

Zukunftsfähige Fassadensysteme

Die Konsequenzen aus Green Deal,
Kreislaufwirtschaft und künftiger
Bauprodukteverordnung

ZAB online-Seminar am 21.9.2023

Univ.-Prof. Peter Maydl
Zivilingenieur für Bauwesen

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

Einige aktuelle Entwicklungen im Hochbau

- Klimaziele:
 - Klimaneutralität bis 2050
 - THG-Reduktion um 55% bis 2030 u.v.a.m.
- Green Deal:
 - Klimaneutralität
 - Dekarbonisierung der Industrie
 - Kreislaufwirtschaft
 - 4 ressourcenintensive Sektoren: u.a. Bauwirtschaft
- EU Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft
 - Reuse und Recycling, Lebenszyklusdenken, Materialpaß (OIB-GL-Dokument!)

Aktuelle Entwicklungen im Hochbau (2)

- New European Bauhaus:
 - Initiative der Kommission
 - Bewegung, die „eine Verbindung zwischen dem Green Deal und unseren Lebensräumen“ herstellen will
- Europäisches Regelwerk für nachhaltiges Bauen
 - Bewertungsrahmen für Gebäude und Infrastrukturbauten
 - Grundlage für Gebäudezertifizierungssysteme
 - Umweltproduktdeklarationen nach ÖNORM EN 15804
- Green Finance: Berichtspflichten und Taxonomie-Verordnung

Aktuelle Entwicklungen im Hochbau (3)

- Künftige Bauprodukteverordnung
 - Entwurf vom 30.3.22, Inkrafttreten 2024 (?)
 - 8 Grundanforderungen, u.a.
 - BR 7: gefährliche Emissionen in die Umgebung
 - BR 8: Nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen
 - „umweltverträgliche“ Roh- und Sekundärstoffe
 - Senkung des Materialverbrauchs
 - Senkung des „grauen“ Energieinhalts
 - Senkung des Verbrauchs an Trink- und Brauchwasser
 - Wiederverwendung oder Rezyklierbarkeit
 - Umfangreiche Umweltinformationen zu Bauprodukten
 - Spezifische Produktanforderungen \leftrightarrow Produktnormen, u.a. Referenz-Lebensdauer in Leistungserklärungen

Aktuelle (österr.) Entwicklungen im Hochbau (4)

Beispiele aus „Mission 2030“ und aktuellem Regierungsübereinkommen

- Umweltschonendes Bauen als Voraussetzung für die Wohnbauförderung, sozialer Ausgleich und ökologische Effizienz
- Ökosoziale Kriterien in der Beschaffung, Bestbieter- statt Billigstbieterprinzip,
- Klimaschutzorientierte Energieraumplanung
- „Ein Green Deal für Österreichs Wirtschaft“: sektorübergreifende Klima- und Kreislaufwirtschaftsstrategie
- Forcierung erneuerbarer Rohstoffe
- Kreislaufwirtschaft fördern und Abfallpolitik gestalten: Maßnahmenpaket für den Einsatz von Sekundärrohstoffen bei Industrie, Verpackung und Baustoffen

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

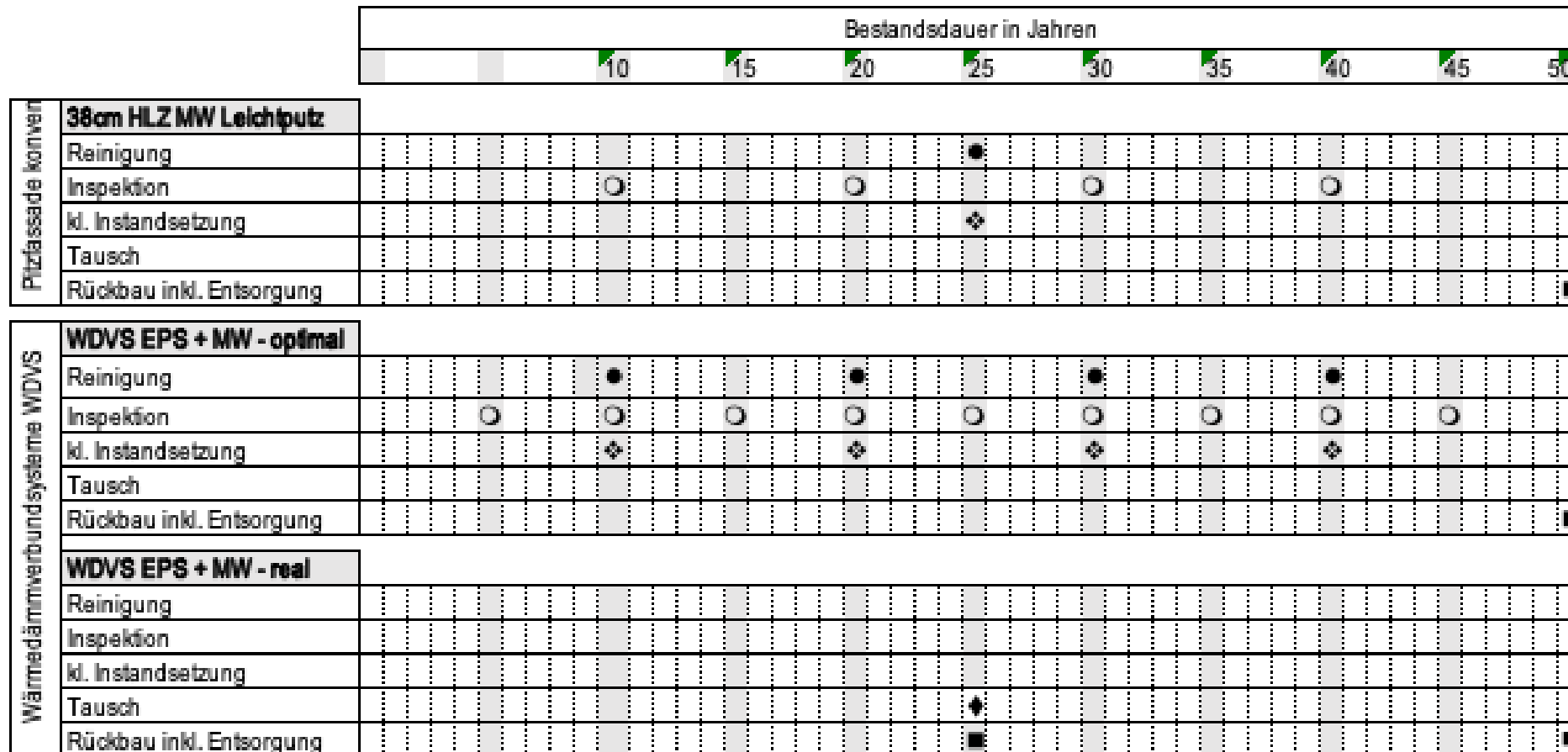
Lebenszyklusphasen eines Bauprodukts gem. EN 15804 (vereinfacht)

INFORMATIONEN ZUR GEBÄUDEBewERTUNG													
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
Rohstoffgewinnung	Transport	Produktion	Transport	Montage	Betrieb	Instandhaltung	Reparatur	Austausch	Erneuerung	Rückbau	Transport	Abfallbehandlung	
			Szenarien		B6 Betriebsenergie					Szenarien			Wiederverwendung Rückgewinnung Recyclingpotetial
					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

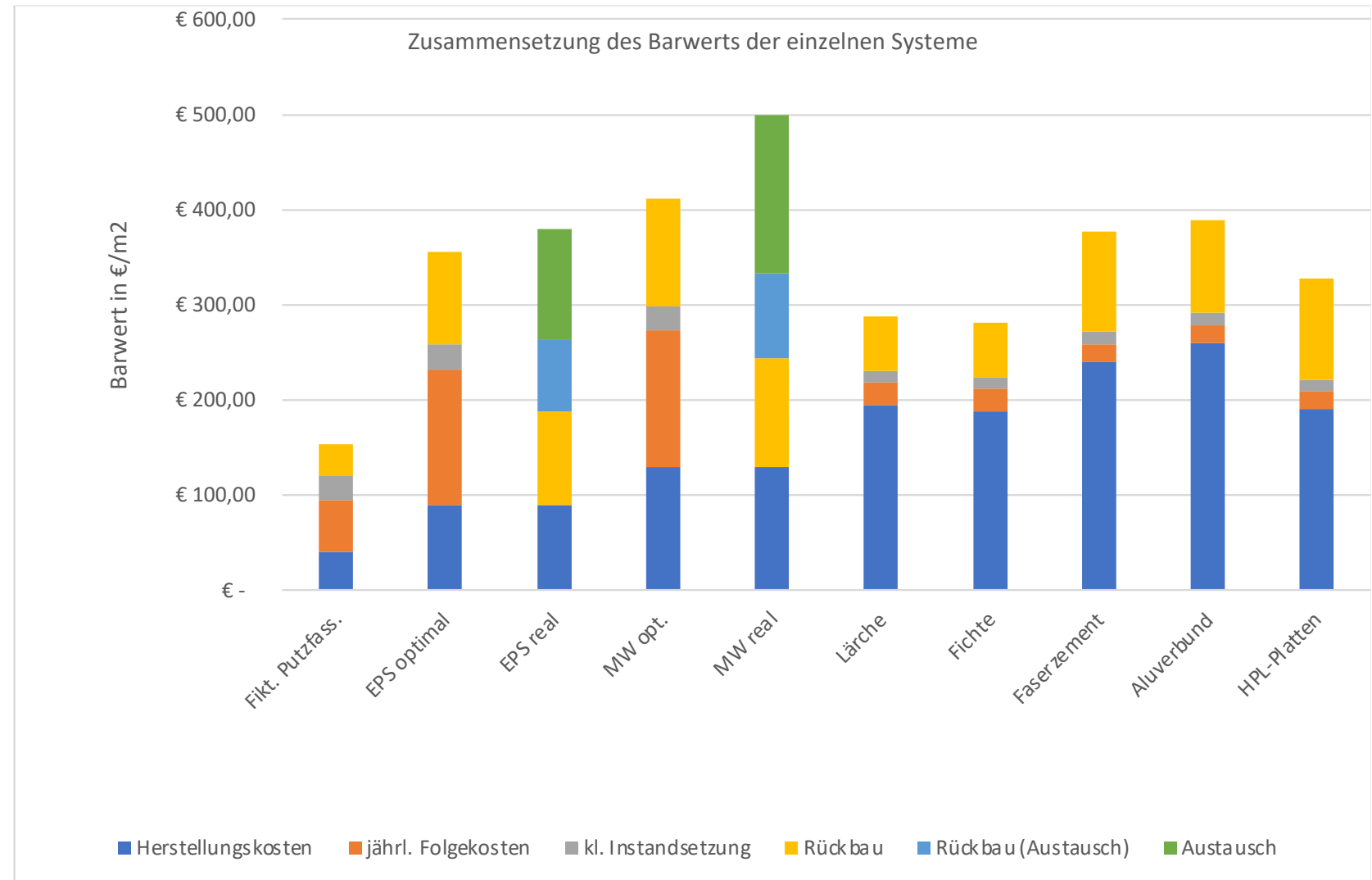
	NDK SV-Verband 2006	NDK SV-Verband 2020 [15]	BTE-Arbeitsgruppe [18]	Nutzungsdauern BNB [20]	IEMB 2006 [21]	IFB Lebensdauer der Bauteile ... [17]
WDVS + EPS	30-40		40 ¹⁾	40	25-45	40
WDVS + Mineralwolle	30-40		40 ¹⁾	40	25-45	40
VHF + Stahl	15-30	20-30	30-50	40 ⁴⁾	30-50 ⁶⁾	40
VHF + Alu	30-	20-40	50	≥50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

Lebenszykluskosten

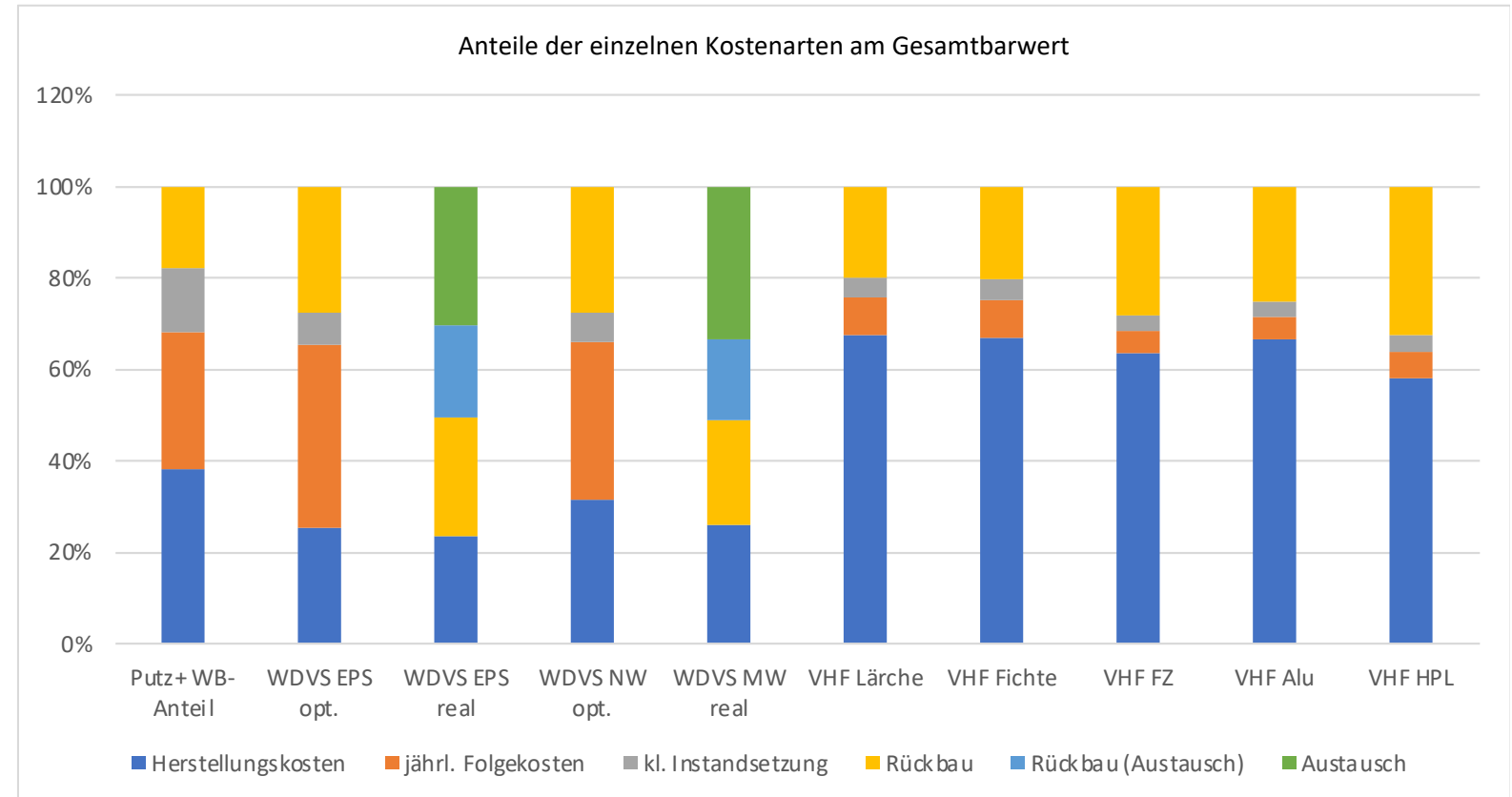
angenommene Nutzungsdauer	50
r ... Jährliche Rendite	2,0%
Abzinsungsfaktor $d = 1 + r$	1,020
p ... Jährliche Preissteigerung	3,0%
Preissteigerungsfaktor $q = 1 + p$	1,03

	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	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
∑ Barwert		€ 153	€ 356	€ 379	€ 412	€ 499	€ 288	€ 281	€ 377	€ 389	€ 327

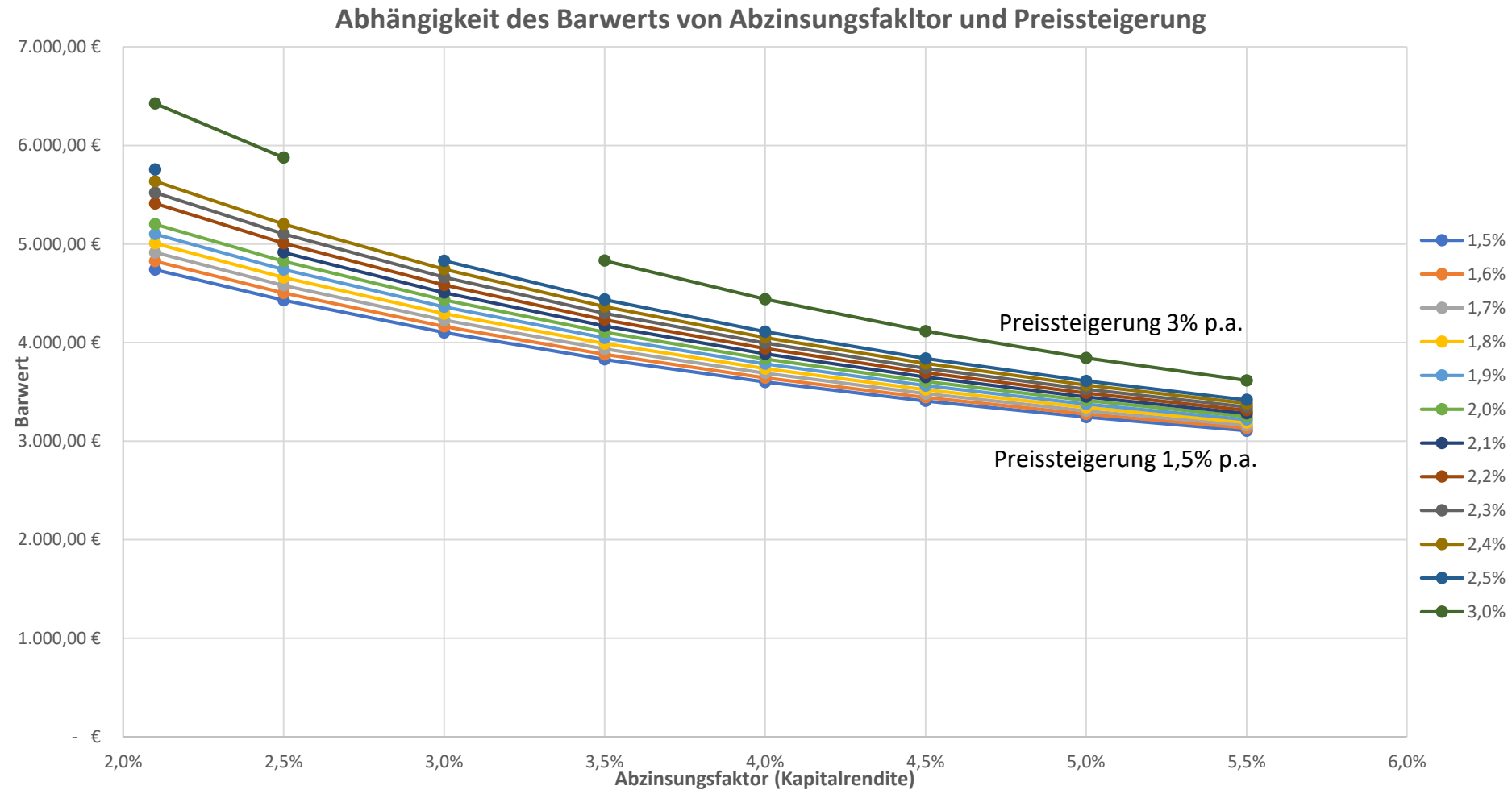
Lebenszyklus- kosten: Barwert und seine Zusammensetzung



Lebenszyklus- kosten: Barwert und seine Zusammensetzung (normiert)



LZK: Einflußparameter Zinsen und Baupreise



Ökobilanzierung

Prinzip: Input - Output – Analyse/Stoffstromanalyse

einbezogene Indikatoren:

- Treibhauspotential (GWP) kg CO₂ equ/m²
- Primärenergieaufwand nicht erneuerbar ges. (PE_{NR, T}) MJ/m²
- Ozonabbaupotential (ODP) kg CFC-11equ/m²
- Photooxidantienpotential (POCP) kg C₂H₄equ/m²

gem. EN 15804 bzw. EN 15978

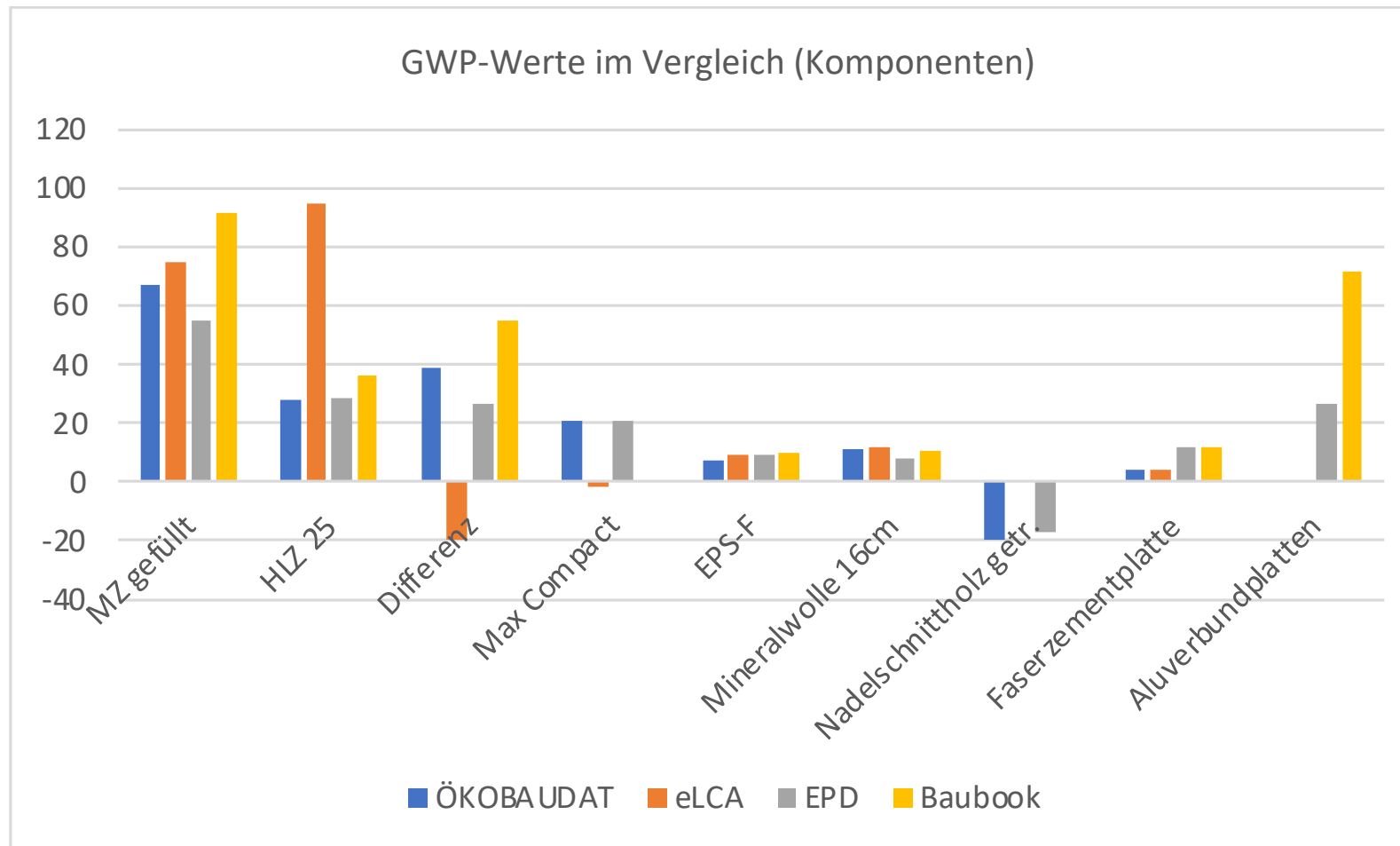
Funktionales Äquivalent: m² Fassadenfläche

Ökobilanzierung

Verwendete Datenquellen ökologischer Indikatoren:

- Baubook (IBO): <http://www.baubook.info.de/>
- EPDs – Umweltproduktdeklarationen: Bau-EPD GmbH, <http://www.bau-epd.at/>
- ECOBAUDAT: 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



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)

Erkenntnisse für die einzelnen Systeme

Monolithisches Ziegelmauerwerk:

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

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 (VF) mit Mineralwolle als Dämmstoff					
	Putz auf HLZ/Mauerwerk Mineralwollegefüllt	WDVS- EPS (Hartschaum)	WDVS- MW (Mineralwolle)	V-F- MW- Lärche	V-F- MW- Fichte (beh. ¹⁾)	V-F- MW- Faserzement	V-F- MW- Aluverbund	V-F- MW- HPL	
Anforderungen gem. OB 1 bis 6	nicht näher behandelt, da alle Systeme den gesetzlichen Vorgaben entsprechen müssen								
Schadensanfälligkeit	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 Holzflächen (z.B. bei Dreischichtplatten), konstruktiv richtige Fugenausbildung; Spannungsfeld konstr. Holzschutz- gleichm. Verfärbung ●					geringe Schadensanfälligkeit bei konstruktiv richtiger Ausführung, durch Hinterlüftung auch bauphysikalisch robuste Systeme ●
Anpassungs- und Reparaturfähigkeit	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 ●	
Integration von Photovoltaik	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 ●	
Ressourcenverbrauch	mangels belastbarer Daten keine quantitative, vergleichende Bewertung möglich								
Kreislauffähigkeit	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/Aufmahnen 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 ●	
Emissionen i.d. Herstellung	mangels belastbarer Daten keine quantitative, vergleichende Bewertung möglich								
Herstellungskosten	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 ²) ●		deutlich teurer als WDVS, im Systemvergleich im Mittelfeld, Lärche etwas teurer als Fichte ●		hochpreisiges System, ●		etwas geringere Herstellungskosten im Vergleich zu Aluverbund und Faserzement, gleich Größenordnung wie Holzfassaden ●	
Folgekosten	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 ¹⁾ 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 ●			
Rückbauaufwand, Demontage, Trennung, Recycling	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 ●			
Dauerhaftigkeit	bei fachgerechter Ausführung und regelmäßiger Inspektion bzw. Wartung/Instandsetzung ausrech. Dauerhaftigkeit f. 50 Jahre ●	nur bei richtiger/innenkonformer 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 ●			
LZK (Barwert) in €/m² *)	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 Gröbberbewertung (Anpasssystem) 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.

¹⁾ 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?