3 Ausführungsphase

Hat die Planung den nötigen Detaillierungsgrad erreicht, erfolgt in der Ausführungsphase die Umsetzung der Bauaufgabe. An der Realisierung des Bauvorhabens sind verschiedenste Berufsgruppen beteiligt. Grundsätzlich unterscheidet man hier in die ausführenden Bauunternehmen und Professionisten, die Planer sowie die Projektsteuerer. Im Wesentlichen erfolgt in dieser Phase die Umsetzung der zu Beginn definierten Ziele hinsichtlich Kosten, Qualität und Termine. Ein Kernprozess dieser Phase ist die Koordination und Überwachung der Bauabläufe. Ein weiterer wichtiger Themenbereich in der Bauausführung ist die Qualitätssicherung. Fehler in diesem Gebiet haben direkte Auswirkungen auf die später folgenden Nutzungsphase und führen meist zu einem erhöhten Aufwand in der Betreuung seitens des Bauherrn.⁴⁸

2.4.4 Nutzungsphase

Wesentliches Ziel aller vorher beschriebenen Phasen ist der Betrieb bzw. die Nutzung des Objektes. Die Nutzungsphase ist von der Zeitdauer die eindeutig längste Phase im Lebenszyklus eines Gebäudes. Die in dieser Phase entstehenden Kosten machen je nach Art des Bauvorhabens einen Großteil der Gesamtkosten eines Gebäudes über die Lebensdauer gesehen aus. Diese Phase ist dadurch charakterisiert, dass bis auf die Abnutzung des Gebäudes und daraus eventuell resultierenden Sanierungsmaßnahmen keine wesentlichen Änderungen mehr stattfinden.⁴⁹

2.4.5 Rückbauphase

Am Ende des Lebenszyklus steht die Rückbauphase des Objektes. Die Funktion bzw. die Wirtschaftlichkeit sind nicht mehr gegeben und eine Umpfung bzw. Umnutzung ist nicht mehr sinnvoll. Es erfolgt eine Veräußerung des Objektes an einen Käufer bzw. der Abbruch und die Entsorgung.⁵⁰

⁴⁷ Vgl. NÄVY, J.: Facility Management. S. 32.

⁴⁸ Vgl. ARNOLD, D.; ROTTKE, N.; WINTER, R.: Wohnimmobilien. S. 488.

⁴⁹ Vgl. NÄVY, J.: Facility Management. S. 34.

⁵⁰ Vgl. NÄVY, J.: Facility Management. S. 34.

2.5 Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten

Die Aufgabe einer lebenszykluskostenorientierten Planung ist es, bereits in der Konzeptphase die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes zu berücksichtigen. Dabei fließen Faktoren wie die Bewirtschaftungskosten (Energiekosten, Instandhaltungskosten, Reinigungskosten) oder Kosten für die Modernisierung und den Austausch bestimmter Bauteile bis hin zu den Kosten für den Abbruch und die Entsorgung bereits in die Planung mit ein.⁵¹

Die Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten ist wie in der Abb. 2.9 ersichtlich in den frühen Projektphasen wie der Konzeptphase bzw. der Planungsphase am größten. Zu keinem anderen Zeitpunkt ist es möglich, einen so großen Einfluss auf die Folgekosten eines Gebäudes zu nehmen wie in diesen frühen Phasen. Dies liegt an der Tatsache, dass in den frühen Phasen keine Einschränkungen vorhanden sind und die Einflussfaktoren noch leicht angepasst werden können. Je weiter das Projekt voranschreitet bzw. je mehr Faktoren fixiert worden sind, umso schwieriger wird die Kostenbeeinflussung.

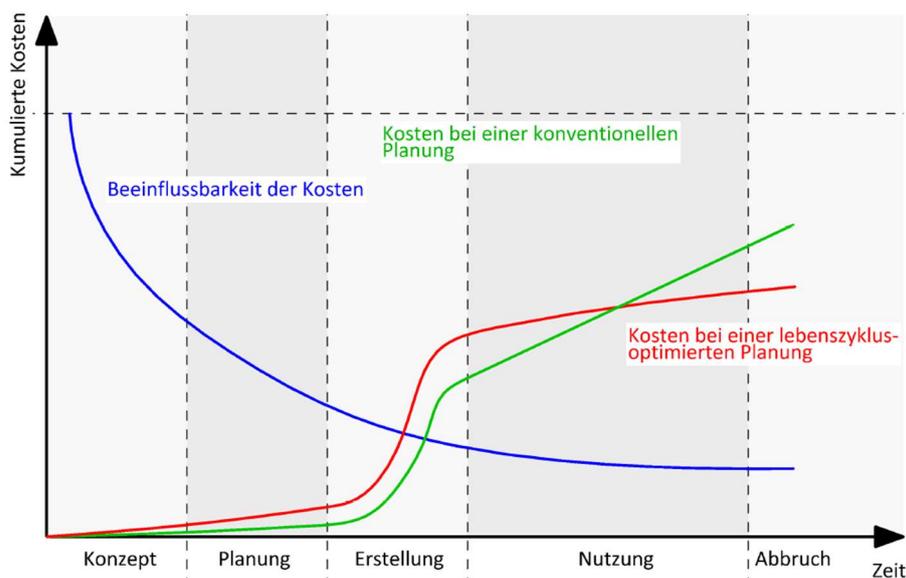


Abb. 2.9 Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten⁵²

In Abb. 2.9 ist weiters der Kostenverlauf bei konventioneller Planung mit der Fokussierung auf die Errichtungskosten sowie der Verlauf bei einer lebenszyklusorientierten Planung ersichtlich. Die Linie für die lebenszyklusorientierte Planung zeigt zunächst einen steileren Anstieg der Investiti-

⁵¹ Vgl. LITAU, O.: Nachhaltiges Facility Management im Wohnungsbau. S. 24.

⁵² in Anlehnung an BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU u. STADTENTWICKLUNG: Leitfaden Nachhaltiges Bauen. S. 23.

onskosten, flacht dann aber im weiteren Verlauf im Gegensatz zur konventionellen Planung immer weiter ab, was eine Kostensenkung während der Nutzung darstellt. Die Fläche unterhalb der Funktion stellt die Lebenszykluskosten über den Betrachtungszeitraum dar, welche als Grundlage für Investitionsentscheidungen herangezogen werden kann.

Die zu Beginn höheren Investitionskosten in der Planungsphase stellen im Verhältnis zum Nutzen, den sie bringen, nämlich eine deutliche Reduktion der Folgekosten einen sehr geringen Anteil an den Lebenszykluskosten dar. Wichtig dabei ist es, die Ziele und Anforderungen möglichst früh und klar zu definieren, um eine unnötige Verschwendung von Zeit und somit Geld zu vermeiden.⁵³

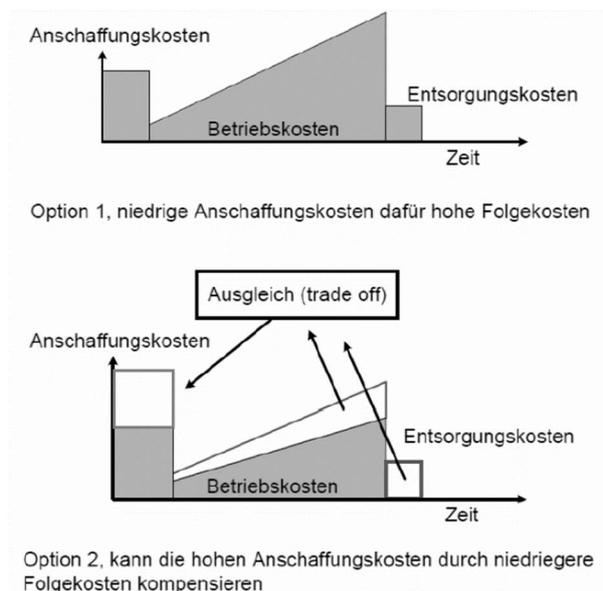


Abb. 2.10 Zusammenhang Anschaffungs- u. Folgekosten⁵⁴

Die Abb. 2.10 stellt anschaulich die Beeinflussbarkeit der Lebenszykluskosten im Zusammenhang mit den Anschaffungs- bzw. Folgekosten dar. Option 1 macht deutlich, dass bei geringen Anschaffungskosten eventuell mit deutlichen höheren Betriebskosten zu rechnen ist. Dies lässt sich auf die Verwendung von Materialien und Bauteilen in minderer Qualität bzw. technische Anlagen mit geringerer Lebensdauer und hohem Wartungsaufwand zurückführen. Hingegen können bei Option 2 die erstmals höheren Anschaffungskosten im Laufe der Zeit durch niedrigere Folgekosten kompensiert werden. Durch Verwendung von Materialien in hoher Qualität, welche leicht recycelbar sind, können die Entsorgungskosten auf ein Minimum reduziert werden.

⁵³ Vgl. IPSEr, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 32.

⁵⁴ MAUERHOFER, G.: Bau- und Immobilienfinanzierung Kapitel 7: Einführung in die Lebenszykluskostenrechnung. LV-Folien. S. 26

3 Lebenszykluskostenberechnung

Die nachfolgenden Unterkapitel beschäftigen sich mit der Definition der Lebenszykluskosten, der zu Grunde liegenden Zielsetzung einer jeden Berechnung, den zu definierenden Betrachtungszeitraum, den Systemgrenzen sowie mit Prognoseunsicherheiten. Es wird auf die Grundlagen der Zinsrechnung eingegangen. Weiters erfolgt eine Erläuterung der Investitionsrechnung, hierzu werden exemplarisch die Kapitalwertmethode, Annuitätenmethode, Dynamische Amortisationsrechnung sowie die interne Zinsfußmethode genauer beschrieben. Zum Abschluss dieses Kapitels wird die Lebenszyklusberechnung laut ÖNORM B 1801-4:2014, welche im praktischen Teil der Arbeit zur Anwendung kommt, näher beschrieben.

3.1 Definition und Abgrenzung

Laut ÖNORM B 1801-2:2011 werden die Lebenszykluskosten wie folgt definiert:

Die Lebenszykluskosten ergeben sich aus der Summe der Errichtungskosten und der Objektfolgekosten eines Gebäudes.⁵⁵

Wie schon im Abschnitt 2.3.4 wird nachfolgend nochmals auf die Definition der Lebenszykluskosten nach der ISO 15686-5 (Buildings and constructed assets – Life -cycle – costing) eingegangen. Die Norm unterscheidet hier die Begriffe “Lebenszykluskosten”, im Englischen “Life Cycle Cost” und “Gesamtlebenszykluskosten” (Whole Life Cost).



Abb. 3.1 Abgrenzung LZK u. GLZK⁵⁶

Die Lebenszykluskosten umfassen alle Kosten, die im Zusammenhang mit der Nutzung des Gebäudes, wie z. B. der Instandhaltung über die Lebensdauer anfallen, inkl. der Errichtungskosten und den Kosten für den Abbruch und die Entsorgung.

Die Gesamtlebenszykluskosten hingegen berücksichtigen zusätzlich erwirtschaftete Einnahmen z. B. aus einer Vermietung sowie Kosten, welche

⁵⁵ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B1801-2:2011 Bauprojekt- und Objektmanagement – Objekt-Folgekosten. S. 4.

⁵⁶ in Anlehnung an INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-5 Buildings and constructed assets – Service- life planning – Part 5: Life-cycle costing. S. 7.

nicht im direkten Zusammenhang mit der Errichtung stehen und äußere Einflüsse auf die Kosten.⁵⁷ Als äußere Einflüsse können laut ISO 15686-5 z. B. die entstehenden Kosten aus Umweltbelastungen betrachtet werden. Kosten, welche nicht im direkten Zusammenhang mit der Errichtung entstehen, wären z. B. Kosten für den Betrieb einer eigenen Kantine. Einkünfte aus einer Vermietung werden lediglich bei den Gesamtlebenszykluskosten berücksichtigt. Bei der ausschließlichen Betrachtung der Kosten im Lebenszyklus (Life-cycle-costing) wird die Annahme getroffen, dass die Einkünfte aus z. B. einer Vermietung für alle betrachteten Varianten gleich hoch sind.⁵⁸

3.2 Zielsetzung

Lebenszykluskostenbetrachtungen werden in der Finanzmathematik dazu genutzt, um Entscheidungen treffen zu können, welchen ein langfristiger Zeithorizont zugrunde liegt. Grundlage einer jeden Betrachtung ist eine klar definierte Zielsetzung. Aus diesem Grund kann die Aussage getroffen werden, dass es keine allgemeingültige Vorgehensweise in Bezug auf die Ermittlung der Lebenszykluskosten gibt. Jede Betrachtung ist auf die individuelle Zielsetzung anzupassen. Die Zielsetzung in dieser Arbeit ist ein Variantenvergleich mit dem Zweck einer Optimierung in der Planungsphase. Wenn wie hier unterschiedliche Varianten verglichen werden sollen, ist es notwendig, den Betrachtungszeitraum, den Detaillierungsgrad sowie die Systemgrenzen so zu wählen, dass die Merkmale der unterschiedlichen Varianten in der Berechnung zu tragen kommen und somit ein aussagekräftiges Ergebnis erzielt werden kann.⁵⁹

3.3 Betrachtungszeitraum

Grundsätzlich sollte in der Lebenszykluskostenbetrachtung, auch der gesamte Lebenszyklus des untersuchten Objektes als Betrachtungszeitraum festgelegt werden. Handelt es sich um technische Anlagen mit einer im Vergleich zu Gebäuden kurzen Lebensdauer, scheint dieser Ansatz auch als korrekt. Gebäude weisen allerdings Lebensdauern von 100 Jahren und darüber hinaus auf. Für diese Zeitspanne ist eine belastbare Prognose der entstehenden Kosten kaum möglich. Weiters ist nicht vorherzusehen, welche Anforderungen an Bauteile und Materialien in Zukunft gestellt werden.⁶⁰

In der Literatur gibt es derzeit sehr unterschiedliche Auffassungen über die Lebensdauer von Gebäuden. Im „Leitfaden für nachhaltiges Bauen“

⁵⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 8.

⁵⁸ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.60.

⁵⁹ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.61.

⁶⁰ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.61.

wird eine Lebensdauer von Gebäuden von 50 bis 100 Jahren angegeben. Gründerzeithäuser haben diese Lebensdauer allerdings bereits weit überschritten.

Grundsätzlich muss der Betrachtungszeitraum unter Berücksichtigung der Höhe des Kalkulationszinssatzes gewählt werden, da bei einem hohen Kalkulationszinssatz von z. B. 5 % p. a. und einem Betrachtungszeitraum von z. B. 50 Jahren, Zahlungen, welche nach 40 Jahren auftreten, kaum noch ins Gewicht fallen.

Abb. 3.2 zeigt dies anschaulich. Hier werden die Barwerte der Lebenszykluskosten einer Außenwand gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass bei einer Erhöhung des Kalkulationszinssatzes um 3 %, Zahlungen, welche nach 40 Jahren anfallen, kaum noch ins Gewicht fallen. Erkennbar ist dies daran, dass die Lebenszykluskurve kaum noch ansteigt. Würde man den Betrachtungszeitraum noch erweitern, würde die Kurve immer weiter abflachen.

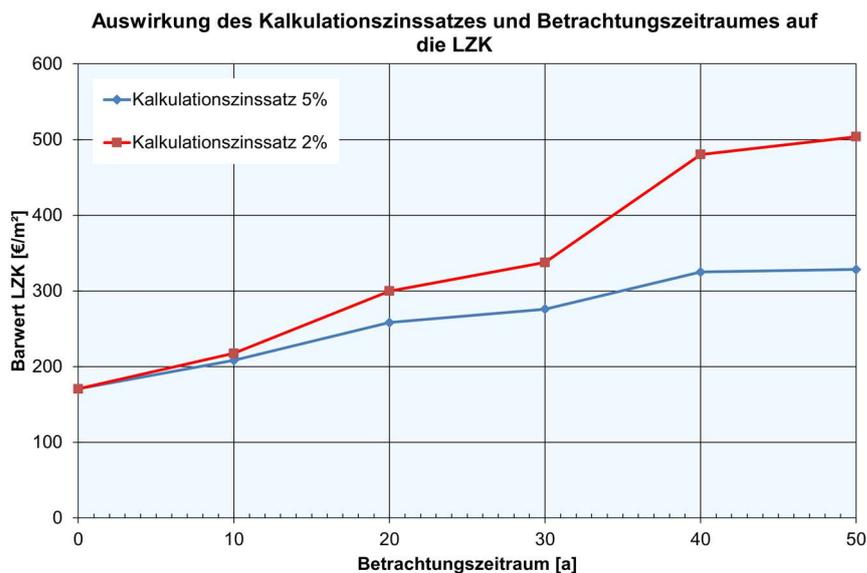


Abb. 3.2 Auswirkungen des Kalkulationszinssatzes und Betrachtungszeitraumes auf die LZK

Unter Annahme eines Generationswechsels unter den Bewohnern von Einfamilienhäusern wird in dieser Arbeit ein Betrachtungszeitraum von 50 Jahren gewählt.

3.4 Systemgrenzen

Um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, sind neben dem Betrachtungszeitraum auch die Systemgrenzen der Berechnung zu definieren. Dabei definiert man z. B. räumliche Systemgrenzen. Je nach dem Ziel der Betrachtung kann hier das gesamte Gebäude, eine technische Anlage wie z. B. das Heizungssystem, Details wie z. B. der Bodenbelag in den Räumen oder wie in dieser Arbeit die Außenwand als einzelnes Bauteil untersucht werden.

Weiters kann hinsichtlich der betroffenen Personen eine Systemgrenze gezogen werden. Je nachdem, ob es sich um einen Mieter, Investor oder Selbstnutzer handelt, ergeben sich unterschiedliche Sichtweisen auf die im Lebenszyklus auftretenden Zahlungen.⁶¹

3.5 Prognoseunsicherheiten

Lebenszyklusberechnungen sind aufgrund ihres zugrunde liegenden Betrachtungszeitraumes von meist mehreren Jahrzehnten grundsätzlich mit Unsicherheiten behaftet. Unsicherheiten in diesem Zusammenhang könnten z. B. die Entwicklung von Kosten und Erlösen oder die Lebensdauer einzelner Bauteile sein. Wird die angenommene Lebensdauer überhaupt erreicht oder sogar überschritten? Wie entwickeln sich gesetzliche Anforderungen bzw. wie wirken sich diese auf die Anforderungen der Sanierung aus? All diese offenen Fragen verdeutlichen, dass die Lebenszykluskostenberechnung nicht für die Budgetplanung geeignet ist.⁶²

Die Stärke der Lebenszykluskostenbetrachtung liegt darin die Vorteilhaftigkeit von gewissen Alternativen bereits in der Planungsphase aufzuzeigen. Dabei muss stets eine gewisse Prognoseunsicherheit berücksichtigt werden.⁶³

Um mit diesen Unsicherheiten in den Berechnungsergebnissen umzugehen, kann einerseits die Relevanz der eventuell falschen Annahmen auf das Endergebnis reduziert werden, andererseits kann der Grad der Unsicherheit dokumentiert werden.⁶⁴

⁶¹ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.62.

⁶² Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.67.

⁶³ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.67.

⁶⁴ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.120.

3.5.1 Reduktion der Ergebnisrelevanz

Um die Auswirkungen eventuell falscher Annahmen auf das Endergebnis zu berücksichtigen, kann z. B. der Betrachtungszeitraum der Lebenszykluskostenberechnung verringert werden. Durch den geringeren Betrachtungszeitraum müssen weniger Annahmen aufgrund von zukünftig anfallenden Kosten getroffen werden bzw. reduziert sich der Faktor von eventuell falschen angenommenen jährlichen auftretenden Kosten. Weiters könnte der Kalkulationszinssatz in der Berechnung erhöht werden. Dies führt dazu, dass die relative Auswirkung von weiter in der Zukunft liegenden Zahlungen verringert wird und somit auch eventuell falsche Prognosen weniger ins Gewicht fallen.⁶⁵

3.5.2 Dokumentation des Grades der Unsicherheit

Sind die in Abschnitt 3.5.1 beschriebenen Maßnahmen nicht geeignet, muss der Grad der Unsicherheit dokumentiert werden. Um den Grad der Unsicherheit zu dokumentieren, können probabilistische Berechnungsmethoden angewandt werden. Bei solchen Methoden werden Unsicherheiten bei den Inputparametern berücksichtigt. Eine Möglichkeit, um diese Unsicherheiten zu berücksichtigen, ist die Monte-Carlo-Simulation.

3.5.2.1 Monte-Carlo-Simulation in der Lebenszykluskostenbetrachtung

Die Monte-Carlo-Simulation beschreibt eine wahrscheinlichkeitstheoretische Anwendung. Bei dieser Berechnungsmethode werden wiederholte Iterationen mit Hilfe von Zufallszahlen zur Ermittlung einer näherungsweise Lösung durchgeführt.⁶⁶

Die Monte-Carlo-Simulation liefert als Ergebnis ein Histogramm. Mit Hilfe dieses Histogramms kann auf Basis der Eingangsparameter eine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmter Werte getroffen werden. Deterministisch ermittelte Werte können somit hinsichtlich ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit besser eingeordnet werden und der Informationsgehalt sowie die Entscheidungssicherheit steigt.⁶⁷

Im Zuge der Lebenszykluskostenbetrachtung trägt die Monte-Carlo-Simulation dazu bei, Unsicherheiten bei den Eingangsparametern systematisch zu berücksichtigen. Hierbei können z. B. Nutzungsdauer, einmalig bzw. wiederholend auftretende Kosten, Wartungs- bzw. Sanierungsintervalle, aber auch der angesetzte Kalkulationszinssatz durch Verteilungsfunktionen

⁶⁵ Vgl. PELZETER, A.: Lebenszyklusmanagement von Immobilien. S.120.

⁶⁶ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 191

⁶⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 378

nen (z. B. Dreiecksverteilung) belegt werden. Wenn eine Lebenszykluskostenberechnung unter Berücksichtigung von Unsicherheiten probabilistisch durchgeführt wird, kann einerseits die Bandbreite der berechneten Kennwerte (z. B. Kapitalwert) ersichtlich gemacht werden und andererseits wird das Chancen-Risikoverhältnis zwischen den untersuchten Varianten dargestellt.⁶⁸

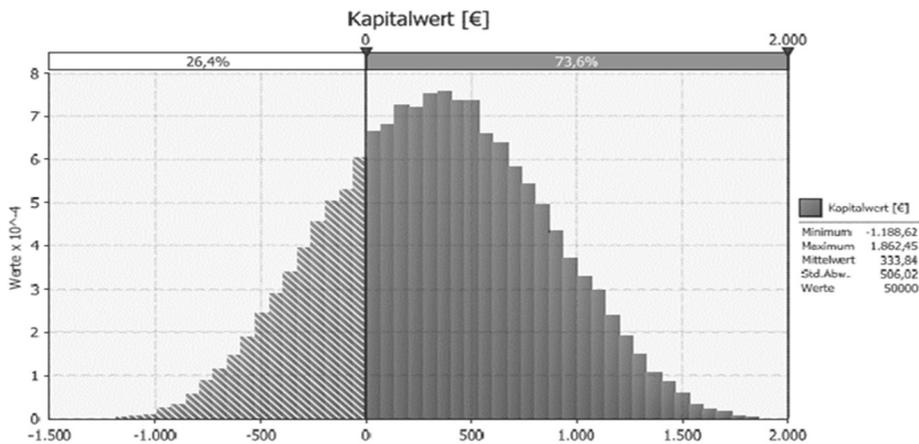


Abb. 3.3 Histogramm - Kapitalwert⁶⁹

Abb. 3.3 zeigt ein Histogramm, welches im Zuge einer Kapitalwertberechnung erstellt wurde. Der Kapitalwert der Investition liegt hier im Mittel bei 333,84 € und ist somit positiv. Eine Investition kann als vorteilhaft angesehen werden, wenn der Kapitalwert (auf welchen im Kapitel 3.8 noch näher eingegangen wird) größer null ist. Somit stellt dieser Kapitalwert eine Investitionsempfehlung dar. Allerdings liefert dieser deterministische Wert keine Aussage über das Chance- und Risikoverhältnis, welches mit der Investition eingegangen wird. Die Bandbreite der berechneten Kapitalwerte erstreckt sich hier von -1.188,62 € bis +1.862,45 €. Erst durch die Trennung des Histogramms bei einem Kapitalwert $KW = 0$ kann das Chancen-Risikoverhältnis der betrachteten Investition abgelesen werden. Somit besteht in diesem Fall eine 73,60 % Chance auf eine vorteilhafte Investition und einer Kapitalvermehrung. Das Risiko eines negativen Kapitalwerts, welcher einen Kapitalverlust widerspiegelt, besteht zu 26,40 %.

Erst aus solch einer probabilistischen Berechnung wird ersichtlich, in welche Bandbreite sich das Ergebnis bewegt und mit welcher Wahrscheinlichkeit ein bestimmter Wert eintritt. Somit führt die Anwendung solcher Verfahren bei einem Vergleich von unterschiedlichen Varianten zu einer Erhöhung der Entscheidungssicherheit.⁷⁰

⁶⁸ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 376-377

⁶⁹ HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 377

⁷⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft. S. 167-168

3.6 Methoden der Investitionsrechnung

Aufgabe der Investitionsrechnung ist es, dem Investor die ökonomische Vorteilhaftigkeit einer geplanten Investition aufzuzeigen. Dabei soll einerseits eine solide betriebswirtschaftliche Aussage getroffen werden und andererseits soll sie als Hilfestellung für die Investitionsentscheidung dienen.⁷¹

Solche Investitionsentscheidungen zählen in der Wirtschaft generell zu den wichtigsten Entscheidungen. Aufgrund dieser Wichtigkeit und weil solche Entscheidungen nicht intuitiv getroffen werden sollten, wurden hierfür verschiedene Methoden der Investitionsrechnung entwickelt.⁷² Abb. 3.4 stellt die unterschiedlichen Methoden der Investitionsrechnung dar.

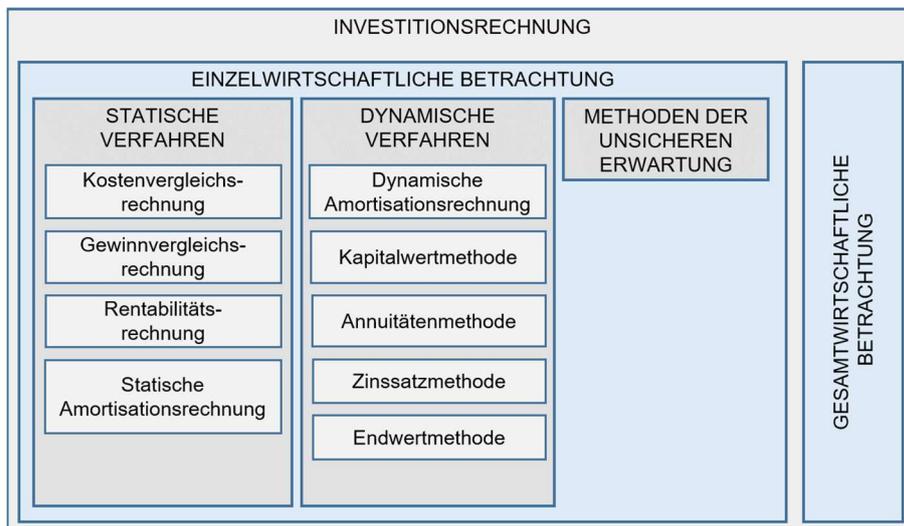


Abb. 3.4 Investitionsrechnungsarten⁷³

In dieser Arbeit wird genauer auf die einzelwirtschaftliche Betrachtung eingegangen. Eine Berechnung kann hier sowohl statisch als auch dynamisch erfolgen. Die Methoden der unsicheren Erwartung werden hier nicht weiter ausgeführt.

3.6.1 Statische Investitionsrechnung

Bei der statische Investitionsrechnung wird zur Betrachtung lediglich eine Periode aus der gesamten Nutzungsdauer einer Investition herangezogen, wobei für diese Periode Durchschnittswerte über die gesamte Nutzungsdauer ermittelt werden.⁷⁴

⁷¹ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. V.

⁷² Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 3.

⁷³ in Anlehnung an HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 4.

⁷⁴ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 8.

Diese Berechnungsmethode bietet sich an, um in frühen Projektphasen ein rasches und grobes Ergebnis zu erzielen. Das Verfahren zeichnet sich durch den geringen Aufwand in der Informationsbeschaffung, der leichten Anwendbarkeit und der einfachen Interpretierbarkeit der Ergebnisse aus. Die verschiedenen statischen Verfahren unterscheiden sich grundsätzlich nur hinsichtlich ihrer Zielgrößen (Kosten, Gewinn, Rentabilität, Amortisation).⁷⁵

In Bezug auf die Lebenszykluskostenrechnung werden wie schon erwähnt die erwarteten Folgekosten, welche jährlich anfallen, mit Durchschnittspreisen über den Betrachtungszeitraum aufsummiert. Dabei wird auf die Fälligkeit der jeweiligen Zahlung nicht eingegangen.⁷⁶ Dies bedeutet, dass Zinsen bzw. Zinseszinsen nicht berücksichtigt werden. Der Begriff Zinsen beschreibt in diesem Zusammenhang den Preis für die Überlassung von Kapital, wenn diese Zinsen wiederum weiter angelegt werden, spricht man von Zinseszinsen.⁷⁷

Die Betrachtung einer Durchschnittsperioden, sowie die Vernachlässigung der Zins- bzw. Zinseszinsseffekte bei den statischen Verfahren kann zu falschen Ergebnissen führen. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit nur noch auf die dynamische Investitionsrechnung eingegangen.

Um die Anwendung der statischen Investitionsrechnung nun anschaulich zu erläutern, wird ein Beispiel anhand einer Kostenvergleichsrechnung durchgeführt.

Beispiel 3.1 – Kostenvergleichsrechnung:

Der Eigentümer einer Wohnung möchte im Zuge einer Sanierung die Wandflächen erneuern. Hierfür holt er verschiedene Angebot für die Putz- und Malerarbeiten ein.

Die Formel für eine Kostenvergleichsrechnung lautet:

$$\sum_{i=1}^I c_i = c_1 + c_2 + \dots + c_I \quad [\text{Glg. 1}]^{78}$$

⁷⁵ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 8.

⁷⁶ Vgl. IPSE, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 18.

⁷⁷ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 8.

⁷⁸ NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 8.

Tabelle 3.1 Angebote - Kostenvergleichsrechnung

Lfd. Nr.		Angebot A	Angebot B	Angebot C
0	A	B	C	D
1	Putz Abschlagen	€ 1.200,00	€ 1.300,00	€ 1.250,00
2	Feinputz	€ 2.000,00	€ 2.100,00	€ 2.050,00
3	Malerarbeiten	€ 800,00	€ 850,00	€ 900,00
4	Summe	€ 4.000,00	€ 4.250,00	€ 4.200,00

Angebot A: $\sum C = C_1 + C_2 + C_3 = 1.200 + 2.000 + 800 = 4.000 \text{ €}$

Angebot B: $\sum C = C_1 + C_2 + C_3 = 1.300 + 2.100 + 850 = 4.250 \text{ €}$

Angebot C: $\sum C = C_1 + C_2 + C_3 = 1.250 + 2.050 + 900 = 4.200 \text{ €}$

Angebot A erweist sich als günstigste Variante und der Eigentümer entscheidet sich somit für Angebot A.

3.6.2 Dynamische Investitionsrechnung

Um detaillierte Ergebnisse zu erzielen, ist es notwendig, die dynamische Berechnungsmethode anzuwenden. Bei dieser Methode werden im Gegensatz zur statischen Berechnung auch die Preissteigerung und Abzinsung der zukünftig anfallenden Kosten berücksichtigt.⁷⁹ Dabei wird auf die Bildung von Durchschnittswerten verzichtet. Es wird der exakte Zeitpunkt, an dem die Kosten im Betrachtungszeitraum anfallen, berücksichtigt.⁸⁰

Es wird vom sogenannten vollkommenen Finanzmarkt ausgegangen. Somit gilt für den gesamten Finanzmarkt ein einheitlicher Zinssatz. Anders formuliert bedeutet dies, dass sowohl der Zinssatz, welchen man für die Anlage von Kapital erhält, als auch der fällige Zinssatz für die Aufnahme von Kapital (Kredit) gleich groß sind. Dieser einheitliche Zinssatz ist über die gesamte Nutzungsdauer konstant.⁸¹

⁷⁹ Vgl. IPSEr, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 18.

⁸⁰ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 3.

⁸¹ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 10.

3.7 Zinsrechnung

In diesem Abschnitt wird erläutert wobei es sich um Zinsen bzw. Zinseszinsen handelt und wie Beträge auf oder abgezinst werden.

3.7.1 Aufzinsung

Von Zinsen spricht man, wie schon in Abschnitt 3.6.1 erläutert, wenn ein Kreditnehmer einem Kreditgeber für die Überlassung von Kapital einen gewissen Geldbetrag zahlen muss. Dieser Zinsbetrag setzt sich dabei aus dem vereinbarten Zinssatz (p), der Höhe des benötigten Kapitals (K) und der Überlassungsdauer (n) zusammen. Durch die Aufzinsung kann nun berechnet werden, wie viel ein Geldbetrag (K_0), welche am Kapitalmarkt angelegt wurde, nach Ablauf von (n) Jahren unter Berücksichtigung der Zins- und Zinseszinsseffekte wert ist (K_n). Man spricht hier auch vom Endwert.⁸²

Das Endvermögen kann somit mit folgender Formel berechnet werden:

$$K_n = K_0 * (1 + p)^n \quad [\text{Glg. 2}]^{83}$$

Der Wert $1 + p$ wird in diesem Zusammenhang als Zinsfaktor bezeichnet und kann mit q abgekürzt werden.

Somit ergibt sich die Formel der Aufzinsung mit dem Zinsfaktor zu:

$$K_n = K_0 * q^n \quad [\text{Glg. 3}]^{84}$$

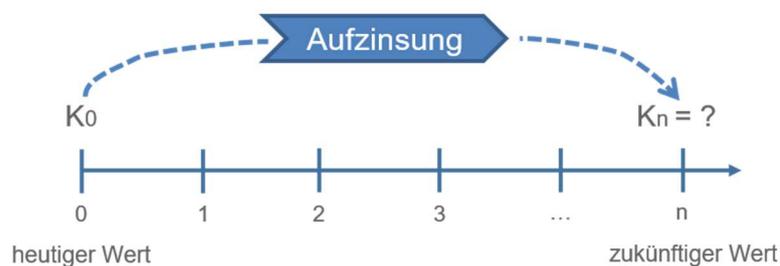


Abb. 3.5 Aufzinsung einer Zahlung⁸⁵

⁸² Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 11.

⁸³ NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 13.

⁸⁴ NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 13.

⁸⁵ in Anlehnung an NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 11.

Beispiel 3.2 - Aufzinsformel

Ein Anleger hat 10.000,00 € (K_0) auf seinem Sparbuch. Die Bank zahlt ihm dafür 1,50 % (p) Zinsen pro Jahr. Er möchte nun wissen, wieviel Geld er nach 5 Jahren auf seinem Sparbuch hat (K_n).

Die Berechnung lautet wie folgt:

$$K_5 = 10.000,00 * (1 + 0,015)^5$$

$$K_5 = 10.772,84 \text{ €}$$

Nach 5 Jahren hat der Anleger 10.772,84 € auf seinem Sparbuch.

3.7.2 Abzinsung

Bei der Abzinsung erfolgt genau die gegenteilige Berechnung. Dabei wird der frühere Wert eines Geldbetrages unter Berücksichtigung des Zins- und Zinseszinses ermittelt.



Abb. 3.6 Abzinsung einer Zahlung ⁸⁶

Die Aufzinsformel

$$K_n = K_0 * (1 + p)^n \quad [\text{Glg. 4}]^{87}$$

wird nach K_0 aufgelöst und ergibt somit die Abzinsformel

$$K_0 = \frac{K_n}{(1+p)^n} \quad [\text{Glg. 5}]^{88}$$

⁸⁶ in Anlehnung an NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 11.

⁸⁷ NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 13.

⁸⁸ NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 14.

Der Wert K_0 wird auch als Barwert oder Gegenwartswert bezeichnet. Hier wird eine in der Zukunft liegenden Zahlung (K_n) auf den Betrachtungszeitpunkt (t_0) mit einem festgelegten Zinssatz (p) abgezinst um Zahlungen welche zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Zukunft anfallen vergleichbar zu machen.

Mit dem Zinsfaktor $q = 1 + p$ ergibt sich die Formel zu:

$$K_0 = \frac{K_n}{q^n} \quad \text{bzw.} \quad K_0 = K_n * q^{-n} \quad [\text{Glg. 6}]^{89}$$

q^{-n} wird auch als Abzinsfaktor bezeichnet.

Beispiel 3.3 – Abzinsformel

Bei diesem Beispiel benötigt derselbe Anleger nach 5 Jahren (n) aber 11.000,00 € (K_n) und möchte wissen, wieviel Geld er jetzt anlegen muss (K_0), um bei gleichem Zinssatz von 1,50 % (p) nach 5 Jahren 11.000,00 € zu erhalten.

Die Berechnung lautet wie folgt:

$$K_0 = 11.000,00 * (1 + 0,015)^{-5}$$

$$K_0 = 10.210,86 \text{ €}$$

Der Anleger müsste jetzt 10.210,86 € anlegen, um nach Ablauf von 5 Jahren die benötigten 11.000,00 € zu erhalten.

3.7.3 Bestimmung des Kalkulationszinssatzes (risikoloser Zinssatz)

Bei einer beabsichtigten Investition und vor der Durchführung einer dynamischen Investitionsrechnung z. B. mittels der Barwertmethode ist zunächst ein Kalkulationszinssatz festzulegen.⁹⁰ Dieser stellt den Mindestzinssatz, welchen ein Investor für sein eingesetztes Kapital erhalten möchte, dar. Dieser ist vom Investor subjektiv festzulegen.⁹¹ Mit anderen Worten entspricht dieser jenem Zinssatz, den der Investor bei einer alternativen risikolosen Kapitalanlage erhalten hätte.

⁸⁹ NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 15.

⁹⁰ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 105.

⁹¹ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 20.

Dieser langfristige Zinssatz kann laut Expertentipp von Dr. Helmut Floegl im „Handbuch für Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen von Ein- und Zweifamilienhäusern“ als Mittelwert von langfristigen Sparzinsen und Hypothekendarlehen angesehen werden. In der Vergangenheit wurde dieser laut ÖNORM B 1801-4:2014 am besten durch die Sekundärmarktrendite des Bundes dargestellt. Seit 2015 wird die umlaufgewichtete Durchschnittsrendite für Bundesanleihen (UDRB) herangezogen. Diese beträgt seit 2015 im Durchschnitt 0,25 %.⁹² Aufgrund der aktuellen Geldmarktpolitik der EZB und der dadurch einhergehenden niedrigen Zinsen kann bei der Ermittlung der Barwerte auf die aktuelle UDRB allerdings 1 % aufgeschlagen werden.⁹³

3.8 Dynamische Investitionsrechnungsarten

3.8.1 Kapitalwertmethode

Bei der Kapitalwertmethode werden die Barwerte zukünftig anfallender Ausgaben und erzielter Einnahmen mit den Anschaffungskosten addiert. Dies dient dazu, um eine Aussage darüber treffen zu können, ob eine Investition wirtschaftlich sinnvoll ist oder nicht.⁹⁴

Bei der Ermittlung des Barwerts oder Gegenwartswert werden anfallende Ausgaben und erwirtschaftete Erlöse (Cashflow) mit Hilfe des angesetzten Kalkulationszinssatzes (p) auf einen Betrachtungszeitpunkt abgezinst bzw. diskontiert. Die Summe dieser Barwerte, korrigiert um die Anschaffungskosten, ergibt dann den Kapitalwert einer Investition.⁹⁵

Ein positiver Kapitalwert $KW > 0$ zeigt, dass eine Investition sinnvoll ist. Hier wird mehr als die Summe der Ausgaben und die zu erwartenden risikolosen Zinseinnahmen einer alternativen Investition am Kapitalmarkt erwirtschaftet.

Ein Kapitalwert von $KW = 0$ bedeutet, dass durch die Einnahmen exakt die Ausgaben und die zu erwartenden Zinseinnahmen erwirtschaftet werden.

Bei einem Kapitalwert $KW < 0$ deutet das Ergebnis darauf hin, dass eine Investition unvorteilhaft ist.⁹⁶

Das Ergebnis der Kapitalwertberechnung kann als Entscheidungsgrundlage für Investitionen herangezogen werden. Ist der Kapitalwert größer null wird die Investition getätigt. Ist eine Auswahlentscheidung zwischen

⁹² <https://www.oenb.at/isaweb/report.do?report=2.11.2>. Datum des Zugriffs: 30.10.2020.

⁹³ Vgl. IPSER, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 20.

⁹⁴ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 4.

⁹⁵ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 4.

⁹⁶ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung. S. 21.

verschiedenen Möglichkeiten zu treffen, wird jene Variante mit dem höheren Kapitalwert gewählt.

Die Berechnung des Kapitalwerts erfolgt über die folgende Gleichung:

$$KW = -I_0 + \sum_{t=1}^T (E_t - A_t) \cdot (1 + p)^{-t} + L_T \cdot (1 + p)^{-T} \quad [\text{Glg. 7}]^{97}$$

KW...Kapitalwert der Investition

I_0 ...Investitionssumme bzw. Anschaffungskosten

E_t ...Einzahlungen

A_t ...Auszahlungen

t...Zeitindex

p...Zinssatz

L_t ...Liquidationserlös

Beispiel 3.4 – Kapitalwertermittlung

Angenommen, ein Bauunternehmer kauft ein spezielles Gerät für einen Anschaffungspreis von 5.000,00 €. Innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 2 Jahren können mit dem Gerät Einnahmen ($E_1 = 2.000,00$ €) im 1. Jahr und ($E_2 = 3.700,00$ €) im 2. Jahr erwirtschaftet werden. Im selben Zeitraum werden Ausgaben in Form von Betriebsmitteln ($A_1 = 900,00$ €) im 1. Jahr und ($A_2 = 450,00$ €) im 2. Jahr fällig. Am Ende des Betrachtungszeitraumes kann das Gerät für ($L_2 = 1.500,00$ €) veräußert werden. Der Kalkulationszinssatz (p) wird mit 6 % angenommen.

Die Berechnung lautet wie folgt:

$$\begin{aligned} KW &= -5.000 \text{ €} + (2.000 \text{ €} - 900 \text{ €}) \cdot (1 + 0,06)^{-1} + (3.700 \text{ €} - 450 \text{ €}) \\ &\quad \cdot (1 + 0,06)^{-2} + 1.500 \text{ €} \cdot (1 + 0,06)^{-2} \\ KW &= 265,22 \text{ €} \end{aligned}$$

Das Ergebnis der Berechnung ergibt einen positiven Wert und eine Investition würde sich somit lohnen. Dieser Kapitalwert stellt somit eine Erhöhung des Vermögens um 265,22 € zum Zeitpunkt $t = 0$ dar. Anders ausgedrückt, müsste dem Investor zum Zeitpunkt $t = 0$ ein Geldbetrag von 265,22 € angeboten werden, um ihn von der Investition abzubringen.

⁹⁷ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 4.

Zum tieferen Verständnis der Rechengänge werden noch die folgenden zwei möglichen Szenarien dargestellt:

Szenario 1: Das Geld wird zum Zeitpunkt $t = 0$ mit einem Zinssatz (p) von 6 % angelegt. Durch Aufzinsen ergibt sich ein Endwert nach 2 Jahren (K_2) von 5.618,00 €.

$$K_{2-1} = 5.000,00 \text{ €} * (1 + 0,06)^2 = 5.618,00 \text{ €}$$

Szenario 2: Die oben beschriebene Investition wird getätigt. Nach einem Jahr ergibt sich ein Überschuss von 1.100,00 €, welcher wiederum mit einem Zinssatz (p) von 6 % für ein Jahr angelegt wird. Im zweiten Jahr ergibt sich ein Überschuss von 3.250,00 € bzw. der Erlös vom Verkauf mit 1.500,00 €. Da der Betrachtungszeitraum hier endet werden diese Beträge nicht weiter angelegt. Somit ergibt sich ein Endwert nach 2 Jahren (K_2) von 5.916,00 €

$$K_{2-2} = 1.100,00 \text{ €} * (1 + 0,06)^1 + 3.250,00 \text{ €} + 1.500,00 \text{ €} = 5.916,00 \text{ €}$$

Die Differenz der Endwerte der zwei betrachteten Szenarien beträgt somit 298,00 €

$$K_{\Delta} = 5.916,00 \text{ €} - 5.618,00 \text{ €} = 298,00 \text{ €}$$

Dies bedeutet, nach 2 Jahren wurde mit dem Szenario 2 um 298,00 € mehr erwirtschaftet als mit dem Szenario 1. Wird dieser Betrag nun auf den Zeitpunkt $t = 0$ abgezinst bzw. diskontiert, ergibt sich der im Vorhinein ermittelte Kapitalwert (KW) von 265,22 €, welcher dem Investor angeboten werden müsste, damit er die Investition nicht tätigt.

$$KW = 298 \text{ €} * (1 + 0,06)^{-2} = 265,22 \text{ €}$$

3.8.2 Annuitätenmethode

Eine regelmäßig auftretende Zahlung, welche in jeder Periode des betrachteten Zeitraumes in gleicher Höhe anfällt, wird im finanzmathematischen Sinn als Annuität bezeichnet. Bei dieser Methode wird grundsätzlich ermittelt, welchen konstanten jährlichen Betrag eine Investition abwirft. Je höher diese regelmäßigen Zahlungen ausfallen, desto vorteilhafter ist die Investition. Bei dieser Methode stehen somit Liquiditätsgesichtspunkte im Vordergrund. Die Methode ermöglicht es, eine Aussage darüber zu treffen, wie hoch der jährliche Liquiditätszufluss der Investition über die Nutzungsdauer ist.⁹⁸

Um die Annuität zu berechnen ergibt sich folgende Gleichung:

$$A = KW \frac{(1+p)^T \cdot p}{(1+p)^T - 1} \quad [\text{Glg. 8}]^{99}$$

A...Annuität

KW...Kapitalwert

T...Betrachtungszeitraum

p...Kalkulationszinssatz

Beispiel 3.5 – Ermittlung der Annuität

Es werden zwei Investitionen mit unterschiedlichen Kapitalwerten bzw. Laufzeiten verglichen.

Investition A: Kapitalwert 40.000,00 €; Laufzeit: 8 Jahre

Investition B: Kapitalwert 38.000,00 €; Laufzeit: 7 Jahre

Aufgrund des höheren Kapitalwerts der Investition A wäre diese bei der Betrachtung mit der Kapitalwertmethode der Investition B vorzuziehen.

Im Folgenden wird die von der Laufzeit abhängige Annuität der Investitionen berechnet.

$$A_A^{8 \text{ Jahre}} = 40.000,00 \text{ €} * \frac{(1 + 0,06)^8 \cdot 0,06}{(1 + 0,06)^8 - 1} = 6.441,44 \text{ €}$$

$$A_B^{7 \text{ Jahre}} = 38.000,00 \text{ €} * \frac{(1 + 0,06)^7 \cdot 0,06}{(1 + 0,06)^7 - 1} = 6.807,13 \text{ €}$$

⁹⁸ Vgl. SCHUSTER, T.: Investitionsrechnung. S. 95.

⁹⁹ Vgl. HOFSTADLER, C.: Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten. S. 5.

Da beide Varianten eine positive Annuität aufweisen, sind beide Investitionen als absolut vorteilhaft anzusehen. Relativ gesehen scheint die Investition B aufgrund der höheren Annuität vorteilhafter zu sein. Hier ist allerdings zu beachten, dass die relative Annuität von der Laufzeit abhängig ist.

Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, ist es notwendig, die Laufzeit der Investitionen künstlich anzupassen. Wird die Laufzeit der Investition B künstlich auf 8 Jahre verlängert, ergibt sich eine Annuität von 6.119,37 €.

$$A_B^{8 \text{ Jahre}} = 38.000,00 \text{ €} * \frac{(1 + 0,06)^8 \cdot 0,06}{(1 + 0,06)^8 - 1} = 6.119,37 \text{ €}$$

Bei gleicher Laufzeit der Investitionen und dem Vergleich der Annuitäten kann wiederum die Investition A als vorteilhaft angesehen werden. Dies bedeutet, dass bei Investitionen mit gleicher Laufzeit bzw. bei künstlicher Anpassung der Laufzeit die Annuitätenmethode zum gleichen Ergebnis hinsichtlich der Vorteilhaftigkeit einer Investition, wie die Kapitalwertmethode führt.¹⁰⁰

3.8.3 Dynamische Amortisationsrechnung

Die dynamische Amortisationsrechnung legt der Berechnung den Gedanken zugrunde, dass eine Investition in ein Projekt umso unvorteilhafter ist, umso länger sich der Zeitraum zwischen der zu Beginn getätigten Investition und der vollständigen Einnahme aller Investitionskosten inkl. anfallender Zinsen erstreckt. Ausschlaggebendes Kriterium ist hier somit die Dauer der Kapitalbindung.

Mithilfe der Amortisationszeit kann z. B. ermittelt werden, wann es möglich ist, neue Projekte veranlassen zu können. Projekte mit einer geringen Amortisationszeit werden bei diesem Verfahren somit als vorteilhaft bewertet, da sie durch die schnellere Kapitalrückgewinnung ein geringeres Risiko aufweisen.¹⁰¹

Um die Amortisationsdauer zu berechnen, werden zunächst die Barwerte der Überschüsse aus Ausgaben und Einnahmen gebildet. Diese werden solange aufsummiert, bis sie der Anfangsinvestition a_0 entsprechen.

Der Amortisationszeitpunkt wird erreicht, wenn die kumulierten und abgezinsten Überschüsse aus den Einnahmen und der Ausgaben der Anfangsinvestition a_0 entsprechen.

¹⁰⁰ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung, S. 42.

¹⁰¹ Vgl. SCHUSTER, T.: Investitionsrechnung, S. 121.

Somit ergibt sich folgende Formel:

$$\sum_{t=1}^x \frac{e_t - a_t}{(1+p)^t} = a_0 \quad [Glg. 9]^{102}$$

x...Amortisationszeitpunkt

a₀...Anfangsinvestition

e_t...Einnahmen

a_t...Ausgaben

p...Kalkulationszinssatz

t...Betrachtungszeitraum

Ergibt sich über den Betrachtungszeitraum kein positives Ergebnis, spricht erreicht das Projekt niemals seinen Amortisationszeitpunkt, kann die Investition als nicht vorteilhaft bewertet werden.

Beispiel 3.6 – Ermittlung des Amortisationszeitpunktes

Betrachten wir nun zwei Projekte mit folgender Ausgangssituation. Bei beiden Projekten wird jeweils eine Anfangsinvestition (a₀) von 100.000,00 € getätigt. Der angenommenen Kalkulationszinssatz (p) beträgt 6 %. Lediglich die Nutzungsdauer bzw. der Betrachtungszeitraum (t) unterscheidet sich bei den beiden Varianten.

Tabelle 3.2 Amortisationsrechnung - Ausgangssituation

Lfd. Nr.		Projekt A	Projekt B
0	A	B	C
1	Anfangsinvestition	€ 100.000,00	€ 100.000,00
2	Nutzungsdauer	8 Jahre	3 Jahre
3	Kalkulationszinssatz	6 %	6 %

¹⁰² Vgl. SCHUSTER, T.: Investitionsrechnung, S. 123.

In der Tabelle 3.3 sind die Einzahlungsüberschüsse pro Jahr für die beiden Varianten dargestellt.

Tabelle 3.3 Amortisationsrechnung - Einzahlungsüberschüsse

Lfd. Nr.	Projekt A		Projekt B	
	Jahr	Einzahlungsüberschuss [€]		
0	A	B	C	
1	1	€ 20.000,00	€ 60.000,00	
2	2	€ 20.000,00	€ 50.000,00	
3	3	€ 20.000,00	€ 5.000,00	
4	4	€ 20.000,00		
5	5	€ 20.000,00		
6	6	€ 20.000,00		
7	7	€ 20.000,00		
8	8	€ 20.000,00		

Zunächst werden die Barwerte der einzelnen Einzahlungsüberschüsse berechnet und kumuliert. Dies erfolgt mithilfe des Abzinsfaktors und wird so lange durchgeführt, bis der der kumulierte Barwert einen positiven Betrag erreicht. Ab diesem Zeitpunkt hat sich die Anfangsinvestition amortisiert.

Tabelle 3.4 Amortisationsrechnung – Projekt A

Projekt A					
Lfd. Nr.	Jahr	Abzinsfaktor ⁿ	Rückfluss [€]	Barwert [€]	Barwert kumuliert [€]
0	A	B	C	D	E
1	0	1,00	- € 100.000,00	- € 100.000,00	- € 100.000,00
2	1	0,94	€ 20.000,00	€ 18.867,92	- € 81.132,08
3	2	0,89	€ 20.000,00	€ 17.799,93	- € 63.332,15
4	3	0,84	€ 20.000,00	€ 16.792,39	- € 46.539,76
5	4	0,79	€ 20.000,00	€ 15.841,87	- € 30.697,89
6	5	0,75	€ 20.000,00	€ 14.945,16	- € 15.752,72
7	6	0,70	€ 20.000,00	€ 14.099,21	- € 1.653,51
8	7	0,67	€ 20.000,00	€ 13.301,14	€ 11.647,63
7	8	0,63	€ 20.000,00	€ 12.548,25	€ 24.195,88

Projekt A erreicht nach 7 Jahren den Amortisationszeitpunkt. Projekt B erreicht diesen bereits nach 2 Jahren.

Tabelle 3.5 Amortisationsrechnung – Projekt B

Projekt B					
Lfd. Nr.	Jahr	Abzinsfaktor ⁿ	Rückfluss [€]	Barwert [€]	Barwert kumuliert [€]
0	A	B	C	D	E
1	0	1,00	- € 100.000,00	- € 100.000,00	- € 100.000,00
2	1	0,94	€ 60.000,00	€ 56.603,77	- € 43.396,23
3	2	0,89	€ 50.000,00	€ 44.499,82	€ 1.103,60
4	3	0,84	€ 5.000,00	€ 4.198,10	€ 5.301,69

Wird die Entscheidung über eine Investition rein über die Amortisationsmethode getroffen, würde Projekt B als vorteilhafter angesehen werden. Wie in diesem Beispiel allerdings ersichtlich ist, besitzt Projekt A mit 24.195,88 € im Gegensatz zu Projekt B mit 5.301,69 € einen weitaus höheren Kapitalwert, womit wohl auch Projekt A vorzuziehen ist.

3.8.4 Interne Zinsfuß-Methode

Die Interne Zinsfuß-Methode wird wie die vorher beschriebenen Methoden dafür verwendet, um die Vorteilhaftigkeit einer Investition zu beurteilen. Dabei beschreibt der interne Zinsfuß die Rendite des eingesetzten Kapitals. Jener Zinssatz, bei dem der Barwert einer Investition null ergibt, wird als interner Zinsfuß bezeichnet. Liegt der interne Zinsfuß nun über dem angenommenen Kalkulationszinssatz, werden die Mindestanforderungen an die Verzinsung übertroffen und die Investition ist somit vorteilhaft.

Die Formel für die Berechnung des internen Zinsfußes lautet wie folgt:

$$K_0(p') = -A_{z0} + \frac{z_1}{(1+p')^1} + \frac{z_2}{(1+p')^2} + \dots + \frac{z_n}{(1+p')^n} \quad [\text{Glg. 10}]^{103}$$

mit

A_{z0} ...Anfangsinvestition

z_n ...Rückfluss zum Zeitpunkt n

p' ...interner Zinsfuß

¹⁰³ Vgl. NOOSTEN, D.: Investitionsrechnung, S. 34.

Zur Veranschaulichung wird im Folgenden die graphische Lösung zur Ermittlung des internen Zinsfußes an einem Beispiel erläutert.

Beispiel 3.7 – Ermittlung des internen Zinssatzes

Ein Anleger möchte auf 3 Jahre eine Investition tätigen. Die Anfangsinvestition beträgt 90.000,00 €. Im ersten Jahr erwirtschaftet er durch die Investition 35.000,00 € im zweiten 40.000,00 € und im dritten Jahr 35.000,00 €. Sein angenommener Kalkulationszinssatz, also jene Rendite, welche er sich in einer alternativen Anlageform erwartet, beträgt 10 %. Ist diese Investition nun vorteilhaft?

Die Ermittlung des internen Zinsfußes erfolgt in dieser Arbeit mithilfe der grafischen Lösung. Bei diesem Verfahren wird mithilfe eines Versuchszinssatzes der Barwert einer Investition ermittelt. Einer der Zinssätze muss zu einem negativen Barwert führen, der andere zu einem positiven. Durch diese Vorgehensweise ergeben sich zwei Punkte im K_0/p Diagramm, welche anschließend mit einer Gerade verbunden werden können. Der sich ergebende Schnittpunkt mit der p -Achse entspricht nun dem internen Zinssatz.

Tabelle 3.6 Barwert Versuchszinssatz p_1

Barwert Versuchszinssatz $p_1 = 6\%$				
Lfd. Nr.	Jahr	Abzinsfaktor ⁿ	Rückfluss [€]	Barwert [€]
0	A	B	C	C
1	0	1,00	- € 90.000,00	- € 90.000,00
2	1	0,94	€ 35.000,00	€ 33.018,87
3	2	0,89	€ 40.000,00	€ 35.599,86
4	3	0,84	€ 30.000,00	€ 25.188,58

$$K_{0(p_1)} = -90.000,00 \text{ €} + \frac{35.000,00 \text{ €}}{(1 + 0,06)^1} + \frac{40.000,00 \text{ €}}{(1 + 0,06)^2} + \frac{30.000,00 \text{ €}}{(1 + 0,06)^3} = 3.807,31 \text{ €}$$

Tabelle 3.7 Barwert Versuchszinssatz p_2

Barwert Versuchszinssatz $p_2 = 15\%$				
Lfd. Nr.	Jahr	Abzinsfaktor	Rückfluss [€]	Barwert [€]
0	A	B	C	C
1	0	1,00	- € 90.000,00	- € 90.000,00
2	1	0,87	€ 35.000,00	€ 30.434,78
3	2	0,76	€ 40.000,00	€ 30.245,75
4	3	0,66	€ 30.000,00	€ 19.725,49

$$K_{0(p_2)} = -90.000,00 \text{ €} + \frac{35.000,00 \text{ €}}{(1 + 0,15)^1} + \frac{40.000,00 \text{ €}}{(1 + 0,15)^2} + \frac{30.000,00 \text{ €}}{(1 + 0,15)^3} = -9.593,98 \text{ €}$$

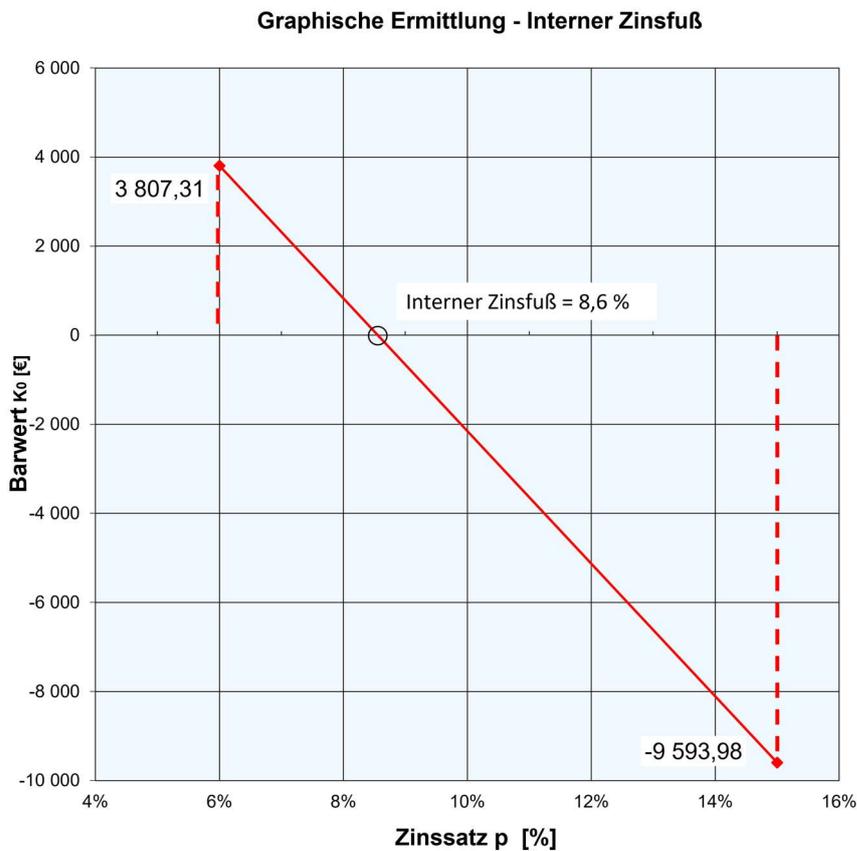


Abb. 3.7 Graphische Ermittlung – interner Zinsfuß

Wie in der Abb. 3.7 ersichtlich ergibt sich hier ein interner Zinsfuß von 8,6 %. Somit ist der Barwert der Investition bei einem Zinssatz von 8,60 % gleich null. Der angenommene Kalkulationszinssatz beträgt allerdings 10 %. Dies bedeutet, dass die Investition unvorteilhaft ist. Der Investor erwirtschaftet mit der Anlage seines Kapitals in diesem Projekt eine Rendite von 8,60 %, würde er dies unterlassen und sein Kapital anderswo mit seinem angenommenen Kalkulationszinssatz anlegen, würde er 10 % Rendite erhalten.

3.9 Lebenszykluskostenberechnung laut ÖNORM B1801-4:2014

Im folgenden Abschnitt werden unterschiedliche Methoden der Lebenszyklusberechnung laut ÖNORM B1801-4:2014 vorgestellt und erläutert.

3.9.1 Nominalwertmethode

Bei der Nominalwertmethode werden die Kosten, die über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes anfallen, getrennt nach Kostengruppen aufsummiert. Dabei werden für zukünftige Kosten Preissteigerungen berücksichtigt. Hierfür werden die Kosten ab dem Betrachtungszeitpunkt mit einem Preissteigerungsfaktor über eine Zinseszinsrechnung aufgezinst.¹⁰⁴

Der Preissteigerungsfaktor q wird wie folgt berechnet:

$$q = 1 + p \quad [\text{Glg. 11}]^{105}$$

Dabei stellt p die jährlich angenommene Preissteigerung dar. Grundlage für solche Preissteigerungsfaktoren sind z. B. der Baupreisindex, Baukostenindex, die Energiepreise sowie der Verbraucherpreisindex (VPI).

Bei jährlichen Kosten k_0 , ergibt sich die Summe der nominalen Kosten k_n über n Jahre der Nutzungsdauer aus

$$k_n = k_0 * q * \frac{q^n - 1}{q - 1} \quad [\text{Glg. 12}]^{106}$$

3.9.2 Barwertmethode (Discounted Cash Flow Method)

Bei der Barwertmethode wird der Wert zukünftiger Zahlungen bezogen auf einen Referenzzeitpunkt abgebildet. Bei dieser Methode ist es möglich, die Folgekosten abhängig vom Zeitpunkt ihres Auftretens mit den Errichtungskosten in ein Verhältnis zu stellen.¹⁰⁷ Hierfür wird zunächst ein Referenzzeitpunkt definiert, ab dem der Betrachtungszeitraum beginnt. Bei diesem Referenzzeitpunkt handelt es sich bei Neubauten um den Zeitpunkt der Baufertigstellung bzw. der Übergabe/Übernahme.¹⁰⁸

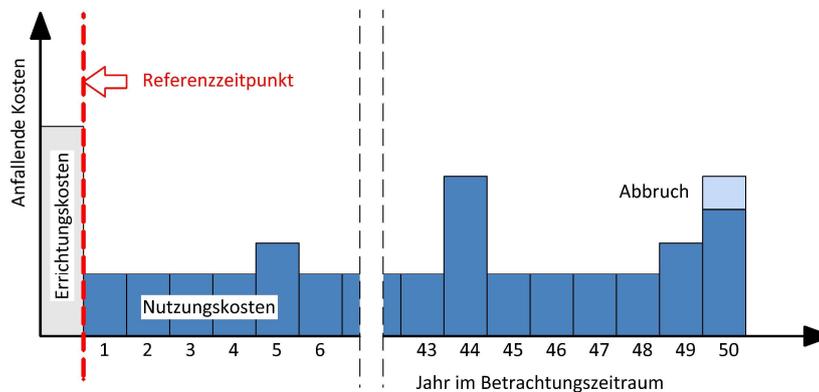
¹⁰⁴ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

¹⁰⁵ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

¹⁰⁶ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

¹⁰⁷ Vgl. IPSER, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 19

¹⁰⁸ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

Abb. 3.8 Lebenszykluskosten als Kapitalfluss ¹⁰⁹

Der Abzinsfaktor d ergibt sich aus

$$d = 1 + r \quad [\text{Glg. 13}]^{110}$$

Dabei stellt r die jährliche Rendite des eingesetzten Kapitals bei einer alternativen risikolosen Kapitalanlage dar. Man spricht hier vom Kalkulationszinssatz. Fallen nun jährliche Kosten k_0 an, ergibt sich der Barwert k_n über n Nutzungsjahre aus

$$k_n = k_0 * \left(\frac{q}{d}\right) * \frac{\left(\left(\frac{q}{d}\right)^n - 1\right)}{\left(\frac{q}{d} - 1\right)} \quad [\text{Glg. 14}]^{111}$$

Der Abzinsfaktor d und die Preissteigerung q sind sozusagen als Gegenspieler anzusehen. Dies hat zur Folge, dass je höher der Kalkulationszinssatz r angesetzt wird, desto geringer sind die Auswirkungen von weiter in der Zukunft liegenden Zahlungen auf die Lebenszykluskosten.¹¹² Dieser Zusammenhang wurde im Kapitel 3 in der Abb. 3.2 bereits verdeutlicht.

¹⁰⁹ in Anlehnung an AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

¹¹⁰ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

¹¹¹ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten. S. 7.

¹¹² Vgl. IPSER, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 19

3.9.3 Abschreibung und Finanzierung

Eine weitere Form der Lebenszykluskostenberechnung ist jene, unter Berücksichtigung der Abschreibung und der Finanzierungskosten des Kapitals. Bei dieser Berechnungsmethode werden keine Errichtungskosten angesetzt, sondern die jährliche Abschreibung dieser über den gewählten Abschreibungszeitraum. Folgekosten sind wiederum mit den entsprechenden Preissteigerungsfaktoren zu berücksichtigen. Die Kapitalkosten wie in Abb. 3.9 dargestellt, setzen sich aus den Finanzierungskosten sowie dem vereinbarten Zinssatz zusammen. Ist die Nutzungsdauer größer als die Abschreibungsdauer, sind die Werte der buchhalterischen Abschreibung gemäß Einkommenssteuergesetz zu verwenden. Bei kürzeren Nutzungsdauern ist die Abschreibungsdauer gleich der Nutzungsdauer anzusetzen.¹¹³

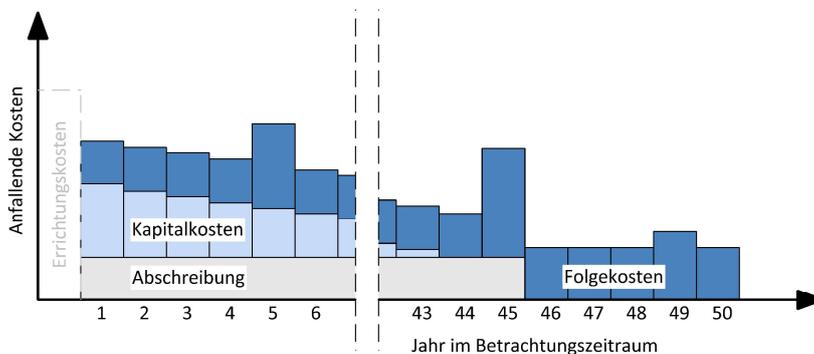


Abb. 3.9 Lebenszykluskosten mit Abschreibung und Finanzierung¹¹⁴

¹¹³ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten, S. 8.

¹¹⁴ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4:2014 Bauprojekt- und Objektmanagement – Berechnung von Lebenszykluskosten, S. 8.

4 Vorgehensweise zur Lebenszykluskostenermittlung

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise erläutert, welche der Lebenszykluskostenberechnung zugrunde liegt.

Die Berechnung der Lebenszykluskosten erfolgt mittels der Barwertmethode nach ÖNORM B1801-4:2014. Ziel der Berechnung ist es, die langfristig kosteneffektivste Außenwandvariante für ein betrachtetes Objekt zu finden. Die Berechnung soll dabei die relativen Einsparungspotenziale der verschiedenen Varianten aufzeigen. Anhand der berechneten Lebenszykluskosten wird anschließend ein Ranking erstellt, aus dem der ökonomisch gesehen optimale Außenwandaufbau hervorgeht.

Die Anforderungen an die Genauigkeit der Berechnungsmethode hängen stark davon ab, ob unterschiedliche Objekte verglichen werden, oder ob wie in dieser Arbeit verschiedene Varianten eines Bauteils miteinander verglichen werden sollen. Je weniger sich die unterschiedlichen Varianten unterscheiden, desto präziser muss die Berechnung durchgeführt werden, um eine sinnvolle Rangordnung zu ermöglichen.¹¹⁵

Um die Berechnungsergebnisse als Anhaltspunkt für zukünftige Betrachtungen heranziehen zu können, werden diese jeweils pro m² Außenwandfläche ermittelt. Zur Ermittlung der absoluten Kosten für das in dieser Arbeit betrachtete Objekt werden die Kosten pro m² mit der gesamten Außenwandfläche multipliziert.

4.1.1 Errichtungskosten

Die Ermittlung der Errichtungskosten erfolgt anhand von internen Kalkulationsansätzen eines mittelständischen Generalunternehmers aus der Steiermark, welcher vorwiegend im Einfamilienhausbau tätig ist. Preisbasis für die Berechnung sind Jahrespreisvereinbarungen mit Subunternehmern aus dem Jahr 2020. Es wird davon ausgegangen, dass die unterschiedlichen Preisniveaus in Österreich hinsichtlich der Herstellungskosten, keinen wesentlichen Einfluss auf die Lebenszykluskosten ausüben. Bezugnehmend auf die ÖNORM B 1801-1:2015 werden lediglich die Bauwerkskosten ermittelt. Alle anderen Kostengruppen bleiben hier unberücksichtigt, da diese keinen Einfluss auf das Endergebnis ausüben.

Die genaue Aufschlüsselung der Kosten bzw. die getroffenen Annahmen sind in den Kalkulationsblättern im Anhang ersichtlich. Alle ermittelten Preise sind als Preise inkl. Umsatzsteuer anzusehen.

¹¹⁵ Vgl. PELZENTER, A.: Lebenszykluskosten von Immobilien. S. 98.

4.1.2 Instandhaltungs- bzw. Instandsetzungskosten

Die Nutzungsdauer von Gebäuden, Bauteilen und Baustoffen beeinflusst wesentlich die ökonomische Gebäudequalität. Um Wartungs- bzw. Instandhaltungskosten in der Lebenszykluskostenberechnung berücksichtigen zu können, ist es notwendig, Referenznutzungsdauern für alle relevanten Baustoffe und Bauteile zu ermitteln. Ausschlaggebend ist dabei die technische Lebensdauer.¹¹⁶

Der Begriff technische Lebensdauer beschreibt dabei laut ISO 15686-1 jenen Zeitraum zwischen der Herstellung bzw. des Einbaues eines Bauteiles und der Erreichung bzw. Überschreitung der Mindestanforderung an die technischen Voraussetzungen bezüglich der Nutzung.¹¹⁷

Die folgende Abbildung beschreibt anschaulich den Zusammenhang zwischen der Lebensdauer von Bauteilen und deren technischer bzw. funktionaler Qualität.

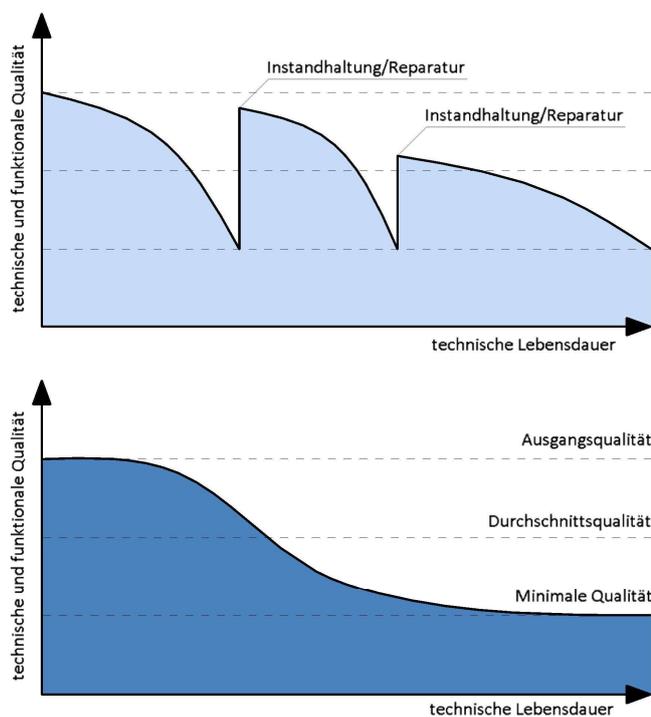


Abb. 4.1 Technische Nutzungsdauer¹¹⁸

Neben der Planungs- und Ausführungsqualität sowie den Eigenschaften der verwendeten Baustoffe haben z. B. auch das Nutzerverhalten oder

¹¹⁶ Vgl. ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND – ÖKOLOGIE: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 5.

¹¹⁷ Vgl. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-1 - Buildings and constructed assets – Service life planning. S.4.

¹¹⁸ in Anlehnung an HEISINGER, F.; STEINER, T.: Nachhaltige Baukonstruktion. S. 9.

Umwelteinflüsse einen wesentlichen Einfluss auf die technische Lebensdauer des Bauteils. Die Einflussfaktoren auf die technische Lebensdauer sind in Abb. 4.2 nochmals übersichtlich dargestellt.

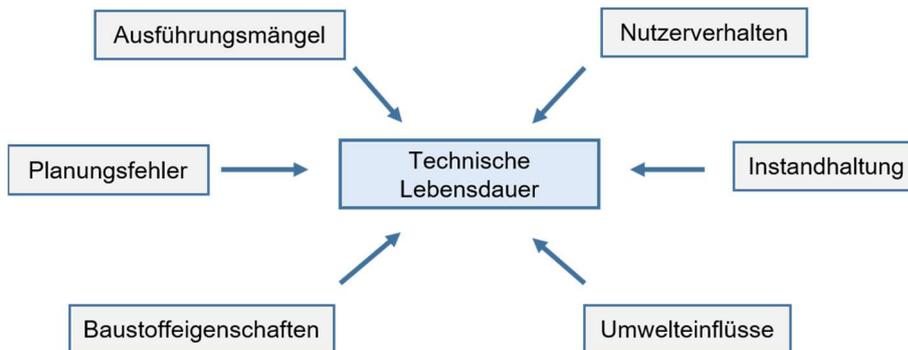


Abb. 4.2 Einflussfaktoren - technische Nutzungsdauer¹¹⁹

Die technische Nutzungsdauer ist die Basis für die Referenznutzungsdauer. Die Referenznutzungsdauer, welche in dieser Arbeit für die Lebenszykluskostenberechnung herangezogen wird, beschreibt die Zeitspanne vom Einbau bis zum Ersatz des Bauteils, wobei die Funktion des Bauteils möglicherweise noch gegeben ist. Hier werden allerdings Faktoren wie z. B. Komfort, Ästhetik und Hygiene mitberücksichtigt, welche zu Austausch des Bauteils führen können.¹²⁰ Die sich durch die Referenznutzungsdauer ergebenden Instandhaltungszyklen werden in die Lebenszykluskostenberechnung mitberücksichtigt.

Im Folgenden werden die angenommenen Referenznutzungsdauern der verschiedenen Bauteile näher beschrieben:

Bezüglich der Wandflächen im Innenraum des Gebäudes wird die Annahme getroffen, dass diese aufgrund von Abnutzung und Verschmutzung in einem Intervall von 10 Jahren neu gestrichen werden müssen.¹²¹

Die Instandhaltungskosten der untersuchten WDVS Fassaden, ergeben sich aus den Kosten für die Reinigung und der Erneuerung des Anstriches. Laut durchgeführten Studien in Bezug auf Fassadensysteme ergibt sich hier ein Intervall von 20 Jahren, in dem die Reinigung und Erneuerung des Anstrichs durchgeführt werden muss. Hauptgrund dafür ist die Algenbildung bei Wärmedämmverbundsystemen durch die Bewitterung der Fassade. Wobei hier nicht von einem technischen Mangel gesprochen wird, sondern lediglich von einer optischen Beeinträchtigung. Ergänzend ist zu erwähnen, dass die Algenbildung bei WDVS mit EPS Dämmstoffen früher

¹¹⁹ ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND – ÖKOLOGIE: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 8.

¹²⁰ in Anlehnung an ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND – ÖKOLOGIE: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 9.

¹²¹ Vgl. <https://www.tfj.ch/mietvertrag-wohnung-kostenlos/lebensdauer-tabelle.pdf>. Datum des Zugriffs: 02.11.2020

auftritt als bei jenen mit Mineralwolldämmung, die Ausführung eines Vordaches beeinflusst die Häufigkeit der Wartung ebenfalls deutlich.¹²²

Die vorgehängte hinterlüftete Holzfassade, welche in dieser Masterarbeit betrachtet wird, besteht aus unbehandeltem Lärchenholz. Dieses Fassadensystem kann als weitgehend wartungsfrei angesehen werden. Somit entstehen keine zusätzlichen Kosten durch z. B. neue Anstriche. Eine Fassadenreinigung ist während der gesamten Nutzungsdauer nicht erforderlich. Die Veränderung des äußeren Erscheinungsbildes durch die natürliche Abwitterung ist nicht zu verhindern und sollte vor der Entscheidung für eine Holzfassade bedacht werden.¹²³

Bei Fassadensystemen aus Faserzementplatten kann mit einem Reinigungsintervall von 20 Jahren gerechnet werden. Sonstige Instandhaltungsmaßnahmen entfallen bei diesem Fassadensystem.¹²⁴

Tragende Strukturen aus Beton, Ziegel und Holz weisen eine Lebensdauer von rund 100 Jahren auf.¹²⁵ Somit wird eine Instandsetzung der tragenden Bauteile in dieser Masterarbeit nicht in der Lebenszykluskostenberechnung berücksichtigt.

Hinsichtlich der Instandsetzungskosten muss zwischen den unterschiedlichen Fassadenverkleidungen unterschieden werden. Das österreichische Institut für Baubiologie und – Ökologie gibt hier durchschnittliche Nutzungsdauern für verschiedenste Baumaterialien bzw. Bauteile an.

Diese Instandsetzungskosten umfassen dabei die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Fassade sowie die Kosten für die Neuerrichtung.

Die Kosten und deren zu Grunde liegende Leistungsansätze für die Abbrucharbeiten werden auf Basis von firmeninternen Angeboten sowie Literaturrecherchen ermittelt. Die Entsorgungskosten ergeben sich aus den ermittelten Massen und den anfallenden Deponiekosten. Die Transportkosten werden in dieser Lebenszykluskostenbetrachtung nicht berücksichtigt, da diese maßgeblich vom Standort des Gebäudes abhängig sind.

Preisbasis für die Ermittlung der Abbruch und Entsorgungskosten ist das Jahr 2020. Die Entwicklung der Abbruchkosten wird auf Basis der Preissteigerung von Bauleistungen ermittelt. Die Entwicklung der Kosten hinsichtlich der Entsorgung ist nur schwer prognostizierbar, da sich aufgrund von gesetzlichen Rahmenbedingungen Anpassungen ergeben können.¹²⁶

Bei Wärmedämmverbundsystemen aus Polysterol- oder Mineralfaserdämmstoffen kann laut IBO von einer durchschnittlichen Nutzungs-

¹²² Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung. S. 79.

¹²³ Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung. S. 80.

¹²⁴ Vgl. <https://www.eternit.at/service/kontakt/faqs>. Datum des Zugriffs: 03.11.2020

¹²⁵ Vgl. Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 131.

¹²⁶ Vgl. HASLER, E.: Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung. S. 78.

dauer von 40 Jahren ausgegangen werden. Die Nutzungsdauer ist wiederum von der Vordachsituation abhängig. Die Ausführung eines Vordaches resultiert in einer Verlängerung der Nutzungsdauer um bis zu 10 Jahren.¹²⁷ Bei Holzfassaden aus Weichholz kann laut IBO von einer durchschnittlichen Lebensdauer von rund 30 Jahren ausgegangen werden.¹²⁸ Die Unterkonstruktion aus Holz erreicht dabei eine Lebensdauer von 40 Jahren.¹²⁹ Aus Gründen des konstruktiven Aufbaues und der Wirtschaftlichkeit wird eine Erneuerung bzw. der Austausch der Fassade allerdings immer inkl. der Unterkonstruktion erfolgen. Somit wird in der Lebenszykluskostenberechnung mit einer einmaligen Erneuerung der Fassade inkl. Unterkonstruktion nach 30 Jahren gerechnet. Fassaden aus Faserzementplatten und deren Unterkonstruktion besitzen laut Forschung eine durchschnittliche Lebensdauer von über 50 Jahren, weshalb hier mit keiner Sanierung der Fassade innerhalb des Betrachtungszeitraumes gerechnet wird.¹³⁰

Zusammenfassend wird in Abb. 4.3 ein Überblick über alle Instandhaltungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen mit den Zeitpunkten ihres Anfallens für die in dieser Arbeit betrachteten Wandaufbauten dargestellt.

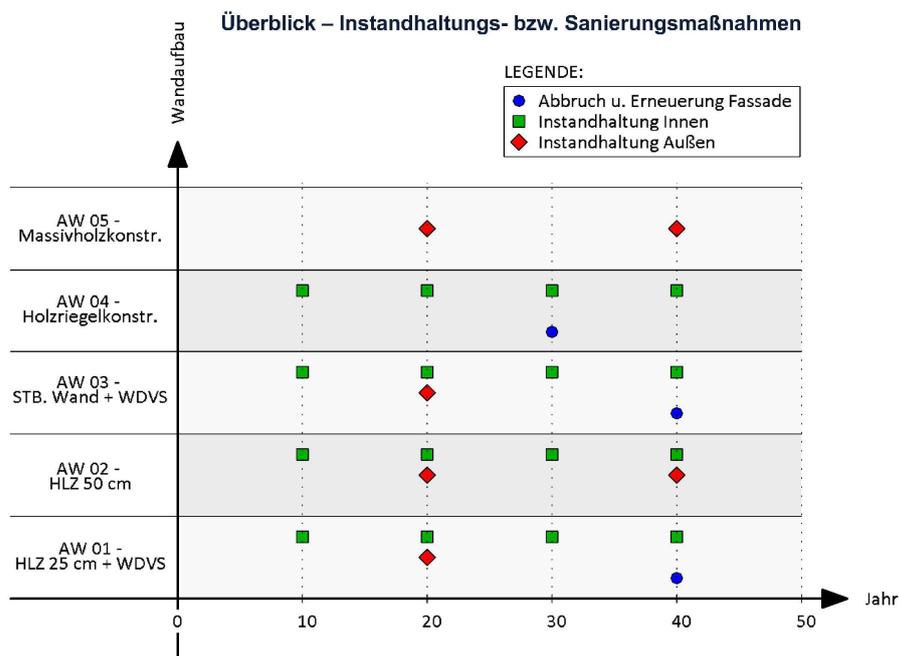


Abb. 4.3 Überblick – Instandhaltungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen

¹²⁷ Vgl. Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 38.

¹²⁸ Vgl. Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 86.

¹²⁹ Vgl. Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 108.

¹³⁰ Vgl. Österreichisches Institut für Baubiologie und – Ökologie: Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen. S. 83.

4.1.3 Kosten durch Wärmeenergieverluste

Ein Großteil der Energiekosten von Gebäuden entstehen im Bereich der Raumwärme. Die Umsetzung eines guten baulichen Wärmeschutzes kann dazu beitragen, diese Kosten über den Lebenszyklus deutlich zu senken.¹³¹

Um die Außenwandaufbauten hinsichtlich ihrer bauphysikalischen Eigenschaften vergleichen zu können, ist es notwendig, den Transmissionswärmeverlust des jeweiligen Wandaufbaus in der Berechnung zu berücksichtigen. Die Berechnung des Transmissionswärmeverlustes erfolgt unter Berücksichtigung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert), des betrachteten Bauteils, der Bauteilfläche und der Temperaturkorrekturfaktoren. Diese werden je nach Art und Lage des Bauteils angesetzt.¹³²

Der Transmissionswärmeverlust der wärmeabgebenden Außenwandfläche ergibt sich aus

$$H_T = A_B \cdot U_B \cdot f \quad [\text{Glg. 15}]^{133}$$

mit

H_T ... Transmissionswärmeverlust [W/K]

A_B ... Fläche Bauteil [m²]

U_B ... Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) Bauteil [W/m²K]

f ... Temperaturkorrekturfaktor

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) des Bauteils ergibt sich dabei aus

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{Glg. 16}]^{134}$$

$$R_T = R_{Si} + \sum R_t + R_{Se} \quad [\text{Glg. 17}]^{135}$$

¹³¹ Vgl. WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 4.

¹³² Vgl. WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 74.

¹³³ WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 42.

¹³⁴ WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 29.

¹³⁵ WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 28.

mit

U ...Wärmedurchgangskoeffizient [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

R_T ...Wärmedurchgangswiderstand [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_t ...Wärmedurchlasswiderstände $R_t = \frac{d}{\lambda}$

R_{si} ...innerer Wärmeübergangswiderstand [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

R_{se} ...äußerer Wärmeübergangswiderstand [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Um nun den jährlichen Verlust durch Wärmetransmission über die Außenwand berechnen zu können, ist es notwendig, die Dauer der Heizperiode, die mittlere Außentemperatur in dieser Periode, sowie die Soll-Innentemperatur in den beheizten Bereichen in die Berechnung mit aufzunehmen.¹³⁶

Die jährlichen Wärmeenergieverluste ergeben sich somit aus

$$Q_J = \frac{A_B \cdot U_B \cdot f \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t_H}{1000} \quad [\text{Glg. 18}]^{137}$$

mit

Q_J ...jährlicher Wärmeenergieverlust [kWh]

A_B ...Fläche Bauteil [m^2]

U_B ...Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) Bauteil [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

f ...Temperaturkorrekturfaktor

θ_i ...Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich [K]

θ_e ...mittlere Außentemperatur in der Heizperiode [K]

t_H ...Dauer der Heizperiode [h]

Bei Heiztagen bzw. der Dauer der Heizperiode spricht man laut aktueller Ausgabe der ÖNORM B 8110-5:2019 (Wärmeschutz im Hochbau) von jenen Tagen, bei denen die Tagesmitteltemperatur unter der Heizgrenztemperatur liegt. Die Heizgrenztemperatur wird dabei mit 14 °C festgelegt. Dies bedeutet unter 14 °C Außentemperatur wird laut Norm geheizt. Die Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich wird in der Norm mit 22 °C festgelegt.¹³⁸

¹³⁶ Vgl. WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 74.

¹³⁷ WILLEMS, W.: Lehrbuch der Bauphysik. S. 74.

¹³⁸ Vgl. AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau S. 7.

Für die Berechnung in dieser Arbeit wurden 213 Heiztage im Jahr angenommen. Die Stadt Klagenfurt befindet sich hier in einem Bereich mit einem im Vergleich milden Klima, in höher liegenden Gebieten kann diese Zahl deutlich darüber liegen.¹³⁹

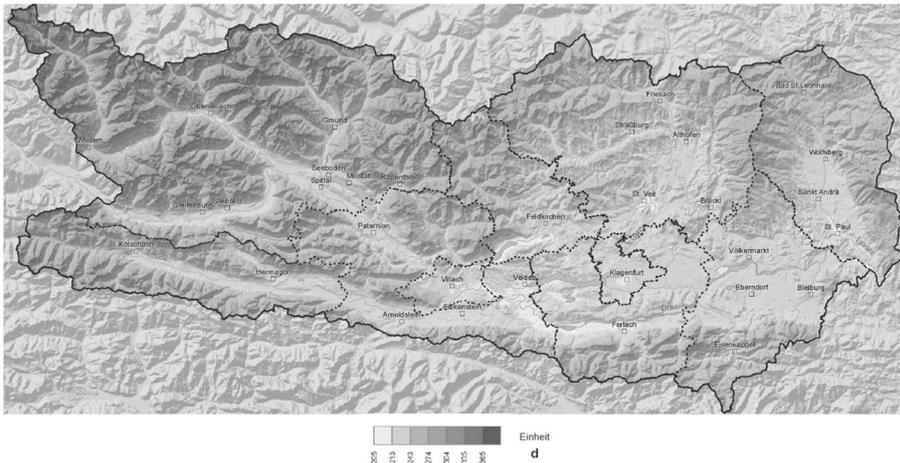


Abb. 4.4 Klima Atlas Kärnten – Heiztage ¹⁴⁰

Die Ermittlung der mittleren Außentemperatur in der Heizperiode erfolgt laut ÖNORM B 8110-5:2019. Hierfür muss ein Standortklima definiert werden. Klagenfurt befindet sich laut Norm in der südlichen Beckenlandschaft Österreichs. In Österreich gibt es sieben verschiedenen Temperaturregionen, welche in nachfolgender Abbildung dargestellt sind.

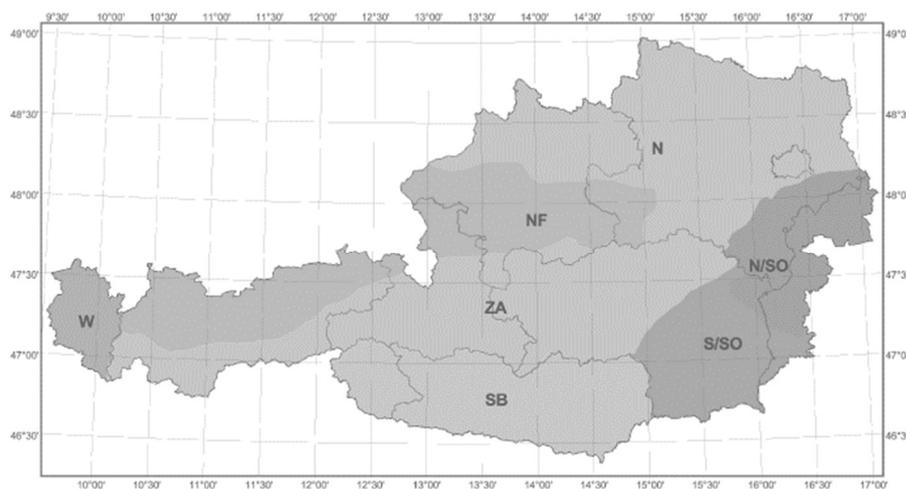


Abb. 4.5 Temperaturregionen Österreich¹⁴¹

¹³⁹ Vgl. <http://www.klimaatlas.ktn.gv.at/daten/1/hztag.html>. Datum des Zugriffs: 16.10.2020.

¹⁴⁰ <http://www.klimaatlas.ktn.gv.at/daten/1/hztag.html>. Datum des Zugriffs: 16.10.2020.

¹⁴¹ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau S. 6.

Um nun die mittlere Außentemperatur in der Heizperiode für die jeweilige Temperaturregion ermitteln zu können, gibt die ÖNORM Koeffizienten der Höhenregression an. Innerhalb der Regionen wird somit auch nach Höhenlage unterschieden. Bei der Berechnung handelt es sich um eine lineare Regression mit der Formel:

$$\theta_e = a + b \cdot \frac{h}{100} \quad [Glg. 19]^{142}$$

mit

θ_e mittlere Außentemperatur in der Heizperiode [K]

a, b ... Regressionskoeffizienten des Dreischichten-Regressionsmodells

h Seehöhe [m]

Tabelle 4.1 Koeffizienten des Regressionsmodells¹⁴³

Koeffizienten des Dreischichten-Regressionsmodells zur Bestimmung der mittleren Außentemperatur je Monat θ_e in °C												
$h \leq 750$ m												
	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
a	-0,731	2,220	7,226	12,482	16,841	20,619	22,478	21,700	17,574	11,575	5,604	1,152
b	-0,423	-0,458	-0,521	-0,613	-0,602	-0,610	-0,597	-0,607	-0,495	-0,413	-0,486	-0,566
$750 \text{ m} < h \leq 1500$ m												
	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
a	-5,349	0,035	6,448	12,253	16,840	20,516	22,013	20,670	16,634	9,503	2,225	-4,667
b	0,193	-0,166	-0,417	-0,582	-0,601	-0,596	-0,535	-0,470	-0,370	-0,137	-0,035	0,210
$h > 1500$ m												
	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
a	5,469	5,983	9,810	13,948	18,420	22,294	24,542	23,887	20,758	16,159	9,858	6,025
b	-0,528	-0,563	-0,641	-0,695	-0,707	-0,715	-0,704	-0,684	-0,645	-0,581	-0,544	-0,503

In der Tabelle 4.1 sind die Koeffizienten des Regressionsmodells für die Region Beckenlandschaft im Süden ersichtlich. Die Seehöhe für Klagenfurt wird mit 446 m ü. A. festgelegt.

Um nun eine Aussage treffen zu können, wie sich der jährliche Wärmeenergieverlust monetär auf die Lebenszykluskosten auswirkt, ist es notwendig eine Preisbasis für die Kosten der Wärmeenergie festzulegen.

Hierfür muss zunächst das verwendete Heizsystem festgelegt werden. Für diese Arbeit wird als Heizsystem eine Luft-/Wasser Wärmepumpe definiert. Dabei wird die in der Umgebungsluft enthaltene Wärmeenergie genutzt, um das Gebäude zu heizen. Eine wichtige Kennzahl zur Bestimmung des Energieverbrauchs eines solchen Heizsystems ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Dabei handelt es sich um eine Kennzahl, welche eine Aussage über die Effizienz einer Wärmepumpe zulässt. Sie beschreibt

¹⁴² AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau S. 7.

¹⁴³ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau S. 19.

das Verhältnis aus der über ein Jahr zugeführten elektrischen Energiemenge zur abgeführten thermischen Energiemenge. Die Berechnung erfolgt laut folgender Gleichung.

$$JAZ = \frac{Q_{ab}}{Q_{zu}} \quad [Glg. 20]^{144}$$

mit

JAZ Jahresarbeitszahl

Q_{ab} ... abgeführte Thermische Energie [kWh]

Q_{zu} ... zugeführte elektrische Energie [kWh]

Bei effizienten Luft-/Wasser Wärmepumpenanlagen liegt diese Jahresarbeitszahl bei etwa 3. Dabei gibt die Wärmepumpe etwa 3-mal so viel Wärmenergie ab, wie sie kostenpflichtig aus dem Stromnetz bezieht.¹⁴⁵

Der Preis für 1 kWh Strom hängt in Österreich vom jeweiligen Jahresverbrauch sowie dem Standort des Gebäudes ab. Für einen Durchschnittshaushalt in Klagenfurt mit einem Stromverbrauch von 3.500 kWh pro Jahr können Stromkosten von rund 20 ct/kWh angenommen werden.¹⁴⁶

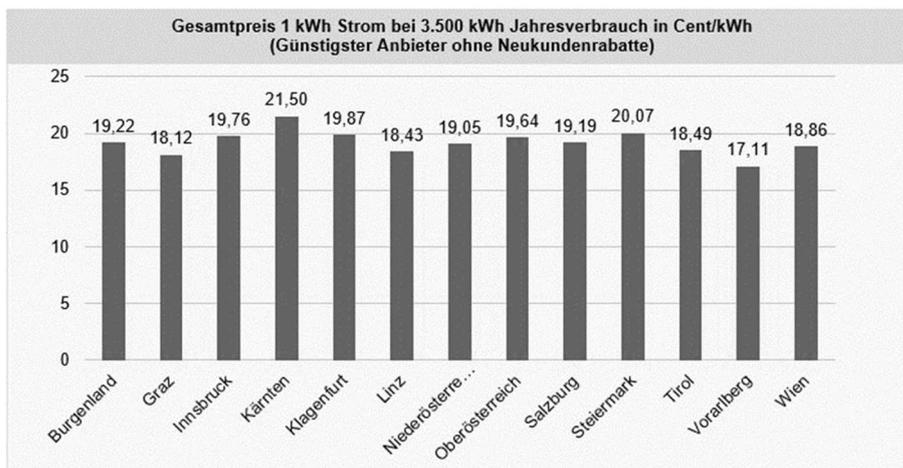


Abb. 4.6 Durchschnittlicher Gesamtstrompreis in Österreich¹⁴⁷

¹⁴⁴ Vgl. BENKE, G.: Expertise zum Einsatz von Luftwärmepumpen in Österreich. S. 4.

¹⁴⁵ Vgl. BENKE, G.: Expertise zum Einsatz von Luftwärmepumpen in Österreich. S. 2.

¹⁴⁶ Vgl. <https://www.e-control.at/konsumenten/strom/strompreis/was-kostet-eine-kwh>. Datum des Zugriffs: 16.10.2020.

¹⁴⁷ <https://www.e-control.at/konsumenten/strom/strompreis/was-kostet-eine-kwh>. Datum des Zugriffs: 16.10.2020.

4.1.4 Abbruch- und Entsorgungskosten

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Neubau von Einfamilienhäusern. Sie soll als Hilfestellung dienen, um aus ökonomischer Sicht den optimalen Außenwandaufbau für ein Gebäude zu finden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Bauherren 50 Jahre in diesem Gebäude leben. Aus dieser Annahme ergibt sich auch der Betrachtungszeitraum für die Lebenszykluskostenberechnung. Dabei wird bei dem vorliegenden Projekt von optimalen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Lebenszykluskosten ausgegangen. Dies bedeutet, dass die Planung und Ausführung qualitativ hochwertig erfolgt und es zu keinen Schäden am Gebäude durch etwaige Planungs- oder Ausführungsfehler kommt. Weiters wird von einem optimalen Nutzverhalten hinsichtlich des Betriebs und der Wartung des Gebäudes ausgegangen. Da bei diesen optimalen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Ausführung, Planung und dem Nutzerverhalten nicht mit einem Abbruch des gesamten Gebäudes innerhalb von 50 Jahren zu rechnen ist, wird in dieser Arbeit der Abbruch und die Entsorgung des gesamten Gebäudes nicht in der Lebenszyklusbetrachtung berücksichtigt.

Sehr wohl wird auf die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Baustoffe bei den durchzuführenden Sanierungsmaßnahmen, wie in Abschnitt 4.1.2 beschrieben näher eingegangen.

4.1.5 Preissteigerung und Kalkulationszinssatz

Für die dynamische Berechnung der Lebenszykluskosten werden unterschiedliche Preissteigerungsfaktoren z. B. für Bauleistungen, technische Dienste, lohnintensive Leistungen und Energiekosten berücksichtigt. Da sich diese Masterarbeit nur mit dem Einfluss von Außenwandaufbauten befasst, werden in der Lebenszykluskostenberechnung lediglich die Preissteigerungsfaktoren für Bauleistungen und Stromkosten berücksichtigt. Diese Preissteigerungsfaktoren basieren wie in Tabelle 4.2 ersichtlich auf den statistischen Preissteigerungsraten der letzten Jahre. Der Kalkulationszinssatz wird, wie bereits in Abschnitt 3.7.3 beschrieben, mit 1,25 % angesetzt.

Tabelle 4.2 Preissteigerung und Kalkulationszinssatz

Lfd. Nr.	Bereich	%	Quelle
0	A	B	C
1	Bauleistungen	2,40 %	Statistik Austria - Baupreisindex für Hochbau gesamt. Mittelwert 2015 - 2019
2	Stromkosten	0,83 %	Statistik Austria - Energiepreise. Mittelwert 2008 - 2018
3	Kalkulationszinssatz Barwertberechnung	1,25 %	Österreichische Nationalbank. Umlaufgewichtete Durchschnittrendite für Bundesanleihen

5 Praktische Anwendung der LZK-Rechnung

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der praktischen Anwendung der Lebenszykluskostenberechnung anhand eines Einfamilienhauses.

Zunächst wird das Projekt vorgestellt sowie die Rahmenbedingungen der Lebenszyklusbetrachtung definiert. Anschließend werden die unterschiedlichen Ausführungsvarianten der Außenwand, welche in der Berechnung betrachtet werden, beschrieben. Aufbauend auf diesen Eingangsparametern wird eine dynamische Lebenszyklusberechnung mittel der Barwertmethode für die unterschiedlichen Ausführungsvarianten durchgeführt. Die Ergebnisse werden anschließend im Kapitel 6 ausgewertet und interpretiert.

5.1 Projektvorstellung

Als Grundlage für den Vergleich der fünf unterschiedlichen Außenwandaufbauten dient ein Einfamilienhaus, welches im Jahr 2020 in Klagenfurt am Wörthersee errichtet wurde. Bei dem Objekt handelt es sich um ein zweigeschoßiges Gebäude, welches teilunterkellert sowie mit angeschlossener Garage ausgeführt wird. Die Wohnfläche des Gebäudes beträgt ca. 160 m². Die Bereitstellung des Warmwassers bzw. die Raumheizung erfolgt über eine Luft-/Wasser Wärmepumpe. Anhand dieses Einfamilienhauses soll untersucht werden, welcher Außenwandaufbau aus ökonomischer Sicht über den Betrachtungszeitraum die optimale Variante darstellt.

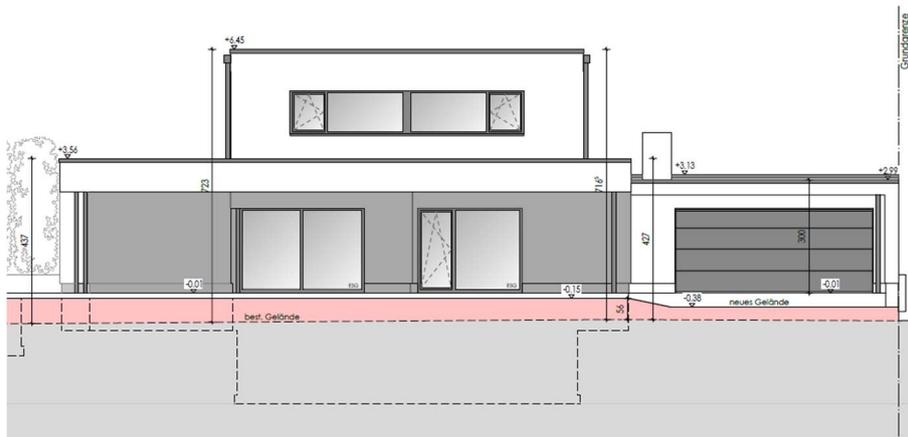


Abb. 5.1 Ansicht Süd - Mustergebäude

5.2 Rahmenbedingungen

Für jede Lebenszyklusberechnung müssen verschiedenste Rahmenbedingungen gegeben sein bzw. angenommen werden. Alle Annahmen sind dabei mit einer möglichst großen Sorgfalt zu treffen und entsprechend zu dokumentieren.¹⁴⁸

Bei dem vorliegenden Projekt wird von optimalen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Lebenszykluskosten ausgegangen. Dies bedeutet, dass die Planung und Ausführung qualitativ hochwertig erfolgt und es zu keinen Schäden am Gebäude durch etwaige Planungs- oder Ausführungsfehler kommt. Weiters wird von einem optimalen Nutzerverhalten hinsichtlich des Betriebs und der Wartung des Gebäudes ausgegangen.

Ebenfalls wird der Berechnung ein Szenario zugrunde gelegt, bei der es zu keiner Beschädigung des Gebäudes durch unvorhersehbare Ereignisse, wie z. B. Hochwasser oder Sturmschäden kommt.

Weiters wird davon ausgegangen, dass alle Bauteile und Materialien eine lange Nutzungsdauer aufweisen. Auf die Referenznutzungsdauer der betrachteten Bauteile und Baustoffe wurde im Abschnitt 4.1.2 bereits näher eingegangen.

Der angenommene Betrachtungszeitraum für die Lebenszykluskostenberechnung beträgt 50 Jahre. Aufgrund einer qualitativ hochwertigen Planung und Ausführung kann die Annahme getroffen werden, dass sich das Gebäude am Ende des Betrachtungszeitraumes in einem guten Zustand befindet.

Hinsichtlich der dynamischen Berechnung der Lebenszykluskosten, wurden Preissteigerungen für z. B. Bauleistungen basierend auf Preissteigerungsraten der letzten Jahre laut Statistik Austria angenommen.

5.3 Vorstellung der Außenwandaufbauten

Im folgenden Abschnitt werden die zu untersuchenden Außenwandaufbauten näher beschrieben. Die Auswahl der Wandaufbauten umfasst jene Ausführungsvarianten, welche hauptsächlich im Einfamilienhausbau zur Ausführung kommen. Um einen Vergleich zwischen dem Massivbau und Holzbau herstellen zu können, werden drei Massivbauweisen und zwei Ausführungsvarianten in Holzbauweise untersucht.

¹⁴⁸ Vgl. IPSER, C.: Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern. S. 32.

5.3.1 Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol

Der erste zu untersuchende Wandaufbau weist eine Wanddicke von ca. 41 cm auf. Die innerste Schicht besteht aus einem ca. 1,5 cm starken Kalk-Gips Putz. Die Tragkonstruktion bildet ein 25 cm starkes Hochlochziegelmauerwerk. Als Fassadenkonstruktion kommt ein 14 cm starkes Wärmedämmverbundsystem, bestehend aus einer EPS-F Dämmplatte sowie einem Silikat Putz mit einem Größtkorn von 2 mm zur Ausführung. Der eben beschriebene Wandaufbau erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,21 W/m²K.

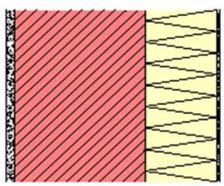
Bauteilbezeichnung: Außenwand		Kurzbezeichnung: AW01		
Bauteiltyp: Außenwand				
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U - Wert 0,21 [W/m²K]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	R = d / λ
Nr	von innen nach außen Bezeichnung	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	Durchlaßw. [m ² K/W]
1	RÖFIX 190 Gips-Kalk-Innenputz	0,015	0,470	0,032
2	POROTHERM 25-38 N+F	0,250	0,259	0,965
3	AUSTROTHERM EPS F	0,140	0,040	3,500
4	RÖFIX Silikatputz	0,002	0,700	0,003
Dicke des Bauteils [m]		0,407		
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,170	[m ² K/W]
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \Sigma R_t + R_{se}$	4,670	[m ² K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1 / R_T$	0,21	[W/m²K]

Abb. 5.2 Hochlochziegel mit Wärmedämmverbundsystem¹⁴⁹

Die Errichtungskosten belaufen sich wie in Tabelle 5.1 ersichtlich auf 170,59 €/m² inkl. Ust.. Diese Kosten fallen einmalig zu Beginn des Betrachtungszeitraums an.

Tabelle 5.1 Errichtungskosten AW 01 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malararbeiten Innen	6,00	€/m ²
2	Innenputz Kalk/Gipsputz	12,34	€/m ²
3	Hochlochziegel 25 cm	63,11	€/m ²
4	WDVS 14 cm EPS-F	44,61	€/m ²
5	Dünnputz	16,10	€/m ²
6	Gesamtpreis	142,16	€/m²
7	Umsatzsteuer + 20 %	28,43	€/m ²
8	Angebotspreis	170,59	€/m²

¹⁴⁹ Auszug aus der U-Wertberechnung mittels der Software GEQ

Hinsichtlich der Instandhaltungskosten wird davon ausgegangen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes, in einem Intervall von 10 Jahren die Innenwände neu gestrichen werden müssen. Die Kosten für diese Malerarbeiten belaufen sich auf 7,20 €/m².

Tabelle 5.2 Instandhaltung innen AW 01 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malerarbeiten innen	6,00	€/m ²
2	Gesamtpreis	6,00	€/m²
3	Umsatzsteuer + 20 %	1,20	€/m ²
4	Angebotspreis	7,20	€/m²

Die Kosten für die Reinigung der Fassade sowie die Erneuerung des Anstrichs belaufen sich auf 39,96 €/m². Diese Arbeiten werden in einem Intervall von 20 Jahren durchgeführt.

Tabelle 5.3 Instandhaltung außen AW 01 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Fassadengerüst	6,63	€/m ²
2	Reinigung	10,00	€/m ²
3	Vorarbeiten	2,50	€/m ²
3	Grundierung	2,50	€/m ²
4	Anstrich	11,67	€/m ²
5	Gesamtpreis	33,30	€/m²
6	Umsatzsteuer + 20 %	6,66	€/m ²
7	Angebotspreis	39,96	€/m²

Für das Wärmedämmverbundsystem wird eine Lebensdauer von 40 Jahren angesetzt. Sprich nach 40 Jahren muss das WDVS komplett erneuert werden. Die Kosten hierfür umfassen sowohl den Abbruch des bestehenden Wärmedämmverbundsystems als auch die Herstellung der neuen Fassade.

Tabelle 5.4 Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 01 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Baustelle einrichten / räumen	3,51	€/m ²
2	Abbruch WDVS mit Bagger + Greifer	0,90	€/m ²
3	Entsorgung WDVS	7,46	€/m ²
4	Fassadengerüst	6,63	€/m ²
5	Siloaufstellgebühr	0,70	€/m ²
6	WDVS 14 cm EPS-F	41,41	€/m ²
7	Dünnputz	16,11	€/m ²
8	Gesamtpreis	76,72	€/m²
9	Umsatzsteuer + 20 %	15,34	€/m ²
10	Angebotspreis	92,06	€/m²

Die Kosten aufgrund von Wärmeverlusten ergeben sich zu 1,33 €/m²a. Der Berechnung wurden die in Abschnitt 4.1.3 beschriebenen Parameter zugrunde gelegt.

Tabelle 5.5 Kosten durch Wärmeverluste AW 01 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Wert	EH
0	A	B	C
1	Fläche Bauteil	1,00	m ²
2	U-Wert Bauteil	0,21	W/m ² K
3	Temperaturkorrekturfaktor	1,00	-
4	Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich	22,00	K
5	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode	3,43	K
6	Dauer der Heizperiode	5112,00	h/a
7	Wärmeenergieverluste jährlich	19,94	kWh/m²a
8	Stromverbrauch jährlich	6,65	kWh/m²a
9	Strompreis (Preisbasis 2020)	0,20	€/kWh
10	Kosten jährlich	1,33	€/m²a

5.3.2 Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk

Der zweite zu untersuchende Wandaufbau weist eine Wanddicke von ca. 54 cm auf. Die innerste Schicht besteht aus einem ca. 1,5 cm starken Kalk-Gips Putz. Die Tragkonstruktion bildet ein 50 cm starkes Hochlochziegelmauerwerk. Auf dem Hochlochziegelmauerwerk ist ein 3 cm starker Kalk-Zement-Putz aufgebracht. Die äußerste Schicht bildet ein Silikat Putz mit einem Gößtkorn von 2 mm. Der eben beschriebene Wandaufbau erreicht ebenfalls einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,21 W/m²K.

Bauteilbezeichnung: Außenwand		Kurzbezeichnung: AW02		
Bauteiltyp: Außenwand				
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U - Wert 0,21 [W/m²K]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
Nr	Baustoffschichten von innen nach außen Bezeichnung	d Dicke [m]	λ Leitfähigkeit [W/mK]	R = d / λ Durchlaßw. [m ² K/W]
1	RÖFIX 190 Gips-Kalk-Innenputz	0,015	0,470	0,032
2	POROTHERM 50 N+F	0,500	0,111	4,505
3	RÖFIX 510 Kalk-Zement-Grundputz	0,020	0,470	0,043
4	RÖFIX Silikatputz	0,002	0,700	0,003
Dicke des Bauteils [m]		0,537		
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$		0,170 [m ² K/W]
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$		4,753 [m ² K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1 / R_T$		0,21 [W/m ² K]

Abb. 5.3 Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk¹⁵⁰

Die Errichtungskosten belaufen auf 223,66 €/m² inkl. Ust.. Diese Kosten fallen einmalig zu Beginn des Betrachtungszeitraums an.

Tabelle 5.6 Errichtungskosten AW 02 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malararbeiten innen	6,00	€/m ²
2	Innenputz Kalk/Gipsputz	12,34	€/m ²
3	Hochlochziegel 50 cm	114,52	€/m ²
4	Fassadenunterputz	23,23	€/m ²
5	Unterputz spachteln	14,19	€/m ²
6	Dünnputz	16,10	€/m ²
7	Gesamtpreis	186,38	€/m²
8	Umsatzsteuer + 20 %	37,28	€/m ²
9	Angebotspreis	223,66	€/m²

¹⁵⁰ Auszug aus der U-Wertberechnung mittels der Software GEQ

Hinsichtlich der Instandhaltungskosten wird davon ausgegangen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes, in einem Intervall von 10 Jahren die Innenwände neu gestrichen werden müssen. Die Kosten für diese Malerarbeiten belaufen sich wiederum auf 7,20 €/m².

Tabelle 5.7 Instandhaltung innen AW 02 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malerarbeiten innen	6,00	€/m ²
2	Gesamtpreis	6,00	€/m²
3	Umsatzsteuer + 20 %	1,20	€/m ²
4	Angebotspreis	7,20	€/m²

Die Kosten für die Reinigung und Erneuerung des Anstriches der Fassade belaufen sich wie auch bei dem vorherigen Wandaufbau auf 39,96 €/m². Diese Arbeiten werden in einem Intervall von 20 Jahren durchgeführt. Da dieser Wandaufbau ohne WDVS ausgeführt wird, ist hier nicht mit dem Abbruch und der Erneuerung der Fassade innerhalb des Betrachtungszeitraums zu rechnen.

Tabelle 5.8 Instandhaltung außen AW 02 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Fassadengerüst	6,63	€/m ²
2	Reinigung	10,00	€/m ²
3	Vorarbeiten	2,50	€/m ²
3	Grundierung	2,50	€/m ²
4	Anstrich	11,67	€/m ²
5	Gesamtpreis	33,30	€/m²
6	Umsatzsteuer + 20 %	6,66	€/m ²
7	Angebotspreis	39,96	€/m²

Der Wärmedurchgangskoeffizient dieses Wandaufbaus entspricht wie schon beim vorherigen Wandaufbau 0,21 W/m²K. Somit ergeben sich die gleichen Kosten aufgrund der Wärmeverluste von 1,33 €/m²a.

Tabelle 5.9 Kosten durch Wärmeverluste AW 02 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Wert	EH
0	A	B	C
1	Fläche Bauteil	1,00	m ²
2	U-Wert Bauteil	0,21	W/m ² K
3	Temperaturkorrekturfaktor	1,00	-
4	Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich	22,00	K
5	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode	3,43	K
6	Dauer der Heizperiode	5112,00	h/a
7	Wärmeenergieverlust jährlich	19,94	kWh/m²a
8	Stromverbrauch jährlich	6,65	kWh/m²a
9	Strompreis (Preisbasis 2020)	0,20	€/kWh
10	Kosten jährlich	1,33	€/m²a

5.3.3 Stahlbetonmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle

Der dritte Wandaufbau weist eine Wanddicke von ca. 36 cm auf. Die innerste Schicht besteht aus einem ca. 1,5 cm starken Kalk-Gips Putz. Die Tragkonstruktion besteht bei dieser Variante aus einem 20 cm starkem Stahlbetonmauerwerk. Auf dem Stahlbetonmauerwerk ist außen eine 14 cm starke Mineralwollämmplatte aufgebracht. Die äußerste Schicht besteht wiederum aus einem Silikat Putz mit einem Gößtkorn von 2 mm. Der eben beschriebene Wandaufbau erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,23 W/m²K.

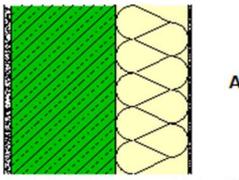
Bauteilbezeichnung: Außenwand		Kurzbezeichnung: AW03		
Bauteiltyp: Außenwand				
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U - Wert		0,23 [W/m²K]		
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
Nr	Baustoffschichten von innen nach außen Bezeichnung	d Dicke [m]	λ Leitfähigkeit [W/mK]	R = d / λ Durchlaßw. [m ² K/W]
1	ROFIX 190 Gips-Kalk-Innenputz	0,015	0,470	0,032
2	Stahlbeton 60 kg/m ³ Armierungsstahl (0,75 Vol.%)	0,200	2,300	0,087
3	ROCKWOOL Coverrock 034 Austria	0,140	0,034	4,118
4	ROFIX Silikatputz	0,002	0,700	0,003
Dicke des Bauteils [m]		0,357		
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$		0,170 [m ² K/W]
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$		4,410 [m ² K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1 / R_T$		0,23 [W/m ² K]

Abb. 5.4 Stahlbetonmauerwerk mit WDVS aus Mineralwolle¹⁵¹¹⁵¹ Auszug aus der U-Wertberechnung mittels der Software GEQ

Die Errichtungskosten belaufen sich auf 421,48 €/m² inkl. Ust.. Diese Kosten fallen einmalig zu Beginn des Betrachtungszeitraums an.

Tabelle 5.10 Errichtungskosten AW 03 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malerarbeiten innen	6,00	€/m ²
2	Innenputz Kalk/Gipsputz	12,34	€/m ²
3	Schalung Wand beidseitig	27,01	€/m ²
4	Stahlbeton MWK	226,45	€/m ²
5	WDVS Mineralwolle 14 cm	63,33	€/m ²
6	Dünnputz	16,10	€/m ²
7	Gesamtpreis	351,23	€/m²
8	Umsatzsteuer + 20 %	70,25	€/m ²
9	Angebotspreis	421,48	€/m²

Hinsichtlich der Instandhaltungskosten wird davon ausgegangen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraumes, in einem Intervall von 10 Jahren die Innenwände neu gestrichen werden müssen. Die Kosten für diese Malerarbeiten belaufen sich auf 7,20 €/m².

Tabelle 5.11 Instandhaltung innen AW 03 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malerarbeiten innen	6,00	€/m ²
2	Gesamtpreis	6,00	€/m²
3	Umsatzsteuer + 20 %	1,20	€/m ²
4	Angebotspreis	7,20	€/m²

Die Kosten für die Reinigung der Fassade sowie die Erneuerung des Anstrichs belaufen sich auf 39,96 €/m². Diese Arbeiten werden in einem Intervall von 20 Jahren durchgeführt.

Tabelle 5.12 Instandhaltung außen AW 03 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Fassadengerüst	6,63	€/m ²
2	Reinigung	10,00	€/m ²
3	Vorarbeiten	2,50	€/m ²
3	Grundierung	2,50	€/m ²
4	Anstrich inkl. Farbe	11,67	€/m ²
5	Gesamtpreis	33,30	€/m²
6	Umsatzsteuer + 20 %	6,66	€/m ²
7	Angebotspreis	39,96	€/m²

Bezüglich des Wärmedämmverbundsystems wird wiederum eine Lebensdauer von 40 Jahren angesetzt. Sprich nach 40 Jahren muss das WDVS komplett erneuert werden. Die Kosten für den Abbruch und der Erneuerung des WDVS unterscheiden sich von der Variante AW 01 lediglich in den Entsorgungs- und Materialkosten der Mineralwolldämmung.

Tabelle 5.13 Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 03 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Baustelle einrichten / räumen	3,51	€/m ²
2	Abbruch WDVS mit Bagger + Greifer	0,90	€/m ²
3	Entsorgung WDVS	4,06	€/m ²
4	Fassadengerüst	6,63	€/m ²
5	Siloaufstellgebühr	0,70	€/m ²
6	WDVS 14 cm Mineralwolle	63,33	€/m ²
7	Dünnputz	16,11	€/m ²
8	Gesamtpreis	95,24	€/m²
9	Umsatzsteuer + 20 %	19,05	€/m ²
10	Angebotspreis	114,29	€/m²

Der Wärmedurchgangskoeffizient diese Wandaufbaus beträgt 0,23 W/m²K. Somit ergeben sich Kosten aufgrund der Wärmeenergieverluste von 1,46 €/m²a.

Tabelle 5.14 Kosten durch Wärmeverluste AW 03 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Wert	EH
0	A	B	C
1	Fläche Bauteil	1,00	m ²
2	U-Wert Bauteil	0,23	W/m ² K
3	Temperaturkorrekturfaktor	1,00	-
4	Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich	22,00	K
5	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode	3,43	K
6	Dauer der Heizperiode	5112,00	h/a
7	Wärmeenergieverlust jährlich	21,83	kWh/m²a
8	Stromverbrauch jährlich	7,28	kWh/m²a
9	Strompreis (Preisbasis 2020)	0,20	€/kWh
10	Kosten jährlich	1,46	€/m²a

5.3.4 Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade

Um einen Vergleich zum Holzbau herstellen zu können, wird nun eine Holzriegelwand mit hinterlüfteter Fassade betrachtet. Dieser Wandaufbau weist eine Wanddicke von ca. 37 cm auf. Die Tragkonstruktion bildet eine 20 cm starke Holzriegelkonstruktion, welche mit einer Steinwollämmung gefüllt ist. Auf der Innenseite kommt als dampfsperrende Ebene eine Schalung aus OSB-Platten zur Anwendung. Die innerste Schicht bilden Gipskartonplatten, welche auf einer Installationsebene aufgebracht werden. Die Fassade besteht aus einer Holz-Weichfaserplatte, auf der eine Winddichtung befestigt wird. Die äußerste Schicht dieses Wandaufbaus, bildet eine Lärchenholzschalung inkl. Unterkonstruktion. Der eben beschriebene Wandaufbau erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizient von $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Bauteilbezeichnung: Außenwand hinterlüftet		Kurzbezeichnung: AW04		
Bauteiltyp: Außenwand hinterlüftet				
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U - Wert 0,15 [W/m²K]				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	R = d / λ
Nr	von innen nach außen Bezeichnung	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	Durchlaßw. [m²K/W]
1	Knauf Gipskarton Bauplatte	0,013	0,250	0,050
2	Luft steh., W-Fluss horizontal 45 < d <= 50 mm	0,030	0,278	0,108
3	OSB-Platten (650 kg/m³)	0,025	0,130	0,192
4	Steinwolle MW(SW)-T (100 kg/m³)	0,200	0,038	5,263
5	Sto-Weichfaserplatte M 042	0,030	0,051	0,588
6	ISOCELL OMEGA Winddichtung	0,0006	0,220	0,003
7	Luft steh., W-Fluss horizontal 45 < d <= 50 mm	0,050	0,278	0,180
8	Nutzholz (525kg/m³ -Lärche) gehobelt,techn. getro.	0,025	0,130	0,192
Dicke des Bauteils [m]		0,373		
Summe der Wärmeübergangswiderstände $R_{si} + R_{se}$			0,260	[m²K/W]
Wärmedurchgangswiderstand $R_T = R_{si} + \Sigma R_t + R_{se}$			6,836	[m²K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient $U = 1 / R_T$			0,15	[W/m²K]

Abb. 5.5 Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade¹⁵²

Die Errichtungskosten belaufen sich wie in Tabelle 5.15 ersichtlich auf $251,16 \text{ €/m}^2$ inkl. Ust.. Diese Kosten fallen einmalig zu Beginn des Betrachtungszeitraums an.

¹⁵² Auszug aus der U-Wertberechnung mittels der Software GEQ

Tabelle 5.15 Errichtungskosten AW 04 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Malerarbeiten innen	6,00	€/m ²
2	Vorsatzschale	33,37	€/m ²
3	Holzriegelwand inkl. MW Dämmung	82,93	€/m ²
4	Schalung Lärche inkl. UK	87,00	€/m ²
5	Gesamtpreis	209,30	€/m²
6	Umsatzsteuer + 20 %	41,86	€/m ²
7	Angebotspreis	251,16	€/m²

Die Instandhaltungskosten durch Malerarbeiten im Innenbereich belaufen sich ebenfalls auf 7,20 €/m². Da eine naturbelassenen Lärchenholzschalung als weitgehend wartungsfrei angesehen werden kann, entstehen hier keine weiteren Kosten aus der Instandhaltung der Fassade.

Die Kosten für den Abbruch der Lärchenholzfassade inkl. der Unterkonstruktion und der Herstellung einer neuen Fassadenkonstruktion belaufen sich auf 114,58 €/m².

Tabelle 5.16 Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 04 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Baustelle einrichten / räumen	3,51	€/m ²
2	Abbruch Holzfassade	2,70	€/m ²
3	Entsorgung Holz	2,27	€/m ²
4	Schalung Lärche inkl. UK	87,00	€/m ²
5	Gesamtpreis	95,48	€/m²
6	Umsatzsteuer + 20 %	19,10	€/m ²
7	Angebotspreis	114,58	€/m²

Die Kosten aufgrund von Wärmeverlusten ergeben sich bei einem Wärmedurchgangskoeffizient von 0,15 W/m²K zu 0,95 €/m²a.

Tabelle 5.17 Kosten durch Wärmeverluste AW 04 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Wert	EH
0	A	B	C
1	Fläche Bauteil	1,00	m ²
2	U-Wert Bauteil	0,15	W/m ² K
3	Temperaturkorrekturfaktor	1,00	-
4	Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich	22,00	K
5	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode	3,43	K
6	Dauer der Heizperiode	5112,00	h/a
7	Wärmeenergieverlust jährlich	14,24	kWh/m²a
8	Stromverbrauch jährlich	4,75	kWh/m²a
9	Strompreis (Preisbasis 2020)	0,20	€/kWh
10	Kosten jährlich	0,95	€/m²a

5.3.5 Massivholzkonstruktion mit vorgehängter Fassade

Als fünfter und letzter Wandaufbau wird eine Massivholzbauweise betrachtet. Dieser Wandaufbau weist eine Wanddicke von ca. 38 cm auf. Die Tragkonstruktion bildet eine 16 cm starke KLH-Massivholzwand, welche in Sichtqualität ausgeführt wird. Die Fassadenkonstruktion besteht aus zwei Lagen Mineralwoll-dämmplatten zwischen einer Holzlattung. Danach folgt eine Schlagregendichtung. Die äußere Fassade bilden Faserzementplatten, welche auf einer 5 cm starken Hinterlüftungsebene angebracht sind. Der eben beschriebene Wandaufbau erreicht einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,15 W/m²K.

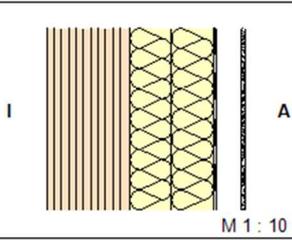
Bauteilbezeichnung: Außenwand hinterlüftet		Kurzbezeichnung: AW05		
Bauteiltyp: Außenwand hinterlüftet				
Wärmedurchgangskoeffizient berechnet nach ÖNORM EN ISO 6946 U - Wert 0,15 [W/m²K]				
M 1 : 10				
Konstruktionsaufbau und Berechnung				
	Baustoffschichten	d	λ	R = d / λ
Nr	von innen nach außen Bezeichnung	Dicke [m]	Leitfähigkeit [W/mK]	Durchlaßw. [m ² K/W]
1	KLH®-Massivholzplatte	0,160	0,130	1,231
2	ROCKWOOL Fixrock 032 (Fixrock 032 VS) Austria	0,080	0,032	2,500
3	ROCKWOOL Fixrock 032 (Fixrock 032 VS) Austria	0,080	0,032	2,500
4	ISOCELL OMEGA Winddichtung	0,0006	0,220	0,003
5	Luft steh., W-Fluss horizontal 45 < d <= 50 mm	0,050	0,278	0,180
6	Faserzementplatten (2000 kg/m ³)	0,008	1,500	0,005
Dicke des Bauteils [m]		0,379		
Summe der Wärmeübergangswiderstände		$R_{si} + R_{se}$	0,260	[m ² K/W]
Wärmedurchgangswiderstand		$R_T = R_{si} + \sum R_t + R_{se}$	6,679	[m ² K/W]
Wärmedurchgangskoeffizient		$U = 1 / R_T$	0,15	[W/m²K]

Abb. 5.6 Massivholzkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade¹⁵³

¹⁵³ Auszug aus der U-Wertberechnung mittels der Software GEQ

Die Errichtungskosten belaufen sich wie in Tabelle 5.18 ersichtlich auf 434,71 €/m² inkl. Ust.. Diese Kosten fallen einmalig zu Beginn des Betrachtungszeitraums an.

Tabelle 5.18 Errichtungskosten AW 05 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	KLH Wand 16 cm (Sichtqualität)	150,00	€/m ²
2	2 x 8 cm MW Dämmung inkl. UK	44,96	€/m ²
3	Eternit Fassade inkl. UK	167,30	€/m ²
4	Gesamtpreis	362,26	€/m²
5	Umsatzsteuer + 20 %	72,45	€/m ²
6	Angebotspreis	434,71	€/m²

Aufgrund der Ausführung der Tragkonstruktion in Sichtqualität, wird im Innenraum bereits eine fertige Oberfläche erzeugt. Diese Holzoberfläche in Sichtqualität benötigt keinen weiteren Wartungsaufwand durch etwaige Anstriche.

Die Kosten für die Reinigung der Fassade belaufen sich auf 19,96 €/m². Die Reinigungsarbeiten werden in einem Intervall von 20 Jahren durchgeführt.

Tabelle 5.19 Instandhaltung außen AW 05 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Position	Positionspreis	EH
0	A	B	C
1	Fassadengerüst	6,63	€/m ²
2	Reinigung	10,00	€/m ²
3	Gesamtpreis	16,63	€/m²
4	Umsatzsteuer + 20 %	3,33	€/m ²
5	Angebotspreis	19,96	€/m²

Die Kosten aufgrund von Wärmeenergieverlusten ergeben sich mit einem Wärmedurchgangskoeffizient von 0,15 W/m²K zu 0,95 €/m²a.

Tabelle 5.20 Kosten durch Wärmeverluste AW 05 – Preisbasis 2020

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Wert	EH
0	A	B	C
1	Fläche Bauteil	1,00	m ²
2	U-Wert Bauteil	0,15	W/m ² K
3	Temperaturkorrekturfaktor	1,00	-
4	Soll-Innentemperatur im beheizten Bereich	22,00	K
5	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode	3,43	K
6	Dauer der Heizperiode	5112,00	h/a
7	Wärmeenergieverlust jährlich	14,24	kWh/m²a
8	Stromverbrauch jährlich	4,75	kWh/m²a
9	Strompreis (Preisbasis 2020)	0,20	€/kWh
10	Kosten jährlich	0,95	€/m²a

6 Auswertung und Interpretation

Nachfolgend wird für die untersuchten Außenwandaufbauten eine Auswertung und Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich der Lebenszykluskosten durchgeführt. Dabei werden die Auswirkungen der einzelnen Kostenkomponenten pro m² Außenwandfläche des betrachteten Gebäudes angegeben. Zur besseren Übersichtlichkeit werden die einzelnen Komponenten der Lebenszykluskosten mit Diagrammen dargestellt. Bei allen angegebenen Werten handelt es sich um Barwerte. Zur Berechnung der Barwerte wird, wie schon im Abschnitt 4.4.6 erläutert, eine Preissteigerungsrate von 2,40 % pro Jahr für Bauleistungen bzw. 0,83 % pro Jahr für Energiekosten berücksichtigt. Der Kalkulationszinssatz wird mit 1,25 % angenommen.

6.1 Berechnungsergebnisse

6.1.1 Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol

Die Lebenszykluskosten des Hochlochziegelmauerwerks mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol belaufen sich auf gesamt 463,74 €/m² Außenwandfläche bzw. 132.165,58 € für das gesamte Gebäude mit einer Außenwandfläche von 285 m². Im Betrachtungszeitraum werden in einem Intervall von 10 Jahren Instandhaltungsmaßnahmen in Form von Malerarbeiten im Innenbereich durchgeführt. Diese belaufen sich insgesamt auf 38,50 €/m² bzw. 10.972,78 €. Des Weiteren werden nach 20 Jahren Instandhaltungsmaßnahmen der Fassade in Form von Reinigungsarbeiten und Malerarbeiten fällig. Diese belaufen sich auf 50,09 €/m² bzw. 14.274,76 €. Es wird angenommen, dass die Fassade einmal im Lebenszyklus komplett erneuert werden muss. Dies erfolgt nach 40 Jahren. Die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Fassade sowie für die Herstellung eines neuen WDVS unter Berücksichtigung der Preissteigerung und der Abzinsung nach 40 Jahren, belaufen sich auf 144,64 €/m² bzw. 41.222,25 €. Die Summe der Energiekosten durch Transmissionswärmeverluste auf 50 Jahre gesehen, belaufen sich auf 59,92 €/m² bzw. 17.077,07 €.

Tabelle 6.1 Lebenszykluskosten AW 01

Lfd. Nr.	Kostenkomponente	LZK	EH	ges. LZK	EH	%
0	A	B	C	D	E	F
1	Errichtungskosten	170,59	€/m ²	48 618,72	€	37 %
2	Instandhaltung innen	38,50	€/m ²	10 972,78	€	8 %
3	Instandhaltung außen	50,09	€/m ²	14 274,76	€	11 %
4	Abbr. und Ern. Fassade	144,64	€/m ²	41 222,25	€	31 %
5	Kosten - Wärmeverluste	59,92	€/m ²	17 077,07	€	13 %
6	Summe LZK	463,74	€/m ²	132 165,58	€	100 %

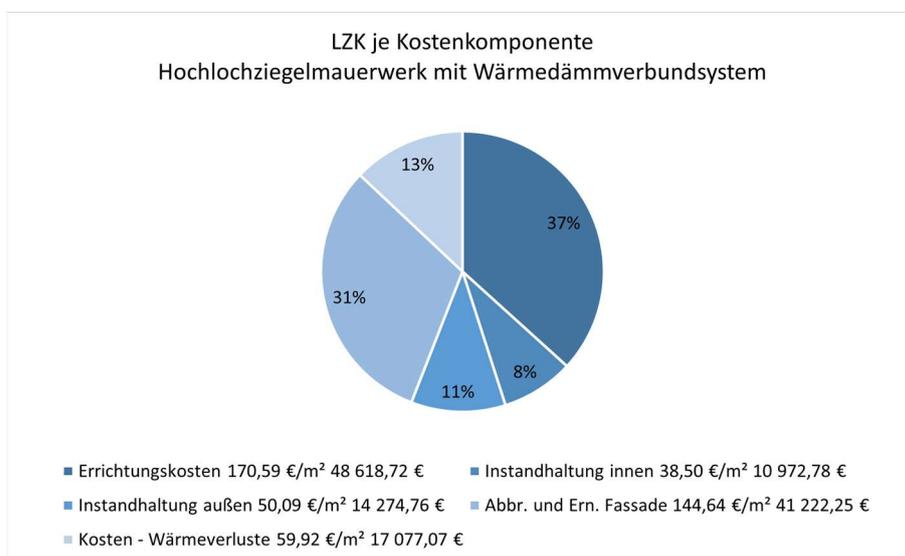


Abb. 6.1 Lebenszykluskosten AW 01 -Aufteilung der Barwerte

6.1.2 Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk

Die Lebenszykluskosten des monolithischen Hochlochziegelmauerwerks belaufen sich auf gesamt 434,94 €/m² Außenwandfläche bzw. 123.958,91 € für das gesamte Gebäude. Die Instandhaltungskosten im Innenbereich betragen wie bei Außenwand AW 01 38,50 €/m². Die Instandhaltungskosten außen setzen sich aus den Reinigungs- und Malerarbeiten nach 20 bzw. 40 Jahren zusammen. Bei dieser Variante sind kein Abbruch bzw. keine Erneuerung der Fassade notwendig. Die Summe der Energiekosten durch Transmissionswärmeverluste auf 50 Jahre gesehen, belaufen sich aufgrund des gleichen Wärmedurchgangskoeffizienten wie bei der Außenwand AW 01 ebenfalls auf 59,92 €/m² bzw. 17.077,07 €.

Tabelle 6.2 Lebenszykluskosten AW 02

Lfd. Nr.	Kostenkomponente	LZK	EH	ges. LZK	EH	%
0	A	B	C	D	E	F
1	Errichtungskosten	223,66	€/m ²	63 741,96	€	51 %
2	Instandhaltung innen	38,50	€/m ²	10 972,78	€	9 %
3	Instandhaltung außen	112,87	€/m ²	32 167,11	€	26 %
4	Kosten - Wärmeverluste	59,92	€/m ²	17 077,07	€	14 %
5	Summe LZK	434,94	€/m ²	123 958,91	€	100 %

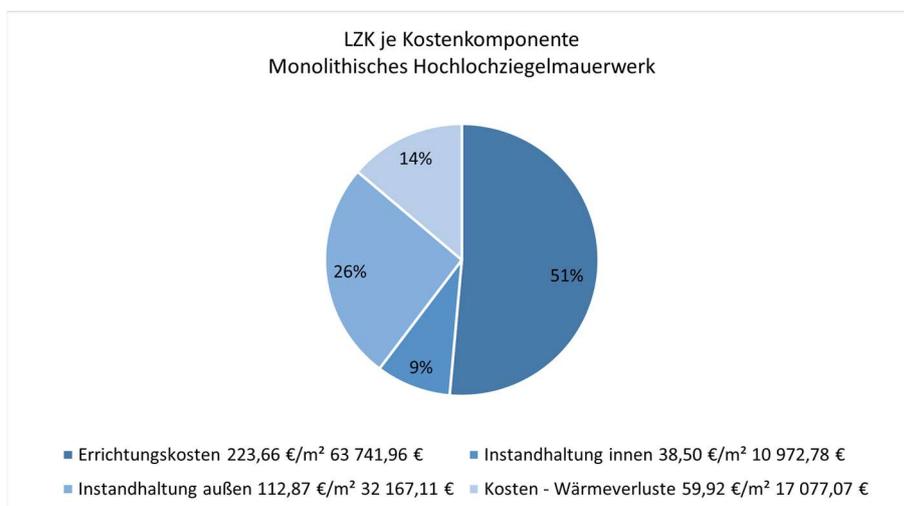


Abb. 6.2 Lebenszykluskosten AW 02 -Aufteilung der Barwerte

6.1.3 Stahlbetonmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle

Die Lebenszykluskosten des Stahlbetonmauerwerks mit WDVS aus Mineralwolle belaufen sich auf gesamt 755,40 €/m² Außenwandfläche bzw. 215.287,64 € für das gesamte Gebäude. Im Betrachtungszeitraum werden in einem Intervall von 10 Jahren Instandhaltungsmaßnahmen in Form von Malerarbeiten im Innenbereich durchgeführt. Diese belaufen sich insgesamt auf 38,50 €/m² bzw. 10.972,78 €. Des Weiteren werden nach 20 Jahren Instandhaltungsmaßnahmen der Fassade in Form von Reinigungsarbeiten und Malerarbeiten fällig. Diese belaufen sich auf 50,09 €/m² bzw. 14.274,76 €. Es wird angenommen, dass die Fassade einmal im Lebenszyklus komplett erneuert werden muss. Dies erfolgt nach 40 Jahren. Die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Fassade sowie für die Herstellung eines neuen WDVS unter Berücksichtigung der Preissteigerung und der Rendite des eingesetzten Kapitals nach 40 Jahren, belaufen sich auf 179,56 €/m² bzw. 51.173,19 €. Die Summe der Energiekosten durch Transmissionswärmeverluste auf 50 Jahre gesehen, belaufen sich auf 65,78 €/m² bzw. 18.746,26 €.

Tabelle 6.3 Lebenszykluskosten AW 03

Lfd. Nr.	Kostenkomponente	LZK	EH	ges. LZK	EH	%
0	A	B	C	D	E	F
1	Errichtungskosten	421,48	€/m ²	120 120,66	€	56 %
2	Instandhaltung innen	38,50	€/m ²	10 972,78	€	5 %
3	Instandhaltung außen	50,09	€/m ²	14 274,76	€	7 %
4	Abbr. und Ern. Fassade	179,56	€/m ²	51 173,19	€	24 %
5	Kosten - Wärmeverluste	65,78	€/m ²	18 746,26	€	9 %
6	Summe LZK	755,40	€/m ²	215 287,64	€	100 %

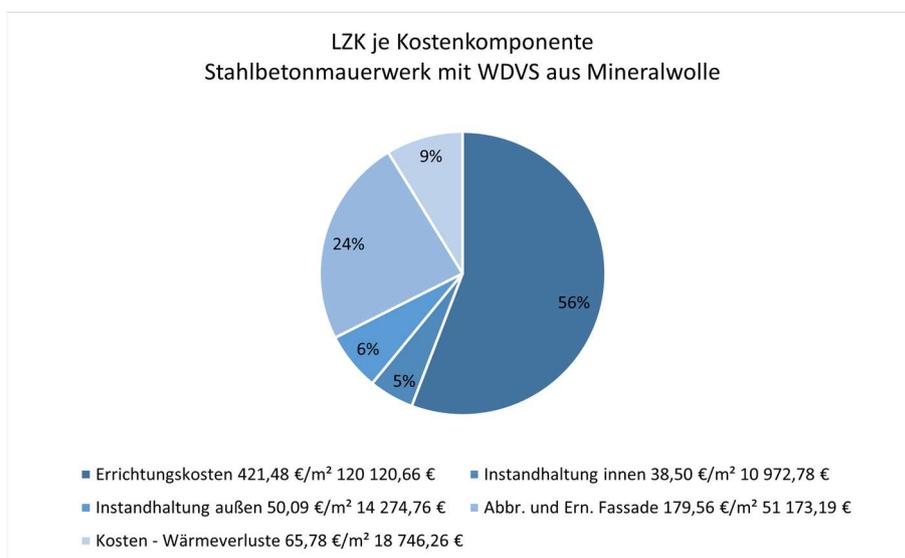


Abb. 6.3 Lebenszykluskosten AW 03 -Aufteilung der Barwerte

6.1.4 Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade

Die Lebenszykluskosten der Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade belaufen sich auf gesamt 493,24 €/m² Außenwandfläche bzw. 140.574,57 € für das gesamte Gebäude. Im Betrachtungszeitraum werden in einem Intervall von 10 Jahren Instandhaltungsmaßnahmen in Form von Malerarbeiten im Innenbereich durchgeführt. Diese belaufen sich insgesamt auf 38,50 €/m² bzw. 10.972,78 €. Instandhaltungsmaßnahmen an der Fassade sind aufgrund der als wartungsfrei anzusehenden Lärchenholzfassade nicht notwendig. Es wird angenommen, dass die Fassade einmal im Lebenszyklus komplett erneuert werden muss. Dies erfolgt nach 30 Jahren. Die Kosten für den Abbruch und die Entsorgung der Fassade sowie für die Herstellung der neuen Fassade betragen 160,78 €/m². Die Summe der Energiekosten durch Transmissionswärmeverluste auf 50 Jahre gesehen, belaufen sich auf 42,80 €/m².

Tabelle 6.4 Lebenszykluskosten AW 04

Lfd. Nr.	Kostenkomponente	LZK	EH	ges. LZK	EH	%
0	A	B	C	D	E	F
1	Errichtungskosten	251,16	€/m ²	71 580,60	€	51 %
2	Instandhaltung innen	38,50	€/m ²	10 972,78	€	8 %
3	Abbruch und Erneuerung Fassade	160,78	€/m ²	45 823,29	€	33 %
4	Energiekosten (Wärmeverluste)	42,80	€/m ²	12 197,91	€	9 %
5	Summe LZK	493,24	€/m ²	140 574,57	€	100 %

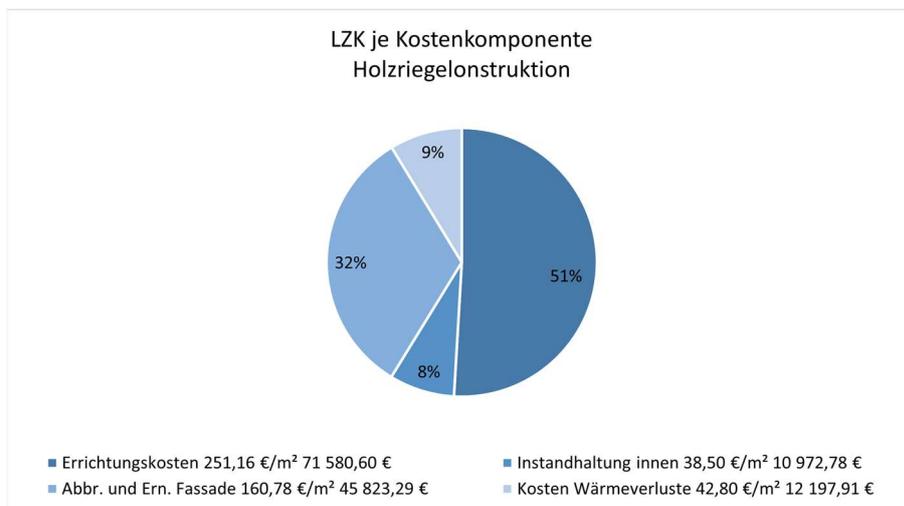


Abb. 6.4 Lebenszykluskosten AW 04 -Aufteilung der Barwerte

6.1.5 Massivholzkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade

Die Lebenszykluskosten der Massivholzkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Eternitfassade belaufen sich auf gesamt 533,88 €/m² Außenwandfläche bzw. 152.155,06 € für das gesamte Gebäude. Bei dieser Variante fallen keine Instandhaltungskosten im Innenbereich an, da die KLH Wand in Sichtqualität als wartungsfrei angesehen werden kann. Ebenfalls sind keine Kosten aufgrund des Abbruchs bzw. der Erneuerung der Fassade zu erwarten. Eternitfassaden inkl. geeigneten Unterkonstruktionen weisen eine höhere Lebensdauer auf als der in dieser Arbeit angenommene Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Sehr wohl werden in einem Intervall von 20 Jahren Instandhaltungsmaßnahmen der Fassade in Form von Reinigungsarbeiten und Malerarbeiten fällig. Diese belaufen sich auf 56,37 €/m² bzw. 16.064,23 €/m. Die Summe der Energiekosten durch Transmissionswärmeverluste auf 50 Jahre gesehen, belaufen sich auf 42,80,30 €/m² bzw. 12.197,91 €.

Tabelle 6.5 Lebenszykluskosten AW 05

Lfd. Nr.	Kostenkomponente	LZK	EH	ges. LZK	EH	%
0	A	B	C	D	E	F
1	Errichtungskosten	434,71	€/m ²	123 892,92	€	81 %
2	Instandhaltung außen	56,37	€/m ²	16 064,23	€	11 %
3	Kosten - Wärmeverluste	42,80	€/m ²	12 197,91	€	8 %
4	Summe LZK	533,88	€/m ²	152 155,06	€	100 %

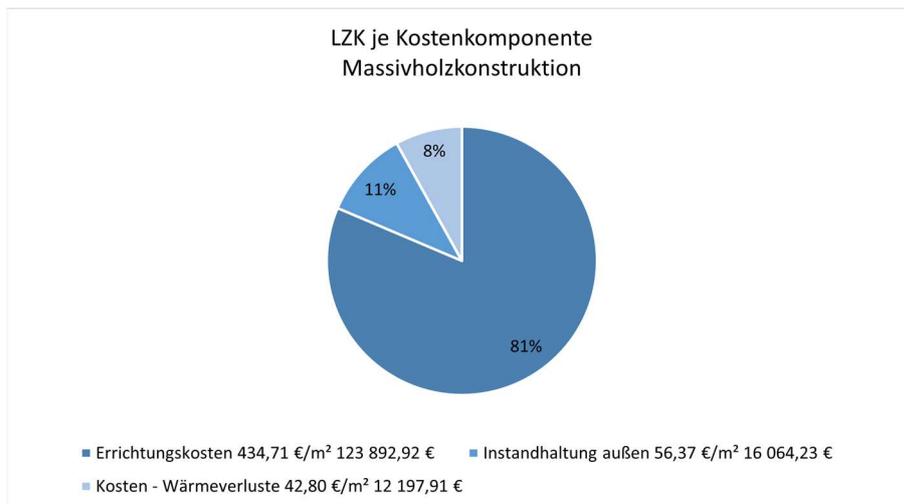


Abb. 6.5 Lebenszykluskosten AW 05 -Aufteilung der Barwerte

6.1.6 Zusammenstellung der Barwerte

In diesem Abschnitt werden die Berechnungsergebnisse der Lebenszykluskostenbetrachtung nochmals zusammengefasst. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um Barwerte in €/m².

Abb. 6.6 stellt alle Barwerte der anfallenden Kosten inkl. des Zeitpunktes ihres Auftretens innerhalb des Betrachtungszeitraumes dar. Auf der Abszisse sind die Jahre innerhalb des Betrachtungszeitraumes aufgetragen. Auf der Ordinate sind die fünf betrachteten Außenwandaufbauten dargestellt. Die Symbole, welche in der Legende beschrieben werden, stehen für eine bestimmte Art von auftretenden Kosten. Hierbei symbolisiert die Raute beispielsweise die Kosten für Instandhaltungsarbeiten im Außenbereich. Die Symbole und die damit verbundenen Kosten (Barwert) sind auf der Zeitachse entsprechend des Zeitpunktes ihres Auftretens angeordnet. Dies soll dazu dienen, auf einem Blick alle anfallenden Kosten und den Zeitpunkt ihres Auftretens zu erfassen.

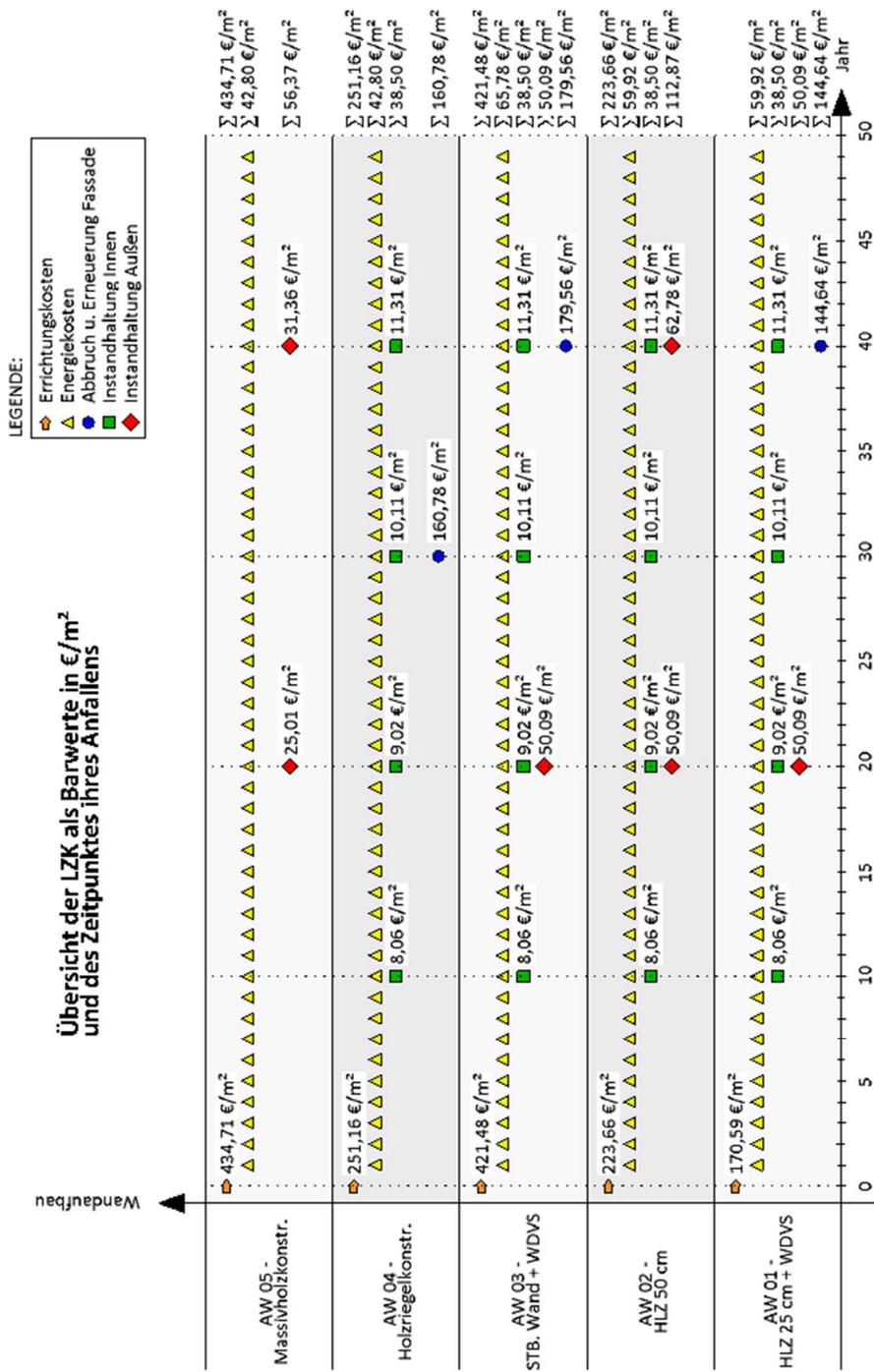


Abb. 6.6 Übersicht der LZK als Barwerte und Zeitpunkt des Anfallens

6.2 Gegenüberstellung der Ergebnisse

6.2.1 Errichtungskosten

In diesem Abschnitt folgt eine Gegenüberstellung der Errichtungskosten für die untersuchten Wandaufbauten. Die Kosten werden hier als Vergleichswerte in Prozent dargestellt. Dabei bildet die Außenwandvariante AW 01 (Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem) den Referenzwert mit 100 %.

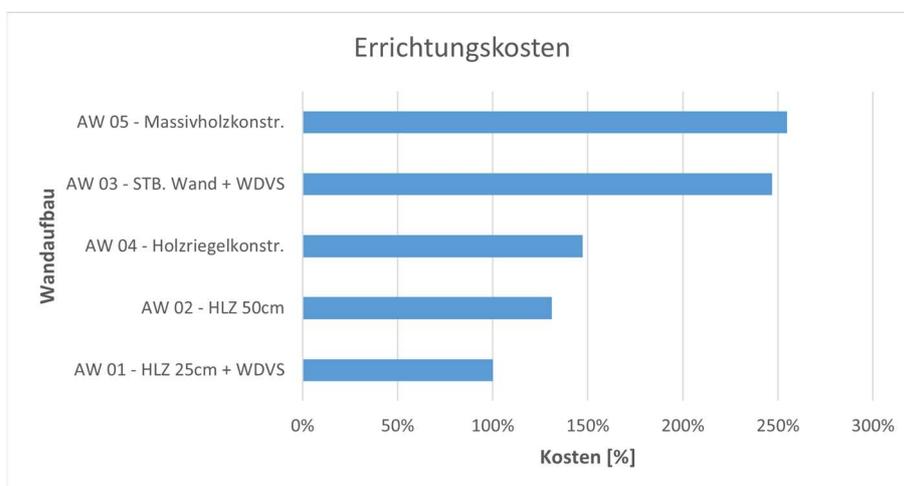


Abb. 6.7 Gegenüberstellung der Errichtungskosten

Die Abb. 6.7 zeigt den Vergleich der Errichtungskosten der untersuchten Wandaufbauten. Daraus geht hervor, dass das Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol die geringsten Kosten verursacht. Gefolgt vom monolithischen Hochlochziegelmauerwerk mit + 31 % und der Holzriegelkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade mit + 47 %. Die beiden mit Abstand teuersten Wandkonstruktionen in der Herstellung sind die Stahlbetonwand mit Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle und die Massivholzkonstruktion in Sichtqualität und hinterlüfteter Eternitfassade. Bei diesen beiden Varianten betragen die Errichtungskosten ca. das 2,5 fache der günstigsten Variante.

Dieses Ergebnis erklärt auch die weite Verbreitung der Ziegelmassivbauweise in Kombination mit Wärmedämmverbundsystemen aus Polysterol im Bereich des Wohnbaus in Österreich. Ein Grund dafür ist, dass Entscheidungen hinsichtlich der Konstruktionswahl heutzutage immer noch hauptsächlich aufgrund der zu erwartenden Herstellkosten getroffen werden.

6.2.2 Folgekosten

Abb. 6.8 zeigt den Vergleich der Barwerte der zu erwartenden Folgekosten zwischen den untersuchten Wandkonstruktionen. Diese Folgekosten setzen sich aus den Kosten für Instandhaltung im Innen- als auch Außenbereich, den Kosten für den Abbruch und die Erneuerung der Fassade sowie den Kosten aus Transmissionswärmeverlusten zusammen. Die Kosten werden hier wie schon bei den Errichtungskosten als Vergleichswerte dargestellt. Die Außenwandvariante AW 05 (Massivholzkonstruktion mit hinterlüfteter Fassade) bildet dabei den Referenzwert mit 100 %.

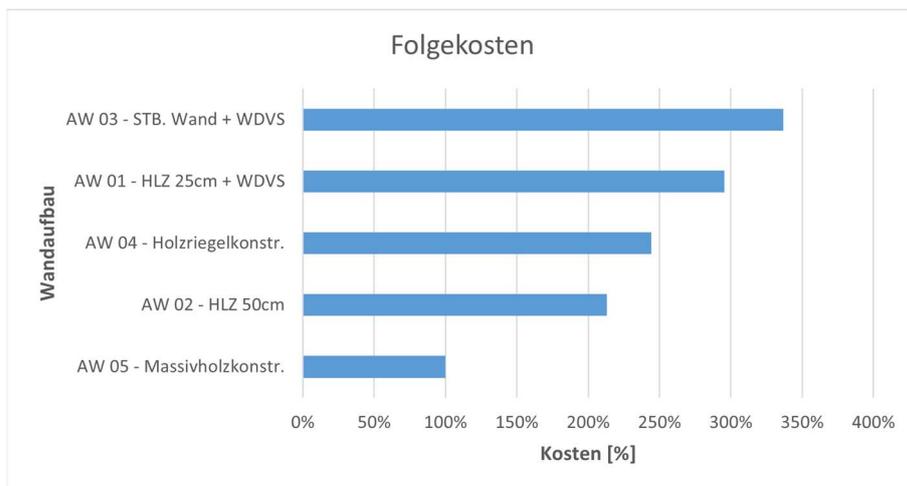


Abb. 6.8 Gegenüberstellung der Folgekosten

Aus der Gegenüberstellung geht hervor, dass die Außenwand AW 05 die geringsten Folgekosten über den Betrachtungszeitraum verursacht. Dies erklärt sich durch die wartungsfreien Oberflächen im Innenbereich bzw. durch die wartungsarme und langlebige Fassadenkonstruktion. Die guten Wärmedämmeigenschaften dieses Wandaufbaues tragen ebenfalls zu diesem Ergebnis bei. Weiters ist hervorzuheben, dass die beiden Wandkonstruktionen mit der Wärmedämmverbundsystem-Fassade die höchsten Folgekosten verursachen. Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass WDVS Fassaden eine begrenzte Lebensdauer aufweisen und innerhalb des Betrachtungszeitraumes mindestens einmal erneuert bzw. regelmäßig gewartet werden müssen. Dies ist wiederum mit hohen Kosten verbunden.

6.2.3 Lebenszykluskosten

Im Folgenden werden die Lebenszykluskosten als Kombination der Errichtungskosten und der Folgekosten verglichen.

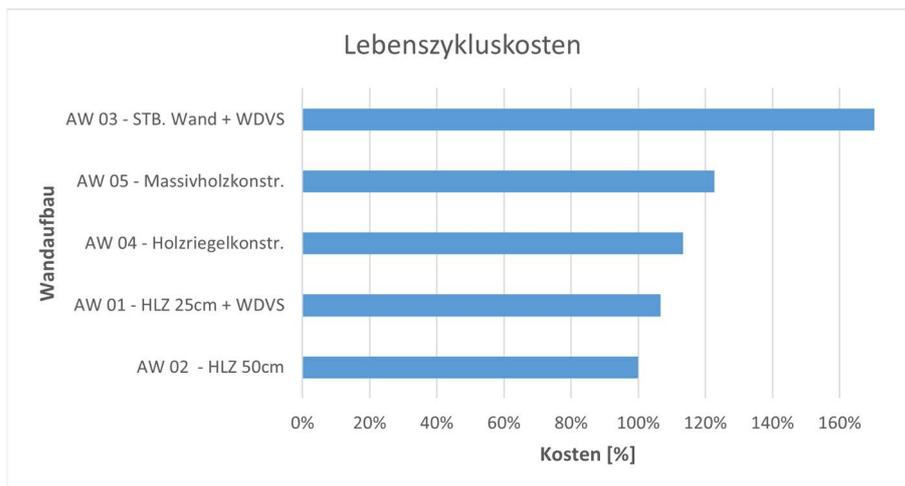


Abb. 6.9 Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten

Tabelle 6.6 Rangfolge

Lfd. Nr.	Bezeichnung	LZK	Einheit	Kostenverhältnis	Rang
0	A	B	C	D	E
1	AW 01	463,74	€/m ²	107 %	2
2	AW 02	434,94	€/m ²	100 %	1
3	AW 03	755,40	€/m ²	174 %	5
4	AW 04	493,24	€/m ²	113 %	3
5	AW 05	533,88	€/m ²	123 %	4

Hinsichtlich der Lebenszykluskostenbetrachtung stellt die Außenwand AW 02 (Monolithisches Hochlochziegelmauerwerk) die optimale Variante dar. Dieses Ergebnis ist einerseits auf die in diesem Vergleich zweitniedrigsten Errichtungskosten zurückzuführen und andererseits auf die lange Lebensdauer der Fassade. Bei dieser monolithischen Wandkonstruktion ist mit keinen Kosten aus dem Abbruch und der Erneuerung der Fassade innerhalb des Betrachtungszeitraumes zu rechnen.

Auf den zweiten Rang folgt mit Mehrkosten von 28,80 €/m² die Variante AW 01. Das Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Polysterol besticht durch die geringsten Herstellkosten unter den untersuchten Außenwandaufbauten. Diese belaufen sich auf lediglich 170,59 €/m². Die Kosten für Instandhaltungsarbeiten sind mit 38,50 €/m² bzw. 50,09 €/m² im Vergleich als gering anzusehen. Aufgrund des relativ schlechten Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand von 0,21 W/m²K ergeben sich die zweithöchsten Kosten durch Transmissionswär-

meverluste. Als wesentlichen Kritikpunkt dieser Variante ist die Notwendigkeit der Fassadensanierung nach 40 Jahren anzusehen. Diese Kosten belaufen sich auf 144,64 €/m². Dies entspricht 31 % der Gesamtlebenszykluskosten des Wandaufbaues.

Auf Rang drei folgt mit Mehrkosten von 58,30 €/m² die Variante AW 04 (Holzriegelwand mit vorgehängter hinterlüfteter Fassade). Die geringsten Kosten aufgrund von Transmissionswärmeverlusten sowie die wartungsfreie Fassade sind hier als positive Merkmale hervorzuheben. Die naturbelassene Lärchenholzfassade bei dieser Konstruktion kann als wartungsfrei angesehen werden. Die natürliche Verfärbung des Holzes sollte bei der Entscheidung für eine Holzfassade bereits vor der Ausführung bedacht und in Kauf genommen werden. Wie schon bei der Variante AW 01 ist die Notwendigkeit des Abbruchs und der Erneuerung der Fassade innerhalb des Betrachtungszeitraums als wesentlicher Kritikpunkt dieser Option anzusehen. Die Kosten hierfür belaufen sich auf 160,78 €/m², was 33 % der Gesamtlebenszykluskosten entspricht.

Die Massivholzkonstruktion mit vorgehängter hinterlüfteter Eternitfassade zeichnet sich durch die geringen Instandhaltungskosten aus. Die in Sichtqualität ausgeführte KLH-Wand, kann im Innenbereich als wartungsfrei angesehen werden, wodurch hier sinngemäß keinen Instandhaltungskosten anfallen. Die hochwertige Eternitfassade ist ebenfalls als weitgehend wartungsfrei anzusehen. Aufgrund von ästhetischen Gründen sind hier in einem Intervall von 20 Jahren Reinigungsarbeiten der Fassade notwendig, welche mit 56,37 €/m² in die Lebenszykluskosten einfließen.

Am schlechtesten schneidet in diesem Vergleich die Variante AW 03 (Stahlbetonmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem aus Mineralwolle) ab. Mit 755,40 €/m² ergeben sich über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahre Lebenszykluskosten, welche rund 70 % über den Kosten der günstigsten Variante liegen. Dies ist vor allem auf die hohen Errichtungskosten der Stahlbetonwand zurückzuführen. Die Notwendigkeit des Abbruchs und der Erneuerung der Fassade innerhalb des Betrachtungszeitraums, sowie der im Vergleich schlechte Wärmedurchgangskoeffizient tragen ebenfalls maßgeblich zu den hohen Lebenszykluskosten bei.

Wie in der Gegenüberstellung in Abb. 6.10 ersichtlich, dominieren bei den betrachteten Varianten vor allem die Errichtungskosten.

Die anfallenden Instandsetzungsarbeiten im Bereich der Fassade (Abbruch und Erneuerung), welche bei der Variante AW 01, AW 04 und AW 05 durchzuführen sind, wirken sich ebenfalls deutlich auf die Lebenszykluskosten und somit auf die Rangfolge aus. Diese Instandsetzungsarbeiten verursachen im Durchschnitt ca. ein Drittel der Gesamtlebenszykluskosten, bei den betroffenen Wandaufbauten.

Wie zu erwarten nehmen die Kosten für Instandhaltungsarbeiten im Innenbereich kaum einen Einfluss auf die Lebenszykluskosten.

Die Kosten für elektrische Energie aufgrund von Transmissionswärmeverlusten unterscheiden sich zwischen den untersuchten Varianten recht deutlich. Hier ist ein relativer Unterschied bei den Stromkosten von bis zu 28 % zu erkennen. Absolut gesehen wirkt sich dieser Kostenanteil allerdings kaum auf das Endergebnis aus.

Abbildung 6.10 stellt die Aufteilung der unterschiedlichen Kostenkomponenten in Bezug auf die Lebenszykluskosten für die fünf untersuchten Außenwandaufbauten dar. Bei allen angegebenen Werten handelt es sich um Barwerte, welche pro m² Außenwandfläche angegeben werden.

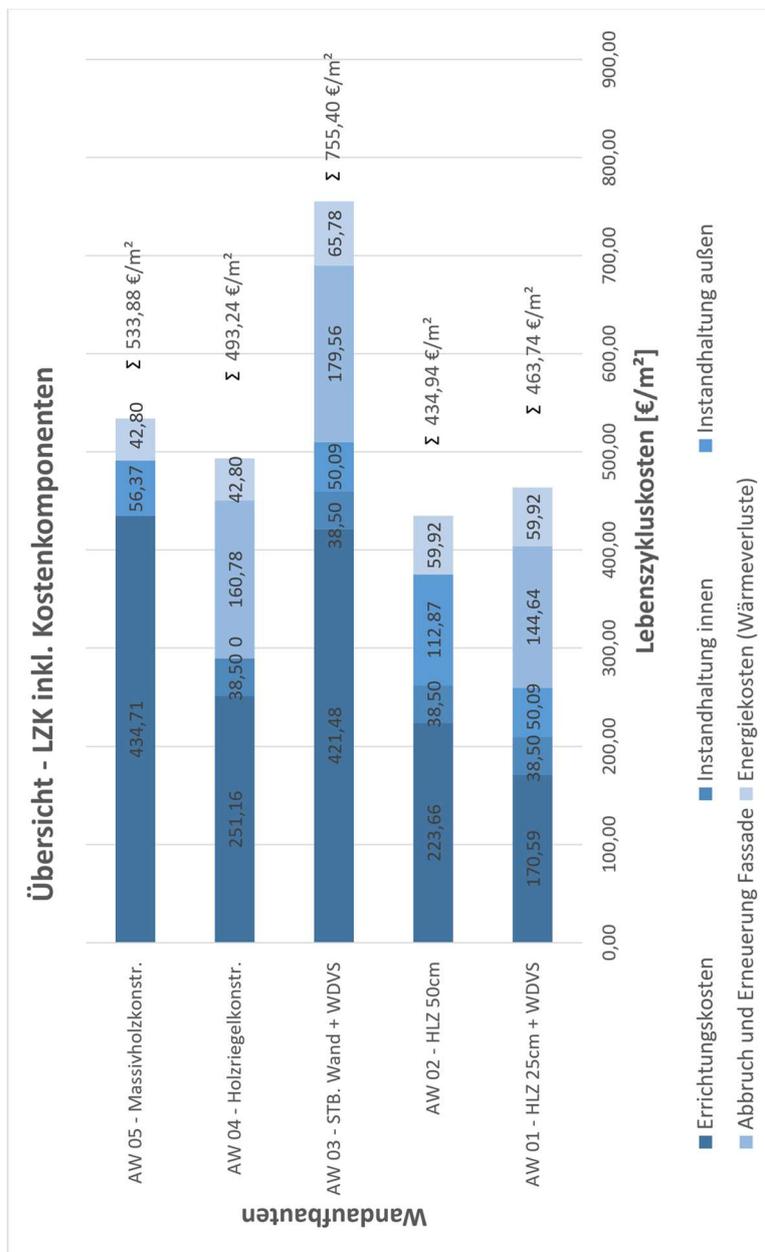


Abb. 6.10 Gegenüberstellung der Lebenszykluskosten inkl. Kostenkomponenten

6.3 Vergleich zwischen Erst- und Folgekosten

Im folgenden Abschnitt sollen die Erst- und Folgekosten der Wandaufbauten gegenübergestellt werden. Basis für diese Betrachtung stellt die dynamische Lebenszykluskostenberechnung mittels der Barwertmethode dar.

Bei dieser Untersuchung werden drei Varianten näher betrachtet. Als erste Variante soll jene mit den geringsten Lebenszykluskosten untersucht werden. Variante zwei stellt den Wandaufbau mit den geringsten Erstkosten (Errichtungskosten) dar. Als dritte Variante wird jener Wandaufbau betrachtet, welcher die höchsten Erstkosten verursacht.

Aus der Lebenszykluskostenberechnung gehen folgende drei Varianten hervor:

- Variante 1: AW 02 - Monolithisches HLZ-Mauerwerk
- Variante 2: AW 01 - HLZ-Mauerwerk mit WDVS
- Variante 3: AW 05 - Massivholzkonstruktion mit vorgehängter Fassade

Ziel dieses Vergleichs ist es, eine fundierte Aussage darüber treffen zu können, ob ein Zusammenhang zwischen den Errichtungskosten und den daraus resultierenden Folgekosten besteht.

Tabelle 6.7 stellt den Zusammenhang zwischen den Erst- und Folgekosten dar. Es stellt sich eindeutig heraus, dass ein Zusammenhang zwischen der am Anfang getätigten Investition und den daraus resultierenden Folgekosten besteht. Während bei der Außenwand AW 01 (geringste Erstkosten) die Errichtungskosten lediglich 37 % der LZK betragen und ein Großteil der Kosten, nämlich 63 % in der Nutzungsphase anfallen, verhält es sich bei der Außenwand AW 05 (höchste Erstkosten) umgekehrt. Hier entstehen 81 % der LZK in der Errichtungsphase und nur 19 % während der Nutzung. Über den gesamten Lebenszyklus gesehen, stellt aber keiner dieser beiden Variante das Optimum dar.

Tabelle 6.7 Vergleich Erst- u. Folgekosten [€/m²]

Lfd. Nr.	Var.	Bezeichnung	Erstkosten	Folgekosten	Σ	EH
0	A	B	C	D	E	F
1	AW 02	geringste LZK	223,66	211,29	434,94	€
2	AW 01	geringste Erstkosten	170,59	293,15	463,74	€
3	AW 05	höchste Erstkosten	434,71	99,17	533,88	€

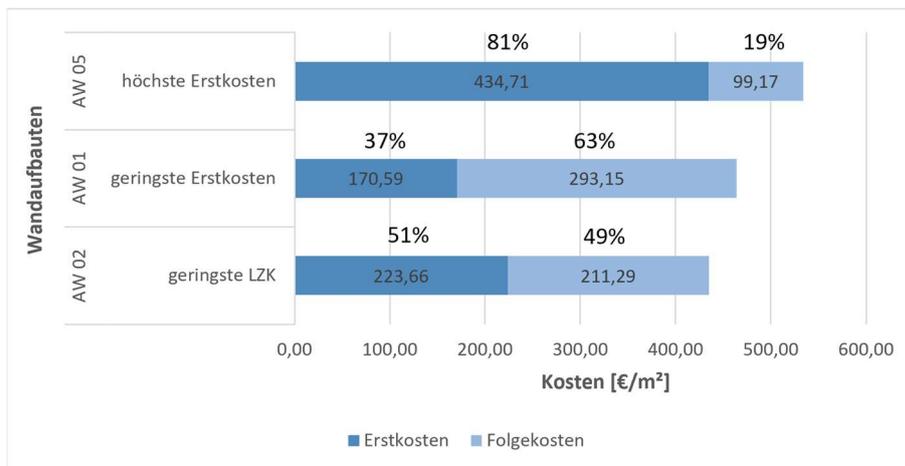
Abb. 6.11 Vergleich Erst- u. Folgekosten [€/m²]

Abbildung 6.12 zeigt den Kostenverlauf der drei untersuchten Varianten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Im Verlauf wird ersichtlich, dass die Außenwand AW 01 (geringste Erstkosten) nach ca. 40 Jahren der Nutzung die LZK-Kurve der Außenwand AW 02 (geringste LZK) schneidet und somit ab diesem Zeitpunkt höhere Lebenszykluskosten verursacht. Im Vergleich der Außenwand AW 05 (höchste Erstkosten) mit den beiden anderen Varianten wird ersichtlich, dass diese Option über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg die teuerste Variante darstellt.

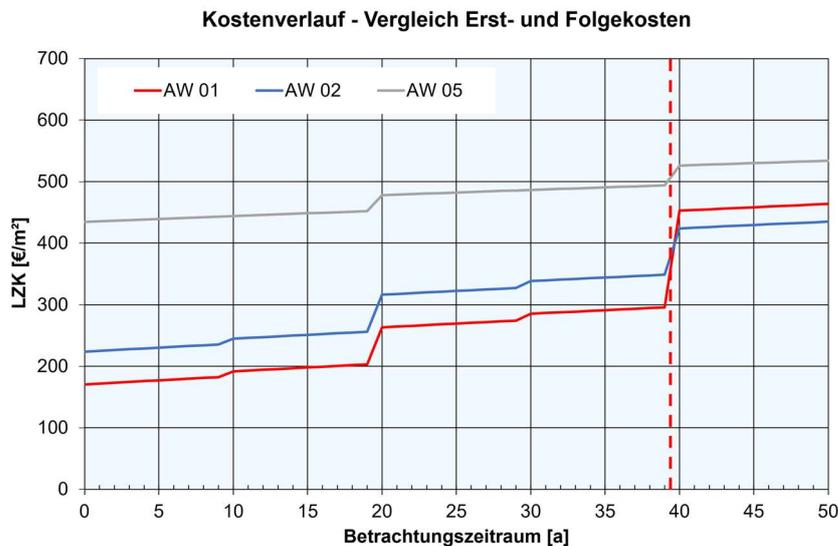


Abb. 6.12 Kostenverlauf

Es lässt sich feststellen, dass jene Variante, welche die geringsten Erstkosten verursacht, die höchsten Folgekosten nach sich zieht. Allerdings hat dies nicht zu bedeuten, dass diese Variante auch über den gesamten Lebenszyklus gesehen die teuerste Option darstellt. Die Außenwand AW 05 (höchste Erstkosten) verursacht zwar die geringsten Folgekosten, kann die hohen Errichtungskosten allerdings nicht innerhalb des Betrachtungszeitraumes wettmachen.

6.4 Sensitivitätsanalyse durch Variation des Kalkulationszinssatzes

Die der Berechnung zugrunde liegenden Eingangsparameter wie Nutzungsdauer, Errichtungs- und Entsorgungskosten sowie Preissteigerungsraten beruhen auf wissenschaftlichen Studien bzw. offiziellen Statistiken sowie realen und aktuellen Marktpreisen. Diese unterliegen dabei gewissen Schwankungen. Der Lebenszykluskostenberechnung in dieser Arbeit liegt ein deterministischer Ansatz zu Grunde. Dies bedeutet, dass die Eingangsparameter für die Berechnung eindeutig festgelegt werden. Ein probabilistischer Ansatz, welcher Schwankungen aller Eingangsparameter berücksichtigt, würde den Umfang dieser Arbeit sprengen. Es ist jedoch zu empfehlen, dies in weiterführenden Betrachtungen zu untersuchen.

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Eingangsparametern ist der Kalkulationszinssatz in der Lebenszykluskostenbetrachtung subjektiv festzulegen. Der Investor hat dabei zu bedenken, welche Rendite er an andere Stelle für sein Kapital langfristig und nachhaltig erzielen könnte.

Die ÖNORM B 1801:2015 empfiehlt hier die umlaufgewichtete Durchschnittsrendite von Bundesanleihen am Sekundärmarkt als Basis heranzuziehen. Diese beträgt aktuell 0,25 %. In dieser Arbeit wurde der Kalkulationszinssatz laut Expertentipp von Dr. Helmut Floegl im Handbuch für Lebenszyklusbewusstes Planen und Bauen von Ein- und Zweifamilienhäusern um 1,00 % auf 1,25 % erhöht. Somit beruhen alle bisher getroffenen Aussagen und Ergebnisse auf der Annahme, dass auf dem Kapitalmarkt eine Rendite von 1,25 % (Kalkulationszinssatz) langfristig und nachhaltig erzielt werden kann.

Wie verändern sich nun aber die Lebenszykluskosten bzw. die Rangfolge, wenn der Kalkulationszinssatz variiert wird? Um die Auswirkungen des Kalkulationszinssatzes auf die Berechnungsergebnisse bzw. das Ranking zu untersuchen, werden hierfür verschiedene Szenarien mit unterschiedlichen Kalkulationszinssätzen untersucht.

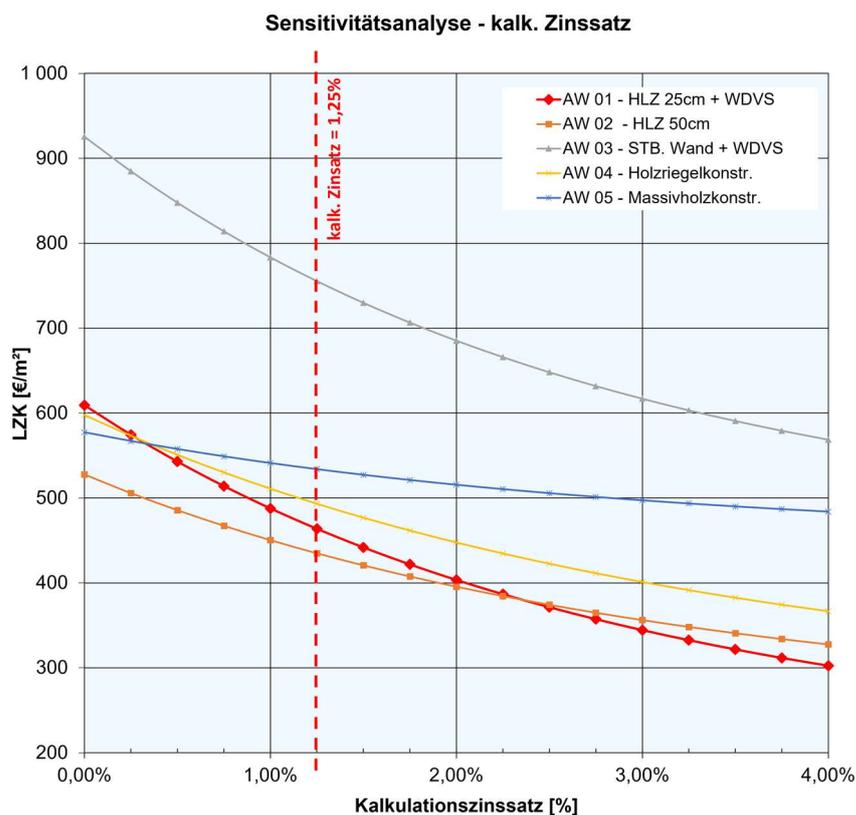


Abb. 6.13 Sensitivitätsanalyse - Kalkulationszinssatz

Aus Abb. 6.13 lässt sich erkennen, dass die Lebenszykluskosten aller Varianten mit Zunahme des angenommenen Kalkulationszinssatzes sinken. Je höher der Kalkulationszinssatz angenommen wird, desto geringer ist der Barwert der Lebenszykluskosten.

Dabei verläuft die LZK-Kurve der Außenwand AW 05 am flachsten. Hier wirkt sich die Veränderung des Kalkulationszinssatzes am wenigsten auf den Barwert der Lebenszykluskosten aus. Die Außenwand AW 05 ist jene Variante mit den geringsten Folgekosten. Umso geringer die Folgekosten sind, umso geringer ist auch der Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf den Barwert, da dieser nur Einfluss auf in der Zukunft liegende Zahlungen nimmt.

Die LZK-Kurven der Varianten AW 01 und AW 03 fallen in diesem Vergleich am stärksten. Hier liegt ein Großteil der Zahlungen in der Zukunft. Somit wirkt sich hier eine Erhöhung des Kalkulationszinssatzes am stärksten aus. Dies bestätigt die Aussage aus Kapitel 3.9. Je weiter eine fällige Zahlung z. B. für Sanierungsmaßnahmen in der Zukunft liegt und je höher der Kalkulationszinssatz angenommen wird, desto weniger trägt diese Zahlung zu Erhöhung des Barwerts der Lebenszykluskosten bei.

Dies bedeutet, dass Wandaufbauten, bei denen hohe Folgekosten auftreten, die Errichtungskosten allerdings gering sind (wie z. B. AW 01) jenen Konstruktionen mit geringen Folgekosten aus ökonomischer Sicht vorzuziehen sind, wenn mit einer hohen Rendite am Kapitalmarkt zu rechnen ist.

Tab. 6.8 zeigt die Auswirkungen des Kalkulationszinssatzes auf die Rangfolge der Außenwandaufbauten. Ab einem Kalkulationszinssatz von 2,50 % stellt sich die Außenwandvariante AW 01 (Hochlochziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem) als wirtschaftlichste Variante heraus. Dies liegt an der vorher beschriebenen Tatsache, dass bei einem höheren Kalkulationszinssatz die Folgekosten bei der Berechnung des Barwerts weniger schwer ins Gewicht fallen.

Tabelle 6.8 Barwerte der LZK in Abhängigkeit des Kalkulationszinssatzes

Ranking: **1** 2 3 4 5

	Kalk. Zinssatz	AW 01	AW 02	AW 03	AW 04	AW 05
Lfd. Nr.	[%]	€/m ²				
0	A	B	C	D	E	F
1	0,00 %	609,18	527,70	925,54	597,57	577,37
2	0,25 %	574,46	505,77	884,83	573,27	567,07
3	0,50 %	542,84	485,69	847,80	550,83	557,65
4	0,75 %	514,01	467,29	814,09	530,11	549,02
5	1,00 %	487,73	450,42	783,38	510,95	541,12
6	1,25 %	463,74	434,94	755,40	493,24	533,88
7	1,50 %	441,83	420,73	729,87	476,87	527,23
8	1,75 %	421,81	407,66	706,57	461,71	521,13
9	2,00 %	403,50	395,63	685,29	447,69	515,52
10	2,25 %	386,75	384,56	665,84	434,70	510,36
11	2,50 %	371,41	374,36	648,06	422,67	505,60
12	2,75 %	357,35	364,95	631,79	411,51	501,22
13	3,00 %	344,45	356,27	616,89	401,18	497,18
14	3,25 %	332,62	348,25	603,23	391,58	493,45
15	3,50 %	321,74	340,83	590,70	382,68	490,01
16	3,75 %	311,75	333,96	579,21	374,42	486,82
17	4,00 %	302,56	327,60	568,65	366,75	483,87

7 Zusammenfassung

Im folgenden Kapitel sollen die gewonnenen Erkenntnisse aus dieser Masterarbeit nochmals zusammengefasst und ein Resümee gezogen werden. Des Weiteren folgen ein Ausblick sowie Handlungsempfehlungen.

7.1 Resümee

Im Rahmen dieser Arbeit wird gezeigt, wie die Lebenszykluskostenberechnung bereits in der Planungsphase Investitionsentscheidungen beeinflussen kann. Sie trägt dazu bei, die Auswirkungen von grundlegenden Entscheidungen, wie z. B. die Material- und Konstruktionswahl auf die Lebenszykluskosten des Gebäudes prognostizieren zu können.

Der Nachhaltigkeitsgedanke, sei es aus ökologischer- wie auch ökonomischer Sicht rückt zunehmend in das Blickfeld der Gesellschaft. Diese Arbeit trägt dazu bei, diesen Nachhaltigkeitsgedanken aus ökonomischer Sicht auf die Bauwirtschaft zu übertragen. Dabei geht es darum, vorausschauend zu denken und zu planen und dadurch Kosten zu senken. Die Erkenntnisse aus der Untersuchung tragen dazu bei, wirtschaftlich langfristig die richtige Entscheidung zu treffen. Das Bauwerk soll dabei einen langfristigen Nutzen liefern. Nachfolgende Generationen werden somit berücksichtigt und nicht benachteiligt. Schließlich sollen diese auch noch von einer sinnvollen Investition sprechen können.

Die zu Anfang definierten Fragestellungen hinsichtlich der ökonomisch gesehen optimalen Außenwandvariante und hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen den Erst- und Folgekosten sowie dem Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf das Endergebnis konnten im praktischen Teil der Arbeit eindeutig beantwortet werden.

Die Lebenszykluskostenberechnung in dieser Arbeit führt zum Ergebnis, dass das monolithische Hochlochziegelmauerwerk über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren für das betrachtete Einfamilienhaus als ökonomisch gesehen beste Option angesehen werden kann. Die im Vergleich geringen Errichtungskosten in Kombination mit einer sehr langlebigen Fassade, welche innerhalb des Betrachtungszeitraumes im Regelfall nicht erneuert werden muss, sowie die guten Wärmedämmeigenschaften des 50 cm starken Hochlochziegels tragen maßgeblich zu diesem Ergebnis bei. Vergleicht man die in dieser Untersuchung ökonomisch gesehen beste bzw. schlechteste Variante, ergibt sich eine Differenz der Barwerte bezüglich der Lebenszykluskosten von 320,46 €/m². Bei dem der Berechnung zugrunde liegenden Einfamilienhaus mit einer Fassadenfläche von 285 m², bedeutet dies Mehrkosten bzw. Einsparungen in der Höhe von 91.331,10 € über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren.

Dies macht klar, wie wichtig eine Lebenszykluskostenbetrachtung in den frühen Projektphasen ist und welches Einsparungspotential sich durch diese ergibt. Diese Erkenntnis kann für zukünftige Bauherren als Entscheidungshilfe in den frühen Planungsphasen dienen, wenn es darum geht, grundlegende Investitionsentscheidungen hinsichtlich der Konstruktionswahl zu treffen.

Weiters zeigen die Ergebnisse aus der Untersuchung, dass die geringsten Errichtungskosten nicht zwangsläufig zu den geringsten Gesamtkosten über den Lebenszyklus eines Gebäudes führen. Jene Variante mit den geringsten Errichtungskosten belegt in diesem Vergleich den zweiten Rang in Bezug auf die Lebenszykluskosten. Dies bestätigt den großen Einfluss der Nutzungsphase und den daraus resultierenden Folgekosten auf die Lebenszykluskosten. Diese Erkenntnis und der daraus resultierende wirtschaftliche Vorteil, welcher sich über den hier betrachteten Zeitraum von 50 Jahren ergibt, kann einen Beitrag dazu leisten, um bei Bauherren ein Umdenken hervorzurufen. Weg von der Minimierung der Errichtungskosten und hin zu einer gesamtheitlichen Betrachtung des Gebäudes und einer Optimierung der Lebenszykluskosten.

Ergänzend ist hier allerdings der große Einfluss der Errichtungskosten auf die Lebenszykluskosten zu erwähnen. Bei den drei ökonomisch gesehen besten Varianten handelt es sich um jene mit den geringsten Errichtungskosten. Die Außenwand AW 05 (höchste Erstkosten) verursacht zwar die geringsten Folgekosten, kann die hohen Kosten aus der Errichtung allerdings nicht innerhalb des Betrachtungszeitraumes wettmachen. Dies macht deutlich, dass bei einer lebenszyklusoptimierten Planung im Zuge der Optimierung der Folgekosten, die Herstellkosten nicht vollkommen außer Acht gelassen werden dürfen.

Eine weitere wichtige Erkenntnis dieser Arbeit stellt der große Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Lebenszykluskosten dar. Es wird klar, dass die Wahl des ökonomisch gesehen optimalen Wandaufbaus nur unter Berücksichtigung des Kalkulationszinssatzes erfolgen kann. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse wurde dem großen Einfluss des Kalkulationszinssatzes auf die Lebenszykluskosten Rechnung getragen. Dieser ist vom Investor subjektiv festzulegen und entspricht der langfristigen und nachhaltig erzielbaren Rendite am Kapitalmarkt. Aufgrund der Ergebnisse aus dieser Sensitivitätsanalyse lässt sich aus ökonomischer Sicht festhalten, dass je höher die langfristige und risikolos erzielbare Rendite am Kapitalmarkt ist, desto weniger Einfluss nehmen hohe und weit in der Zukunft liegende Zahlungen auf den Barwert der Gesamtlebenszykluskosten. Diese Tatsache führt wiederum dazu, dass eine Investition in jene Wandaufbauten mit geringen Errichtungskosten und höheren Folgekosten aus finanzieller Sicht vorteilhafter anzusehen wäre als eine Investition in jenen mit erhöhten Errichtungskosten und dafür geringeren Folgekosten.

Die im Rahmen dieser Masterarbeit erzielten Ergebnisse können als Grundlage für zukünftige Lebenszykluskostenbetrachtungen im Einfamilienhausbereich herangezogen werden. Sie liefern dabei Anhaltspunkte, welche für eine lebenszyklusorientierte Planung berücksichtigt werden können. Die einzelnen Rahmenbedingungen müssen jedoch für jedes Bauvorhaben und jeden Bauherrn individuell analysiert und bewertet werden.

Abschließend ist zu erwähnen, dass Lebenszykluskostenberechnungen prognosebedingte Unschärfen aufweisen. Beträgt der Unterschied in den Berechnungsergebnissen unter 3 % der Gesamtsumme, lässt sich aufgrund der Berechnungsergebnisse allein keine eindeutige Entscheidung begründen.¹⁵⁴ In diesem Fall ist zu empfehlen, dass die Parameter der Betrachtung um entscheidungsrelevante Bereiche erweitert werden oder andere Argumente für die Entscheidung, wie z. B. ökologische Kriterien, herangezogen werden. Die relative Abweichung zwischen ökonomisch gesehen besten Variante und der zweitbesten Variante beträgt in dieser Arbeit 7 % der Gesamtlebenszykluskosten. Diese Abweichung kann als ausreichend angesehen werden, um eine eindeutige Entscheidung zu begründen.

Die Berechnungen in dieser Masterarbeit stützen sich auf verschiedenste Eingangsparameter, welche auf wissenschaftlichen Studien bzw. offiziellen Statistiken sowie realen und aktuellen Marktpreisen beruhen. Diese unterliegen dabei gewissen Schwankungen. Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten im Rahmen dieser Arbeit wurde ein deterministischer Ansatz gewählt, welcher Schwankungen der Eingangsparameter nicht in die Berechnung mit einbezieht. Ein probabilistischer Ansatz, welcher diese Schwankungen berücksichtigt, könnte für weiterführende Untersuchungen in Betracht gezogen werden.

7.2 Handlungsempfehlungen und Ausblick

In der Baubranche sowie bei den Bauherren muss ein Umdenken erfolgen. Weg von der Minimierung der Errichtungskosten und hin zu einer Optimierung der Lebenszykluskosten. Um dieses Ziel des Umdenkens zu erreichen, müssen Planer wie auch Bauherren entsprechend geschult bzw. informiert werden. Die Tatsache, dass die Folgekosten eines Gebäudes die Errichtungskosten meist bei Weitem übersteigen, sollte allgemein bekannt sein. Nur so kann ein lebenszyklusorientiertes Planen und Bauen in der Mehrheit Anklang finden.

Weiters sollten neben den ökonomischen Gesichtspunkten, welche in dieser Arbeit betrachtet werden, auch ökologische Aspekte in der Planung und Ausführung berücksichtigt werden. Objekte sollten in Hinblick auf eine

¹⁵⁴ PELZETER, A.: Lebenszykluskosten von Immobilien. S.67.

möglichst lange Nutzungsdauer errichtet werden. In diesem Zusammenhang spielt eine Qualitätsverbesserung in der Ausführung sowie der Einsatz von langlebigen Baustoffen eine wichtige Rolle. Die Errichtung von Gebäuden mit minimalem Energieverbrauch durch hohe Wärmedämmeigenschaften der Gebäudehülle bzw. durch fortschrittliche haustechnische Anlagen ist zu forcieren.

Um die Lebenszykluskostenbetrachtung im Einfamilienhausbau bzw. allgemein in der Planung von Gebäuden weiter in den Fokus der Beteiligten zu rücken, muss bereits während der Ausbildung der Fachkräfte ein Umdenken erfolgen. In den berufsbildenden Schulen bzw. den facheinschlägigen Studienrichtungen wie auch Meisterkursen ist es notwendig, ein Bewusstsein für die Wichtigkeit von Lebenszykluskostenbetrachtungen zu schaffen.

Bei bereits bestehenden Planern und Generalunternehmern wird empfohlen im Rahmen von betriebsinternen Schulungen das Thema Lebenszykluskosten mehr in das Blickfeld zu rücken.. Hier könnte ein Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz durch eine umfangreichere Beratung und Information des Kunden bzw. durch Liefern eines Mehrwerts für diesen erzielt werden.

Auf der anderen Seite müssen den Bauherren ebenfalls die Auswirkungen einer nicht lebenszyklusorientierten Planung und Ausführung bewusst gemacht werden. Die öffentliche Hand könnte im Rahmen von Messen und Informationsveranstaltungen auf die Wichtigkeit von nachhaltigem Bauen aufmerksam machen und konkret darauf hinweisen, nicht nur die Errichtungskosten, sondern auch die über den Lebenszyklus anfallenden Betriebskosten zu beachten.

A.1 Anhang

- A.1.1 Dokumentation Barwertberechnung – AW 01
- A.1.2 Dokumentation Barwertberechnung – AW 02
- A.1.3 Dokumentation Barwertberechnung – AW 03
- A.1.4 Dokumentation Barwertberechnung – AW 04
- A.1.5 Dokumentation Barwertberechnung – AW 05
- A.1.6 Baupreisindex
- A.1.7 Energiepreisindex
- A.1.8 Umlaufgewichtete Durchschnittsrendite von Bundesanleihen
- A.1.9 Mittlere Außentemperatur in der Heizperiode
- A.1.10 Ermittlung der Wärmeenergieverluste
- A.1.11 K7-Blatt – Abbruch u. Erneuerung Fassade – AW01
- A.1.12 K7-Blatt – Abbruch u. Erneuerung Fassade – AW03
- A.1.3 Entsorgungskosten

A.1.1 Dokumentation Barwertberechnung – AW 01

AW 01	Basis	Einheit		2020	2021		
				0	1		
Errichtungskosten	170,59	€/m ²		170,59			
Instandhaltung Innen	7,20	€/m ²	2,40%				
Instandhaltung außen	39,96	€/m ²	2,40%				
Abbruch und Erneuerung Fassade	92,06	€/m ²	2,40%				
Energiekosten (Wärmeverluste)	1,33	€/m ² a	0,83%			1,34	
Summe				170,59		1,34	
Jahreskosten				170,59		1,34	
Jahreskosten kumuliert				170,59		171,93	
Abzinsfaktor			1,25%	1,0000		0,9877	
Barwert				170,59		171,92	
2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
2	3	4	5	6	7	8	9
1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43
1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43
1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43
173,29	174,65	176,02	177,41	178,81	180,22	181,64	183,07
0,9755	0,9634	0,9515	0,9398	0,9282	0,9167	0,9054	0,8942
173,24	174,55	175,86	177,16	178,46	179,75	181,04	182,32
2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
10	11	12	13	14	15	16	17
9,13							
1,44	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53
10,57	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53
10,57	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53
193,64	195,10	196,57	198,05	199,54	201,05	202,56	204,10
0,8832	0,8723	0,8615	0,8509	0,8404	0,8300	0,8197	0,8096
191,65	192,92	194,19	195,45	196,70	197,95	199,20	200,44
2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
18	19	20	21	22	23	24	25
		11,57					
		64,21					
1,54	1,56	1,57	1,58	1,60	1,61	1,62	1,64
1,54	1,56	77,35	1,58	1,60	1,61	1,62	1,64
1,54	1,56	77,35	1,58	1,60	1,61	1,62	1,64
205,64	207,19	284,55	286,13	287,72	289,33	290,95	292,59
0,7996	0,7898	0,7800	0,7704	0,7609	0,7515	0,7422	0,7330
201,67	202,90	263,24	264,45	265,67	266,88	268,08	269,28

2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
26	27	28	29	30	31	32	33
14,67							
1,65	1,66	1,68	1,69	1,70	1,72	1,73	1,75
1,65	1,66	1,68	1,69	16,37	1,72	1,73	1,75
1,65	1,66	1,68	1,69	16,37	1,72	1,73	1,75
294,24	295,90	297,58	299,27	315,64	317,36	319,09	320,84
0,7240	0,7150	0,7062	0,6975	0,6889	0,6804	0,6720	0,6637
270,47	271,66	272,85	274,02	285,30	286,47	287,64	288,80
2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
34	35	36	37	38	39	40	41
						18,59	
						237,73	
1,76	1,78	1,79	1,81	1,82	1,84	1,85	1,87
1,76	1,78	1,79	1,81	1,82	1,84	258,18	1,87
1,76	1,78	1,79	1,81	1,82	1,84	258,18	1,87
322,60	324,37	326,17	327,97	329,79	331,63	589,80	591,67
0,6555	0,6474	0,6394	0,6315	0,6237	0,6160	0,6084	0,6009
289,95	291,10	292,25	293,39	294,52	295,65	452,73	453,85
2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
42	43	44	45	46	47	48	49
1,88	1,90	1,91	1,93	1,95	1,96	1,98	1,99
1,88	1,90	1,91	1,93	1,95	1,96	1,98	1,99
1,88	1,90	1,91	1,93	1,95	1,96	1,98	1,99
593,55	595,45	597,36	599,29	601,24	603,20	605,18	607,17
0,5935	0,5862	0,5789	0,5718	0,5647	0,5577	0,5509	0,5441
454,97	456,08	457,19	458,29	459,39	460,48	461,57	462,66

2070	NW	BW
50		
	170,59	170,59
	53,96	38,50
	64,21	50,09
	237,73	144,64
2,01	82,69	59,92
2,01	609,18	463,74
2,01		
609,18		
0,5373		
463,74		

A.1.2 Dokumentation Barwertberechnung – AW 02

AW 02	Basis	Einheit	2020 0	2021 1
Errichtungskosten	223,66	€/m ²	223,66	
Instandhaltung Innen	7,20	€/m ²	2,40%	
Instandhaltung außen	39,96	€/m ²	2,40%	
Energiekosten (Wärmeverluste)	1,33	€/m ² a	0,83%	1,34
Summe			223,66	1,34

Jahreskosten	223,66	1,34
Jahreskosten kumuliert	223,66	225,00
Abzinsfaktor	1,25%	1,0000
Barwert	223,66	224,98

2022 2	2023 3	2024 4	2025 5	2026 6	2027 7	2028 8	2029 9
1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43
1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43
1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43
226,35	227,71	229,09	230,47	231,87	233,28	234,70	236,13
0,9755	0,9634	0,9515	0,9398	0,9282	0,9167	0,9054	0,8942
226,30	227,61	228,92	230,22	231,52	232,81	234,10	235,38
2030 10	2031 11	2032 12	2033 13	2034 14	2035 15	2036 16	2037 17
9,13							
1,44	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53
10,57	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53
10,57	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52	1,53
246,71	248,16	249,63	251,11	252,60	254,11	255,63	257,16
0,8832	0,8723	0,8615	0,8509	0,8404	0,8300	0,8197	0,8096
244,72	245,99	247,25	248,51	249,77	251,02	252,26	253,50
2038 18	2039 19	2040 20	2041 21	2042 22	2043 23	2044 24	2045 25
		11,57					
		64,21					
1,54	1,56	1,57	1,58	1,60	1,61	1,62	1,64
1,54	1,56	77,35	1,58	1,60	1,61	1,62	1,64
1,54	1,56	77,35	1,58	1,60	1,61	1,62	1,64
258,70	260,26	337,61	339,19	340,79	342,40	344,02	345,65
0,7996	0,7898	0,7800	0,7704	0,7609	0,7515	0,7422	0,7330
254,74	255,96	316,30	317,52	318,73	319,94	321,14	322,34

2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
26	27	28	29	30	31	32	33
14,67							
1,65	1,66	1,68	1,69	1,70	1,72	1,73	1,75
1,65	1,66	1,68	1,69	16,37	1,72	1,73	1,75

1,65	1,66	1,68	1,69	16,37	1,72	1,73	1,75
347,30	348,97	350,64	352,33	368,70	370,42	372,15	373,90
0,7240	0,7150	0,7062	0,6975	0,6889	0,6804	0,6720	0,6637
323,54	324,73	325,91	327,09	338,37	339,54	340,70	341,86

2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
34	35	36	37	38	39	40	41
						18,59	
						103,19	
1,76	1,78	1,79	1,81	1,82	1,84	1,85	1,87
1,76	1,78	1,79	1,81	1,82	1,84	123,63	1,87

1,76	1,78	1,79	1,81	1,82	1,84	123,63	1,87
375,66	377,44	379,23	381,04	382,86	384,69	508,32	510,19
0,6555	0,6474	0,6394	0,6315	0,6237	0,6160	0,6084	0,6009
343,01	344,16	345,31	346,45	347,59	348,72	423,93	425,06

2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
42	43	44	45	46	47	48	49
1,88	1,90	1,91	1,93	1,95	1,96	1,98	1,99
1,88	1,90	1,91	1,93	1,95	1,96	1,98	1,99

1,88	1,90	1,91	1,93	1,95	1,96	1,98	1,99
512,07	513,97	515,88	517,81	519,76	521,72	523,70	525,69
0,5935	0,5862	0,5789	0,5718	0,5647	0,5577	0,5509	0,5441
426,17	427,29	428,39	429,50	430,59	431,69	432,78	433,86

2070		
50	NW	BW
	223,66	223,66
	53,96	38,50
	167,40	112,87
2,01	82,69	59,92
2,01	527,70	434,94

2,01
527,70
0,5373
434,94

A.1.3 Dokumentation Barwertberechnung – AW 03

AW 03	Basis	Einheit	2020	2021
			0	1
Errichtungskosten	421,48	€/m ²	421,48	
Instandhaltung Innen	7,20	€/m ²		2,40%
Instandhaltung außen	39,96	€/m ²		2,40%
Abbruch und Erneuerung Fassade	114,29	€/m ²		2,40%
Energiekosten (Wärmeverluste)	1,46	€/m ² a		0,83%
Summe			421,48	1,47

Jahreskosten		421,48	1,47
Jahreskosten kumuliert		421,48	422,95
Abzinsfaktor	1,25%	1,0000	0,9877
Barwert		421,48	422,93

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
2	3	4	5	6	7	8	9

1,48	1,50	1,51	1,52	1,53	1,55	1,56	1,57
1,48	1,50	1,51	1,52	1,53	1,55	1,56	1,57

1,48	1,50	1,51	1,52	1,53	1,55	1,56	1,57
424,43	425,93	427,44	428,96	430,49	432,04	433,60	435,17
0,9755	0,9634	0,9515	0,9398	0,9282	0,9167	0,9054	0,8942
424,38	425,82	427,26	428,69	430,11	431,53	432,94	434,35

2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
10	11	12	13	14	15	16	17

9,13							
1,59	1,60	1,61	1,63	1,64	1,65	1,67	1,68
10,71	1,60	1,61	1,63	1,64	1,65	1,67	1,68

10,71	1,60	1,61	1,63	1,64	1,65	1,67	1,68
445,89	447,49	449,10	450,72	452,36	454,02	455,68	457,36
0,8832	0,8723	0,8615	0,8509	0,8404	0,8300	0,8197	0,8096
443,81	445,20	446,59	447,97	449,35	450,72	452,09	453,45

2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
18	19	20	21	22	23	24	25

		11,57					
		64,21					
1,69	1,71	1,72	1,74	1,75	1,77	1,78	1,80
1,69	1,71	77,51	1,74	1,75	1,77	1,78	1,80

1,69	1,71	77,51	1,74	1,75	1,77	1,78	1,80
459,06	460,76	538,27	540,01	541,76	543,52	545,30	547,10
0,7996	0,7898	0,7800	0,7704	0,7609	0,7515	0,7422	0,7330
454,81	456,15	516,61	517,95	519,28	520,61	521,93	523,24

2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
26	27	28	29	30	31	32	33
14,67							
1,81	1,83	1,84	1,86	1,87	1,89	1,90	1,92
1,81	1,83	1,84	1,86	16,54	1,89	1,90	1,92
1,81	1,83	1,84	1,86	16,54	1,89	1,90	1,92
548,91	550,73	552,57	554,43	570,97	572,85	574,76	576,67
0,7240	0,7150	0,7062	0,6975	0,6889	0,6804	0,6720	0,6637
524,55	525,86	527,16	528,45	539,85	541,13	542,41	543,68
2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
34	35	36	37	38	39	40	41
18,59							
295,12							
1,93	1,95	1,97	1,98	2,00	2,02	2,03	2,05
1,93	1,95	1,97	1,98	2,00	2,02	315,74	2,05
1,93	1,95	1,97	1,98	2,00	2,02	315,74	2,05
578,61	580,56	582,52	584,51	586,50	588,52	904,26	906,31
0,6555	0,6474	0,6394	0,6315	0,6237	0,6160	0,6084	0,6009
544,95	546,21	547,47	548,72	549,97	551,21	743,31	744,54
2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
42	43	44	45	46	47	48	49
2,07	2,08	2,10	2,12	2,14	2,15	2,17	2,19
2,07	2,08	2,10	2,12	2,14	2,15	2,17	2,19
2,07	2,08	2,10	2,12	2,14	2,15	2,17	2,19
908,38	910,46	912,56	914,68	916,82	918,97	921,14	923,33
0,5935	0,5862	0,5789	0,5718	0,5647	0,5577	0,5509	0,5441
745,77	746,99	748,20	749,42	750,62	751,82	753,02	754,21

2070		
50	NW	BW
	421,48	421,48
	53,96	38,50
	64,21	50,09
	295,12	179,56
2,21	90,77	65,78
2,21	925,54	755,40

2,21
925,54
0,5373
755,40

A.1.4 Dokumentation Barwertberechnung – AW 04

AW 04	Basis	Einheit	2020 0	2021 1
Errichtungskosten	251,16	€/m ²	251,16	
Instandhaltung Innen	7,20	€/m ²	2,40%	
Abbruch und Erneuerung Fassade	114,58	€/m ²	2,40%	
Energiekosten (Wärmeverluste)	0,95	€/m ² a	0,83%	0,96
Summe			251,16	0,96

Jahreskosten		251,16	0,96
Jahreskosten kumuliert		251,16	252,12
Abzinsfaktor	1,25%	1,0000	0,9877
Barwert		251,16	252,11

2022 2	2023 3	2024 4	2025 5	2026 6	2027 7	2028 8	2029 9
-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02
0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02

0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02
253,08	254,06	255,04	256,03	257,03	258,03	259,05	260,07
0,9755	0,9634	0,9515	0,9398	0,9282	0,9167	0,9054	0,8942
253,05	253,99	254,92	255,85	256,78	257,70	258,62	259,53

2030 10	2031 11	2032 12	2033 13	2034 14	2035 15	2036 16	2037 17
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

9,13							
1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09
10,16	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09

10,16	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09
270,23	271,27	272,32	273,38	274,45	275,52	276,61	277,70
0,8832	0,8723	0,8615	0,8509	0,8404	0,8300	0,8197	0,8096
268,51	269,41	270,32	271,22	272,11	273,01	273,90	274,78

2038 18	2039 19	2040 20	2041 21	2042 22	2043 23	2044 24	2045 25
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

		11,57					
1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
1,10	1,11	12,69	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17

1,10	1,11	12,69	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
278,80	279,91	292,60	293,73	294,87	296,02	297,18	298,35
0,7996	0,7898	0,7800	0,7704	0,7609	0,7515	0,7422	0,7330
275,66	276,54	286,44	287,31	288,18	289,04	289,90	290,76

2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
26	27	28	29	30	31	32	33
				14,67			
				233,40			
1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
1,18	1,19	1,20	1,21	249,28	1,23	1,24	1,25
1,18	1,19	1,20	1,21	249,28	1,23	1,24	1,25
299,53	300,71	301,91	303,12	552,40	553,63	554,86	556,11
0,7240	0,7150	0,7062	0,6975	0,6889	0,6804	0,6720	0,6637
291,61	292,46	293,30	294,15	465,87	466,71	467,54	468,37
2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
34	35	36	37	38	39	40	41
						18,59	
1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	1,32	1,33
1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	19,91	1,33
1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	19,91	1,33
557,37	558,64	559,92	561,21	562,51	563,82	583,73	585,07
0,6555	0,6474	0,6394	0,6315	0,6237	0,6160	0,6084	0,6009
469,19	470,01	470,83	471,65	472,46	473,26	485,38	486,18
2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
42	43	44	45	46	47	48	49
1,34	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42
1,34	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42
1,34	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42
586,41	587,77	589,13	590,51	591,90	593,30	594,71	596,14
0,5935	0,5862	0,5789	0,5718	0,5647	0,5577	0,5509	0,5441
486,98	487,77	488,57	489,35	490,14	490,92	491,70	492,47
2070	NW	BW					
50							
	251,16	251,16					
	53,96	38,50					
	233,40	160,78					
1,44	59,06	42,80					
1,44	597,57	493,24					
1,44							
597,57							
0,5373							
493,24							

A.1.5 Dokumentation Barwertberechnung – AW 05

AW 05	Basis	Einheit	2020	2021
			0	1
Errichtungskosten	434,71	€/m ²	434,71	
Instandhaltung außen	19,96	€/m ²		2,40%
Energiekosten (Wärmeverluste)	0,95	€/m ² a		0,83%
Summe			434,71	0,96

Jahreskosten		434,71	0,96
Jahreskosten kumuliert		434,71	435,67
Abzinsfaktor	1,25%	1,0000	0,9877
Barwert		434,71	435,66

2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
2	3	4	5	6	7	8	9

0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02
0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02

0,97	0,97	0,98	0,99	1,00	1,01	1,01	1,02
436,64	437,61	438,59	439,58	440,58	441,59	442,60	443,62
0,9755	0,9634	0,9515	0,9398	0,9282	0,9167	0,9054	0,8942
436,60	437,54	438,47	439,40	440,33	441,25	442,17	443,09

2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037
10	11	12	13	14	15	16	17

1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09
1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09

1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,08	1,08	1,09
444,66	445,70	446,75	447,80	448,87	449,95	451,03	452,12
0,8832	0,8723	0,8615	0,8509	0,8404	0,8300	0,8197	0,8096
444,00	444,91	445,81	446,71	447,61	448,50	449,39	450,27

2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
18	19	20	21	22	23	24	25

		32,07					
1,10	1,11	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
1,10	1,11	33,19	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17

1,10	1,11	33,19	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17
453,23	454,34	487,53	488,66	489,80	490,94	492,10	493,27
0,7996	0,7898	0,7800	0,7704	0,7609	0,7515	0,7422	0,7330
451,15	452,03	477,92	478,79	479,66	480,52	481,38	482,24

2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053
26	27	28	29	30	31	32	33
1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
1,18	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
494,45	495,64	496,83	498,04	499,26	500,49	501,72	502,97
0,7240	0,7150	0,7062	0,6975	0,6889	0,6804	0,6720	0,6637
483,09	483,94	484,78	485,63	486,46	487,30	488,13	488,96
2054	2055	2056	2057	2058	2059	2060	2061
34	35	36	37	38	39	40	41
1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	51,53	1,33
1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	52,85	1,33
1,26	1,27	1,28	1,29	1,30	1,31	52,85	1,33
504,23	505,50	506,78	508,07	509,37	510,68	563,53	564,87
0,6555	0,6474	0,6394	0,6315	0,6237	0,6160	0,6084	0,6009
489,78	490,61	491,42	492,24	493,05	493,86	526,01	526,82
2062	2063	2064	2065	2066	2067	2068	2069
42	43	44	45	46	47	48	49
1,34	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42
1,34	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42
1,34	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42
566,21	567,57	568,93	570,31	571,70	573,10	574,51	575,94
0,5935	0,5862	0,5789	0,5718	0,5647	0,5577	0,5509	0,5441
527,61	528,41	529,20	529,99	530,77	531,55	532,33	533,11
2070							
50	NW	BW					
	434,71	434,71					
	83,60	56,37					
1,44	59,06	42,80					
1,44	577,37	533,88					
1,44							
577,37							
0,5373							
533,88							

A.1.6 Baupreisindex

Ergebnisse im Überblick: Baupreisindex für den Hoch- und Tiefbau, Basisjahr 2015													
Jahr/Quartal	Hoch- und Tiefbau		Hochbau						Tiefbau				
	Insgesamt	Bau- meister	Sonstige Bau- arbeiten	Insgesamt	Bau- meister	Sonstige Bau- arbeiten	Insgesamt	Bau- meister	Sonstige Bau- arbeiten	Insgesamt	Straßen- bau	Brücken- bau	Sonstiger Tiefbau
Ø 2019	109,7	112,3	111,7	112,6	111,4	112,5	112,6	112,2	112,8	106,3	107,4	105,6	105,1
Ø 2018	106,4	108,6	108,3	108,8	108,4	108,7	108,9	108,7	109,0	103,6	104,0	103,2	103,1
Ø 2017	103,5	104,7	104,3	104,9	104,6	104,9	104,8	104,5	105,0	102,0	102,1	101,8	101,9
Ø 2016	101,3	101,9	101,5	102,1	101,8	102,0	102,0	101,6	102,3	100,6	100,6	100,6	100,8
Ø 2015	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2020	III.	112,9	116,3	116,0	116,4	116,3	116,5	116,5	116,6	108,4	109,9	107,2	106,9
	II.	112,3	115,7	115,6	115,8	115,3	116,0	116,1	116,0	108,0	109,6	106,9	106,4
	I.	111,5	114,7	114,1	115,2	113,7	115,0	114,6	115,3	107,4	108,7	106,5	106,1
2019	IV.	110,4	113,0	112,5	113,3	112,2	113,3	113,0	113,4	107,0	108,3	106,2	105,6
	III.	110,1	112,6	112,1	112,9	111,8	112,9	112,6	113,1	106,8	108,1	105,9	105,5
	II.	109,5	112,2	111,6	112,5	111,4	112,3	112,0	112,7	106,0	107,0	105,3	104,9
	I.	108,7	111,3	110,6	111,7	110,3	111,5	111,1	111,9	105,4	106,2	104,9	104,5
2018	IV.	107,4	109,6	109,5	109,6	109,4	109,9	109,9	109,8	104,5	105,1	104,2	103,8
	III.	106,9	109,1	108,9	109,1	108,9	109,3	109,3	109,2	104,0	104,5	103,6	103,5
	II.	106,1	108,4	108,0	108,7	107,7	108,5	108,7	108,4	103,2	103,6	102,7	102,8
	I.	105,3	107,4	106,7	107,9	106,4	107,8	107,2	108,1	102,5	102,9	102,2	102,2
2017	IV.	104,2	105,7	105,4	105,9	105,6	105,9	105,7	106,0	102,3	102,7	102,0	102,0
	III.	103,7	105,1	104,8	105,3	105,0	105,2	105,1	105,3	102,0	102,1	101,9	102,0
	II.	103,4	104,4	104,0	104,7	104,3	104,5	104,2	104,8	102,0	102,0	101,8	101,0
	I.	102,7	103,5	102,9	103,8	103,3	103,7	103,1	104,0	101,6	101,6	101,4	101,7
2016	IV.	101,8	102,4	102,1	102,6	102,3	102,6	102,2	102,9	101,1	101,1	101,1	101,2
	III.	101,5	102,1	101,8	102,3	102,0	102,3	101,9	102,5	100,8	100,7	100,8	101,0
	II.	101,3	101,8	101,4	102,0	101,7	101,9	101,5	102,1	100,6	100,6	100,6	100,7
	I.	100,7	101,2	100,6	101,5	101,1	101,3	100,6	101,6	100,0	99,9	99,8	100,2
2015	IV.	100,1	100,3	100,2	100,4	100,3	100,4	100,2	100,5	99,6	99,6	99,4	100,1

155

¹⁵⁵ https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/baupreisindex/index.html. Datum des Zugriffs: 24.01.2021

A.1.7 Umlaufgewichtete Durchschnittsrendite von Bundesanleihen

Umlaufgewichtete Durchschnittsrendite für Bundesanleihen	
Periodendurchschnitt	UDRB Durchschnitt
	in % p. a.
Q2 15	0,288
Q3 15	0,494
Q4 15	0,378
Q1 16	0,244
Q2 16	0,093
Q3 16	-0,152
Q4 16	-0,017
Q1 17	0,151
Q2 17	0,159
Q3 17	0,211
Q4 17	0,19
Q1 18	0,351
Q2 18	0,359
Q3 18	0,272
Q4 18	0,335
Q1 19	0,195
Q2 19	0,016
Q3 19	-0,314
Q4 19	-0,247
Q1 20	-0,25
Q2 20	-0,184
Q3 20	-0,345

156

¹⁵⁶ Vgl. <https://www.oenb.at/isaweb/report.do;jsessionid=38D9DEBAD6D3527EA0E23B0E486AB85D?report=2.11.2>. Datum des Zugriffs: 24.01.2021

A.1.8 Mittlere Außentemperatur in der Heizperiode

Tabelle B.5 — Region Beckenlandschaften im Süden (SB)

Koeffizienten des Dreischichten-Regressionsmodells zur Bestimmung der mittleren Außentemperatur je Monat θ_e in °C												
$h \leq 750$ m												
	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<i>a</i>	-0,731	2,220	7,226	12,482	16,841	20,619	22,478	21,700	17,574	11,575	5,604	1,152
<i>b</i>	-0,423	-0,458	-0,521	-0,613	-0,602	-0,610	-0,597	-0,607	-0,495	-0,413	-0,486	-0,566
$750 \text{ m} < h \leq 1500$ m												
	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<i>a</i>	-5,349	0,035	6,448	12,253	16,840	20,516	22,013	20,670	16,634	9,503	2,225	-4,667
<i>b</i>	0,193	-0,166	-0,417	-0,582	-0,601	-0,596	-0,535	-0,470	-0,370	-0,137	-0,035	0,210
$h > 1500$ m												
	Jän	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
<i>a</i>	5,469	5,983	9,810	13,948	18,420	22,294	24,542	23,887	20,758	16,159	9,858	6,025
<i>b</i>	-0,528	-0,563	-0,641	-0,695	-0,707	-0,715	-0,704	-0,684	-0,645	-0,581	-0,544	-0,503

157

$$\theta_e = a + b \cdot \frac{h}{100} \quad [\text{Glg. 17}]^{140}$$

mit

θ_e mittlere Außentemperatur in der Heizperiode [K]

a, b... Regressionskoeffizienten des Dreischichten-Regressionsmodells

h..... Seehöhe [m]

158

Jän	-2,62
Feb	0,18
Mär	4,90
Apr	9,75
Okt	9,73
Nov	3,44
Dez	-1,37

Mittelwert: 3,43 [K]

¹⁵⁷ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau S. 19.

¹⁵⁸ AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5:2019 Wärmeschutz im Hochbau S. 7.

A.1.9 K7-Blatt – Abbruch u. Erneuerung Fassade – AW 01

PREIS- ERMITTLUNG				Formblatt K7		
Bau:	Firma:	Datum:				
Angebot Nr.:		Preisbasis:				
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionsstichwort, Kostenentwicklung je Einheit	Std/E	Lohn	Sonstiges	Einheitspreis		
Abbruch u. Erneuerung Fassade AW 01 ca. 285m²						
<u>Baustelle Einrichten und Räumen - 1PA 1.000,00 €</u>						
1.000,00 € : 285 m ²	€/m ²			3,51		
<u>Bagger + Greifer (inkl. Fahrer u. Diesel) - 90,00 €/Std</u>						
0,01 Std/m ² * 90,00 €/Std	€/m ²			0,90		
<u>Entsorgung WDVS - 3.550,00 €/to bei 2,1 kg/m²</u>						
0,0021 to/m ² * 3.550,00 €/to	€/m ²			7,46		
<u>Fassadengerüst</u>						
	€/m ²			6,63		
<u>Siloaufstellgebühr - 1 PA 200,00 €</u>						
200,00 € : 285 m ²	€/m ²			0,70		
<u>WDVS 14cm EPS-F</u>						
	€/m ²			41,41		
<u>Dünnputz</u>						
	€/m ²			16,11		
				76,72		
		20% Ust.		15,34		
	€/m²			92,06		

A.1.10 K7-Blatt – Abbruch u. Erneuerung Fassade – AW 03

PREIS- ERMITTLUNG				Formblatt K7		
Bau:	Firma:	Datum:				
Angebot Nr.:		Preisbasis:				
Pos.-Nr., Menge, Einheit, Positionstichwort, Kostenentwicklung je Einheit	Std/E	Lohn	Sonstiges	Einheitspreis		
Abbruch und Erneuerung Fassade AW 03 ca. 285m²						
Baustelle Einrichten und Räumen - 1PA 1.000,00 €						
1.000,00 € : 285 m ²	€/m ²					3,51
Bagger + Greifer (inkl. Fahrer u. Diesel) - 90,00 €/Std						
0,01 Std/m ² * 90,00 €/Std	€/m ²					0,90
Entsorgung WDVS - 966,00 €/to bei 4,2 kg/m ²						
0,0042 to/m ² * 966,00 €/to	€/m ²					4,06
Fassadengerüst	€/m ²					6,63
Siloaufstellgebühr - 1 PA 200,00 €						
200,00 € : 285 m ²	€/m ²					0,70
WDVS 14cm Mineralwolle	€/m ²					63,33
Dünnputz	€/m ²					16,11
						95,24
		20% Ust.				19,05
	€/m ²					114,29

A.1.11 Entsorgungskosten

ENTSORGUNGSKOSTEN

BODENAUSHUBDEPONIE

Die Anlieferung von Abfällen ist nur mit gültiger Abfallinformation bzw. grundlegender Charakterisierung möglich.

Bodenaushubdeponie SN 31411 / spez. 29-32

gem. den Grenzwerten für Bodenaushubdeponie ohne Verunreinigung	€	6,00 /to
Erdbohrschlamm	€	48,00 /to
Reinigungspauschale für Bohrschlammcontainer	€	40,00

BAURESTMASSEDEPONIE

Die Anlieferung von Abfällen ist nur mit gültiger Abfallinformation bzw. grundlegender Charakterisierung möglich.

Sonst. verunreinigte Böden nicht gefährlich SN 31424/37

Bodenaushub BRM-Qualität SN 31411/33	€	50,00 /to
Baurestmassen gem. Deponieverordnung inkl. ALSAG	€	50,00 /to
Gemisch aus Beton, Ytong, Ziegel, Porzellan, Aushub, Mörtel, Verputz, Asphalt, Glas, Bitumen, Gipssteine, Kaminsteine aus priv. Haushalten, ... mit max. 10Vol% Verunreinigung wie Holz, Papier, Kunststoff, ...	€	62,00 /to
Glas rein SN 31408 inkl. ALSAG	€	74,00 /to
Eternit rein SN 31412 inkl. ALSAG	€	88,00 /to
Baumix		
Rigips / Herakith SN 31409 / Gips SN 31438 inkl. ALSAG	€	79,00 /to
Asbestabfälle, Asbeststäube, Mineralfasern, (reißfest verpackt) SN 31437 inkl. ALSAG	€	966,00 /to
Sandwichpaneele (Mineralwolle) SN 31437 inkl. ALSAG	€	966,00 /to
Ziegel mit Dämmung (Mineralwolle) SN 31416 inkl. ALSAG	€	125,00 /to

RESTSTOFFDEPONIE

Die Anlieferung von Abfällen ist nur mit gültiger grundlegender Charakterisierung möglich.

gem. Deponieverordnung inkl. ALSAG	€	88,00 /to
------------------------------------	---	-----------

MASSENABFALLDEPONIE

Die Anlieferung von Abfällen ist nur mit gültiger grundlegender Charakterisierung möglich.

gem. Deponieverordnung inkl. ALSAG	€	95,00 /to
------------------------------------	---	-----------

SONSTIGE ABFÄLLE

Baustellenabfall SN 91206 / Gewerbeabfall SN 91101	€	258,00 /to
Schrott gemischt SN 35103		kostenlos
Altreifen (PKW und LKW) SN 57502	€	160,00 /to
Kartonagen SN 91201 / Altpapier SN 18718 nicht lizenziert		kostenlos
Straßenkehrriem SN 91501	€	134,00 /to
Polystyrol, Polystyrolschaum gefährlich (XPS) SN 57108/77	€	3.550,00 /to

HOLZABFÄLLE

Bau- und Abbruchholz stoffliche Verwertung SN 17202 (lt. Recyclingholzverordnung)	€	90,00 /to
Bau- und Abbruchholz thermische Verwertung SN 17202 (lt. Recyclingholzverordnung)	€	90,00 /to
Wurzelstöcke, Baum- u. Strauchschnitt SN 92105/67	€	90,00 /to
Bahnschwellen SN 17207	€	200,00 /to
Holzmasten teerölimprägniert SN 17209	€	200,00 /to

Die Entsorgungskosten können nur unverbindlich angegeben werden, da sich staatliche Abgaben kurzfristig ändern können. Alle Preise verstehen sich exkl. 10 % MWSt. verladen und verwogen.

08

Literaturverzeichnis

7.3 Bücher

MASLOW, A.H.: *Motivation und Persönlichkeit*. 2. erweiterte Auflage. New York. Harper and Row Publishers, 1978.

PELZETER, A.: *Lebenszykluskosten von Immobilien - Einfluss von Lage, Gestaltung und Umwelt*. Köln. Müller, 2006.

NOOSTEN, D.: *Investitionsrechnung - Eine Einführung für Architekten und Bauingenieure*. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2018.

BOUSSABAIN, H. A.; KIRKHAM, R. J.: *Whole Life-cycle Costing - Risk and Risk Responses*. Oxford. Blackwell Publishing, 2004.

LITAU, O.: *Nachhaltiges Facility Management im Wohnungsbau – Lebenszyklus – Zertifizierungssysteme - Marktchancen*. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2015.

HOFSTADLER, C.; KUMMER, M.: *Chancen- und Risikomanagement in der Bauwirtschaft - Für Auftraggeber und Auftragnehmer in Projektmanagement, Baubetrieb und Bauwirtschaft*. Berlin. Springer Vieweg, 2017.

SOMMER, H.: *Projektmanagement im Hochbau – Mit BIM und Lean Management*. 4. Auflage. Berlin. Springer Vieweg, 2016.

NÄVY, J.: *Facility Management - Grundlagen, Informationstechnologie, Systemimplementierung, Anwendungsbeispiele*. 5. Auflage. Berlin. Springer, 2018.

ARNOLD, D.; ROTTKE, N.; WINTER, R.: *Wohnimmobilien - Lebenszyklus, Strategie, Transaktion*. Wiesbaden. Springer Gabler, 2017.

PELZETER, A.: *Lebenszyklusmanagement von Immobilien - Ressourcen- und Umweltschonung in Gebäudekonzeption und -betrieb*. Berlin. Beuth, 2017.

SCHUSTER, T.; RÜDT VON COLLENBERG, L.: *Investitionsrechnung - Kapitalwert, Zinsfuß, Annuität, Amortisation*. Berlin. Springer Gabler, 2017.

WILLEMS, W. M.: *Lehrbuch der Bauphysik - Schall – Wärme – Feuchte – Licht – Brand – Klima*. 8. Auflage. Wiesbaden. Springer Vieweg, 2017.

7.4 Lehrunterlagen

MAUERHOFER, G.: *Bau- und Immobilienfinanzierung Kapitel 7: Einführung in die Lebenszykluskostenrechnung. LV-Folien.* Graz. Technische Universität Graz, 2017.

7.5 Fachartikel

HOFSTADLER, C.: *Methoden zur Ermittlung von Lebenszykluskosten.* Graz. Technische Universität Graz, 2014.

IG LEBENSZYKLUS BAU: *Der Weg zum lebenszyklusorientierten Hochbau - Die 3 Säulen erfolgreicher Bauprojekte in einer digitalen Wirtschaft.* Wien. IG Lebenszyklus Bau, 2017.

BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU u. STADTENTWICKLUNG: *Leitfaden Nachhaltiges Bauen.* Berlin. Bundesministerium für Verkehr Bau und Stadtentwicklung, 2011.

ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUBIOLOGIE UND – ÖKOLOGIE: *Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen.* Wien. Österreichisches Institut Für Baubiologie Und – Ökologie, 2009.

HASLER, E.: *Studie – Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung.* Graz. FH Joanneum, 2017.

IPSER, C.: *Lebenszykluskostenbewusstes Planen und Bauen bei Ein- und Zweifamilienhäusern.* Krems. Donau-Universität Krems, 2017.

HEISINGER, F.; STEINER, T.: *Nachhaltige Baukonstruktion.* Wien. Österreichisches Institut Für Baubiologie Und – Ökologie, 2016.

BENKE, G.: *Expertise zum Einsatz von Luftwärmepumpen in Österreich.* Wien. e7 Energie Markt Analyse GmbH, 2015.

7.6 Normen

AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-1: *Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 1: Objekterrichtung.* Wien. Austrian Standards Institute, 2015.

AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-2: *Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 2: Objekt-Folgekosten.* Wien. Austrian Standards Institute, 2011.

AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 1801-4: *Bauprojekt- und Objektmanagement – Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten.* Wien. Austrian Standards Institute, 2014.

AUSTRIAN STANDARDS: EN 15643-4 – Nachhaltigkeit von Bauwerken– Bewertung der Nachhaltigkeit von Bauwerken - Teil 4:

Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität. Wien. Austrian Standards Institute, 2012.

AUSTRIAN STANDARDS: ÖNORM B 8110-5: Wärmeschutz im Hochbau - Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Wien. Austrian Standards Institute, 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-1: Building and constructed assets – Service life planning - Part 1: General principles and framework. Genf. International Organization for Standardization, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION: ISO 15686-5 Buildings and constructed assets – Service- life planning – Part 5: Life-cycle costing. Genf. International Organization for Standardization, 2017.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN 18960 -Nutzungskosten im Hochbau. Berlin. Deutsches Institut Für Normung, 2008.

7.7 Internetquellen

<https://www.oenb.at/isaweb/report.do?report=2.11.2>, Datum des Zugriffs 30.10.2020.

<https://www.tfj.ch/mietvertrag-wohnung-kostenlos/lebensdauertabelle>, Datum des Zugriffs 02.11.2020.

<https://www.eternit.at/service/kontakt/faqs>, Datum des Zugriffs 03.11.2020.

<http://www.klimaatlas.ktn.gv.at/daten/1/hztag.html>, Datum des Zugriffs 16.10.2020.

<https://www.e-control.at/konsumenten/strom/strompreis/was-kostet-eine-kwh>, Datum des Zugriffs 16.10.2020.

<https://newsroom.sparkasse.at/wohnstudie-2016-so-ist-wohnen-fuer-junge-menschen-kaum-noch-leistbar>, Datum des Zugriffs 16.09.2020.

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/kosten>, Datum des Zugriffs 14.11.2020.

<https://www.oenb.at/isaweb/report.do;jsessionid=38D9DEBAD6D3527EA0E23B0E486AB85D?report=2.11.2>. Datum des Zugriffs: 24.01.2021.

https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/energiepreise/index.html. Datum des Zugriffs: 24.01.2021.

<https://www.hasenoehrl.at/wp-content/uploads/2021/01/hasenhrl-preisliste-stand-2021>. Datum des Zugriffs: 24.01.2021.

