

# Nachhaltigkeitscheck für Fassadensysteme

RENOWAVE.AT IMPACT DAYS 17./18. 10.2023

Univ.-Prof. Peter Maydl  
Zivilingenieur für Bauwesen  
In Zusammenarbeit mit  
Architekt DI Werner Nussmüller

---

---

# Studie „Zukunftsfähige Fassadensysteme im geförderten Wohnbau“

Auftraggeber/Förderer:

- Land Steiermark
- Landesinnung Baugewerbe(Zukunftsagentur Bau)
- Verband der Gemeinnützigen Bauvereinigungen (Landesverband Steiermark)
- Kamer der Ziviltechniker f. Steiermark und Kärnten, Sektion Architekten

---

# Auftrag und Studieninhalt

- Aktuelle Entwicklungen im Hochbau
- Literaturlauswertung
- Aktuelle und künftige Anforderungen
- Fassadentypologie
- Kriterienmatrix
- Lebenszykluskosten
- Ökobilanzielle Betrachtung
- Zusammenfassende Bewertung
- Ansatzpunkte für Förderungen

Bearbeitungszeitraum: 12/2020 – 12/2021

# Aufgaben von Fassaden

Die Fassade als vertikaler Teil der Gebäudehülle:

- Gestalterische Aufgaben: Erscheinungsbild, Individualität und Identitätsstiftung für Bewohner, Einfluß auf das Orts-/Stadtbild
- Funktionale Aufgaben:
  - Schutzfunktion: Witterung (Temperatur, Niederschlag), Brand, Schall, Einbruch
  - Ermöglichung von Belichtung und Belüftung
  - Künftig: Schnittstelle zur Gebäudetechnik

was eine langfristige Funktionserhaltung laufende Wartung, Instandsetzung und Reinigung erfordert

# Untersuchte Systeme

2 WDVS, 4 VHF, 1 monolith. ZM  
(38cm Porothersm,  
ref. auf 25cm HLZ)

		System	Dämmstoff	Dicke	Unter- konstruktion	Bekleidung
WDVS	1a	WDVS	EPS	16cm	-	Putz 2lagig m. Gewebe
	1b	WDVS	Mineralwolle	16cm	-	Putz 2lagig m. Gewebe
hinterlüftet	2	VHF	Mineralwolle	16cm	Alu	Alu-Verbund
	3	VHF	Mineralwolle	16cm	Holz	Faserzement
	4a	VHF	Mineralwolle	16cm	Holz	Lärche unbehandelt
	4b	VHF	Mineralwolle	16cm	Holz	Fichte vorvergraut
monolith. ZM	5	monolith. ZM HLZ 38 Plan	Mineralwolle	40cm	-	Putz 2lagig

# Zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse

- Räumliche Bilanzgrenze: Wandbildner – Fassadensystem (also alles vor dem Wandbildner)
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Problem beim Vergleich des monolithischen Mauerwerks mit vor dem Wandbildner montierte Systeme

„Näherungslösung“: Abzug des „Ersatzwandbildners HLZ 25 von allen Bilanzierungsergebnissen

# Lebenszyklusphasen eines Bauprodukts

gem. EN 15804  
bzw. EN 15978  
(vereinfacht)

INFORMATIONEN ZUR GEBÄUDEWERTUNG														
INFORMATION FÜR DEN LEBENSWEG DES GEBÄUDES													ERG. INFORMATIONEN NACH DEM GEBÄUDELEBENSWEG	
A 1 - 3			A 4 - 5		B 1 - 7					C 1 - 4				D
Herstellung			Errichtung		Nutzung/Betrieb					Beseitigung				Nutzen/Lasten jenseits der Systemgrenze  Wiederverwendung Rückgewinnung Recyclingpotetial
Rohstoffgewinnung	Transport	Produktion	Transport	Montage	Betrieb	Instandhaltung	Reparatur	Austausch	Erneuerung	Rückbau	Transport	Abfallbehandlung	Deponierung	
		Szenarien		B6 Betriebsenergie					Szenarien					
				B 7 Wasserverbrauch										

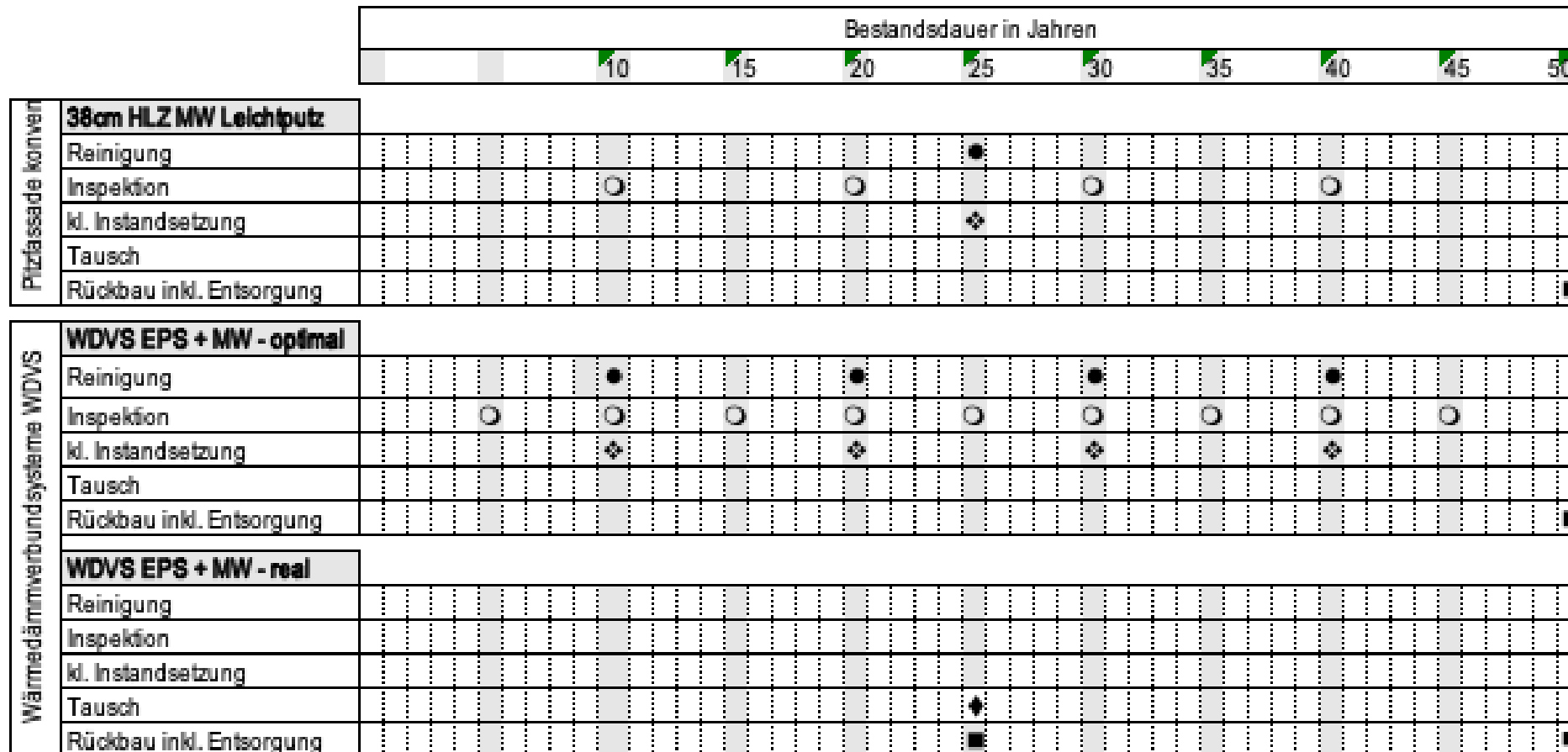
---

# Gegenüberstellung der Ergebnisse

- Wirtschaftlichkeit: Lebenszykluskosten  
Barwertmethode
- Ökobilanzierung: reduziert auf wenige Indikatoren



# Lebenszykluskosten: Problem der Kostenschätzung von Wartung, Instandsetzung und Reinigung



# Richtwerte Lebens-/Nutzungsdauer nach Literaturangaben

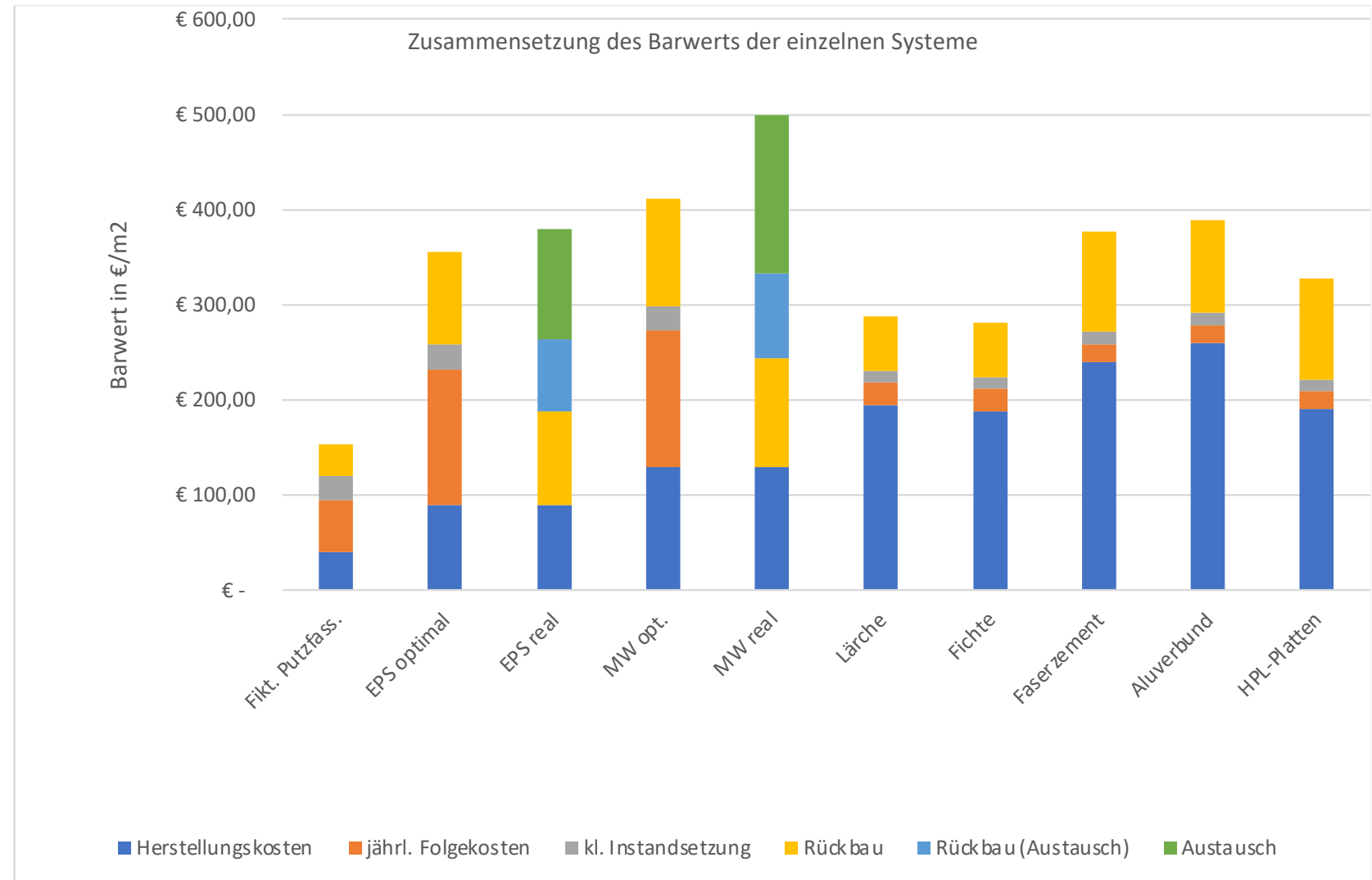
	NDK SV-Verband 2006	NDK SV-Verband 2020 [15]	BTE-Arbeitsgruppe [18]	Nutzungsdauern BNB [20]	IEMB 2006 [21]	IFB Lebensdauer der Bauteile ... [17]
WDVS + EPS	30-40		40 <sup>1)</sup>	40	25-45	40
WDVS + Mineralwolle	30-40		40 <sup>1)</sup>	40	25-45	40
VHF + Stahl	15-30	20-30	30-50	40 <sup>4)</sup>	30-50 <sup>6)</sup>	40
VHF + Alu	30-	20-40	50	≥50	30-60	
VHF + Faserzement	40-60	30-40	35	≥50	50-100	60
VHF + Lärche unbeh.	15-50	25-40	30 <sup>3)</sup>	30 <sup>2)</sup>	-	
VHF + Fichte beh.	15-50	15-25	30 <sup>3)</sup>	40 <sup>5)</sup>	25-50	30

# Lebenszykluskosten

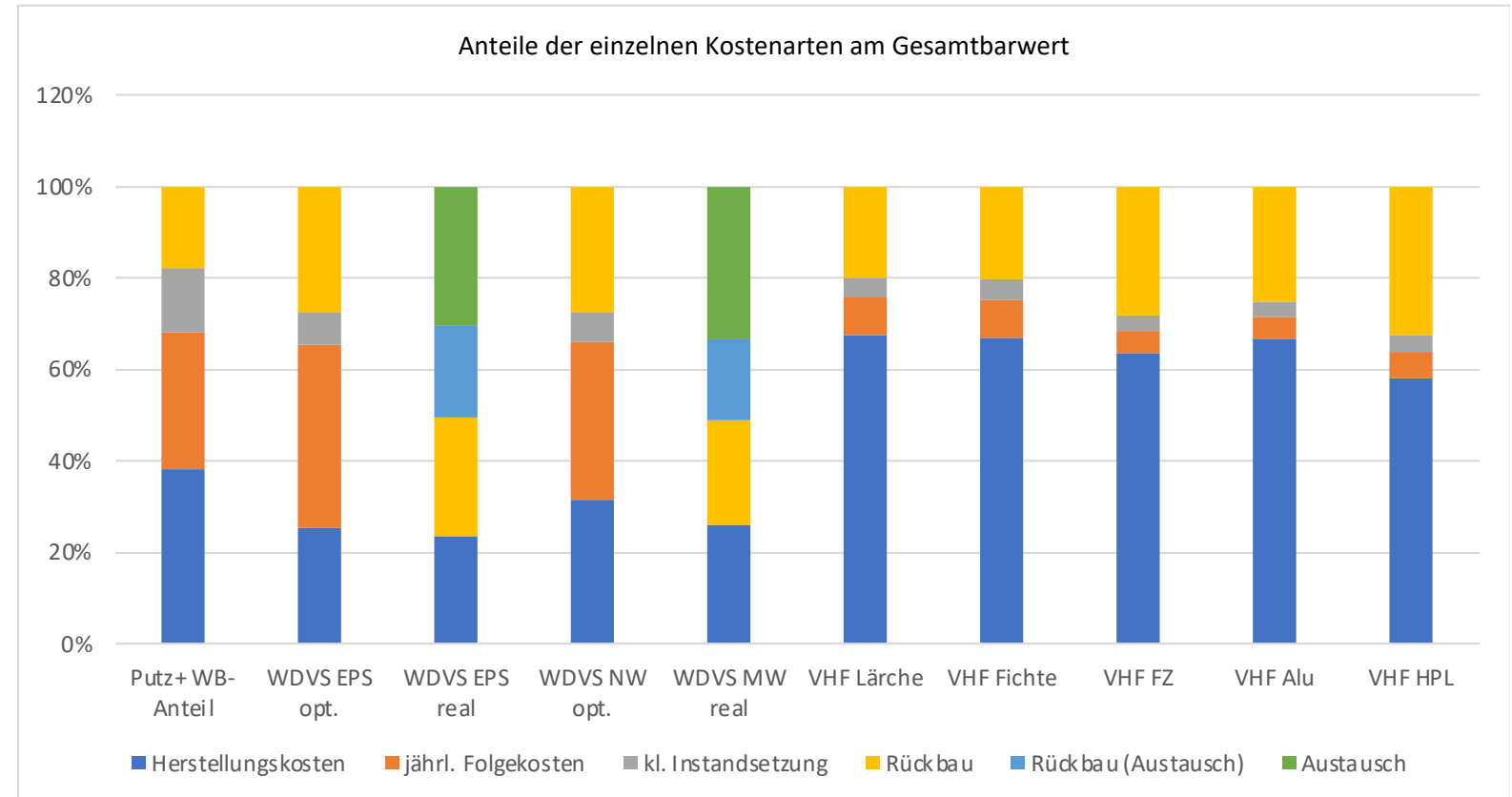
angenommene Nutzungsdauer	50
r ... Jährliche Rendite	2,0%
Abzinsungsfaktor $d = 1 + r$	1,020
p ... Jährliche Preissteigerung	3,0%
Preissteigerungsfaktor $q = 1 + p$	1,03

	Anfallszeitpunkt (nach ... Jahren)	D HLZ 38 LP - HLZ 25	WDVS- EPS optimal	WDVS- EPS real	WDVS- MW optimal	WDVS- MW-real	VHF- Lärche	VHF- Fichte	VHF- Faser- zement	VHF- Alu	VHF- HPL
Herstellungskosten	0	€ 40,00	€ 90,00	€ 90,00	€ 130,00	€ 130,00	€ 195,00	€ 188,00	€ 240,00	€ 260,00	€ 190,00
jährl. Folgekosten	jährlich	€ 55,05	€ 142,47	€ -	€ 142,47	€ -	€ 23,31	€ 23,31	€ 18,78	€ 18,78	€ 18,78
kl. Instandsetzung	25	€ 25,52	€ 25,52	€ -	€ 25,52	€ -	€ 12,76	€ 12,76	€ 12,76	€ 12,76	€ 12,76
Rückbau	50	€ 32,57	€ 97,72	€ 97,72	€ 114,01	€ 114,01	€ 57,01	€ 57,01	€ 105,87	€ 97,72	€ 105,87
Rückbau (Austausch)	25	€ -	€ -	€ 76,57	€ -	€ 89,34	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Austausch	25	€ -	€ -	€ 114,86	€ -	€ 165,91	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
<b>∑ Barwert</b>		<b>€ 153</b>	<b>€ 356</b>	<b>€ 379</b>	<b>€ 412</b>	<b>€ 499</b>	<b>€ 288</b>	<b>€ 281</b>	<b>€ 377</b>	<b>€ 389</b>	<b>€ 327</b>

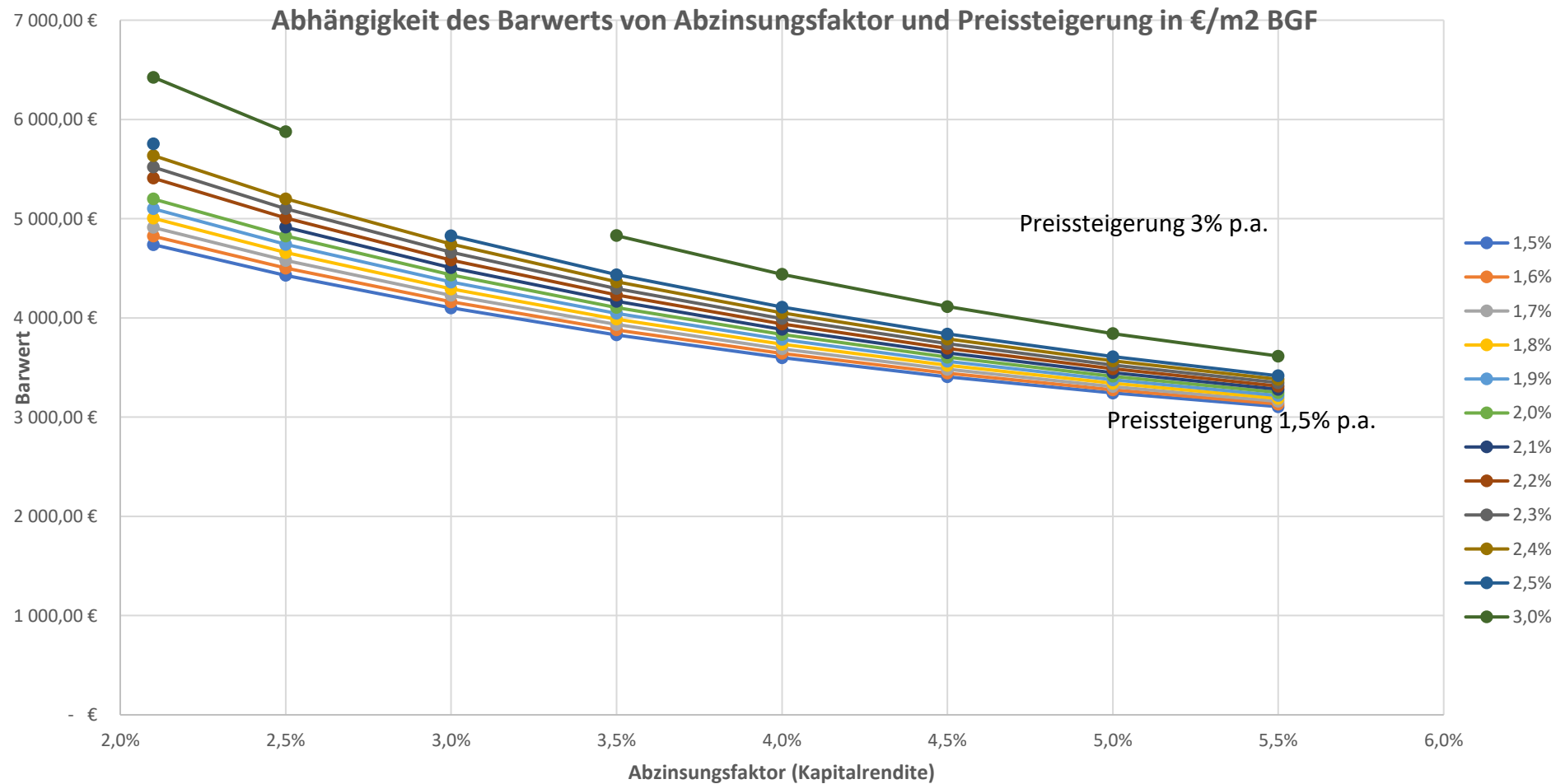
# Lebenszyklus- kosten: Barwert und seine Zusammensetzung



# Lebenszyklus- kosten: Barwert und seine Zusammensetzung (normiert)



# LZK: Einflußparameter Zinsen und Baupreise



# Ökobilanzierung

Prinzip: Input - Output – Analyse/Stoffstromanalyse

einbezogene Indikatoren:

- Treibhauspotential (GWP) kg CO<sub>2</sub> equ/m<sup>2</sup>
- Primärenergieaufwand nicht erneuerbar ges. (PE<sub>NR, T</sub>) MJ/m<sup>2</sup>
- Ozonabbaupotential (ODP) kg CFC-11 equ/m<sup>2</sup>
- Photooxidantienpotential (POCP) kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> equ/m<sup>2</sup>

gem. EN 15804 bzw. EN 15978

Funktionales Äquivalent: m<sup>2</sup> Fassadenfläche

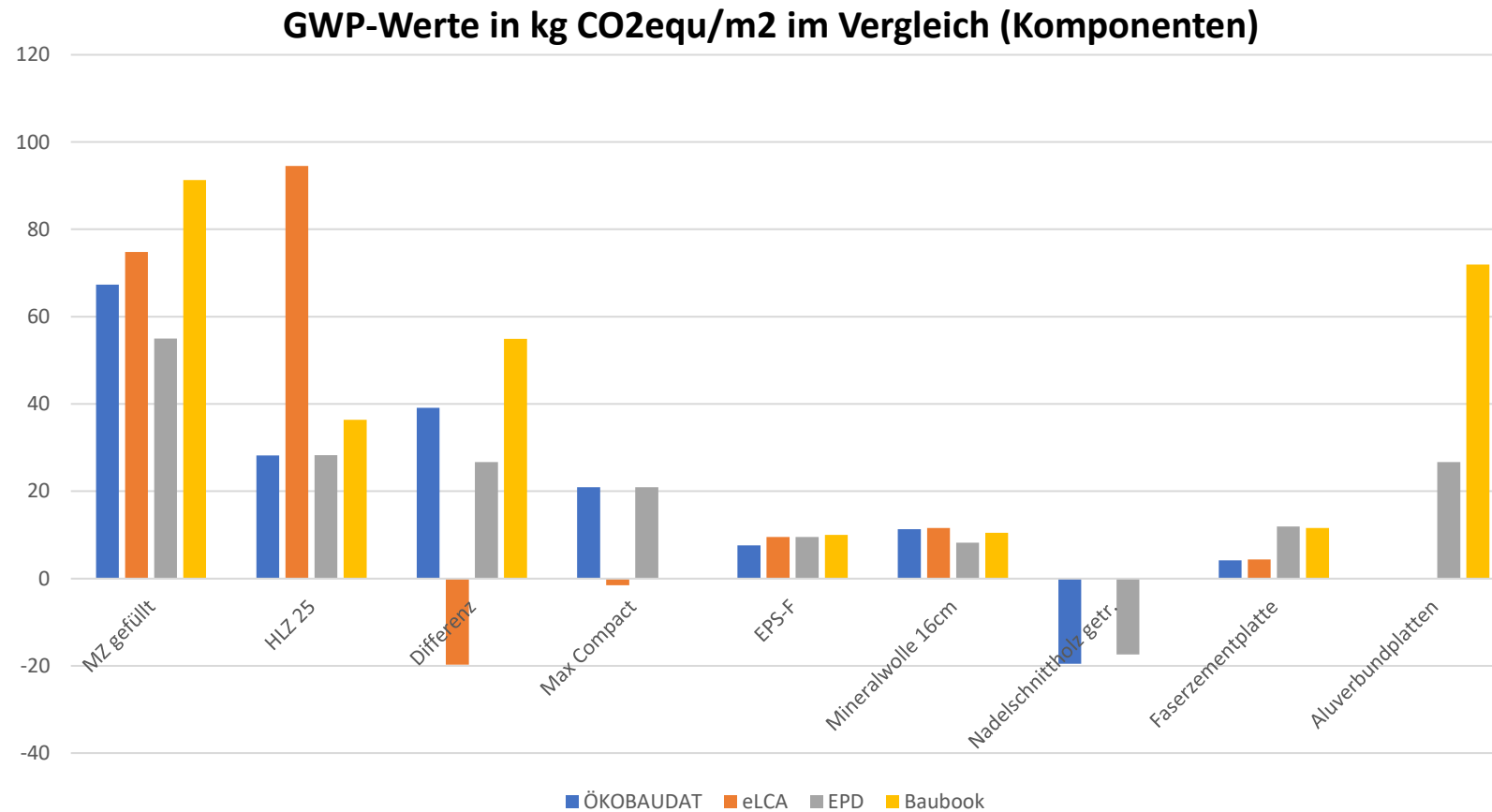
# Ökobilanzierung

Verwendete Datenquellen ökologischer Indikatoren:

- Baubook (IBO): <http://www.baubook.info.de/>
- EPDs – Umweltproduktdeklarationen: Bau-EPD GmbH, <http://www.bau-epd.at/>
- ÖKOBAUDAT: Bauproduktedatenbank (D), <http://www.oekobaudat.de/>
- eLCA: LCA-Software des BBSR (Bundesinstitut für Bau, Stadt- und Raumplanung, D), greift auf ÖKOBAUDAT zu: <http://www.bauteileditor.de/>



# Ökobilanz: Beispiel Treibhauspotential



---

# Erkenntnisse für die einzelnen Systeme

Monolithisches Ziegelmauerwerk:

- wirtschaftlichste Variante (geringster Barwert)
- höhere Aufbereitungskosten wegen Mineralwolletrennung,
- MW aktuell nicht rezyklierbar

# Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)

- Lebensdauer von 50 Jahren theoretisch erreichbar
- sehr fehleranfällig: Mehraufwand in Planung, Ausführung und Wartung:  
[0 Fehler-Systeme](#)
- daher meist deutlich kürzere Lebensdauer
- begrenzt reparaturfähig
- deutlich erhöhter Wartungsaufwand
- höhere Folgekosten egalieren die niedrigeren Herstellungskosten
- marktübliche Dämmstoffe derzeit nicht rezyklierbar  
(EPS ohne HBCD einmalig wiederverwertbar)
- derzeit nicht kreislauffähig (in großtechnischem Maßstab)

# Holzfassaden

- 40 ... 50 Jahre Lebensdauer realistisch
- zw. Lärche und Fichte bei richtiger Planung und Ausführung nur geringer Unterschied in der Lebensdauer (Fichte sägerauh fein)
- mittlere LZK (geringer Wartungsaufwand)
- Kernproblem: werkstoffgerechte Architektur im mehrgeschoßigen Wohnbau (insbes. im städtischen Umfeld)
- marktübliche Dämmstoffe derzeit nicht rezyklierbar (EPS ohne HBCD einmalig wiederverwertbar)
- Bewertung des Erscheinungsbildes durch witterungsbedingte Verfärbungen erst nach 5 (besser 10) Jahren bewertbar – Holzbaupreise!

---

# Vorgehängte, hinterlüftete Fassaden (VHF) mit Aluverbund-, Faserzement- oder HPL-Platten

- hohe Herstellungskosten
- geringer Wartungsaufwand
- niedrige Folgekosten
- Robuste Konstruktionen
- Bekleidungselemente begrenzt rezyklierbar
- Marktübliche Dämmstoffe derzeit größtenteils nicht rezyklierbar (EPS ohne HBCD einmalig wiederverwertbar)

# Allgemeines

- keine Aussagen zum Brandschutz
- seriöse quantitative ökologische Bewertung sehr aufwendig wegen Datenunsicherheit und notwendigen Annahmen zum Lebenszyklus
- extreme Unterschiede in den erhobenen Preisen
- Folgekosten (Reinigung, Wartung, Instandsetzung, Austauschzyklen) nur grob abschätzbar
- Baupreissteigerungen und Zinssätze schwer prognostizierbar

# Schlußfolgerungen

- Derzeit unbefriedigende ökologische Bewertung
  - es fehlt ein einfaches Bewertungskonzept über den Lebenszyklus (Level(s)?)
  - Keine belastbare Daten
  - Konzentration auf wenige Kernindikatoren zielführend
- Wirtschaftlichkeit
  - Fokus auf Herstellungskosten nicht mehr haltbar
  - erforderlich: standardisierte Annahmen bzw. Rechenmodelle für Wartung, Reinigung, Ausrauschzyklen, um besser vergleichbare Folgekosten ermitteln zu können
  - zu prüfen: Contracting-Modelle für TGA und Fassaden
- Wohnbauförderung:
  - Wie könnten die Folgekosten zumindest teilweise in die Förderungsmodelle integriert werden?

Bewertungsmatrix: Gegenüberstellung der wesentlichen Eigenschaften der einzelnen Fassadensysteme

# Bewertungs- matrix

Anforderungen/Eigenschaften	monolithisch	Wärmedämmverbundsysteme (WDVS)		vorgehängte, hinterlüftete Fassadensysteme (VHF) mit Mineralwolle als Dämmstoff				
	Putz auf HLZ/Mauerwerk Mineralwollegefüllt	WDVS- EPS (Hartschaum)	WDVS- MW (Mineralwolle)	VHF- MW- Lärche	VHF- MW- Fichte (beh. <sup>1)</sup> )	VHF- MW- Faserzement	VHF- MW- Aluverbund	VHF- MW- HPL
<b>Anforderungen gem. ÖB 1 bis 6</b>	nicht näher behandelt, da alle Systeme den gesetzlichen Vorgaben entsprechen müssen							
<b>Schadensanfälligkeit</b>	bei fachgerechter Ausführung keine bes. Schadensanfälligkeit, jedoch Risiko nicht erkennbarer Putzhohl- lagen und Rißbildung (Inspektion) ●	sehr schadensanfällig bei nicht fachgerechter Planung und Ausführung (Abweichung von VAR), insbes. in Verbindung mit unzureichender oder fehlender Inspektion und Instandsetzung ●	geringe Schadensanfälligkeit bei Beachtung der Regeln des konstruktiven Holzschutzes: Dachvorsprünge, rasch ablaufendes Niederschlagswasser, Vermeidung bewitterter Himmelflächen (z.B. bei Dreischichtplatten), konstruktiv richtige Fugenausbildung; Spannungsfeld konstr. Holzschutz- gleichm. Verfärbung ●	geringe Schadensanfälligkeit bei konstruktiv richtiger Ausführung, durch Hinterlüftung auch bauphysikalisch robuste Systeme ●				
<b>Anpassungs- und Reparaturfähigkeit</b>	örtlich leicht auszubessern oder zu ergänzen, meist keine gleichmäßige Anpassung der Oberflächenstruktur möglich (Ausbesserung sichtbar), TGA-Systeme nicht integrierbar ●	örtliche Reparaturstellen bleiben immer sichtbar, besser von Kante zu Kante ergänzen (Problem Anschlüsse und Eckausbildungen); Möglichkeit des Aufdoppels zur Erhöhung der Dämmstoffdicke alter Systeme nach Abziehen der bestehenden, bewehrten Putzschale (Strippen); TGA- systeme nicht integrierbar ●	leichte Austauschbarkeit einzelner Glattkant-Schalungsbrettern (im Gegensatz zu Profiltrettern) ●	Bekleidungs-elemente werkstoffunabhängig leicht austauschbar, Zugänglichkeit der Wärmedämmung ●				
<b>Integration von Photovoltaik</b>	PV nicht in Putzfassade integrierbar, bei Bestandsfassaden nur auf Putz montierbar ●	PV-Module nicht integrierbar, bei auf Putz-Montage größerer Hebelarm der Befestigungselemente (Wärmebrücke) ●	Integration von PV-Modulen grundsätzlich möglich, jedoch keine standardisierten Lösungen verfügbar ●	Integration von PV-Modulen grundsätzlich möglich, jedoch keine standardisierten Lösungen verfügbar ●				
<b>Ressourcenverbrauch</b>	mangels belastbarer Daten keine quantitative, vergleichende Bewertung möglich							
<b>Kreislauffähigkeit</b>	grundsätzlich gut kreislauffähig, da monolithische Bauweise; Einschränkung: Feinteile als Recyclingbaustoff nicht marktfähig, Mineralwolle im Ziegel verunsacht höheren Trennungsaufwand (nicht Gegenstand der Bewertung) ●	Putzschichten nicht rezyklierbar, dzt. ebenso altes EPS mit HBCD, neue EPS HBCD-frei und nach Granulierung einmalig stofflich verwertbar oder them. Verwertung ●	Putzschichten nicht rezyklierbar, dzt. nur Produktionsabfälle und sortenreiner Verschnitt rezyklierbar (Sammellogistik im Anlaufen), ansonsten Deponierung (teuer) ●	nicht geschädigtes Holz ohne Pilz- und Insektenbefall (Bohrlöcher mindern nur den tragenden Querschnitt) kann auch nach 50 Jahren wiederverwendet werden (reuse), bei dünnwandigen, freibewitterten Holzschalungen ist dies auszuschließen; daher verbleibt nur die thermische Verwertung in geeigneten Verbrennungsanlagen ●	Wiederverwendung (reuse) nicht beschädigter Platten, nach Brechen/Aufmahlen Verwendung theoretisch als Feinteile wiederverwendbar (nicht marktfähig) ●	Wiederverwendung (reuse) nicht beschädigter Platten, sehr gute Rezyklierbarkeit von Aluminium durch Einschmelzen und Herstellung von Sekundär- aluminium einschl. der PE- Zwischenschicht (themisch verwertbar) lt. Hersteller ●	Wiederverwendung (reuse) nicht beschädigter Platten, stofflich nicht verwertbar (nicht rezyklierbar), themische Verwertung ●	
<b>Emissionen i.d. Herstellung</b>	mangels belastbarer Daten keine quantitative, vergleichende Bewertung möglich							
<b>Herstellungskosten</b>	nicht direkt mit den anderen Systemen vergleichbar, da einzelne Funktionen vom Wandbildner übernommen werden (Wärmedämmung, Witterungsschutz); niedrige Herstellungskosten ●	niedrige Herstellungskosten, WDVS mit Mineralwolle etwas teurer (ca. 30 ... 40€/m <sup>2</sup> ) ●	deutlich teurer als WDVS, im Systemvergleich im Mittelfeld, Lärche etwas teurer als Fichte ●	hochpreisiges System, im Systemvergleich höchste Herstellungskosten ●	etwas geringere Herstellungskosten im Vergleich zu Aluverbund und Faserzement, gleich Größenordnung wie Holzfassaden ●			
<b>Folgekosten</b>	mäßige Kosten für Inspektion und Instandsetzung ●	zur Erreichung einer längeren Lebensdauer (30 ... 50 Jahren) erheblicher Aufwand für Inspektion, Reinigung u. kl. Instandsetzung; wenn nicht: vorzeitiger Rückbau u. Neuerstellung notwendig ●	geringer Aufwand für Wartung/Instandhaltung, keine Reinigung, bei vorvergrauter <sup>1)</sup> Fichte und konstruktiv richtiger Ausbildung kein wesentlicher Unterschied zw. Lärche und Fichte innerhalb von 50 Jahren zu erwarten ●	geringer Aufwand für Inspektion, Wartung/Instandhaltung und Reinigung ●				
<b>Rückbauaufwand, Demontage, Trennung, Recycling</b>	als monolith. Mauerwerk keine Trennung Putz - Wandbildner notwendig (abgehen von Ziegel und Mineralwolle); keine Nachfrage für Feinteile <4mm nach d. Brechen als Recyclingbaustoff ●	Im Vergleich der Systeme höhere Rückbaukosten, insbes. bei Mineralwolle wegen Nichtverwertbarkeit; Entsorgungsaufwand dominierend ●	mittlere Rückbaukosten, insbes. für unbehandeltes Holz, Demontageaufwand dominiert, Mineralwolle nicht rezyklierbar ●	mittlere Rückbaukosten, Demontageaufwand dominierend Mineralwolle nicht rezyklierbar ●				
<b>Dauerhaftigkeit</b>	bei fachgerechter Ausführung und regelmäßiger Inspektion bzw. Wartung/Instandsetzung ausrech. Dauerhaftigkeit f. 50 Jahre ●	nur bei richtiger/linienkonformer Planung, Ausführung und regelmäßiger Inspektion, kl. Instandsetzung und Reinigung Lebensdauer von 50 Jahren erreichbar ●	ausreichende Dauerhaftigkeit für 50 Jahre bei behandelter Fichte, Lärche etwas dauerhafter; gehobele oder fein sägelaube Oberfläche empfohlen, filmbildende Beschichtungen vermeiden ●	hohe Dauerhaftigkeit aller Systeme auch über 50 Jahre hinaus, insbesondere Aluverbund als Bekleidungs-element, Unterkonstruktion aus Aluprofilen bei längerer Nutzungsdauer ●				
<b>LZK (Barwert) in €/m<sup>2</sup> *)</b>	153 ●	356 ... 379 ●	412 ... 499 ●	288 ●	281 ●	377 ●	389 ●	327 ●

\*) unter den im Bericht genannten Bedingungen (2% Preissteigerung, 3% Baukostensteigerung, 50 Jahre Nutzungsdauer, Wartungsannahmen)

Legende zur Kurzbewertung (Farbcodes):

- günstig, Vorteile überwiegen
- neutral, Vorteile und Nachteile
- ungünstig, Nachteile überwiegen

Hinweis: das o.a. Schema zur GröÙbewertung (Anpalsystem) stellt kein wissenschaftlich fundiertes Bewertungssystem im Sinne einer ABC-Analyse auf Grund quantitativer, prüfbarer Daten dar, sondern soll dem Praktiker bei Auftrags- und Planen einen raschen Überblick über Vor- und Nachteile der untersuchten Fassadensysteme in den jeweiligen Bereichen liefern.

<sup>1)</sup> grau pigmentierte Lasur [66]



# Potentiale hinterlüfteter Fassaden

Trend: Rohbau für 100 Jahre mit max. Flexibilität und Variabilität  
(Umnutzungsfähigkeit)

demontierbare Außenhaut mit Integration der Gebäudetechnik,

Kreislauffähigkeit: Demontierbarkeit, Trennbarkeit,  
Wiederverwendbar- oder Rezyklierbarkeit

Innovationsschwerpunkte Hochbau: Fassaden und TGA

Systemdenken: Fassade mit TGA, lfd. anpaßbar an den Stand der  
Technik

Fassaden-Contracting?