



**Universität
Zürich** UZH

Abschlussarbeit

zur Erlangung des
Master of Advanced Studies in Real Estate

Fassadensysteme

**Eine Untersuchung von Fassadenkonstruktionen aus ökonomischer
und ökologischer Sicht**

Verfasserin: Pfenninger
Angela

Eingereicht bei: Dr. Max Kersting

Abgabedatum: 02.09.2019

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Executive Summary.....	VII
1. Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage.....	1
1.2 Zielsetzung.....	2
1.3 Abgrenzung des Themas	3
1.4 Vorgehen	4
2. Theoretische Grundlagen.....	5
2.1 Entwicklung Fassadensysteme	5
2.2 Verschiedene Fassadensysteme.....	6
2.2.1 Hinterlüftete Fassade mit Faserzement-Plattenverkleidung	10
2.2.2 Kompaktfassade mit EPS	11
2.2.3 Holzständerkonstruktion mit Holzverkleidung	11
2.2.4 Zweischalenmauerwerk.....	12
2.2.5 Einsteinmauerwerk	13
2.3 Ökonomische Aspekte.....	14
2.3.1 Erstellungskosten.....	14
2.3.2 Unterhalt	16
2.3.3 Lebensdauer.....	17
2.3.4 Rückbau	19
2.4 Ökologische Aspekte.....	21
2.4.1 Primärenergie.....	21
2.4.2 Treibhausgasemissionen.....	23
2.4.3 Toxische Stoffe.....	23
2.5 Stand der Forschung	26

3. Empirische Untersuchung.....	27
3.1 Nutzwertanalyse / Methode.....	27
3.1.1 Übersicht Instrument	27
3.1.2 Erklärung der Kriterien.....	28
3.1.3 Datenquellen.....	29
3.1.4 Herleitung Gewichtung.....	31
3.2 Untersuchung.....	31
3.2.1 Erstellungskosten.....	31
3.2.2 Unterhalt	32
3.2.3 Lebensdauer.....	33
3.2.4 Rückbau	33
3.2.5 Nicht erneuerbare Primärenergie.....	35
3.2.6 Treibhausgasemissionen.....	36
3.3 Ergebnisse.....	37
4. Schlussbetrachtung	40
4.1 Fazit	40
4.2 Diskussion	42
4.3 Ausblick.....	43
Literaturverzeichnis	44

Abkürzungsverzeichnis

BKP	Baukostenplan
CRB	Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EPS	Polystyrol, expandiert
GWP	Global Warming Potential
HBCD	Hexabromcyclododekan
HEV	Hauseigentümerverband
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KBOB	Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Hand
LCC	Life-cycle costing
NRE	Non Renewable Energy
PU-Schaum	Polyurethan Schaum
RC-Beton	Recycling-Beton
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SNBS	Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
XPS	Polystyrol, extrudiert

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einschalenwand.....	6
Abbildung 2: Mehrschalige Wand: Verputzte Aussenwärmedämmung.....	6
Abbildung 3: Mehrschalige Wand: Hinterlüftetes bekleidetes Wandsystem.....	7
Abbildung 4: Mehrschalige Wand: Zweischalenwand mit Kerndämmung.....	7
Abbildung 5: Mehrschalige Wand: Innendämmung.....	7
Abbildung 6: Baugesuche ZH, Hauptkategorie Wohnen.....	9
Abbildung 7: Wandaufbau Hinterlüftete Fassade.....	10
Abbildung 8: Wandaufbau Kompaktfassade.....	11
Abbildung 9: Wandaufbau Holzbaukonstruktion.....	12
Abbildung 10: Wandaufbau Zweischalenmauerwerk.....	13
Abbildung 11: Wandaufbau Einsteinauerwerk.....	14
Abbildung 12: Verfahren der Kostenkennwert- bzw. Kostenrichtwertbildung.....	15
Abbildung 13: Regelkreis der Kostenplanung.....	15
Abbildung 14: Umfang der Lebenszykluskosten (life-cycle costs LCC) nach ISO 15686-5.....	16
Abbildung 15: Umfang der Lebenszykluskosten aus schweizerischer Sicht.....	17
Abbildung 16: Erstellungskosten.....	32
Abbildung 17: Darstellung der Lebensdauer.....	33
Abbildung 18: Rückbaukosten.....	35
Abbildung 19: Nicht erneuerbare Primärenergie, NRE.....	36
Abbildung 20: Treibhausgasemissionen, GWP.....	36
Abbildung 21: Bewertungsskala für Nutzwertanalyse.....	37
Abbildung 22: Nutzwertanalyse.....	37
Abbildung 23: Fassadenkonstruktionen.....	39
Abbildung 24: Nutzwertanalyse mit Gewichtung 50% der Erstellungskosten.....	39
Abbildung 25: Nutzwertanalyse mit Gewichtung 30% Erstellungskosten.....	40
Abbildung 26: Nutzwertanalyse mit gleicher Punktevergabe.....	40

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bemessung des Belüftungsraumes	10
Tabelle 2: Paritätische Lebensdauertabelle	18
Tabelle 3: Die durchschnittliche Lebensdauer von Bauteilen	18
Tabelle 4: Schadstoffe in Baustoffen.....	24
Tabelle 5: Biozide Wirkstoffe in Produkten für Fassaden	25
Tabelle 6: Auswertung Ausschreibung Erstellungskosten	31
Tabelle 7: Rückbaukosten	34

Executive Summary

Die Fassade ist ein wichtiges Element eines Gebäudes. Eine mehrheitliche Anzahl der Gebäude im Kanton Zürich werden mit einer Kompaktfassade verkleidet. Dies zeigt eine Auswertung aller Baugesuche im Kanton Zürich von 2015-2018. Es stellt sich die Frage nach den Präferenzgründen für diese Bauart und ob sie denn auch die beste Lösung darstellt. Die Arbeit vergleicht fünf verschiedene Fassadenkonstruktionen: Hinterlüftete Fassade mit Faserzement-Plattenverkleidung, Kompaktfassade mit EPS, Holzständerkonstruktion mit Holzverkleidung, Zweischalenmauerwerk verputzt und Einsteinmauerwerk verputzt, und bietet durch eine Nutzwertanalyse eine Entscheidungshilfe für Bauherren sowie für Investoren. Verglichen werden einerseits die ökonomischen andererseits aber auch die ökologischen Aspekte. Für die Wahl einer Fassadenkonstruktion stehen die Erstellungskosten meist im Vordergrund und sind entscheidend für die Wahl einer bestimmten Fassadenkonstruktion. Da aber Nachhaltigkeit immer wichtiger wird, nicht zuletzt wegen der Zielvorgabe des Bundesrates, die Primärenergie auf 2000 Watt pro Person zu stabilisieren und Treibhausgasemissionen zu senken, berücksichtigt die Arbeit auch die ökologische Seite der Fassade. Dabei werden Aspekte wie Unterhalt, Rückbau, nicht erneuerbare Primärenergie und Treibhausgasemissionen in die Gesamtbetrachtung miteinbezogen. Die verschiedenen Vergleichspunkte, die der Nutzwertanalyse zu Grunde liegen, werden in der Arbeit erläutert und mit Kennwerten aus Anfragen an verschiedenen Firmen hinterlegt. Die Gewichtung der einzelnen Untersuchungsergebnisse sowie die Punktvorgabe bestimmen die Rangierung und können von Projektbeteiligten verschieden definiert werden. Dabei kann als „optimale“ Fassade eine andere resultieren als in dieser Arbeit.

Die in der Arbeit eingestellten Kennwerte ergeben jedenfalls ein klares Resultat: Die optimale Fassade ist eine Holzständerkonstruktion. Im Variantenvergleich schneidet die Kompaktfassade mit EPS schlecht ab und ist auf dem letzten Platz. Das Einsteinmauerwerk ist auf dem zweiten Platz, gleich darauf kommt die hinterlüftete Fassaden. Auf dem vierten Platz ist das Zweischalenmauerwerk. Aufgrund der Auswertung der Baugesuche zeigt sich, dass die am besten abschneidende Fassade kaum verbaut wird, die am schlechtesten abschneidende Fassadenkonstruktion dafür am häufigsten. Die Nutzwertanalyse dieser Arbeit soll eine Unterstützung sein, um zukünftige Fassaden zu bauen, welche ökonomische und ökologische Aspekte berücksichtigen und die Vorgaben vom Bundesrat unterstützen.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

„Im Wohnungsbau ist die Fassade häufig das Einzige, was als architektonisches Produkt wahrgenommen wird“ (Wietzorrek, Wolfrum, Zoller, & Klaffke, 2014, S. 353). Bei Gebäuden bestimmt die Fassade das Erscheinungsbild. Wie der Mensch eine Fassade empfindet und welche Fassaden uns ansprechen, wird diese Arbeit nicht beantworten. Die dahinterliegenden Räume sind geprägt durch die Fassade. Der Betrachter kann sich durch die Fassade ein Bild machen, wie die dahinterliegenden Räume sein könnten. Durch die Fassade werden die dahinterliegenden Räume geschützt. Die Fassade verbindet oder trennt das Private und das Öffentliche. Sie ist das Element das die Verbindung definiert. Die Atmosphäre im Inneren wird durch die Fassade und deren Ausführung mitbestimmt (Wietzorrek et al., 2014, S. 353).

Obwohl die Fassade ein sehr wichtiges Element eines Gebäudes ist, prägen bei aktuellen Neubauten die gleichen Fassadenkonstruktionen das Stadtbild. Eine Zugfahrt, zum Beispiel von Zürich nach Aarau zeigt dies eindrücklich auf: Es herrscht eine bauliche Einöde.

Laut Architekt Santiago Calatrava liegt dies daran, dass „[...] wir Häuser heute als eine spekulative Investitionen betrachten. Wir stecken da fünf Millionen rein, und dieses Geld soll in fünf Jahren amortisiert sein. Gedanken an Dauerhaftigkeit, Nachlass, Harmonie [...] macht man sich keine. Und es gibt einen immensen Druck der Industrie, die immer dieselben Bauteile verkaufen will. [...] Und so sind es am Ende uniforme Häuser, was natürlich den Menschen nicht entspricht. Oder meinen Sie, die Menschen würden akzeptieren, alle dieselben Kleider zu tragen? [...]“ (Teuwsen & Bernet, 2015).

Der Begriff „uniforme Häuser“ bezieht sich auf die äussere Erscheinung und damit auf die Fassade. Und da stellt sich die Frage ob die am weitesten verbreitete Fassade auch unter anderen Gesichtspunkten als den ökonomischen die Beste ist?

Erfüllen diese Fassaden auch die Vorgabe bezüglich Nachhaltigkeit, wie es der Bundesrat in seiner Strategie Nachhaltige Entwicklung 2016 – 2019 schreibt: „Der Bund berücksichtigt bei seinen öffentlichen Beschaffungen Güter (Produkte, Dienstleistungen, Bauwerke), die über ihren gesamten Lebensweg hohen wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Anforderungen genügen. Er nimmt bei seinem Konsumverhalten eine Vorbildfunktion ein, indem er im Rahmen seiner

Beschaffungstätigkeit Produkte nachfragt und Bauwerke realisiert, die wirtschaftlich, umweltschonend und gesundheitsverträglich sein sollen und die möglichst sozial verantwortungsvoll produziert werden“ (Schweizerischer Bundesrat, 2016, S. 52).

In der Schweiz wird viel gebaut und wie gebaut wird, hat einen grossen Einfluss auf die Nachhaltigkeit der Bauwerke. Gemäss dem Jahresbericht 2018 des KBOB werden in der Schweiz jährlich 60 Milliarden Schweizer Franken im Baubereich investiert. Ein Drittel davon durch die öffentliche Hand, zwei Drittel durch private und institutionelle Investoren und Bauherren (*Jahresbericht KBOB 2018*, 2019, S. 3).

„Bei Bauprojekten stehen in der Regel die Erstellung des Gebäudes und deren Kosten im Vordergrund. Nach Bezug des Gebäudes beginnen die Kosten für den Unterhalt. Diese Unterhaltskosten (Betrieb, Instandsetzung, Erneuerung) machen einen grossen Teil der sogenannten Lebenszykluskosten (LCC) aus. Diese werden auf 80% der Gesamtkosten geschätzt. [...] Eine grössere Investition in der Erstellungsphase kann unter Umständen zu tieferen Unterhalts- und Rückbaukosten führen“ (King & Trübstein, 2019, S. 3).

Welche Auswirkungen haben Unterhalt und Rückbau auf die Wahl der Konstruktion? Wie wirkt sich die Entscheidung für eine Konstruktion auf die Ökologie aus? Diese Fragen gilt es zu beantworten. Es ist deshalb wichtig, die privaten Bauherren und Investoren dafür zu sensibilisieren. Nachhaltigkeit ist ein klarer Trend, deshalb besteht momentan die Chance, dass Fragestellungen dazu auf grösseres Interesse stossen als früher.

Eine Möglichkeit liefert eine Bewertungsmatrix, mit der aufgezeigt werden kann, welche Fassadensysteme sich als optimal zeigen und ob die günstigste Variante auch langfristig die Beste ist.

1.2 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist eine Gegenüberstellung von den am häufigsten verbauten Fassadensysteme im Kanton Zürich unter den Hauptgesichtspunkten Ökonomie und Ökologie mit Hilfe einer Nutzwertanalyse.

Die Nutzwertanalyse soll eine massgebliche Entscheidungsgrundlage für die Bauherrschaft darstellen und sie unterstützen bei der Findung für ein Fassadensystem.

In einem ersten Schritt sollen folgende fünf Fassadensysteme für Mehrfamilienhäuser analysiert und aufgezeigt werden: Hinterlüftete Fassade mit Faserzement-

Plattenverkleidung, Kompaktfassade mit EPS, Holzständerkonstruktion mit Holzverkleidung, Zweischalenmauerwerk verputzt und Einsteinmauerwerk verputzt. Die Auswahl der Fassadenkonstruktionen wird im Kapitel 2.2 erläutert.

In einem zweiten Schritt werden ökologische Aspekte untersucht: nicht erneuerbare Primärenergie (graue Energie), Emissionen von Treibhausgasen und toxische Stoffe. Die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen müssen in Zukunft eine wichtige Rolle bei der Entscheidung für eine Aussenhülle spielen. Schliesslich steht in der Strategie des Bundesrates zur nachhaltigen Entwicklung als langfristige Vision die Primärenergie auf 2000 Watt pro Person zu stabilisieren. „Gemäss dem Klimarat (IPCC) müssen die globale Treibhausgasemissionen bis 2050 um 50 bis 85% im Vergleich zum Niveau von 1990 verringert werden, um den Temperaturanstieg unter 2°C zu halten [...]“ (Schweizerischer Bundesrat, 2016, S. 22).

Für die ökonomischen Aspekte sind die Erstellungskosten, Unterhalt, Lebensdauer, Rückbaukosten und Rückbauqualität zu betrachten. Die Erstellungskosten sind Haupttreiber bei der Entscheidung für ein Fassadensystem, wie im Kapitel 1.1 beschrieben. Die Kosten für den Unterhalt und den Rückbau richten sich nach der Art der Fassade.

Die verschiedenen Aspekte haben unterschiedliche Einheiten und um einen Vergleich herstellen zu können, hilft die Nutzwertanalyse. Durch die Gegenüberstellung der zwei Hauptkategorien Ökologie und Ökonomie soll sich zeigen, wie die optimale Fassade aussieht.

Dazu werden die gewonnenen Erkenntnisse der Fassadensysteme mit einer Gewichtung und Note versehen. Aus der Note und der Gewichtung der verschiedenen Parameter wird eine Empfehlung abgeleitet und diese kann für künftige Entscheidungsprozesse herangezogen werden.

1.3 Abgrenzung des Themas

In dieser Arbeit werden wirtschaftliche und ökologische Aspekte berücksichtigt und keine sozialen und ästhetischen.

In Anlehnung an den SNBS werden ausschliesslich die Aspekte nicht erneuerbare Primärenergie und Treibhausgasemissionen betrachtet. Werte aus dem Lesosai Programm (Total Primärenergie und Umweltbelastungspunkte) werden nicht

berücksichtigt. In den Umweltbelastungspunkte sind die Treibhausgasemissionen sowie die nicht erneuerbare Primärenergie enthalten.

Die Grundlage für die Nutzwertanalyse sind ausschliesslich Daten verschiedener Konstruktionen mit Kennwerten von Wohnbauten aus der Region Zürich sowie erwähnte ökologische Aspekte von fünf Fassadenaufbauten. Die Auswahl der fünf Fassadenkonstruktionen basiert auf der in Kapitel 2.2 aufgeführten Auswertung von Baugesuchen im Kanton Zürich. Der Begriff Fassadenkonstruktion meint die innere bis und mit äussere Schicht. Anschlussdetails von Fenster, Dach und Sockel werden nicht thematisiert. Aufgrund der regionalen Kostendifferenzen werden die preislichen Unterschiede der Anbieter nicht untersucht.

1.4 Vorgehen

Das Kapitel 1 dient zur Einführung in das Thema. Es werden in der Einleitung die Ausgangslage, Zielsetzung sowie der Inhalt der Arbeit beschrieben. Im zweiten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen erläutert. Zu Beginn wird die Entwicklung der Fassadensysteme behandelt. Es soll einen kurzen Überblick über die Fassaden in der Geschichte und die Entwicklung zu den heutigen Fassadenkonstruktionen vermittelt werden. Die Begriffe Mehrschalige Wände und Einschalenwände werden erläutert und mit den gängigen Fassadensystemen hinterlegt. Zudem kann mit der Auswertung von Baugesuchen im Kanton Zürich von 2015 bis 2018 die Anzahl eingereicherter Baugesuche pro Fassadenauswahl aufgezeigt werden. Danach werden die verschiedenen Fassadenkonstruktionen aufgezeigt. Am Ende der theoretischen Grundlagen wird auf die ökonomischen und ökologischen Aspekte und auf den Stand der Forschung eingegangen.

Das 3. Kapitel zeigt die empirische Untersuchung auf. Dabei wird die Nutzwertanalyse erläutert. Der Fokus liegt auf Nutzwertanalyse als Instrument für die Untersuchung mit Erläuterung der Variablen/Kriterien und Datenquellen sowie Herleitung der Gewichtung der Kriterien. Aufbauend auf der Untersuchung werden die Ergebnisse miteinander verglichen. Ziel ist es, am Ende des Kapitels eine Entscheidungshilfe für Bauherren und Investoren abzugeben.

Den Abschluss der Arbeit bildet das Kapitel 4 mit dem Fazit, der Diskussion und dem Ausblick.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Entwicklung Fassadensysteme

Die Wand wird in Redewendungen verwendet, wie „Mit dem Rücken zur Wand stehen“ oder „Mit dem Kopf durch die Wand gehen“. Daraus wird die Wand als Begrenzung eines spezifischen Raums wahrgenommen. Die Wand wird als flächig und dünn beschrieben. Im Gegensatz dazu ist die Mauer ein eigenständiges architektonisches Element und erschafft Räume. Die Wand hingegen braucht Boden und Decke um als Raum wahrgenommen zu werden und setzt räumliche Übergänge voraus. Durch die verschiedenen Wahrnehmungen kann die Wand der Filigranbauweise zugeordnet werden und die Mauer der Massivbauweise (Deplazes, 2008, S. 190).

Das Wort Fassade kommt aus dem lateinischen *Facies* und bedeutet äussere Erscheinung, Gestalt und Figur. Die Fassade erscheint also als etwas Feines, eine dünne Oberfläche. Andere Begriffe sind «Aussenwand» oder «Aussenmauer». Diese Begriffe beschreiben einerseits den räumlichen Abschluss und andererseits die konstruktive Seite der Fassade (Deplazes, 2008, S. 195).

Die Fassade hat elementare Funktionen zu erfüllen. Die Funktionen der einzelnen Schalen von aussen nach innen sind Schützen, Dämmen und Tragen. Die Schutzschicht oder auch Wetterschutzschale schützt das Gebäude und die Konstruktion vor Witterungseinflüssen und mechanischen Einwirkungen. Die Wärmedämmschale dämmt das Gebäude und verhindert Wärmebrücken. Die Tragkonstruktion wird durch die Wärmedämmschale vor grossen Temperaturschwankungen geschützt. Die Tragschale fängt Wand- und Decklasten ab und leitet diese in die Vertikale ab. (Deola & Osterwalder, 2010, S. 7). Die aufgeführten Funktionen zeigen auf, dass die Fassade das komplexeste Bauteil eines Gebäudes ist und eine sehr gute Koordination voraussetzt, um die Funktionen Tragen, Dämmen und Schützen in ein leistungsfähiges Gesamtsystem zu integrieren.

Die Wahl der Fassade hat Einfluss auf die Statik und Konstruktion. Durch die hohen Ansprüche an Fassaden und die Vielzahl an Funktionen an die Aussenhülle ist die Fassade ein komplexes Bauteil geworden. Die technischen Aspekte müssen durch eine Vielzahl von Beteiligten geplant und ausgeführt werden. Des Weiteren sind durch Neuentwicklungen von Werkstoffen mehr Möglichkeiten für verschiedene Fassadensysteme vorhanden. Die grosse Auswahl der möglichen Fassadentechnologien beschäftigt Bauherren und Planer (Auer, Bilow, Knaack, & Klein, 2007, S. 11-12).

2.2 Verschiedene Fassadensysteme

In diesem Unterkapitel wird ein systematischer Überblick über Wandaufbauten gegeben. Es wird unterschieden zwischen Einschalenwand und mehrschaligen Wänden, wie in folgenden Abbildungen 1-5 ersichtlich. Die Ausführung der verschiedenen Wandaufbauten beruht auf dem Kapitel „Systematischer Überblick“ von Deola & Osterwalder (2010, S. 8).

Die Einschalenwand hat alle Funktionen in einer Ebene zu erfüllen. Der Witterungsschutz, die Dämmfunktion sowie die statische Funktion werden durch die eine Wandebene (1) übernommen. Die Anwendung für diesen Wandaufbau sind Aussenwände mit geringen Anforderungen. Am häufigsten vorkommenden Wandkonstruktionen sind Einsteinmauerwerk, Verbandmauerwerk und Stahlbetonwand.

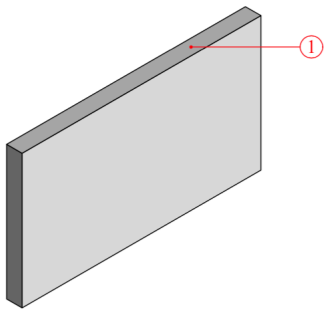


Abbildung 1: Einschalenwand (Deola & Osterwalder, 2010, S. 8)

Mehrschalige Wände werden in 4 Kategorien geteilt. Die erste ist die verputzte Aussenwärmedämmung. Die Funktionen sind auf drei Schichten aufgeteilt. Den Aussenputz (1) als Witterungsschutz, die Wärmedämmung (2) und die innere Tragschale (3). Die Aussenwände werden als Einsteinmauerwerk oder Stahlbetonwand mit verputzter Aussenwärmedämmung oder geklebten Klinkerplatten verbaut.

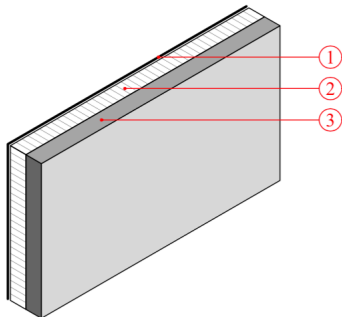


Abbildung 2: Mehrschalige Wand: Verputzte Aussenwärmedämmung (Deola & Osterwalder, 2010, S. 8)

Die zweite Kategorie ist ein hinterlüftetes bekleidetes Wandsystem. Die Aussenschale (1) wirkt als Witterungsschutz und die Hinterlüftung dient dem Feuchtigkeitsausgleich (2). Die Wärmedämmung (3) übernimmt die Funktion des Temperatenausgleichs. Als tragende Schicht dient die innere Tragschale (4). Die Ausführung erfolgt als Einsteinmauerwerk oder Stahlbetonwand mit einer hinterlüfteten und bekleideten Fassadendämmung. Die Varianten an Bekleidungen sind vielfältig. Es werden Metallbleche, Faserzementplatten, Holzelemente, Keramik-/Glaskeramikplatten und Natursteine verwendet. Die Unterkonstruktion besteht aus einer Holzlattung oder Metallprofilen je nach Bekleidung.

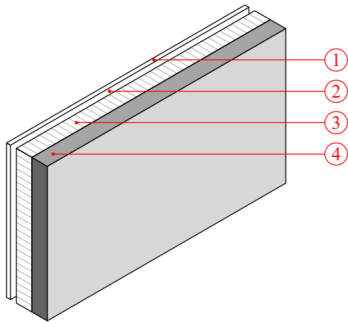
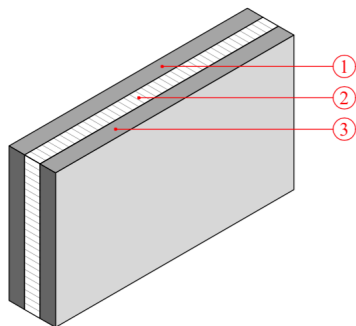


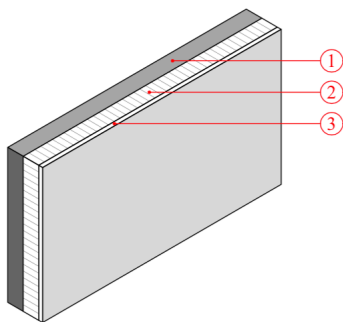
Abbildung 3: Mehrschalige Wand: Hinterlüftetes bekleidetes Wandsystem (Deola & Osterwalder, 2010, S. 8)

In der dritten Kategorie sind die Zweischalenwände mit Kerndämmung. Die äusserste Ebene ist die Aussenschale. (1) Sie wird statisch nicht belastet und dient als



Witterungsschutz. Wie bei vorgängigem System, folgen die Wärmedämmung (2) und die innere Tragschale (3). Realisiert wird diese Aussenwand als Zweischalenmauerwerk oder Stahlbetonwand mit gemauerter Vorsatzschale. Diese kann als Sichtmauerwerk oder verputztes Mauerwerk ausgeführt werden.

Abbildung 4: Mehrschalige Wand: Zweischalenwand mit Kerndämmung (Deola & Osterwalder, 2010, S. 8)



In die vierte Kategorie gehört die Innendämmung. Die äussere Ebene (1) hat zwei Funktionen: Sie funktioniert als Tragschale und Witterungsschutz. Die Wärmedämmung (2) dient als Dämmebene. Die innere Bekleidung (3) ist Vorsatzschale für die Dämmung.

Abbildung 5: Mehrschalige Wand: Innendämmung (Deola & Osterwalder, 2010, S. 8)

Die verschiedenen Kategorien werden nach Deplazes (2008) in synthetische Systeme und komplementäre Systeme unterteilt. Synthetische Systeme erfüllen alle Funktionen in einer polyfunktionalen Schicht. „Die Kunst bei der Entwicklung synthetischer Systeme besteht also in der Optimierung der drei miteinander gekoppelten Funktionen.“ Die synthetischen Systeme entsprechen somit anfangs erwähnten Einschalenwände (S. 195).

„Komplementäre Systeme weisen den strukturellen und bauphysikalischen Funktionen der Fassade unterschiedliche Schichten mit jeweils spezifischen, monofunktionalen Eigenschaften zu. Das geschieht in Kombination von zwei oder drei sich ergänzenden Schichten.“ (Deplazes, 2008) Die komplementären Systeme entsprechen vorhin erwähnten mehrschaligen Wänden (S.196).

Im Kanton Zürich gab es von 2015 bis 2018 12'099 Baugesuche in der Hauptkategorie Wohnen. Das Total der Baugesuche von allen Nutzungen betrug 20'022. Von den 12'099 Baugesuchen wurden bei nur 5'466 Angaben über die Fassade gemacht. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass die Fassade nicht Teil des Baugesuches war, zum Beispiel weil es ein Innenausbau war oder anderweitig Umbauten oder Sanierungen ohne Veränderung der Fassaden. Von den 5'466 Baugesuchen sind 1'927 Baugesuche mit Angaben über die Fassade, aber ohne weiter erläuterte Details. Die Anzahl eingereicherter Baugesuche belaufen sich bei der Kompaktfassade auf 78, bei der Natursteinfassade auf 119 und bei der Glasfassade auf 81. Baugesuche mit Mauerwerk verputzt sind zwischen 2015 bis 2018 insgesamt 2'582 eingereicht worden. Mauerwerk verputzt kann Kompaktfassade, Zweischalenmauerwerk oder Einsteinmauerwerk sein. Es kann davon ausgegangen werden, dass Sanierungen von Häusern mit Zweischalenmauerwerk und neuer Aussendämmung auch in diese Kategorie fallen, sowie Neubauten mit Kompaktfassade. Baugesuche mit Fassadenelementen aus Beton, Leichtbeton und Kunststein sind total 9 eingereicht worden. Baugesuche mit vorgehängter / hinterlüfteter Fassade wurden 400 eingereicht. Sie bilden somit die zweitgrösste Anzahl der Fassadensysteme, nach dem Mauerwerk verputzt. Baugesuche mit Fassaden aus Faserzementplatten sind 96 und Baugesuche mit Keramikplatten sind 16 eingereicht worden. Baugesuche mit Fassaden mit Sichtmauerwerk wurden 11 eingereicht, bei Fassaden aus Sandwich-Panelen sind es 4 und bei Fassaden aus Sichtbeton sind es 66 Baugesuche. Durch die grosse Stichprobe kann eine Aussage über die Menge an Fassaden mit Aussendämmung gemacht werden. Dementsprechend ist die Kompaktfassade ein Fassadensystem, das im Kanton Zürich sehr häufig verbaut wird und als Fassadensystem in diese Arbeit berücksichtigt werden muss. Auf dem zweiten Platz folgt die hinterlüftete Fassade, diese wird in Kombination mit Faserzementplatten in der Arbeit auch berücksichtigt. Fassaden mit Faserzementplatten werden mit 96 Baugesuchen innerhalb der 4 Jahre auch häufig verbaut. Zweischalenmauerwerk und Einsteinmauerwerk sind Fassadensysteme, welche in die Kategorie „Mauerwerk verputzt“ fallen. Es kann keine klare Aussage darüber gemacht werden, wie viele Neubauten mit Zweischalenmauerwerk oder Einsteinmauerwerk heute gebaut werden. Die zwei

Fassadenkonstruktionen sind in dieser Arbeit aufgeführt, da diese oft bei Einfamilienhäusern und Mehrfamilienhäusern angewendet wurden. Es gibt in den Jahren von 2015 bis 2018 keine Baugesuche für Holzständerkonstruktionen. Diese Fassadenkonstruktion soll in dieser Arbeit trotzdem berücksichtigt werden, da Holz ein natürliches Material ist, ein Kontrast zu den vorherigen Fassadenkonstruktionen darstellt und hier auch als Baustoff der Zukunft einen Platz finden soll. Die Glasfassade stellt mit 81 Baugesuchen einen kleinen Teil dar in der Kategorie Wohnen und wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt (Infomanager. Docu Media Schweiz GmbH, 2018).

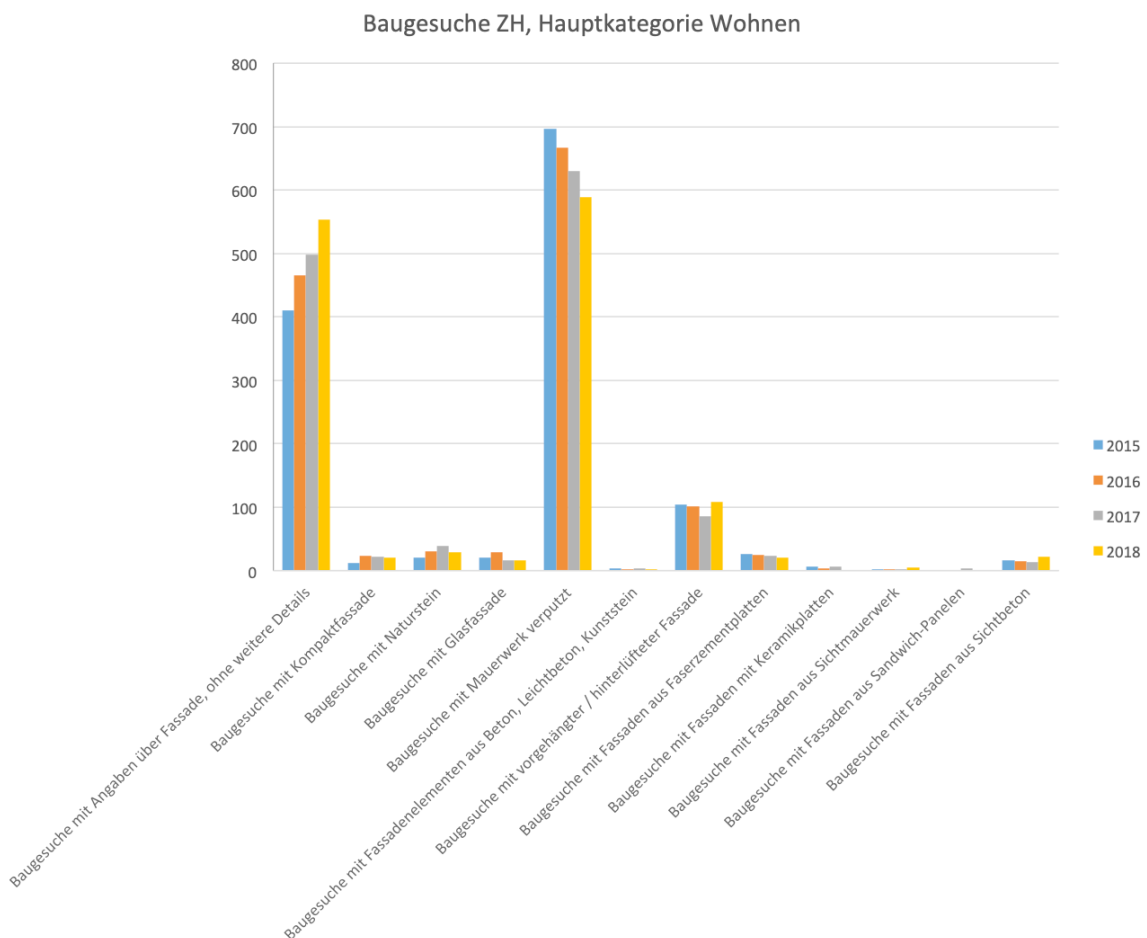


Abbildung 6: Baugesuche ZH, Hauptkategorie Wohnen (Infomanager. Docu Media Schweiz GmbH, 2018)

2.2.1 Hinterlüftete Fassade mit Faserzement-Plattenverkleidung

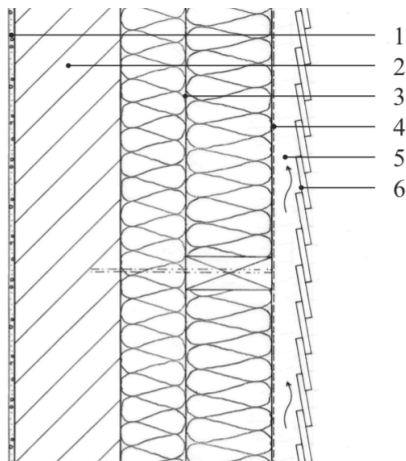


Abbildung 7: Wandaufbau Hinterlüftete Fassade (Flumroc AG, Bauteil-Daten)

Der Wandaufbau, wie in vorheriger Abbildung 7 dargestellt, mit einer Hinterlüftung besteht aus vier Schichten; Tragwerk, Wärmedämmung, Hinterlüftungsraum und Bekleidung. Der tragende Backstein (2) wird innenseitig verputzt (1). Die Holzunterkonstruktion wird am Backstein angebracht, die erste Lattung ist vertikal, die zweite Lattung wird horizontal angebracht. Die Zwischenräume werden ausgedämmt mit Steinwolle (3+4). Es wird eine Hinterlüftungsebene (5) eingefügt. Die schützende äussere Schicht sind Faserzementplatten (6). Durch die Trennung von Bekleidung und Dämmung mit einer Hinterlüftung wird der Feuchtehaushalt in der Wand reguliert. Bei starker Sonneneinstrahlung wird die Fassadenkonstruktion nicht übermässig erhitzt, da die Hinterlüftung eine ständige Luftzirkulation generiert (Flumroc AG, 2017). Für den Abstand zwischen der äusseren Schicht und der Wärmedämmung empfiehlt der Schweizerische Fachverband für hinterlüftete Fassaden 2cm bis 4 cm. In Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die Bemessung des Belüftungsraumes mit der Gebäudehöhe zusammenhängt.

Gebäudehöhe	Minimale Bautiefe des Belüftungsraumes (freier Querschnitt)
Bis 6 m	2 cm
6 m bis 22 m	3 cm
Über 22 m	4 cm

Tabelle 1: Bemessung des Belüftungsraumes (Flumroc AG, 2017, S. 9)

Die Befestigung der Wetterschutzschicht und der äusseren Dämmschicht an der Tragschale erfolgen durch Einzelanker oder einem Holzrost oder Metallprofilrost (Deola & Osterwalder, 2010, S. 18). Die Konstruktion ist geschraubt oder verdübelt.

Die Steinwolle wird produziert aus dem natürlichen Rohstoff Stein. Flumroc (Flumroc AG) weist darauf hin, dass der Stein grösstenteils aus der Region kommt und die Dämmplatten hauptsächlich in der Schweiz verwendet werden. Die Transportwege für den Rohstoff als auch für die Auslieferung sind dementsprechend kurz. Des Weiteren heizt die Abwärme der Produktion über das Fernwärmenetz zahlreiche Gebäude in der Gemeinde Flums (S. 6).

2.2.2 Kompaktfassade mit EPS

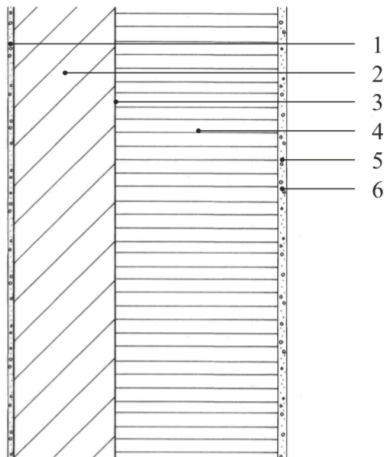


Abbildung 8: Wandaufbau Kompaktfassade (Fixit, 2015, S. 5)

Der Aufbau einer Kompaktfassade, wie in Abbildung 8 ersichtlich, besteht aus Backstein und Polystyrol expandiert (EPS). Der Backstein (2) wird innenseitig verputzt (1). Die geklebte EPS-Dämmung (4) wird mit Klebemörtel (3) am Backstein angebracht. Auf die Dämmung wird ein Einbettmörtel aufgetragen, darin wird ein feinmaschiges Armierungsgittergewebe (5) eingebettet. Als nächste Schicht folgt die Grundierung. Als weitere Schicht folgt der Deckputz (6) und zum Schluss wird die Farbe aufgemalt (Fixit, 2015, S. 5).

Die Verklebung mit dem Untergrund erfolgt durch Klebemörtel und ist im Rand-/Streifenverfahren auszuführen. Bei glatten oder schlecht saugenden Untergründen sowie Sanierungen des Wärmeverbundsystems wird eine Verdübelung empfohlen (Fixit, 2015, S. 17-23).

2.2.3 Holzständerkonstruktion mit Holzverkleidung

Diese Unterkapitel beruht auf dem Kapitel „Der Holzrahmenbau. Konstruktionsprinzip“ (Deplazes, 2008, S. 100-103). Die Konstruktion des Rahmenbaus besteht aus Holzprofilen desselben Querschnitts und wird aus Ober- und Untergurt und Stützen gebildet. Die Aussteifung erfolgt durch die innere, flächige Verschalung. Die ganze

Konstruktion wird geschraubt. Die Standardabmessung der Hölzer im Querschnitt ist von 60/120 mm bis 60/200 mm. Die kleinen Dimensionen erzeugen einen geringen Ausschuss an Restholz. In Abbildung 9 ist der Wandaufbau dargestellt.

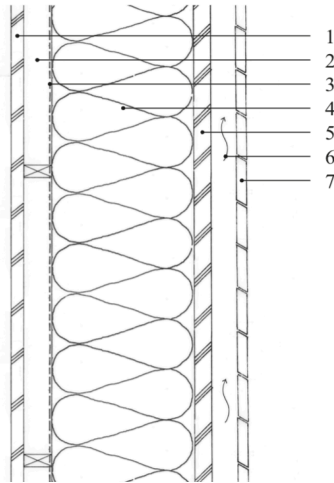


Abbildung 9: Wandaufbau Holzbauponstruktion (Deplazes, 2008, S. 103)

Die innere Beplankung (1) ist eine Holzverkleidung aus Massivholzbohlen, 12 mm breit. Die Installationsebene (2) hat einen Lattenrost. Zur Innenseite der Dämmung ist eine Dampfbremse (3) aus Polyethylen angebracht. Der Holzrahmen (4) hat einen Ober- und Untergurt sowie Kernstäbe dazwischen. Die Holzrahmen geben der Konstruktion Stabilität. Die Kernstäbe werden im 60 cm Abstand verbaut. Die Leerräume werden mit Steinwolle ausgefüllt. Auf der Aussenseite der Dämmung folgt eine Holzfaserverleibung (5). Zwischen Holzrahmen und Aussenverkleidung wird ein vertikaler Lattenrost montiert und es entsteht ein Luftzwischenraum (6). Zum Schluss wird eine Schalung (7) aus unbehandeltem Holz angeschraubt.

Die Holzrahmenelemente werden individuell für ein spezifisches Projekt geplant und hergestellt. Auf der Baustelle werden die fertigen Wandelemente vernagelt oder verschraubt. Die äussere Verkleidung schützt die Konstruktion vor Witterungseinflüssen.

2.2.4 Zweischalenmauerwerk

Dieses Unterkapitel basiert auf dem Kapitel „Zweischalenmauerwerk verputzt“ (Swissbrick, 2012, S. 4-8). Die drei Funktionen Tragen, Dämmen und Schützen sind klar getrennt. Jede Ebene kann seiner Funktionen entsprechend geplant und ausgeführt werden.

Ein Zweischalenmauerwerk besteht aus einer inneren tragenden Backsteinebene, einer äusseren Backsteinebene als Schutzschicht und dazwischen ist die Wärmedämmung. Die Aussen- und Innenseite der Wand wird mit einem Innen- resp. Aussenputz verputzt. In der Abbildung 10 ist der Aufbau schematisch dargestellt.

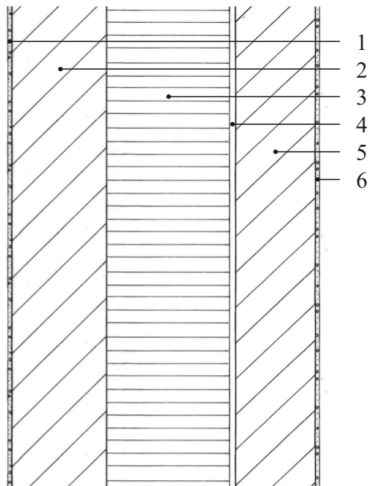


Abbildung 10: Wandaufbau Zweischalenmauerwerk (Swissbrick, 2012, S. 5)

Die Innenschale (2) übernimmt die Tragfunktion. Für die Dämmung (3) werden standfeste Platten verwendet. Die Steinwolle oder Glaswolle wird an der inneren Schale aufgezogen und befestigt. Der Toleranzraum (4) von 1-2 cm zwischen äusseren Schale und Dämmschicht gleicht Massdifferenzen aus. Die äussere Backsteinschale (5) wird mit beweglichen Ankern an der inneren, tragenden Backsteinwand befestigt. Die Hauptfunktion der äusseren Schale ist vor Witterungseinflüssen zu schützen.

2.2.5 Einsteinmauerwerk

Dieses Unterkapitel basiert auf dem Kapitel „Wärmedämmendes Einsteinmauerwerk“ (Swissbrick, 2012, S. 39-42). Alle Funktionen werden durch dieselbe Wandschale übernommen. Installationen sollen nicht im Einsteinmauerwerk platziert werden um die Wärmedämmung im ganzen Querschnitt zu erhalten.

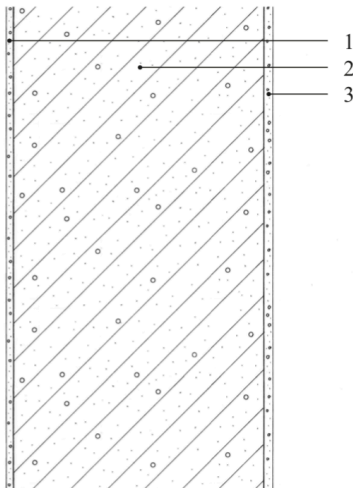


Abbildung 11: Wandaufbau Einsteinmauerwerk (Swissbrick, 2012, S. 39)

In Abbildung 11 ist der Wandaufbau mit einem wärmedämmenden Grossblockstein (2) ausgeführt. Innenseitig wird der Grossblockstein verputzt (1). Auf der Aussenseite wird der Aufbau mit einem Leichtgrundputz (3) verputzt, dadurch ist es möglich einen U-Wert von $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$ zu erreichen. Die Ausführungsregeln für den Aussenputzaufbau sind ein Leichtgrundputz von mindestens 20 mm Stärke, nass in nass aufgetragen und einem mineralischen Deckputz von 3 mm Dicke.

2.3 Ökonomische Aspekte

2.3.1 Erstellungskosten

Per Definition von CRB (Curschellas, 2012) bedeuten die Erstellungskosten: „Summe der Kosten für die Planung und Realisierung eines Bauwerks und dessen Umgebung. Das Grundstück, die Reserven, die Teuerung und die Mehrwertsteuer sind ausgenommen.“

Zur Ermittlung von Kostenkennwerten gibt es zwei unterschiedliche Ansätze. Kostenrichtwerte können theoretisch beziehungsweise synthetisch auf Grundlage der Bauteile hergeleitet werden oder mit dem analytischen Verfahren. Die analytischen Werte werden mit bereits realisierten Objekten ermittelt. Nach Stoy (2013) bieten die Daten der büroeigenen Objekte die beste Grundlage. Abbildung 12 zeigt die beiden Verfahren auf.

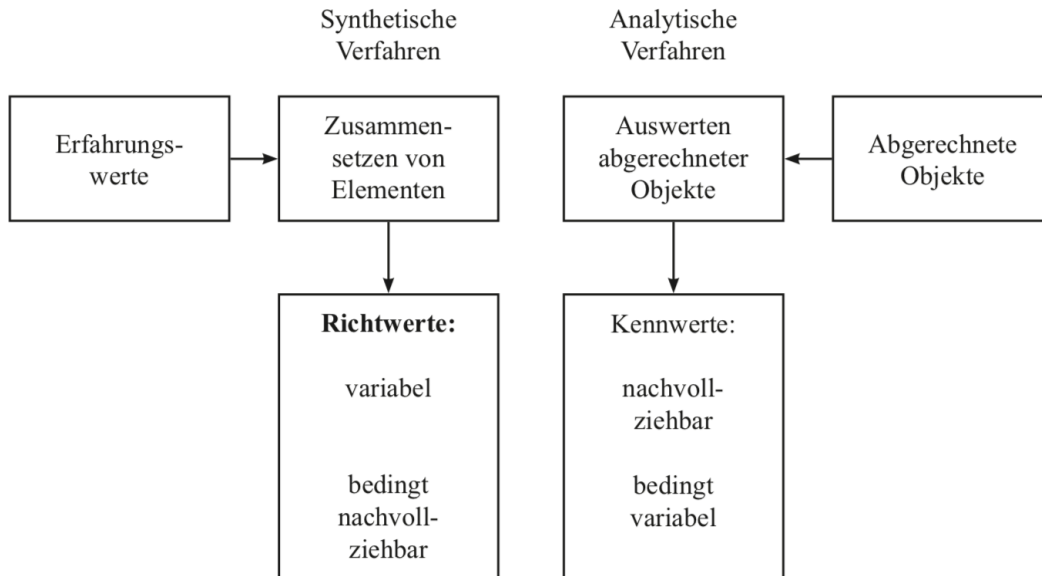


Abbildung 12: Verfahren der Kostenkennwert- bzw. Kostenrichtwertbildung (Stoy, 2013, S. 13)

Um Kostenkennwert zu prüfen, können Formquotienten und Verhältniswerte mit ähnlichen Objekten verglichen werden. Es kann auch „[...] auf Erfahrungswerte oder aber auf Werte anderer Datensammlung zurückgegriffen werden, [...]“ (Stoy, 2013, S. 15). Die Kostenermittlung wird mit büroeigenen Objekten überprüft.

Die Kostenplanung ist ein Prozess aus Kostenermittlung, Kostenkontrolle und Kostensteuerung, wie in Abbildung 13 dargestellt.

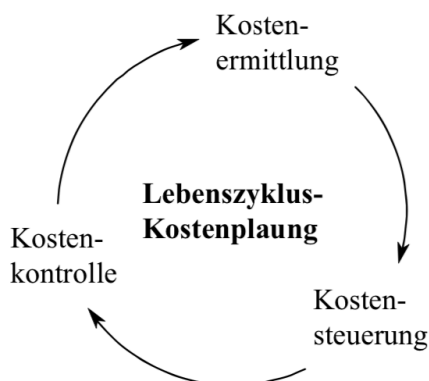


Abbildung 13: Regelkreis der Kostenplanung (Ercolani et al., 2012, S. 15)

Dieser Prozess ist ein regelmässig wiederkehrender Arbeitsschritt, daher auch der Name Regelkreis der Kostenplanung. Die Kostenermittlung wird mit der Projektentwicklung vorangetrieben. Die Kostenrisiken sind einberechnet. Im Arbeitsschritt der Kostenkontrolle werden die Kostenwerte verglichen und analysiert. Die

Kostensteuerung kann Optimierungen beinhalten und es können Lösungsmöglichkeiten ermittelt werden.

2.3.2 Unterhalt

Nach SIA 469 (Grob, 1997) bedeutet der Begriff Unterhalt: „Bewahren oder Wiederherstellen eines Bauwerks ohne wesentliche Änderung der Anforderungen“ (S. 6).

Die SIA 469 (Grob, 1997) zeigt, dass Unterhalt unter anderem die Instandhaltung, Instandsetzung und Erneuerung beinhaltet. „Die Instandhaltung dient der Bewahrung der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks [...]. Die Instandhaltung schliesst die Behebung kleiner Schäden ein.“ Unter dem Begriff wird auch funktioneller, betrieblicher Unterhalt, sowie Wartung (Instandhaltung von technischen Anlagen) verstanden. Instandsetzung stellt die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit für eine festgelegte Dauer wieder her. „Die Erneuerung hat zum Ziel, das Bauwerk zumindest in Teilen in einen dem ursprünglichen Neubau vergleichbaren Zustand zu versetzen“ (S. 14-15).

Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt den Umfang der Lebenszykluskosten nach ISO 15 686-5 auf. Die Unterhaltskosten bilden mit den Überwachungskosten einen der vier Aspekte der Lebenszykluskosten.

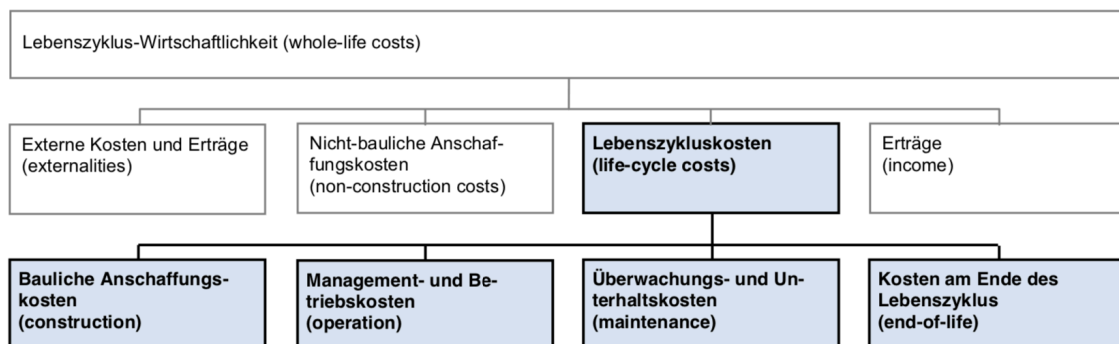


Abbildung 14: Umfang der Lebenszykluskosten (life-cycle costs LCC) nach ISO 15 686-5 (Ercolani et al., 2012, S. 10)

Zwar sind die Definitionen der Lebenszykluskosten aus Abbildung 14 ähnlich wie in der Schweiz in Abbildung 15, dennoch sind nach CRB (Ercolani et al., 2012) einige schweizerische Besonderheiten zu berücksichtigen. „[...] Darüber hinaus ist hervorzuheben, dass in der Schweiz die Managementkosten für den Betrieb, die Überwachung und den Unterhalt nicht gebräuchlich sind.“ Die Überwachungs- und Instandhaltungskosten werden dem Betrieb zugeordnet (S.10).

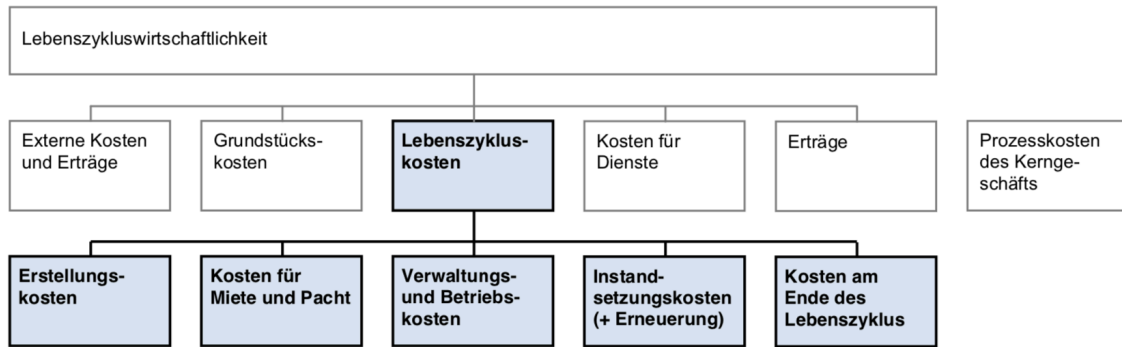


Abbildung 15: Umfang der Lebenszykluskosten aus schweizerischer Sicht (Ercolani et al., 2012, S. 10)

Dementsprechend sind die Unterhaltskosten in den Betriebskosten unter Überwachungs- und Instandhaltungskosten zugeordnet. CRB (Ercolani et al., 2012, S. 13) definiert Überwachungs- und Instandhaltungskosten „Kosten, [...] die für das Bewahren der Gebrauchstauglichkeit durch einfache und regelmässige Massnahmen entstehen.“

Hasler (2016) weist darauf hin, dass „[...] in vielen Leitfäden keine Angaben über konkrete Zeiträume bzw. Intervalle von Wartung bzw. Reinigungsmassnahmen beschrieben“ werden. Empfohlen wird eine regelmässige Kontrolle und spätestens nach zwei Jahren eine Erstinspektion durchgeführt werden soll (S. 48)

2.3.3 Lebensdauer

Die Lebensdauer von Bauteilen wird in Nutzungsdauer und technische Lebensdauer geteilt. Nach CRB (Ercolani et al., 2012) sind die Begriffe wie folgt definiert: „Die Nutzungsdauer (wirtschaftliche Lebensdauer) ist die effektive Periode zwischen der Inbetriebnahme und dem Ersatz der baulichen Anlage beziehungsweise eines Bauteils. Diese Definition unterscheidet sich damit von der technischen Lebensdauer (zu erwartende Periode zwischen Inbetriebnahme eines Bauteils und dessen Ersatz), die aus technischer Perspektive auf das Bauteil schaut und folglich mehrheitlich länger als die effektive Nutzungsdauer ist“ (S. 22)

Das bedeutet, dass die Nutzungsdauer identisch mit der technische Lebensdauer sein kann, wenn kein Ersatz eines Bauteils zu erwarten ist. Der Bedarf nach einem neuen Bauteil kann durch neue Bedürfnisse oder technisch besseren Ausführungen erwartet werden. Nach CRB (Ercolani et al., 2012) wird in der Realität die technische Lebensdauer nicht ausgeschöpft und entspricht somit nicht der Nutzungsdauer (S. 22).

Gemäss der Lebensdauertabelle vom Hauseigentümerverband Schweiz und Mieterinnen- und Mieterverband Deutschschweiz (2016) haben Bauteile folgende Lebensdauer:

Kompaktfassade	Jahre
Polystyrol (EPS, XPS)	25
Mineralwollämmplatten	30
Kunststoffvergütete Fassadenputze, auf Mauerwerk	25
Mineralische Fassadenputze, auf Mauerwerk	40
Hinterlüftete Fassadenverkleidung	Jahre
Holzverkleidung	30
Platten	30
Faserzementverkleidung	40
Fassadenanstriche	Jahre
Silikatanstrich auf Fassadenputz (rein mineralisch)	25
Dispersionsfarbe, aussen, Beschichtung für mineralische Untergründe	20

Tabelle 2: Paritätische Lebensdauertabelle (Hauseigentümerverband Schweiz & Mieterinnen- und Mieterverband Deutschschweiz, 2016)

Gemäss einer Übersicht von Credit Suisse (2017) ist die durchschnittliche Lebensdauer von Bauteilen:

Bauteil aussen	Durchschnittliche Lebensdauer (Jahre)
Fassade verputzt oder Fassade gestrichen	30 – 35 20 - 25
Fassade mit Eternitschindeln	40
Fassade mit Holz, naturbelassen	25 - 30

Tabelle 3: Die durchschnittliche Lebensdauer von Bauteilen (Credit Suisse AG, 2017)

Dazu sind Tipps zur Pflege und vorbeugenden Instandhaltung aufgelistet. Für verputzte oder gestrichene Fassaden sind keine präventiven Massnahmen erwähnt. Die Pflege und der Aufwand bei Fassaden mit Eternitschindeln sind individuell und abhängig von Material und Witterungsbedingungen. Die morschen Bretter bei einer Fassade mit Holz müssen regelmässig ausgetauscht werden (Credit Suisse AG, 2017).

Die SIA 480 (Lenzlinger, Jenkinson, & Stoy, 2016) führt die Nutzungsdauer sehr allgemein auf und verweist auf das LCC Handbuch.

Die Lebensdauer von Holzhäusern ist aus den oben aufgeführten Tabellen nicht ersichtlich. Holzhäuser sind in der Schweiz nicht so beliebt wie in skandinavischen Ländern oder nordamerikanischen Staaten, wo ihr Anteil etwa 90% beträgt. Das ein Holzbau eine gleiche Lebensdauer wie ein massiv gebautes Haus haben kann ist schwer vorstellbar (Schulze, 2005, S. 509).

Schulze (2005) zeigt auf, dass diese Vermutung falsch ist. Viele Fachwerkhäuser in Deutschland sind in einwandfreien Zustand, sowie die Millionen Holzhäuser in den USA. „Für die Lebensdauer eines Holzhauses ist entscheiden, ob, in welcher Grösse, in welcher Häufigkeit und wie lange eine Feuchtebeanspruchung der Konstruktion auftritt und wie sie damit fertig wird.“ Während der Bauphase muss gewährleistet sein, dass keine übermässige Feuchtigkeit in die Konstruktion eindringen kann. Die Montagezeit auf der Baustelle ist im Gegensatz zur Massivbauweise sehr kurz, die vorgefertigten Teile können schnell verarbeitet werden (S. 509-510).

2.3.4 Rückbau

Heute werden rund 50 Millionen Tonnen mineralische Baustoffe in der Schweiz verbaut. Gleichzeitig fallen 10 Millionen Tonnen mineralische Bauabfälle an. Etwa 80% davon kann wiederverwertet und als Sekundärbaustoffe eingesetzt werden. Wenn mehr Bauherren, Architekten und Bauingenieure Recyclingprodukte, wie Konstruktions- und Magerbeton verwenden würden, könnte das steigende Bauabfallvolumen wiederverwertet werden. Die Umweltbelastung ist gross, da ein grosser Anteil Rohstoffe aus dem Ausland importiert wird. Die Baustoffe, wie Sand und Kies, stammen zu 80% aus dem Inland. Wobei in einigen Regionen die nicht erneuerbaren Materialien knapp werden. Um Recyclingprodukte herzustellen ist es entscheiden, dass eine hohe Qualität beim Rückbau erreicht werden kann. Dabei spielt die Transportdistanz eine wichtige Rolle. Gugerli (Ganz et al., 2015) verweist auf ein bewährtes Vorgehen mit Materialbewirtschaftung in der Projektierung und einem Controlling in der Ausführung. Es können heute über 90 Massen-% bei Rückbauten wiederverwertet werden (S.101).

Humm (2014) zeigt auf, dass einige tausend Tonnen Recycling-Beton jedes Jahr aus Rückbau-Materialien hergestellt werden. Der grösste Teil des Abbruchs landet auf Deponien und wird dort eingelagert. Ein ökonomischer Anreiz fehlt, um den Kreislauf zu überbrücken.

Rund 90% eines Gebäudes ist wiederverwertbar. Dafür muss der Abbruch mit Sorgfalt umgesetzt und die Materialien separat sortiert werden. Metall wird zu 100% wiederverwertet. Es ist viel Handarbeit auf der Baustelle notwendig, um die Materialien sorgfältig zu trennen. Nur sauber getrennte Wertstoffe können weiterverwendet werden. Dazu hat sich der Begriff Urban Mining etabliert. Er weist auf die grossen Rohstoffminen in den Gebäuden hin. Bei einem Abbruch muss ein Entsorgungskonzept vorgelegt werden. In diesem müssen mögliche Schadstoffe aufgezeigt werden und welche Materialien verwertbar sind (Hotz, 2018).

Der Kanton Zürich geht mit gutem Beispiel voran und verbaut in der Zürcher Kleintierklinik Recycling-Beton. Das Gebäude besteht aus drei Vierteln aus RC-Beton. (Hotz, 2011).

In der Schweiz wurde ein erster Roboter für Baustoffrecycling aufgestellt. Auf einem Förderband wird der Mischabbruch transportiert und zwei Greifarme des Roboters sortieren je vier verschiedene Materialien aus. Es werden hauptsächlich Plastik, Holz, Ziegelsteine und Metallteile entfernt. Der Roboter kann bis zu 1800 Teile pro Stunde machen und arbeitet 24 Stunden durch. Diese Effizienzsteigerung kann Recycling in finanzieller Hinsicht interessanter machen, da kein teures und aufwändiges manuelles Sortieren notwendig ist. Durch künstliche Intelligenz ist der Roboter lernfähig und sortiert immer besser und genauer. Der Recyclinganteil bei verwendeten Baustoffen liegt erst bei rund 15%, es gibt dementsprechend noch Potenzial. Um dieses Potenzial ganz auszuschöpfen muss die öffentliche Hand mit gutem Beispiel voran gehen und Bauherren sollten mit Gesetzten verpflichtet werden (Wüthrich, 2019).

Für den Aufwand des Rückbaus ist ein entscheidender Faktor, wie die einzelnen Teile miteinander verbunden sind. Die Verbindungstechnik entscheidet, ob die Materialien wiederverwendet werden können oder als Sondermüll auf Deponien landen. Viele Materialien werden chemisch verklebt, mit PU-Schaum gefüllt oder mit Silikon abgedichtet. Diese Verbindungen sind schwer zu separieren. Um gute Verbindungen zu bekommen und trotzdem einen optimalen Rückbau zu generieren, müssen neue Lösungen für Verbindungen gefunden werden. Die EMPA hat mit dem Nest eine Möglichkeit entwickelt die Lücke zwischen Labor und Markt zu schliessen. Denn Innovationen finden nur schwer den Weg in die Praxis, wenn eingeschliffene Abläufe und Aufbauten gut funktionieren (Willinger, 2018).

Schröder (2017) schreibt von einem Klinker, der zu 100% aus Abfall und Bauschutt besteht. Die niederländische Firma Stonecycling® hat diesen Backstein entwickelt. Er besteht aus zermahlten Betonresten, Altglas, Kacheln und Schotter und wird gebrannt. Ein erstes Wohnhaus haben sie in Rotterdam erstellt, die Fassade wurde mit 15 Tonnen Klinker aus Abfall gebaut. Den Recyclingbeton kennt man in der Schweiz und Europa seit Ende der 1990er Jahren. Er besteht zu 25% aus mineralischen Abfällen. In der Zwischenzeit wäre es möglich die gesamte Gesteinskörnung durch Abbruch zu ersetzen.

Ein hohes Mass an Recyclingfähigkeit wird sichergestellt, indem folgende Kriterien beachtet werden: Homogenität, Trennbarkeit und Schadstofffreiheit. „Je weniger unterschiedliche Materialien in einem Gebäude verwendet werden, desto weniger unterschiedliche Entsorgungswege müssen in der Regel berücksichtigt werden.“ Die Trennbarkeit ist durch leicht trennbare Materialverbindungen sichergestellt und dementsprechend ist die Möglichkeit, dass das Material wiederverwendet wird höher. Materialien ohne Schadstoffe können einfacher wieder in den Materialkreislauf eingebracht werden und sind hochwertiger als Materialien mit Schadstoffen (Baunetz_Wissen, ohne Datum).

2.4 Ökologische Aspekte

2.4.1 Primärenergie

Die SIA 380 (2015) beschreibt den Begriff Primärenergie als „Form der Rohenergie, die noch keiner Umsetzung oder Umwandlung und keinem Transport unterworfen worden ist. Beispiele sind: Rohöl, Erdgas, Uran oder Kohle in der Erde, Holz im Stand, Solarstrahlung, potenzielle Energie des Wassers, kinetische Energie des Windes. Man unterscheidet erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie.“ Dementsprechend ist die Primärenergie die Summe aus erneuerbarer Energie und nicht erneuerbare Energie (S. 15).

Erneuerbare Primärenergie ist „Energie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung nicht erschöpft wird, zum Beispiel die (thermische und photovoltaische) Sonnenenergie, Windenergie, Umgebungswärme, hydraulische Energie und Biomasse aus nachhaltiger Land- und Forstwirtschaft“ (SIA 380, 2015, S. 15).

„Die erneuerbare Primärenergie quantifiziert den kumulierten Energieaufwand der erneuerbaren Energieträger. Die erneuerbaren Energieträger umfassen Wasserkraft,

Holz / Biomasse (ohne Kahlschlag von Primärwäldern), Sonnen-, Wind-, geothermische Energie und Umgebungswärme“ (KBOB, Eco-bau, & IPB, 2016).

Die nicht erneuerbare Energie beschreibt der SIA 380 (2015) wie folgt: „Energie, die aus einer Quelle gewonnen wird, die durch Nutzung erschöpft wird (zum Beispiel Uran, Rohöl, Kohle, Holz aus Kahlschlag von Primärwäldern“ (S.15)

„Die Primärenergiebetrachtung umfasst die Menge an nicht erneuerbarer Rohenergie, die für die Erstellung (graue Energie), den Betrieb (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Licht und Apparate) und die durch das Gebäude induzierte Mobilität benötigt wird“ (Gebhard, Huber, Kühne, Messner, & Stoy, 2011, S. 82). Um die Menge nicht erneuerbarer Primärenergie zu reduzieren, kann mit Gewährleistung von einem hohen Tageslichtanteil das Kunstlicht reduziert werden.

Der Begriff Graue Energie wird beschrieben als „Gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle vorgelagerten Prozesse, vom Rohstoffabbau, über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse und für die Entsorgung, inklusiv der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel, erforderlich ist. Sie wird auch als kumulierter, nicht erneuerbarer Energieaufwand bezeichnet“ (SIA Merkblatt 2032, Korrigenda, 2010, S. 2).

Zusammengefasst nach Huber (Ganz et al., 2015) sind folgende drei Einflussgrößen für graue Energie massgebend: Die Art und Weise der Rohstoffgewinnung, vielfältige und energieintensive Verarbeitungsprozesse und Recyclingmaterialien können primäre Stoffe ersetzen. Die Rohstoffgewinnung kann sehr energieintensiv sein, zum Beispiel für Aluminium und Glas oder sehr wenig Energie benötigen wie für lokales Bauholz. Energieintensive Verarbeitungsprozesse erhöhen den Anteil grauer Energie. Stark veredelten Holzprodukte haben im Gegensatz zu sägerohem Holz einen höheren Anteil grauen Energie (S. 127).

Humm (2009) schreibt, dass durch eine kompakte Bauweise viel graue Energie gespart werden kann. „Komplizierte Fassaden und Dächer mit Erker und Aufbauten bedingen einen höheren Material- und Konstruktionsaufwand.“

Nach Kasser (2004) wurde in bisherigen Untersuchungen darauf hingewiesen: „[...] dass die Graue Energie ganz wesentlich durch Form und Grösse eines Gebäudes bestimmt wird. [...] Weil bei allen Gebäuden ein grosser Teil der Grauen Energie in der Gebäudehülle und in den Untergeschossen enthalten ist, sind Gebäudegrösse und Form

die entscheidenden Faktoren. Dach, Aussenwände und Untergeschoss machen bei allen Gebäuden deutlich mehr als die Hälfte der Grauen Energie aus“ (S. 8)

In der Konstruktionswahl gibt es Potenzial um die graue Energie zu reduzieren. Zum Beispiel durch den Wechsel von einer Kompaktfassade zu einer hinterlüfteten Konstruktion mit Holz (Ganz et al., 2015, S. 131).

Das Konstruktionsprinzip der Aussenwände hat einen Einfluss auf die Graue Energie. „Eine Massivbauweise erfordert zwischen 1.5 bis 2 t Baustoffe pro m² Energiebezugsfläche, während eine Leichtbauweise in Holz in der Regel weniger als 1 t/m² aufweist. Bei einem mittelgrossen Gebäude kann man davon ausgehen, dass sich die Graue Energie bei einer Leichtbauweise in Holz gegenüber einem Massivbau um etwa einen Drittel reduzieren lässt“ (Kasser, 2004, S. 9).

Kasser (2004) hebt hervor, dass die Lebensdauer resp. Nutzungsdauer eine sehr wichtige Einflussgrösse ist und empfiehlt die Beurteilung dem Planer und Architekten als Fachpersonen zu überlassen (S. 4).

Für die Bilanz von Grauer Energie sind Aussenwandkonstruktionen mit einer Tragstruktur aus Holz positiv zu bewerten. Auch sind Materialien zu bevorzugen, die eine lange technische Lebensdauer aufweisen, wie zum Beispiel Holzverkleidungen. „Verglasungen [...] erhöhen den Anteil der grauen Energie bei äusseren Wandbekleidungen“ (Gebhard et al., 2011, S. 84).

2.4.2 Treibhausgasemissionen

Relevante Emissionen sind nach SIA 380 (2015) „Treibhausgase, die als Folge des Primärenergiebedarfs bzw. –verbrauchs in die Atmosphäre emittiert werden, (inkl. der vorgelagerten Prozesse)“ (S. 16).

Wie Huber im Kapitel 7 (Ganz et al., 2015) beschreibt sind Treibhausgasemissionen die Summe verschiedener Treibhausgase (CO₂, Methan, Stickoxid und weitere klimawirksame Gase) bezogen auf die Leitsubstanz CO₂. Es ist ein: „Kennwert für die Klimaerwärmung, nicht gleichzusetzen mit dem standortgebundenen CO₂-Ausstoss“ (S. 128).

2.4.3 Toxische Stoffe

In Polystyrol-basierten Dämmungen (EPS und XPS) wurde über Jahrzehnte das Flammschutzmittel HBCD eingesetzt, um die hohen Flammschutzanforderungen zu erfüllen. Seit 2016 ist das HBCD-Verbot in Kraft getreten. In Dämmstoffen, welche

noch HBCD enthalten, muss das HBCD ausgeschleust werden. Auf konventionelle Weise geht das nur mit einer thermischen Behandlung. Dazu braucht die Verbrennungsanlage eine Genehmigung für die Behandlung gefährlicher Abfälle. Eine Möglichkeit um die Dämmstoffe zu recyceln ist in einem „CreaSolv“-Verfahren. Dabei werden die Polystyrole mit einem Lösemittel verflüssigt, dadurch lassen sich Additive, wie Flammschutzmittel vom Polystyrol trennen. Das Polystyrol kann wieder der Produktion von Wärmeverbundsystemen zugeführt werden. Die styrolbasierten Dämmstoffe, die bis 2015 eingebaut wurden, betrifft das Ausschleusen von HBCD. Diese müssen von neuen Wärmedämmverbänden zu unterscheiden sein (Müller, Lehmann, Kosmol, Kessler, & Bolland, 2017, S. 55).

Weitere Schadstoffe sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

Schadstoffe	Vorkommen
Formaldehyd	Spanplatten, Möbel, Fenster, Lacke, Tapeten und Kleber
Pentachlorphenol (PCP), Lindan	Holzschutzmittel, Fugen-, Spachtel- und Vergussmassen, Anstrichstoffe und Reiniger
Asbest	Brand-, Wärme-, Hitze-, Schall- und Feuchtigkeitsschutz (hauptsächlich in Gebäuden von 1950 – 1980)
Künstliche Mineralfasern (KMF)	Wärmedämmung, Trittschall an Böden, Schallschlucker an Wänden, Füllung in Putzen, Türen, Heiz- und Installationsleitungen, Leichtbauwände
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	Dauerelastische Fugenmassen, Kabelummantelungen, Vergusspachtelmassen, Lacke, Farben, Kühl-Isolierflüssigkeit in Transformatoren, Kondensatoren, Leuchtstofflampen
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Steinkohlenteer, Pech- und Teeröl, Fussbodenplatten und Kleber, Dichtungen, Dachbahnen, Verguss- und Spachtelmasse, Lacke
Schwermetalle Zink, Blei, Nickel, Cadmium, Kupfer u.a.	Ablagerungen in industriellen Betrieben, im Boden sowie Austrag ins Grundwasser

Tabelle 4: Schadstoffe in Baustoffen (Müller et al., 2017, S. 57)

Hellweg (Flumroc AG, 2018) beschreibt, dass es wichtig ist Dämmungen einzusetzen, die ohne Schadstoffe auskommen. Zudem sollen die Produkte nach dem Gebrauch recycelt und wiederverwendet werden können. Auch weist Hellweg darauf hin, dass die „[...] Rücklaufquote von Dämmprodukten aller Art derzeit bei unter 10% liegt.“ Hellweg argumentiert, dass die Gründe der erhöhte logistische Aufwand und die mangelnde wirtschaftliche Attraktivität sind. Um den Rückbau zu vereinfachen erklärt

Hellweg, dass die Materialien verdübelt statt verklebt werden sollen, dadurch kann beim Rückbau einfacher getrennt werden (S. 9).

Formaldehyd, in der Tabelle 4 als erstes aufgeführt, wird oft in Spanplatten verwendet. Eine Hartfaserplatte hat eine doppelte Treibhausgasemissionen Belastung wie ein Spanplatte und braucht 1/3 mehr graue Energie als eine Spanplatte. Dies ist zurückzuführen auf die höhere Menge an Formaldehyd in Hartfaserplatten als in Spanplatten (KBOB et al., 2016).

Biozide Wirkstoffe sind in Fassadenfarben, -putzen und Holzschutzmitteln enthalten. Sie werden eingesetzt bei Kompaktfassaden, da diese sonst von Mikroorganismen bewachsen werden. Schadorganismen sind Pilze oder Algen, diese sind in der Regel an der Oberfläche. Biozide Wirkstoffe sind wasserlöslich, werden durch den Regen ausgewaschen und gelangen so ins Grundwasser. In der Zwischenzeit werden verkapselte Biozide für Fassadenfarben verwendet, dadurch soll die Auswaschung verlangsamt werden. Es gibt Möglichkeiten den Befall von Pilzen und Algen ohne biozide Wirkstoffe zu reduzieren (Kantonale Fachstelle für Chemikalien, 2017, S. 1).

In nachfolgender Tabelle 5 sind die wichtigsten Anwendungen und Wirkungen von bioziden Wirkstoffen in Produkten aufgezeigt.

Produktart	Wirkung	Anwendung
Desinfektionsmittel	Bekämpfung von Pilzen oder Algen an befallenen Mauerwerk oder Verputz.	Auftrag an Fassade.
Schutzmittel für Baumaterialien	Vorbeugender Schutz von Mauerwerk oder Putzen.	Auftragung an Fassade.
Holzschutzmittel	Vorbeugender Schutz von Holz gegen Befall von Pilzen, Bakterien und Insekten.	Auftragung auf Holz.
Beschichtungsmittel	Schutz von Farben oder Putzen nach der Auftragung (Filmschutz).	Zusatz in Farbe und Verputz (Herstellung einer behandelten Ware)
Schutzmittel für Produkte während der Lagerung	Verhindern das Wachstum von Schimmel in wässrigen Farben während der Lagerung und des Transports (Topfkonservierungsmittel)	Zusatz in Farbe und Verputz (Herstellung einer behandelten Ware)

Tabelle 5: Biozide Wirkstoffe in Produkten für Fassaden (Kantonale Fachstelle für Chemikalien, 2017, S.

2.5 Stand der Forschung

In der aktuellen Forschung gibt es Studien zu ökologischen Vergleichen und zur Lebenszyklusbetrachtung. Die Themen werden einzeln in den jeweiligen Arbeiten dargestellt. In der Arbeit „Ökobilanzvergleich Wandaufbauten“ (Alig & Frischknecht, 2017) werden vier Wandaufbauten, perlitgefüllte Porothersm Ziegelsteine, mineralfasergefüllte Porothersm Ziegelsteine, Backstein mit Steinwolle als Aussendämmung sowie Holz-Leichtbau Ständerwände, nach ökologischen Aspekten untersucht.

„Im Wandvergleich wies die perlitgefüllte Protonziegelwand eine höhere Gesamtumweltbelastung, jedoch einen geringeren Primärenergieaufwand und niedrigere Treibhausgasemissionen auf als die Backsteinwand. Am tiefsten lag bei allen untersuchten Umweltwirkungen die Holzriegelwand. [...] Die geringere Umweltbelastung der Holzriegelwand ist vor allem auf die leichtere Bauweise und den damit geringeren Materialaufwand sowie auf den hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen zurückzuführen“ (Alig & Frischknecht, 2017, S. 13).

In der Studie „Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung“ (Hasler, 2016) werden Fassadenkonstruktionen und deren Kosten über den gesamten Lebenszyklus betrachtet und ausgewertet. In der Untersuchung wurden Bestandsfassaden untersucht und die Reinigungs- und Wartungsarbeiten ermittelt. Es wurden total 106 Fassadenkonstruktionen im Bundesland Steiermark nach den Kriterien einer ausgearbeiteten Beurteilungsmatrix untersucht. Die Fassaden wurden drei Konstruktionsprinzipien zugeordnet. Die verschiedenen Fassadenkonstruktionen sind Wärmedämmverbundsysteme, monolithische Fassaden und Holzfassaden. Es wurden Schäden im Sockelbereich festgestellt und mechanische Beschädigungen durch Spechte. Die Veralgung ist am häufigsten aufgetaucht beim Wärmedämmverbundsystem und die Wirksamkeit der Algiziden konnte nicht geprüft werden. Durch Vordächer und Balkone kann der mikrobielle Bewuchs hinaus verzögert werden. Es wird empfohlen die Fassade im Abstand von 5 bis 7 Jahre zu reinigen. Hasler (2016) merkt an: „Wärmedämmverbundsysteme mit Mineralwolle als Dämmstoff sind weniger anfällig für mikrobiellen Bewuchs“ (S. 88) Die unbehandelte Holzfassade braucht keine Wartung. Die Lebenszykluskosten über einen 30-jährigen Betrachtungszeitraum zeigen auf, dass eine hinterlüftete Fassade mit Faserzementplatten in der Herstellung zwar deutlich teurer ist als die Kompaktfassade, über den gesamten Lebenszyklus aber nur 10% höhere Kosten gegenüber der Kompaktfassade mit EPS verursacht. Die

Kompaktfassade mit Mineralwolle hat höhere Herstellungskosten als eine Kompaktfassade mit EPS, ist aber nur 2.5% teurer über den gesamten Lebenszyklus. Hasler (2016) stellt fest: „[...] die vorgehängte hinterlüftete Fassade mit einer Bekleidung aus unbehandelten Lärchenbrettern, da von einer Lebensdauer von 40 Jahren auszugehen ist und eine solche Fassade als wartungsfrei gilt und somit keine Kosten während der Nutzungszeit entstehen“ (S. 89). Die Kompaktfassade mit EPS ist am kostengünstigsten, wenn es ein Vordach gibt, welches den Reinigungszyklus vergrößert und die Lebenszykluskosten dementsprechend senkt.

King & Settembrini (2016) untersuchten 14 Hochhausfassaden auf Lebensdauer und Graue Energie der einzelnen Bauteile. „Der Vergleich zeigt eine starke Korrelation zwischen der Grauen Energie und den Erstellungskosten der Fassade.“ Sie zeigen auf, dass konstruktive Details für eine nachhaltige Gebäudehülle entscheidend sind. „Bei optimaler Ausnutzung der Lebensdauer des jeweiligen Bauteils besteht diese Wechselbeziehung über den gesamten Lebenszyklus der Fassade, eine Diskrepanz aus Bauteil- und Fassadenwert kann hingegen als Indikator zu einer notwendigen Optimierung angesehen werden.“ King & Settembrini (2016) haben eine Methodik entwickelt, die als Entscheidungshilfe in der Planung und in der Projektierung als Kontrollinstrument dient.

Diese Arbeit bringt zwei wichtige Themengebiete Ökonomie und Ökologie von Wohnbauten und deren Teilaspekte zusammen. In einer Nutzwertanalyse werden die ökologischen und ökonomischen Aspekte zusammengeführt und ausgewertet. In der Untersuchung wird auch der Rückbau für die verschiedenen Fassadensysteme berücksichtigt.

3. Empirische Untersuchung

3.1 Nutzwertanalyse / Methode

Dieses Kapitel erklärt das Forschungsdesign und die Datenquellen, beschreibt die Befragung und erläutert die Ergebnisse. Ziel der Untersuchung ist es, mithilfe der resultierenden Ergebnisse eine Entscheidungshilfe für Bauherren und Investoren zu schaffen.

3.1.1 Übersicht Instrument

In dieser Arbeit wird mithilfe der Nutzwertanalyse eine Entscheidungshilfe für Bauherren und Investoren erstellt.

Für eine Nutzwertanalyse werden die Varianten festgelegt, in dieser Arbeit die fünf Fassadensysteme. Als nächstes wird ein Kriterienkatalog erstellt, darin werden die Bewertungskriterien festgehalten. Die Gewichtung der einzelnen Kriterien wird mit einem Prozentsatz hinterlegt, der die Wichtigkeit aufzeigt. Die Summe aller Kriterien beträgt stets 100%. Die Kriterien werden mit Punkten bewertet. Der Bewertungsmaßstab muss genau definiert werden, zum Beispiel 5 Punkte = sehr gut dementsprechend 1 Punkt = mangelhaft. Es werden pro Kriterium und Variante Punkte vergeben. (Windolph, 2015) Für jede Note gibt es eine genaue Beschreibung des Erfüllungsgrades. Die Punkte werden mit der Formel Gewichtung x Bewertung berechnet. Am Ende werden alle Punkte für jede mögliche Variante summiert. Die Variante mit der höchsten Punktzahl ist optimal im Zusammenhang mit den definierten Kriterien (Kapitel 3.1.2).

Meyer (Meyer, 1979) schreibt in einem Artikel über die Erfahrung der Nutzwertanalyse in Wettbewerben und Vorprojekten. „Die Nutzwert – Analyse liefert [...] ein klares Bild der verschiedenen Projektalternativen [...]. Die Ergebnisse eines Projektvergleiches mit Nutzwert – Analyse sind transparent und allgemein verständlich.“ Es zeigt die Stärken und Schwächen aller Projekte auf und ermöglicht einen fairen Vergleich. Der Aufwand für eine Nutzwertanalyse ist im Vergleich zum Nutzen gering (S. 2-3).

Die Nutzwertanalyse wird durch die Bauherrschaft beauftragt und die beauftragten Projektverfasser führen diese aus. Im Vorfeld müssen mit den Beteiligten die Kriterien für die Nutzwertanalyse sorgfältig erarbeitet werden.

Weil in einer Nutzwertanalyse verschiedene Handlungsvarianten und verschiedenen Kriterien mit unterschiedlichen Einheiten auf übersichtliche Weise verglichen werden, kann sie ein sehr hilfreiches Entscheidungsinstrument darstellen.

3.1.2 Erklärung der Kriterien

Die gewählten ökonomischen Kriterien beziehen sich auf die Lebensdauer einer Fassade. Zu Beginn sind die Erstellungskosten das wichtigste Kriterium, während der Nutzung sind der Unterhalt entscheidend und zum Schluss folgen die Rückbaukosten.

Die Erstellungskosten sind die Kosten für die Erstellung und das Umsetzen vor Ort. In den Kosten sind anteilmässig Anschlussdetails eingerechnet.

Der Unterhalt ist die jährliche Aufwendung um die Fassaden zu reinigen und pflegen.

Die Lebensdauer ist ein weiteres Kriterium. Entscheidend ist die Lebensdauer, da sich diese bei Fassaden sehr unterschiedlich darstellt. Es gibt Fassadenkonstruktionen, die doppelt so lang halten, wie andere Systeme.

Neben den Rückbaukosten ist die Rückbauqualität ein wichtiger Faktor. Die Rückbauqualität kann in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden, da keine Aussagen gemacht werden kann, ob es besser ist RC-Beton herzustellen, die Konstruktion zu verbrennen oder in der Deponie zu lagern. Es wird in Anlehnung an das DGNB Systeme die rückbaufreundliche Baukonstruktion bewertet. Die Konstruktionen sollen leicht demontierbar ausgeführt werden und zerstörungsfrei getrennt werden können (DGNB Systeme, 2018, S. 487).

Die Graue Energie und Treibhausgasemissionen sind im Bereich Nachhaltigkeit wichtige Faktoren. Auch auf Bundesebene sind die beiden Kriterien öfters zu finden. Treibhausgasemissionen werden in der „Strategie Nachhaltige Entwicklung“ ausführlich erwähnt. (Schweizerischer Bundesrat, 2016) Die graue Energie ist in der Baubranche ein bekanntes Kriterium und wird in verschiedenen SIA Normen erwähnt (SIA Merkblätter, 2010).

Die toxischen Schadstoffe wurden aus der Theorie heraus nicht mehr in der Nutzwertanalyse berücksichtigt. Die Verwendung von Schadstoffen ist eine Fassadenkonstruktion übergeordnete Thematik. Man kann jeder der fünf Konstruktionen mit mehr oder weniger schädlichen Stoffen bauen. Die Bestrebungen in diesem Bereich vollständig auf Schadstoffe zu verzichten sind gross und Verbote werden angestrebt. HBCD wird in Produkten nicht mehr verwendet. Biozide sind Produkte abhängig und es kann keine absolute Aussage gemacht werden. Formaldehyd ist auch vom Produkt abhängig und soll in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden.

3.1.3 Datenquellen

Als Datengrundlage für die verschiedenen Aspekte wurden einerseits Richtkennwerte angefragt und andererseits Sekundärliteratur verwendet. Die Kennwerte sind immer bezogen auf 1m^2 der jeweiligen Fassadenkonstruktion.

Die Kennwerte für die Erstellungskosten sind aus zwei verfügbaren Datenquellen. Die erste Datenquelle ist b+p Baurealisation AG. Die zweite Datenquelle ist der Objektartenkatalog OAK von CRB. Die Daten von b+p Baurealisation AG sind vom heutigen Stand und es wurde dementsprechend mit diesen Kennwerten gerechnet. Die Daten vom Objektartenkatalog haben Stand 2011.

Für den Unterhalt werden für diese Arbeit die Daten aus der erwähnten Studie (Hasler, 2016) genutzt. Zudem wurde eine Richtpreisofferte zum Thema Unterhalt, Reinigung und Sanierung an 5 grosse Firmen und 5 Unternehmer in der Schweiz versendet. Von den angeschriebenen Grossfirmen gab es zwei Rückmeldung. Die Rückmeldung von Holzbauunternehmer konnte für die Datenauswertung verwendet werden. Die niedrige Rücklaufquote wird darauf zurückgeführt, dass es keine klare Unterhalts- und Reinigungsplanung gibt.

Die Lebensdauer ist aus der „Paritätische Lebensdauertabelle“ entnommen (Hauseigentümerverband Schweiz & Mieterinnen- und Mieterverband Deutschschweiz, 2016).

Die Rückbaukosten und die rückbaufreundliche Baukonstruktion wurden mit einer Anfrage für eine Richtpreisofferte an verschiedene Firmen ermittelt. Die Rückmeldungen von zwei Firmen wurden ausgewertet. Schlussendlich wurden die Daten für die Rückbaukosten der einen Firma verwendet, da diese Kennwerte haben. Die rückbaufreundliche Baukonstruktion wurde mit den Angaben aus Kapitel 2.2 ausgewertet.

Als Ökobilanzdatenbank für graue Energie und Treibhausgasemissionen wird der Bauteilkatalog Datenbestand (Holliger Consult, 2002) verwendet. Zudem wurden die Kennwerte für die ökologischen Aspekte von einem Bauphysiker berechnet. Die Daten des Bauphysiker sind aktuell und werden dementsprechend in die Nutzwertanalyse eingearbeitet.

Für die Richtpreisofferte wird in dieser Untersuchung von einem Objekt, einem Wohnhaus mit 4 Geschossen (Erdgeschoss bis ins 3. Obergeschoss) ausgegangen. Die Geschosshöhe beträgt bis 3 m und das Gebäude ist 12.5 m hoch. Es liegt in der Region Zürich auf einem flachen Grundstück mit guter Anbindung an den Strassenverkehr.

Um einen Vergleich für die Untersuchung der verschiedenen Gebäudehüllen zu ermöglichen, wird 1 m² einer Fassadenkonstruktion eines Wohnhauses in der Schweiz dargestellt. Alle Konstruktionen haben einen U-Wert von 0.17 W/m²K ausser das Einsteinmauerwerk. Der U-Wert vom Einsteinmauerwerk ist 0.16 W/m²K.

3.1.4 Herleitung Gewichtung

Mit dem heutigem Bewusstsein und den Zielen des Bundesrates (Schweizerischer Bundesrat, 2016) sollen in dieser Untersuchung die ökologischen Daten gleich gewichtet werden, wie die ökonomischen Daten.

Die Rückbaukosten und die Rückbaufreundliche Baukonstruktion werden separat gewichtet. Ihre Summe entspricht dem Wert eines anderen Parameters.

Die Rangierung der Daten erfolgt in 5 Kategorien, von 1 bis 5, wobei 5 die beste Rangierung ist. Um eine Streuung zu erhalten und damit die Kennwerte nicht in die gleiche Klasse fallen, werden die kleinsten und grössten Daten als obere und untere Rangierung festgelegt. Die Verteilung dazwischen erfolgt durch gleichmässige Aufteilung.

3.2 Untersuchung

3.2.1 Erstellungskosten

Aus der Richtpreisofferte hat sich herausgestellt, dass die Kompaktfassade mit Abstand die günstigste Variante ist. Am teuersten ist die Holzständerkonstruktion, in erster Linie wegen ihrer hohen Komplexität. Die hinterlüftete Fassade ist die zweitteuerste Fassadenkonstruktion.

Fassadenkonstruktion	CHF/m²
Hinterlüftete Fassade mit Faserzement-Plattenverkleidung	465.00
Kompaktfassade mit EPS	250.00
Holzständerkonstruktion mit Holzverkleidung	520.00
Zweischalenmauerwerk	380.00
Einsteinmauerwerk	370.00

Tabelle 6: Auswertung Ausschreibung Erstellungskosten

Die Erstellungskosten sind in nachfolgender Abbildung 16 als Grafik ersichtlich.

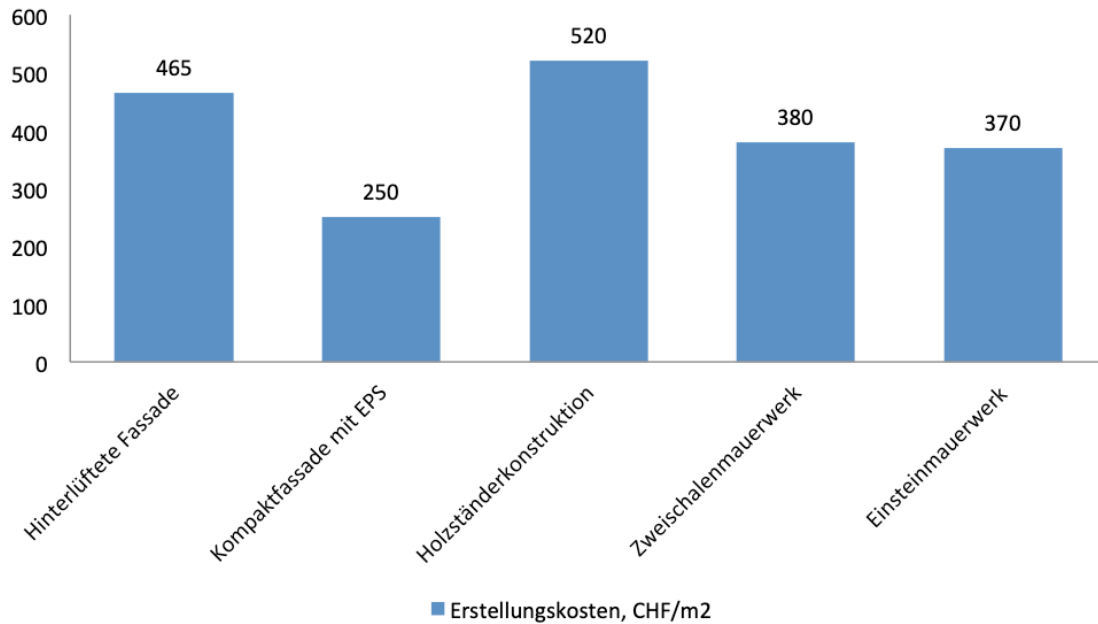


Abbildung 16: Erstellungskosten

Aus der Abbildung 16 wird ersichtlich, dass die Holzständerkonstruktion vor der hinterlüfteten Fassade die höchsten Kosten generiert. Diese beiden Konstruktionen sind auch in der Planung aufwändiger, da die verschiedenen Funktionen gut durchdacht und Details genau geplant werden müssen. Im Mittelfeld befinden sich das Zweischalenmauerwerk und das Einsteinmauerwerk. Die Kompaktfassade mit EPS ist halb so teuer wie die Holzständerkonstruktion und somit mit Abstand die günstigste Fassadenkonstruktion.

3.2.2 Unterhalt

Aus den Rückmeldungen der zwei Unternehmen hat sich gezeigt, dass der Unterhalt nicht proaktiv sondern reaktiv durchgeführt wird. Bei den allgemeinen Gebäuderundgängen wird die Fassade inspiziert. Die Reinigung der Fassaden wird mit dem Kunden in einer 5-Jahresplanung festgehalten. Grundsätzlich wird die Fassaden alle 2-3 Jahre gereinigt. Dementsprechend gibt es keine Angaben dazu für die Auswertung.

Die Studie „Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung“ (Hasler, 2016) zeigt auf, wie oft Fassaden gereinigt werden müssen. Die Kompaktfassade ist in einem Intervall von 7.5 Jahren zu reinigen und nach 15 Jahren ist ein zusätzlicher Anstrich notwendig ist. Eine Fassade mit vorgehängten Holzplatten aus unbehandeltem Holz gilt als wartungsfrei und braucht keine Reinigung. Die Faserzementplatten müssen in einem Abstand von 10 Jahren gereinigt werden. Die Angaben zu verputztem Zweischalenmauerwerk und Einsteinmauerwerk wurde nicht gefunden. Es kann davon

ausgegangen werden, dass die Reinigung weniger oft ausgeführt werden muss als bei einer verputzten Kompaktfassade, da sich unter dem Verputz Backstein befindet und dementsprechend weniger die Gefahr von Algenbildung besteht. Es wird eine Annahme getroffen, dass die Reinigung alle 15 Jahre stattfindet (S. 79).

3.2.3 Lebensdauer

Es stellt sich heraus, dass die Lebensdauer der Fassadensysteme bei den untersuchten Fassaden 40 Jahre beträgt. Die Lebensdauer einer Kompaktfassade ist mit 25 Jahren knapp $\frac{2}{3}$ so lang wie die der anderen untersuchten Fassadenkonstruktionen. Die Lebensdauer einer naturbelassenen Lärche-Holzfassade hat nach Aussage des Unternehmers eine Lebensdauer von 40 Jahren.

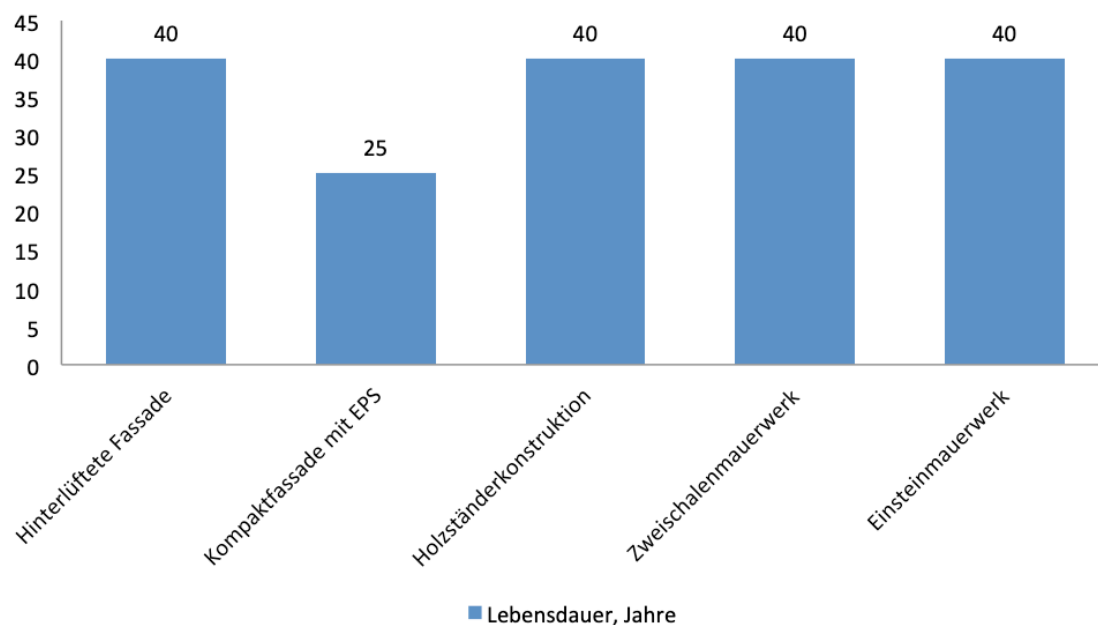


Abbildung 17: Darstellung der Lebensdauer

3.2.4 Rückbau

Fassadenkonstruktionen können verklebt oder geschraubt werden. Für die verklebten Fassadenkonstruktionen wie Zweischalenmauerwerk, Einsteinmauerwerk und Kompaktfassade, kann im Rückbau nicht sortenrein getrennt werden und der Abbruch landet auf der Deponie. Der Aufwand, um die einzelnen Materialien zu trennen ist enorm und teilweise unmöglich. Die Voraussetzung für die sortenreine Trennung eines Backsteines ist die vorgängige Entfernung aller Rückstände von Dämmmaterialien. Die Holzständerkonstruktion wird hauptsächlich geschraubt. Die Materialien werden an die Verbrennungsanlage geführt, da keine weitere Verwendungsmöglichkeit besteht.

Eine hinterlüftete Fassadenkonstruktion wird mechanisch befestigt oder geschraubt und es kann beim Rückbau dementsprechend eine sortenreine Trennung stattfinden. Genau so funktioniert es mit der Holzständerkonstruktion, dadurch dass keine Materialien verklebt werden, können die Materialien separat getrennt werden.

Gemäss der Rückmeldung der Firma aus Winterthur ist eine sortenreine Trennung bei keiner der untersuchten Fassadensysteme möglich. Die Dämmung ist fast immer mit dem Backstein verklebt und kann somit nur als Mischabbruch abgebaut werden. So geben sie an, dass 50% des Abbruchs wiederverwertet wird und zwar in Form von RC-Beton. Nur die Holzständerkonstruktion wird zu 100% verbrannt.

Für die Firma aus Kloten ist eine sortenreine Trennung bei jedem Fassadensystem möglich. Die finanzielle Bereitschaft das Geld zu investieren muss vorhanden sein, denn viele Materialien müssen auf der Baustelle von Hand sortiert werden. Dieser Vorgang ist aufwändig und teuer.

Beiden Firmen geben an, dass der Backstein mit Verputz als Mischabbruch weiter verwendet wird für RC-Beton.

Die Auswertung der Rückbaukosten ist die Summe der Abbruchkosten CHF/m² und Transportkosten CHF/m².

Fassade	Abbruch, CHF/m²	Transport, CHF/m²
Hinterlüftete Fassade	52.00	6.00
Kompaktfassade	30.00	6.00
Holzständerkonstruktion	25.00	4.00
Zweischalenmauerwerk	34.00	6.00
Einsteinmauerwerk	30.00	6.00

Tabelle 7: Rückbaukosten

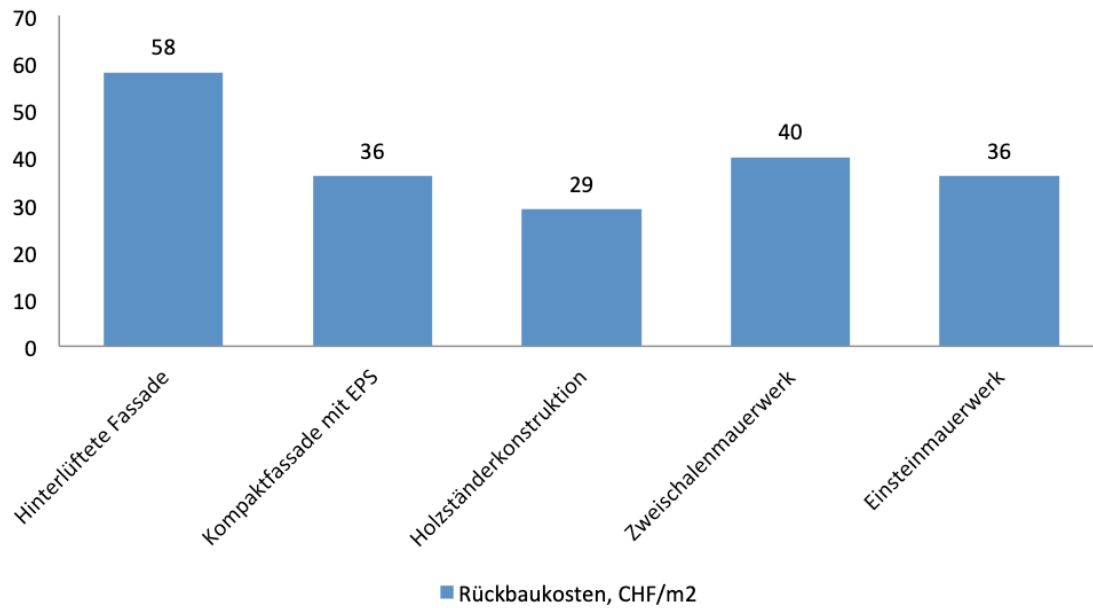


Abbildung 18: Rückbaukosten

Nach DGNB System (DGNB Systeme, 2018) ist eine Rückbaufreundliche Baukonstruktion abhängig von der Demontierbarkeit der einzelnen Bauteile, ohne diese zu zerstören und die Schichten sortenrein getrennt werden können (S. 487).

Wie im vorhergehenden Teil erwähnt, können die Holzständerkonstruktion und die Hinterlüftete Fassade sortenrein getrennt werden. Aus der Befragung kam heraus, dass beim Zweischalenmauerwerk, Einsteinmauerwerk und der Kompaktfassade die Trennung von Mauerwerk und Dämmung möglich ist, jedoch der Backstein nicht vom Verputz oder nur mit sehr grossen Aufwand getrennt werden kann.

3.2.5 Nicht erneuerbare Primärenergie

Die nicht erneuerbare Primärenergie für Zweischalenmauerwerk ist am höchsten. Dieser Umstand ist mit dem Backstein zu begründen mit einem sehr hohen Anteil an nicht erneuerbare Primärenergie. Dieser ist mit Faktor 4 grösser, als die graue Energie für die Mineralwollämmung. Zudem ist der Backstein mit der doppelten Anzahl vorhanden, aufgrund der zwei Schalen. An zweiter Stelle ist die Kompaktfassade mit EPS. In diesem Fall hat auch der Backstein die grösste nicht erneuerbare Primärenergie. Die EPS Dämmung lässt den Wert entsprechend ansteigen und einen 8 mal höheren grauen Energiewert als der Innenputz. Der Backstein macht bei der hinterlüfteten Fassade einen grossen Teil der nicht erneuerbaren Primärenergie aus. Wie auch das Einsteinmauerwerk, welches aber besser abschneidet als die hinterlüftete Fassade, da weniger weitere Materialien verbaut werden. Am besten schliesst die

Holzständerkonstruktion ab. Bei diesem Fassadensystem weist die Holzfaserplatte am meisten nicht erneuerbare Primärenergie aus.

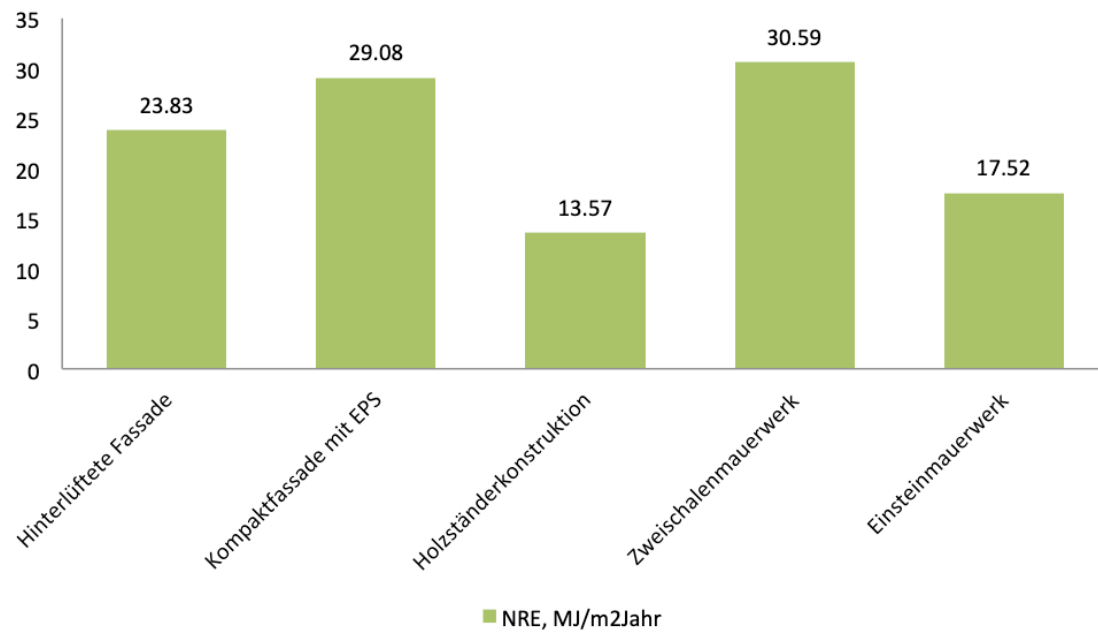


Abbildung 19: Nicht erneuerbare Primärenergie, NRE

3.2.6 Treibhausgasemissionen

Bei den Treibhausgasemissionen zeigt sich ein ähnliches Bild wie bei der nicht erneuerbaren Primärenergie. Der Backstein verursacht am meisten Treibhausgasemissionen.

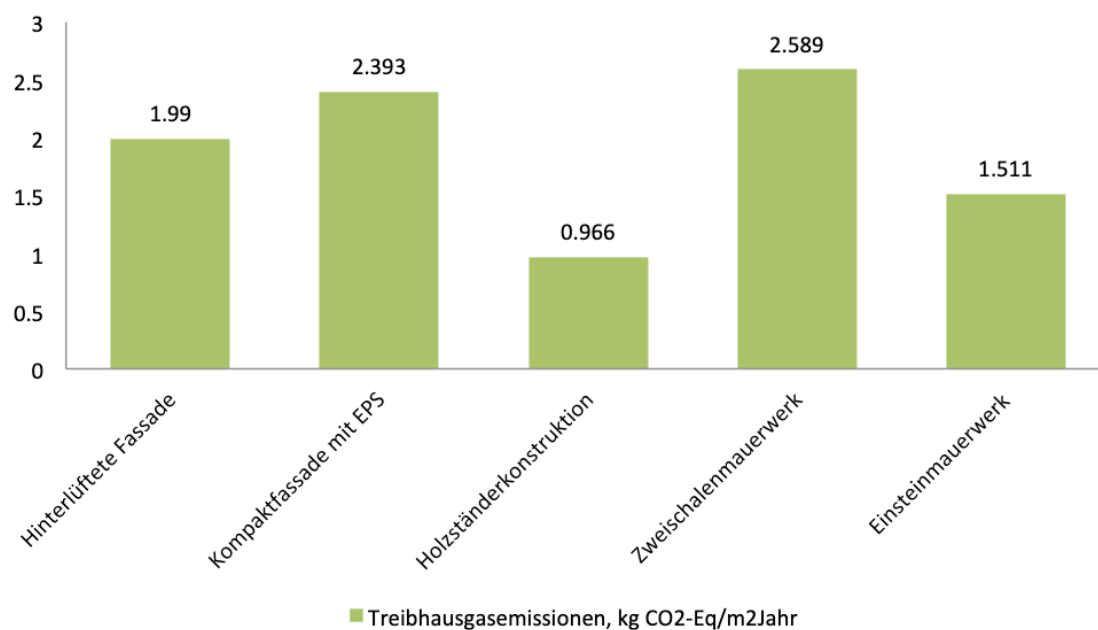


Abbildung 20: Treibhausgasemissionen, GWP

3.3 Ergebnisse

Die Wertedefinition zu den verschiedenen Kriterien wurden nach der unten aufgeführten Beurteilung, in Abbildung 21 dargestellt, eingeteilt und entsprechend wurden die Punkte für die verschiedenen Varianten zugeordnet.

Bewertung / Punkte	5	4	3	2	1
Erstellungskosten, CHF/m ²	≤ 250	251 - 330	331-420	421-499	≥ 500
Unterhalt, Jahre	≥ 40	31-39	21-30	10-20	≤ 9
Lebensdauer, Jahre	≥ 40	36-39	31-35	26-30	≤ 25
Rückbaukosten, CHF/m ²	≤ 30	31 - 36	37 - 43	44 - 49	≥ 50
Rückbaufreundlichkeit	80-100%	60-79%	40-59%	20-39%	0-19%
NRE, MJ/m ² a	≤ 15	16-20	21-25	26-29	≥ 30
GWP, kg/m ² a	≤ 1	1.01-1.3	1.31 - 1.7	1.71 - 2	≥ 2.01

Abbildung 21: Bewertungsskala für Nutzwertanalyse

Die Punktzahl multipliziert mit der Gewichtung ergeben den Wert für jedes Kriterium. Die Summe aller Kriterien pro Variante ergeben die Gesamtwertung jeder der fünf Varianten. In der Nutzwertanalyse sind die Werte aus der Untersuchung eingeflossen. Durch die in Abbildung 21 definierte Gewichtung hat sich folgende Rangierung, in Abbildung 22 dargestellt, ergeben.

Kriterien	Gewichtung	Hinterlüftete Fassade Punkte		Kompaktfassade EPS Punkte		Holzkonstruktion Punkte		Zweischalenmauerwerk Punkte		Einsteinmauerwerk Punkte	
a Erstellungskosten	16.66%	2	33.32	5	83.3	1	16.66	3	49.98	3	49.98
b Unterhalt	16.66%	2	33.32	1	16.66	5	83.3	2	33.32	2	33.32
c Lebensdauer	16.66%	5	83.3	1	16.66	5	83.3	5	83.3	5	83.3
d Rückbaukosten	8.33%	1	8.33	4	33.32	5	41.65	3	24.99	4	33.32
e Rückbaufreundlichkeit	8.33%	5	41.65	1	8.33	5	41.65	1	8.33	1	8.33
f Nicht erneuerbare Primärenergie	16.66%	3	49.98	2	33.32	5	83.3	1	16.66	4	66.64
g Treibhausgasemissionen	16.66%	2	33.32	1	16.66	5	83.3	1	16.66	3	49.98
Punkte total	100%	283.22		208.25		433.16		233.24		324.87	
Rangierung		3		5		1		4		2	

Abbildung 22: Nutzwertanalyse

Aufgrund der Ergebnisse der Nutzwertanalyse sind die Vorteile der Holzständerkonstruktionskriterien ersichtlich. Diese Variante zeichnet sich durch den sehr kleinen Unterhaltsaufwand, die lange Lebensdauer, die geringen Rückbaukosten, die rückbaufreundliche Konstruktion, den geringen Anteil nicht erneuerbaren Primärenergie und Treibhausgasemissionen aus. Die Erstellungskosten der Holzständerkonstruktion sind im Vergleich mit den anderen vier Fassadenkonstruktionen überdurchschnittlich hoch.

In der Bewertung auf dem zweiten Platz ist das Einsteinmauerwerk platziert. Es schneidet bei der Lebensdauer, den Rückbaukosten und bei der nicht erneuerbaren Primärenergie gut ab. Bei der rückbaufreundlichen Baukonstruktion bekommt das Einsteinmauerwerk am wenigsten Punkte. Dies hängt damit zusammen, dass der Verputz schwer vom Backstein zu entfernen ist.

Auf dem dritten Rang ist die hinterlüftete Fassade. Dieses Fassadensystem schneidet in drei Kriterien gut ab, Lebensdauer, rückbaufreundliche Baukonstruktion und Treibhausgasemissionen. Bei den Kriterien Erstellungskosten, Unterhalt und nicht erneuerbare Primärenergie ist sie mittleren Bereich. Bei den Rückbaukosten hat die hinterlüftete Fassade am wenigsten Punkte. Das kommt daher, dass der Rückbau aufwändig ist durch die viele Schichten und verschiedenen Materialien.

Auf dem vierten Rang ist das Zweischalenmauerwerk. Die meisten Punkte werden dem Zweischalenmauerwerk bei der Lebensdauer zugeordnet. Die Erstellungskosten, der Unterhalt und die Rückbaukosten ist sie im mittleren Bereich. Bei der rückbaufreundlichen Baukonstruktion, der nicht erneuerbaren Primärenergie und den Treibhausgasemissionen schneidet sie nicht gut ab und hat bei den drei Kriterien die niedrigste Punktzahl.

Die Kompaktfassade mit EPS schneidet im Variantenvergleich schlecht ab. In den Kriterien Erstellungskosten und Rückbaukosten schneidet sie gut ab. Für das Kriterium nicht erneuerbare Primärenergie bekommt die Konstruktion 2 Punkte. Bei den anderen Kriterien hat sie überall die kleinste Punktzahl. Der „Verbrauch“ an nicht erneuerbarer Primärenergie ist bei der Kompaktfassade mit EPS knapp doppelt so hoch, wie bei der hinterlüfteten Fassade. Auch die kürzere Lebensdauer der Kompaktfassade ist ausschlaggebend, für die schlechte Bewertung.

Zusammenfassend kann die Holzständerkonstruktion in der Gesamtbetrachtung überzeugen.

Abbildung 23 zeigt die Punktverteilung der fünf Fassadenkonstruktionen in den einzelnen Kriterien. Die Auswertung in der Abbildung 24 ist ohne Gewichtung der einzelnen Kriterien.

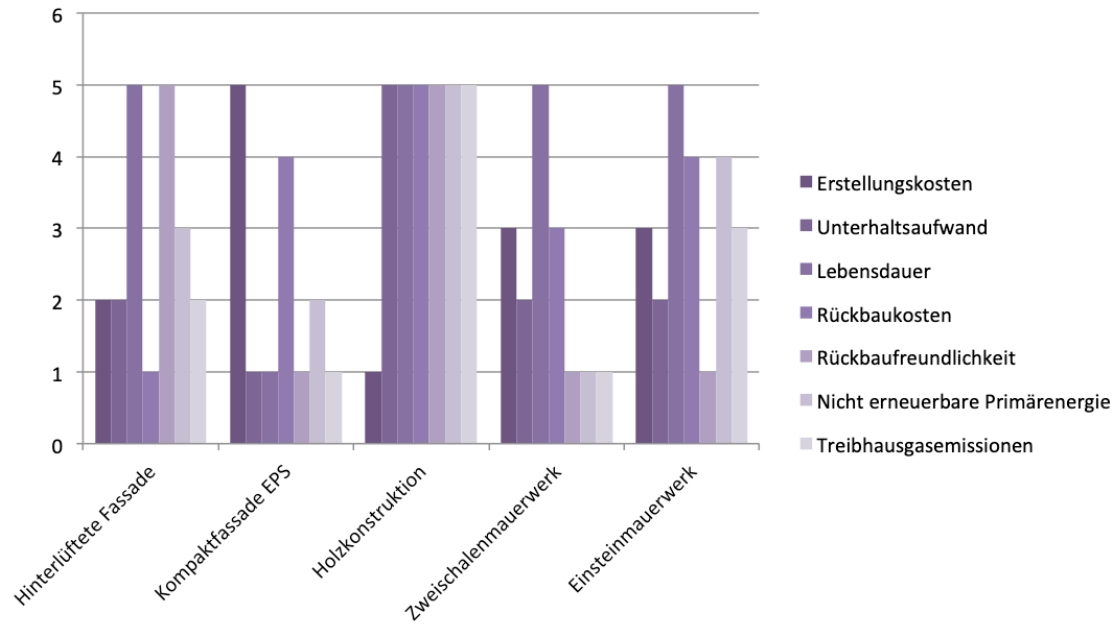


Abbildung 23: Fassadekonstruktionen mit entsprechenden Punkten in den einzelnen Bewertungskriterien

Wie anfangs erwähnt sind die Erstellungskosten wichtigste Auslöser, für die Wahl eines Fassadensystems – deshalb ist die Kompaktfassade mit EPS oft erste Wahl. Berücksichtigt man aber die weiteren Aspekte, zeigt sich schnell, dass die tiefen Erstellungskosten nicht zur besten Entscheidung führen.

Bei einer Anpassung der Gewichtung zeigt sich, dass sich die Rangierung der Varianten verändert. Bei einer Gewichtung der Erstellungskosten von 50%, verändert sich die Rangierung der Kompaktfassade vom letzten Rang auf ersten Rang, wie in Abbildung 24 ersichtlich. Auch wenn die Kompaktfassade bei den anderen Kriterien tiefe Punktezahlen erhält, wird sie alleine durch die hohe Gewichtung der Erstellungskosten auf Rang eins platziert. Dies geschieht erst im Gewichtungsbereich von 45-50%, bis zu 45 % kann sich die Holzkonstruktion auf Rang 1 halten. Dies, weil die Holzkonstruktion bei den anderen Kriterien überall die höchste Bewertung erhalten hat.

Kriterien	Gewichtung	Hinterlüftete Fassade Punkte		Kompaktfassade EPS Punkte		Holzkonstruktion Punkte		Zweischalenmauerwerk Punkte		Einsteinmauerwerk Punkte	
a Erstellungskosten	50%	2	100	5	250	1	50	3	150	3	150
b Unterhalt	10%	2	20	1	10	5	50	2	20	2	20
c Lebensdauer	10%	5	50	1	10	5	50	5	50	5	50
d Rückbaukosten	5%	1	5	4	20	5	25	3	15	4	20
e Rückbaufreundlichkeit	5%	5	25	1	5	5	25	1	5	1	5
f Nicht erneuerbare Primärenergie	10%	3	30	2	20	5	50	1	10	4	40
g Treibhausgasemissionen	10%	2	20	1	10	5	50	1	10	3	30
Punkte total	100%	250		325		300		260		315	
Rangierung		5		1		3		4		2	

Abbildung 24: Nutzwertanalyse mit Gewichtung 50% der Erstellungskosten

Die Rangierung vom Einsteinmauerwerk bleibt bei einer Gewichtung der Erstellungskosten von 30%, 40% und 50% gleich. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass die Erstellungskosten im mittleren Bereich der Bewertung sind. In Abbildung 25 ist die Nutzwertanalyse mit Gewichtung der Erstellungskosten von 30% aufgeführt.

Kriterien	Gewichtung	Hinterlüftete Fassade		Kompaktfassade EPS		Holzkonstruktion		Zweischalenmauerwerk		Einsteinmauerwerk		
		Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	
a	Erstellungskosten	30%	2	60	5	150	1	30	3	90	3	90
b	Unterhalt	14%	2	28	1	14	5	70	2	28	2	28
c	Lebensdauer	14%	5	70	1	14	5	70	5	70	5	70
d	Rückbaukosten	7%	1	7	4	28	5	35	3	21	4	28
e	Rückbaufreundlichkeit	7%	5	35	1	7	5	35	1	7	1	7
f	Nicht erneuerbare Primärenergie	14%	3	42	2	28	5	70	1	14	4	56
g	Treibhausgasemissionen	14%	2	28	1	14	5	70	1	14	3	42
Punkte total		100%	270		255		380		244		321	
Rangierung			3		4		1		5		2	

Abbildung 25: Nutzwertanalyse mit Gewichtung 30% Erstellungskosten

Wenn alle Varianten die gleiche Bewertung bei den Erstellungskosten hätten und die Erstellungskosten 50% gewichtet würden, wäre die Rangierung gleich wie bei der ursprünglichen Gewichtung.

Kriterien	Gewichtung	Hinterlüftete Fassade		Kompaktfassade EPS		Holzkonstruktion		Zweischalenmauerwerk		Einsteinmauerwerk		
		Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	Punkte	
a	Erstellungskosten	50%	5	250	5	250	5	250	5	250	5	250
b	Unterhalt	10%	2	20	1	10	5	50	2	20	2	20
c	Lebensdauer	10%	5	50	1	10	5	50	5	50	5	50
d	Rückbaukosten	5%	1	5	4	20	5	25	3	15	4	20
e	Rückbaufreundlichkeit	5%	5	25	1	5	5	25	1	5	1	5
f	Nicht erneuerbare Primärenergie	10%	3	30	2	20	5	50	1	10	4	40
g	Treibhausgasemissionen	10%	2	20	1	10	5	50	1	10	3	30
Punkte total		100%	400		325		500		360		415	
Rangierung			3		5		1		4		2	

Abbildung 26: Nutzwertanalyse mit gleicher Punktevergabe bei den Erstellungskosten für alle Varianten und Gewichtung 50% Erstellungskosten

Es lässt sich zusammenfassen, dass das Kriterium Erstellungskosten auf die Variantenentscheidung einen Einfluss hat, da die Zahlen fassbar sind, wobei die Nutzwertanalyse die ökologischen Aspekte auch aufzeigt und verdeutlichen kann, in welchem Verhältnis die Fassadenkonstruktion zu einander stehen.

Im Rahmen der Arbeit zeigt sich nach der Auswertung aller Aspekte das die Holzständerkonstruktion als Fassadenkonstruktion in Betracht gezogen werden soll.

4. Schlussbetrachtung

4.1 Fazit

Es konnte aufgezeigt werden, dass durch einbeziehen mehrerer Aspekte eine anfangs teuer erscheinende Fassadenkonstruktion durchaus in Betracht gezogen werden kann.

Es hat sich auch gezeigt, dass der Unterhalt ein Kostentreiber sein kann. Durch häufiges Reinigen und neu Streichen steigen die Unterhaltskosten massiv an. Zudem müssen die Gerüstkosten noch dazu gerechnet werden, welche in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt wurden. Es wurde festgestellt, dass grosse Unternehmer im Bereich Unterhalt noch keine Kennwerte für Fassadensysteme haben. Dementsprechend sind keine Daten vorhanden um genau aufzuzeigen, wie Kostenintensiv die verschiedenen Fassaden sind.

Die Lebensdauer von Fassaden zeigt klar auf, dass ein Umdenken stattfinden muss. Aus der Untersuchung hat sich gezeigt, dass Kompaktfassade eine Lebensdauer von 25 Jahren haben, wenn man dazu nimmt, dass der Rückbau bei einer Kompaktfassade nicht sortenrein ist, muss um eine positive Bilanz machen zu können, dringend die Lebensdauer verdoppelt werden. Dazu kommt, dass sich aus der Statistik der Baugesuche zeigt, dass die Kompaktfassade am häufigsten verbaut wird und dies überrascht, da die Fassade im Vergleich mit den anderen Fassaden in ökologischen sowie ökonomischen Bereichen schlecht abschneidet. In der Erstellung und im Rückbau kann die Kompaktfassade eine gute Bewertung erzielen.

Auf Grund der Analyse hat sich gezeigt, wie entscheidend die Ausführung auf dem Bau ist, auch um den Rückbau zu berechnen. Wenn die Materialien verklebt werden, wird ein sortenreiner Rückbau schwierig und teuer. Die Massnahme dass die Materialien verschraubt oder verdübelt werden, können einen sortenreinen Rückbau ermöglichen und attraktiv für Bauherren machen. Vor allem dann, wenn die Materialien verkauft werden können oder in einer anderen Form wieder eingebaut werden können.

Ob sich nun eine mehrschalige Wand oder eine Einschalenwand besser eignet, kann insofern nicht abschliessend belegt werden, da auf dem vordersten Platz eine Mehrschalenwand ist und auf dem zweiten Platz eine Einschalenwand. Sicherlich kann aber gesagt werden, dass je weniger Materialien verbaut werden, desto bessere Kennwerte hervor kommen und die sortenreine Trennung besser möglich ist.

Die Bearbeitung der einzelnen Aspekte innerhalb der Bewertung / Punkte ist so aufgeteilt, dass die Verteilung von 1 bis 5 ausreichend definiert wurde. In der Arbeit hat sich aufgrund der Wertespezifikation gezeigt, dass die Bewertung sinnvoll ist.

Die Entscheidungshilfe konnte mithilfe der Nutzwertanalyse erstellt werden. Die Kriterien und dazugehörigen Daten können für ein Projekt eingesetzt werden. Die

Kennwerte müssen jedoch individuell erarbeitet werden, da Bauen auch Regionen abhängig ist betreffend Kosten, Unterhalt und weiteren Kriterien.

Die Gewichtung ist Bauherren abhängig und kann zu anderen Ergebnissen führen. Es ist entscheidend, wie die Kriterien gewichtet werden.

Die übergeordnete Auswahl für die fünf Fassadensysteme hat sich bewährt, denn bei genauer Betrachtung zeigt sich, dass die Fassaden in wenigen Aspekten gleich abschliessen und dementsprechend ein breites Spektrum aufzeigen. Es wäre spannend möglichst viele Fassadentypen in die Nutzwertanalyse einzubeziehen. Interessant wäre zu sehen, wie eine grüne Fassade (Fassadenbegrünung) abgeschlossen hätte.

Die Datengrundlagen für die Nutzwertanalyse müssen durch diverse Spezialisten erstellt werden.

Die ökonomischen Aspekte können je nach Gebäudetypologie, Lage und Ausführung stark variieren. Die ökologischen Aspekte werden durch entsprechende Programme (Lesosai, etc.) errechnet und ergeben deshalb unabhängig vom Spezialisten die gleichen Werte.

Es soll in diesen Zusammenhang betont werden, dass für die Nutzwertanalyse die jeweiligen Kenndaten und vor allem die Verteilung der Bewertungspunkte spezifisch mit allen Beteiligten geklärt werden muss.

4.2 Diskussion

Es konnte mit der Arbeit eine Entscheidungshilfe erstellt und eine Fassade als beste Variante bestimmt werden. Dabei war erkennbar, dass die Gewichtung eine grosse Rolle spielt und durch anpassen der Gewichtung eine andere Fassade auf dem vordersten Platz sein kann.

Generell kann bezüglich der Ergebnisse festgehalten werden, dass mehr Kennwerte zu den verschiedenen Aspekten ein grösseres Beurteilungsspektrum aufgezeigt hätten.

Die Sammlung der Daten stellte sich als schwierig heraus. Einerseits war das Interesse einer Nutzwertanalyse da, die Bereitschaft zur Mithilfe war eher gering, weil teilweise die Daten nicht in dieser Form vorhanden sind. Das hat sich vor allem bei den Unterhaltskosten gezeigt.

Die Aussagekraft muss für jedes Projekt neu gewertet werden, da die Gewichtung variieren kann. Die Gewichtung in dieser Arbeit muss nicht den Bedürfnissen der Investoren entsprechen.

4.3 Ausblick

Es wäre interessant, zu wissen nach welchen Kriterien Bauherren und Investoren sich für eine Fassadenkonstruktion entscheiden und ob es wirklich nur um die Erstellungskosten geht.

Es wäre aufschlussreich, die dritte wichtige Komponente zum Thema Nachhaltigkeit, die sozialen Anforderungen neben wirtschaftlichen und ökologischen zu berücksichtigen. Interessant wären die Kriterien Ästhetik und Nutzerfreundlichkeit. Dazu könnte eine empirische Untersuchung mit verschiedenen Bildern von Fassaden und Innenräumen Daten liefern.

Die Schadstoffe sind produkteabhängig und es wäre spannend diesen Aspekt genauer zu betrachten anhand konkret gebauter Projekten.

Die Kennwerte für die Nutzwertanalyse könnten in einem weiteren Schritt an konkreten Projekten berechnet werden. Dies müsste in Zusammenarbeit mit einer Firma geschehen, die alle Daten und Unterlagen zur Verfügung stellen würde. Damit ergäbe sich die Möglichkeit anhand der realisierten Projekte den Unterhaltsaufwand aufzuzeigen. Dies scheint noch eine Variabel zu sein, welche nicht klar quantifiziert werden kann.

Der Baumarkt entwickelt sich stetig und erfindet neue Baumaterialien. Ein Beispiel dafür ist der Backstein der niederländische Firma Stonecycling® (siehe Kapitel 2.3.4). Es wird spannend die technische Weiterentwicklung kontinuierlich zu beobachten.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass in der Konstruktion und Ausführung noch viel Potenzial vorhanden ist und insbesondere für die Verbesserung der ökologischen Werte. Und vielleicht werden sich Bauherren und Investoren zukünftig öfters für die Auswahl einer optimalen Fassade entscheiden und offen für Neuentwicklungen sein.

Literaturverzeichnis

- Alig, M., & Frischknecht, R. (2017). *Ökobilanzvergleich Wandaufbauten*. Gefunden unter http://treeze.ch/fileadmin/user_upload/downloads/Publications/Case_Studies/Building_and_Construction/577_Wandvergleich_v1.0.pdf
- Auer, T., Bilow, M., Knaack, U., & Klein, T. (2007). *Fassaden. Prinzipien der Konstruktion*. Berlin: Birkhäuser Verlag AG.
- Baunetz Wissen. (ohne Datum). *Nachhaltig Bauen. Recycling*. Gefunden unter <https://www.baunetzwissen.de/nachhaltig-bauen/fachwissen/baustoffe--teile/recycling-675291>
- Credit Suisse AG. (2017). *Die durchschnittliche Lebensdauer von Bauteilen*. Gefunden unter <https://www.credit-suisse.com/media/assets/private-banking/docs/ch/privatkunden/eigenheim-finanzieren/lebensdauer-bauteile-de.pdf>
- Curschellas, P. (2012). *eBKP-H Baukostenplan SN 506 511 Hochbau*. Zürich: CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung.
- Deola, B., & Osterwalder, A. (2010). *Konstruktionslehre für den Hochbau Heft 7. Wandkonstruktionen*. (2. Ausgabe). LMK Lehrmittel GmbH.
- Deplazes, A. (2008). *Architektur konstruieren. Vom Rohmaterial zum Bauwerk*. (3. Auflage; A. Deplazes, Ed.). Birkhäuser Verlag AG.
- DGNB Systeme. (2018). *Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit. Kriterienkatalog Gebäude Neubau, TEC1.6*. Gefunden unter https://static.dgnb.de/fileadmin/de/dgnb_system/version2018/05_TEC1.6_Rueckbau--und-Recyclingfreundlichkeit.pdf
- Ercolani, M., Fuhr, H. J., Gebhard, R., Jenkinson, I., Stoy, C., & Wright, M. (2012). *LCC Leitfaden. Planung der Lebenszykluskosten*. (2. Auflage). Zürich: CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung.
- Fixit. (2015). *FIXITherm Wärmedämmverbundsysteme WDVS*. Gefunden unter https://m.fixit.ch/var/fixitgruppe/storage/ilcatalogue/files/pdf/CHDE/Fachinfo__FIXITherm_Waermedaemmverbundsysteme_WDVS_DC0021215.PDF
- Flumroc AG. (ohne Datum). *Bekleidung hinterlüftet, Dämmung zwischen Lattung*,

- zweilagig*. Bauteil-Daten. Gefunden unter <https://www.flumroc.ch/de/anwendungen/aussenwaende/anwendung//show/bekleidung-hinterlueftet-daemmung-zwischen-lattung-zweilagig/>
- Flumroc AG. (2017). *Hinterlüftete Fassaden*. Gefunden unter <https://www.flumroc.ch/anwendungen/aussenwaende/anwendung//show/bekleidung-hinterlueftet-montage-mit-distanzschrauben-und-metallschiene/>
- Flumroc AG. (2018). *Ökologie*. Gefunden unter <https://www.flumroc.ch/de/flumroc/umwelt/>
- Ganz, R., Gugerli, H., Huber, M., Jakob, P. C., Krajci, L., Lenel, S., ... Waeber, R. (2015). *Gesund und ökologisch bauen. mit Minergie-Eco*. Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau.
- Gebhard, R., Huber, M., Kühne, F., Messner, C., & Stoy, C. (2011). *OAK. Wohnbauten im Vergleich. Objektarten Katalog*. Zürich: CRB Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung.
- Grob, J. (1997). *SIA 469 Erhaltung von Bauwerken*. Zürich: SIA Schweizerisches Ingenieur- und Architektenverein.
- Hasler, E. (2016). *Studie Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung* (Vol. 43). FH JOANNEUM GmbH.
- Hauseigentümerverband Schweiz, & Mieterinnen- und Mieterverband Deutschschweiz. (2016). *Lebensdauertabelle*. Gefunden unter <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/verwalten/lebensdauertabelle/>
- Holliger Consult. (2002). *Bauteilkatalog*. Gefunden unter <http://www.bauteilkatalog.ch/ch/de/Bauteilkatalog.asp>
- Hotz, S. (2011, 12. Februar). Der Kanton Zürich ist ein Rohstofflager. *Neue Zürcher Zeitung*, (36), S. 20.
- Hotz, S. (2018, 12. Dezember). Die Abrissbirne gehört zum alten Eisen. *Neue Zürcher Zeitung*, S. 19.
- Humm, O. (2014, 28. Mai). Die Kreislaufwirtschaft als ökologisches Teilkonzept. *Neue Zürcher Zeitung*, (122), S. 85.

- Infomanager. Docu Media Schweiz GmbH. (2018). *Baugesuche ZH, Hauptkategorie Wohnen*. Adliswil.
- Kantonale Fachstelle für Chemikalien. (2017). *Biozide Wirkstoffe an Fassaden. Merkblatt D13*. (Version 6.). Kantonale Fachstelle für Chemikalien.
- Kasser, U. (2004). *SIA Effizienzpfad Energie. Statusbericht Graue Energie*. (201).
- KBOB. (2019). *Jahresbericht KBOB 2018*. Bern.
- KBOB, Eco-bau, & IPB. (2016). *Liste Oekobilanzdaten im Baubereich 2009-1-2016*. Gefunden unter https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html
- King, M., & Settembrini, G. (2016). *Graue Energie versus Ökonomie -Über die Korrelation zwischen der Grauen Energie und den Erstellungskosten der Fassade*. (September), 0–13.
- King, M., & Trübstein, M. (2019). *Optimierungsstrategien im Nutzungszyklus von Immobilien*. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23757-8>
- Lenzlinger, M., Jenkinson, I., & Stoy, C. (2016). *SIA 480. Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau*. Zürich: SIA Schweizerisches Ingenieur- und Architektenverein.
- Meyer, W. (1979). Nutzwert-Analyse zur Beurteilung von Geschossbauten im Projektstadium. *IABSE Journal*, 3(J-8), 25. Gefunden unter <https://www.e-periodica.ch/cntmng?var=true&pid=bse-pe-003:1979:3::14>
- Müller, F., Lehmann, C., Kosmol, J., Kessler, H., & Bolland, T. (2017). *Urban Mining. Ressourcenschonung im Anthropozän*. Dessau-Rosslau.
- Schröder, T. (2017, 17. Februar). Wie aus Schutt und Abfall neue Häuser werden. *Neue Zürcher Zeitung*. Gefunden unter <https://www.nzz.ch/wissenschaft/technik/recycling-wie-aus-schutt-und-abfall-neue-haeuser-werden-ld.146021>
- Schulze, H. (2005). *Holzbau: Wände - Decken - Bauprodukte - Dächer - Konstruktionen - Bauphysik - Holzschutz*. 3. Auflage. Wiesbaden: Teubner.

- Schweizerischer Bundesrat, B. (2016). Strategie Nachhaltige Entwicklung 2016 - 2019. *Schweizerische Eidgenossenschaft*, 76. Gefunden unter https://www.bundespublikationen.admin.ch/cshop_mimes_bbl/8C/8CDCD4590EE41EE682D5B255BA4CE9B7.pdf
- SIA 380. (2015). *SIA 380 Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden*. Zürich: SIA Schweizerisches Ingenieur- und Architektenverein.
- SIA Merkblätter. (2010). *Merkblatt 2032 Graue Energie von Gebäuden (Korrigenda)*. Zürich: SIA Schweizerisches Ingenieur- und Architektenverein.
- Stoy, C. (Dozent) (2018, 26. Oktober). *Kostenplanung Grundlagen*. Zürich: CUREM
- Swissbrick. (2012). *Planungsgrundlagen*. Winterthur: Autor.
- Teuwsen, P., & Bernet, L. (2015, 14. November). Zürich hat für mich den Charakter eines Klosters. *Neue Zürcher Zeitung*. Gefunden unter <https://www.nzz.ch/zuerich/santiago-calatrava-interview-1.18646182>
- Wietzorrek, U., Wolfrum, S., Zoller, D., & Klaffke, J. (2014). *Wohnen*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH.
- Willinger, B. V. G. (2018, 5. Januar). Das Material der Zukunft steht schon. *Neue Zürcher Zeitung*, S. 50.
- Windolph, A. (2015). Fundierte Entscheidungen treffen mit der Nutzwertanalyse. Gefunden unter <https://projekte-leicht-gemacht.de/blog/pm-methoden-erklaert/nutzwertanalyse/>
- Wüthrich, C. (2019, 12. Juni). Erster Roboter für Baustoffrecycling. *Zürcher Oberländer*, S. 25.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Thema „[Thema X]“ selbstständig verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen benutzt habe.

Alle Stellen die wörtlich oder sinngemäss aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich in jedem einzelnen Falle durch Angabe der Quelle (auch der verwendeten Sekundärliteratur) als Entlehnung kenntlich gemacht.

Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen und wurde auch noch nicht veröffentlicht.

Zürich, den 02.09.2019
