

Studie

Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung Ergänzung

Kontakt:

FH JOANNEUM GmbH
Institut Bauplanung und Bauwirtschaft
Alte Poststraße 154, 8020 Graz
Projektleiter: DI Dr. EWALD HASLER
Tel.: +43 (0)316 /5453-8227
E-Mail: ewald.hasler@fh-joanneum.at

Auftraggeber:

Landesinnung Bau Oberösterreich

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangssituation.....	1
1.1	Projektidee.....	1
2	Überblick über Fassadensysteme.....	2
2.1	Fassadensystematisierung.....	2
2.1.1	Verbundfassade auf monolithischer Wand.....	2
2.1.2	Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF).....	6
2.1.3	Holzbekleidung.....	8
2.1.4	Metallbekleidung.....	11
3	Theoretische Betrachtung	17
3.1	Allgemeines zum Lebenszyklus.....	17
3.2	Wirtschaftlicher Fassadenvergleich.....	18
3.2.1	Aufbau der unterschiedlichen Fassadenkonstruktionen:	20
3.2.2	Rückbau und Nutzung	24
3.2.3	Zusammenstellung der Kosten	33
3.2.4	Berechnungsergebnisse	34
4	Zusammenfassung	42
5	Quellenverzeichnis.....	44

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	<i>Schematische Darstellung der untersuchten Fassadensysteme</i>	2
Abb. 2-2:	<i>Monolithische Außenwand – verwendete Ziegel</i>	2
Abb. 2-3:	<i>Verbundfassade-Verputzte Außenwand</i>	2
Abb. 2-4:	<i>Komponenten eines Wärmedämmverbundsystems</i>	4
Abb. 2-5:	<i>Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems: 1-Untergrund, 2-Kleber, 3-Dämmstoff, 4-Dübel, 5-Unterputz, 6-Gewebesicht, 7-Schlussbeschichtung</i>	5
Abb. 2-6:	<i>Aufbau einer vorgehängt hinterlüfteten Fassade: 1-Fassadenplatten, 2-Traglattung-horizontal, 3-Fassadendämmung, 4-Holzlattung-vertikal, 5-Wandhalter, 7-Außenwand</i>	
Abb. 2-7:	<i>Aufbau einer vorgehängt hinterlüfteten Holz-Fassade</i>	8
Abb. 2-8:	<i>Instandsetzungsintervalle bei Holzfassaden</i>	10
Abb. 2-9:	<i>Fassadenkonstruktion DOMICO</i>	12
Abb. 2-10:	<i>Fassadenkonstruktion DOMICO</i>	13
Abb. 2-11:	<i>Beispiel: LKH–GRAZ, Planum-Fassade DOMICO</i>	13
Abb. 2-12:	<i>Fassadenkonstruktion ALUCOBOND</i>	15
Abb. 2-13:	<i>Beispiel: IMF TERTIA GMBH, Lannach, Alucobond- Fassade</i>	16
Abb. 3-1:	<i>Lebenszyklus eines Gebäudes</i>	17
Abb. 3-2:	<i>Schichtbildender Anstrich bei einer Holzfassade bei unterlassener Anstricherneuerung nach 12 Jahren Nutzungszeit</i>	26
Abb. 3-3:	<i>Natürliche Abwitterung einer unbehandelten Holz-Fassade nach 8 Jahren Nutzungszeit</i>	27
Abb. 3-4:	<i>Natürliche Abwitterung einer unbehandelten Holz-Fassade nach 9 Jahren Nutzungszeit</i>	28
Abb. 3-5:	<i>Vorbehandelte Holz-Fassade mit Vergrauungslasur, Neuzustand</i>	29
Abb. 3-6:	<i>Metallfassaden mit Verschmutzung</i>	31
Abb. 3-7:	<i>Beispiele für Veränderungen der Metall-Oberfläche im Laufe der Nutzungszeit unterschiedlicher Metallfassaden</i>	32
Abb. 3-8:	<i>Darstellung der LZK bei Veränderung des Rohbaus</i>	34
Abb. 3-9:	<i>Darstellung der Herstellkosten- Erstherstellung</i>	35
Abb. 3-10:	<i>Darstellung der LZK über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren aller Konstruktionen</i>	37
Abb. 3-11:	<i>Vergleich unterschiedlicher Reinigungsmöglichkeiten</i>	38
Abb. 3-12:	<i>Vergleich unterschiedlicher Reinigungs-Zyklen Metall</i>	39

Abb. 3-13:	<i>Vergleich Holzfassaden mit unterschiedlichen Anstrichzyklen</i>	40
Abb. 3-14:	<i>Darstellung der Kosten Herstellung, Nutzung, Rückbau und Gesamt bei einer Rohbau-Bestandsdauer von 80 Jahren</i>	41

Abkürzungsverzeichnis

EPS	Expandiertes Polystyrol
XPS	Extrudiertes Polystyrol
MW	Mineralwolle
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
VH	Vorhangfassade
VHF	Vorgehängt hinterlüftete Fassade
FZ	Faserzement
LZK	Lebenszykluskosten

1 Ausgangssituation

Fassaden bestimmen einerseits das Erscheinungsbild eines Gebäudes, andererseits wird durch die Fassade eine Vielzahl technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte beeinflusst. Daher hat die Auswahl einer Fassade im Bauplanungsprozess eine besondere Bedeutung.

Die Errichtungskosten einer Fassade sind ein wesentlicher Kostenfaktor bei der Herstellung. In der heutigen Baupraxis werden als Entscheidungsgrundlage meist nur die Herstellkosten in Betracht gezogen, dies hat zu einem überproportionalen Einsatz von erdölbasierten Dämmungen geführt. Diese sind vergleichsweise kostengünstig, haben wenig regionale Wertschöpfung und benachteiligen aus diesem Grund massiv alternative ökologisch nachhaltige Fassadensysteme. Folgekosten, wie Instandhaltung, Wartung, Reparatur und Reinigung über den gesamten Lebenszyklus müssen in die Betrachtung jedoch hinzugezogen werden. Auch der große Themenbereich des Abbruches und des Recyclings darf nicht außer Acht gelassen werden, um eine realitätsnahe Beurteilung zu ermöglichen.

1.1 Projektidee

Im Rahmen dieser vorliegenden Ergänzungsstudie der FH JOANNEUM mit dem Institut Bauplanung und Bauwirtschaft wurde eine Analyse von Fassadensystemen in Zusammenarbeit mit der Landesinnung Bau Oberösterreich und verschiedenen Fassadenherstellern aus dem Bereich der Metall- und Holzfassaden vorgenommen.

Aufbauend auf den Ergebnissen des Forschungsprojektes „Fassadensysteme im Fokus der Lebenszyklusbetrachtung¹“, wo unterschiedlichste Fassadensysteme in der Praxis untersucht wurden, legt die vorliegende Studie den Fokus auf die Lebenszyklusbetrachtung von vollständigen Außenwandkonstruktionen. Dabei werden unterschiedliche Rohbausysteme mit verschiedenen Fassadenkonstruktionen kombiniert sowie zwei monolithische Außenwandssysteme untersucht.

¹ In Zusammenarbeit mit der Wirtschaftskammer Steiermark (WKO) und verschiedenen Wohnbauträgern

2 Überblick über Fassadensysteme

2.1 Fassadensystematisierung

Der Schwerpunkt der vorliegenden Ergänzungsstudie liegt bei der Untersuchung von Fassadensystemen als

- a) **VERBUNDFASSADE AUF MONOLITHISCHER WAND** (Hochlochziegel- HLZ) sowie mit einem Dämmsystem (WDVS) und
- b) bei **FASSADENSYSTEMEN ALS VORGEHÄNGT HINTERLÜFTETE FASSADE** (Holz, Faserzement, Metall).

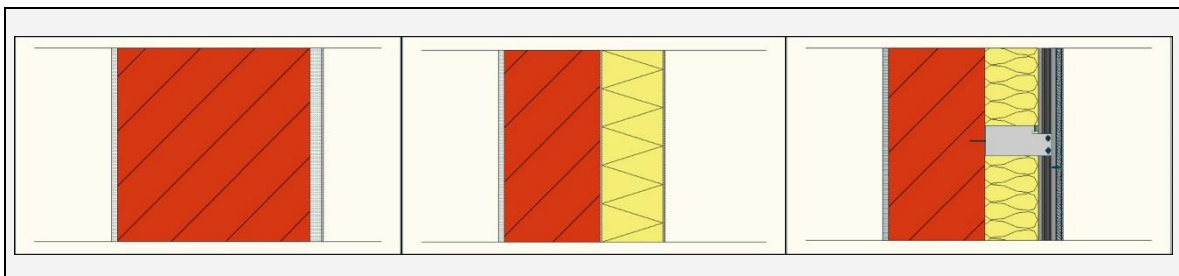


Abb. 2-1: *Schematische Darstellung der untersuchten Fassadensysteme²*

2.1.1 Verbundfassade auf monolithischer Wand

Diese Konstruktionen zählen zu den ältesten Fassadensystemen. Monolithische Fassaden bestehen aus Mauerwerk/Ziegel oder Beton mit einer Beschichtung (Putz oder Wärmedämmverbundsystem). Bei der Verbundfassade auf monolithischer Wand unterscheidet man folgende Varianten:

Verputzte monolithische Wand

Zum Einsatz kommen hochporosierte Hochlochziegel oder mit Dämmstoff gefüllte Hochlochziegel. Die verwendeten Außenputze bestehen aus mineralischen Bindemitteln (in der Regel Kalkhydrat und Zement) sowie Sand und Leichtzuschlagstoffen. Als Leichtzuschlagstoffe werden expandiertes Polystyrol oder Perlite verwendet, dadurch wird die Wärmeleitfähigkeit des Putzes stark reduziert.

² Eigene Darstellung

Es werden folgende Aufbauten in der vorliegenden Studie unterschieden:

- a) 50 cm por. HLZ Hochlochziegel-Wienerberger-Porotherm (50-20 H.i. Plan) ³
- b) 38 cm por. HLZ Hochlochziegel-Wienerberger-Porotherm (38 W.i. Plan, mineralwollegefüllt) ⁴

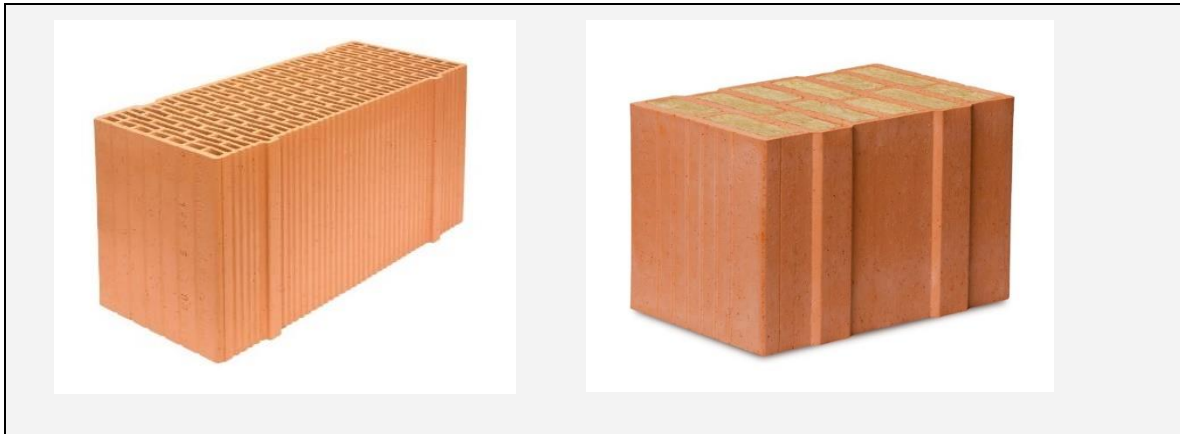


Abb. 2-2: *Monolithische Außenwand – verwendete Ziegel*



Abb. 2-3: *Verbundfassade-Verputzte Außenwand*⁵

³ <https://www.wienerberger.at/produkte/wand/produktkatalog/porotherm-50-20.html>

⁴ https://www.wienerberger.at/produkte/wand/produktkatalog/porotherm-38-w_i-plan.html

⁵ Eigene Darstellung

Wärmedämmverbundsysteme

Das Wärmedämmverbundsystem ist ein Komponenten-Bausatz aus einem vorgefertigten Wärmedämmstoff, der auf einen Untergrund befestigt wird und mit einem Putzsystem versehen ist. Die verwendeten Putze sind mineralisch gebundene oder kunststoffvergütete bzw. kunststoffgebundene Putze als Dünnschicht mit einer Dicke von ca. 5mm - 8mm.⁶

Neben dem Begriff **WDVS** (Wärmedämmverbundsysteme), wird die international einheitliche Abkürzung **ETICS** (External Thermal Composite System) für Wärmedämmverbundsysteme verwendet.

Man unterscheidet geklebte Systeme, bei denen die Verbindung mit dem Untergrund durch Verklebung (ggf. mit zusätzlicher mechanischer Befestigung) hergestellt wird und mechanisch befestigte Systeme, bei denen die Verbindung mit dem Untergrund durch mechanische Befestigungssysteme (ggf. mit zusätzlicher Verklebung) gegeben ist.⁷

Bei einem Wärmedämmverbundsystem werden folgende Komponenten unterschieden: Befestigung auf dem Untergrund, Außendämmstoff (EPS, XPS, MW etc.), Armierungsschicht mit Unter- und Oberputz sowie einer Schlussbeschichtung. (siehe Abb. 2-4)

⁶ Vgl. Fassadenskript TUG.

⁷ Vgl. ETAG 004, S.19.

Komponente	Art der Komponente	Typ
Befestigung	Kleber	mineralischer Kleber
		Dispersionskleber
		Dispersionskleber mit Zementzusatz
	Dübel	Polyurethankleber
		nichtrostendes Material mit einer Kunststoffhülse
Schienen	Aluminium PVC	
Dämmstoff		Polystyrol- Hartschaum
		Polystyrol EPS
		Polystyrol XPS
		Polyurethan
		Mineralwolle
		Minerallamelle
		Mineralschaum
		Holzfasern
		Holzspäne
		Holzwohle- Leichtbauplatten
		Schaumglas
		Perlit
		Flachs
		Hanf
		Korkplatten
		Korkschrot
		Zelluloseflocken
		Zelluloseplatten
		Glaswolle
		Steinwolle
		Blähton
		Blähglimmer
		Blähglas
	Stroh	
	Schilfrohr	
	Schafwolle	
	Getreide	
	Kokosfaser	
Putzsystem	Unterputz mit Bewehrung	mineralischer Unterputz
		dispersionsgebundener Unterputz
		dispersionsgebundener Unterputz mit Zementanteil
	Oberputz	mineralischer Oberputz
		Kunstharzputz
		Dispersionsilikatputz
		Siliconharzputz
		Klinkerputz
	Anstrich	Flachverblender
		keramische Bekleidung
		Dispersionsfarbe
Siliconharzfarbe		
		Dispersionsilikatfarbe

Abb. 2-4: *Komponenten eines Wärmedämmverbundsystems⁸*

⁸ Vgl. Jantschek 2011, S.20.

Es werden folgende Aufbauten in der vorliegenden Studie unterschieden:

- c) WDVS mit EPS
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton

- d) WDVS mit MW
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton

Der prinzipielle Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems ist folgender Grafik Abb. 2-5 zu entnehmen:

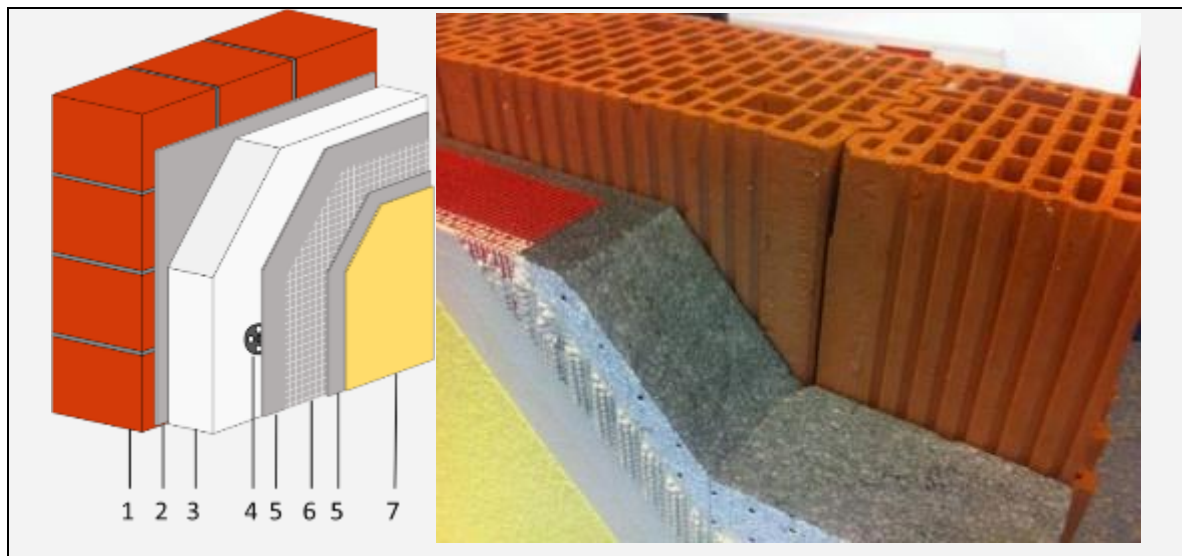


Abb. 2-5: *Aufbau eines Wärmedämmverbundsystems: 1-Untergrund, 2-Kleber, 3-Dämmstoff, 4-Dübel, 5-Unterputz, 6-Gewebebeschicht, 7-Schlussbeschichtung⁹*

⁹ Eigene Darstellung

2.1.2 Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF)

Bei dieser Konstruktion ist das Fassadensystem mechanisch mit der Tragkonstruktion (Mauerwerk/Ziegel-, Beton- oder Holzfassade) verbunden und vollflächig hinterlüftet. Die Bekleidung ist mindestens 20 mm vor der Dämmschicht angeordnet, um eine ausreichende Hinterlüftung zu gewährleisten. Der Aufbau der Elemente besteht aus der Tragstruktur, der Dämmebene, der Luftschicht und der Außenhaut, welche auf einer Unterkonstruktion mit verschiedenen Fassaden-Bekleidungen (Putz, Holz, Metall, Glas, Kunststoff, Beton, Mischstoffe etc.) befestigt ist.

Bei vorgehängten Systemen unterscheidet man in folgende Varianten:

- Ausführung von vorgehängt hinterlüfteten Fassaden aus Kleintafeln und Einzelementen: Diese Fassaden werden in Kombination mit einer Unterkonstruktion aus rostfreien metallischen Profilen und in Kombination mit einer wärmedämmenden Schicht ausgeführt. Vorwiegend werden diese Systeme an Brüstungsbändern und großflächigen Wandelementen verwendet.
- Ausführung von vorgehängt hinterlüfteten Fassaden als mehrschalige Standard-Industrieaufassade: Diese Fassaden sind mehrschalig und bestehen aus einer inneren und einer äußeren Deckschale mit dazwischenliegender Wärmedämmung. Trapezblech- oder Profilbleche kommen hierbei vorwiegend zur Anwendung. Die Deckschale ist hinterlüftet ausgebildet.¹⁰

Es werden folgende Aufbauten in der vorliegenden Studie unterschieden:

- e) VHF Holz (verschiedene Ausführungen)
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton
- f) VHF Faserzement
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton
- g) VHF Metall (verschiedene Ausführungen)
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton

¹⁰ Vgl. Fassadenskript TUG.

Der prinzipielle Aufbau einer vorgehängt hinterlüfteten Fassade ist folgender Grafik Abb. 2-6 zu entnehmen:

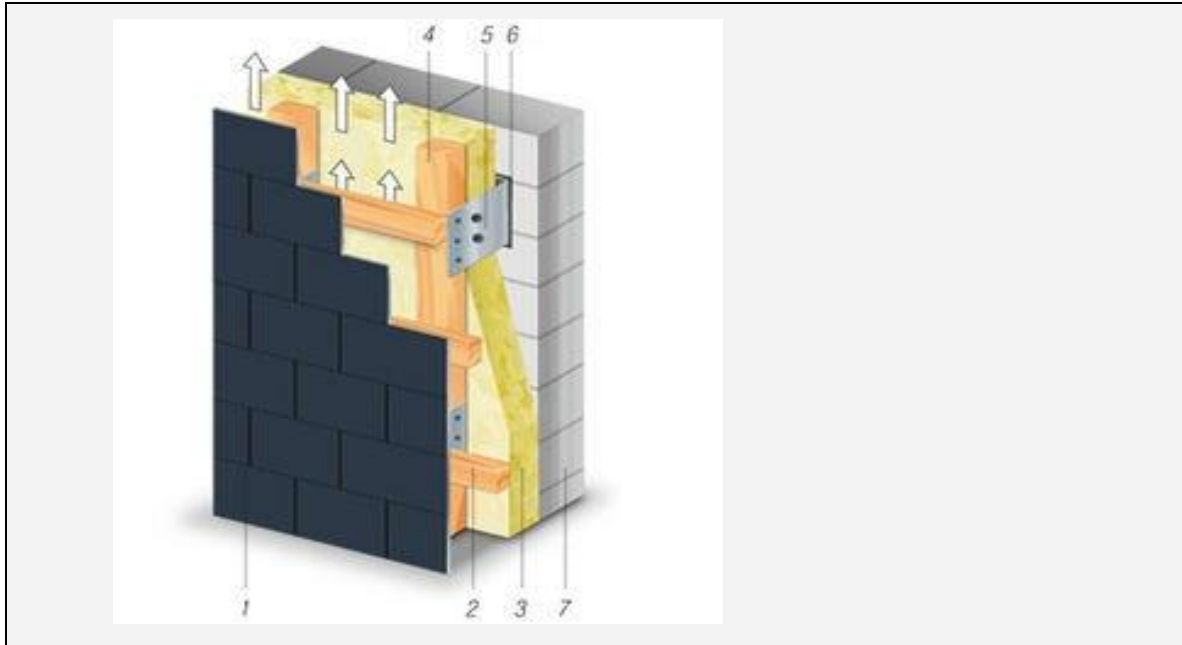


Abb. 2-6: *Aufbau einer vorgehängt hinterlüfteten Fassade: 1-Fassadenplatten, 2-Traglattung-horizontal, 3-Fassadendämmung, 4-Holzlattung-vertikal, 5-Wandhalter, 7-Außenwand¹¹*

¹¹ Eigene Darstellung/ Eternit GmbH

2.1.3 Holzbekleidung

Das System der vorgehängten hinterlüfteten Fassade unterscheidet sich von den WDVS neben den unterschiedlichen bauphysikalischen Eigenschaften auch in herstellungstechnischer Hinsicht. Es handelt sich hierbei um ein System, das ausschließlich durch mechanische Befestigungsmittel und Verankerungen gefügt wird. Daher ist beim Rückbau eine sortenreine Trennung der einzelnen Materialien sehr einfach möglich, dies hat vor allem in Bezug auf die Entsorgungskosten positive Auswirkungen.

Es werden in dieser Studie 2 unterschiedliche Holzfassaden untersucht. Zum einen wird als **Holzfassade 1** eine unbehandelte splintholzfreie **Lärchenholz-Fassade** als Sturzschalung mit einer Distanzschrauben-Unterkonstruktion betrachtet. Als **Holzfassade 2** wird eine oberflächenbehandelte **Fichtenholz-Fassade** als Wechselfalzschalung mit Holz-Unterkonstruktion mittels Konterlattung untersucht. Siehe Grafik Abb. 2-7.

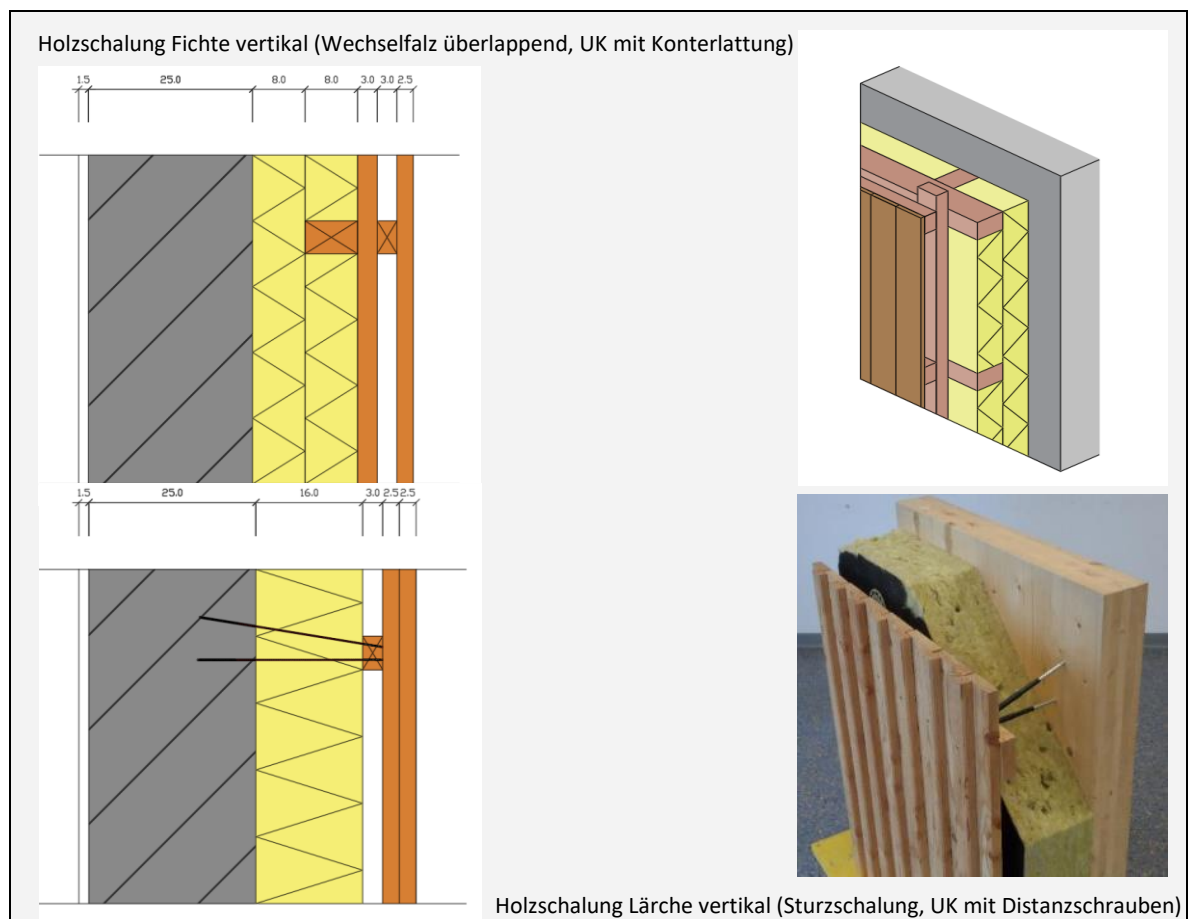


Abb. 2-7: *Aufbau einer vorgehängt hinterlüfteten Holz-Fassade* ¹²

¹² Eigene Darstellung

Fassaden im Allgemeinen und auch Holzfassaden haben in erster Linie eine Schutzfunktion für das Gebäude. Durch entsprechende Form- und Farbgebung werden dem Gebäude zudem auch gestalterische Aspekte verliehen. Dabei spielt die **Qualität der Holzfassade** eine große Rolle und ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Die wesentlichen Einflussfaktoren sind¹³:

- Holzart und Holzqualität, sowie deren Oberflächenbehandlung
- Witterung: Sonnenstrahlung, Niederschläge und Temperaturunterschiede führen zu großen Beanspruchungen einer Holzfassade.
- Architektur: Durch die Architektur wird ein Gebäude charakterisiert. Der konstruktive Holzschutz wird durch Vorgabe der Dachform, Gebäudehöhe sowie Art der Fassadenelemente bestimmt.
- Konstruktion: Konstruktive Details haben eine zentrale Bedeutung für die Qualität einer Holzfassade. Die wichtigsten Kriterien sind:
 - Vermeidung von horizontalen Flächen
 - Verkleidung von Stirnholz
 - Vermeidung von stehendem Wasser
 - Ausbildung von Tropfkanten
 - Fugenbreiten über 10mm zum Austrocknen der Bauteile
 - Schwind- und Quellungsbewegungen durch geeignete Befestigung ermöglichen
 - Rostfreie Verbindungsmittel
 - Funktionierende Hinterlüftung
 - Spritzwasserabstand vom Boden
- Montage und Befestigung: Nachträglich zugefügte Schnittstellen bzw. Beschädigungen sind zu schützen.
- Pflege und Unterhalt: Grundsätzlich sind Holzfassaden je nach Art der Oberflächenbehandlung wartungsarm. Die anfangs erwähnten Einflussfaktoren führen jedoch dazu, dass jede Fassade einen Einzelfall darstellt und separat bewertet werden muss. Aufgrund der Vielzahl am Markt erhältlichen Anstrichsysteme, die nicht unmittelbar miteinander verglichen werden können, ist eine generelle Aussage über Instandsetzungsintervalle nicht möglich.

¹³ Vgl. https://gzholzbau.ch/wp-content/uploads/2020/01/3-6-11_D_Qualit%C3%A4t_Einflussfaktoren.pdf

Laut dem VSH, Merkblatt Nr. 3-6-11/D, welcher in der vorliegenden Studie als Orientierungshilfe dient, sind z.B. Instandsetzungsintervalle von Beschichtungen im Abstand von 2-4 Jahren (Dünnschichtlasur) und 3-6 Jahren (Dickschichtlasur) zu erwarten, vgl. folgende Abb. 2-8.

Quelle	Formulierung	Dünnschichtlasur [Jahre]	Dickschichtlasuren [Jahre]	Lack [Jahre]
Lignatec 13/2001	Haltbarkeit bei direkter Wetterbeanspruchung und südlicher bis west- licher Exposition	2 - 4	3 - 6	6 - 12
Holzbau Schweiz Dr. Klaus Richter (EMPA)	Haltbarkeit bei direkter Wetterbeanspruchung (Exposition s/w)	2 - 4	3 - 6	6 - 12
Holzforschung Österreich	Wartung und Renovati- on in Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung	Imprägnierlasur Dünnschichtlasur	Mittelschichtlasur	(Dickschichtsystem) Deckender Lack
	- geschützt - exponiert	3 - 4 1 - 2	5 - 7 2 - 3	10 - 15 8 - 10

Abb. 2-8: *Instandsetzungsintervalle bei Holzfassaden* ¹⁴

¹⁴ https://gzholzbau.ch/wp-content/uploads/2020/01/3-6-11_D_Qualit%C3%A4t_Einflussfaktoren.pdf, S.6

2.1.4 Metallbekleidung

Metallfassade 1+2

Es werden in dieser Studie 3 Metallfassaden untersucht. Die Metallfassade 1+2 sind **reine Metallfassaden** (Glattblechfassade Stahl beschichtet / Glattblechfassade Aluminium beschichtet¹⁵). Die Metallfassaden sind durchdringungs- und wartungsfrei. Durch die projektbezogene Fertigung wird die Umsetzung von individueller Architektur in Aufbau, Form, Farbe und Beschichtung ermöglicht. Die ebenen Oberflächen der Profile und Deckbreiten bis 800 mm geben Außenflächen eine beeindruckend großzügige Linie. Die unterschiedlichen Profilbreiten und Verlegemöglichkeiten sorgen für Vielfalt in der Gestaltung. Es kommen unterschiedliche Unterkonstruktionen zur Anwendung. Der wirtschaftlich entscheidende Vorteil liegt im hohen Vorfertigungsgrad und der einfachen und schnellen Verlegung. Beim System der vorgehängten hinterlüfteten Fassade sorgt die konstruktive Trennung von Dämmung und Bekleidung und der Hinterlüftungsquerschnitt für eine optimale Funktion. Der Einsatz von recyclingfähigen Bauprodukten und die gute Rückbau- und Wiederverwendbarkeit sind zentrale Aspekte des ökologischen Bauens. Der Metallleichtbau von dieser Metalbaufirma erfüllt diese und ist dabei noch schadstofffrei, langlebig, leicht demontierbar und verfügt über eine hohe Materialeffizienz. Die Produkte aus Metall gefertigt sind zu 100 % recyclingfähig. Es werden alle Metallprofile nie zu Abfall, sondern als Wertstoff immer wieder neu genutzt. Ein intelligenter industrieller Kreislauf, der Ressourcen schont.¹⁶¹⁷

¹⁵ Domico Planum 27

¹⁶ Vgl. <https://www.domico.at/produkte/metallfassaden/>

¹⁷ Vgl. Kapitel 3.2.2 Rückbau und Nutzung mit kritischer Betrachtung

In der vorliegenden Studie werden folgende Varianten bei der Metallfassade 1 +2 betrachtet:

- a) **Glattblechfassade Stahl** beschichtet (Domico- Planum-Profil 27)
- b) **Glattblechfassade Aluminium** beschichtet (Domico- Planum-Profil 27)

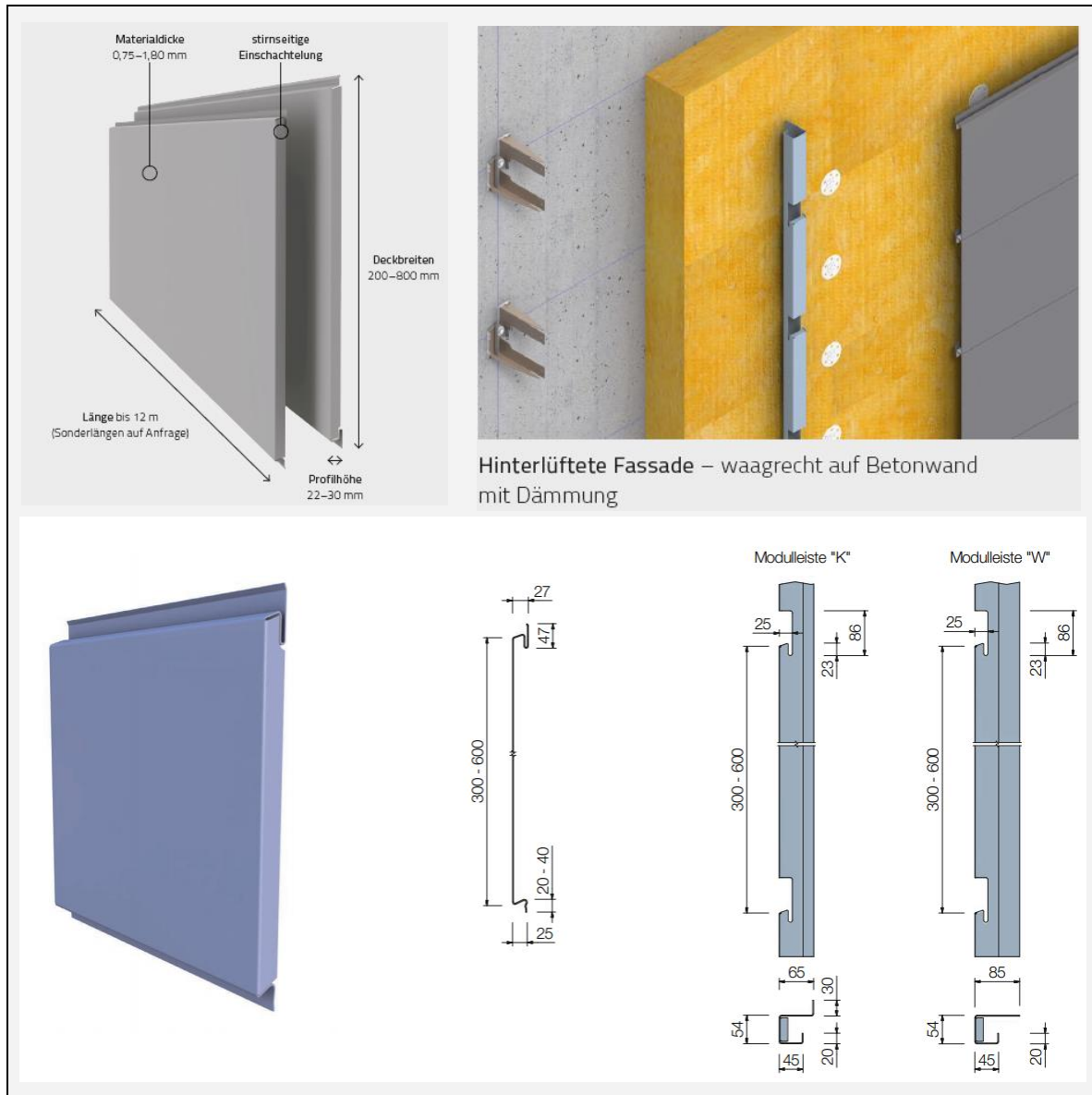


Abb. 2-9: Fassadenkonstruktion DOMICO¹⁸

¹⁸ <https://www.domico.at/produkte/metallfassaden/planum-fassade/>

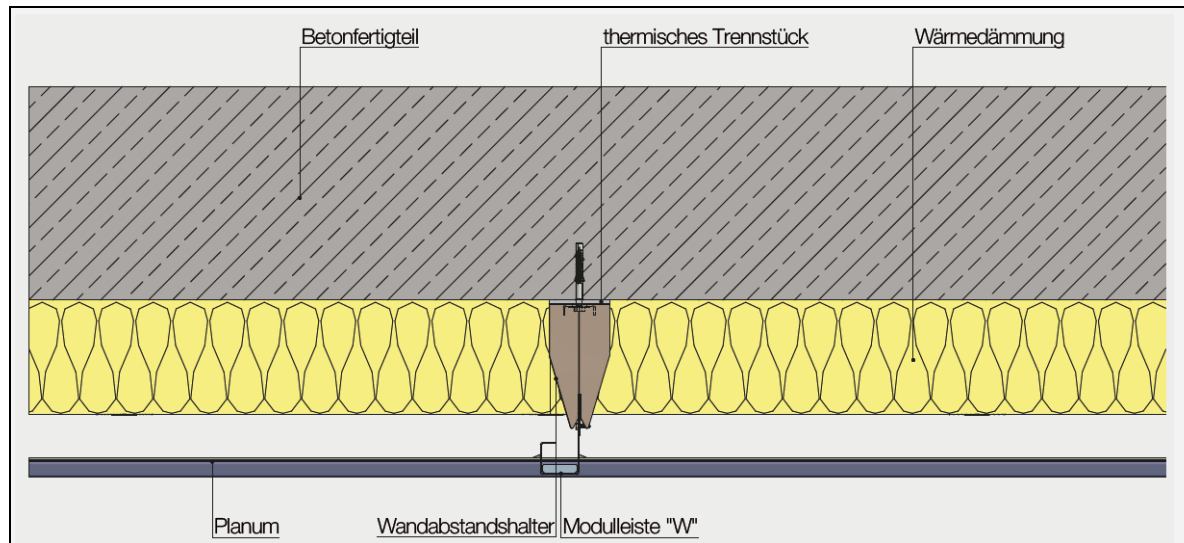


Abb. 2-10: Fassadenkonstruktion DOMICO ¹⁹



Abb. 2-11: Beispiel: LKH-GRAZ, Planum-Fassade DOMICO ²⁰

¹⁹ <https://www.domico.at/produkte/metallfassaden/>

²⁰ <https://www.domico.at/produkte/metallfassaden/>

Metallfassade 3

Als weitere Variante einer Metallfassade wird eine **Aluminiumverbundkonstruktion**²¹ aus zwei Aluminiumblechen mit mineralischem Kern betrachtet.

Die Aluminiumverbundplatten sind schwer entflammbar bzw. nicht brennbar und erfüllen alle relevanten Standards weltweit. Durch den mineralischen Kern werden die sehr hohen Anforderungen der Brandschutzrichtlinien erfüllt und erweitert dadurch die Möglichkeiten der Konzeption und Gestaltung von Gebäuden.

Die betrachtete Konstruktion ist schwer entflammbar und bietet die bewährten Produkteigenschaften dieser Metallbaufirma wie Planheit, Oberflächen- und Farbvielfalt, Verformbarkeit, Witterungsbeständigkeit und einfachen Verarbeitung.

Die konstruktiv vorgehängte Technik ist geeignet zur Fassadengestaltung an Neu- und Altbauten sowie Dachkonstruktionen und Innenanwendungen. Als Unterkonstruktion kommen Wandwinkel und Tragprofile aus Aluminium zur Anwendung. Die langlebigen Oberflächen aus Aluminium werden im kontinuierlichen Walzverfahren beschichtet. Durch diese hochvernetzte Oberfläche wird Schmutzhaftung nur schwer ermöglicht. Leichte Verunreinigungen sind umweltschonend mit Wasser und ggf. neutralen Reinigungsmitteln abzuwaschen. Die Fassade hat eine hohe Langlebigkeit mit hoher Funktionssicherheit und Wartungsfreiheit. Die Verbundplatten sind voll recycelbar und die Materialien werden in den Materialkreislauf zurückgeführt.²²²³

²¹ ALUCOBOND® PLUS

²² Vgl. https://alucobond.com/cms/deliver/ALUCOBOND_Facade_fascination_DE.pdf

²³ Vgl. Kapitel 3.2.2 Rückbau und Nutzung mit kritischer Betrachtung

In der vorliegenden Studie wird folgende Variante bei der Metallfassade 3 betrachtet:

- **Aluminiumverbundplatte** aus zwei Aluminiumblechen

Plus: Dicke 4 mm, mit mineralisch gefüllten Kern (erhöhter Brandschutz)

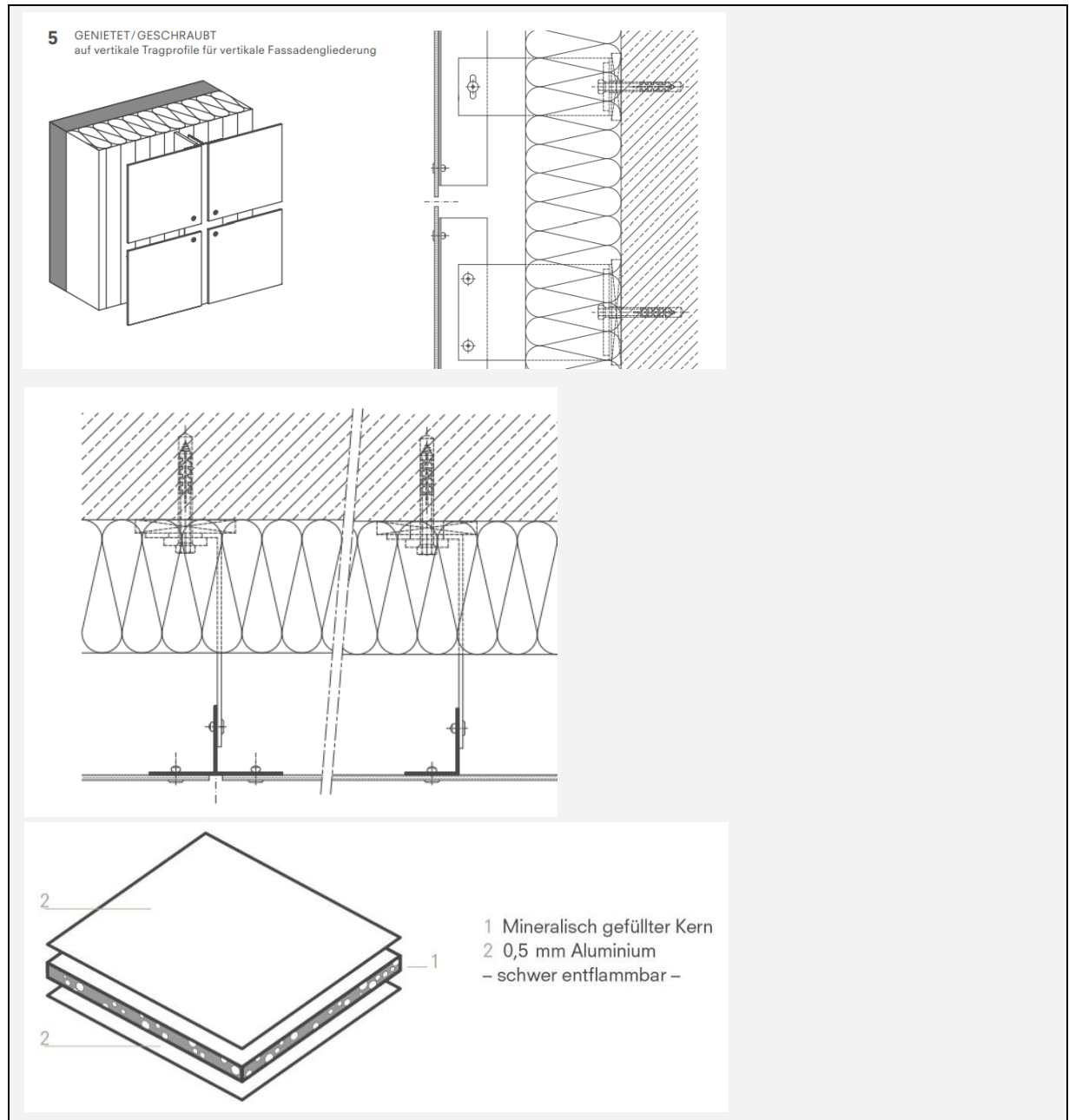


Abb. 2-12: Fassadenkonstruktion ALUCOBOND²⁴

²⁴ <https://alucobond.com/products>

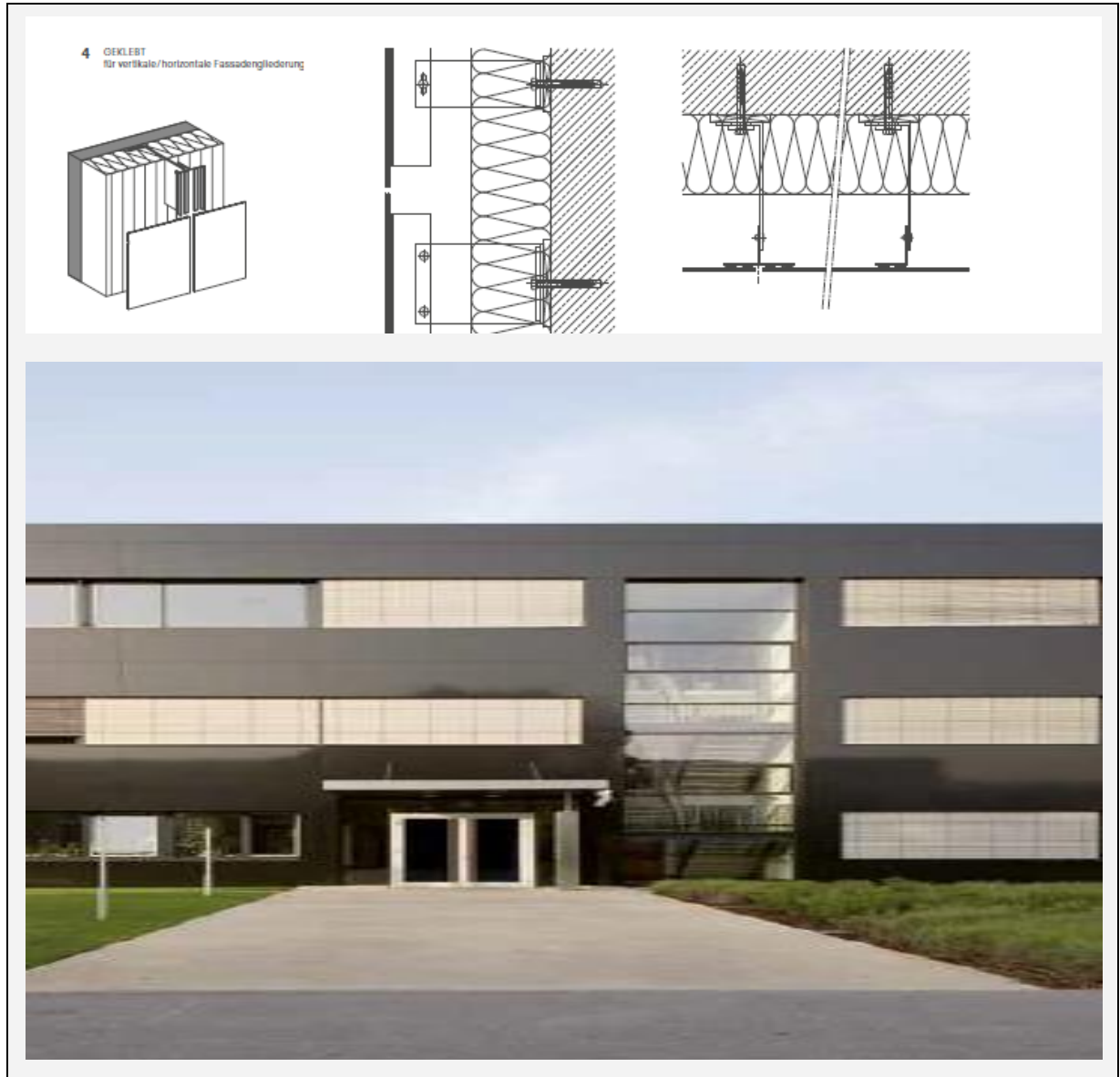


Abb. 2-13: Beispiel: IMF TERTIA GMBH, Lannach, Alucobond- Fassade ²⁵

²⁵ <https://alucobond.com/products>

3 Theoretische Betrachtung

3.1 Allgemeines zum Lebenszyklus

Durch den zunehmend ganzheitlichen Ansatz im Bauwesen, der die ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekte über den gesamten Lebenszyklus von der Planung, Herstellung, über die Nutzung bis hin zum Rückbau und Recycling berücksichtigt, werden Gebäude bzw. Fassaden nicht mehr nur auf Basis der Herstellungskosten beurteilt. Jedoch werden Einflüsse, wie z.B. ökologische Aspekte oder auch die Folgekosten, die aus Nutzung, Instandhaltung, Wartung, Reinigung und Rückbau entstehen, in der Regel heute wenig beachtet. Diese überschreiten üblicherweise die Aufwendungen für die Herstellung um ein Vielfaches. Das größte Potential zur Optimierung der Aufwendungen in der Nutzungsphase besteht in der frühen Planungs- und Bauphase²⁶, wie folgende Grafik Abb. 3-1 zeigt.

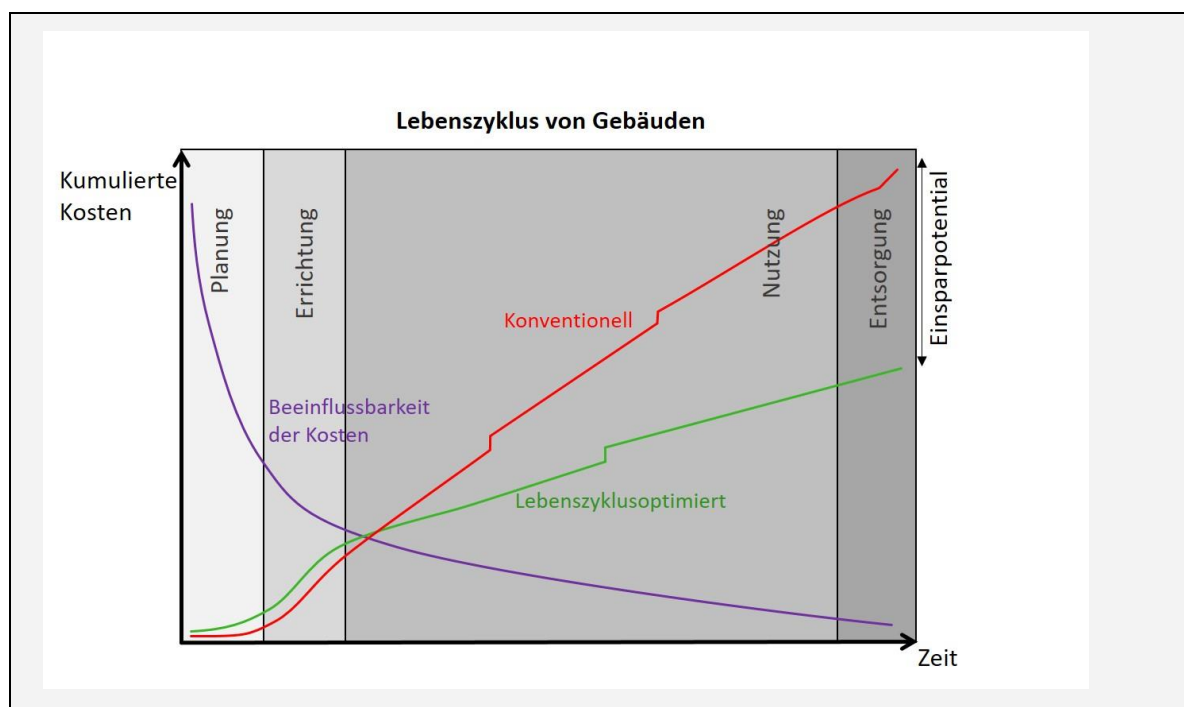


Abb. 3-1: *Lebenszyklus eines Gebäudes* ²⁷

²⁶ Vgl. Hasler 2015

²⁷ Eigene Darstellung

3.2 Wirtschaftlicher Fassadenvergleich

In der vorliegenden Studie wurden Berechnungen mit Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus von ausgewählten Fassadenkonstruktionen durchgeführt. Dabei wurden folgende Fassadentypen betrachtet:

- Verbundfassade auf monolithischer Wand
50 cm por. Hochlochziegel
- Verbundfassade auf monolithischer Wand
38 cm por. Hochlochziegel mit Mineralwollefüllung
- Verbundfassade- WDVS EPS
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton
- Verbundfassade- WDVS MW
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton
- Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Holz (2 verschiedene Varianten)
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton
- Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Faserzement
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton
- Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Metall (3 verschiedene Ausführungen)
Rohbau: 25 cm Stahlbeton/ Hochlochziegel/ Mantelbeton

Die prognostizierten **Nutzungsdauern** sowie **Instandhaltungs-Zyklen** wurden aus verschiedenen Literaturangaben abgeleitet, wie zum Beispiel Nutzungsdauertabellen der Sachverständigen²⁸ oder Herstellerangaben .

Die Kosten wurden mittels der Barwertmethode berechnet, es wurde ein Zinssatz von 2% zu Grunde gelegt.

Für die Herstellung der Fassade wurde die Finanzierung über einen Kredit angenommen. Die Laufzeit dieses Kredites beträgt 30 Jahre, die Kreditzinsen betragen 1,5% p.a. Die Reinigung, Instandhaltung und der Abbruch und die Entsorgung werden ohne Kredit finanziert.

²⁸ Vgl. Nutzungsdauerkatalog 2020.

Die Herstellungskosten für alle Fassaden und für die Erneuerung des Anstriches wurden bei verschiedenen ausführenden Unternehmen auf Basis von abgerechneten Baustellen recherchiert. Zur Berechnung wurde der jeweilige Mittelwert verwendet.

Die Kosten für die Reinigung wurden bei mehreren Reinigungsunternehmen angefragt, da die Reinigungskosten in einem hohen Maß von der Zugänglichkeit der Fassade bestimmt werden. Es wurden zwei Varianten betrachtet²⁹:

- a. Erreichbarkeit der Fassade mit einer Hebebühne (niedrige Reinigung)
- b. Fassadengerüst erforderlich (hohe Reinigung)

Die Kosten für den Abbruch wurden bei Abbruchunternehmen angefragt, die Entsorgungskosten wurden aus den tatsächlichen Massen unter zu Grunde Legung der Deponiekosten ermittelt. Die Transportkosten wurden nicht berücksichtigt, da sie maßgeblich vom Standort des Gebäudes abhängen.

Die der Berechnung zu Grunde gelegten Kosten wurden im Sommer 2020 und ergänzend im Winter 2020/2021 erhoben.

Bei Fassadensystemen, die bereits in der Vorgängerstudie ausführlich behandelt wurden, wurden die Daten übernommen. Die Kosten für Herstellung und Nutzung wurden dabei in der vorliegenden Studie mit dem Baukostenindex³⁰ von 9% aufgeschlagen. Die Kosten für die Entsorgung (Deponiekosten) wurden im Winter 2020/2021 neu erhoben.

Die Entwicklung der Kosten ist nicht vorhersehbar, im Besonderen ist die Verteuerung der Entsorgung schwer prognostizierbar. Aufgrund der sich verändernden gesetzlichen Rahmenbedingungen können sich Anpassungen ergeben, ebenso durch mögliche Schutzmaßnahmen und besondere Vorkehrungen.

²⁹ Die Gerüstkosten sind in den Herstellungskosten inkludiert.

³⁰ https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/preise/baukostenindex/031581.html

3.2.1 Aufbau der unterschiedlichen Fassadenkonstruktionen:

Verbundfassade auf monolithischer Wand- 50 cm por. HLZ

Schicht	Dicke [cm]	ρ [kg/m ³]
Innenputz	1,5	1200
HLZ Wienerberger 50-20 H.i. Plan	50	800
Außenputz AP1 (WD-Putz + Edelputz)	4	280

Verbundfassade auf monolithischer Wand- 38 cm por. HLZ mit Mineralwollefüllung

Schicht	Dicke [cm]	ρ [kg/m ³]
Innenputz	1,5	1200
HLZ Wienerberger Porotherm 38 W.i. Plan (mineralwollegefüllt)	38	620
Außenputz AP2 (WD-Putz + Edelputz)	4	280

Rohbauvarianten

Schicht	Dicke [cm]	ρ [kg/m ³]
HLZ Wienerberger 25-38 N+F	25	798
Stahlbeton 25 cm	25	2500
Mantelbeton 25 cm (Durisol DMI 25/18)	25	1624

Verbundfassade- WDVS EPS

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Klebspachtel	0,5
EPS-F +	14,0
Spachtelung	0,3
Deckputz	0,3

Verbundfassade- WDVS MW

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Klebspachtel	0,5
MW-PT	16,0
Spachtelung	0,5
Deckputz	0,3

Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Holz 1

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Mineralwolle Fassadendämmplatte	16,0
Glasvlies	-
Unterkonstruktion mit Distanzschrauben Holz/Hinterlüftung	ca. 3,0
Sturzschalung Lärche	5,0

Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Holz 2

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Mineralwolle Fassadendämmplatte	16,0
Glasvlies	-
Unterkonstruktion mit Konterlattung Holz/Hinterlüftung	ca. 6,0
Wechselfalzschalung Fichte	2,50

Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) FZ

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Mineralwolle Fassadendämmplatte	16,0
Glasvlies	-
Unterkonstruktion Alu/Hinterlüftung	ca. 5,0
Faserzement-Großtafeln	1,2

Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Metall 1

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Mineralwolle Fassadendämmplatte	16,0
Glasvlies	-
Unterkonstruktion Stahl/Hinterlüftung	Ca. 5,0
Metallplatten- Stahl	0,1

Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Metall 2

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Mineralwolle Fassadendämmplatte	16,0
Glasvlies	-
Unterkonstruktion Alu/Hinterlüftung	Ca. 5,0
Metallplatten-Aluminium	0,15

Vorgehängt hinterlüftete Fassade (VHF) Metall 3

Schicht	Dicke [cm]
Innenputz	1,5
Rohbau variabel	25,0
Mineralwolle Fassadendämmplatte	16,0
Glasvlies	-
Unterkonstruktion Stahl/Alu/Hinterlüftung	Ca.5,0
Metall- Verbundplatte aus 2 Aluminium-Deckblechen 0,5mm mit mineralisch gefüllten Polymerkern	0,4

3.2.2 Rückbau und Nutzung

Betrachtet man den Rückbau von Fassadendämmsystemen, die nicht zu den Standard-Wärmedämmverbundsystemen zählen³¹, gibt es eine große Spannweite an Arbeitsaufwand beim selektiven Abbruch. Die Demontage von vorgehängt hinterlüfteten Systemen ist in der Regel einfach, da es sich meist um mechanisch befestigte Konstruktionen handelt, die eine konstruktive Trennung von Dämmung und Bekleidung aufweisen. Die einzelnen Materialien können sortenrein getrennt werden und gezielt einer Wiederverwertung (z.B. Metalle) zugeführt werden. Die Dämmung, die bei diesen Systemen aus Mineralwolle besteht, könnte zwar als Recyclingmaterial in der Dämmstoffproduktion eingesetzt werden, jedoch wird dies aus wirtschaftlichen Gründen (Transport zum Herstellwerk) nicht umgesetzt. Die Mineralwolle wird derzeit auf Baurestmassendeponien deponiert.

Betrachtet man die Nutzungsphase von Fassaden so ist festzustellen, dass regelmäßiges Warten und Pflegen die Lebensdauer einer Fassade deutlich verlängert. Die Bausubstanz sowie die Repräsentanz einer Fassade bleiben somit lang erhalten. Dies schließt den regelmäßigen Unterhalt von Fassadenoberflächen mit ein, zum einen aus optischen und hygienischen aber auch aus technischen Gründen.

Nutzungsdauer und Instandhaltungszyklen

Rohbau

Für den Rohbau³² wird eine Bestandsdauer von 80 Jahren angenommen. Wartung/ Reinigung entfallen. Der Innenputz wird in die Betrachtung des Rohbaus inkludiert.

Außenputz (AP1+2)

Als Außenputz wird bei den monolithischen Außenwänden ein Wärmedämmputz + Edelputz betrachtet. Es wurde eine Nutzungsdauer von 40 Jahren zu Grunde gelegt. Als Reinigungs-/ Anstrichs-Zyklus wird ein Intervall von 15 Jahren angenommen.

In Kombination mit dem HLZ 38³³, ergeben sich für den Außenputz AP2 deutlich höhere Entsorgungskosten, als in Kombination mit dem HLZ 50³⁴, da das gesamte Außenwandssystem als

³¹ Verweis auf Vorgängerstudie

³² HLZ Wienerberger 25-38 N+F/ Stahlbeton 25 cm/ Mantelbeton 25 cm (Durisol DMI 25/18)

³³ HLZ Wienerberger Porotherm 38, W.i. Plan (mineralwollegefüllt)

³⁴ HLZ Wienerberger 50-20 H.i. Plan

Ganzes entsorgt werden muss (inkl. mineralischer Anteile) und keine sortenreine Trennung möglich ist. Die Deponiekosten lassen somit die Entsorgungskosten steigen.

WDVS-EPS

Für das WDVS wurde eine Nutzungsdauer von 30 Jahren zu Grunde gelegt, die ungeschützte Fassade ist wegen der starken Algenbildung in einem Intervall von 7,5 Jahren zu reinigen, nach 15 Jahren ist zusätzlich der Anstrich zu erneuern. Ist die Fassade durch ein Vordach geschützt, kann die häufige Reinigung entfallen.

Der Abbruch erfolgt mit dem Bagger durch „Abschälen“ mit dem Böschungslöffel. Eine sortenreine Trennung der einzelnen Materialien wird derzeit nicht umgesetzt. Der verunreinigte Dämmstoff wird einer Verbrennungsanlage zugeführt, die mineralischen Bestandteile werden deponiert.

WDVS-MW

Für dieses System wurde eine Nutzungsdauer von 30 Jahren zu Grunde gelegt, die Fassade ist in Bezug auf die Algenbildung als wesentlich weniger anfällig als die EPS-Fassade zu bezeichnen, sodass eine Reinigung und Erneuerung des Anstriches nach 15 Jahren durchgeführt wird. Der Rückbau wird durch Abschälen mit dem Bagger bewerkstelligt, die Materialien werden nicht sortenrein getrennt und können deponiert werden.

VHF- Holz

Es werden in dieser Studie zwei unterschiedliche Holzfassaden untersucht. **Holzfassade 1** ist eine unbehandelte splintholzfremde Lärchenholz-Fassade (wartungsfrei) und **Holzfassade 2** ist eine oberflächenbehandelte Fichtenholz-Fassade (wartungsarm in 3 Varianten: Anstrichintervall 10 Jahre und 5 Jahre sowie eine Variante mit Vorvergrauung ohne Wartungsanstrich).

Allgemein betrachtet sind die Gestaltungsmöglichkeiten bei Holzfassaden je nach Wahl der Holzart, Art der Montage und Oberflächenbehandlung ganz individuell.

Fichtenholz ist aufgrund der Verfügbarkeit und hohen Festigkeit das wirtschaftlichste Bauholz. Oberflächenbehandlungen sind gut möglich.

Lärchenholz wird häufig ohne Oberflächenbehandlung im Fassadenbau eingesetzt aufgrund der hohen Dauerhaftigkeit. Eine vertikale Verlegung der Holzfassade ist einer horizontalen vorzuziehen aufgrund des konstruktiven Holzschutzes.

Werden schichtbildende Anstriche wie Lacke verwendet, überdecken diese die natürliche Maserung von Holz und sind je nach Bewitterung regelmäßig zu erneuern, um die Schutzfunktion sowie das Erscheinungsbild zu erhalten. (vgl. Abb. 3-2)

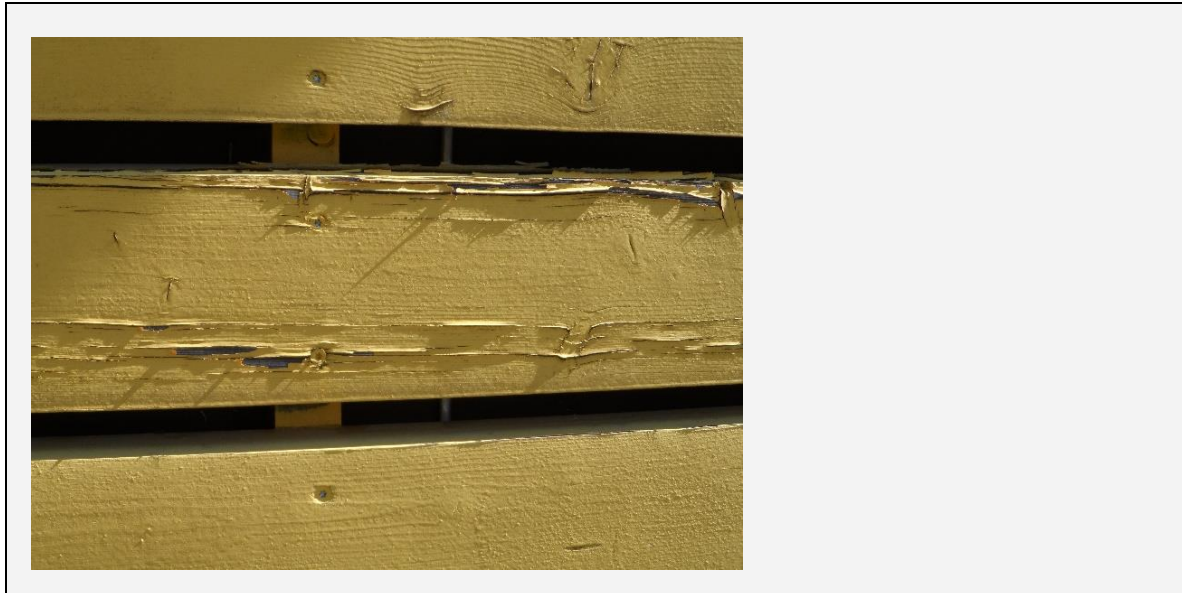


Abb. 3-2: *Schichtbildender Anstrich bei einer Holzfassade bei unterlassener Anstricherneuerung nach 12 Jahren Nutzungszeit*³⁵

Holzfassaden gelten allgemein je nach Oberflächenbehandlung als wartungsarm oder wartungsfrei. Als Nutzungszeit werden in der vorliegenden Studie für die Lärchenholz-Fassade als auch für die Fichtenholz-Fassade 40 Jahre als realistisch angenommen. Die gesamte Lebensdauer einer Holzfassade kann um ein vielfaches höher sein.

Eine Fassadenreinigung bei diesen Fassaden ist während der gesamten Nutzungszeit nicht erforderlich. Die Veränderungen bei unbehandelten Fassaden durch die natürliche Abwitterung des Holzes sind nicht zu verhindern und stellen keinen Mangel dar. Teilweise sind jedoch unregelmäßige Farbveränderungen durch ablaufendes Niederschlagswasser festzustellen, die in starker Abhängigkeit von der Himmelsrichtung stehen. Hier sind konstruktive Schutzmaßnahmen wie Überdachungen sinnvoll. Verwitterungserscheinungen bei behandelten Holzfassaden fallen geringer aus. Je nach Art der Oberflächenbehandlung sind diese jedoch in regelmäßigen Abständen zu erneuern. Exponierte Lagen sind zu vermeiden.

Eine weitere Möglichkeit der natürlichen Abwitterung mit Verzögerung entgegen zu wirken ist die Vorvergrauung. Lasuren in einem Grauton bieten hierbei Schutz, die natürliche Maserung bleibt erhalten und das Erscheinungsbild einer gleichmäßig abgewitterten Fassade ohne markanter

³⁵ Eigene Darstellung

Farbunterschiede wird erzeugt (siehe Abb. 3-5). Gegenüber Dünnschicht- und Mittelschichtlasuren erfordern Vergrauungslasuren nach derzeitigem Stand keine Nachbehandlung im Laufe der Nutzungszeit einer Fassade. Jedoch gibt es keine Langzeituntersuchungen.

Bei Vorvergrauungen gibt es unterschiedliche Methoden:

- Wässrige Vorvergrauungs-Lasuren
Einfach und günstig zu applizieren, jedoch bilden sie eine Schicht auf der Holzoberfläche und neigen zu Verfärbungen, so dass Pflege und Wartung nötig ist.
- Öl-basierende, hydrophobierende Vorvergrauungs-Lasuren
Gutes Eindringvermögen in die Holzoberfläche, nicht schichtbildend. Die Holzoberfläche wird imprägniert und ist dadurch rissärmer, so dass eine verzögerte gleichmäßige natürliche Abwitterung stattfinden kann.
- Natürliche Vorpatinierung
Beschleunigte und kontrollierte natürliche Vorvergrauung mit Pilzkulturen, die mehrere Monate dem Wetter ausgesetzt ist. Nachteil sind die langen Lieferzeiten und der hohe Preis.
- Druckimprägniert
Chemischer Schutz mit gleichzeitiger grauen Einfärbung der Holzfasern an der Oberfläche. Die Farbverteilung ist nicht immer gleichmäßig und es kommt zu Farbunterschieden.



Abb. 3-3: *Natürliche Abwitterung einer unbehandelten Holz-Fassade nach 8 Jahren Nutzungszeit* ³⁶

³⁶ Eigene Darstellung



Abb. 3-4: *Natürliche Abwitterung einer unbehandelten Holz-Fassade nach 9 Jahren Nutzungszeit*³⁷

³⁷ Eigene Darstellung



Abb. 3-5: *Vorbehandelte Holz-Fassade mit Vergrauungslasur, Neuzustand* ³⁸

³⁸ Eigene Darstellung

VHF- FZ

Für dieses Fassadensystem wird eine Nutzungsdauer von 40 Jahren angenommen, eine Reinigung ohne Chemikalieneinsatz wird im Abstand von 10 Jahren für diese Betrachtung angenommen.

Die Oberfläche und die Farbgebung der Konstruktion ist ausschlaggebend für den Reinigungszyklus. Bei dieser Konstruktion werden keine Verbundkonstruktionen eingesetzt, eine sortenreine Trennung ist auf einfache Weise möglich. Die Unterkonstruktion aus Aluminium kann als Schrott verkauft werden und bringt einen Erlös welcher die Entsorgungskosten reduziert.

VHF- Metall

Es werden in dieser Studie 3 verschiedene Metallfassaden untersucht. **Metallfassade 1+2** sind reine Metallfassaden³⁹ und es werden keine Verbundkonstruktionen eingesetzt, eine sortenreine Trennung ist auf einfache Weise möglich. Die Unterkonstruktion aus Stahl/Aluminium sowie die Fassadenverkleidung aus Stahl/ Aluminium werden in den Materialkreislauf zurückgeführt. Sie können als Schrott verkauft werden und bringen einen Erlös, welcher die Entsorgungskosten reduziert.

Bei der **Metallfassade 3**, einer weiteren Variante,⁴⁰ kommen Verbundplatten zum Einsatz. Eine Trennung der Werkstoffe ist theoretisch und technisch möglich, jedoch wird dies aus wirtschaftlichen Gründen nicht umgesetzt, wie aus Recherchen bei Entsorgungsbetrieben zu erfahren war. Die Unterkonstruktion aus Stahl/ Aluminium kann wiederum als Schrott verkauft werden. Die hohen Entsorgungskosten ergeben sich aufgrund der hohen Deponiekosten, weil die Konstruktion nicht als reines Metall zu entsorgen ist.

Vorteil dieser Fassadensysteme ist der hohe Vorfertigungsgrad. Je nach Hersteller ist das System durchdringungsfrei und weist eine hohe Selbstreinigung auf. Bei Schäden können betroffene Verkleidungsteile einfach ausgetauscht werden.

Für dieses Fassadensystem wird eine Nutzungsdauer von 40 Jahren angenommen, eine Reinigung wird in der vorliegenden Betrachtung in 2 Varianten vorgenommen, im Abstand von 2 bzw.5 Jahren. Grundsätzlich ist eine Reinigung immer empfehlenswert, um die Qualität der Oberfläche sicher zu stellen.

³⁹ Domico Planum 27

⁴⁰ ALUCOBOND® PLUS

In welchem Abstand eine Reinigung durchzuführen ist, ist zum einen Standortabhängig und zum anderen von den Anforderungen(Repräsentativität) und Erwartungen der Nutzer/ Betreiber abhängig. Je nachdem kann eine Reinigung auch öfter vorgenommen werden, welches jedoch die Lebenszykluskosten steigen lässt.

Bei Konstruktionen, die mit Stoßfugen und Nieten/ Schrauben ausgeführt werden, ist eine häufigere Reinigung notwendig, da sich hier Schmutz absetzen kann bzw. sich Schmutzfahnen durch ablaufendes Niederschlagswasser stärker ausbilden.



Abb. 3-6: *Metallfassaden mit Verschmutzung* ⁴¹

Auch hier ist die Farbgebung und Oberfläche der Konstruktion ausschlaggebend für den Reinigungszyklus. So sind hochglänzende und dunkle Oberflächen öfter zu reinigen, da diese empfindlicher sind und der Schmutz eher auffälliger ist im Gegensatz zu gedeckten Oberflächen.

⁴¹ Eigene Darstellung

In Österreich gibt es derzeit noch keine Regelungen bzw. Richtlinien bzgl. der Beurteilung von Oberflächen. Es wird hier auf Angaben der Hersteller bzw. auf Erfahrungswerte bzgl. Wartungs- bzw. Reinigungszyklen zurückgegriffen.

Eine neue Richtlinie in der Schweiz zur visuellen Beurteilung im Fenster und Fassadenbau⁴² kann hier als Hilfsmittel dienen. Demnach können je nach Anforderungsniveau an die Oberflächenqualität, Veränderungen an Oberflächen bewertet werden.

Es kann z.B. zu Farbabweichungen/ Glanzunterschieden/ Vorkorrosion/ Stegabzeichnungen/ halbzeugbedingten Unebenheiten/ fertigungsbedingten mechanischen Beschädigungen etc. kommen.



Abb. 3-7: Beispiele für Veränderungen der Metall-Oberfläche im Laufe der Nutzungszeit unterschiedlicher Metallfassaden ⁴³

⁴² SZFF 41.08 Richtlinie zur visuellen Beurteilung im Fenster und Fassadenbau

⁴³ Eigene Darstellung

3.2.3 Zusammenstellung der Kosten

Tabelle 1 Kostenübersicht der Fassadenvarianten

Netto-Einzelkosten Stand 04/2021																
2	Diskontierung Zinssatz	30	Laufzeit Kredit	1,5	Kreditzinsen	30	Betrachtungszeitraum	Baustoff	Herstellung	Nutzung		Abbruch	Entsorgung	Abbruch	Entsorgung	
										Reinigung	Anstrich					Selektiv
€/m ²																
80	Bestandsdauer Rohbau															
								Rohbau	Hochlochziegel HLZ 50	144,50 €	-	-	-	-	4,38 €	9,11 €
									Hochlochziegel HLZ 38	164,50 €	-	-	-	-	3,36 €	50,72 €
									Hochlochziegel HLZ 25	79,50 €	-	-	-	-	2,25 €	6,09 €
									Stahlbeton Stb 25	131,50 €	-	-	-	-	3,71 €	9,58 €
									Mantelbeton MB 25	79,50 €	-	-	-	-	3,71 €	16,96 €
Bestands-	Reinigungs-	Anstrich-														
dauer	zyklus	zyklus														
40	15	15						Fassade	Außenputz 1	62,20 €	13,24 €	25,94 €	10,00 €	0,56 €	0,34 €	0,31 €
40	15	15							Außenputz 2	62,20 €	13,24 €	25,94 €	10,00 €	0,56 €	0,34 €	2,24 €
30	7	15							WDVS-EPS	71,70 €	13,24 €	25,94 €	14,81 €	0,99 €	14,81 €	0,99 €
30	15	15							WDVS-MW	91,64 €	13,24 €	25,94 €	15,31 €	9,20 €	15,31 €	9,20 €
40	-	-							Holz 1- Lärche	148,37 €	0,00 €	0,00 €	16,58 €	8,82 €	25,78 €	8,82 €
40	-	10							Holz 2- Fichte	130,20 €	0,00 €	17,70 €	16,58 €	8,02 €	25,78 €	8,02 €
40	10	-							Fasenzement FZ	195,36 €	7,85 €	0,00 €	18,86 €	7,00 €	28,06 €	7,00 €
40	5	-							Metall 1- Stahl	182,50 €	7,85 €	0,00 €	16,20 €	4,14 €	25,40 €	4,14 €
40	5	-							Metall 2- Alu	194,10 €	7,85 €	0,00 €	16,20 €	2,15 €	25,40 €	2,15 €
40	5	-							Metall 3- Aluverbund	292,30 €	7,85 €	0,00 €	16,20 €	6,75 €	25,40 €	6,75 €

3.2.4 Berechnungsergebnisse

Beispielhaft werden in den folgenden Diagrammen für ausgewählte Konstruktionen die Kosten dargestellt.

Diese Kosten werden in den Diagrammen nicht in absoluten Geldbeträgen, sondern als Vergleichswerte in Prozent dargestellt. Dabei wird die Fassade mit **WDVS EPS (Hochlochziegel als Rohbau)** immer als **Referenzfassade mit 100 %** in der jeweiligen Gegenüberstellung dargestellt (HLZ + EPS).

In Abb. 3-8 werden zunächst die Auswirkungen durch die Veränderung der Rohbaukonstruktion dargestellt. Es wurde hierbei eine Ziegelkonstruktion (**HLZ**) mit einer Stahlbeton- (**Stb**) bzw. Mantelbetonkonstruktion (**MB**) verglichen.

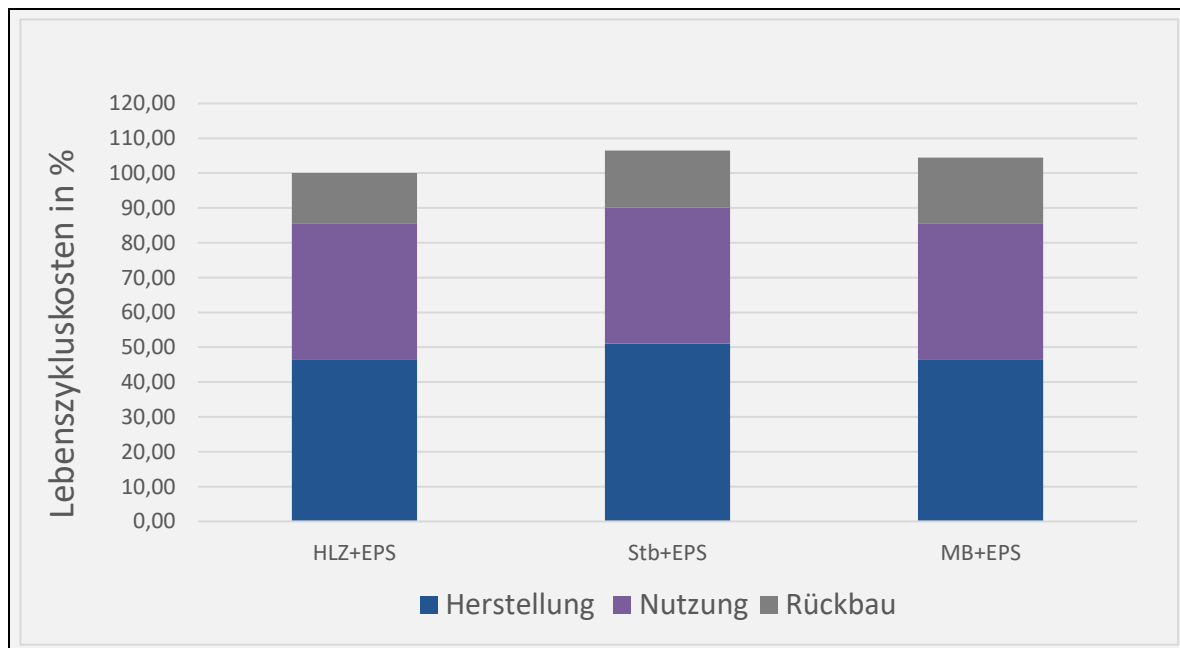


Abb. 3-8: Darstellung der LZK bei Veränderung des Rohbaus

In der folgenden Abb. 3-9 werden die Herstellungskosten (Erstherstellung) aller unterschiedlichen Fassadenvarianten verglichen.

Es geht aus der Gegenüberstellung hervor, dass die monolithischen Systeme mit Hochlochziegel und Außenputz und die WDVS vergleichsweise am günstigsten in der Herstellung sind, da die Einzelpreise einer solchen Fassade relativ preisgünstig im Vergleich zu den anderen Fassaden sind, vgl. Tabelle 1 Kostenübersicht der Fassadenvarianten.

Dies erklärt auch die weite Verbreitung dieser Systeme, da üblicherweise Entscheidungen bei der Konstruktionswahl durch Vergleichen der Herstellungskosten getroffen werden.

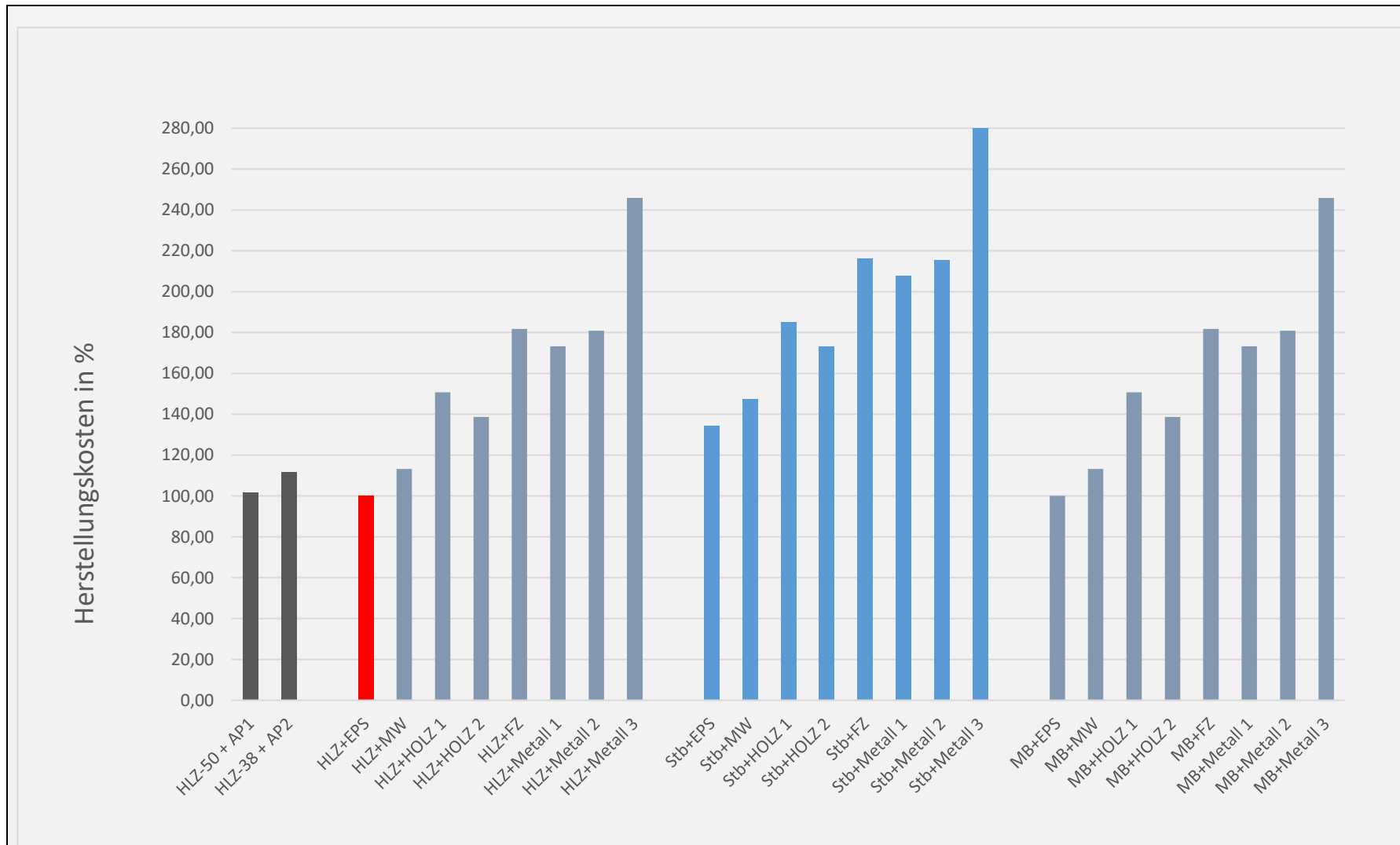


Abb. 3-9: Darstellung der Herstellkosten- Ersterstellung

Ein verändertes Bild als nur die Betrachtung der Herstellkosten aus Abb. 3-9 zeigt sich bei Betrachtung der Lebenszykluskosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren.

Die Kostenanteile sind nach Herstellungsphase, Nutzungsphase (Reinigung) und Nachnutzungsphase (Abbruch/ Entsorgung) aufgeteilt.

Im vorliegenden Fall wurden 80 Jahre Gesamtbestandsdauer für den Rohbau berücksichtigt. Dabei ist es erforderlich, das Fassadensystem z.B. WDVS mit einer Bestandsdauer von 30 Jahren, 2-mal in der betrachteten Zeit zu erneuern, gegenüber den vorgehängt hinterlüfteten Systemen, die mit einer Bestandsdauer von 40 Jahren nur 1-mal erneuert werden müssen.

In Abb. 3-10 wurden alle Systeme miteinander verglichen. Bei einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Fassadenkonstruktionen wesentlich geringer, die VHF mit unbehandeltem Holz ist demnach am günstigsten, es entstehen hier durch die wartungsfreie Konstruktion keine Kosten während der Nutzungsphase.

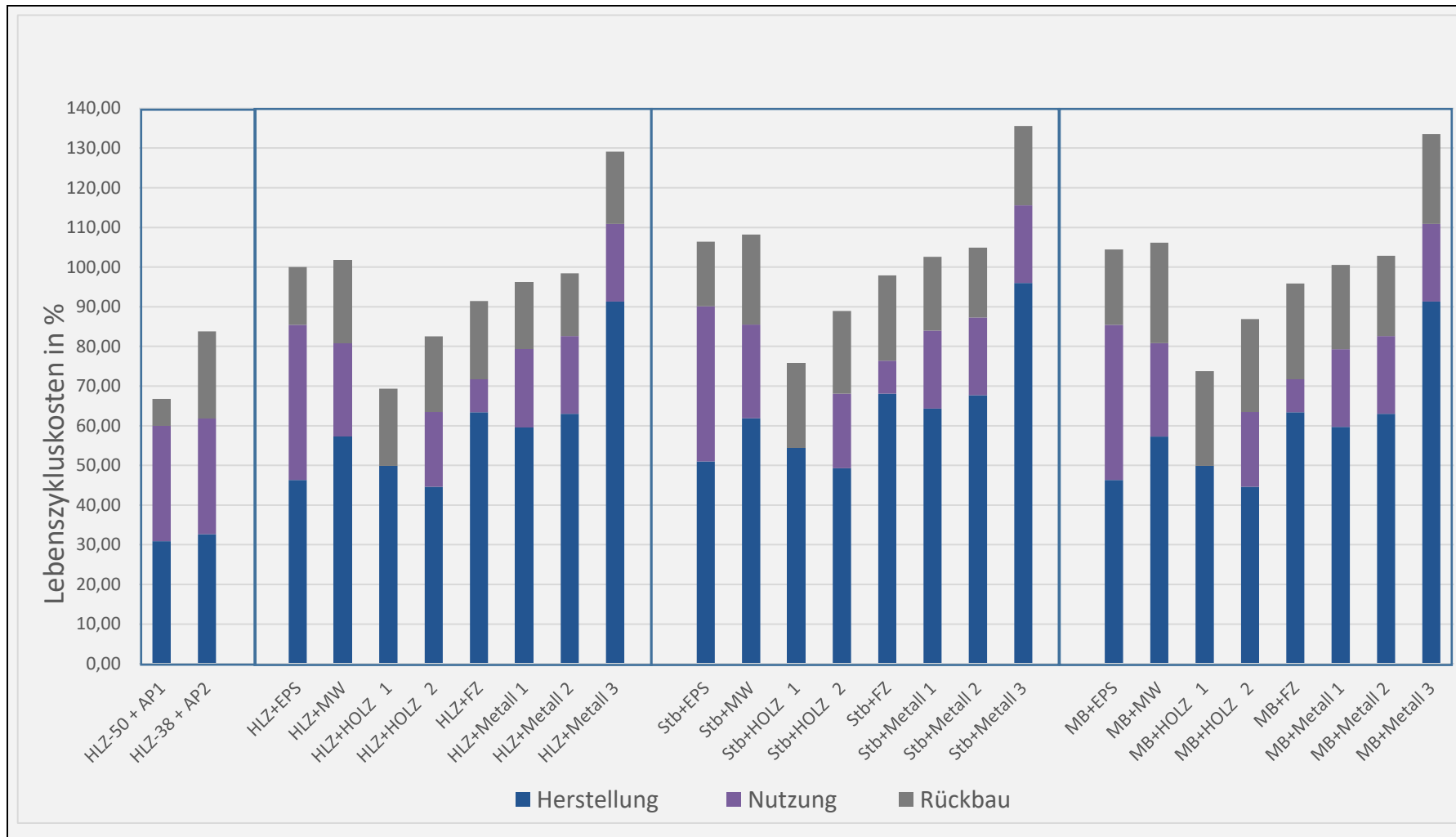


Abb. 3-10: Darstellung der LZK über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren aller Konstruktionen

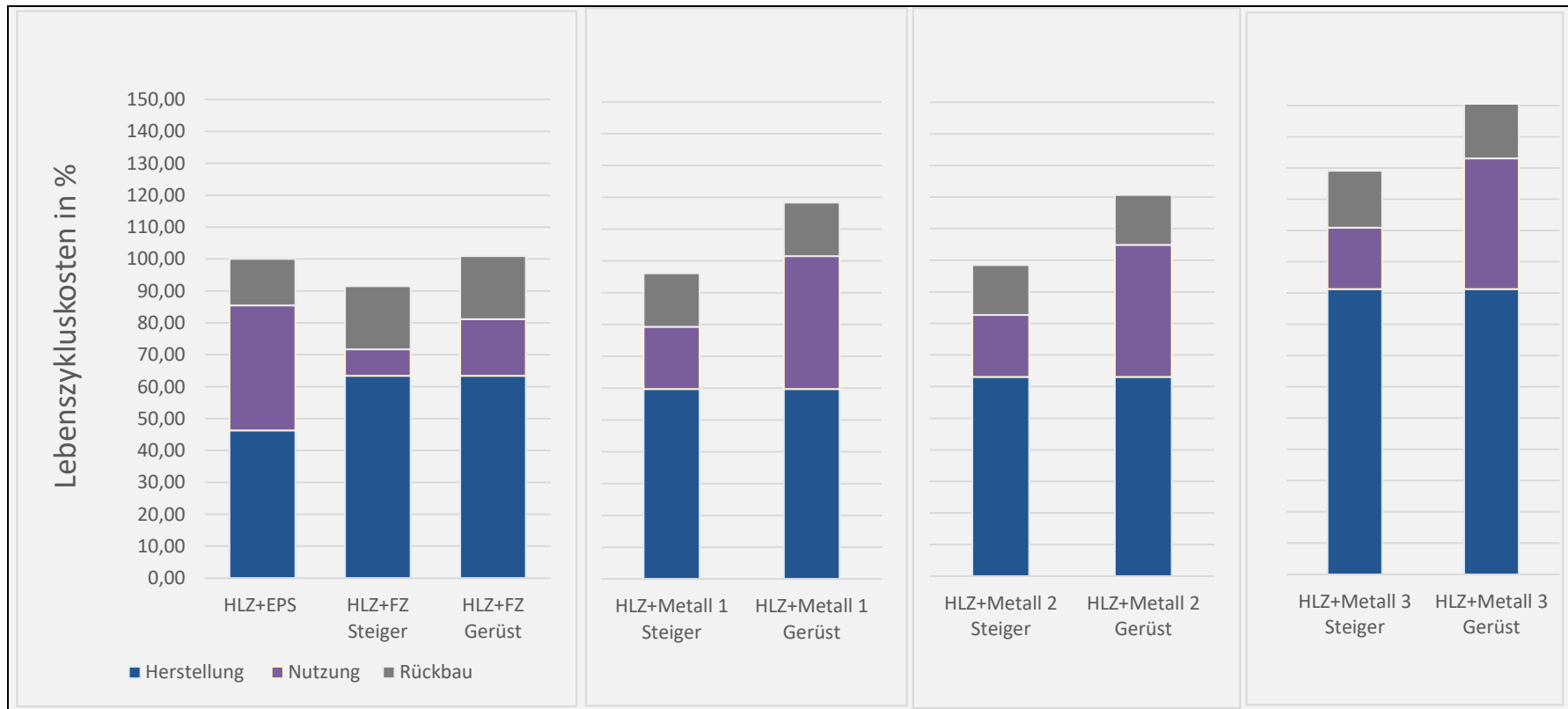


Abb. 3-11: Vergleich unterschiedlicher Reinigungsmöglichkeiten

Die Abbildung Abb. 3-11 zeigt einen Vergleich der Lebenszykluskosten der vorgehängt hinterlüfteten Fassaden (außer der Holzfassade), wobei sich die Nutzungsphase durch unterschiedliche Reinigungsmöglichkeiten unterscheidet. Es wurde hierbei eine Reinigung mit einer preisgünstigen Möglichkeit, mittels Steiger mit der Reinigung, mittels Gerüst als teurere Möglichkeit verglichen.

Folgende Abbildung Abb. 3-12 zeigt den Vergleich unterschiedlicher Reinigungs-Zyklen bei den Metallfassaden. Es wurden zum einen Fassaden mit normalen Anforderungen (5 Jahre) mit Fassaden höherer Anforderungen verglichen. Hier ist ein kürzerer Reinigungszyklus (2 Jahre) angenommen worden, welches die Kosten in der Nutzungsphase steigen lässt.

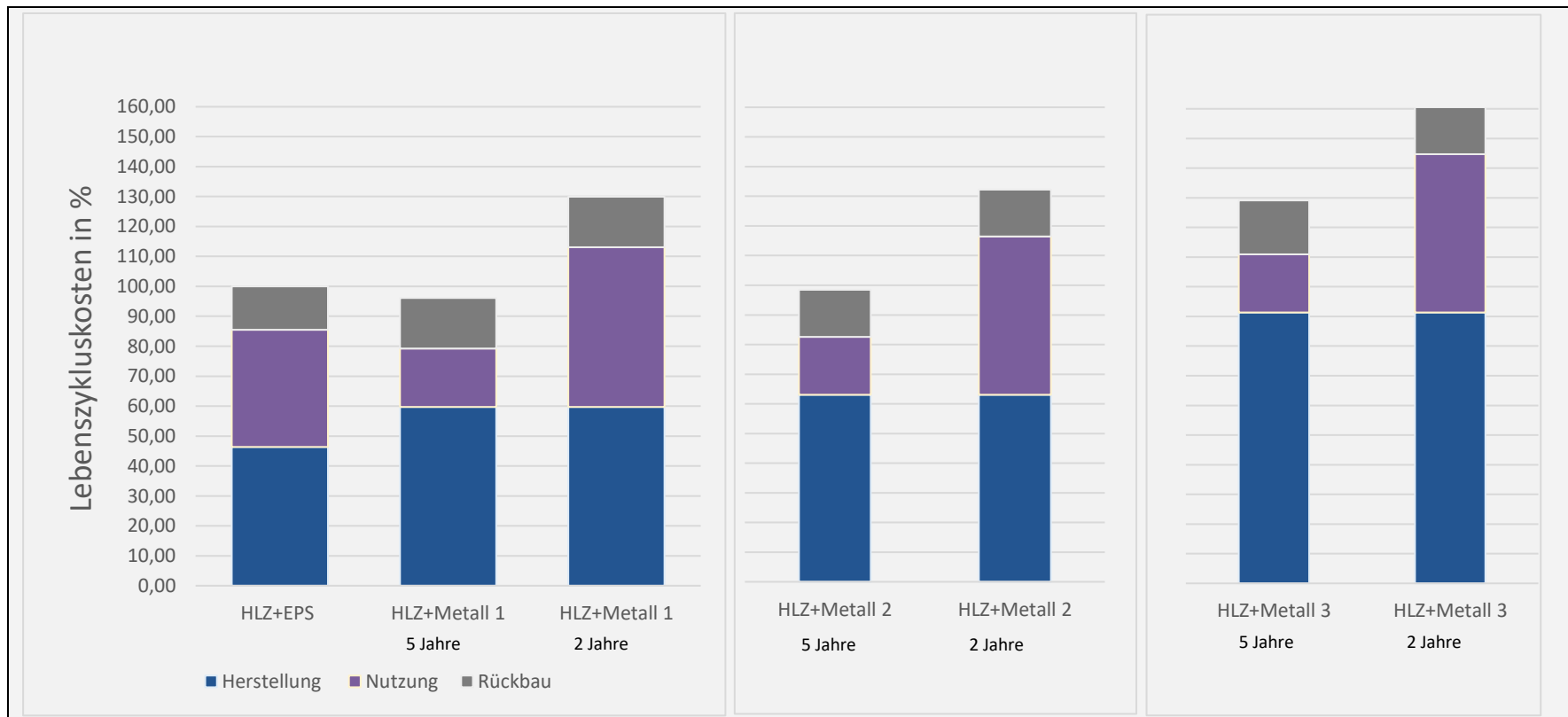


Abb. 3-12: Vergleich unterschiedlicher Reinigungs-Zyklen Metall

Folgende Abbildung Abb. 3-13 zeigt den Vergleich unterschiedlicher Holzfassaden. Es wurde eine Holzfassade mit Fichtenholz behandelt mit unterschiedlichen Anstrichzyklen (10 Jahre und 5 Jahre) mit einer Holzfassade mit Fichtenholz, die nur einmal vor ihrer Nutzung vorbehandelt wird (vorvergraut) ohne weiteren Anstrich während der Nutzungszeit. Als weiteren Vergleich dient die Holzfassade mit unbehandeltem Lärchenholz. Man sieht deutlich den Unterschied in der Nutzungsphase aller Holzfassaden.

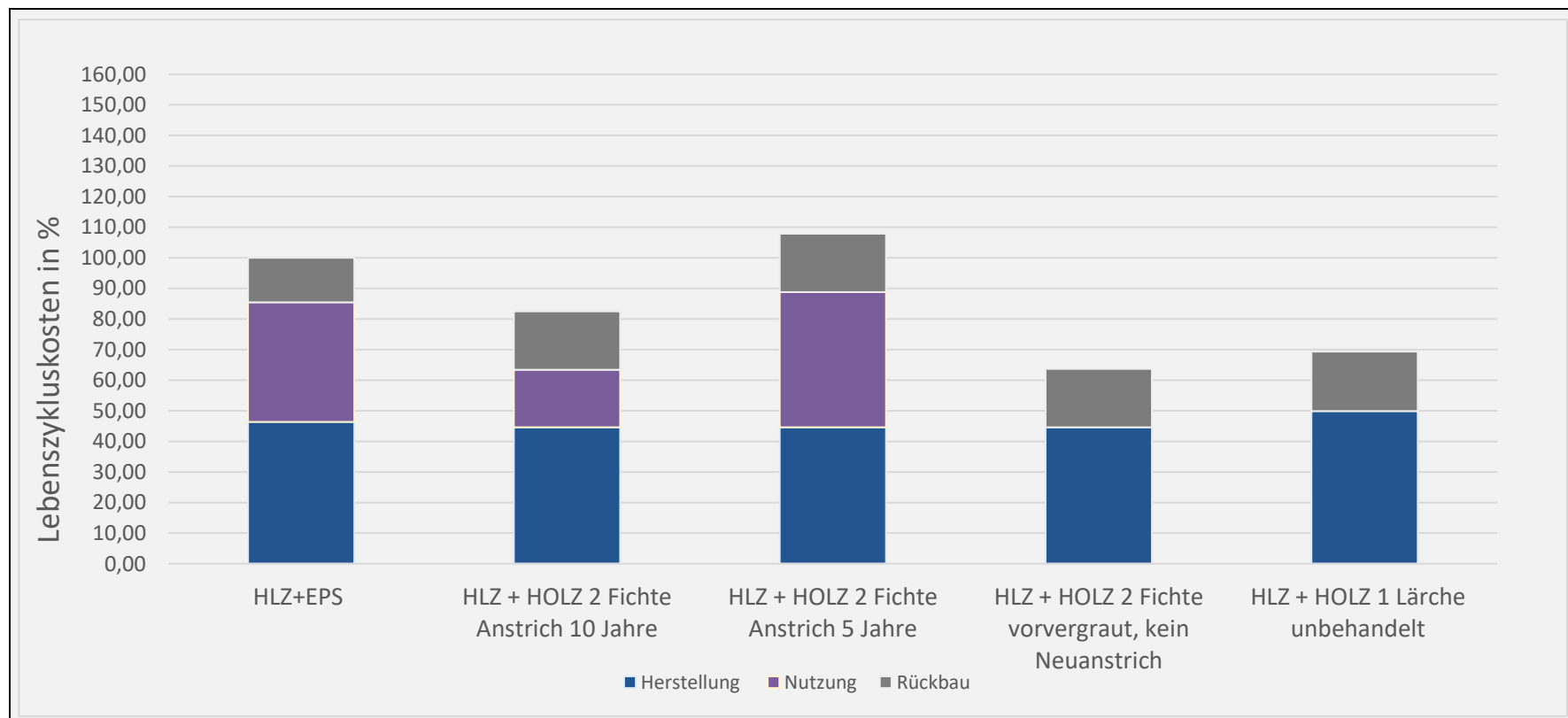


Abb. 3-13: Vergleich Holzfassaden mit unterschiedlichen Anstrichzyklen

Die Darstellungen und Berechnungen zeigen eindeutig, dass die alleinige Betrachtung der Herstellungskosten keine ausreichende Grundlage bei der Auswahl einer Fassadenkonstruktion sein kann. Nur unter Einbeziehung der Folgekosten durch die Nutzungsphase und Nachnutzungsphase mit Reinigung, Abbruch, Entsorgung und der jeweiligen Zyklen erhält man eine zuverlässige Entscheidungshilfe, da nur dadurch die gesamten Lebenszykluskosten berücksichtigt sind.

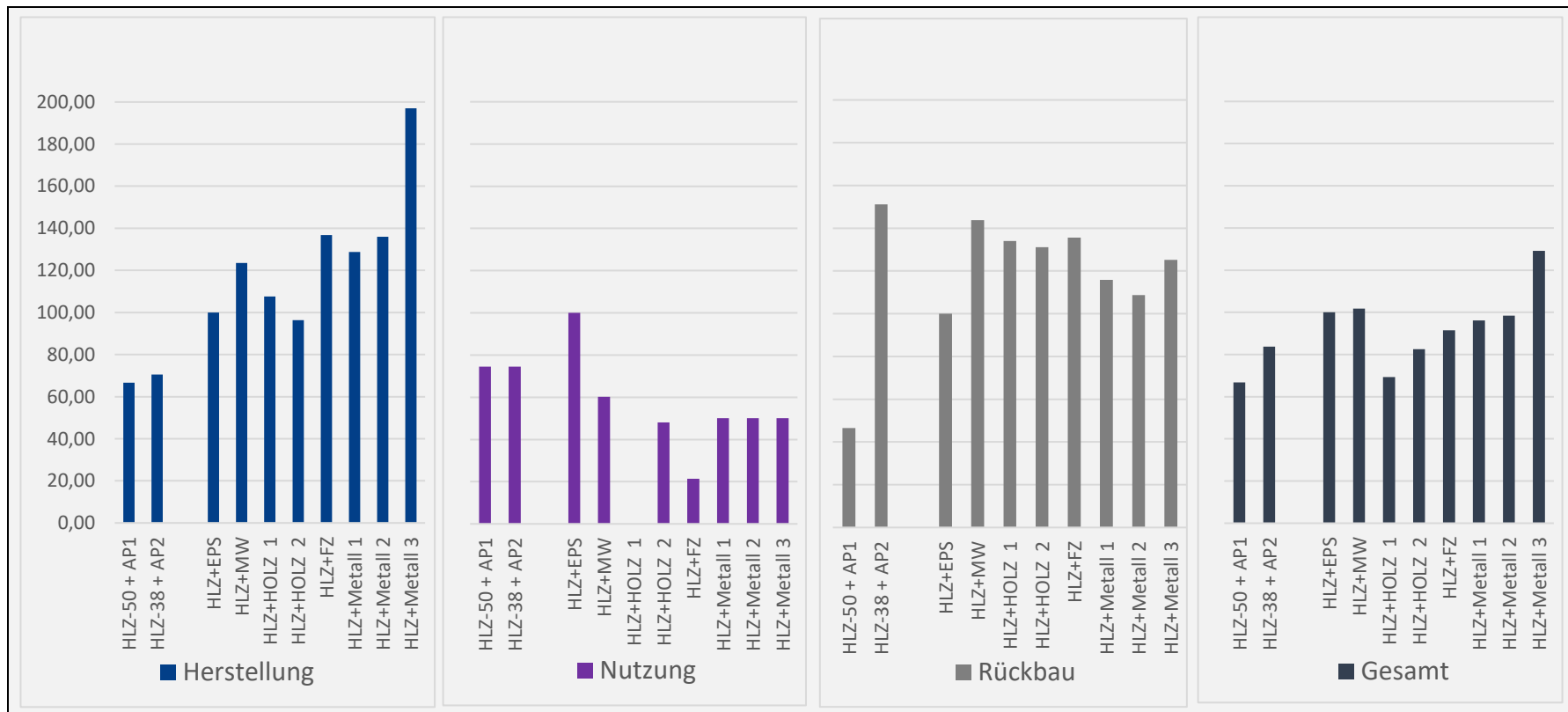


Abb. 3-14: Darstellung der Kosten Herstellung, Nutzung, Rückbau und Gesamt bei einer Rohbau-Bestandsdauer von 80 Jahren

4 Zusammenfassung

Fassaden bestimmen einerseits das Erscheinungsbild eines Gebäudes, andererseits wird durch die Fassade eine Vielzahl technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte beeinflusst. Daher hat die Auswahl einer Fassade im Bauplanungsprozess eine besondere Bedeutung.

Die Lebenszyklusbetrachtung im Bauwesen nimmt einen immer höheren Stellenwert ein. Durch diese Betrachtungsweise werden die Aspekte der Nutzungsphase und der Entsorgung zunehmend wichtiger.

In der heutigen Baupraxis werden jedoch als Entscheidungsgrundlage meist nur die Herstellkosten in Betracht gezogen, dies hat zu einem überproportionalen Einsatz von erdölbasierten Dämmungen geführt, welche vergleichsweise kostengünstig sind, wenig regionale Wertschöpfung haben und massiv alternative ökologisch nachhaltige Fassadensysteme benachteiligen. Es müssen aber auch die Folgekosten, wie Instandhaltung, Wartung, Reparatur und Reinigung über den gesamten Lebenszyklus hinzugezogen werden bzw. auch der große Themenbereich des Abbruchs und des Recyclings, um eine realitätsnahe Beurteilung zu ermöglichen.

Mit der Durchführung einer Lebenszyklusanalyse steht eine innovative Entscheidungshilfe im Planungsprozess bei der Auswahl von Außenwandkonstruktionen zur Verfügung, welche den Fokus auf qualitativ hochwertige Konstruktionen über den gesamten Lebenszyklus setzt.

Die ausgewählten Fassadenkonstruktionen sind zwei Konstruktionsprinzipien zuordenbar und teilen sich auf in monolithische Verbundfassaden (inkl. WDVS) und vorgehängt hinterlüftete Fassaden (VHF).

Die wirtschaftliche Betrachtung von den Fassadenvarianten mit Hilfe der Berechnung der Lebenszykluskosten für einen 30-jährigen Betrachtungszeitraum zeigt, dass die **vorgehängt hinterlüfteten Fassaden**, deren Erst-Herstellungskosten separat betrachtet deutlich über anderen Fassaden liegt, bei der **Betrachtung des gesamten Lebenszyklus jedoch besser abschneiden gegenüber WDVS Fassaden**.

Als kostengünstigste Varianten in der Gesamtbetrachtung stellen sich die monolithischen Systeme heraus, gefolgt von **vorgehängt hinterlüfteten Fassaden mit einer Holz- Bekleidung**.

Eine unbehandelte Holzfassade gilt als wartungsfrei und es entstehen somit keine Kosten während der Nutzungszeit.

Eine vorbehandelte/vorvergraute Holzfassade hat in der Nutzungsphase ebenso keine Kosten, wenn man nach derzeitigen Stand davon ausgeht, dass eine Nachbehandlung nicht erforderlich ist.

Bei oberflächenbehandelten Holzfassaden, die in regelmäßigen Abständen eine Anstricherneuerung bekommen, treten Wartungskosten auf.

Vergleichsweise geringe Nutzungskosten entstehen bei der Faserzement Fassade und bei den Metallfassaden.

Die Darstellungen und Berechnungen zeigen eindeutig, dass die alleinige Betrachtung der Herstellungskosten keine ausreichende Grundlage bei der Auswahl einer Fassadenkonstruktion sein kann. **Nur unter Einbeziehung der Folgekosten durch die Nutzungsphase und Nachnutzungsphase mit Reinigung, Abbruch, Entsorgung und der jeweiligen Zyklen erhält man eine zuverlässige Entscheidungshilfe**, da nur dadurch die gesamten Lebenszykluskosten berücksichtigt sind.

5 Quellenverzeichnis

European Guideline

EAE European Association for External thermal insulation composite systems: European Guideline for the application of ETICS. Baden-Baden, 2011.

ETAG 004

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): Leitlinie für die europäische technische Zulassung, Außenseitige Wärmedämm-Verbundsysteme mit Putzschicht, Wien, Ausgabe 2000.

Fassadenskript TUG

Skriptenreihe des Instituts für Hoch- und Industriebau: Fassadenkonstruktionen mit Schwerpunkt Montagesysteme. TU Graz, 2005.

Fassadenskript FH

Skriptenreihe FH JOANNEUM, Ewald Hasler: Fassadenkonstruktion und Bauphysik Graz, 2014.

Hasler 2015

Hasler: Planen und Bauen im Lebenszyklus, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien, In: Österreichische Bauzeitung, 04/2015.

Hecht, Pasker 2013.

Clemens Hecht, Ralf Pasker: Technical Aspects of the System. EUMEPS Master Class ETICS, 18.03.2013.

Instandhaltungsleitfaden 2013

Bundesverband Farbe Gestaltung Bautenschutz (BV-Farbe) (Hrsg.): Instandhaltungsleitfaden, Beschichtungen und Putze auf Fassaden und Wärmedämm-Verbundsystemen. Frankfurt am Main, 2013.

Jantschek 2011

Jantschek, Matthias: Nutzung und Rückbau von Fassadensystemen im Zuge des LQG-Projektes: Wärmedämm-Verbundsystem. Unveröffentlichte Diplomarbeit, FH JOANNEUM Graz, 2011.

Leitfaden 2016

Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), 2. Auflage, Berlin, 02.2016.

Nutzungsdauerkatalog 2020

Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen und Anlagenteile. SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2020.

ÖFHF 2015

Österreichischer Fachverband für hinterlüftete Fassaden ÖFHF, Verbandsregel: Planung und Ausführung von vorgehängten hinterlüfteten Fassaden, 03/2015.

SZFF 41.08 Visuelle Beurteilung im Fenster- und Fassadenbau, Richtlinie zur visuellen Beurteilung von Fenstern und Fassaden (in Aluminium), 2020.

VAR 2011

Verarbeitungsrichtlinie für Wärmedämmverbundsysteme, Arbeitskreis Qualitätsgruppe Wärmedämmsysteme im Fachverband der Stein- und keramischen Industrie, Wien, 2011.

WTA Merkblatt

WTA Merkblatt 2-13: Wärmedämm-Verbundsysteme, Wartung, Instandsetzung, Verbesserung. Ausgabe: 09.2015.

Normen:

EAVG Energieausweisvorlagegesetz von 2006, 2012 in Neufassung.

89/106/EWG Bauproduktenrichtlinie von 1988.

93/76/EWG Richtlinie Begrenzung der CO₂ Emissionen von 1993

2002/91/EG Europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden von 2002.

2010/31/EU Europäische Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden von 2010.

2008/98/EG Richtlinie über Abfälle vom 19. November 2008

ÖNORM H 5055

Energieausweis für Gebäude - Raumheizung und Wassererwärmung, 2002.

ÖNORM EN 13501-1

Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, 2009.

ÖNORM B 8110-2

Wärmeschutz im Hochbau - Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, 2003.

ÖNORM B 8115-2

Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz, 2006.

ÖNORM 8110

Wärmeschutz im Hochbau Teil 1-7

ÖNORM B 6400

Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) – Planung (2011)

ÖNORM B 6410

Außenwand-Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS) – Verarbeitung (2011)

OIB RL 2 (2015)

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB-Richtlinie 2, Brandschutz. 2015.

OIB RL 3 (2015)

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB-Richtlinie 3, Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz. 2015.

OIB RL 5 (2015)

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB-Richtlinie 5, Schallschutz. 2015.

OIB RL 6 (2015)

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz. 2015.

Leitfaden OIB RL6, 2015.

Österreichisches Institut für Bautechnik (Hrsg.): OIB-Leitfaden, OIB-RL6, Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. 2015.