

Bewertung von Neubau-Wandkonstruktionen unter ökologischen, ökonomischen und technischen Gesichtspunkten

Einleitung

Das Institut für Bauforschung e.V., Hannover (IfB) hat eine umfangreiche Studie zur Bewertung typischer Wandkonstruktionen unter den Aspekten Ökologie, Ökonomie und Bautechnik vorgelegt. Die 140 Seiten umfassende Ausarbeitung differenziert einerseits nach Einfamilienhäusern (EFH, RH, DHH) und Mehrgeschosswohnungsbau (MGW), andererseits zwischen einschaligen, mehrschaligen und zusatzgedämmten Außenwandkonstruktionen.

Anhand bautechnischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte wurden Beurteilungskriterien aufgestellt, die in Abhängigkeit vom Anforderungsprofil sämtlicher Bauregeln eine Bewertung der Nachhaltigkeitsaspekte der jeweiligen Wandkonstruktion als Ganzes ermöglichen. Eine nachvollziehbare Darstellung dieser Bewertung ist durch die Aufstellung von Übersichten, Checklisten und Diagrammen gegeben. Allen untersuchten Konstruktionen gemein ist eine hohe Marktverbreitung, die Gewährleistung der Solidität durch einfache Detailkonstruktion mit geringer Materialvielfalt und damit hoher Ausführungssicherheit. Alle Konstruktionen stellen bewährte Bauweisen dar, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik genügen.

Beurteilungskriterien

Bautechnik

Die der Bewertung zugrundeliegenden technischen Aspekte sind der praktische Feuchtegehalt einer Außenwandkonstruktion, der Wärmeschutz im Winter sowie im Sommer, der Schall- und Lärmschutz sowie die Gesamtdicke der Wände inkl. Putz oder Dämmschichten. Diese Grundkriterien werden in der Regel wie selbstverständlich von allen Konstruktionsarten je nach Anforderung erfüllt und zeigen daher keine gravierenden Unterschiede in ihrer Bewertung. Die im Gutachten erreichte Punktzahl liegt in einem engen Band zwischen 210 und 290 Punkten.

Ökonomie

Sehr viel größer als im Bereich der Bautechnik schwankt die Bandbreite der ökonomischen Klassifizierung. Hier sind zwischen 80 und 320 Bewertungspunkte vergeben worden. Grundlage für diese Bewertung sind die Aspekte der Herstellung und Ausführungssicherheit, der Dauerhaftigkeit der gesamten Wandkonstruktion sowie die Investitionskosten und der sich über die in dieser Studie festgelegte Betrachtungsdauer (Lebensdauer) von 80 Jahren ergebende Kapitalwert. Die Herstellung und Ausführungssicherheit der Konstruktionen wird bei geringer Materialvielfalt und großem Qualitätsanspruch mit einer hohen Punktzahl positiv bewertet.

Die Investitionskosten der Wandkonstruktionen können regional stark schwanken. Daher sind mehrere Datenquellen in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einbezogen worden, um möglichst marktnahe Preise abzubilden. Zur Ermittlung der Kapitalwerte sind gängige Instandsetzungszyklen unter Berücksichtigung sogenannter Sowieso-Kosten angesetzt worden.

Ökologie

Der Primärenergieinhalt nicht erneuerbarer Energien (PEI) setzt sich aus dem oberen Heizwert der nicht erneuerbaren, energetischen Ressourcen, die in der Herstellungskette des Produkts verwendet wurden, zusammen. Erneuerbare Energieträger bzw. -quellen wie Holz, Holzschnitzel, Wasser, Sonne etc. sind nicht erfasst. Der gesamte Energieverbrauch von der Gewinnung der Rohstoffe über die Herstellung der Baustoffe und Gebäude einschließlich deren Abbruch und Entsorgung ist eine wichtige Information zu ökologischen Betrachtungsweise. Der Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PEI-Summe) nach 80 Jahren bildet sich durch Addition der Einzelwerte $PEI_{\text{Herstellung}}$, $PEI_{\text{Instandsetzung}}$ und $PEI_{\text{Transporte}}$.

Die Bewertung des Treibhauspotentials als zweites ökologisches Kriterium erfolgt über die Zuordnung der in der Wandkonstruktionen enthaltenen Gramm CO₂ eq, betrachtet pro m² und Jahr. Weil Treibhausgase in die Atmosphäre gelangen, wird ein höherer Anteil der von der Erde abgehenden Wärmestrahlung absorbiert und damit das Strahlungsgleichgewicht der Erde verändert (anthropogener Treibhauseffekt). Das mengenmäßig wichtigste Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) steht als Äquivalent für alle anderen Gase, die das Treibhauspotential (Global Warming Potential - GWP) ausmachen. Im Bewertungskriterium Ökologie liegt die Bandbreite der vergebenen zwischen 100 und 340.

Monolithische Außenwandkonstruktionen Die Darstellung der monolithischen Außenwände beschränkt sich auf weit verbreitete Konstruktionen aus Hochlochziegeln (HLz) und aus Porenbetonmauerwerk (PP). Im Bereich Einfamilienhaus sind 5 typische Außenwandkonstruktionen, im Sektor Geschosshaus 4 Wandaufbauten bewertet worden. Die Aspekte der Ökologie dominieren das Gesamtergebnis und zeigen deutliche Unterschiede zwischen Porenbeton- und Hochlochziegelkonstruktionen. Beim Kriterium Ökonomie erreichen die monolithischen Konstruktionen mit Abstand die höchsten Punktzahlen aller untersuchten Wandaufbauten.

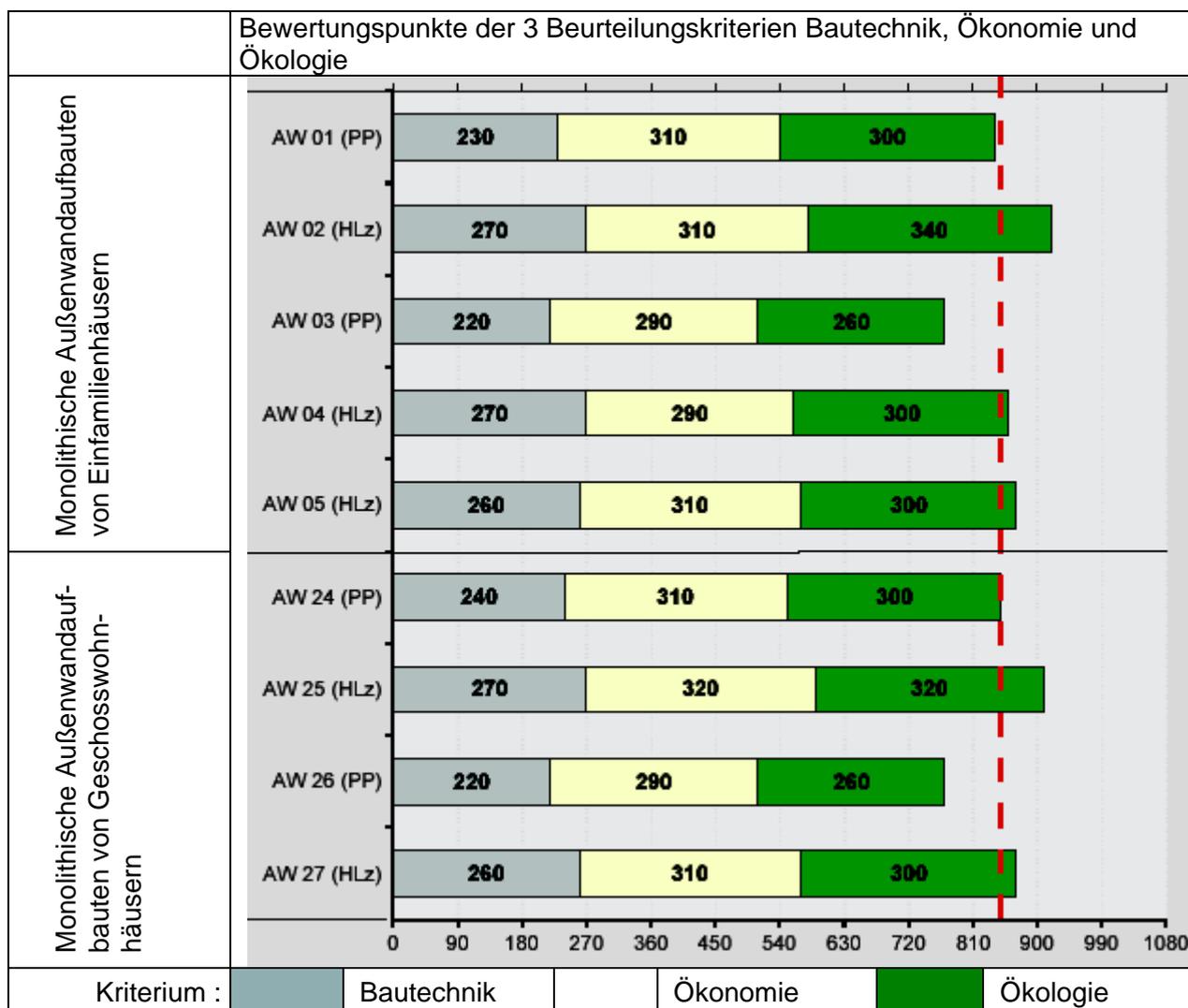


Bild 1: Übersicht der untersuchten monolithischen Außenwandaufbauten, getrennt nach Einfamilien- und Geschosshäusern. Die senkrechte rote Linie stellt die Mittelwerte der erreichten Gesamtpunktzahl von ca. 850 Punkten dar.

Außenwandkonstruktionen mit WDVS
 Die in der Untersuchung aufgeführten zusatzgedämmten Außenwände bestehen aus Hochlochziegel- (HLz) sowie aus Kalksandsteinmauerwerk (KS) mit Wärmedämmverbundsystem. In jeder Gebäudekategorie werden jeweils 8 Konstruktionen vergleichend gegenübergestellt. Im Mittel liegen die erreichten Bewertungspunkte 20 % niedriger als bei den monolithischen Außenwänden. Dieser Abschlag resultiert im Wesent-

lichen aus den geringfügig ungünstigeren ökologischen Kriterien aus dem Erneuerungszyklus eines WDVS. Hinzu kommen bedingt durch den Wartungsaufwand der Fassaden auch ökonomisch unvorteilhafte Rahmenbedingungen. Hierzu zählen z. B. Reinigung und Pflege der Fassade im Jahr 10, 30, 50 und 70 nach der Erstellung und Instandsetzung des WDVS in den Jahren 20, 40 und 60.

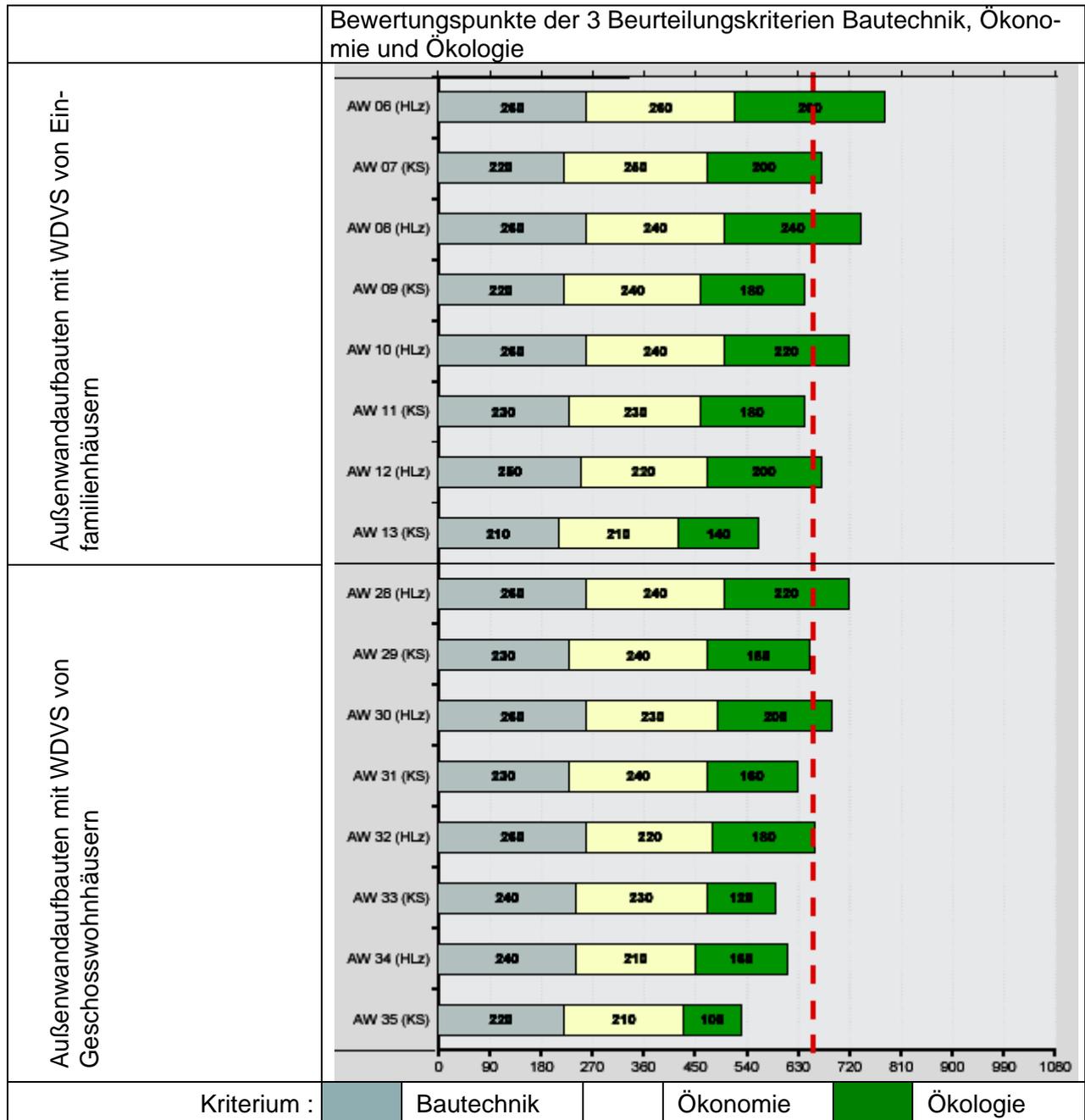


Bild 2: Übersicht der untersuchten Außenwandaufbauten mit WDVS, getrennt nach Einfamilien- und Geschosshäusern. Die senkrechte rote Linie stellt die Mittelwerte der erreichten Gesamtpunktzahl von ca. 650 Punkten dar.

Weitere Wandkonstruktionen

Im Rahmen des Projektes sind mehrschalige Außenwandkonstruktionen mit Vormauerung aber auch Holzverschalungen, sowie Wohnungstrennwände und zweischalige Haustrennwände untersucht worden.

Die massiven, zweischaligen Außenwandaufbauten mit Außenschalen aus Vormauerziegeln oder Klinkern zeichnen sich durch besonders günstigen Wartungsaufwand aus. Dies bedingt allerdings höhere Investitionskosten, als bei mit WDVS ausgestatteten Wänden. Gemeinsam mit den mehrschaligen Wänden mit belüfteter Holzbekleidung werden im Mittel 650 Bewertungspunkte erreicht. Die Wohnungstrennwände und zweischaligen Haustrennwände sind der gleichen Bewertungsprozedur unterzogen worden, wie die Außenwände. Da hier jedoch vor allem andere technische Eigenschaften besonders gefordert werden, wie z. B. Schall- und Brandschutz statt Wärmeschutz, können diese Wände nicht unmittelbar mit den Außenwandkonstruktionen verglichen werden. Die in dieser Kategorie erreichte Gesamtpunktzahl liegt zwischen 535 und 815 Punkten.

Zusammenfassung

Die Bewertung verschiedener massiver Neubau-Wandkonstruktionen durch das Institut für Bauforschung, Hannover schreibt eine seit über 10 Jahren vorliegende Studie von Menkhoff fort und bestätigt die hohe Qualität von Ziegelwandkonstruktionen. Als besonderer hochwertiger Kompromiss stellt sich die monolithische Außenwand aus wärmedämmendem Hochlochziegelmauerwerk dar, die durch hohe Bewertungspunkte im Bereich Ökologie und Ökonomie auffällt. Dies gilt sowohl im Einfamilienhaus- als auch im Geschossbereich.

Die Mauerwerksbildner Porenbeton und Kalksandsteinmauerwerk mit Zusatzdämmung erreichen vergleichbar hohe Punktzahlen selten oder gar nicht. Allen Konstruktionen gemein ist eine vergleichbare technische Leistungsfähigkeit, hier sind die Unterschiede marginal.

Vergleichbare Aussagen finden sich zu den Wohnungstrennwänden und den zweischaligen Haustrennwänden und zeigen hier

ebenfalls die zuvor beschriebenen Tendenzen.

In einer beigelegten tabellarischen Gesamtübersicht aus dem Abschlussbericht des IfB sind die Bewertungskriterien mit allen Bauteilaspekten sowie die Bewertung der Verträglichkeit mittels Punktzahlen aufgeführt. Der vollständige Forschungsbericht kann digital im PDF-Format bei den Produktgruppen der Ziegelindustrie bezogen werden.

Quellennachweis

Pfeiffer, M., Fanslau, D., Zedler, J.: Bewertung von Neubau-Wandkonstruktionen Abschlussbericht Gutachten G-633 – 35202, Institut für Bauforschung, Hannover, 2005.

Menkhoff, H., Gerken, D.: Bewertung der relevanten Auswahlkriterien für Wandbaustoffe, Forschungsbericht, Institut für Bauforschung, Hannover, 1994.

M. Gierga-GdJ AMz
Bonn, Juni 2005

Übersicht und Bewertung der Neubau-Wandkonstruktionen von EFH, RH und DHH

		Monolithische Wandkonstruktionen, Wandkonstruktionen mit Zusatzdämmung und mehrschalige Wandkonstruktionen													Zweischalige Wandkonstruktionen								Mehrschalige Wandkonstruktionen							
		Variante 1 Monolithische Wandkonstruktionen (30 und 36,5 cm)					Variante 2 Zusatzgedämmte Wandkonstruktionen (Hintermauerwerk 17,5 cm) mit WDVS								Variante 3 Mehrschalige Wandkonstruktionen (24 und 20 cm) WD und Beplankung		Variante 4 Zweischalige Wandkonstruktionen (24 cm)		Variante 5 Zweischalige Wandkonstruktionen (17,5 cm) mit KD		Variante 6 Zweischalige Wandkonstruktionen (17,5 und 24 cm) mit WD und Luftschicht				Variante 7 Haustrennwandkonstruktionen zweischalig (2 x 17,5 cm und 2 x 24 cm)					
		AW 01	AW 02	AW 03	AW 04	AW 05	AW 06	AW 07	AW 08	AW 09	AW 10	AW 11	AW 12	AW 13	AW 14	AW 15	AW 16	AW 17	AW 18	AW 19	AW 20	AW 21	AW 22	AW 23	HTW 01	HTW 02	HTW 03	HTW 04		
Wand-Nr.		PP	HLz	PP	HLz	HLz	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	PP	HLz	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS		
Steinart																														
Mörtelart		DBM													DBM		DBM		DBM		DBM									
Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ		W/m·K	0,10	0,12	0,10	0,09	0,14	0,18	0,70	0,18	0,70	0,18	0,70	0,18	0,70	0,18	0,99	0,10	0,18	0,18	0,70	0,18	0,70	0,18	0,70	0,18	0,70	0,18	0,70	
Dicke des Mauerwerks		cm	30,0	30,0	36,5	36,5	36,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	24,0	20,0	24,0	24,0	17,5	17,5	17,5	17,5	24,0	24,0	2 x 17,5	2 x 17,5	2 x 24,0	2 x 24,0	
Rohdichteklasse			0,40	0,60	0,40	0,55	0,70	0,80	1,40	0,80	1,40	0,80	1,40	0,80	1,40	0,80	1,80	0,40	0,80	0,80	1,40	0,80	1,40	0,80	1,40	1,40	1,80	1,80	1,80	
Dämmung (Material)			-	-	-	-	-	Polystyrol EPS								Mineralwolle WD		-	-	Mineralwolle WD		Mineralwolle WD								
Wärmeleitfähigkeit der Dämmung λ		W/m·K	-	-	-	-	-	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	-	-	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	
Dicke der Dämmung		cm	-	-	-	-	-	10,0	10,0	14,0	14,0	16,0	16,0	20,0	20,0	8,0	12,0	-	-	14,0	14,0	10,0	10,0	8,0	8,0	3,0	3,0	3,0	3,0	
Dicke Verblender/ Außenputz		cm	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	-	-	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	-	-	-	-	
Gesamtdicke der Wandkonstruktion		cm	33,5	33,5	40,0	40,0	40,0	30,5	30,5	34,5	34,5	36,5	36,5	40,5	40,5	41,5	41,5	41,0	41,0	45,5	45,5	44,5	44,5	49,0	49,0	41,0	41,0	54,0	54,0	
Wärmedurchlasswiderstand R		m²·K/W	3,28	2,78	3,93	4,33	2,89	3,69	2,96	4,69	3,96	5,19	4,46	6,19	5,46	3,62	3,49	2,69	1,62	4,99	4,27	3,76	3,04	3,62	2,63	-	-	-	-	
Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert		W/(m²·K)	0,30	0,36	0,25	0,23	0,35	0,27	0,34	0,21	0,25	0,19	0,22	0,16	0,18	0,28	0,29	0,37	0,62	0,20	0,23	0,27	0,33	0,28	0,38	-	-	-	-	
Bew. Schalldämm-Maß R _{w,R}		dB	42	44	44	45	48	38*	44*	38*	44*	38*	44*	38*	44*	49	54	56	57	55	58	55	58	55	60	67	70	75	74	
Praktischer Feuchtegehalt in Vol.-% (MW)		U _v %	3,5	0,5	3,5	0,5	0,5	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	3,5	1,5	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	3,25	5,0	
PE _{Summe} nicht erneuerbar nach 80 Jahren		kWh/m²	106,7	139,1	122,1	151,0	182,4	277,7	314,7	318,6	355,6	338,9	367,4	379,7	416,7	217,1	298,9	230,9	284,2	283,6	320,6	275,3	312,3	300,8	351,6	301,0	321,8	434,4	433,5	
Treibhauspotential (GWP)		gCO ₂ /m²a	854,2	653,2	1005,9	758,4	760,5	738,5	910,4	782,5	954,4	804,5	976,4	848,5	1020,8	582,8	1031,8	1088,0	926,5	930,4	1102,3	898,4	1070,4	990,4	1226,2	1244,5	1548,1	2006,7	2260,5	
Investitionskosten der Wandkonstr.		Euro/m²	102,88	101,91	113,47	114,25	103,70	109,72	113,47	115,52	119,27	121,32	125,07	132,92	136,67	150,28	169,05	146,16	142,16	159,60	163,35	153,80	157,55	157,24	164,16	108,27	116,81	108,27	116,81	
Kapitalwert der Wandkonstr. nach 80 Jahren		Euro/m²	129,90	129,75	142,57	143,35	132,80	157,63	161,38	163,84	167,59	169,85	173,60	181,87	185,62	242,80	260,57	162,47	158,12	175,99	179,74	170,19	173,94	175,11	182,03	114,06	122,60	116,49	125,03	
Bewertung zur Verträglichkeit																														
Kriterien	Bautechnik		+	++	+	++	++	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	++	+	++	+	++	+	++	++	+	++	+	
	Ökonomie		(230)	(270)	(220)	(270)	(260)	(260)	(220)	(260)	(220)	(260)	(230)	(250)	(210)	(260)	(230)	(240)	(250)	(280)	(240)	(270)	(230)	(270)	(210)	(253,2)	(200)	(226,6)	(186,6)	
	Ökologie		++	++	++	++	++	++	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	+	++	++	++	++
	Gesamtbewertung EFH, RH und DH		(840)	(920)	(770)	(860)	(870)	(780)	(670)	(740)	(640)	(720)	(640)	(670)	(560)	(690)	(510)	(700)	(730)	(730)	(630)	(750)	(640)	(700)	(550)	(813,2)	(680)	(636,6)	(536,6)	

++ sehr gut verträglich + gut verträglich o bedingt verträglich
 * Näherungswert: explizite Werte sind den bauaufsichtlichen Zulassungen der WDVS zu entnehmen

Abb. 52: Gesamtübersicht EFH, RH und DHH: monolithische Wandkonstruktionen, Wandkonstruktionen mit Zusatzdämmung, mehr- und zweischalige Wandkonstruktionen für EFH, RH und DHH, Varianten 1 – 7 (IFB 2005)

Übersicht und Bewertung der Neubau-Wandkonstruktionen von MGW

		Monolithische Wandkonstruktionen, Wandkonstruktionen mit Zusatzdämmung und mehrschalige Wandkonstruktionen												Zweischalige Wandkonstruktionen								Monolithische WK		
		Variante 8 Monolithische Wandkonstruktionen (30 und 36,5 cm)				Variante 9 Zusatzgedämmte Wandkonstruktionen (Hintermauerwerk 17,5 bzw. 24 cm) mit WDVS								Variante 10 Zweischalige Wandkonstruktionen (17,5 cm) mit Kerndämmung				Variante 11 Zweischalige Wandkonstruktionen (17,5 und 24 cm) mit WD und Luftschicht				Variante 12 Wohnungstrennwandkonstruktionen einschalig (24 cm)		
Wand-Nr.		AW 24	AW 25	AW 26	AW 27	AW 28	AW 29	AW 30	AW 31	AW 32	AW 33	AW 34	AW 35	AW 36	AW 37	AW 38	AW 39	AW 40	AW 41	AW 42	WTW 01	WTW 02		
Steinart		PP	HLz	PP	HLz	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	KS	HLz	HLz	KS	HLz	KS	Füllziegel	KS		
Bauteilaspekte	Mörtelart	DBM				DBM								DBM				DBM				DBM		
	Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ	W/m·K	0,10	0,14	0,10	0,14	0,45	0,99	0,45	0,99	0,45	0,99	0,45	0,99	0,50	0,99	0,18	0,50	0,99	0,18	0,99	-	-	
	Dicke des Mauerwerks	cm	30,0	30,0	36,5	36,5	24,0	17,5	24,0	17,5	24,0	17,5	24,0	17,5	17,5	17,5	24,0	17,5	17,5	24,0	24,0	24,0	24,0	
	Rohdichteklasse		0,40	0,75	0,40	0,75	1,00	1,80	1,00	1,80	1,00	1,80	1,00	1,80	1,20	1,80	0,80	1,20	1,80	0,80	1,80	1,80	1,80	
	Dämmung (Material)		-	-	-	-	Polystyrol EPS								Mineralwolle WD				Mineralwolle WD				-	-
	Wärmeleitfähigkeit der Dämmung λ	W/m·K	-	-	-	-	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	-	-	
	Dicke der Dämmung	cm	-	-	-	-	10,0	10,0	14,0	14,0	16,0	16,0	20,0	20,0	14,0	14,0	14,0	10,0	10,0	8,0	8,0	-	-	
	Dicke Verblender/ Außenputz	cm	2,0	2,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	-	-	
Gesamtdicke der Wandkonstruktion	cm	33,5	33,5	40,0	40,0	37,0	30,5	41,0	34,5	43,0	36,5	47,0	40,5	45,5	45,5	52,0	44,5	44,5	49,0	49,0	27,0	27,0		
Bauteilaspekte	Wärmedurchlasswiderstand R	m²·K/W	3,28	2,42	3,93	2,89	3,25	2,89	4,25	3,89	4,75	4,39	5,75	5,39	4,37	4,20	5,35	3,14	2,97	3,62	2,53	-	-	
	Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert	W/(m²·K)	0,30	0,41	0,25	0,35	0,31	0,35	0,24	0,26	0,21	0,23	0,17	0,19	0,23	0,24	0,19	0,32	0,34	0,28	0,39	-	-	
	Bew. Schalldämm-Maß R w,R	dB	40	46	44	49	44*	47*	44*	47*	44*	47*	44*	47*	57	60	57	57	60	57	62	55	55	
	Praktischer Feuchtegehalt in Vol.-% (MW)	U, %	3,5	0,5	3,5	0,5	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	5,0	1,5	1,5	5,0	1,5	5,0	3,25	5,0	
	PEI ₈₀ nicht erneuerbar nach 80 Jahren	kWh/m²	106,7	164,9	122,1	192,7	334,8	348,1	375,7	389,0	396,0	409,2	436,8	450,1	323,6	354,0	313,3	312,2	364,1	303,9	379,0	221,3	220,9	
	Treibhauspotential (GWP)	gCO ₂ /m²a	854,2	651,5	1005,9	759,3	847,0	1042,5	891,0	1086,5	913,0	1108,5	957,0	1152,5	931,3	1234,4	1038,3	899,3	1202,5	990,4	1407,4	605,7	859,5	
	Investitionskosten der Wandkonstr.	Euro/m²	102,88	93,58	113,47	103,70	119,55	116,41	125,35	122,21	131,15	128,01	142,75	139,61	162,02	166,29	165,36	156,22	160,49	157,24	170,21	67,35	76,25	
Kapitalwert der Wandkonstr. nach 80 Jahren	Euro/m²	129,90	121,42	142,57	132,80	168,94	164,32	175,15	170,53	181,16	176,54	193,18	188,56	178,41	182,68	183,23	172,61	176,88	175,11	188,08	71,79	80,69		
Bewertung der Verträglichkeit																								
Kriterien	Bautechnik	+	++	+	++	++	+	++	+	++	+	+	+	++	++	++	++	+	++	+	+	+		
	Ökonomie	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++		
	Ökologie	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++		
	Gesamtbewertung EFH, RH, DH	++	++	++	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	++	+	+	+	++	+		
		(850)	(910)	(770)	(870)	(720)	(650)	(690)	(630)	(660)	(590)	(610)	(530)	(720)	(720)	(660)	(730)	(570)	(700)	(520)	(816,6)	(676,6)		

++ sehr gut verträglich + gut verträglich o bedingt verträglich
* Näherungswert; explizite Werte sind den bauaufsichtlichen Zulassungen der WDVS zu entnehmen

Abb. 53: Gesamtübersicht MGW: monolithische Wandkonstruktionen, Wandkonstruktionen mit Zusatzdämmung und zweischalige Wandkonstruktionen für MGW, Varianten 8 – 12 (IFB 2005)