



Nachhaltiges Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen

Nachhaltige Sanierung mit nachwachsenden Rohstoffen

Architektur| TU Wien
Wintersemester 2019

DI Tobias Steiner



Lasttragender Strohballenbau - Ebergassing

Tobias Steiner

IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien, Österreich



Lasttragender Strohballenbau

„Die Ballen werden **wie Ziegel im Versatz** (ohne Mörtel) aufgemauert und mit Stangen (Holz, Bambus, Metall) innen oder außen versteift.

Nach dem **Setzen** (4–6 Wochen) kann die Wand direkt verputzt werden. Bei der **Vorspannung** wird die natürliche Setzung durch Spannvorrichtungen wie Gurte und Seile oder Klammern und Pressen (außen) bzw. Gewindestangen (innen) künstlich herbeigeführt.“

<http://www.baubiologie.at/wp/strohballenbau/strohbau-techniken/lasttragend/>

Lasttragender Strohballenbau



Bilder: Erstes baugenehmigtes
lasttragendes Strohballenhaus,
Eichkögl

<http://baubiologie.at/strohballenbau/erstes-baugenehmigtes-lasttragendes-strohballenhaus-3/>

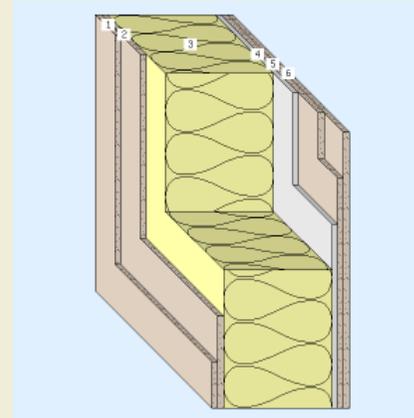
Musterhaus Höller in Ebergassing



Musterhaus Höller in Ebergassing

Aufbau:

- 3 cm Kalkputz
- 85 cm Strohballen
- 4 cm Kalkputz



Bauphysikalische/bautechnische Nachweise:

- Statische Nachweise: HTBLVA Graz-Ortweinschule
- Brandbeständigkeit: REI 90 (beidseitig verputzt)
- U-Wert: 0,1 W/m²K

Kosten: wie für Passivhäuser in Massivbauweise

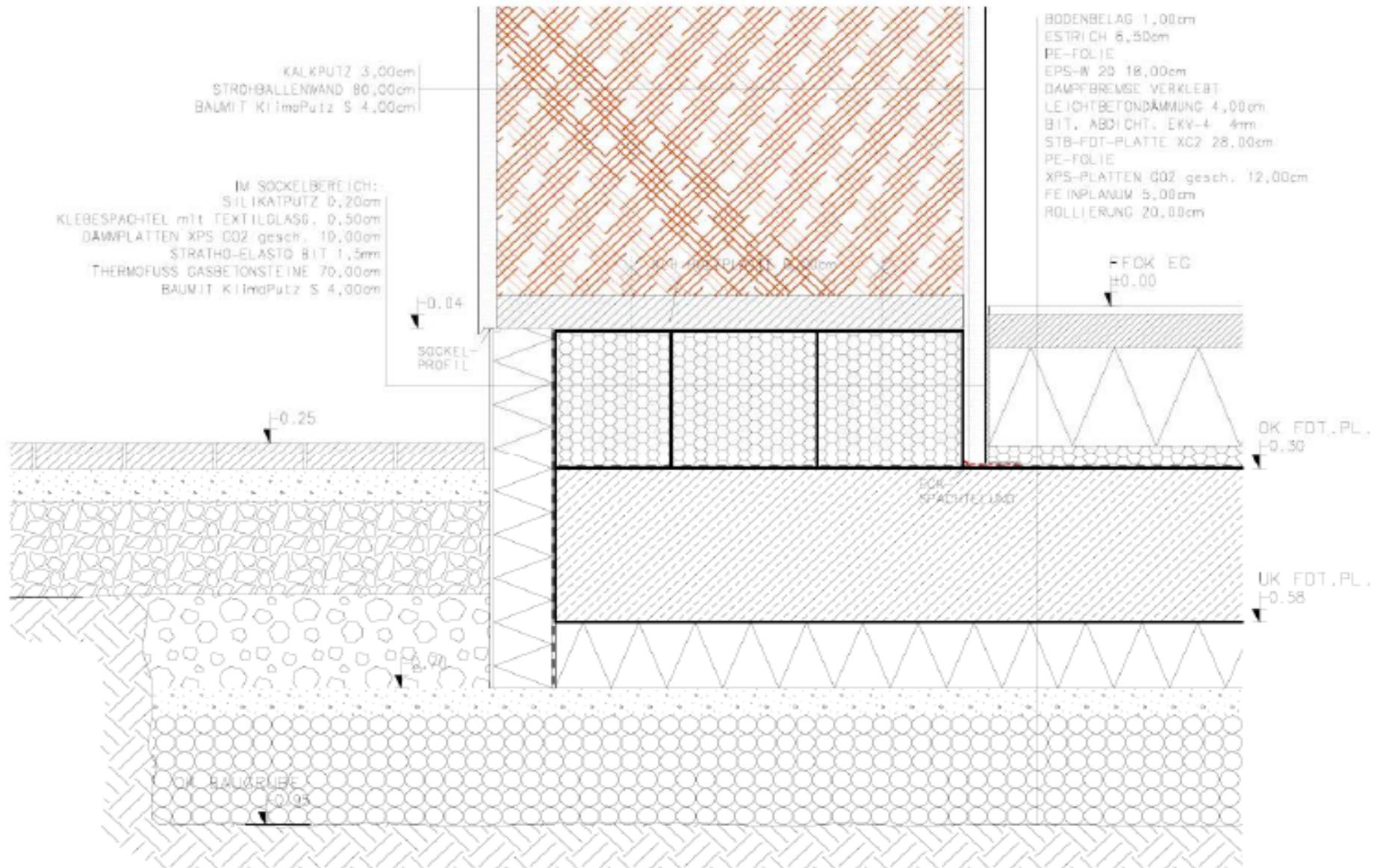


Abbildung 1: Detail A Anschluss Außenwand/Bodenplatte (o.M.)

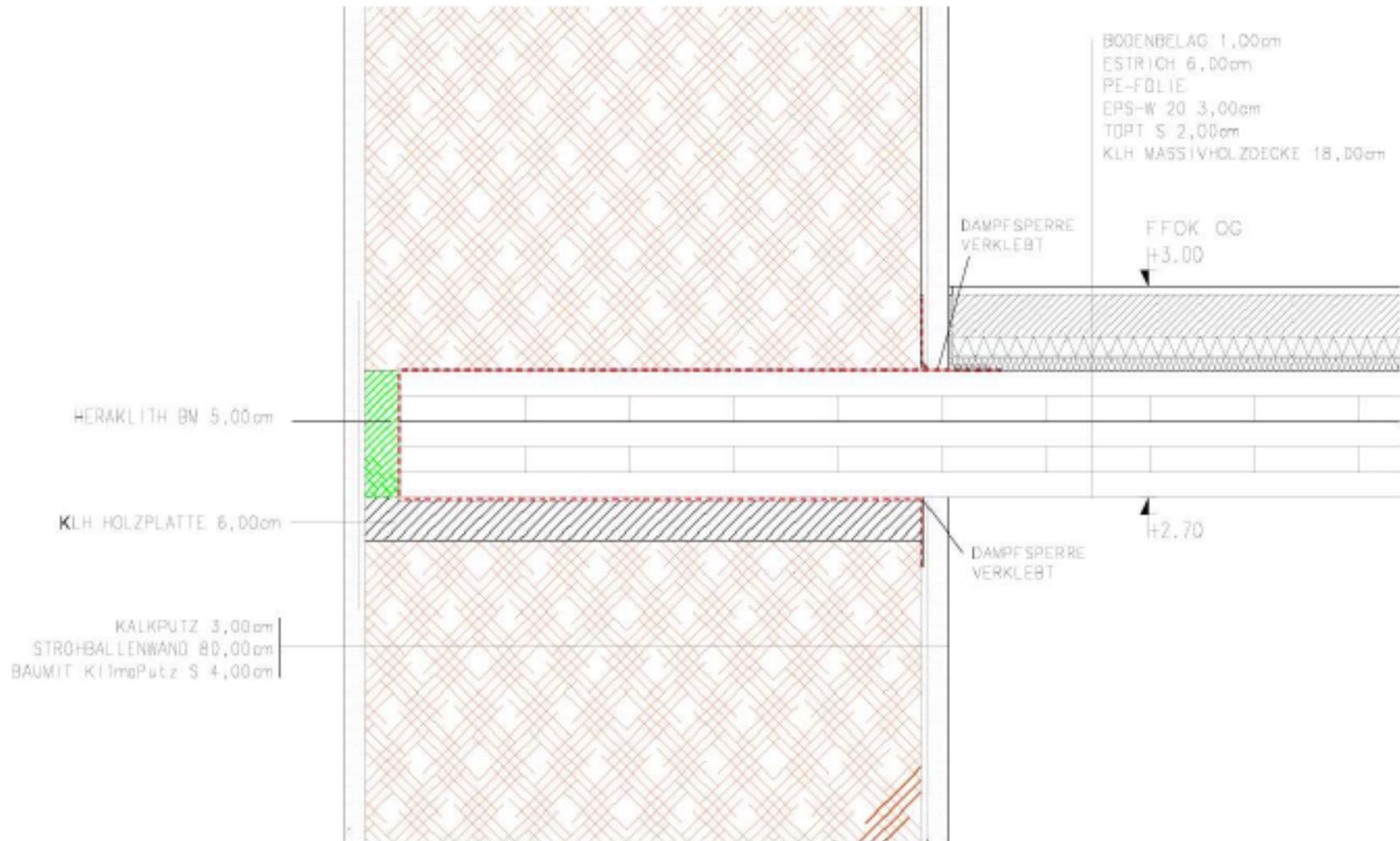


Abbildung 2: Detail B Bereich Einbindende Decke (o.M.)

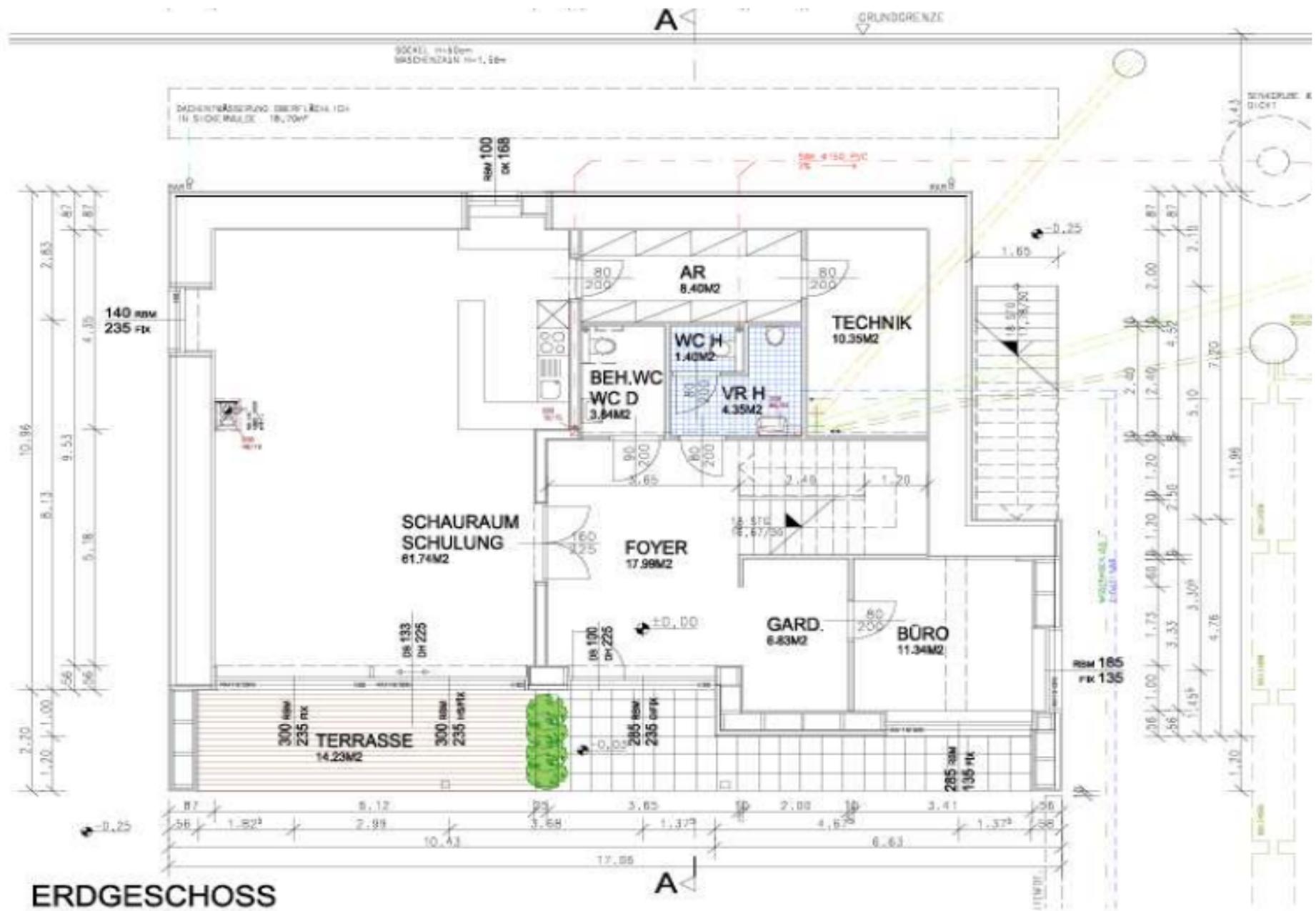


Abbildung 3: Grundriss EG (o.M.)

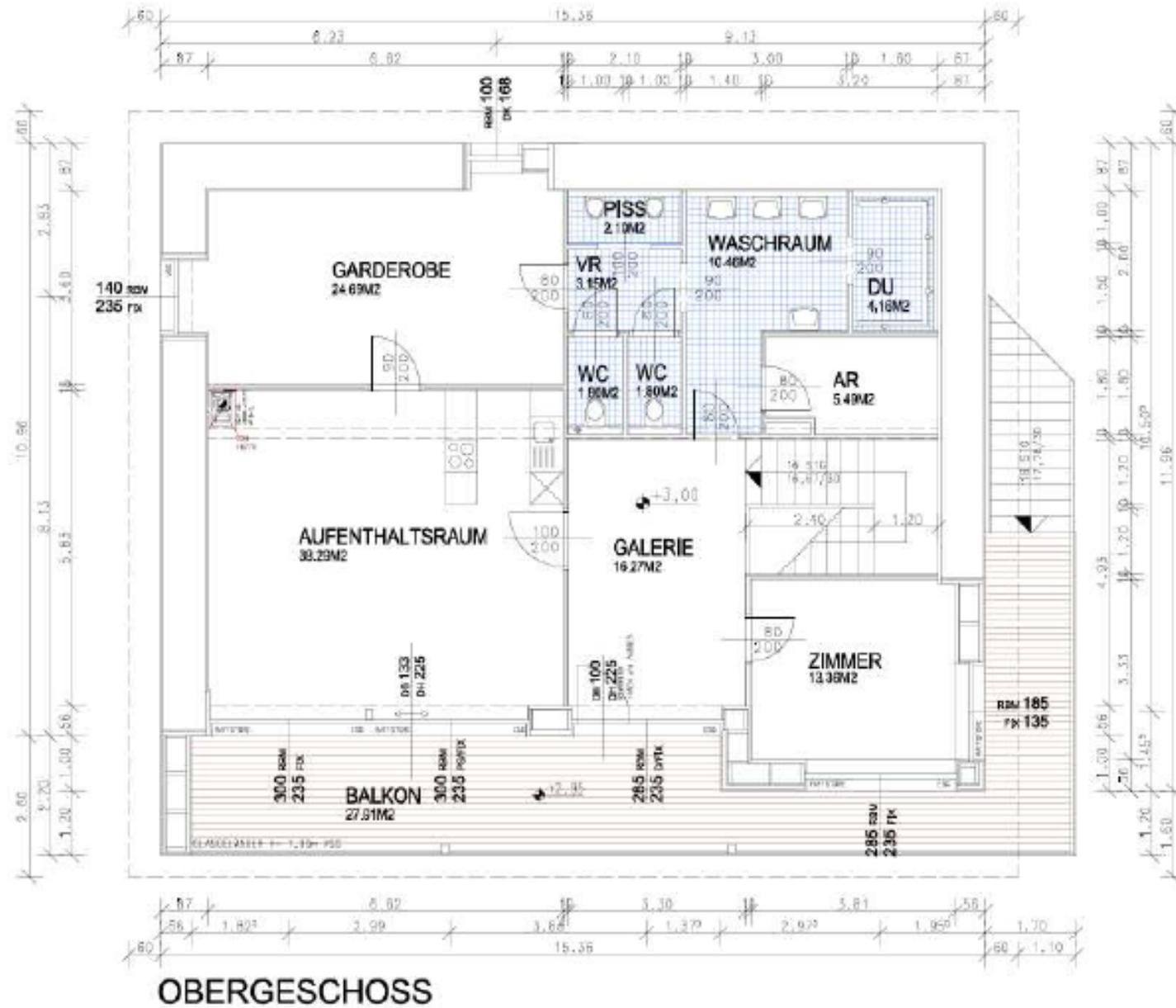


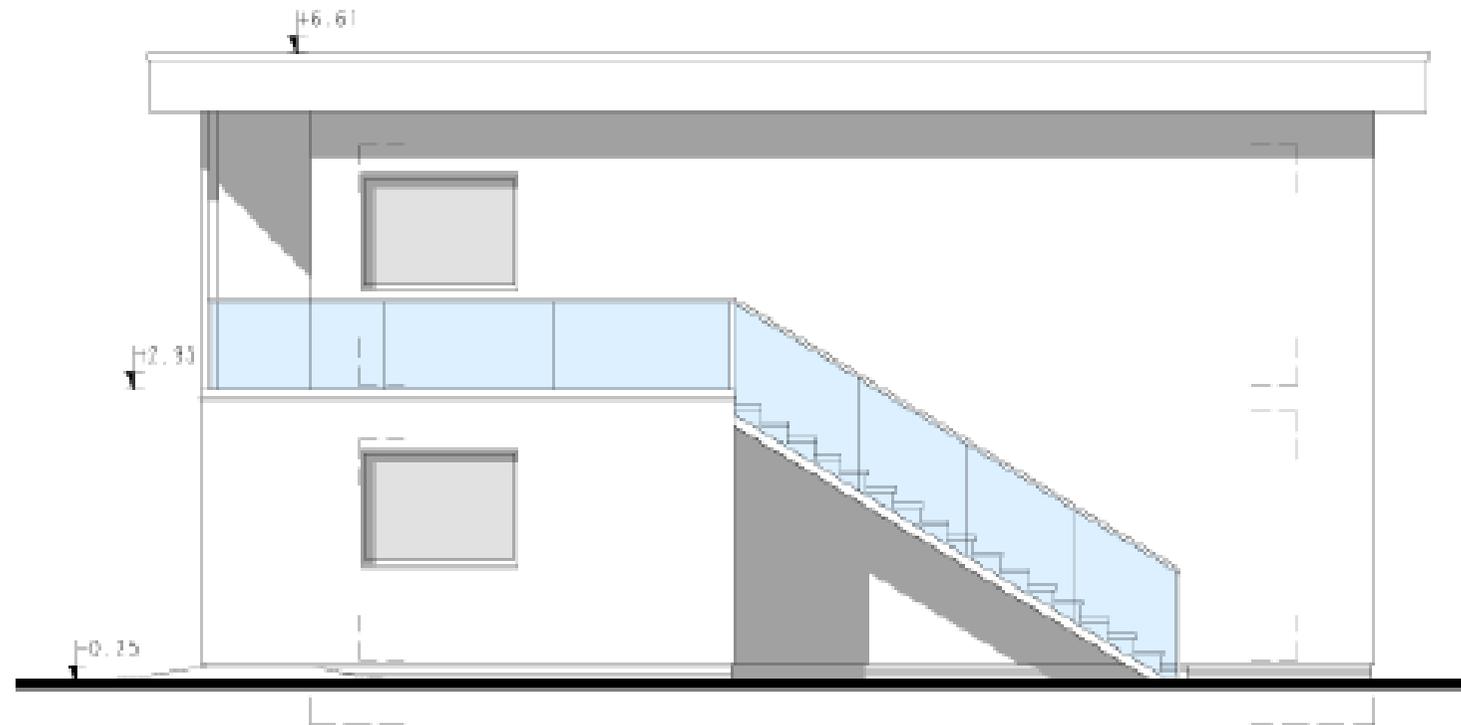
Abbildung 4: Grundriss OG (o.M.)





ANSICHT SÜDWEST

Idung 5: Ansicht Südwest (o.M.)



ANSICHT SÜDOST

Abbildung 6: Ansicht Nordost (o.M.)



ANSICHT NORDWEST

Abbildung 7: Ansicht Nordwest (o.M.)

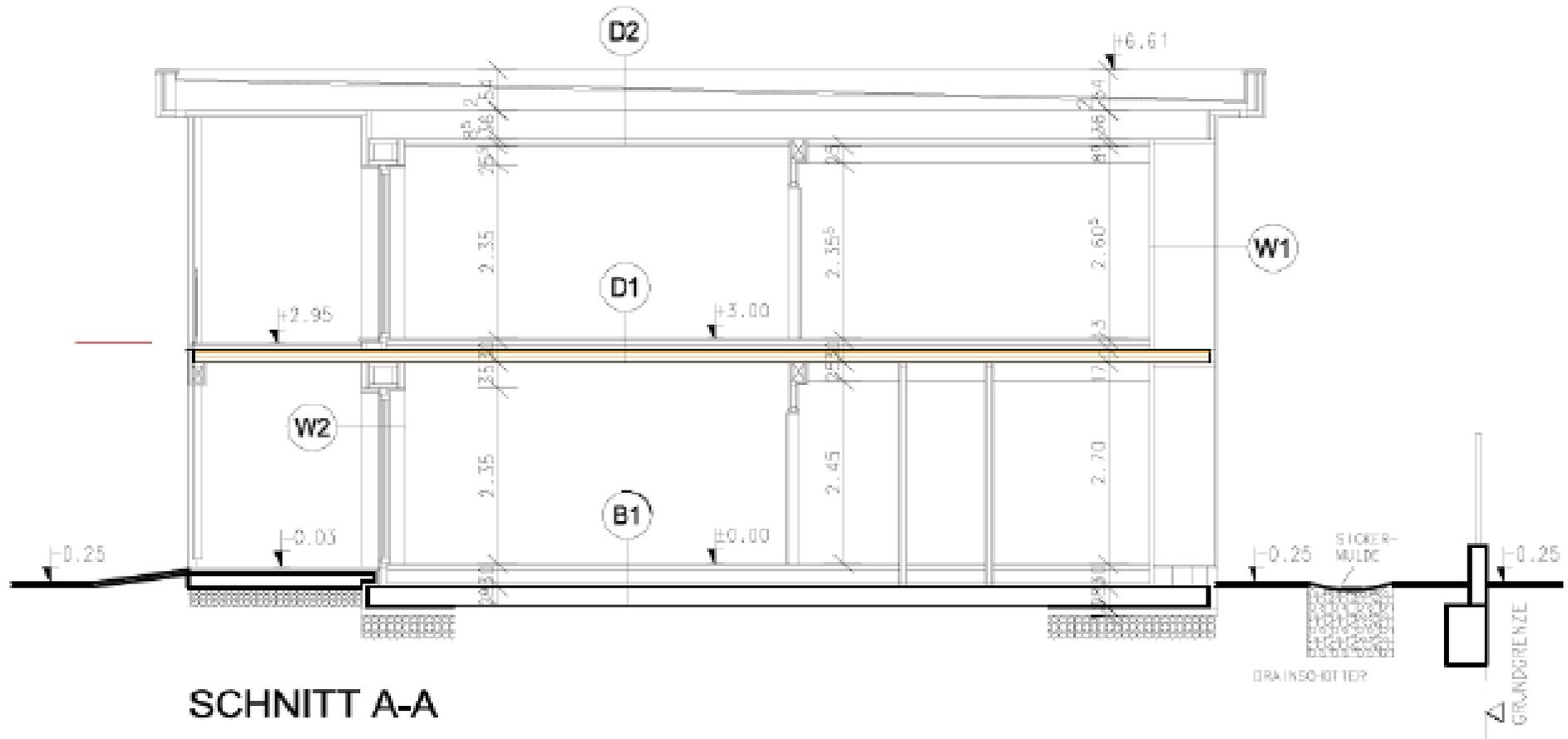
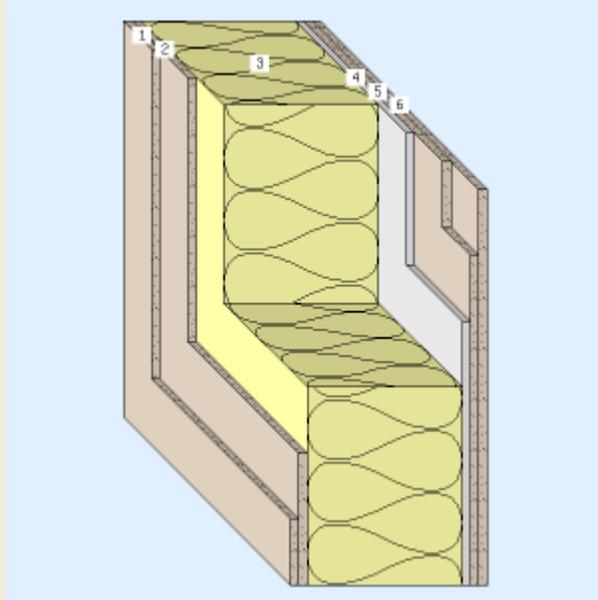


Abbildung 8: Schnitt (o.M.)

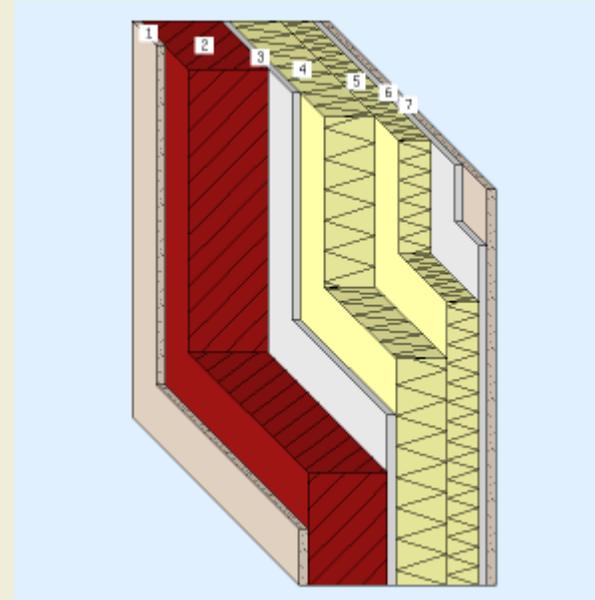
Wandaufbau- Vergleich



Gesamtdicke: 0,9201 m

U-Wert: 0,1 W/m²K

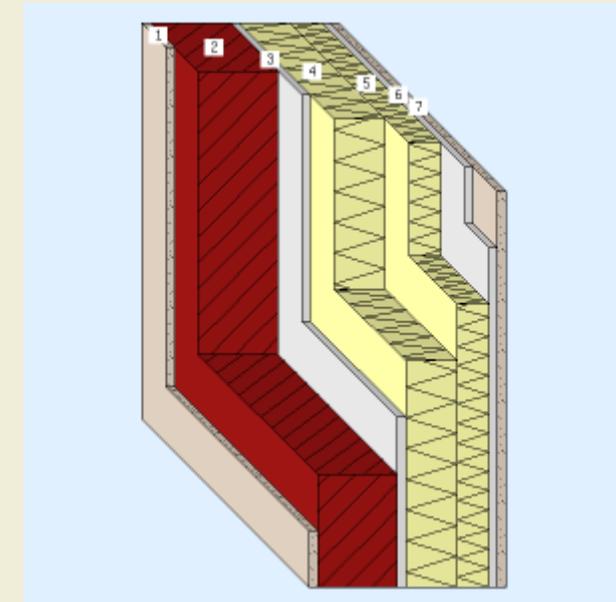
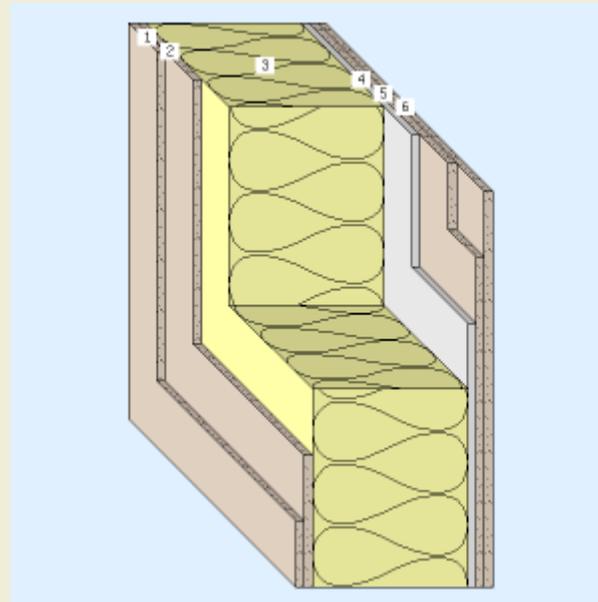
flächenspez. Masse: 194,1 kg/m²



Gesamtdicke: 0,5330 m

U-Wert: 0,105 W/m²K

flächenspez. Masse: 249,2 kg/m²



PEI n. e. [kWh]	83,20	477,60
GWP100 [kgCO ₂ equ.]	-46,03	107,81
AP kg [SO ₂ equ.]	0,11	0,33

Errichtung, Erneuerung, Entsorgung

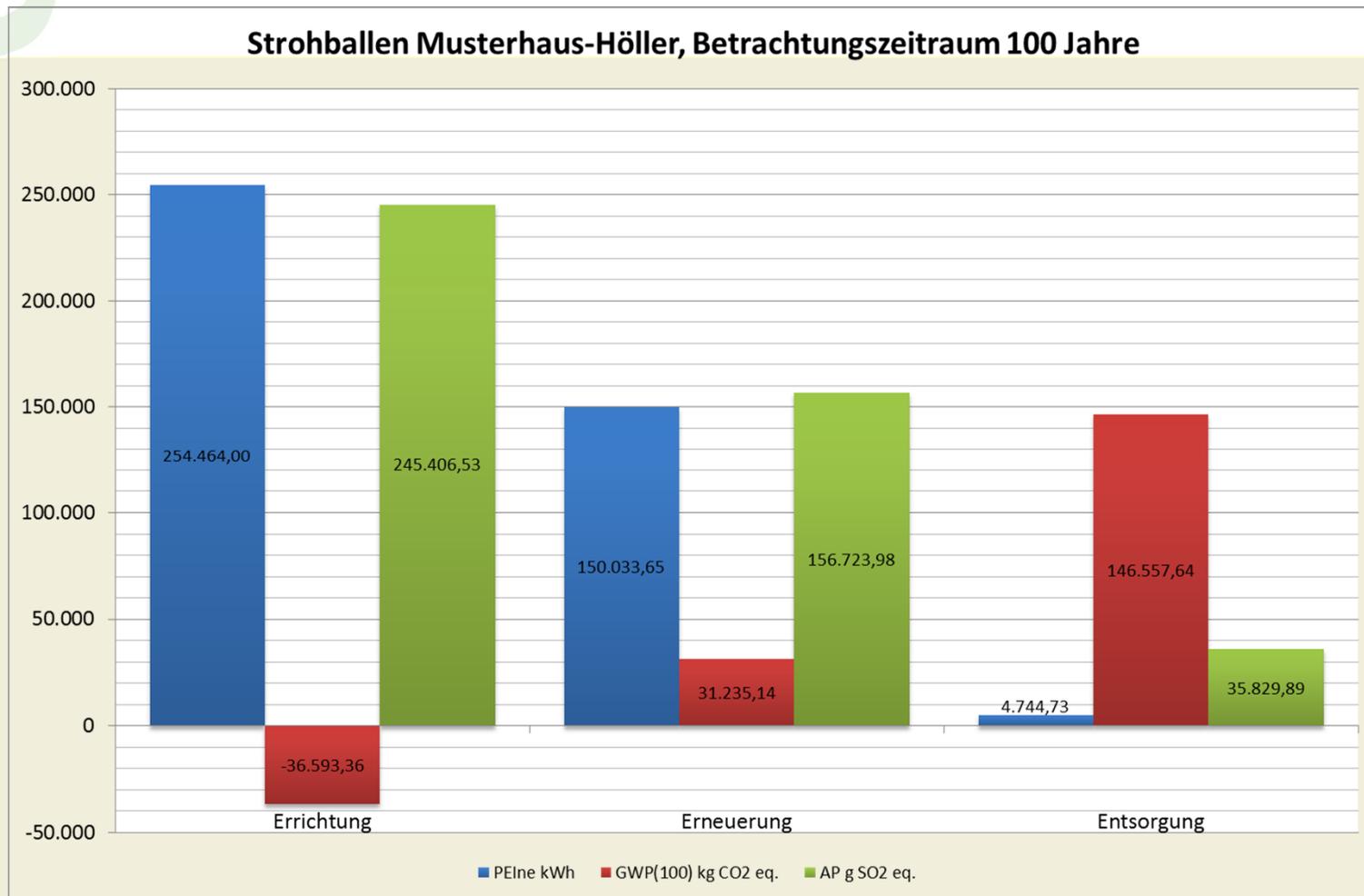
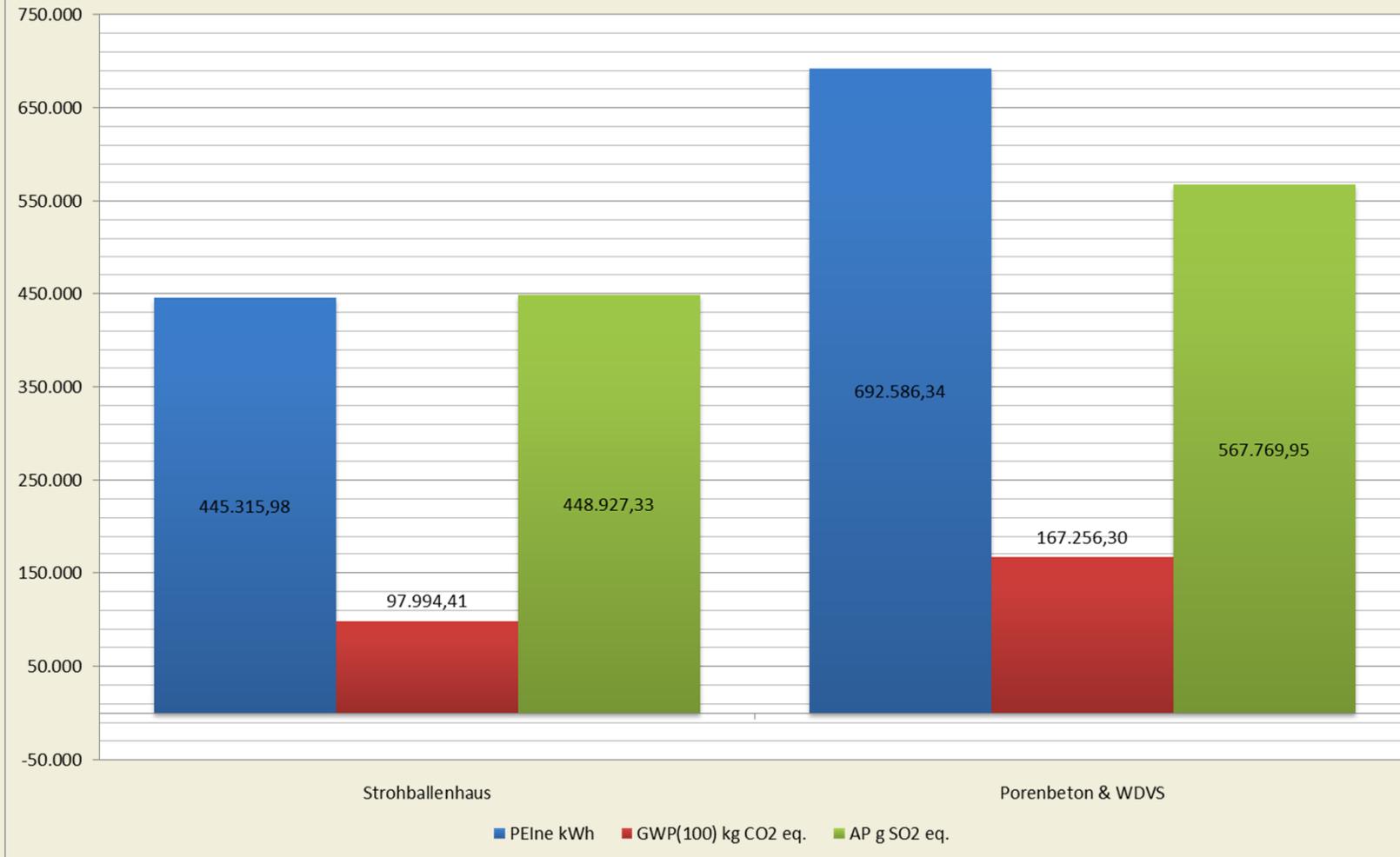


Abbildung 1: Strohballen Musterhaus-Höller. Vergleich der ausgewählten Umweltindikatoren bezüglich der verwendeten Baustoffe in den Kategorien Errichtung, Erneuerung und Entsorgung.

Errichtung, Erneuerung, Entsorgung



Vergleich der Varianten Stroh und Ziegel-WDVS, Betrachtungszeitraum 100 Jahre





Ein Teil der durch das Musterhaus Höller vom IBO durchgeführten ökologischen Bewertung wird hier vorgestellt. Als Werkzeuge dazu dienten das IBO Software-Tool Ecosoft, sowie die online verfügbare Version eco2soft. Es erfolgte nicht nur eine Betrachtung der Errichtung des Gebäudes und der Erneuerung der Baustoffe sondern auch der Entsorgung.

Berechnet wurde die aufgewendete nicht erneuerbare Primärenergie (PEI in MJ), das Treibhauspotenzial (GWP in CO₂ eq). und das Versauerungspotenzial (AP in SO₂ eq). Der Betrachtungszeitraum betrug 100 Jahre.



Die Rahmenbedingungen bezüglich Nutzungsdauer wurden bei beiden Varianten wie folgt festgelegt:

- Fenster und Innentüren 35 a
- Außen- und Innenputz 50 a (Strohbau),
Wärmedämmung Fassade 50 a (Massiv)
- Dachdämmung 50 a, beide Varianten
- Nichttragende Innenwände 50 a, beide Varianten
- Parkettböden 25 a, beide Varianten
- alle anderen Bauteile 100 a



Entsorgung?

Lebensdauer?

Verbrennung?

Trennbarkeit?

Deponierung?

Zusatzstoffe?

Auf den Acker?

Freisetzung von CO₂?



Das Musterhaus wurde zu ca. 2/3 mit lasttragenden Strowänden (85 cm Stroh, jeweils ca. 3-4 cm Außen- und Innenputz) und zu 1/3 als Holzständerkonstruktion ausgeführt. Verglichen wurde mit einem massiven Wandaufbau mit 25 cm Wandstärke und 25 cm EPS Vollwärmeschutz. Die Bruttogeschoßfläche beträgt 355 m², wobei das Strohhaus eine Nettogeschoßfläche von 250 m² aufweist. Der Massivbau verfügt bei gleicher BGF aufgrund der geringeren Wandstärken über rund 22 m² mehr an Wohnfläche. Das Plattenfundament ist bei beiden Varianten ident ausgeführt. Im Stroh-Musterhaus wurden die Zwischendecke mit Brettschichtholzplatten und das Dach als hinterlüftete Holzkonstruktion mit Strohballen ausgeführt. Bei der massiven Variante kam Stahlbeton mit EPS zum Einsatz.

07. 11. 2013
Tobias Steiner (P14086)
IBO GmbH

Gebäude "IBOMagazin Strohballen Musterhaus Ebergassing":

Nutzungsdauer berücksichtigt: ja, ganzzahlig (lt. Norm)

Betrachtungszeitraum: 100 Jahre

Art: Neubau

BGF: 355 m²

BZF (OI3): 355 m²

Berechnungsverfahren: OIB

HWB: 8 kWh/m² (bezogen auf m² BGF)

l_c: 1,61 m

Bemerkung:

Raumheizung: Wärmepumpe monovalent (Sole/Wasser)

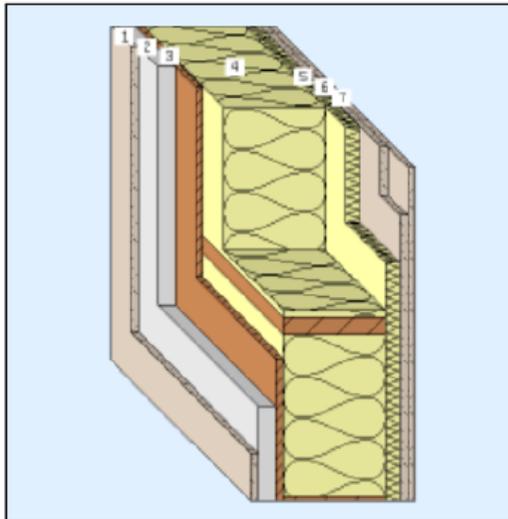
Warmwasser: Wärmepumpe monovalent (Sole/Wasser)

Lüftung: energetisch wirksamer Luftwechsel: 0,12; Blower-Door: 0,40; WRG 83%, kein Erdwärmeta

Photovoltaiksystem: 14,4 kWp; monokristallines Silicium

AW 02 Außenwand Holzriegel

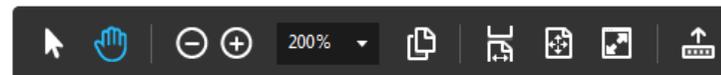
Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m²K/W	ΔOI3 Pkt/m²
1	Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)		2,000	0,830	0,024	10
2	Holzfaserdämmplatte (Synthesa Inthermo HFD-Holzfasce		6,000	0,053	1,132	31
3	OSB-Platte (OSB-Platten (650 kg/m³))		2,000	0,130	0,154	5
4	Inhomogen (Elemente vertikal)		36,000			
	56,5 cm (90%) Baustrohballen (109 kg/m³)		36,000	0,051	7,059	-2
	6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - ra		36,000	0,120	3,000	-1
5	Holzwoolleichtbauplatte magnesitgebunden (Holzwohle		5,000	0,110	0,455	4
6	Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)		1,500	0,830	0,018	7
7	Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)		1,500	0,830	0,018	7
				$R_s / R_{se} =$	0,130 / 0,040	
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,9%) =	8,373 / 8,218	
Bauteil			54.000		8.296	61

0,121 W/m²K U-Wert

Masse 169,4 kg/m²
PEI n. e. 988,42 MJ/m²
GWP100 -58,7294 kg CO₂/m²
AP 0,284226 kg SO₂/m²
Nutzungsd. ja, ganzzahlig
Art Neubau

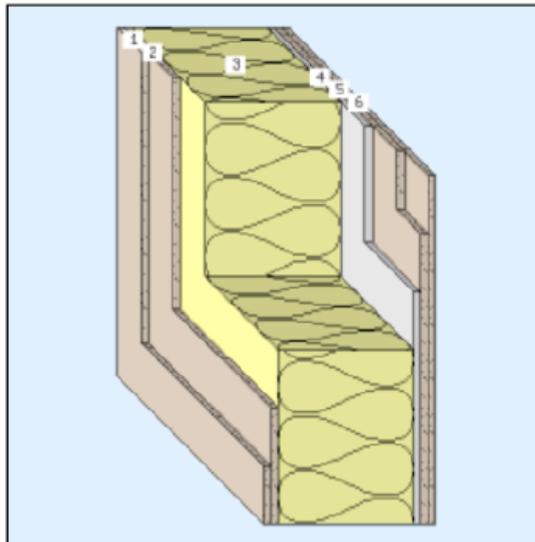


Konstruktion

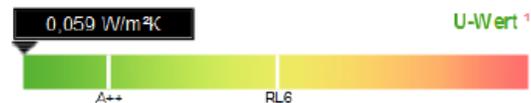


AW01_Außenwand_Strohballen_mit_ARMIERUN SSTAHL

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²
1		Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)	2,000	0,830	0,024	10
2		Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)	2,000	0,830	0,024	10
3		Stroh (Baustrohballen (109 kg/m ³))	85,000	0,051	16,667	-6
4		Armierungsstahl, 208lfm x 10mm Durchmesser (Armier.)	0,008	50,000	0,000	1
5		Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)	1,500	0,830	0,018	7
6		Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)	1,500	0,830	0,018	7
				$R_s / R_{s,e} =$	0,130 / 0,040	
				R' / R'' (max. relativer Fehler 0,0%) =	16,921 / 16,921	
Bauteil			92,008		16,921	29



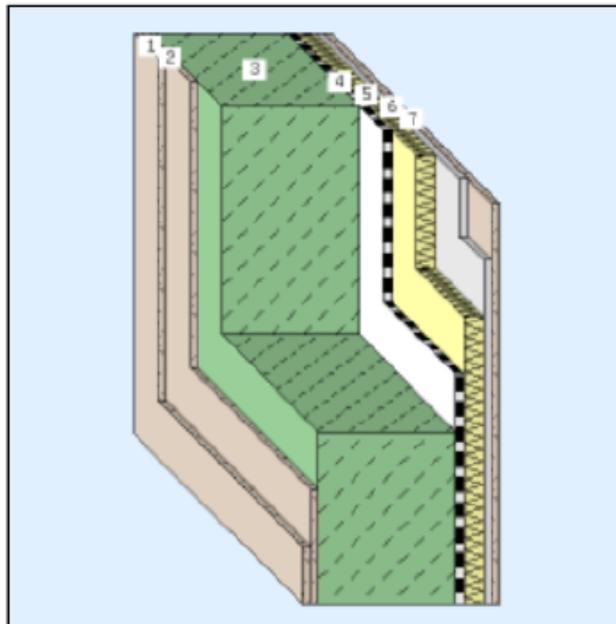
Masse	194,1 kg/m²
PEI n. e.	511,23 MJ/m ²
GWP100	-78,5601 kg CO ₂ /m ²
AP	0,187227 kg SO ₂ /m ²
Nutzungsd.:	ja, ganzzahlig
Art.	Neubau

Konstruktion



AW03_Thermofuß

Wand: gegen Außenluft - nicht hinterlüftet



Nr.	Typ	Schicht (von innen nach aussen)	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²
1		Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)	2,000	0,830	0,024	10
2		Kalkputz (weber.cal 172 Kalkputz)	2,000	0,830	0,024	10
3		Porenbeton 400kg (Porenbeton (375 kg/m ³))	70,000	0,110	6,364	58
4		Polymerbitumen-Dichtungsbahn	0,500	0,230	0,022	12
5		Polystyrol extrudiert CO ₂ -geschäumt (Sto-Polystyrol-Ha	10,000	0,040	2,500	9
6		Klebespachtel (Baumit KlebeSpachtel)	0,300	0,800	0,004	3
7		Silikatputz (Silikatputz)	0,200	0,800	0,003	6
				$R_s / R_{se} =$		0,130 / 0,040
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =		9,110 / 9,110
Bauteil			85,000		9,110	108



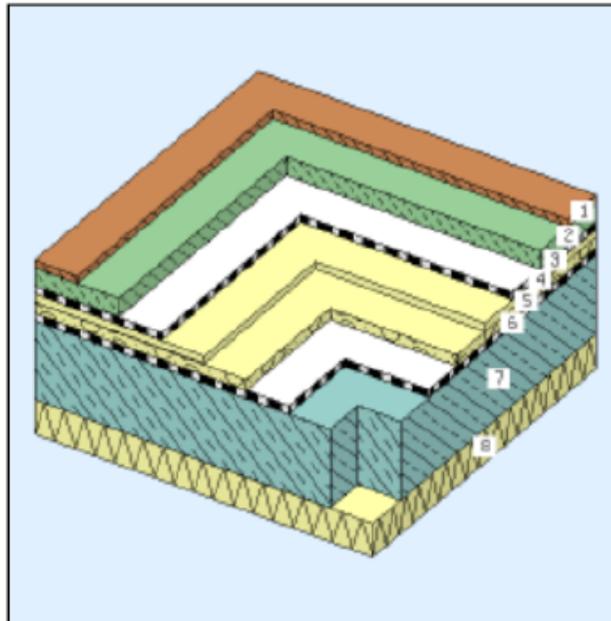
Masse	334,9 kg/m ²
PEI n. e.	1.477,37 MJ/m ²
GWP100	97,6081 kg CO ₂ /m ²
AP	0,315157 kg SO ₂ /m ²
Nutzungsd.:	ja, ganzzahlig
Art.	Neubau

Konstruktion



EB01 E FB erdanl

Boden: erdberührt - Wärmestrom nach unten



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²
1		Parkett Massiv	1,000	0,160	0,053	41
2		Estrichbeton (RÖFIX 970 Zementestrich)	6,500	1,600	0,041	12
3		Dampfbremse PE (Dampfbremse Polyethylen (PE))	0,040	0,500	0,001	2
4		Polystyrol expandiert (EPS)-W20 (Bachl EPS W-20)	2,000	0,038	0,526	2
5		Polystyrol expandiert Granulat zementgebunden (EPS-G)	4,000	0,075	0,533	4
6		Polymerbitumen-Dichtungsbahn (Polymerbitumen-Dicht)	0,500	0,230	0,022	12
7		Stahlbeton (Beton mit Bewehrung 1 % in WU-Qualität (2	28,000	2,300	0,122	68
8		Polystyrol extrudiert CO2-geschäumt (AUSTROTHERM	12,000	0,038	3,158	21
				$R_s / R_{s,e} =$		0,170 / 0,000
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =		4,635 / 4,635
Bauteil			54,040		4,635	163

0,216 W/m²K

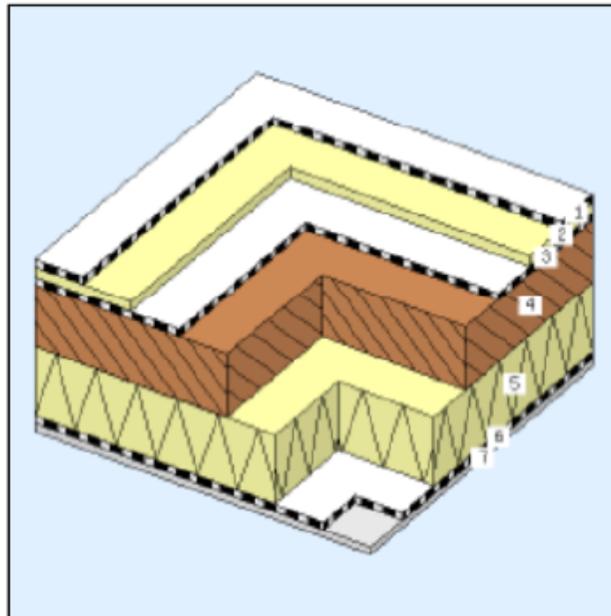
U-Wert ²



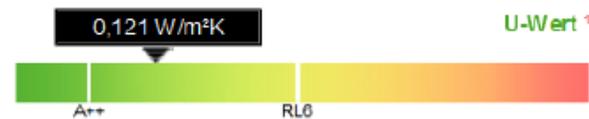
Masse	803,8 kg/m ²
PEI n. e.	2.160,21 MJ/m ²
GWP100	151,8052 kg CO ₂ /m ²
AP	0,493372 kg SO ₂ /m ²
Nutzungsd.:	ja, ganzzahlig
Art	Neubau

FD01 Außendecke Terrasse

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben



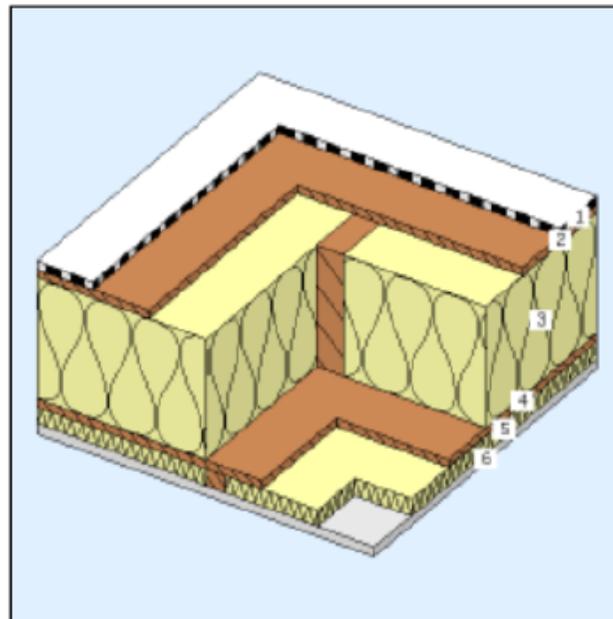
Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔO_{13} Pkt/m ²
1		Unterdachbahn (Sarnafil TS 77)	0,200	0,250	0,008	16
2		EPS W30 (Bachl EPS W-30)	3,000	0,035	0,857	10
3		Unterdeckbahn (Bauder Elastomerbitumen Unterspann-	0,300	0,230	0,013	7
4		Brettschichtholz, verleimt, Innenanwendung (Brettschich	18,000	0,120	1,500	30
5		Mineralwolleplatte (Glaswolle MW(GW)-WF (50 kg/m ³))	20,000	0,035	5,714	40
6		Dampfbremse PE (Dampfbremse Polyethylen (PE))	0,200	0,500	0,004	9
7		Gipskartonplatte (Knauf Gipskarton Bauplatte)	1,500	0,250	0,060	2
				$R_s / R_{s2} =$	0,100 / 0,040	
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) =	8,296 / 8,296	
Bauteil			43,200		8,296	115



Masse	113,7 kg/m ²
PEI n. e.	1.896,96 MJ/m ²
GWP100	-55,1279 kg CO ₂ /m ²
AP	0,456112 kg SO ₂ /m ²
Nutzungsd.:	ja, ganzzahlig
Art	Neubau

FD02 Flachdach, hinterlüftet

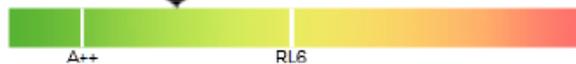
Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	ΔOI_3 Pkt/m ²
1		Polyethylenbahn Dacher (Dachauflegebahn aus Polyeth	0,300	0,500	0,006	30
2		MDF-Platte für Bauwesen (MDF-Platten für Bauwesen n	1,500	0,120	0,125	16
3		<i>Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)</i>	36,000			
		54,5 cm (87%) Baustrohballen (109 kg/m ³)	36,000	0,051	7,059	3
		8 cm (13%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - ra	36,000	0,120	3,000	4
4		OSB-Platte (OSB-Platten (650 kg/m ³))	2,000	0,130	0,154	13
5		<i>Inhomogen (Elemente längs bzw. normal zur Traufe)</i>	5,000			
		56,5 cm (90%) Glaswolle MW(GW)-WL (18 kg/m ³)	5,000	0,038	1,316	6
		6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - ra	5,000	0,120	0,417	0
6		Gipskartonplatte (Flammschutz) (Gipskartonplatte – Flar	3,000	0,250	0,120	15
				$R_s / R_{s2} =$		0,100 / 0,040
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,8%) =		7,777 / 7,652
Bauteil			47,800		7,714	89

0,130 W/m²K

U-Wert ¹



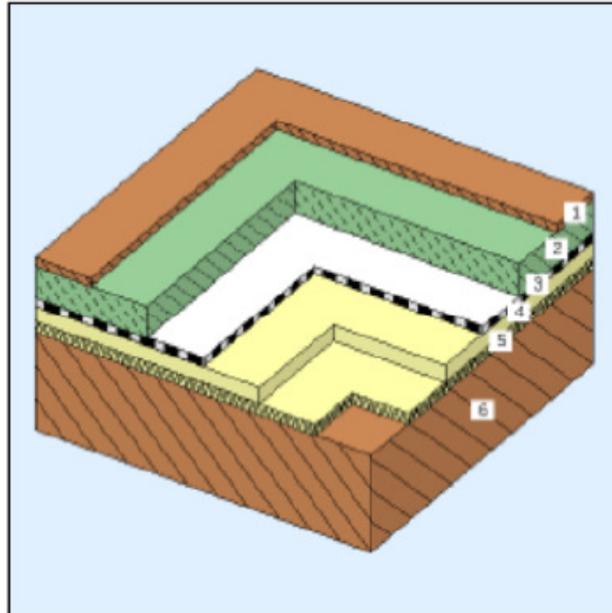
Masse	111,1 kg/m ²
PEI n. e.	1.527,85 MJ/m ²
GWP100	-49,4109 kg CO ₂ /m ²
AP	0,346853 kg SO ₂ /m ²
Nutzungsd.:	ja, ganzzahlig
Art	Neubau

Konstruktion



ZD01 Zwischendecke

Decke, Dach: Flach- oder Schrägdach gegen Außenluft - nicht hinterlüftet - Wärmestrom nach oben



Nr.	Typ	Schicht	d cm	λ W/mK	R m ² K/W	$\Delta OI3$ Pkt/m ²
1		Massivparkett	1,000	0,160	0,063	41
2		Estrichbeton (RÖFIX 970 Zementestrich)	6,000	1,600	0,038	11
3		Dampfbremse Polyethylen (PE)	0,200	0,500	0,004	9
4		Polystyrol expandiert (EPS)-W20 (Bachl EPS W-20)	3,000	0,038	0,789	3
5		Glaswolle Trittschall (Glaswolle MW(GW)-T (80 kg/m ³))	2,000	0,035	0,571	6
6		Brettchichtholz, verleimt, Innenanwendung (Brettchich)	18,000	0,120	1,500	30
				$R_s / R_{s,e} =$		0,100 / 0,040
				R' / R'' (max. relativer Fehler: 0,0%) -		3,105 / 3,105
Bauteil			30,200		3,105	102

U-Wert *

0,322 W/m²K



Masse	223,0 kg/m ²
PEI n. e.	1.589,08 MJ/m ²
GWP100	-58,0647 kg CO ₂ /m ²
AP	0,436882 kg SO ₂ /m ²
Nutzungsd.:	ja, ganzzahlig
Art	Neubau

Transportwege



Gebäude "Strohballen Musterhaus Ebergassing": Transportwege

Hier werden alle verwendeten Materialien/Komponenten aufgelistet, absteigend sortiert nach ihrer Masse. Wenn ein Material in mehreren Bauteilen vorkommt, und die Transportwege unterschiedlich sind, ist **nicht möglich**. Die Angaben sind **nicht** verpflichtend. Durch den kumulierten Masseanteil sehen sie, bis wohin Sie die Angaben machen müssen, um einen bestimmten Anteil der Masse abzudecken.

Material/Komponente	Masse [kg]	Masseanteil	Kumulierter Anteil	Transportmittel, Wegstrecke
Beton mit Bewehrung 1 % in WU-Qualität (2300 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	116.822	43,1%	43,1%	<input type="text"/> km
RÖFIX 970 Zementestrich Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	46.559	17,2%	60,3%	<input type="text"/> km
Baustrohballen (109 kg/m³) Verwendet in: 4 opaken Bauteilen	31.143	11,5%	71,8%	<input type="text"/> km
weber.cal 172 Kalkputz Verwendet in: 9 opaken Bauteilen	28.575	10,6%	82,4%	<input type="text"/> km
Brettschichtholz, verleimt Innenanwendung (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	15.986	5,9%	88,3%	<input type="text"/> km
Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - rauh, technisch getrocknet Verwendet in: 3 opaken Bauteilen	5.810	2,1%	90,5%	<input type="text"/> km
Gipskartonplatte – Flammschutz (900kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	4.671	1,7%	92,2%	<input type="text"/> km
OSB-Platten (650 kg/m³) Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	3.539	1,3%	93,5%	<input type="text"/> km
Porenbeton (375 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	2.126	0,8%	94,3%	<input type="text"/> km
Holzwohle Platte WW magnesitgebunden (350 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	1.736	0,6%	94,9%	<input type="text"/> km
Nutzholz (475 kg/m³ - zB Fichte/Tanne) - gehobelt, techn. getrocknet Verwendet in: 1 opaken Bauteil	1.566	0,6%	95,5%	<input type="text"/> km
MDF Platten für Baureisen mitteldichte Faserplatte (600 kg/m³)				<input type="text"/> km

Transportwege

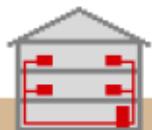


Innentür gegen Pufferraum (Holz, lackiert) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	823	0,3%	99,1%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
AUSTROTHERM XPS TOP 30 Verwendet in: 1 opaken Bauteil	653	0,2%	99,3%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Dachauflegebahn aus Polyethylen (PE) - diffusionsoffen Verwendet in: 1 opaken Bauteil	509	0,2%	99,5%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Glaswolle MW(GW)-T (80 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	277	0,1%	99,6%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Baupapier Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	186	0,1%	99,7%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Bachl EPS W-20 Verwendet in: 2 opaken Bauteilen	172	0,1%	99,7%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Knauf Gipskarton Bauplatte Verwendet in: 1 opaken Bauteil	142	0,1%	99,8%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Glaswolle MW(GW)-WL (18 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	141	0,1%	99,8%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Glaswolle MW(GW)-WF (50 kg/m³) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	140	0,1%	99,9%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Dreifach-Wärmeschutzglas G75, Ug=0,6 (4/10/4/10/4 Krypton) Verwendet in: 1 transparenten Bauteil	65	0,0%	99,9%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Gaulhofer GLASSLINE Holz-Alufensterrahmen Fichte Verwendet in: 1 transparenten Bauteil	52	0,0%	99,9%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Bauder Elastomerbitumen Unterspann- und Unterdeckbahnen Verwendet in: 1 opaken Bauteil	42	0,0%	99,9%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Baumit KlebeSpachtel Verwendet in: 1 opaken Bauteil	34	0,0%	100,0%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Sarnafil TS 77 Verwendet in: 1 opaken Bauteil	31	0,0%	100,0%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Silikatputz Verwendet in: 1 opaken Bauteil	29	0,0%	100,0%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Stahl niedriglegiert (Legierungsanteil 1%) Verwendet in: 1 opaken Bauteil	21	0,0%	100,0%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Sto-Polystyrol-Hartschaumplatte EPS-F Klima Verwendet in: 1 opaken Bauteil	12	0,0%	100,0%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km
Bachl EPS W-30 Verwendet in: 1 opaken Bauteil	12	0,0%	100,0%	<input type="text"/>	<input type="text"/>	km



Opake und transparente Bauteile

Fläche	Bauteil	ΔOI3		PEI n. e. kWh	GWP100 kgCO ₂ equ.	AP kgSO ₂ equ.
		BG3, BZF	pro m ² Bt			
99,20 m ²	AW 02 Außenwand Holzriegel	17	61	76,7	-16,41	0,0794
208,00 m ²	AW01_Außenwand_Strohballen_mit_ARMIERUNGSSTAHL	17	29	83,2	-46,03	0,1097
8,10 m ²	AW03_Thermofuß	2	108	9,4	2,23	0,0072
181,40 m ²	EB01 EG FB erdanl	111	217	446,4	89,24	0,3175
13,97 m ²	FD01 Außendecke Terrasse	4	102	18,2	-2,49	0,0168
173,00 m ²	FD02 Flachdach, hinterlüftet	17	34	103,4	-42,04	0,0845
173,00 m ²	ZD01 Zwischendecke	49	102	215,1	-28,30	0,2129
14,52 m ²	FE01	11	280	31,6	7,05	0,0485
6,44 m ²	FE02	5	292	15,1	3,21	0,0221
7,14 m ²	FE03	6	290	16,6	3,55	0,0244
7,76 m ²	FE04	6	288	17,8	3,84	0,0264
7,70 m ²	FE05	6	290	17,9	3,83	0,0263
5,00 m ²	FE06	4	295	12,0	2,51	0,0172
3,36 m ²	FE07	3	304	8,5	1,72	0,0118
6,58 m ²	FE08	5	291	15,4	3,28	0,0225
2,82 m ²	FE09	2	295	6,7	1,42	0,0097
29,40 m ²	Innentür	16	192	67,3	5,79	0,0517
186,00 m ²	IW nichttragend	2	4	7,2	-7,84	0,0179
27,48 m ²	IW tragend	0	4	4,7	-6,26	0,0060
Summe				1.173,3	-21,71	1,1125



Haustechnik

1 Stk.	Wärmepumpe, Sole-Wasser, 10 kW
120 m	Elektrokabel (PVC) NYM (YM) 3x1,5 mm ²
6 Stk.	WC wandhängend Keramik, Sanitär
53 m	Wickelfazrohr DN 125, Stahl
1 Stk.	Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m ³ /h
1 Stk.	Lüftungsanlagensteuerung inkl. Kabel
Summe	

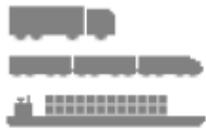
PEI n. e.	GWP100	AP
kWh	kgCO ₂ equ.	kgSO ₂ equ.
pro m ² EZF (O3)		
27,1	3,10	0,0128
1,2	0,05	0,0008
5,4	0,32	0,0006
19,9	1,37	0,0085
13,4	0,82	0,0039
1,3	0,08	0,0007
68,3	20,64	0,0984



Sonstige Bauteile

Außenanlagen
PV-Anlage
Summe

PEI n. e.	GWP100	AP
kWh	kgCO ₂ equ.	kgSO ₂ equ.
pro m ² EZF (O3)		
27,5	1,28	0,0175
1.084,5	233,33	1,1000
1.112,0	234,61	1,1176



Transportwege

Summe (88,3% aller Materialien mit bekannter Masse berücksichtigt)

Für folgende Materialien/Komponenten konnte keine Masse ermittelt werden: Wärmepumpe, Sole-Wasser, 10 kW, Elektrokabel (PVC) NYM (YM) 3x1,5 mm², WC wandhängend Keramik, Sanitär, Wickelfalzrohr DN 125, Stahl, Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m³/h, Lüftungsanlagensteuerung inkl. Kabel, Elektroinstallationen für 3 kWp Photovoltaikanlage, Wechselrichter 2500 W, Photovoltaik, Photovoltaikpaneel, mono-Si. Diese sind in den Transportwegen NICHT berücksichtigt.

PEI n. e.	GWP100	AP
kWh	kgCO ₂ equ.	kgSO ₂ equ.
pro m ² BZF (OIG)		
87,5	19,76	0,0898



Entsorgung

Summe (100,0% aller Materialien mit bekannter Masse berücksichtigt)

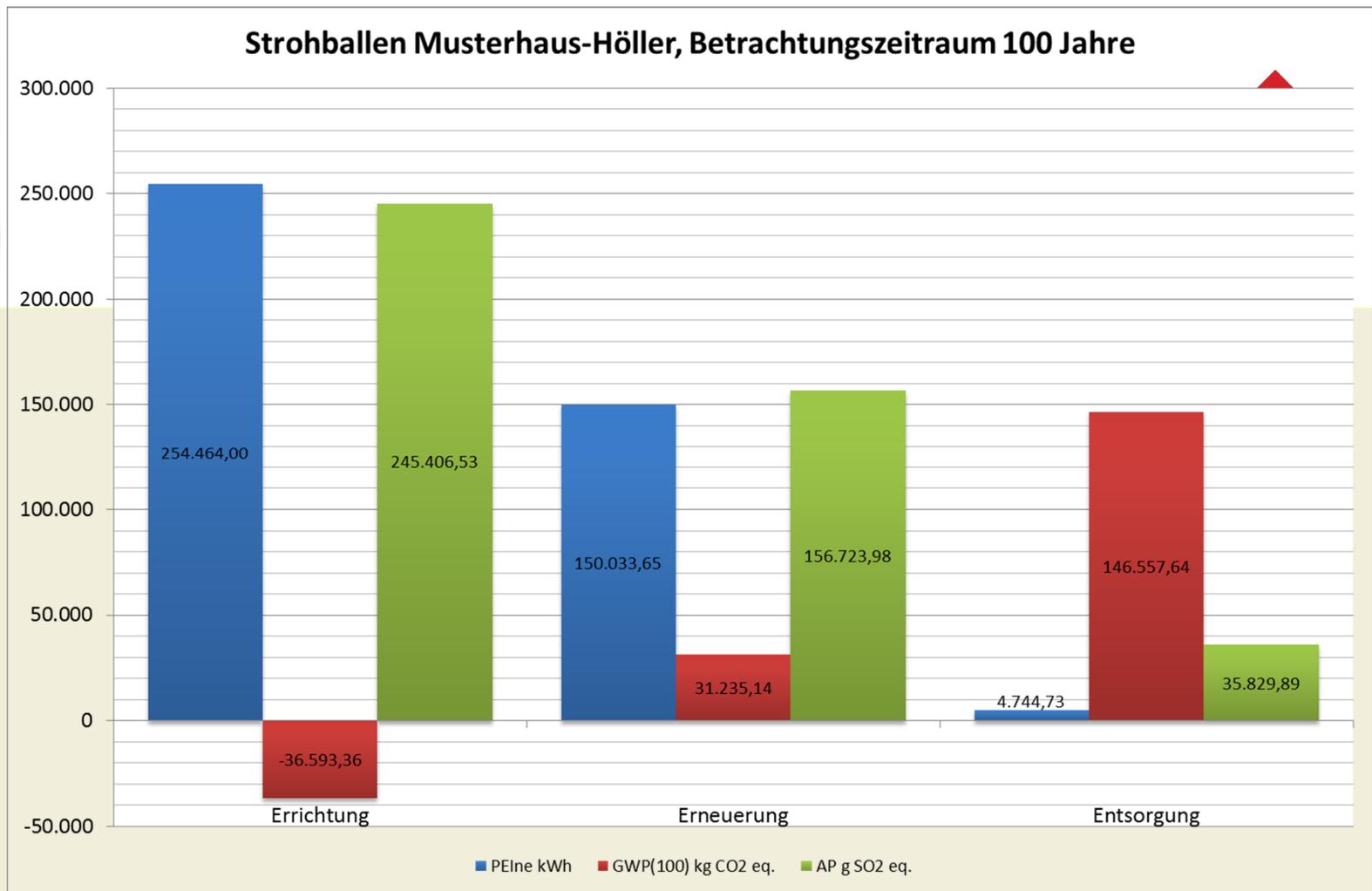
Für folgende Materialien/Komponenten konnte keine Masse ermittelt werden: Wärmepumpe, Sole-Wasser, 10 kW, Elektrokabel (PVC) NYM (YM) 3x1,5 mm², WC wandhängend Keramik, Sanitär, Wickelfalzrohr DN 125, Stahl, Lüftungsgerät, dezentral, 180-250 m³/h, Lüftungsanlagensteuerung inkl. Kabel, Elektroinstallationen für 3 kWp Photovoltaikanlage, Wechselrichter 2500 W, Photovoltaik, Photovoltaikpaneel, mono-Si. Diese sind in der Entsorgung NICHT berücksichtigt.

PEI n. e.	GWP100	AP
kWh	kgCO ₂ equ.	kgSO ₂ equ.
pro m ² BZF (OIG)		
161,6	1.809,37	0,4243



Gebäude gesamt

	OIG	PEI n. e.	GWP100	AP
		kWh	kgCO ₂ equ.	kgSO ₂ equ.
		pro m ² BZF (OIG)		
	BG3, BZF	2.602,7	2.062,69	2,8425
	286			



CO₂ bleibt zunächst bei der Errichtung und während der Nutzung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen gebunden. Das wird als negative CO₂ Bilanz ausgewiesen. Der Primärenergieinhalt nicht erneuerbar beträgt bei der Errichtung rund 255.000 kWh, eine negative CO₂ Bilanz von 36,6 t CO₂ eq. und 245 kg SO₂ eq..

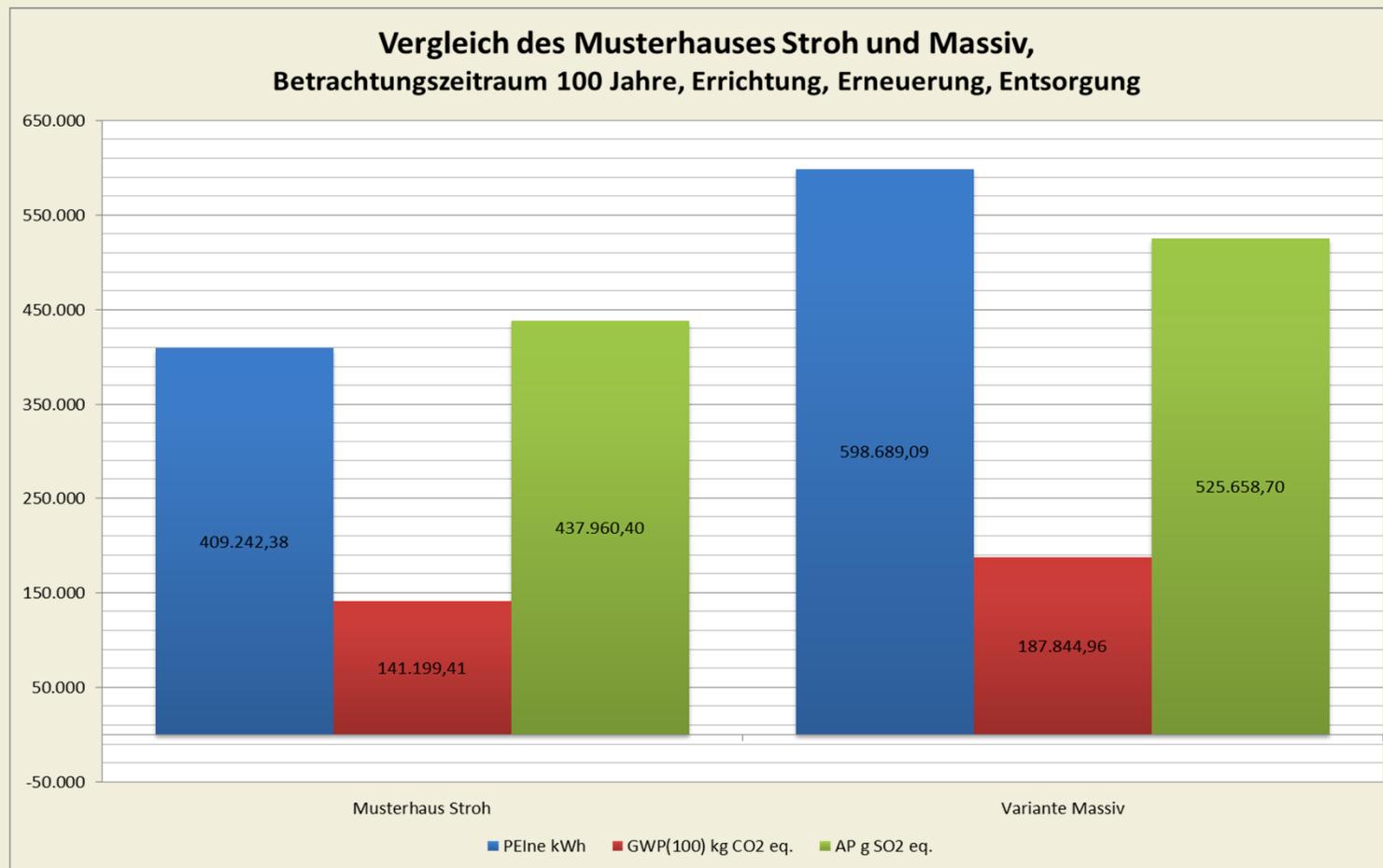


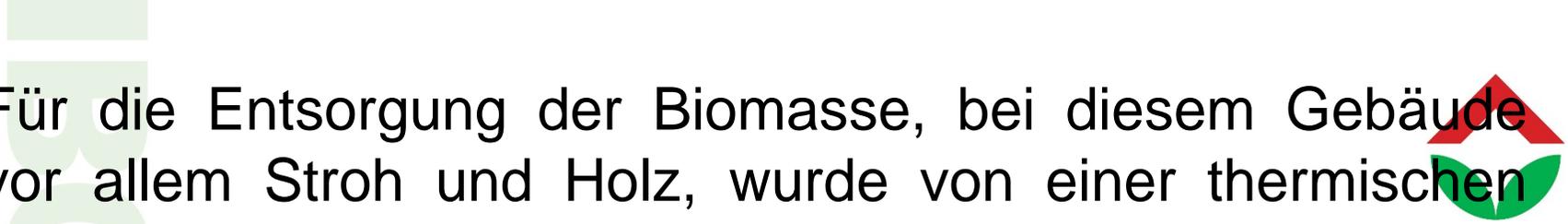
Die Erneuerung verursacht rund zwei Drittel der Auswirkungen der Errichtung. Bei den Erneuerungszyklen wird die CO₂-Bindung nicht mehr ausgewiesen, da das gebundene CO₂ bei der Entsorgung (Annahme: Verbrennung) wieder freigesetzt wird. Bei der Erneuerung fallen vor allem jene Produkte mit kurzen Lebensdauern stark ins Gewicht. Unter den oben gewählten Annahmen schlagen daher folgende Produkte und Bauteile absteigend sortiert bei der Erneuerung zu Buche: Parkettböden, Dachdämmung, Fenster, Innentüren, Innen- und Außenputz.



Bei der Entsorgung wurde davon ausgegangen, dass die Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen thermisch verwertet werden und das darin gebundene CO₂ eq. wieder freigesetzt wird. Die Entsorgungsprozesse in Summe führen zu geringen Auswirkungen hinsichtlich der aufzuwendenden Energie und der Versauerung. Die freigesetzten Mengen an CO₂ eq. betragen rund 147 Tonnen.

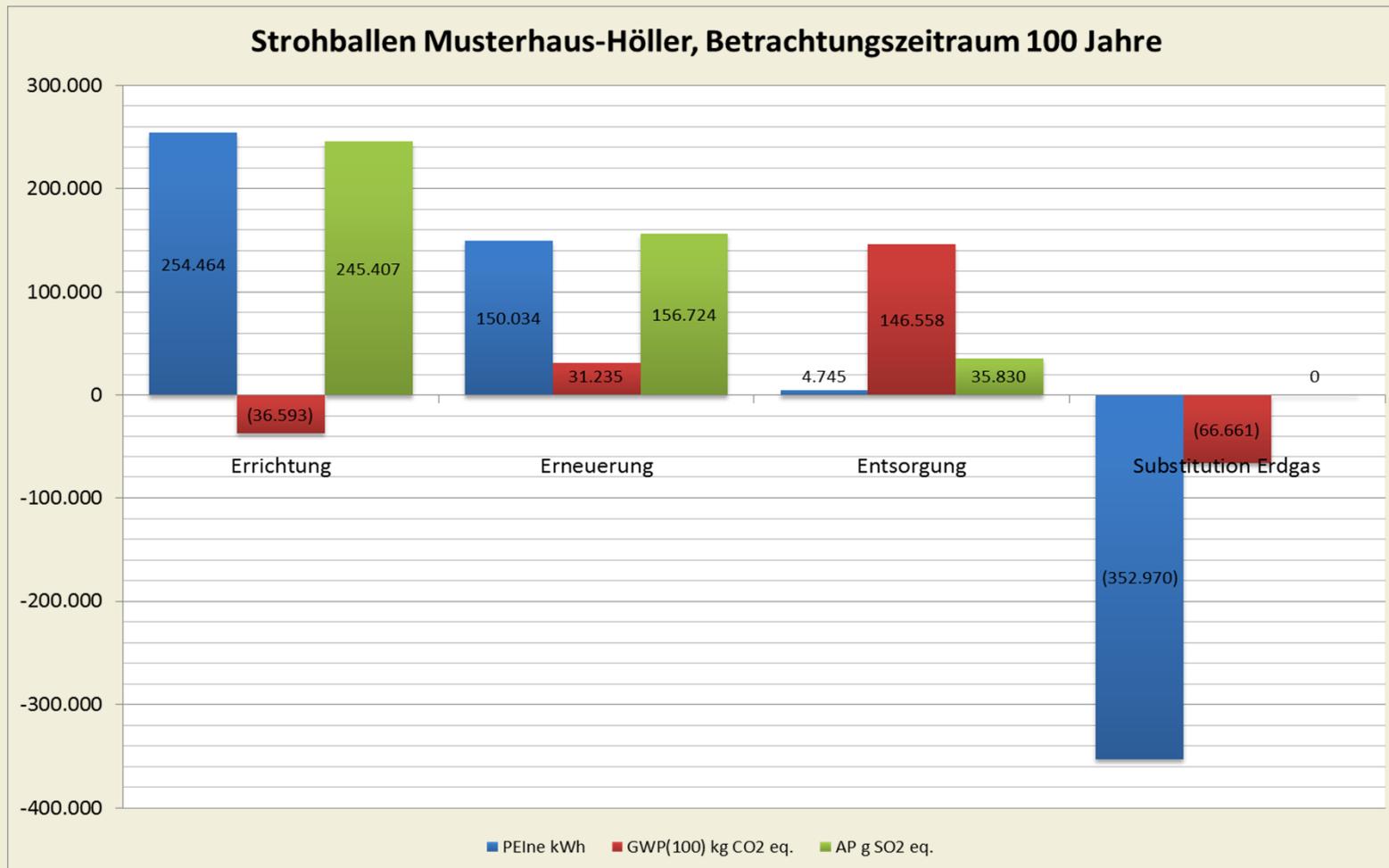
Vergleich Stroh-Musterhaus mit der Variante Massiv. Hinsichtlich der Prozesse Errichtung, Erneuerung und Entsorgung, ergibt sich eine Einsparung an Primärenergie von rund 200.000 kWh. Die Reduktionen der CO₂ Emissionen und der Versauerung betragen rund 47 t CO₂ eq. und 120 kg SO₂ eq..





Für die Entsorgung der Biomasse, bei diesem Gebäude vor allem Stroh und Holz, wurde von einer thermischen Verwertung ausgegangen, wobei einerseits CO₂ freigesetzt wird und andererseits Energie gewonnen wird. Die Energiegewinnung wird bei der Entsorgung (Abbildung 1 und 2) nicht berücksichtigt. In Abbildung 3 wurde davon ausgegangen, dass fossile Rohstoffe in Form von Erdgas eingespart werden. Dies führt in weiterer Folge zu Energie- und CO₂ Einsparungen die in der Grafik negativ dargestellt sind (siehe Balken „Substitution Erdgas“). Die Erneuerung der Bauteile wurde dabei vorerst nicht miteinbezogen. Unter der Prämisse, dass die Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen thermisch verwertet werden, ergibt sich bezogen auf die berücksichtigten Ökoindikatoren und dem Betrachtungszeitraum von 100 Jahren eine ausgezeichnete Bilanz.

Strohballen Musterhaus-Höller. Vergleich der ausgewählten Umweltindikatoren bezüglich der verwendeten Baustoffe in den Kategorien Errichtung, Erneuerung, Entsorgung und „Substitution Erdgas“.





Zusammenfassung

Die Berechnungen zeigen, dass der Entsorgungsprozess einen entscheidenden Einfluss auf die hier berücksichtigten Ökoindikatoren hat. Im Strohballen-Musterhaus kamen rund 37 t Stroh zum Einsatz und in etwa genauso viel Holz. Die thermische Verwertung der Baustoffe aus nachwachsenden Materialien kann zu einer sehr günstigen Gesamtbilanz führen.



Primärenergie n.e.

23.500 Liter Diesel

6l/100km

390.000km

OI3, BG3, BZF

Lastragender Strohbau: 306 Konventionell: 490

Heizbedarf?

PHPP – Passivhaus Projektierungs-Paket



		Stroh 50a	Massiv 100a	Massiv 50a
PEI _{ne}	kWh	305.857,78	346.293,17	444.640,14
GWP(100)	kg CO ₂ eq.	66.706,94	83.628,15	117.150,25
AP	g SO ₂ eq.	316.622,73	283.884,98	382.131,93



Bauphysikalische Nachweisführung

Die bauphysikalische Nachweisführung ist grundsätzlich immer, im Besonderen aber für ‚neuartige‘ Bauweisen als integrativer Bestandteil des Gesamtprojekts zu sehen. Die Berechnungen ermöglichen gerade dort, wo Standardlösungen fehlen (vgl.[2]) die Übertragung von Versuchen auf Gebäude zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit, die Beschreibung von Einsatzvoraussetzungen und Anwendungsgrenzen, die Überprüfung der Nutzbarkeit neuer Lösungen.



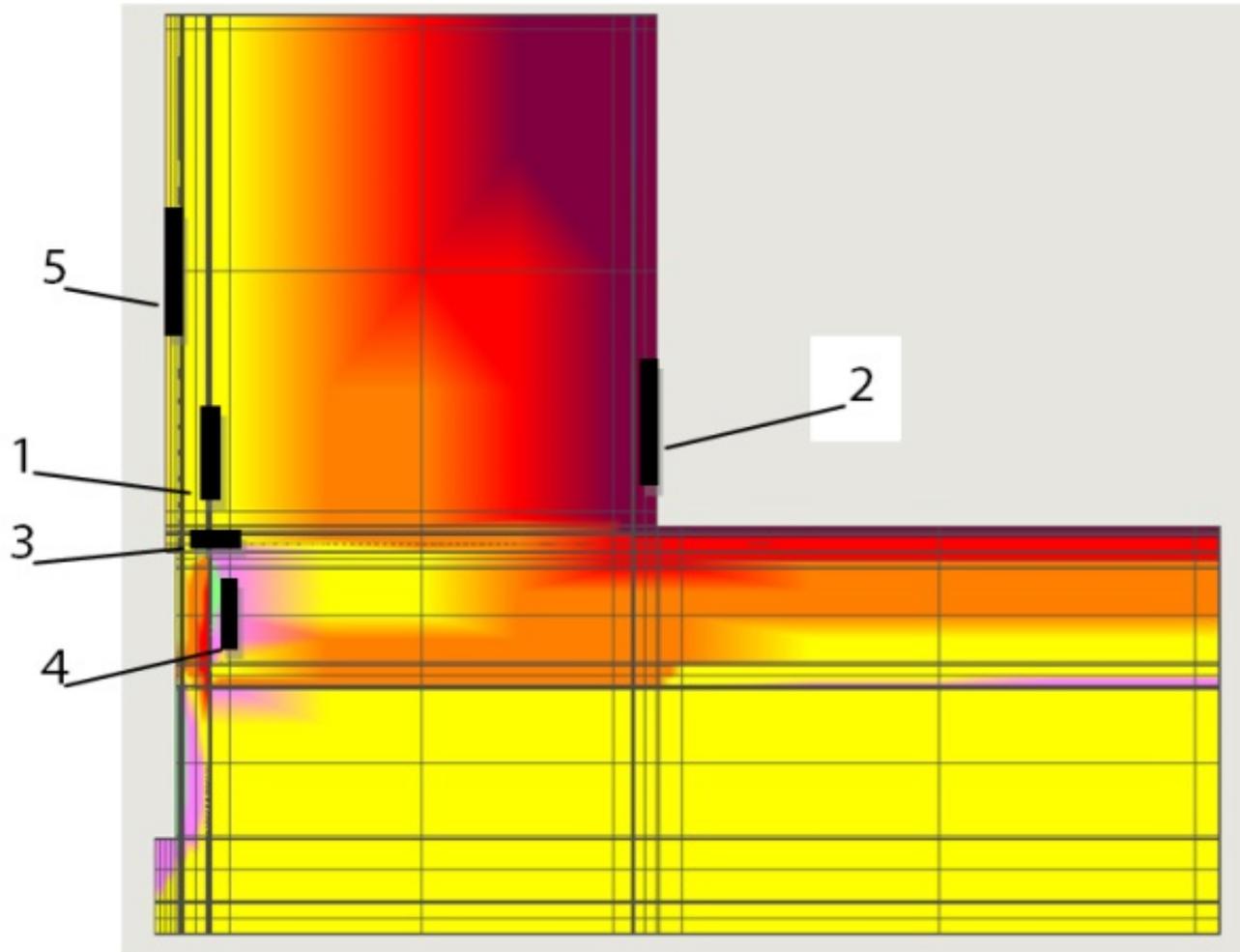
Untersuchte Konstruktion, Wärmebrücken u. Anschlussdetails

Als typische und relevante Untersuchungsbereiche wurden die lasttragende Strohballenwand im Anschlussbereich der Bodenplatte und im Bereich der einbindenden Decke (Abbildung 4) für die Nord-West Fassade (Hauptwetterseite und geringe Sonneneinstrahlung) betrachtet. Die Untersuchung des hygro-thermischen Bauteilverhaltens erfolgte durch instationäre 2D-Simulation mittels WUFI.



Bauphysikalische Nachweisführung

Die bauphysikalische Nachweisführung ist grundsätzlich immer, im Besonderen aber für ‚neuartige‘ Bauweisen als integrativer Bestandteil des Gesamtprojekts zu sehen. Die Berechnungen ermöglichen gerade dort, wo Standardlösungen fehlen (vgl.[2]) die Übertragung von Versuchen auf Gebäude zur Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit, die Beschreibung von Einsatzvoraussetzungen und Anwendungsgrenzen, die Überprüfung der Nutzbarkeit neuer Lösungen.



Detail B, Strohausenwand im Anschlussbereich
Zwischendecke (o.M.); betrachtete Bereiche schwarz
markiert; (1) Stroh gesamt, (2) Stroh außen, (3)
Holzfaserdämmplatte, (4) KLH-Holz Platte außen, (5)



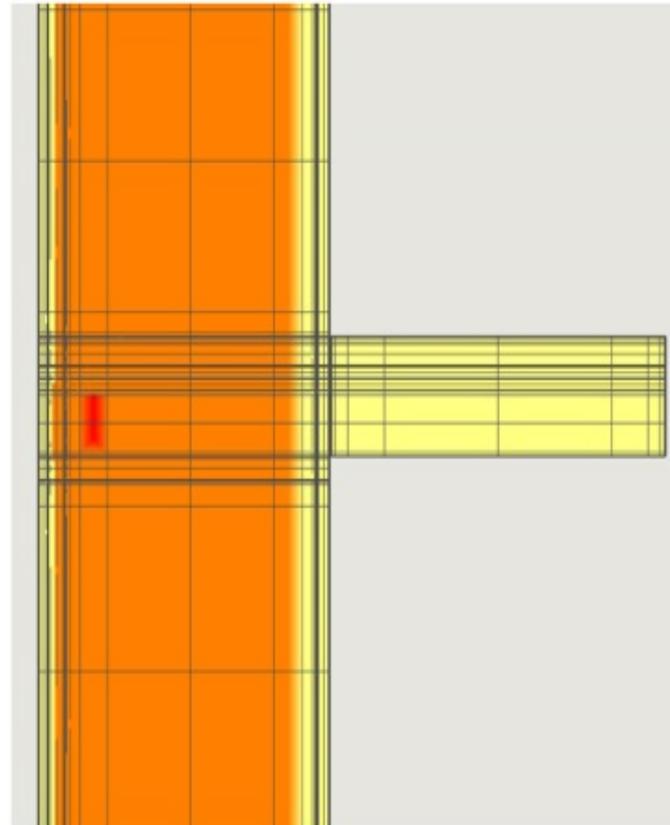
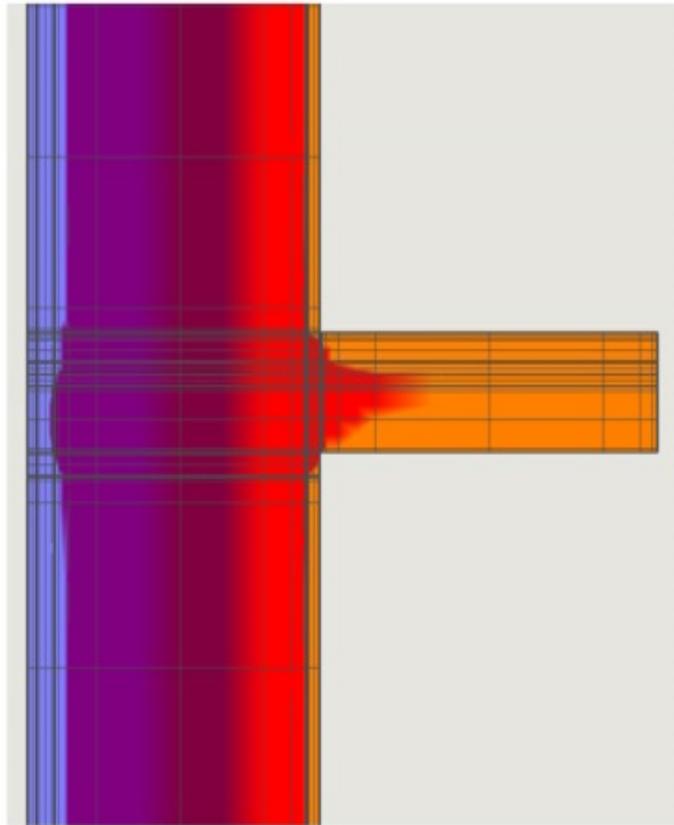
Für Stroh wurden thermisch-hygrische Materialienkenndaten, entsprechend dem verwendeten mathematischen Modell der Simulationssoftware, angenommen. Die Variation ausgewählter Baustoffparameter, wie dem Wasserdampfdiffusionswiderstandes der Strohballen, erlaubte deren Einfluss auf die Ergebnisse der Simulation zu beurteilen. Für die abschließende Bewertung wurden die jeweils kritischeren Werte berücksichtigt.



Ergebnisse



Der Nachweis der Funktionsfähigkeit der Konstruktion konnte erbracht werden - unter der Annahme, dass die einbindenden Bauteile dauerhaft luftdicht angeschlossen werden. Eine Durchströmung der Konstruktion kann so ausgeschlossen werden. Abbildung 5 und Abbildung 6 zeigen beispielhaft die Verteilung von Temperatur und relativer Feuchte in der Konstruktion für ausgewählte Tage. Abbildung 7 zeigt die Auswertung des Isoplethen für einzelne Bereiche in der Konstruktion und ermöglicht so Aussagen über das Risiko von Schimmelpilzbildung und Verrottung.



Temperaturverteilung, Detail B,
links: 15.01, rechts: 15.07

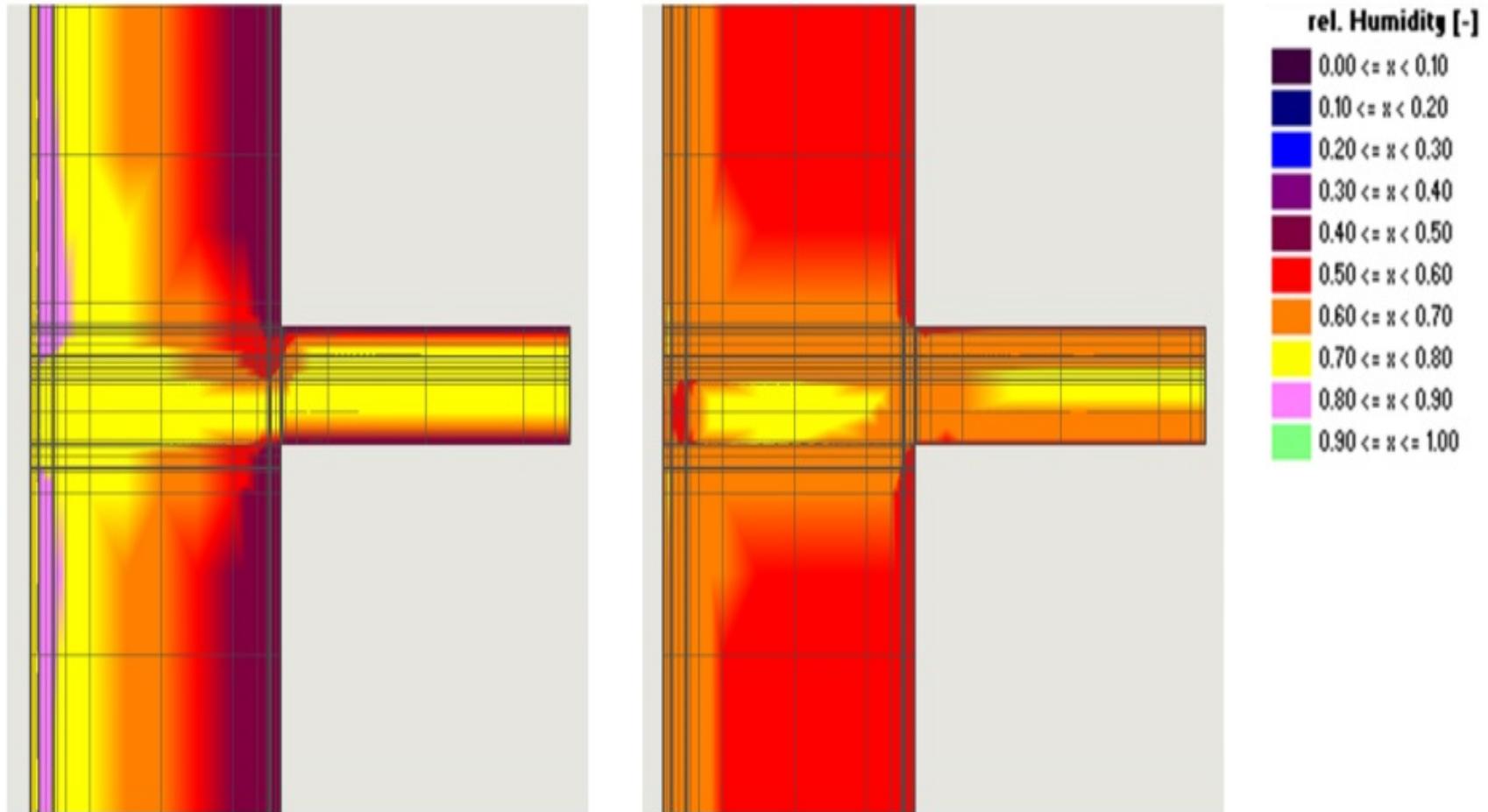
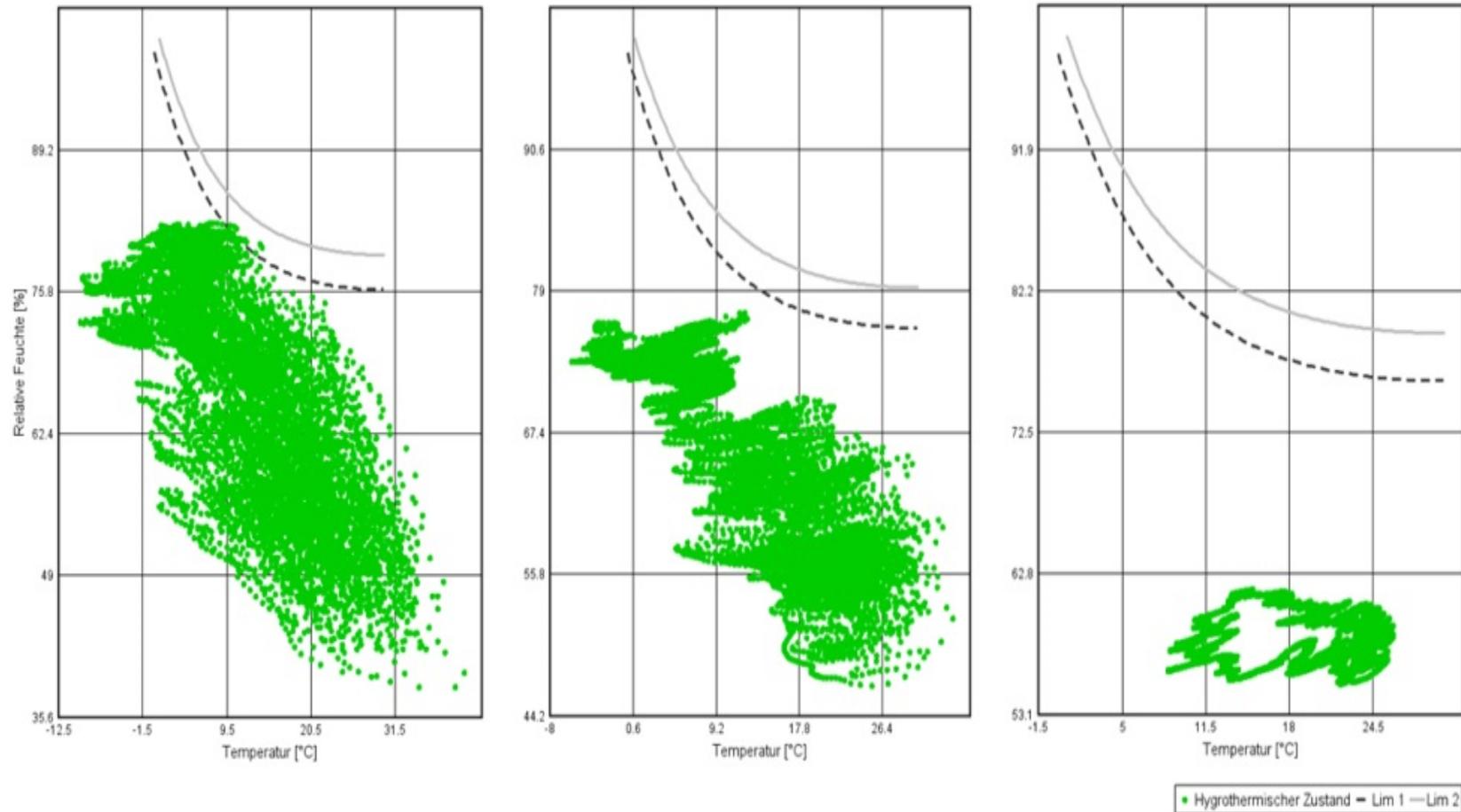


Abbildung 6: Verteilung relative Feuchte,
Detail B, links: 15.01, rechts: 15.07

Isoplethen



Auswertung Isoplethen, Detail
B, 3. Jahr, links: (5) Außenputz,
mitte: (2) Stroh aussen, rechts:
(1) Stroh gesamt











Literaturempfehlung

Nachhaltiges Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen
 Nachhaltige Sanierung mit nachwachsenden Rohstoffen



Ökologie und Ökonomie des Dämmens

Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbausanierung
 Fraunhofer IRB Verlag, 2018, 306 Seiten EUR 69,00



Unterlagen

Nachhaltiges Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen
 Nachhaltige Sanierung mit nachwachsenden Rohstoffen



www.introversiv.at

<http://www.introversiv.at/blog/lehre/2-nachhaltiges-bauen-mit-nachwachsenden-rohstoffen-nachhaltige-sanierung-mit-nachwachsenden-rohstoffen/>

