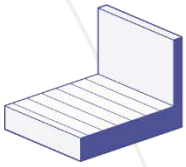
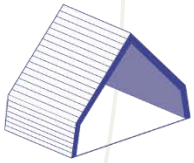
FORSCHUNGSPROJEKT

RE:SOURCE NECKARGEMÜND

STRATEGIEN ZUR RESSOURCENGERECHTEN ENTWICKLUNG DES KOMMUNALEN GEBÄUDEBESTANDES

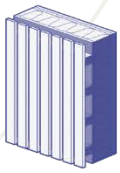
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt
unter dem Az.: 39824/01-2





GEBÄUDEDOSSIERS

(TEIL DES ABSCHLUSSBERICHTS)



Berlin, 31. März 2026



NECKARGEMÜND www.neckargemuend.de
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN
Natural Building Lab
DBU



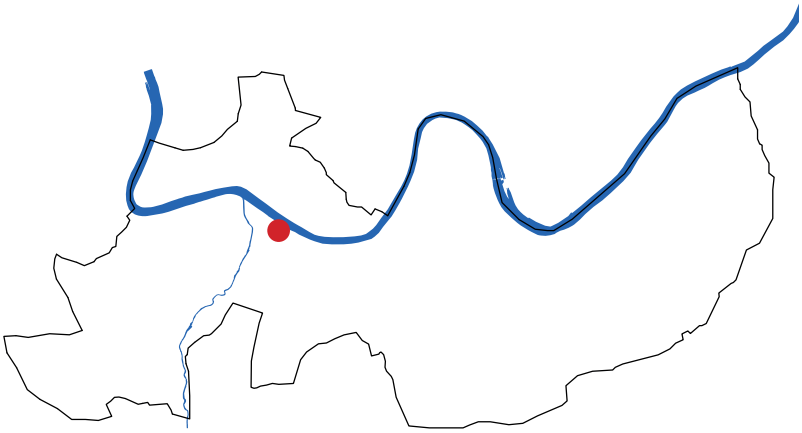
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

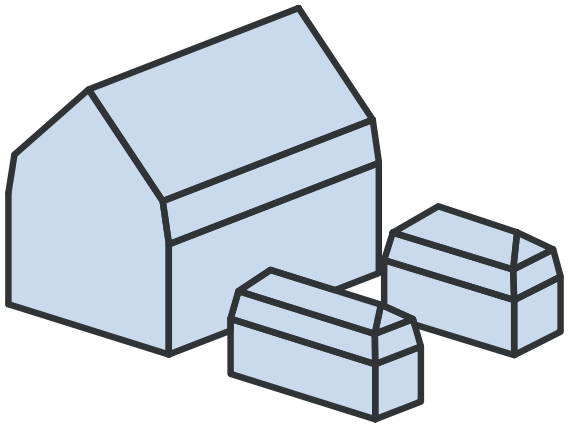
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 7

3. Energetische Sanierung S. 8
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 8
- 3.2 Variante 1 S. 9
- 3.3 Variante 2 S. 12
- 3.4 Variante 3 S. 15
- 3.5 Variantenvergleich S. 17

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 20



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Wohngebäude
Baujahr:	1767
Denkmalschutz:	Ja
Geschosse:	3
NGF:	888 m^2
BGF:	1067 m^2
Nutzung:	3 Sozialwohnungen und Leerstand
Bruttovolumen:	2775,92 m^3
Hüllfläche A:	1130 m^2

Der Elisenstift ist ein Massivhaus aus Naturstein der verputzt ist. Das Gebäude von 1767 wurde ursprünglich als Mädchenschule der Stadt gestiftet und dient nun seit geraumer Zeit als Sozialwohnungen. Das Gebäude hat einen unbeheizten Gewölbekeller und zwei Wirtschaftsgebäude und eine Gartenterrasse direkt am Neckar. Das Gebäude besitzt drei Vollgeschosse, eines davon im unteren Teil des Mansarddaches, die Nutzung und Dämmung des oberen Dachteiles ist unbekannt und konnte nicht herausgefunden werden. Die Fenster sind alle zweifachverglast mit Holzrahmen, das Einbaudatum ist unbekannt. Die Heizung und Warmwasserversorgung erfolgt über 6 Etagenheizungen und Gas. Es sind von allen Vollgeschossen neu aufgenommene Grundrisse von Briqq Architekten vorhanden. Der Zustand ist in Ordnung bis Schlecht, es gibt einige Feuchtigkeitsschäden. Der Denkmalschutz wurde im Innenraum nicht beachtet die Wände, Böden und Raumaufteilungen sind nicht im Originalzustand.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

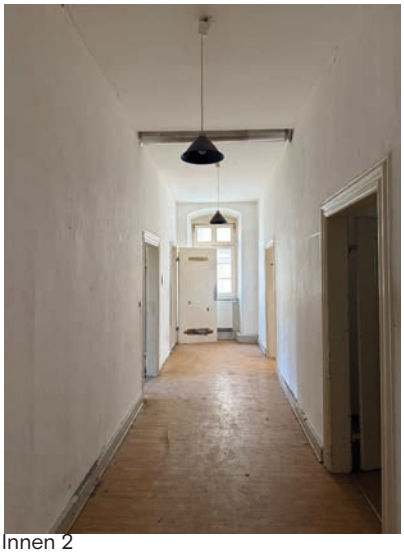
2.1 Ausgewählte Fotos


Außenansicht von der Straße


Innen


Wasserschaden


Treppenhaus


Innen 2


Keller


Eingangstür


Innen 3

2.2 Bekannte Schäden



Wasserschaden

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist Energetisch in einem schlechten Zustand, die größten Verluste entstehen durch die Sandstein Außenwände und das das Dach. Die 6 Etagenheizungen sorgen für weitere ineffizienz.

Gesamtbewertung

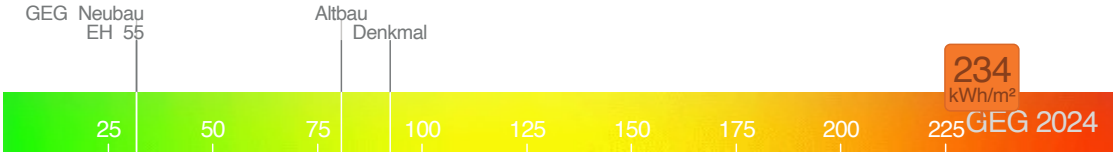
Primärenergiebedarf

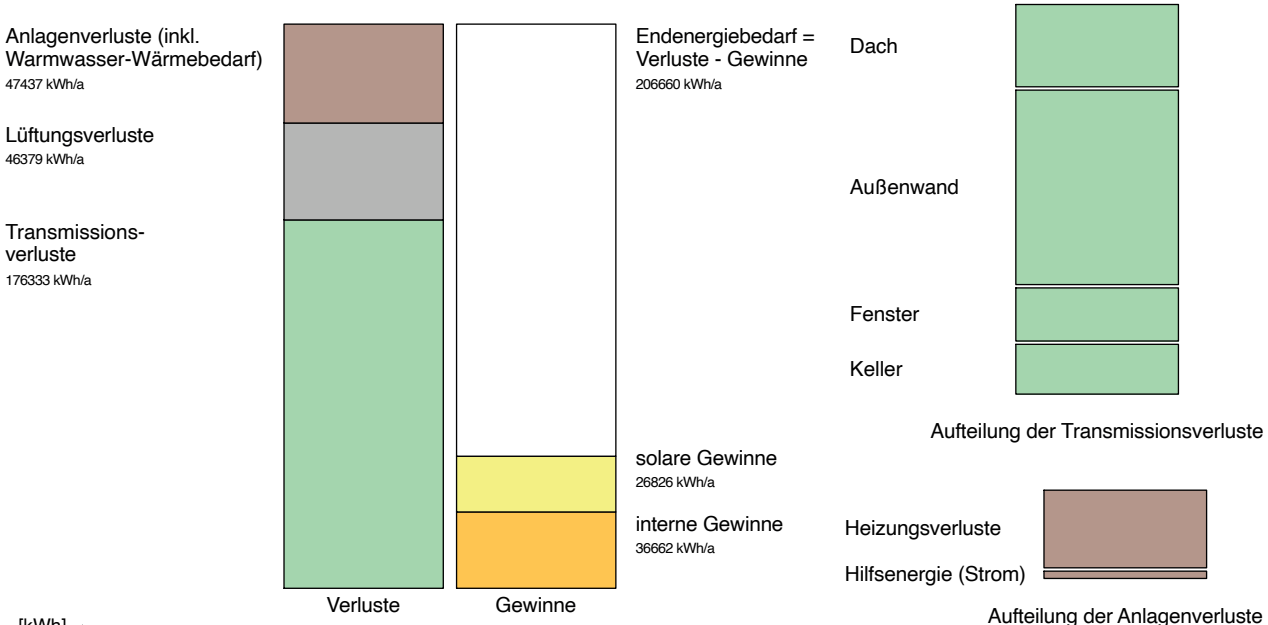
Ist-Zustand: 234 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 233 kWh/m²a *

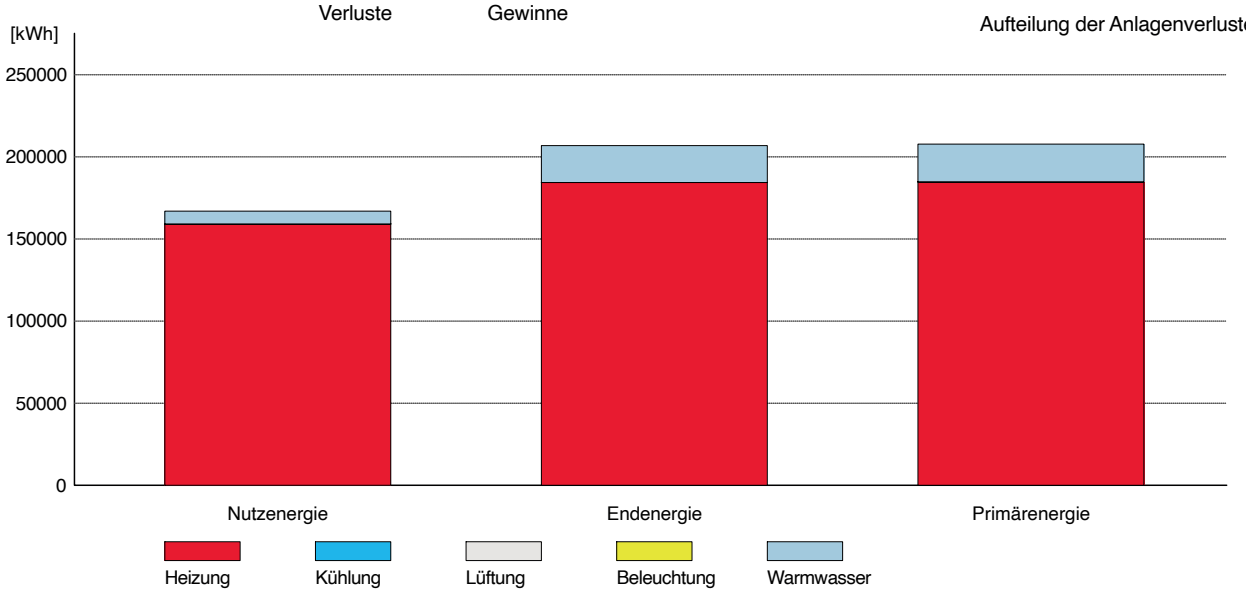
*) bezogen auf den Brennwert





Aufteilung der Transmissionsverluste

Aufteilung der Anlagenverluste



2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
X	DA	UnterDach 002-4	41,85	2,60	0,24	0,14
X	DA	UnterDach 004-3	38,53	2,60	0,24	0,14
X	DG	Dach DG 001-6 + Dach DG 001 + Dach DG 001-2 + Dach DG 004-3 + Dach DG 004-7 + Dach DG 004-4	7,55	2,10	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-7	1,39	2,10	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 004 + Dach DG 001-4 + Dach DG 001-3 + Dach DG 004-6 + Dach DG 004-2	6,16	2,10	0,24	0,20
X	OG	Boden DG2 002-5	211,88	1,00	0,24	0,14
X	TA	AT 003-3	3,14	2,90	1,8	1,3
X	TA	AT 004-3	3,14	2,90	1,8	1,3
X	WA	AW 001 + AW 010	102,74	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 003 + AW 012	100,10	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 004 + AW 009	91,53	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 011-5	37,38	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 013	37,63	2,43	0,24	0,20
X	WA	AW 014	20,05	2,43	0,24	0,20
X	WA	AW 015	39,03	2,43	0,24	0,20
X	WA	AW 016	20,05	2,43	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3-4 + AW DG 001 - 3 + AW DG 004 - 2-4 + AW DG 001 - 3-5 + AW DG 004 - 2 + AW DG 004 - 2-5	1,92	1,30	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3 + AW DG 004 - 3-4 + AW DG 004 - 3-5 + AW DG 001 - 2-5 + AW DG 001 - 2-4 + AW DG 001 - 2	1,92	1,30	0,24	0,20
X	FA	DF 001-3 + DF 002-3	1,11	3,20	1,4	1,0
X	FA	F 012-3 + F 009-3 + F 006-3 + F 010-3 + F 014-3 + F 008-3 + F 013-3 + F 007-3 + F 011-3 + F 031-3 + F 032-3 + F 035-3 + F 029-3 + F 030-3 + F 037-3 +	37,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 022-3 + F 024-3 + F 021-3 + F 018-3 + F 015-3 + F 020-3 + F 023-3 + F 017-3 + F 019-3 + F 016-3 + F 048-3 + F 051-3 + F 041-3 + F 047-3 + F 044-3 +	41,28	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 026-3 + F 025-3 + F 040-3 + F 039-3	7,86	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 027-3 + F 038-3	1,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 052-3	1,16	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 053-3 + F 054-3	3,92	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 055-3	0,61	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 056-3	0,83	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 057-3	0,65	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 059-3 + F 058-3	1,66	2,70	1,3	0,95
X	BK	Boden EG 002-5	265,88	2,67	0,30	0,25

2.5 Technische Anlagen

Jede der 6 Wohneinheiten hat einen eigenen Gaskessel, diese sind alle ähnlich dimensioniert. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Durchlauferhitzer in den Wohnungen.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kombi-Kessel VCW 266/5-5 (VAILLANT) Nennleistung: 24,00 kW Energieträger: Erdgas E Der Kessel versorgt den TWW-Bereich 'Warmwasser-Erzeugung 1' mit.
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 15,1 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,30 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p konstant
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Wohnen' mit 17 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

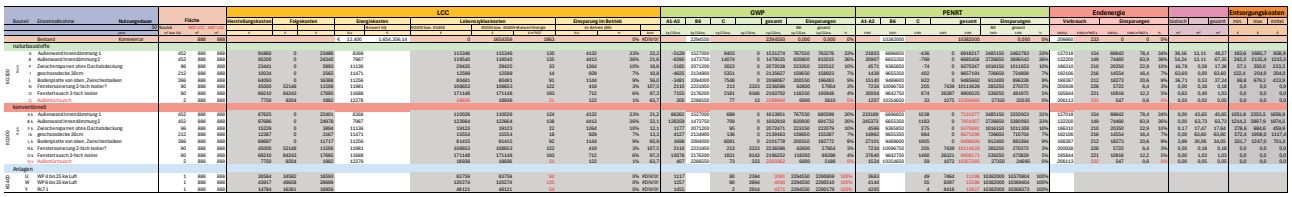
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kombi-Kessel VCW 266/5-5 (VAILLANT) aus dem Heizkreis 'Erzeuger 1' von 1999 - Nennleistung 24,00 kW Energieträger: Erdgas E
Verteilung	- TWW-Kreis 1 zentral mit Zirkulation' 25,5 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe ungeregelt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Wohnen' mit 17 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Untersucht wurden aufgrund des Denkmalschutzes nur Maßnahmen die das äußere Escheinungbild nicht verändern. Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Dach, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

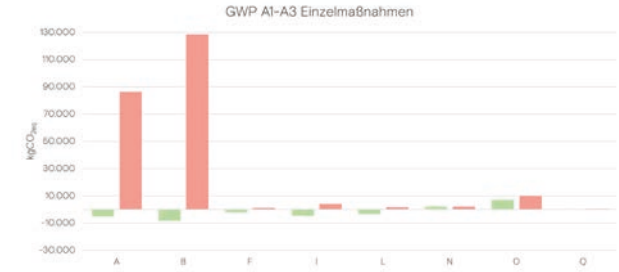
KG300	Dach	A	Außenwand Innendämmung 1
		B	Außenwand Innendämmung 2
		F	Zwischensparren ohne Dachabdeckung
		I	geschossdecke 30cm
		L	Bodenplatte von oben, Zwischenbalken
		N	Fenstersanierung 2-fach Isolier?
		O	Fenstertausch 3-fach Isolier
		Q	Außentürtausch
	Anlagen		
KG400		U	WP 4 bis 25 kw Luft
		W	WP 6 bis 35 kw Luft
		Y	RLT 1

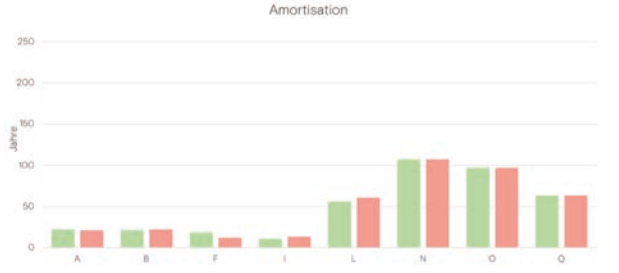
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

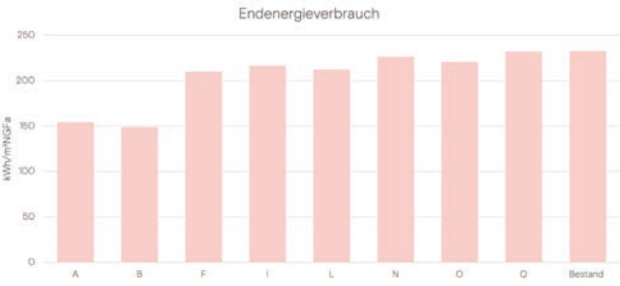
Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung den mit Abstand größten Effekt bringt. Außerdem sehr sinnvoll ist die Dämmung des Dachs.
Außerdem weißt das Global Warming Potential Diagramm die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.

Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.



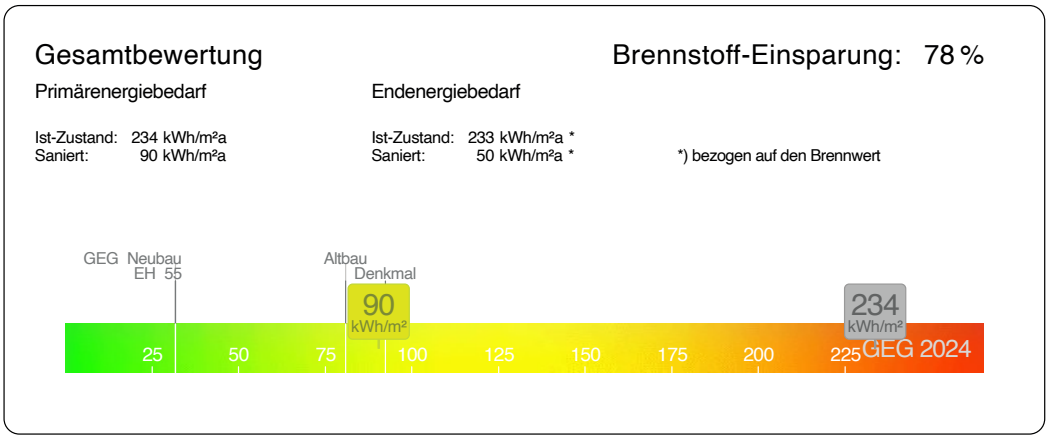






3.2 Variante 1 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren.



	Variante 1 - ökologiosch				
A	Außenwand Innendämmung 1				
I	geschossdecke 30cm				
F	Zwischensparren ohne Dachabdeckung				
W	WP 6 bis 35 kw Luft				
					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**169.252,20 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**8.920,00 €**		8920
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 3.479,60**		
			-28%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**58.743,59 €**		
	Ersatzherstellung		**49.657,62 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.467.688,95 €**		1.190.035,54
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
	CO_2 Preis		**296.830,15 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.764.519,10 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-10682,72**		
		CO2eq./m²NGFa	-0,241		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1.248.800,00**	GWP B6	1248800
		CO2eq./m²NGFa	28,13		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**3.549.188,25**		
		CO2eq./m²NGFa	79,94		
	PENRT A1-A3	kWh	**31.955,93**		
		kWh./m²NGFa	0,72		
	PENRT B6	kWh	**4.014.000,00**	PENRT B6	4014000
		kWh./m²NGFa	90,41		
	PENRT gesamt	kWh	**14.423.704,89**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**50**		44600
					8920
	Amortisationszeit	Jahre	**49**		
	Einsparung pro kWh und Jahr		**1,04 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**116,54**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**13,68**		
	Entsorgungskosten min.	€	**363,16**		
	Entsorgungskosten max	€	**2239,76**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**1366,13**		

Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	90,4	80,9	57,8	23,1	31,8	40,4	49,1	92,4
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,776	0,630	0,393	0,216	0,275	0,334	0,393	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

PV-Anlage:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 126,95 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 26,98 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 21119,89 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 84 %

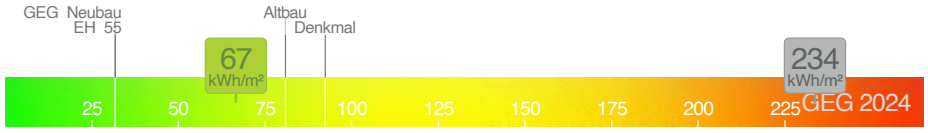
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 234 kWh/m²a
Saniert: 67 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 233 kWh/m²a *
Saniert: 37 kWh/m²a *

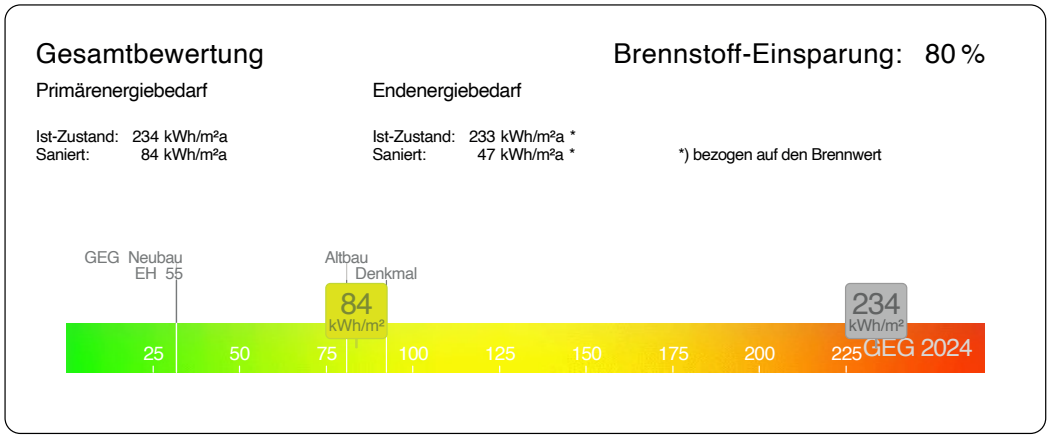
*) bezogen auf den Brennwert



Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	66,6	80,9	57,8	23,1	31,8	40,4	49,1	92,4
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,776	0,630	0,393	0,216	0,275	0,334	0,393	

3.2 Variante 1 konventionell



	Variante 1 - konventionell				
Ak	Außenwand Innendämmung 1				
Ik	geschossdecke 30cm				
F k	Zwischensparren ohne Dachabdeckung				
W	WP 6 bis 35 kw Luft				
Y	RLT 1				
					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**173.942,32 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**7.990,00 €**		7990
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 4.409,60**		
			-36%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**73.117,51 €**		
	Ersatzherstellung		**66.038,29 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.416.549,12 €**		1.103.451,00
	Umweltfolgekosten		**82.964,63 €**		
	CO_2 Preis		**275.235,81 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.774.749,56 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**94278**		4185942786
		CO2eq./m²NGFa	2,12		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1.157.950**	GWP B6	1157950
		CO2eq./m²NGFa	26,08		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**5839536**		
		CO2eq./m²NGFa	131,52		
	PENRT A1-A3	kWh	**261066**		
		kWh./m²NGFa	5,88		
	PENRT B6	kWh	**3716900**	PENRT B6	3716900
		kWh./m²NGFa	83,71		
	PENRT gesamt	kWh	**24735914**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**47**		41355
	Amortisationszeit	Jahre	**39**		
	Einsparung pro kWh		**1,05 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,17**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**126,72**		
	Entsorgungskosten min.	€	**1902,62**		
	Entsorgungskosten max	€	**4948,15**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**3234,16**		

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen oder denkmalkonform und innerhalb des Baukastens so nahe wie möglich an dieses Ziel heran zu kommen, insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden ist dieses Ziel dann teilweise nicht erreichbar oder nur mithilfe von einer zusätzlichen Solaranlage.

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 86 %**

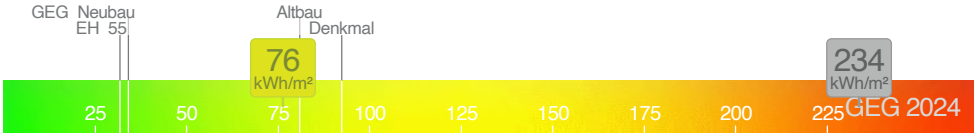
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 234 kWh/m²a
Saniert: 76 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 233 kWh/m²a *
Saniert: 42 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



	Variante 2 - ökologisch
B	Außenwand Innendämmung 2
I	geschossdecke 30cm
F	Zwischensparren ohne Dachabdeckung
L	Bodenplatte von oben, Zwischenbalken
O	Fenstertausch 3-fach Isolier
U	WP 4 bis 25 kw Luft

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		292.562,18 €	Kosten WP	30584
Energiekosten	Pro Jahr	5.796,00 €		5796
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	€ 6.603,60		
		-53%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		85.575,28 €		
Ersatzherstellung		118.824,83 €		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		1.295.539,29 €		798577
Umweltfolgekosten		0,00 €		
CO_2Preis		199.186,15 €		
Lebenszykluskosten gesamt		1.494.725,44 €		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	- 10.309		
	CO2eq./m²NGFa	-0,23		
GWP B6	kg CO2eq.	838.000	GWP B6	838000
	CO2eq./m²NGFa	18,87		
GWP gesamt	kg CO2eq.	870.510		
	CO2eq./m²NGFa	19,61		
PENRT A1-A3	kWh	85.743		
	kWh./m²NGFa	1,93		
PENRT B6	kWh	2.693.600	PENRT B6	2693600
	kWh./m²NGFa	60,67		
PENRT gesamt	kWh	2.814.579		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	34		29929
Amortisationszeit	Jahre	44		
Einsparung pro kWh		1,66 €		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	171,96		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	14,62		
Entsorgungskosten min.	€	510,69		
Entsorgungskosten max	€	3368,71		
Entsorgungskosten mittel	€	2066,62		

Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	76,4	þ 109,4	78,2	¨ 31,3	¨ 43,0	¨ 54,7	¨ 66,4	þ 125,1
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,400	þ 0,630	0,393	¨ 0,216	¨ 0,275	¨ 0,334	¨ 0,393	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

PV-Anlage:

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 126,95 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 26,98 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 19198,67 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 91 %

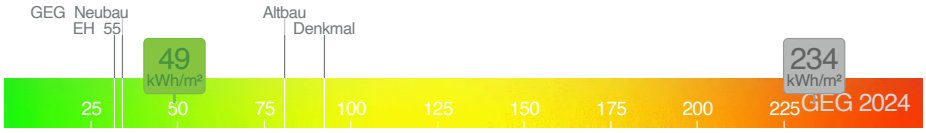
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 234 kWh/m²a
Saniert: 49 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 233 kWh/m²a *
Saniert: 27 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



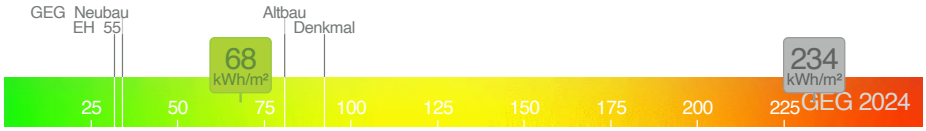
Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	49,2	þ 109,4	78,2	¨ 31,3	¨ 43,0	þ 54,7	þ 66,4	þ 125,1
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,400	þ 0,630	0,393	¨ 0,216	¨ 0,275	¨ 0,334	¨ 0,393	

3.3 Variante 2 konventionell

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 87 %**

Primärenergiebedarf		Endenergiebedarf		
Ist-Zustand:	234 kWh/m²a	Ist-Zustand:	233 kWh/m²a *	
Saniert:	68 kWh/m²a	Saniert:	38 kWh/m²a *	*) bezogen auf den Brennwert



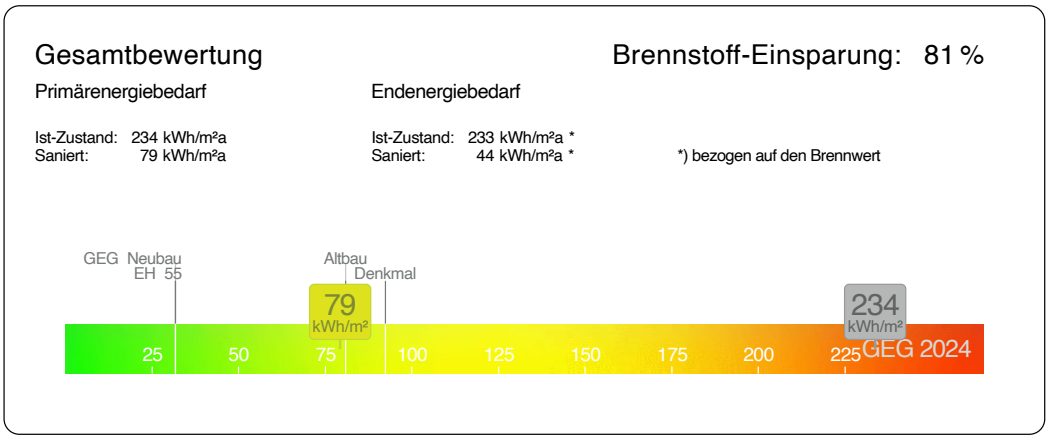
	Variante 2 - konventionell				
B k	Außenwand Innendämmung 2				
I k	geschossdecke 30cm				
F k	Zwischensparren ohne Dachabdeckung				
L k	Bodenplatte von oben, Zwischenbalken				
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier				
U	WP 4 bis 25 kw Luft				
Y	RLT 1				

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**309.578,16 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**5.185,00 €**		5185
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 7.214,60**		
		-58%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**97.000,36 €**		
Ersatzherstellung		**135.205,50 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.255.431,02 €**		713647
Umweltfolgekosten		**130.249,56 €**		
CO_2Preis		**178.007,77 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.563.688,35 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**148011**		
	CO2eq./m²NGFa	3,33		
GWP B6	kg CO2eq.	**748900**	GWP B6	748900
	CO2eq./m²NGFa	16,87		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**3209474**		
	CO2eq./m²NGFa	72,29		
PENRT A1-A3	kWh	**437531**		
	kWh./m²NGFa	9,85		
PENRT B6	kWh	**2409150**	PENRT B6	2409150
	kWh./m²NGFa	54,26		
PENRT gesamt	kWh	**13264118**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**30**		26746
Amortisationszeit	Jahre	**43**		
Einsparung pro kWh		**1,72 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**4,16**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**175,89**		
Entsorgungskosten min.	€	**2397,04**		
Entsorgungskosten max	€	**6737,51**		

3.4 Variante 3 ökologisch

Variante 3 stellt die Empfohlene Variante dar, diese ist entweder eine der beiden Varianten zuvor oder eine neue Zwischenversion die sich aus den beiden Varainten entwickelt hat.

Hier wurde eine neue Varaint erstellt die sich an der Varainte 1 orientiert, aber die Innendämmung erhöht, da dies wirtschaftlich und ökologisch Sinn ergibt.



	Variante 3 - ökologisch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
I	geschossdecke 30cm					
F	Zwischensparren ohne Dachabdeckung					
W	WP 6 bis 35 kw Luft					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition			172.592,48 €		
	Energiekosten	Pro Jahr		7.573,00 €		7573
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	€	4.826,60		
				-39%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung			59.597,87 €		
	Ersatzherstellung			49.657,62 €		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)			1.327.343,97 €		1045496
	Umweltfolgekosten			0,00 €		
	CO_2 Preis			260.772,23 €		
	Lebenszykluskosten gesamt			1.588.116,20 €		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	-	13.843		
		CO2eq./m²NGFa		-0,31		
	GWP B6	kg CO2eq.		1.097.100	GWP B6	1097100
		CO2eq./m²NGFa		24,71		
	GWP gesamt	kg CO2eq.		3.398.999		
		CO2eq./m²NGFa		76,55		
	PENRT A1-A3	kWh		41.060		
		kWh./m²NGFa		0,92		
	PENRT B6	kWh		3.526.450	PENRT B6	3526450
		kWh./m²NGFa		79,42		
	PENRT gesamt	kWh		13.944.896		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa		44		39183
	Amortisationszeit	Jahre		36		
	Einsparung pro kWh		€	1,03		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³		134,62		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³		13,68		
	Entsorgungskosten min.	€		421,92		
	Entsorgungskosten max	€		2689,39		
	Entsorgungskosten mittel	€		1642,73		

3.4 Variante 3 konventionell

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 81 %**

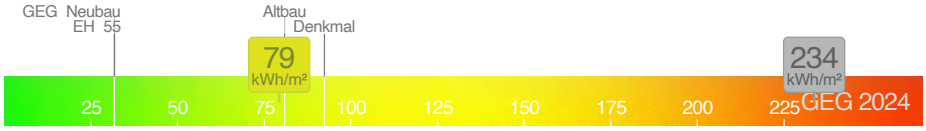
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 234 kWh/m²a
Saniert: 79 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 233 kWh/m²a *
Saniert: 44 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert

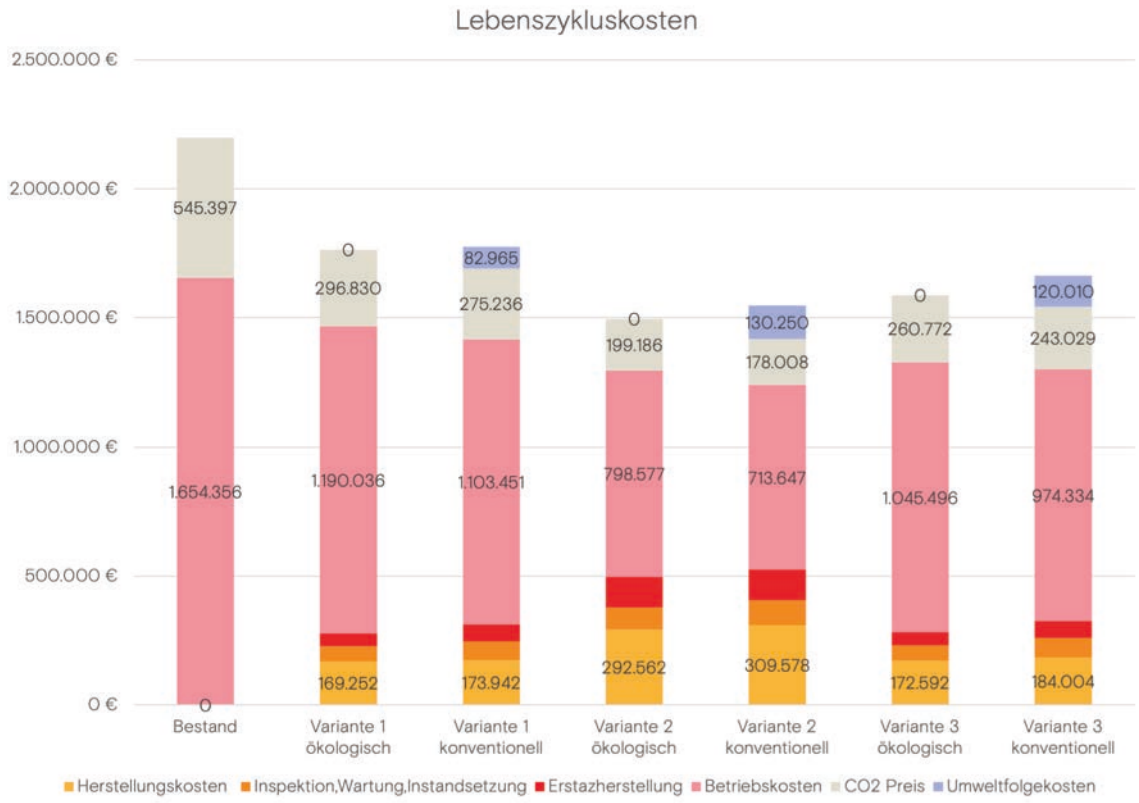


	Variante 3 - konventionell
B k	Außenwand Innendämmung 2
I k	geschossdecke 30cm
F k	Zwischensparren ohne Dachabdeckung
W	WP 6 bis 35 kw Luft
Y	RLT 1

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**184.003,84 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**7.061,00 €**		7061
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.338,60**		
		-43%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**75.693,91 €**		
Ersatzherstellung		**66.038,29 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.300.070,04 €**		974334
Umweltfolgekosten		**120.009,92 €**		
CO_2 Preis		**243.028,50 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.663.108,46 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**136.375**		
	CO2eq./m²NGFa	3		
GWP B6	kg CO2eq.	**1.022.450**	GWP B6	1022450
	CO2eq./m²NGFa	23		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**5.746.153**		
	CO2eq./m²NGFa	129		
PENRT A1-A3	kWh	**373.250**		
	kWh./m²NGFa	8		
PENRT B6	kWh	**3.286.400**	PENRT B6	3286400
	kWh./m²NGFa	74		
PENRT gesamt	kWh	**12.689.718**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**41**		36516
Amortisationszeit	Jahre	**34**		
Einsparung pro kWh		**€ 1,08**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,17**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**144,80**		
Entsorgungskosten min.	€	**2065,34**		
Entsorgungskosten max	€	**5490,55**		
Entsorgungskosten mittel	€	**3551,82**		

3.5 Variantenvergleich

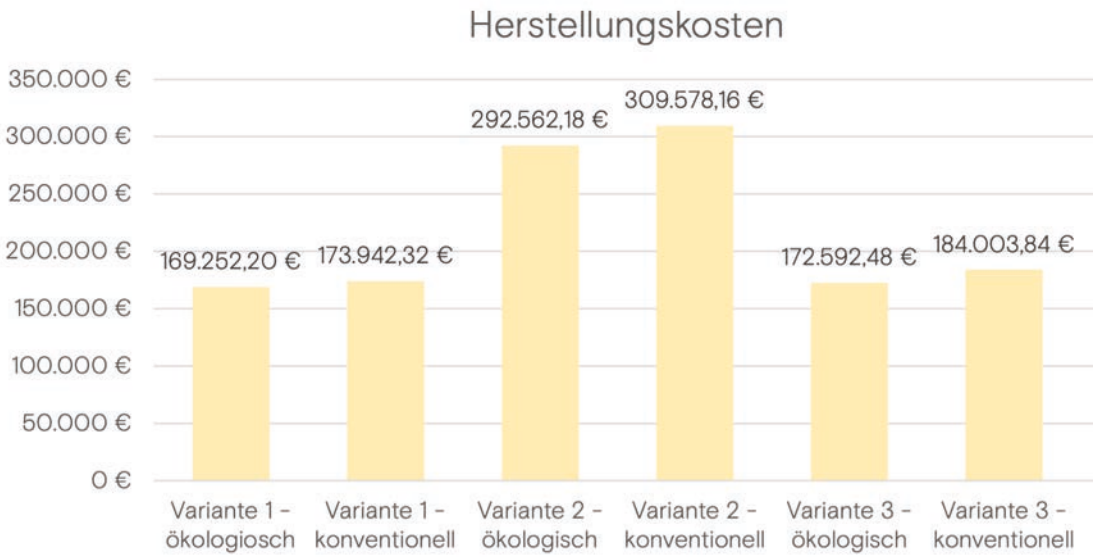
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen. Es ist zu erkennen dass Variante 2 etwa 1,7 mal teurer in der Herstellung ist als Variante 1. Der Endenergie Verbrauch von Variante 1 ist deutlich höher als der der Variante 2, allerdings im Vergleich mit dem Bestand extrem gesunken. Durch etwas stärkere Dämmung der Außenwände bei der Variante 3 lässt sich der Endenergieverbrauch und somit die Kosten im Betrieb gegenüber der Variante 1 noch mal leicht steigern, die Herstellungskosten bleiben jedoch annähernd gleich.
Die Betrachtung der Umweltwirkungen zeigt sehr eindeutig den Vorteil der ökologischen Varianten gegenüber den konventionellen. Das Treibhauspotenzial (GWP A1-A3) liegt bei den ökologischen Varianten knapp im negativen Bereich während es bei den konventionellen fast im Bereich 100.000-150.00 $kgCO_{2eq}$ liegt. Variante 3 hat einen etwas geringeren Rohstoff verbrauch als Variante 2, liegt jedoch aufgrund der stärkeren Dämmung ein wenig über dem der Variante 1. In Bezug auf die Inanspruchnahme der Rohstoffe können die ökologischen Versionen überzeugen, da in erster Linie kreislauffähige Materialien zum Einsatz kommen.

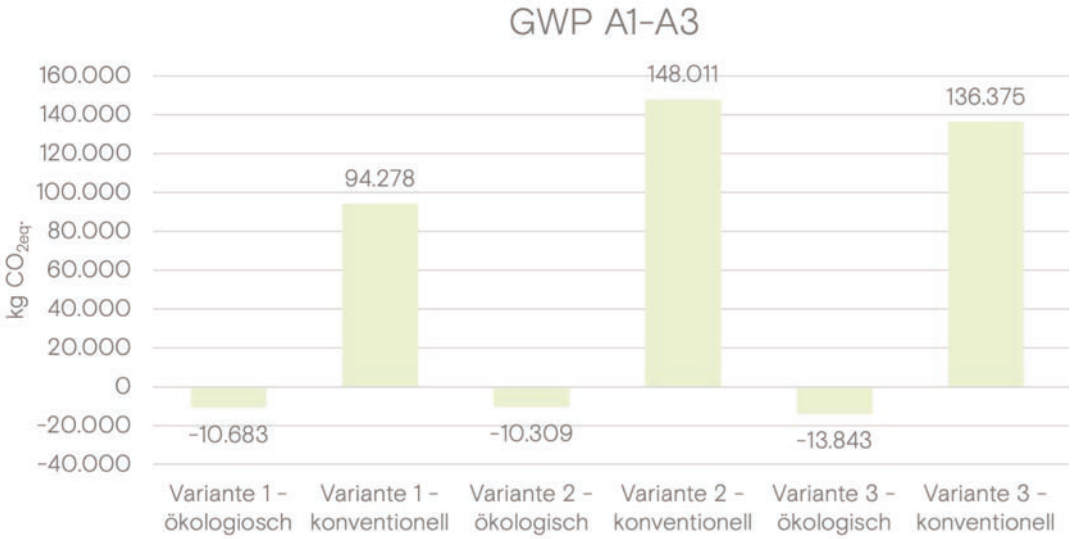


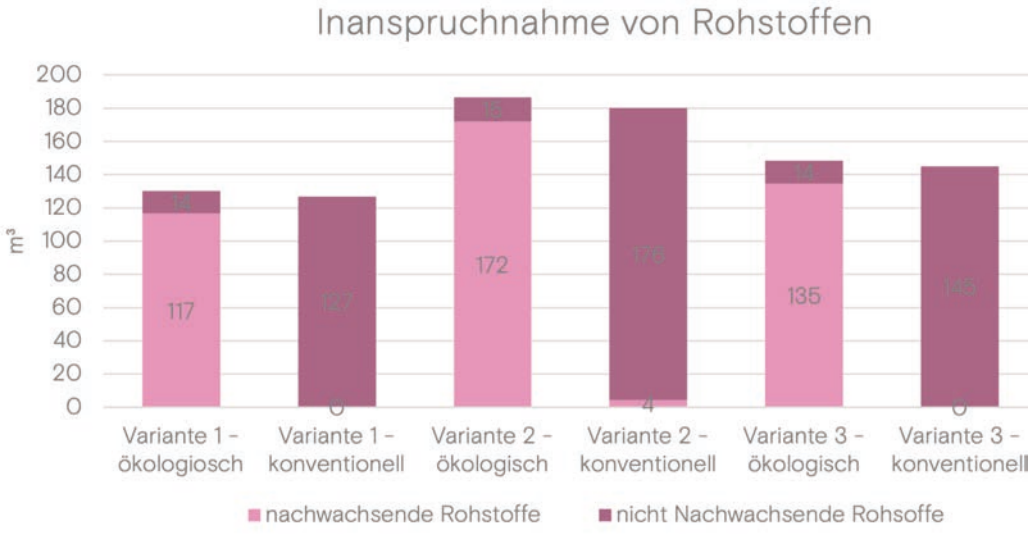
Der Vergleich der Lebenszykluskosten zeigt, dass die ökologische und konventionelle Bauweise sich von den Kosten her zunächst kaum unterscheiden, werden allerdings auch Umweltfolgekosten und ein CO_2 Preis mit einbezogen, zeigt sich, dass die ökologische Variante etwas günstiger ist.

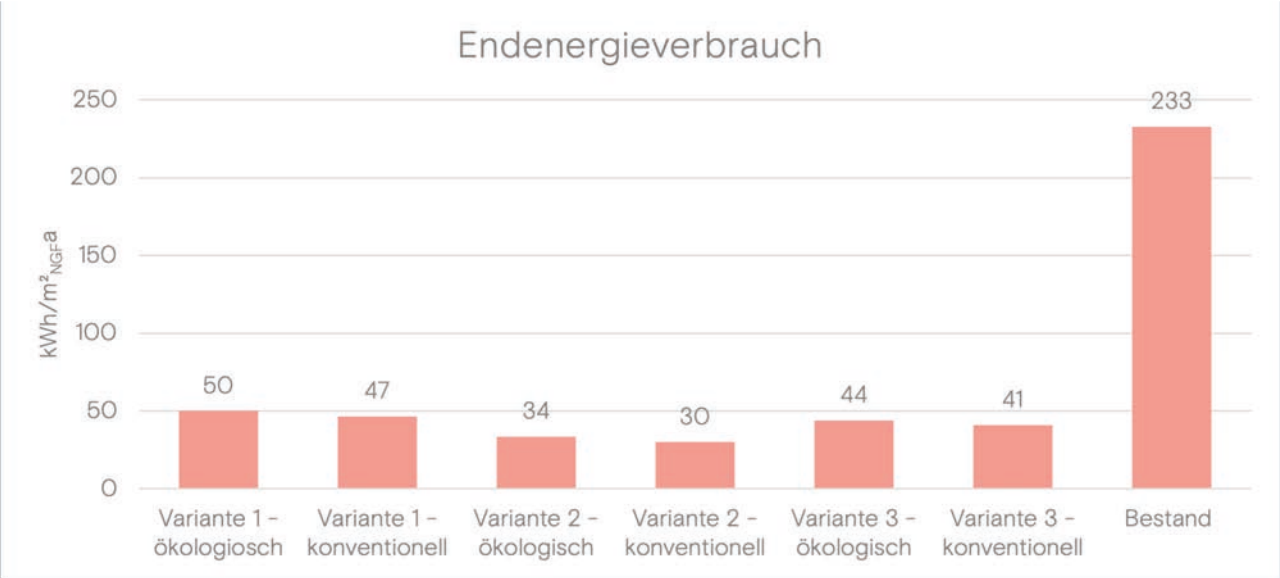
Auf den gesamten Lebenszyklus betrachtet unterscheiden sich Variante 2 und 3 nur um wenig. Variante 2 ist insgesamt auf den Lebenszyklus betrachtet etwa 6% günstiger als Variante 2. Dafür fallen für Variante 2 jedoch rund 70% höhere Kosten in der Erstherstellung (und dementsprechend auch Ersatz) an als für Variante 3.

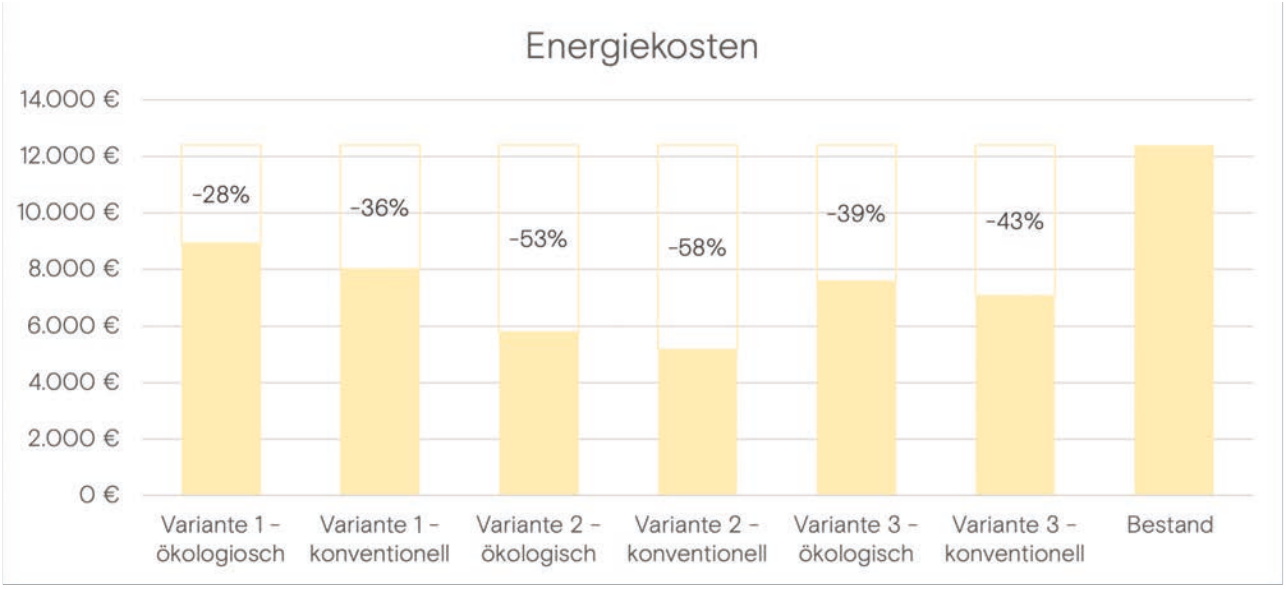
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

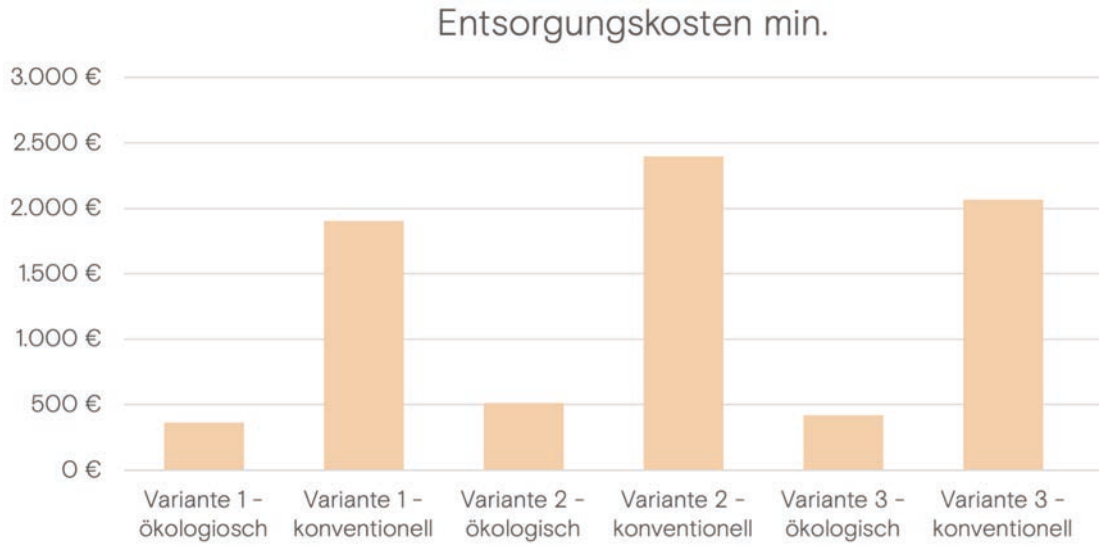












*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien, nicht wie bei der Herstellung auch die Arbeitszeit etc.

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Der Elisenstift bietet eine sehr gute Bausubstanz in einer extrem guten Lage, die viel Potenzial bietet. Eine Sanierung ist unumgänglich, daher sollte dabei auch dringend die notwendigen energetischen Maßnahmen getroffen werden.
Die Variante 1 und 3 zeigen, dass dabei nicht alles getauscht und gedämmt werden muss, die kritischten Punkte, Außenwand und Dach, anzugehen würde schon ausreichen um das Gebäude auf den klimaneutralen Pfad zu bringen und gleichzeitig Ressourcen zu schonen.
Es zeigt sich auch ganz klar, dass sich die energetischen Maßnahmen nicht nur ökologisch sondern auch finanziell lohnen.
Außerdem ersichtlich ist der enorme Effekt, der sich schon bei einer standartisierten Rechung zeigt, den die ökologische Bauweise im vergleich zur einer konventionellen hat. Dabei sind die zu erwartenden höheren Performance Gap Effekte der konventionellen Sanierung und der Sondermüll der durch diese entsteht und irgendwann teuer entsorgt werden muss, nicht mit eingerechnet.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



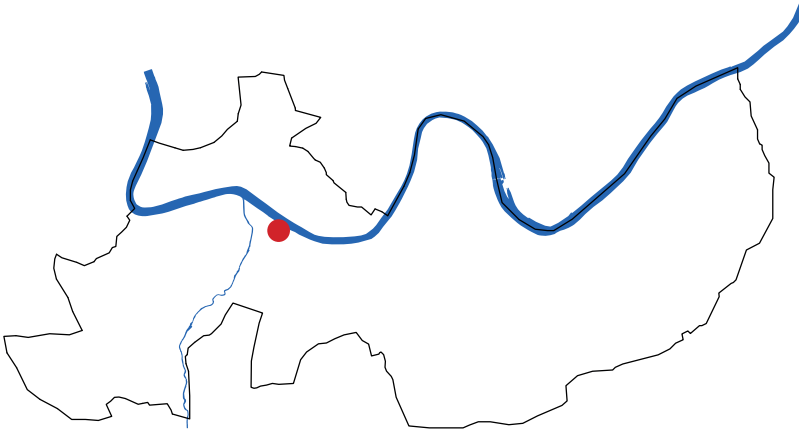
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

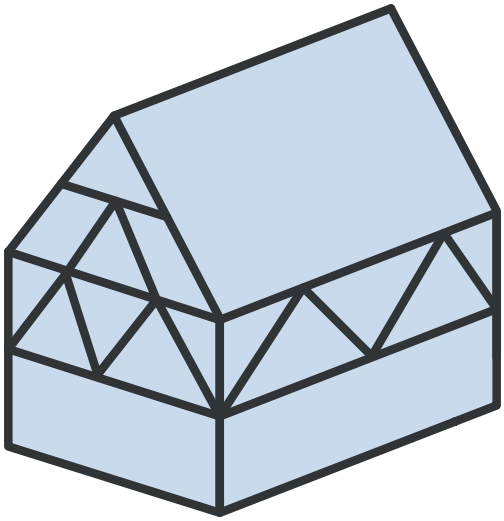
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.4 Variante 3 S. 16
- 3.5 Variantenvergleich S. 18

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 21



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Wohngebäude
Baujahr:	1750
Denkmalschutz:	Ja
Geschosse:	2
NGF:	383 m^2
BGF:	460m^2
Nutzung:	Flüchtlingsunterkunft und Leerstand
Bruttovolumen:	1198 m^3
Hüllfläche A:	702 m^2

Die Neckarstraße 26 ist ein traditionelles Fachwerkgebäude von 1750. Die Hälfte des Gebäudes ist mit einem Gewölbekeller aus Sandstein unterkellert. Dadrüber befinden sich zwei Fachwerketagen, die als Wohnraum für geflüchtete genutzt werden. Dadrüber befinden sich noch zwei ungenutzte kalte Dachgeschosse. Das Gebäude befindet sich insgesamt vin außen in einem guten bis akzeptablen Zustand, innen gibt es jedoch einen eindeutigen Sanierungsbedarf und Schäden. Im Dachgeschoss wurde bereits vor wenigen Jahren eine Fachwerkwand vollständig erneuert und Stützbalken im Dachtragwerk ergänzt. Die Heizung erfolgt über zwei Gas Etagenheizungen, die Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer.
Es sind neu aufgenommene Grundrisse von Briqq Architekten vorhanden. Der Denkmalschutz wurde im Innenraum nicht beachtet die Wände, Böden und Raumaufteilungen sind nicht im Originalzustand.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Außenansicht von hinten


Innen


Innen OG


Innen 2


Keller


Dach und neuer Balken


Neue Wand Dach

2.2 Bekannte Schäden



Wasserschaden

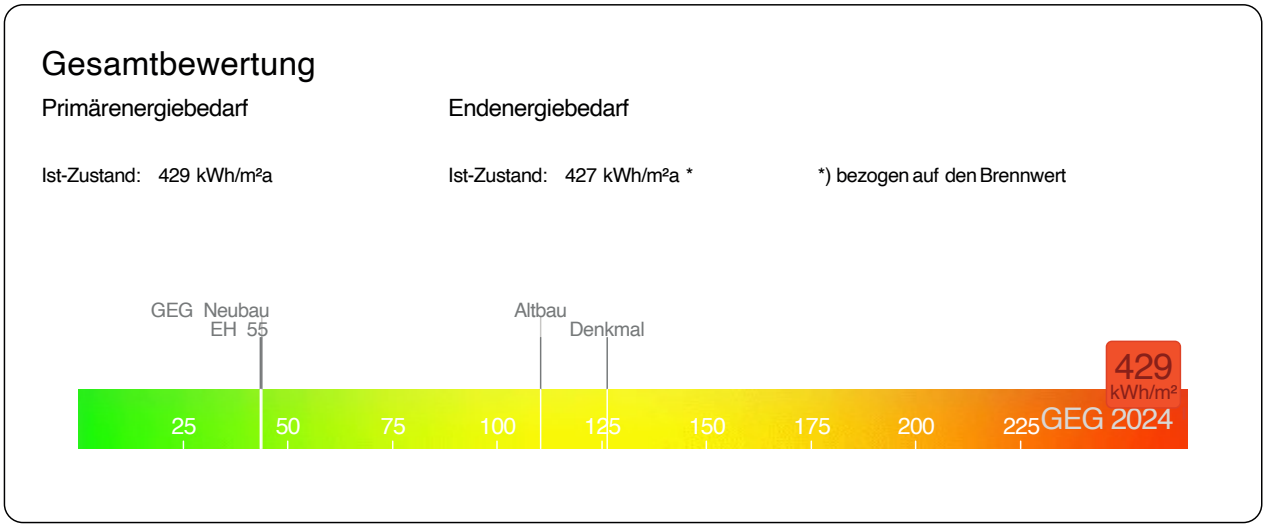


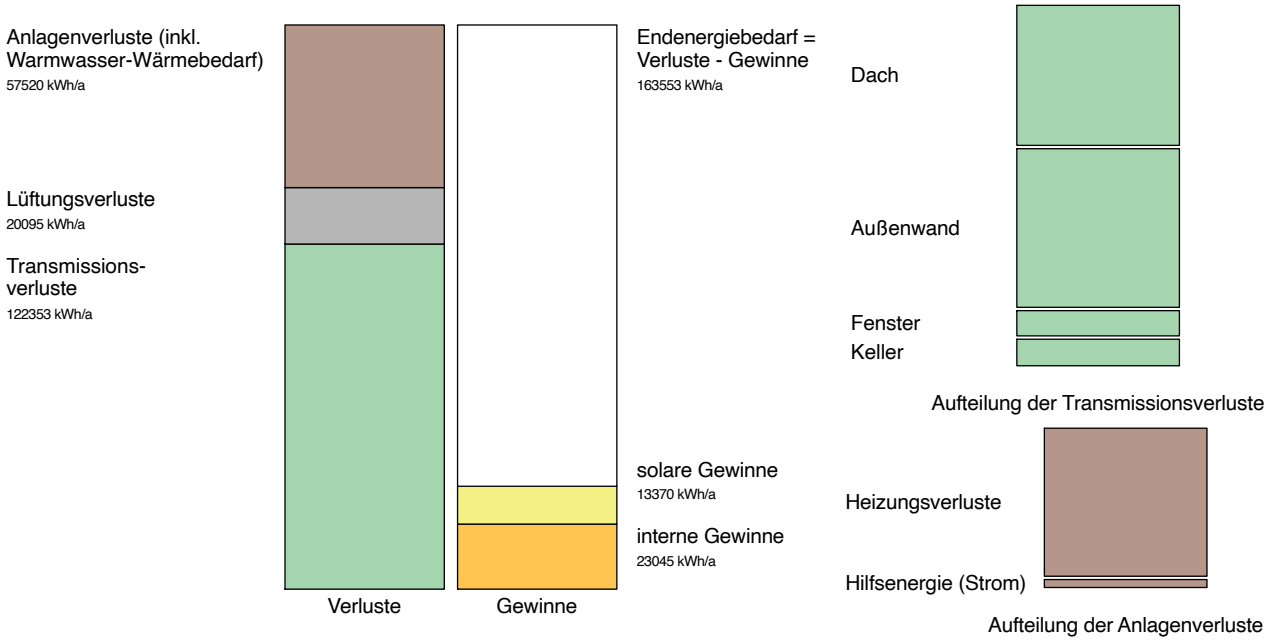




2.3 Energiebilanz

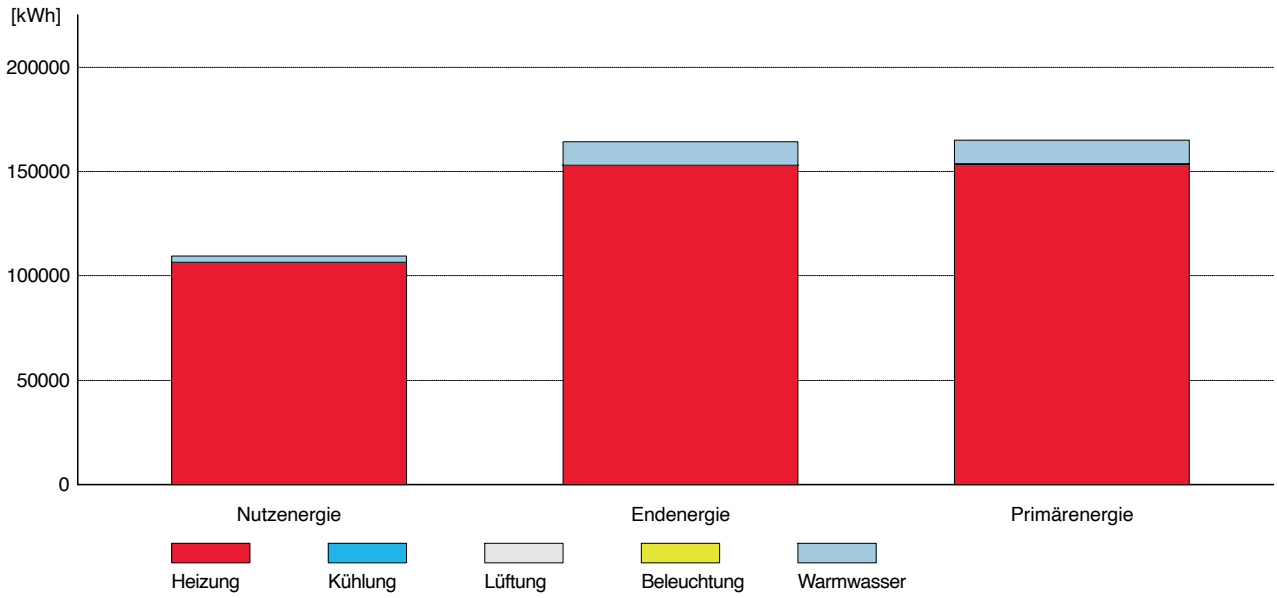
Das Gebäude ist Energetisch in einem schlechten Zustand, die größten Verluste entstehen durch die Außenwände und das das Dach. Die 2 Etagenheizungen sorgen für weitere ineffizienz.





Aufteilung der Transmissionsverluste

Aufteilung der Anlagenverluste



2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
X	DA	Dach 001-2	5,85	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 001-3	2,98	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 001-4	2,68	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 002-3	33,57	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 002-4	68,86	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 003-3	30,13	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 003-4	71,35	2,60	0,24	0,14
X	TA	AT 002-2	2,23	2,90	1,8	1,3
X	TA	AT 003-2	2,28	2,90	1,8	1,3
X	WA	AW 005	12,96	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 006	3,02	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 006-2	2,25	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 006-3	11,02	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 007	17,33	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 008	11,40	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 009	1,87	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 009-2	9,76	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 010	4,99	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 010-2	1,20	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 011	14,79	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 012	24,93	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 013	12,71	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 014	16,29	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 015	15,59	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 016	8,26	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 017	21,75	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 017-3	5,39	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 018	21,16	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 019	14,61	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 020	7,05	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 021	8,60	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 022	20,19	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 023	7,51	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 024	6,72	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 025	11,20	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 026	1,97	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 027	1,41	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 028	13,23	2,00	0,24	0,20
X	WA	AW 029	1,50	2,00	0,24	0,20
X	FA	DF 001-2	0,22	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 002-2	0,22	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 003-2	0,22	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 004-2	0,22	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 005-2	0,22	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 006-2	0,22	5,00	1,4	1,0

X	FA	F 002-1	1,72	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 003-1	1,72	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 004-1	1,72	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 006-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 007-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 010-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 011-1	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	1,57	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 014-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 016-2	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 017-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 018-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 019-1	1,18	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 020-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 021-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 022-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 023-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 024-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 025-1	1,12	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 026-2	0,92	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 027-2	0,92	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 028-2	0,92	2,70	1,3	0,95
X	BE	Boden EG 003-2	6,26	1,60	0,30	0,25
X	BE	Boden EG 003-3	44,80	1,60	0,30	0,25
X	BE	Boden EG 003-4	21,98	1,60	0,30	0,25
X	BK	Boden EG 002-1	62,04	1,95	0,30	0,25

2.5 Technische Anlagen

Die 2 Etagen haben ihren eigenen Gaskessel, diese sind alle ähnlich dimensioniert. Die Warmwasserbereitung erfolgt über Durchlauferhitzer in den Wohnungen.

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 2
Erzeugung	- NT-Gebläse-Kessel von 2024 Nennleistung: 24,00 kW Energieträger: Erdgas E Der Kessel versorgt den TWW-Bereich 'Warmwasser-Erzeugung 2' mit.
Verteilung	- Verteilkreis 2 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 317,0 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,30 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p konstant
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Wohnen' mit 50 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

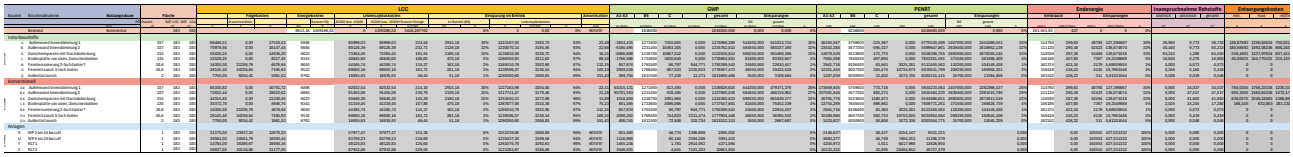
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kessel aus dem Heizkreis 'Erzeuger 1' von 1999 - Nennleistung 24,00 kW Energieträger: Erdgas E
Verteilung	- TWW-Kreis 1 zentral ohne Zirkulation' 77,8 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,20 W/(mK) gedämmt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Wohnen' mit 50 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Untersucht wurden aufgrund des Denkmalschutzes nur Maßnahmen die das äußere Erscheinungbild nicht verändern. Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Dach, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE LowTech Baukasten zu finden.

KG300
- A Außenwand Innendämmung 1
- B Außenwand Innendämmung 2
- G Zwischensparren mit Dachabdeckung
- L Bodenplatte von oben, Zwischenbalken
- N Fenstersanierung 2-fach Isolier?
- O Fenstertausch 3-fach Isolier
- Q Außentürtausch

KG400
- S WP 2 bis 15 kw Luft
- U WP 4 bis 25 kw Luft
- Y RLT 1

Da sich das Gebäude in der Altstadt befindet wurden Luft-Wasser-Wärmepumpen gewählt.

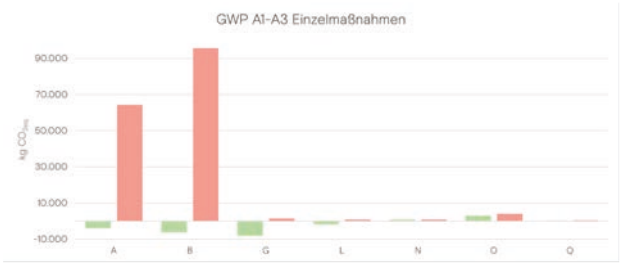
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich. So können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung, auf Grund ihrer sehr viel größeren Fläche, den mit Abstand größten Effekt bringt.

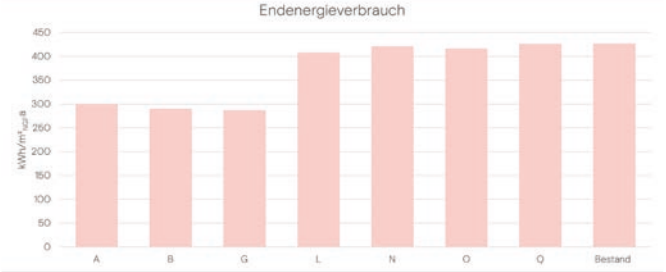
Aufgrund der eingesetzten nachwachsenden Rohstoffe liegt das Treibhauspotenzial der ökologischen Bauweise teilweise im negativen Bereich.

Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.



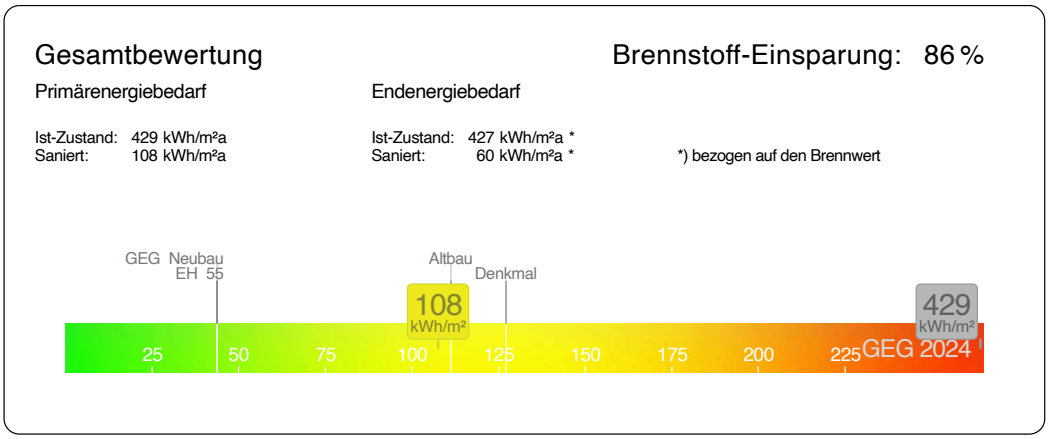






3.2 Variante 1 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren.



	Variante 1 - ökologiosch					
A	Außenwand Innendämmung 1					
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
U	WP 4 bis 25 kw Luft					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**157.498,76 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**4.583,00 €**	Energiekosten		4583
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.230,18**			
			-53%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**51.042,16 €**			
	Ersatzherstellung		**34.581,79 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**854.549,71 €**			611427
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2Preis		**152.503,38 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.007.053,09 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-10794**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,56			
	GWP B6	kg CO2eq.	**641600**	GWP B6		641600
		CO2eq./m²NGFa	33,50			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**647567**			
		CO2eq./m²NGFa	33,82			
	PENRT A1-A3	kWh	**34618**			
		kWh./m²NGFa	1,81			
	PENRT B6	kWh	**2062350**	PENRT B6		2062350
		kWh./m²NGFa	107,69			
	PENRT gesamt	kWh	**2092787**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**60**			22915
	Amortisationszeit	Jahre	**30,11**			
	Einsparung pro kWh		**1,12 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**90,17**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**11,06**			
	Entsorgungskosten min.	€	**353,33**			
	Entsorgungskosten max	€	**2494,82**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1507,44**			

Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	107,6	þ 111,4	79,5	¨ 31,8	¨ 43,7	¨ 55,7	¨ 67,6	þ 127,3
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,649	¨ 0,630	0,362	¨ 0,199	¨ 0,253	¨ 0,307	¨ 0,362	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

PV-Anlage:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 70,31 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 14,94 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 11364,88 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 90 %

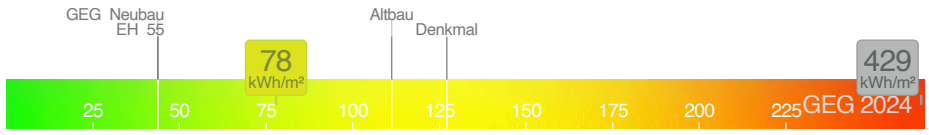
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 429 kWh/m²a
Saniert: 78 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 427 kWh/m²a *
Saniert: 43 kWh/m²a *

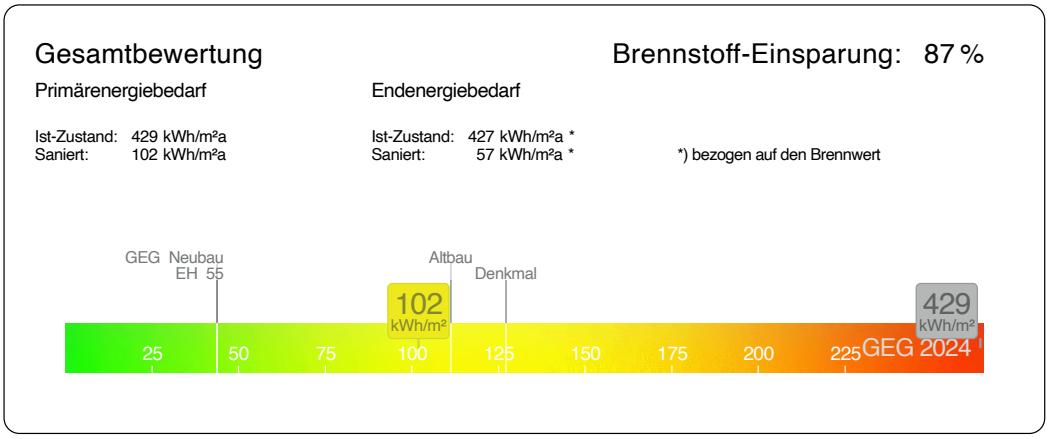
*) bezogen auf den Brennwert



Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	78,0	þ 111,4	79,5	¨ 31,8	¨ 43,7	¨ 55,7	¨ 67,6	þ 127,3
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,649	¨ 0,630	0,362	¨ 0,199	¨ 0,253	¨ 0,307	¨ 0,362	

3.2 Variante 1 konventionell



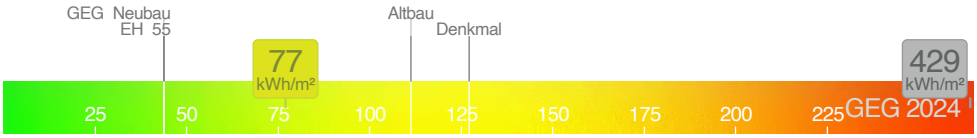
	Variante 1 - konventionell					
Ak	Außenwand Innendämmung 1					
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
U	WP 4 bis 25 kw Luft					
Y	RLT 1					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**155.014,62 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**4.344,60 €**	Energiekosten		4344,6
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.468,58**			
			-56%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**63.581,82 €**			
	Ersatzherstellung		**50.962,46 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**849.180,90 €**			579622
	Umweltfolgekosten		**60.197,45 €**			
	CO_2 Preis		**144.576,35 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.053.954,70 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**68406**			
		CO2eq./m²NGFa	3,57			
	GWP B6	kg CO2eq.	**608250**	GWP B6		608250
		CO2eq./m²NGFa	31,76			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**677689**			
		CO2eq./m²NGFa	35,39			
	PENRT A1-A3	kWh	**198454**			
		kWh./m²NGFa	10,36			
	PENRT B6	kWh	**1995050**	PENRT B6		1995050
		kWh./m²NGFa	104,18			
	PENRT gesamt	kWh	**2187570**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**57**			21723
	Amortisationszeit	Jahre	**28**			
	Einsparung pro kWh		**1,09 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**75,92**			
	Entsorgungskosten min.	€	**1623,07**			
	Entsorgungskosten max	€	**3805,48**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**2604,20**			

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen oder denkmalkonform und innerhalb des Baukastens so nahe wie möglich an dieses Ziel heran zu kommen, insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden wie der Neckarstraße 26 ist dieses Ziel nicht erreichbar oder nur mithilfe von einer zusätzlichen Solaranlage.

Gesamtbewertung — **Brennstoff-Einsparung: 90 %**

Primärenergiebedarf		Endenergiebedarf		
Ist-Zustand:	429 kWh/m²a	Ist-Zustand:	427 kWh/m²a *	
Saniert:	77 kWh/m²a	Saniert:	43 kWh/m²a *	*) bezogen auf den Brennwert



	Variante 2 ökologisch
B	Außenwand Innendämmung 2
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung
L	Bodenplatte von oben, Zwischenbalken
O	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q	Außentürtausch
S	WP 2 bis 15 kw Luft

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**218.998,84 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**3.279,20 €**	Energiekosten	3279,2
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 6.533,98**		
		-67%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**63.450,67 €**		
Ersatzherstellung		**67.400,49 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**787.334,00 €**		437484
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2 Preis		**109.124,54 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**896.458,54 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-12173**		-233112762,9
	CO2eq./m²NGFa	-0,64		
GWP B6	kg CO2eq.	**459100**	GWP B6	459100
	CO2eq./m²NGFa	23,97		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**475766**		
	CO2eq./m²NGFa	24,84		
PENRT A1-A3	kWh	**60964**		
	kWh./m²NGFa	3,18		
PENRT B6	kWh	**1475650**	PENRT B6	1475650
	kWh./m²NGFa	77,06		
PENRT gesamt	kWh	**1546363**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**43**		16396
Amortisationszeit	Jahre	**34**		
Einsparung pro kWh		**1,49 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**122,56**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**11,51**		
Entsorgungskosten min.	€	**442,19**		
Entsorgungskosten max	€	**3174,83**		
Entsorgungskosten mittel	€	**1928,80**		

Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	77,0	þ 111,4	79,5	¨ 31,8	¨ 43,7	¨ 55,7	¨ 67,6	þ 127,3
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,379	þ 0,630	0,362	¨ 0,199	¨ 0,253	¨ 0,307	¨ 0,362	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 70,31 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 14,94 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 11364,88 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 94 %

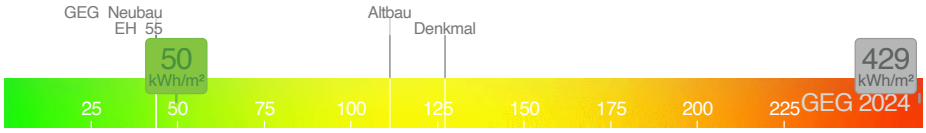
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 429 kWh/m²a
Saniert: 50 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 427 kWh/m²a *
Saniert: 28 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	49,6	þ 111,4	79,5	¨ 31,8	¨ 43,7	þ 55,7	þ 67,6	þ 127,3
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,379	þ 0,630	0,362	¨ 0,199	¨ 0,253	¨ 0,307	¨ 0,362	

3.3 Variante 2 konventionell

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 91 %**

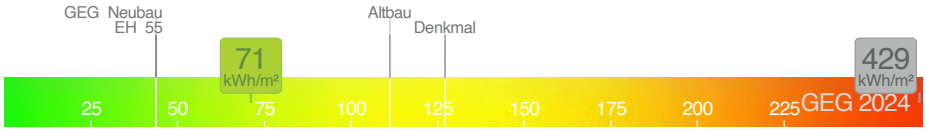
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 429 kWh/m²a
Saniert: 71 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 427 kWh/m²a *
Saniert: 40 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



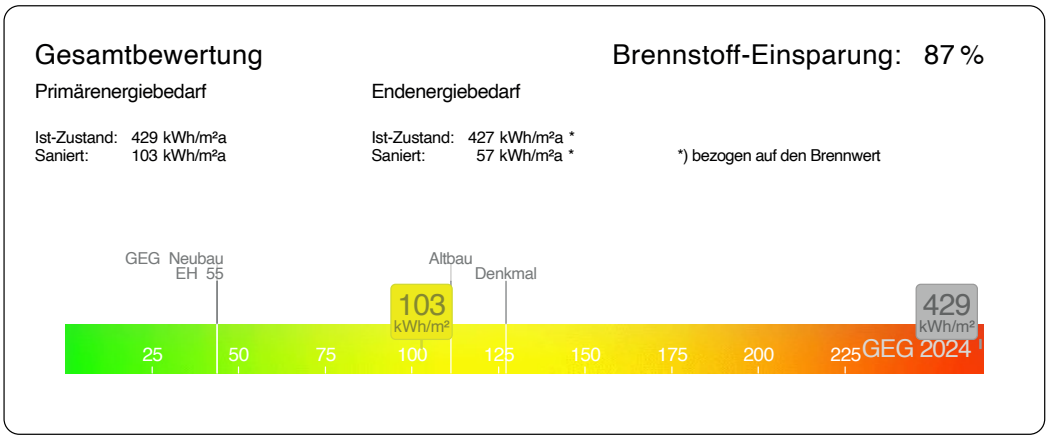
	Variante 2 konventionell
B k	Außenwand Innendämmung 2
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung
L k	Bodenplatte von oben, Zwischenbalken
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q k	Außentürtausch
S	WP 2 bis 15 kw Luft
Y	RLT 1

					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**224.370,34 €**			
Energiekosten	Pro Jahr	**3.030,60 €**	Energiekosten		3030,6
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 6.782,58**			
		-69%			
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**74.903,70 €**			
Ersatzherstellung		**83.781,16 €**			
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**787.373,20 €**			404318
Umweltfolgekosten		**92.130,64 €**			
CO_2 Preis		**100.840,96 €**			
Lebenszykluskosten gesamt		**980.344,80 €**			
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**104694**			
	CO2eq./m²NGFa	5,47			
GWP B6	kg CO2eq.	**424250**	GWP B6		424250
	CO2eq./m²NGFa	22,15			
GWP gesamt	kg CO2eq.	**538005**			
	CO2eq./m²NGFa	28,09			
PENRT A1-A3	kWh	**311146**			
	kWh./m²NGFa	16,25			
PENRT B6	kWh	**1363750**	PENRT B6		1363750
	kWh./m²NGFa	71,21			
PENRT gesamt	kWh	**1684001**			
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**40**			15153
Amortisationszeit	Jahre	**33**			
Einsparung pro kWh		**1,51 €**			
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
nachwachsende Rohstoffe	m³	**2,03**			
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**105,12**			
Entsorgungskosten min.	€	**1912,73**			
Entsorgungskosten max	€	**4842,73**			
Entsorgungskosten mittel	€	**3222,17**			

3.4 Variante 3 ökologisch

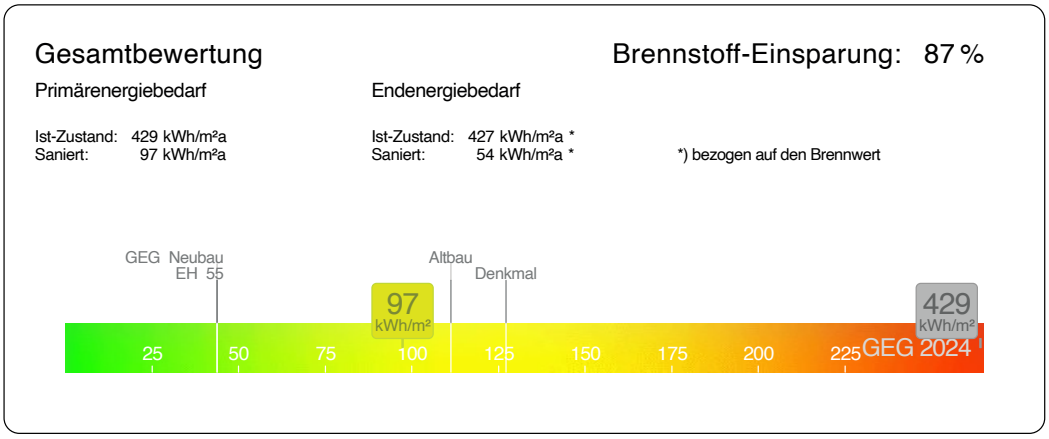
Variante 3 stellt die Empfohlene Variante dar, diese ist entweder eine der beiden Varianten zuvor oder eine neue Zwischenversion die sich aus den beiden Varainten entwickelt hat.

Hier wurde eine neue Varaint erstellt die sich an der Varainte 1 orientiert, aber die Innendämmung erhöht, da dies wirtschaftlich und ökologisch Sinn ergibt.



	Variante 3 ökologisch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
U	WP 4 bis 25 kw Luft					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**159.989,19 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**4.377,20 €**	Energiekosten		4377,2
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.435,98**			
			-55%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**22.155,40 €**			
	Ersatzherstellung		**34.581,79 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**800.697,38 €**			583971
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2 Preis		**145.657,85 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**946.355,23 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-13.150**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,69			
	GWP B6	kg CO2eq.	**612.800**	GWP B6		612800
		CO2eq./m²NGFa	32,00			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**619.894**			
		CO2eq./m²NGFa	32,37			
	PENRT A1-A3	kWh	**41.406**			
		kWh./m²NGFa	2,16			
	PENRT B6	kWh	**1.969.800**	PENRT B6		1969800
		kWh./m²NGFa	102,86			
	PENRT gesamt	kWh	**2.006.755**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**57**			21886
	Amortisationszeit	Jahre	**29**			
	Einsparung pro kWh		**€ 1,13**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**103,65**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**11,06**			
	Entsorgungskosten min.	€	**397,14**			
	Entsorgungskosten max	€	**2830,06**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1713,67**			

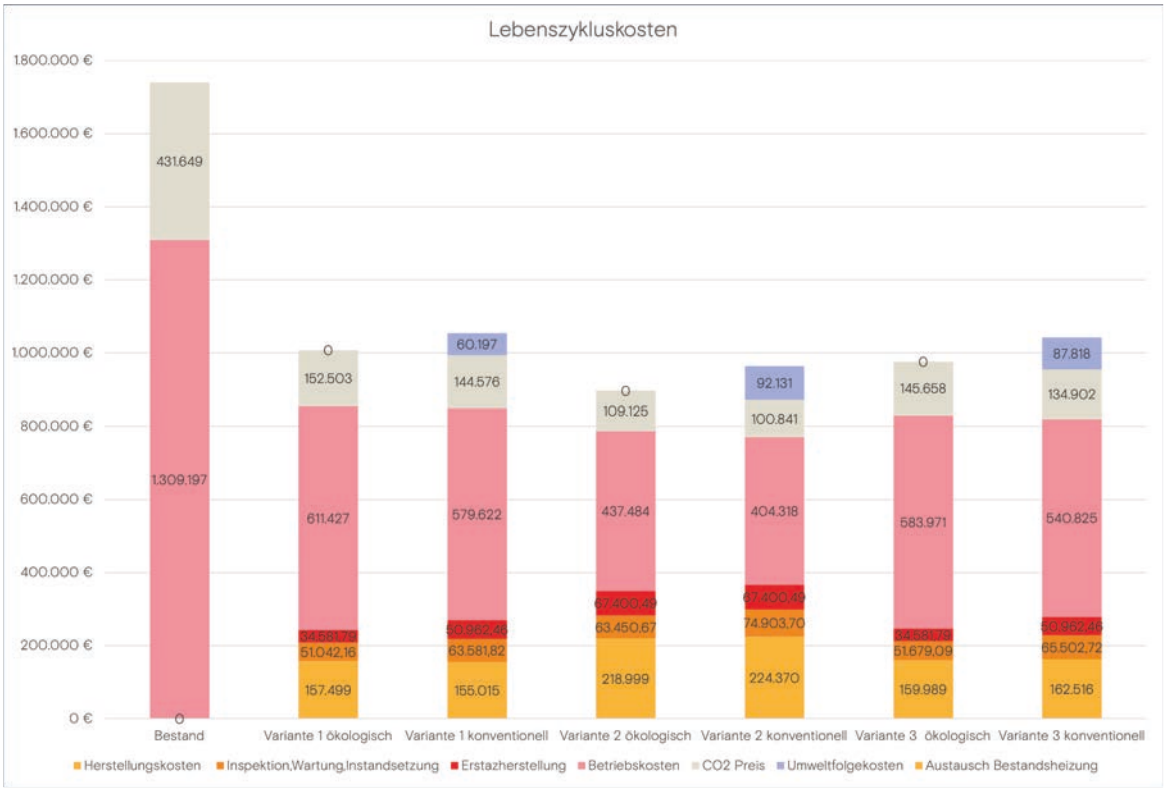
3.4 Variante 3 konventionell



	Variante 3 konventionell					
B k	Außenwand Innendämmung 2					
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
U	WP 4 bis 25 kw Luft					
Y	RLT 1					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		162.516,24 €			
	Energiekosten	Pro Jahr	4.053,80 €	Energiekosten		4053,8
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	€ 5.759,38			
			-59%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		65.502,72 €			
	Ersatzherstellung		50.962,46 €			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		819.806,42 €			540825
	Umweltfolgekosten		87.817,51 €			
	CO_2 Preis		134.902,27 €			
	Lebenszykluskosten gesamt		1.042.526,20 €			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	99.793			
		CO2eq./m²NGFa	5			
	GWP B6	kg CO2eq.	567.550	GWP B6		567550
		CO2eq./m²NGFa	30			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	668.391			
		CO2eq./m²NGFa	35			
	PENRT A1-A3	kWh	282.096			
		kWh./m²NGFa	15			
	PENRT B6	kWh	1.824.200	PENRT B6		1824200
		kWh./m²NGFa	95			
	PENRT gesamt	kWh	1.547.951			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	53			20269
	Amortisationszeit	Jahre	28			
	Einsparung pro kWh		€ 1,13			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	0,00			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	89,40			
	Entsorgungskosten min.	€	1744,39			
	Entsorgungskosten max	€	4209,88			
	Entsorgungskosten mittel	€	2841,03			

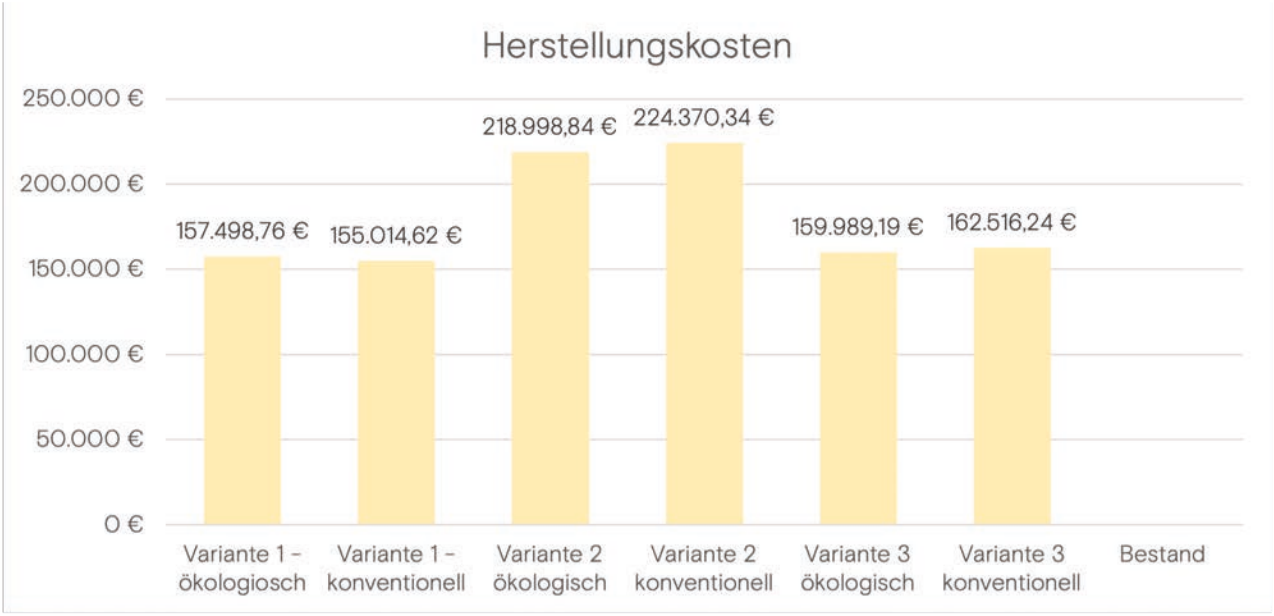
3.5 Variantenvergleich

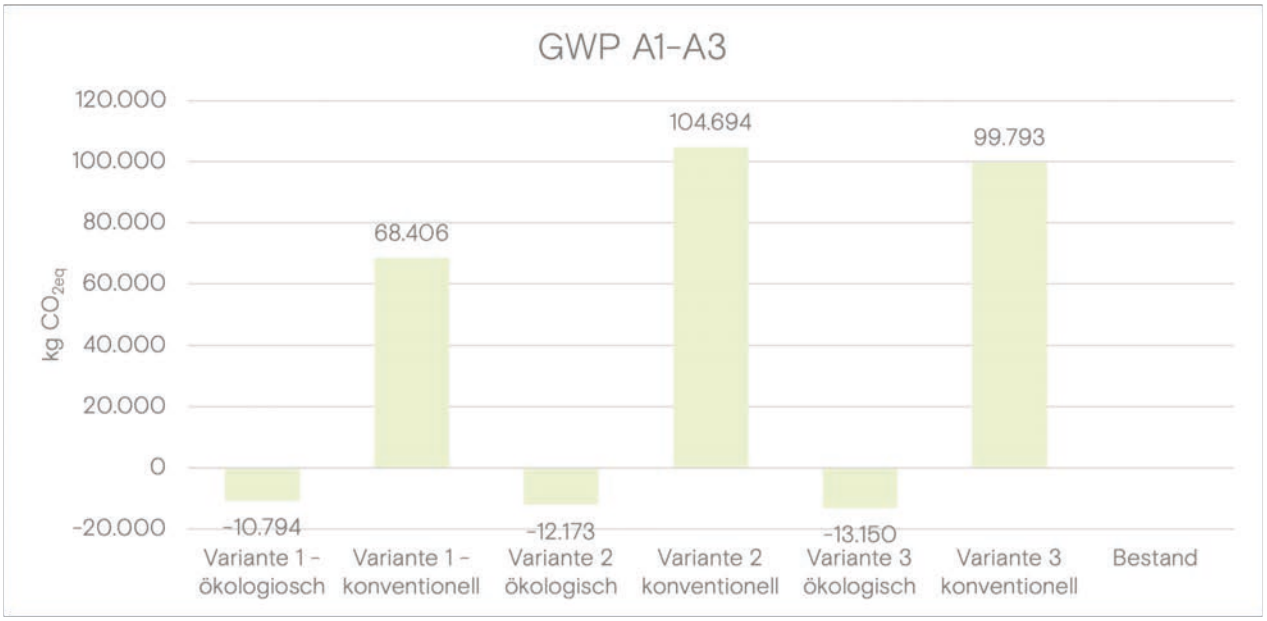
Die Diagramme zeigen einen Vergleich zwischen dem unsanierten Bestand und drei verschiedenen Sanierungsvarianten in ökologischer sowie konventioneller Bauweise.
Grundsätzlich wird deutlich, dass alle Sanierungsvarianten den Energieverbrauch und die Energiekosten gegenüber dem Bestand deutlich reduzieren. Während der Bestand einen Endenergieverbrauch von etwa 427 kWh/m²a aufweist, sinkt dieser bei den sanierten Varianten auf etwa 40–60 kWh/m²a. Dadurch können die Energiekosten um über 50 % bis teilweise fast 70 % reduziert werden. Es zeigt sich, dass die entscheidenden Einsparungen bereits mit den weniger kostenintensiven Maßnahmen von Variante 1 bzw. 3 erreicht werden können.
In Bezug auf die ökologische Wirkung (GWP A1–A3) schneiden die ökologischen Bauweisen besser ab, da sie geringere Treibhausgasemissionen in der Herstellungsphase verursachen. Dies spiegelt sich auch in der Lebenszykluskostenbilanz wieder wenn Umweltfolgekosten in diese mit einbezogen werden. Da die ökologischen Varianten stärker auf nachwachsende Rohstoffe setzen, während konventionelle Bauweisen einen höheren Anteil an nicht nachwachsenden Materialien haben.

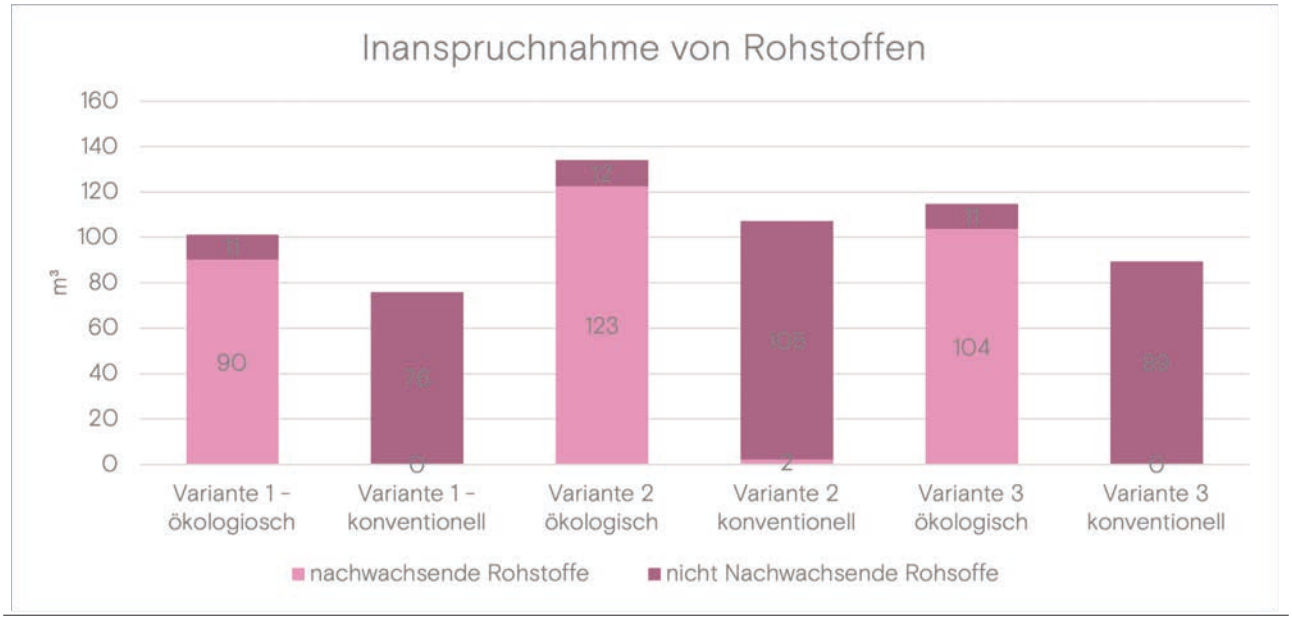


Die Lebenszykluskosten verdeutlichen, dass die Betriebskosten den größten Anteil an den Gesamtkosten ausmachen. Durch die energetische Sanierung können diese langfristig deutlich reduziert werden, sodass sich höhere Anfangsinvestitionen teilweise über den Lebenszyklus ausgleichen. Allerdings gilt es abzuwägen, ob sich die höheren Anfangsinvestitionen im Verhältnis zu den späteren Einsparungen lohnen. Variante 2 verursacht in der Herstellung etwa 37 % höhere Kosten als Variante 3, senkt die Lebenszykluskosten jedoch nur um rund 8 %.

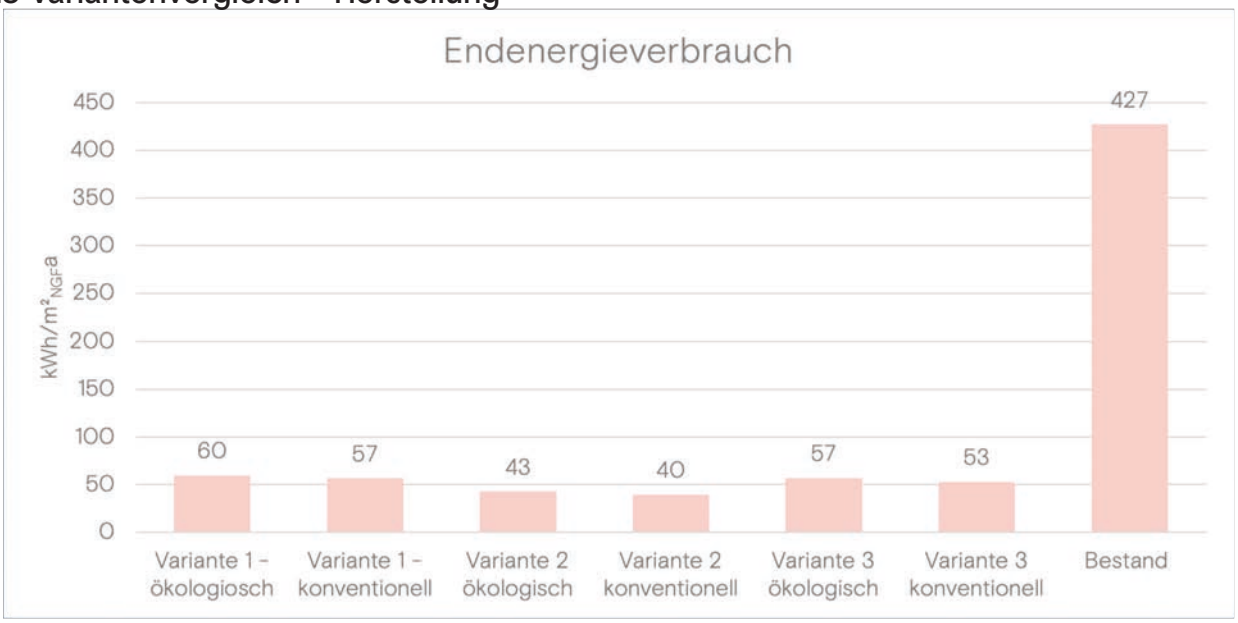
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

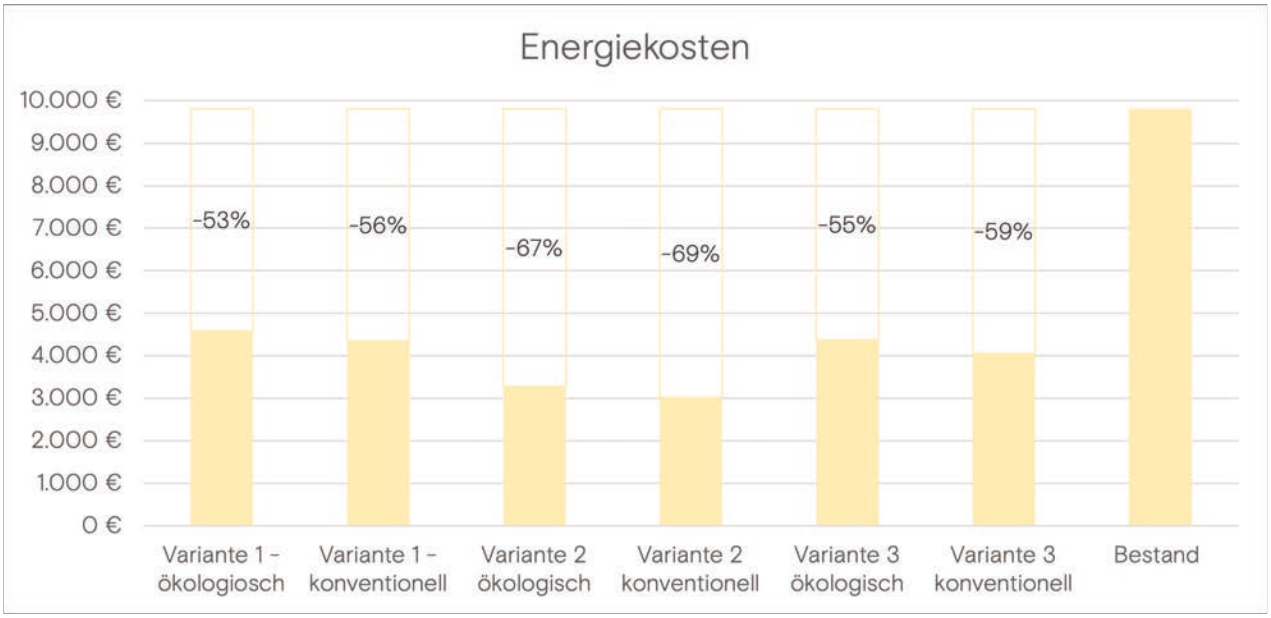


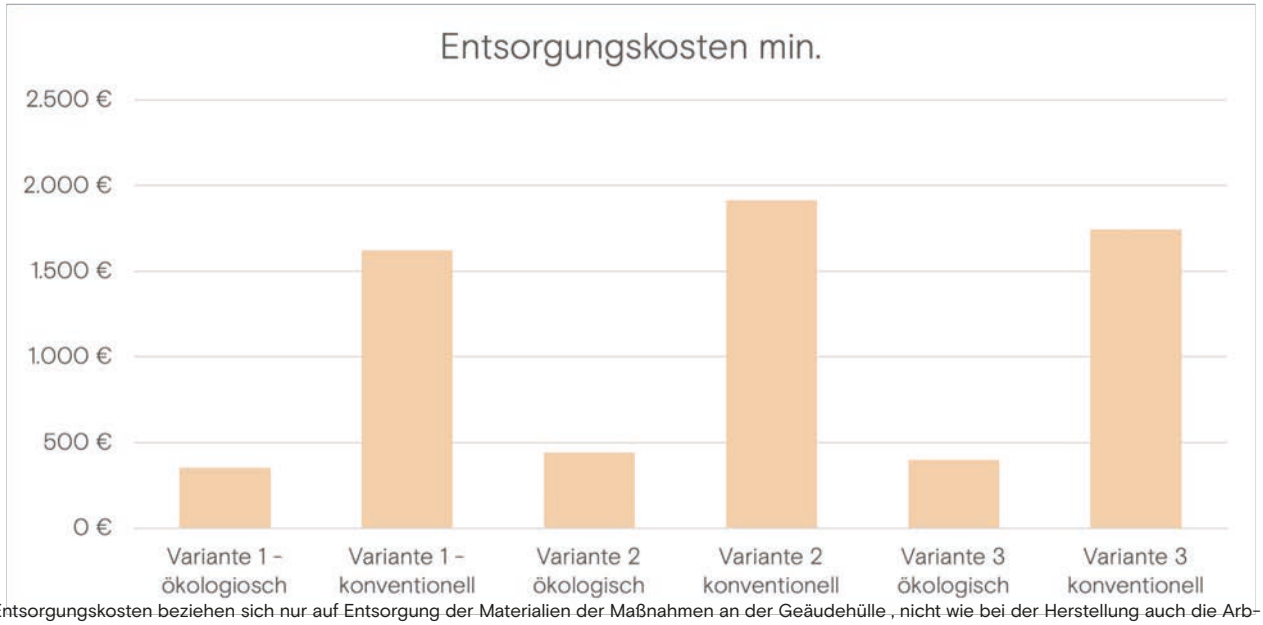




3.5 Variantenvergleich - Herstellung







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Die Neckarstraße 26 ist nach mehr als 270 Jahren in einem erstaunlich guten Zustand, auch weil bereits Maßnahmen getroffen worden sind um das Gebäude zu erhalten. Diese sollten unbedingt mit einer energetischen Sanierung komplimentiert werden um den Gebrauch des Gebäudes in Zukunft zu sichern und wirtschaftlich zu halten.
Ein Ausbau der beiden ungenutzten Dachgeschosse bietet sich an um günstig und ressourcenschonend weiteren Wohnraum in der zentralen Altstadt von Neckargemünd zu schaffen.
Die Variante 1 und 3 zeigen, dass dabei nicht alles getauscht und gedämmt werden muss, die kritischten Punkte, Außenwand und Dach, anzugehen würde schon ausreichen um das Gebäude - durch einsatz einer mit regenerativem Strom betriebenen Wärmepumpe - auf den klimaneutralen Pfad zu bringen.
Es zeigt sich auch ganz klar, dass sich die Energetischen Maßnahmen nicht nur ökologisch sondern auch finanziell lohnen, da schon durch geringe Investitionen erhebliche Energieeinsparungen erzielt werden können und so die Energiekosten, trotz der Umstellung von Gas auf Strom, gesenkt werden.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



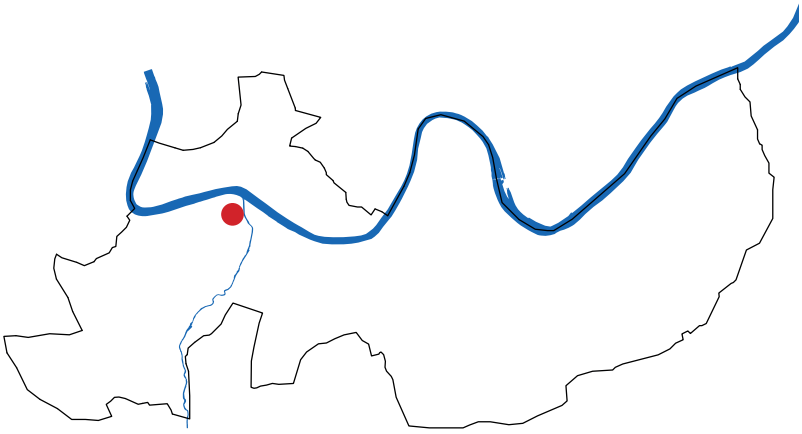
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

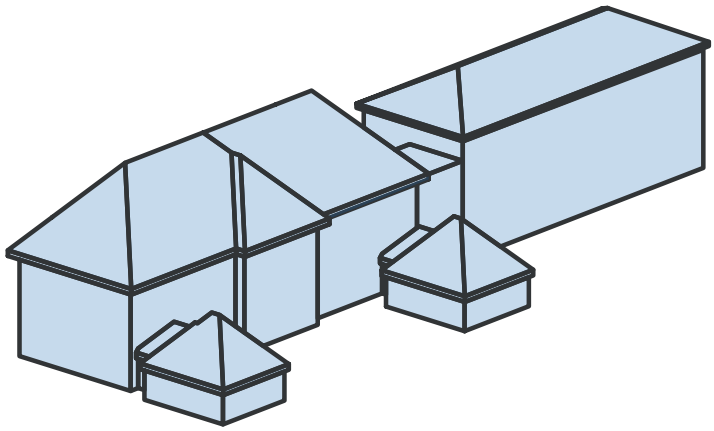
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 16

3. Energetische Sanierung S. 17
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 17
- 3.2 Variante 1 S. 18
- 3.3 Variante 2 S. 21
- 3.4 Variante 3 S. 24
- 3.5 Variantenvergleich S. 25

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 28



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Schule
Baujahr:	195
Denkmalschutz:	Ja
Geschosse:	3
NGF:	3341 m²
BGF:	4009 m²
Nutzung:	Schule
Bruttovolumen:	13424 m³
Hüllfläche A:	5444 m²

Die Grundschule Neckargemünd besteht aus zwei Bauwerken: dem Hauptgebäude und der Turnhalle, die jeweils aus einem älteren und einem etwas später errichteten Baukörper bestehen. Das Hauptgebäude sowie die alte Turnhalle wurden zwischen 1912 und 1915 nach den Plänen des Architekten Franz Sales Kuhn errichtet und stehen seit 1985 unter Denkmalschutz. 1957 bis 1959 wurde das Hauptgebäude erweitert, 1976 die Turnhalle. Zu dem Gelände gehört auch noch die Kinderkrippe „Rappelkiste“. Für die Untersuchungen wurden Turnhalle und Kinderkrippe nicht berücksichtig, die Berechnungen beziehen sich ausschließlich auf das Schulgebäude.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Altbau von vorne


Sandsteine


Neubau vorne


Verbindungsbau



Tür


Pavillon

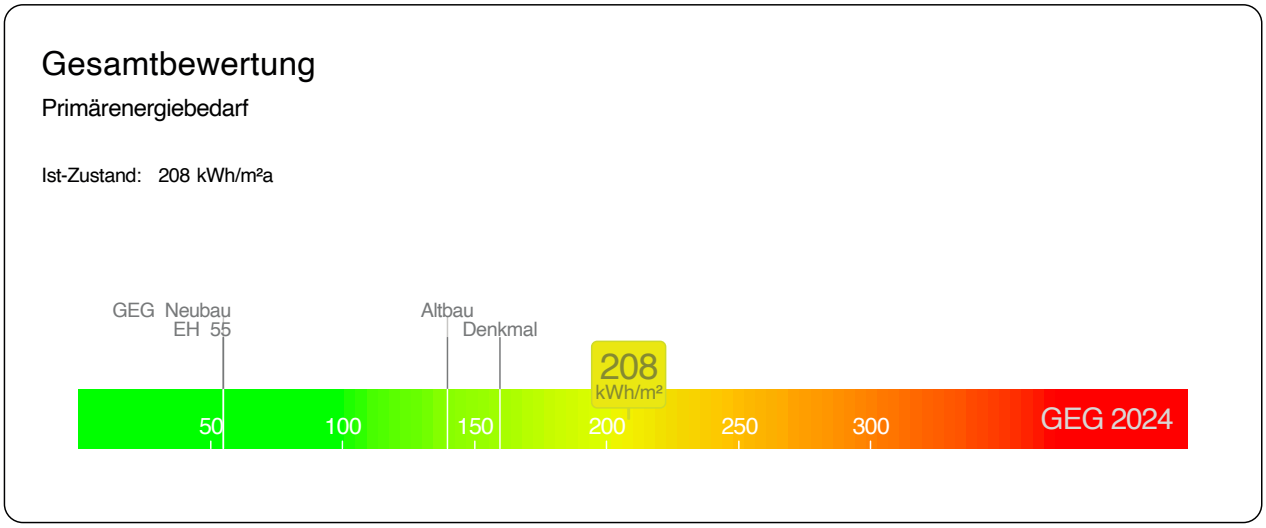

Neubau hinten

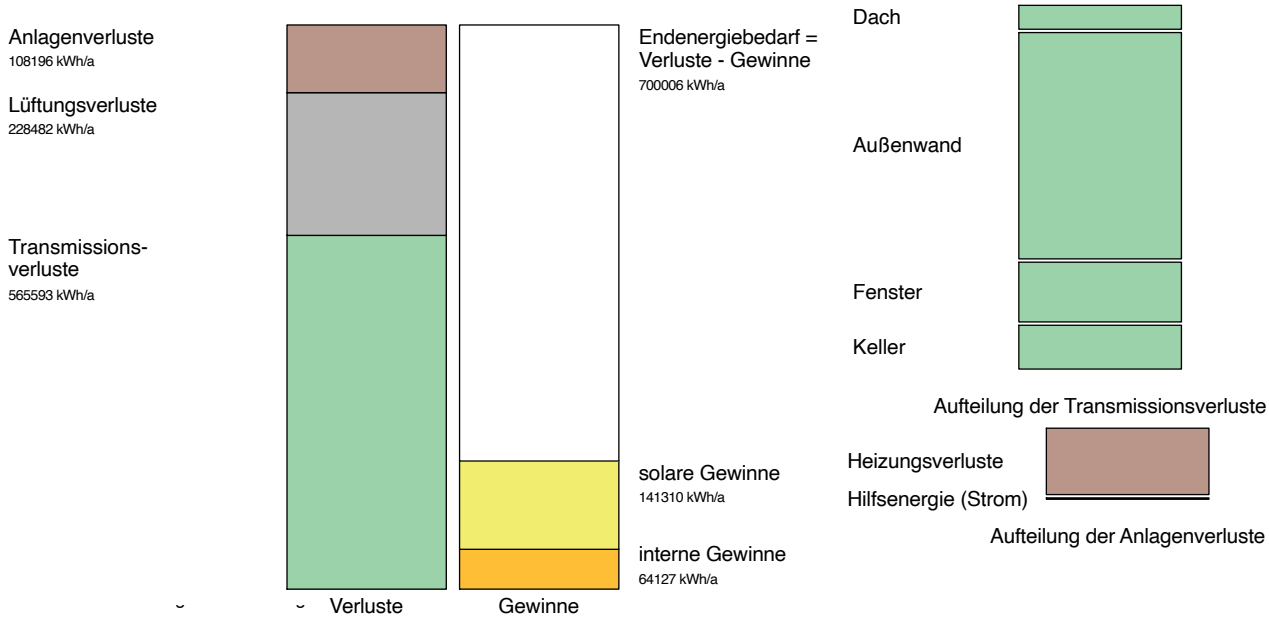
2.2 Bekannte Schäden

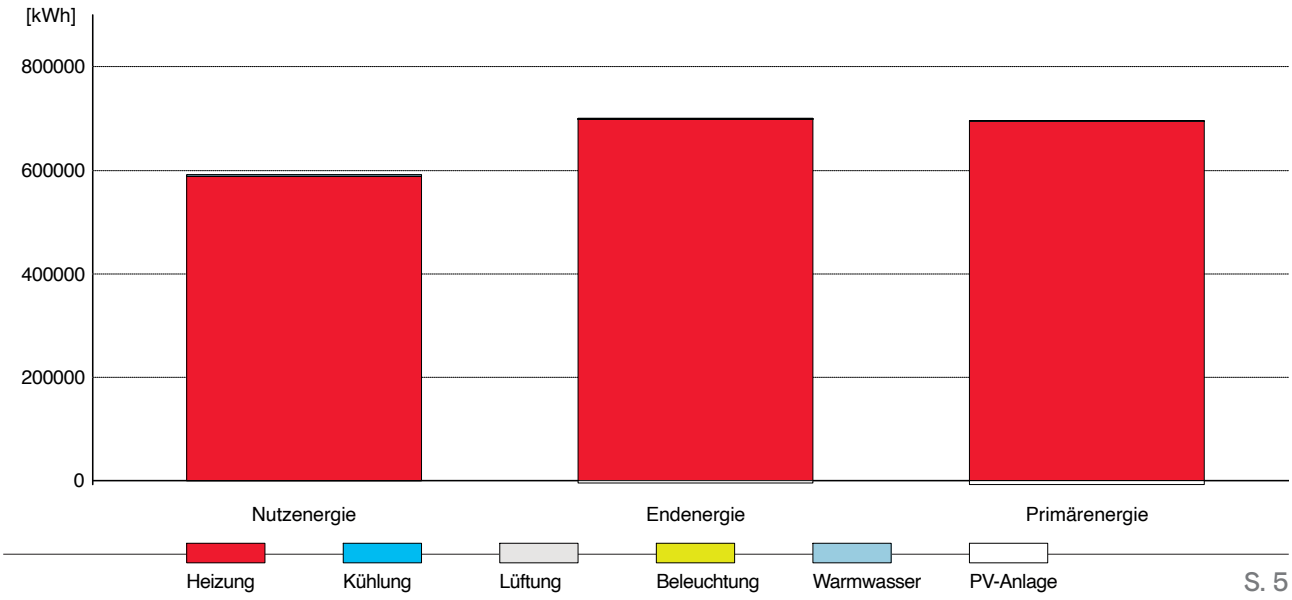
Dach, wird bereits behoben

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist Energetisch in einem mittelmäßigen Zustand, die größten Verluste entstehen durch die Außenwände.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
	DA	Boden DG2 002 [2]-1	4,95	0,22	0,20	0,14
	DA	Boden DG2 002 [2]-4	0,60	0,22	0,20	0,14
	DA	Boden DG2 002 [2]-5	0,25	0,22	0,20	0,14
	DA	Boden DG2 002 [2]-6	7,79	0,22	0,20	0,14
X	DA	Boden EG 005-1	13,83	1,00	0,20	0,14
	DA	Boden OG1 002-1	3,29	0,24	0,20	0,14
	DA	Dach 001-2	0,44	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 002	32,94	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 002-2	0,49	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 003-1	17,11	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 003-2	0,00	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 003-3	18,44	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 008-1	12,91	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 012-2	15,28	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 012-4	18,24	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 015-2	15,43	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 015-4	17,25	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 016-1	9,89	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 017-1	5,52	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 018-1	44,88	0,36	0,20	0,14
	DA	Dach 019-1	16,53	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 019-2	11,89	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 019-3	16,01	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 019-4	19,87	0,36	0,24	0,14
X	DA	Dach 020-3	34,34	1,93	0,24	0,14
	DA	Dach 023-1	23,82	0,36	0,24	0,14
	DA	Dach 024-1	24,52	0,36	0,24	0,14
	DG	Dach DG 001	4,23	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 001-2	4,23	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 002-2	2,45	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 002-3	2,45	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 003	2,26	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 003-2	2,26	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 003-3	2,26	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 003-4	2,26	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-10	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-11	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-12	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-2	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-3	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-4	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-5	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-6	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-7	1,30	0,36	0,24	0,20

	DG	Dach DG 004-8	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 004-9	1,30	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 005	6,47	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 005-2	6,47	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 006	6,68	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 006-2	6,68	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 007	1,93	0,36	0,24	0,20
	DG	Dach DG 007-2	1,93	0,36	0,24	0,20
	OG	Boden DG1-6	22,48	0,24	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 002 [4]-12	135,26	0,22	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 002 [4]-17	44,05	0,22	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 002 [4]-18	47,21	0,22	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 002 [4]-19	33,82	0,22	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 002 [4]-20	24,99	0,22	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 002 [4]-21	23,36	0,22	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 003-3	156,22	0,26	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 003-4	67,71	0,26	0,24	0,14
	OG	Boden DG2 003-5	136,91	0,26	0,24	0,14
	TA	AT 001-1	1,72	1,99	1,8	1,3
X	TA	AT 002-2	4,90	2,60	1,8	1,3
	TA	AT 003-1	5,03	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 004-1	4,80	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 004-2	1,56	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 005-1	7,28	1,30	1,8	1,3
	TA	AT 006-1	2,59	1,10	1,8	1,3
X	TA	AT 007-1	2,19	2,60	1,8	1,3
X	TA	AT 008-1	2,19	2,60	1,8	1,3
X	TA	AT 009-2	2,73	2,30	1,8	1,3
X	TA	AT 010-2	2,73	2,30	1,8	1,3
X	WA	AW 001	88,19	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 001-2	26,99	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 002	25,19	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 003	5,08	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 004	1,39	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 004 [03]	1,39	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 005	4,24	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 006	22,81	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 006-2	23,88	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 007	4,18	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 008	5,14	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 011	4,33	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 013	4,18	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 015	94,64	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 015-2	27,34	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 016	1,49	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 016 [02]	1,89	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 016 [03]	1,49	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 017	4,73	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 018	8,77	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 019	23,84	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 020	8,03	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 021	45,36	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 022	11,66	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 023	5,91	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 024	6,95	2,57	0,24	0,20

X	WA	AW 025	5,63	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 026	4,73	0,77	0,24	0,20
	WA	AW 027	1,84	0,29	0,24	0,20
	WA	AW 029	1,83	0,29	0,24	0,20
	WA	AW 031	1,83	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 034	32,44	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 035	99,57	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 036	8,88	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 037	19,04	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 038	8,86	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 039	32,13	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 040	1,70	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 041	0,49	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 043	107,64	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 044	15,03	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 044-2	25,99	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 045	50,04	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 046	21,86	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 047	0,59	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 048	5,51	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 051	0,01	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 051-2	18,50	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 052	6,23	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 052-2	4,87	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 053	9,18	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 054	4,96	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 054-2	20,01	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 054-3	5,35	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 055	9,23	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 056	6,53	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 056-2	5,57	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 057	1,86	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 057 [02]	8,22	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 058	21,66	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 065	1,80	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 067	0,65	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 069	1,08	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 069-2	15,51	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 069-3	2,47	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 070	14,23	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 070-2	25,64	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 071	4,86	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 071-2	45,88	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 071-3	18,58	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 072	3,23	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 073-2	20,01	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 073-3	40,77	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 074	12,86	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 074-2	22,66	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 075	90,12	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 076	11,04	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 076-2	22,66	0,97	0,24	0,20
X	WA	AW 081	2,05	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 082	10,84	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 089	24,42	2,30	0,24	0,20

X	WA	AW 089-2	21,94	2,30	0,24	0,20
X	WA	AW 090	1,63	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 093	6,39	2,57	0,24	0,20
	WA	AW 097	1,83	0,29	0,24	0,20
	WA	AW 099	1,83	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 100	0,23	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 105	25,07	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 106	21,98	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 107	9,18	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 108	22,88	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 109	5,73	2,57	0,24	0,20
X	WA	AW 110	3,64	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 112	16,41	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 113	0,53	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 114	24,24	0,77	0,24	0,20
	WA	AW 115	1,83	0,29	0,24	0,20
	WA	AW 116	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 117	0,80	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 118	1,83	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 119	0,80	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 122	1,83	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 123	0,80	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 124	0,48	0,77	0,24	0,20
X	WA	AW 125	1,86	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 128	0,63	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 129	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 130	0,78	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 131	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 132	0,69	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 133	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 134	0,73	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 135	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 136	0,73	3,03	0,24	0,20
X	WA	AW 137	0,52	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 138	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 139	0,73	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 140	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 141	0,73	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 142	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 143	0,73	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 144	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW 145	0,73	3,03	0,24	0,20
	WA	AW 146	1,98	0,29	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 1	8,39	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 001 - 1-2	3,35	0,39	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2	1,89	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 001 - 2-2	1,60	0,39	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3	1,89	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 001 - 3-2	1,60	0,39	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 1	32,33	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 1-2	0,92	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 2	2,76	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 002 - 2-3	1,53	0,39	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 3	2,76	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 002 - 3-2	1,53	0,39	0,24	0,20

X	WA	AW DG 002 - 3-3	1,42	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 003 - 1	1,88	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 003 - 1-2	1,88	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 003 - 2	1,51	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 003 - 2-2	1,51	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 003 - 3	1,51	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 003 - 3-2	1,51	0,39	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 1	1,38	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 1-2	1,38	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 1-3	1,38	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 1-4	1,38	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 1-5	1,38	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 1-6	1,38	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 2	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 2-2	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 2-3	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 2-4	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 2-5	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 2-6	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3-2	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3-3	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3-4	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3-5	0,91	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 004 - 3-6	0,91	0,60	0,24	0,20
	WA	AW DG 005 - 1	6,70	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 005 - 2	1,57	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 005 - 3	1,57	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 006 - 1	7,07	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 006 - 2	1,72	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 006 - 3	1,72	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 007 - 1	2,70	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 007 - 2	0,79	0,39	0,24	0,20
	WA	AW DG 007 - 3	0,79	0,39	0,24	0,20
	WA	IW 012	2,68	0,00	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 1	7,58	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 1-2	8,45	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 1-3	50,30	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 1-4	22,91	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 2	30,00	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 4	19,99	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 5	0,07	2,42	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 5-2	14,39	2,42	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 6	14,81	2,42	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 7	14,39	2,42	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 8	0,83	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW ALT 9	0,06	2,10	0,24	0,20
X	WA	KW AN 2-1	12,51	0,84	0,24	0,20
X	WA	KW AN 2-3	26,13	0,84	0,24	0,20
X	WA	KW AN 2-5	1,84	0,84	0,24	0,20
X	WA	KW AN 6-2	8,93	0,88	0,24	0,20
X	WA	KW AN 6-3	0,14	0,88	0,24	0,20
X	WA	KW AN 6 [02]	39,87	0,84	0,24	0,20
X	WA	KW AN n3-1	19,81	0,84	0,24	0,20
X	WA	KW AN n3-3	6,53	0,84	0,24	0,20

X	WA	KW ANB 1-1	15,13	0,84	0,24	0,20
X	WA	KW ANB 1-3	8,68	0,84	0,24	0,20
X	WA	KWALT3	20,50	2,10	0,24	0,20
X	WA	KWALT3-2	21,54	2,10	0,24	0,20
X	WA	KWALT3-3	63,28	2,10	0,24	0,20
X	WA	pasv2	20,46	2,57	0,24	0,20
X	WA	pav1	10,81	2,57	0,24	0,20
X	WA	pav3	18,97	2,57	0,24	0,20
X	WA	pav4	20,36	2,57	0,24	0,20
X	WA	pav5	10,58	2,57	0,24	0,20
X	WE	KW AN 2	6,34	0,84	0,30	0,25
X	WE	KW AN 2-2	12,97	0,84	0,30	0,25
X	WE	KW AN 2-4	0,25	0,84	0,30	0,25
X	WE	KW AN 6	45,43	0,88	0,30	0,25
X	WE	KW AN n3	1,04	0,84	0,30	0,25
X	WE	KW AN n3-2	1,29	0,84	0,30	0,25
X	WE	KW ANB 1	5,72	0,84	0,30	0,25
X	WE	KW ANB 1-2	5,49	0,84	0,30	0,25
X	WK	IW 035	21,95	0,98	0,30	0,25
X	WK	IW 036	21,95	0,98	0,30	0,25
X	WK	IW 048	11,70	0,98	0,30	0,25
X	FA	F 001-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 002-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 003-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 004-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 006-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 007-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	1,23	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 009-1	1,21	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 010-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 011-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 014-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 016-1	1,84	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 017-1	1,84	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 018-1	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 019-1	1,54	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 020-1	1,54	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 021-1	1,54	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 022-1	1,54	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 023-1	1,54	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 024-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 025-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 026-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 027-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 028-1	1,46	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 029-1	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 030-1	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 031-1	0,57	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 032-1	0,57	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 033-1	0,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 034-1	0,68	1,60	1,3	0,95

	FA	F 035-1	2,75	1,20	1,3	0,95
	FA	F 036-1	2,63	1,20	1,3	0,95
X	FA	F 037-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 038-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 039-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 040-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 041-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 042-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 043-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 044-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 045-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 046-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 047-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 048-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 049-1	3,08	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 050-1	3,08	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 051-1	3,08	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 052-1	3,08	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 053-1	3,08	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 054-1	3,08	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 055-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 056-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 057-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 058-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 059-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 061-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 062-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 063-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 064-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 065-1	3,10	1,60	1,3	0,95
	FA	F 066-1	2,75	1,20	1,3	0,95
	FA	F 067-1	2,75	1,20	1,3	0,95
	FA	F 068-1	5,89	1,20	1,3	0,95
	FA	F 069-1	5,89	1,20	1,3	0,95
X	FA	F 070-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 071-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 072-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 073-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 074-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 075-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 076-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 077-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 078-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 079-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 080-1	2,68	1,60	1,3	0,95
	FA	F 081-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 082-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 083-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 084-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 085-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 086-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 087-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 088-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 089-1	3,09	1,20	1,3	0,95
	FA	F 090-1	3,09	1,20	1,3	0,95

X	FA	F 091-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 092-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 093-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 094-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 095-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 096-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 097-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 098-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 099-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 100-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 101-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 102-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 103-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 104-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 105-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 106-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 107-1	2,68	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 108-1	2,68	1,60	1,3	0,95
	FA	F 109-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 110-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 111-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 112-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 113-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 114-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 115-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 117-1	3,68	1,20	1,3	0,95
	FA	F 124-1	5,89	1,20	1,3	0,95
	FA	F 125-1	5,89	1,20	1,3	0,95
	FA	F 126-1	5,89	1,20	1,3	0,95
	FA	F 127-2	9,39	1,20	1,3	0,95
	FA	F 128-2	9,40	1,20	1,3	0,95
	FA	F 129-1	5,89	1,20	1,3	0,95
	FA	F 130-1	5,00	1,20	1,3	0,95
	FA	F 131-1	5,00	1,20	1,3	0,95
	FA	F 132-1	5,00	1,20	1,3	0,95
	FA	F 133-1	5,00	1,20	1,3	0,95
X	FA	F 134-1	7,85	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 135-1	7,85	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 136-1	7,85	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 137-1	7,85	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 138-1	7,85	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 139-1	7,85	1,60	1,3	0,95
	FA	F 140-1	3,28	1,20	1,3	0,95
	FA	F 141-1	2,70	1,20	1,3	0,95
X	FA	F 142-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 143-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 144-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 145-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 146-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 147-1	7,06	1,60	1,3	0,95
	FA	F 148-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 149-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 150-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 151-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 152-1	4,46	1,20	1,3	0,95

X	FA	F 153-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 154-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 155-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 156-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 157-1	7,06	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 158-1	7,06	1,60	1,3	0,95
	FA	F 159-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 160-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 161-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 162-1	4,46	1,20	1,3	0,95
	FA	F 163-1	6,88	1,20	1,3	0,95
	FA	F 164-1	4,41	1,20	1,3	0,95
X	FA	F 165-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 166-1	2,70	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 167-2	1,71	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 168-2	1,71	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 169-2	1,71	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 170-2	1,55	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 171-2	3,78	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 172-2	1,16	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 173-2	3,78	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 174-2	3,78	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 175-2	1,55	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 176-1	0,93	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 177-1	1,37	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 178-1	1,37	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 179-1	1,37	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 180-1	1,37	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 181-1	1,37	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 182-1	1,37	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 183-1	1,05	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 184-1	0,93	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 185-1	0,93	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 186-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 187-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 188-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 189-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 190-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 191-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 192-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 193-1	1,18	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 194-1	0,66	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 195-1	0,94	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 196-1	0,94	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 197-1	1,97	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 198-1	0,66	1,60	1,3	0,95
	FA	F 200-3	7,66	1,20	1,3	0,95
	FA	F 200-4	2,23	1,20	1,3	0,95
X	FA	F 201-2	0,71	1,60	1,3	0,95
X	FA	F 204-1	3,10	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 001	1,48	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-2	1,48	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-3	1,48	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-4	1,48	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-5	1,20	1,60	1,3	0,95

X	FA	F DG 001-6	1,20	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-10	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-11	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-12	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-13	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-2	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-3	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-4	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-5	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-6	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-7	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-8	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-9	2,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 003	1,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 003-2	1,22	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 004	1,39	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 004-2	1,39	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 004-3	1,39	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 004-4	1,39	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 004-5	1,39	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 004-6	1,39	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 005	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 005-2	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 005-3	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 005-4	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 006	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 006-2	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 006-3	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 006-4	1,13	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 007	1,04	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 007-2	1,04	1,60	1,3	0,95
	BA	Boden EG [5]-10	16,98	0,24	0,24	0,20
	BA	Boden EG [5]-16	20,57	0,24	0,24	0,20
	BA	Boden OG1-17	1,56	0,24	0,24	0,20
X	BE	Boden EG 003-1	56,86	1,60	0,30	0,25
X	BE	Boden EG 006-2	20,35	1,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-1	91,93	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-2	45,20	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-3	189,45	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-4	30,09	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-5	84,55	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-6	78,80	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-7	15,31	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller-8	86,39	2,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller 004-1	66,89	1,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller 004-2	136,80	1,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller 004-3	156,71	1,60	0,30	0,25
X	BE	Dämmen_Boden Keller 004-4	26,21	1,60	0,30	0,25
X	BK	Kellerdeckepavillon-1	72,00	2,10	0,30	0,25

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über einen zentralen Gaskessel.

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kessel von 2002 Nennleistung: 248,00 kW Energieträger: Erdgas E
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 2028,7 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,20 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p variabel
Übergabe	- Übergabe 1 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler' - Übergabe 2 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Verkehrsfläche' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler' - Übergabe 3 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)' mi Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler'

Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Elektro-Durchlauferhitzer von 2005 - Nennleistung 44,69 kW Energieträger: Strom-Mix
Verteilung	- TWW-Kreis 1 dezentral ohne Zirkulation' 2,0 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,20 W/(mK) gedämmt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 %

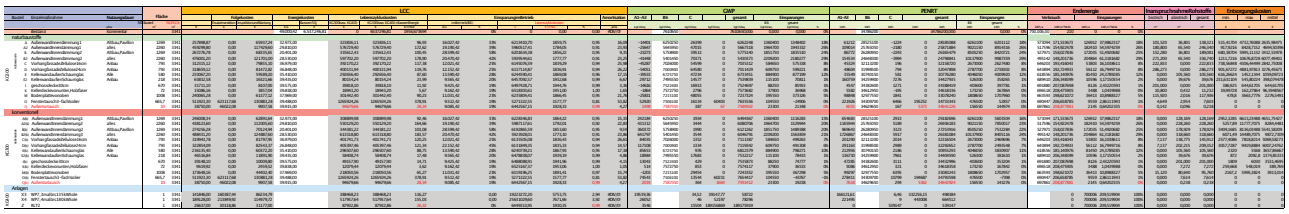
PV-Anlage:

Photovoltaik	PV-Anlage Gesamtfläche: 86,37 m² Modul-Ausrichtung: Süd Peakleistung: 11,66 kW Batterie vorhanden: Nein Systemleistungsfaktor: 0,7000 Technologie: kristallin Stärke der Belüftung: Unbelüftete Module

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Da das Gebäude aus zwei Teilen besteht die aus unterschdiedlichen Bauzeiten stammen, gibt es verschiedene Optionen welche Maßnahmen wo angewendet werden. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

KG300 Außenwände	A	Außenwand Innendämmung 1	Altbau, Pavillon
	A2	Außenwand Innendämmung 1	alles
	B	Außenwand Innendämmung 2	Altbau, Pavillon
	B2	Außenwand Innendämmung 2	alles
	C	Vorhangfassade Zellulose 16 cm	Anbau
	D	Vorhangfassade Zellulose 24cm	Anbau
	E	Kellerwand außen Schaumglas	Alle
	E2	Kellerwand außen Schaumglas	Anbau
	I	geschossdecke 30cm	
	K	Kellerdecke von unten, Holzfaser	
	M	Bodenplatte von oben	
	O	Fenstertausch 3-fach Isolier	
	Q	Außentürtausch	
KG400	X3	WP 7, 3 mal bis 135 kW Sole	
	X4	WP 7, 4 mal bis 180 kW Sole	
	Z	RLT 2	

Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.



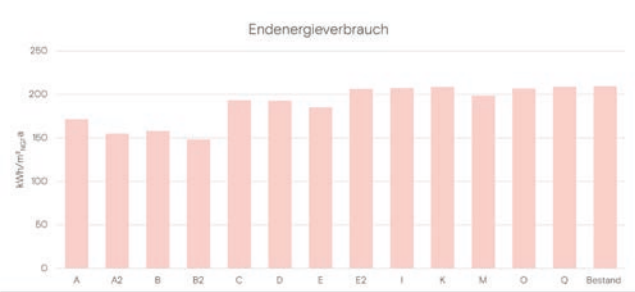
Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung des Altbaus den mit Abstand größten Effekt bringt.
Außerdem weißt das Global Warming Potential Diagramm die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.



Die Diagramme zeigen auch, dass die anderen Maßnahmen einen verhätnismäßig kleinen Effekt haben, dennoch können diese sinnvoll oder auch notwendig sein um zu starke Wärmebrücken und Feuchtigkeitsprobleme zu vermeiden.

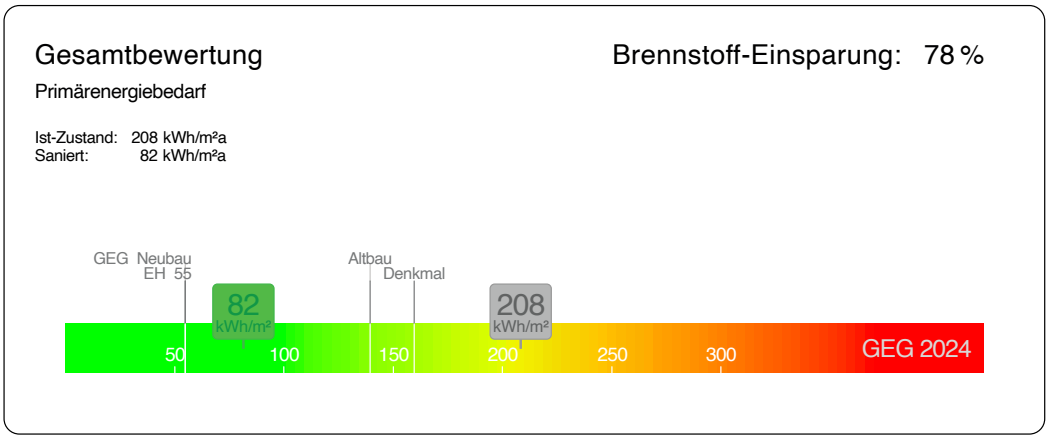


Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.



3.2 Variante 1&3 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren, bei der Banngartenstraße wird dies bereits durch die Dämmung der Außenwände des Altbaus erreicht.



	Variante 1 - ökologiosch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
X4	WP 7, 4 mal bis 180 kW Sole					
						Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung			**456.404,78 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr		**30.270,00 €**	Energiekosten	30270
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	-38%	**€ 18.730,42**		
				-38%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung			**183.315,37 €**		
	Ersatzherstellung			**213.849,92 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)			**4.891.952,07 €**		4038382
	Umweltfolgekosten			**2.445,82 €**		
	CO_2 Preis			**1.007.292,46 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt			**5.901.690,36 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.		**2779,35**		
		CO2eq./m²NGFa		0,02		
	GWP B6	kg CO2eq.		**4237800**	GWP B6	4237800
		CO2eq./m²NGFa		25,37		
	GWP gesamt	kg CO2eq.		**4254040,23**		
		CO2eq./m²NGFa		25,47		
	PENRT A1-A3	kWh		**308267,17**		
		kWh./m²NGFa		1,85		
	PENRT B6	kWh		**13621450**	PENRT B6	13621450
		kWh./m²NGFa		81,54		
	PENRT gesamt	kWh		**13705979,19**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa		**45**		151350
	Amortisationszeit	Jahre		**24,37**		
	Einsparung pro kWh			**0,83 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³		**152,28**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³		**36,80**		
	Entsorgungskosten min.	€		**680,39**		
	Entsorgungskosten max	€		**5995,11**		
	Entsorgungskosten mittel	€		**3412,54**		

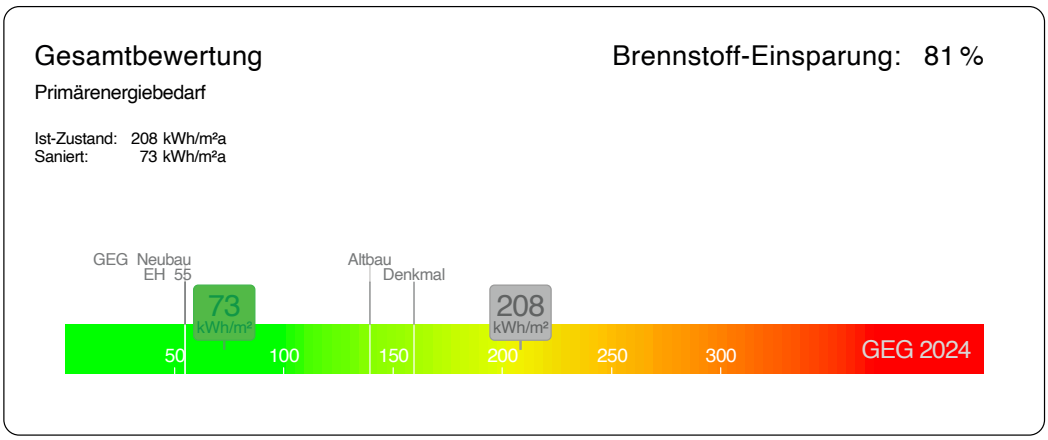
Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	81,6	þ 139,6	99,7	¨ 39,9	¨ 54,8	¨ 69,8	þ 159,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,56	¨ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	1,5	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,7	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik

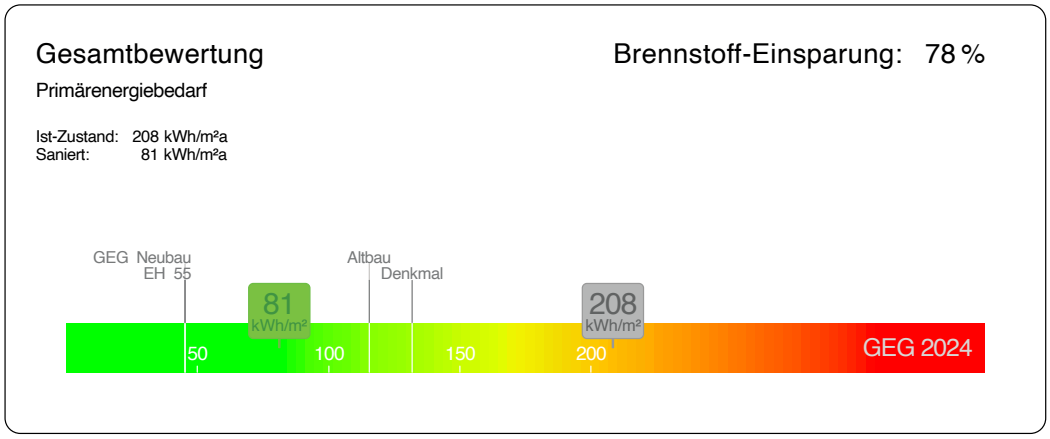
PV-Anlage Nue
Gesamtfläche: 145,00 m²
Modul-Ausrichtung: Süd
Peakleistung: 31,00 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,7500
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Mäßig belüftete Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 36556,70 kWh



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	72,7	þ 139,6	99,7	¨ 39,9	¨ 54,8	¨ 69,8	þ 159,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,56	¨ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	1,5	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,7	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

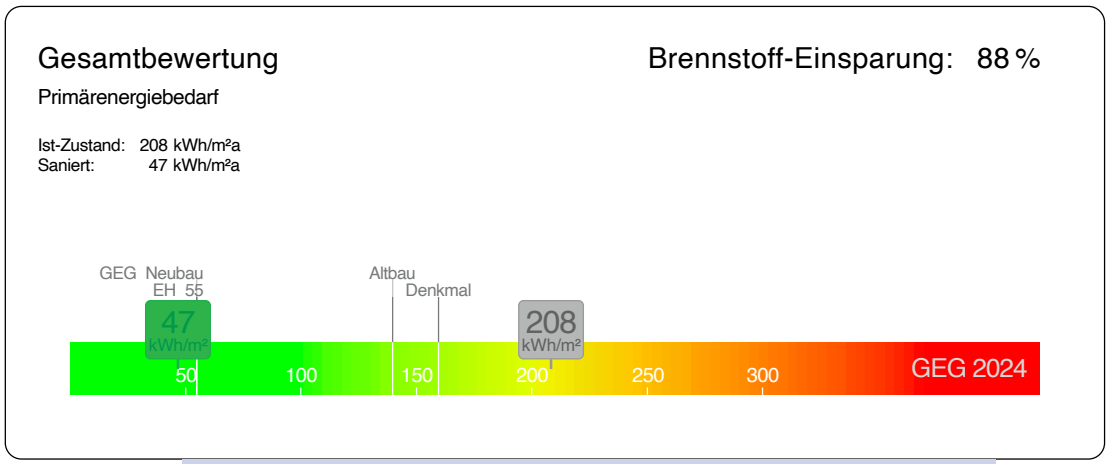
3.2 Variante 1&3 konventionell



	Variante 1 - konventionell					
B (k)	Außenwand Innendämmung 2					
X4	WP 7, 4 mal bis 180 kW Sole					
Z	RLT 2					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition			**490.021,28 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr		**30.118,80 €**	Energiekosten	30118,8
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	-39%	**€ 18.881,62**		
				-39%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung			**216.281,66 €**		
	Ersatzherstellung			**243.968,78 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)			**4.968.482,72 €**		4018211
	Umweltfolgekosten			**343.173,79 €**		
	CO_2 Preis			**1.002.265,27 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt			**6.313.921,78 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.		**389970**		
		CO2eq./m²NGFa		2,33		
	GWP B6	kg CO2eq.		**4216650**	GWP B6	4216650
		CO2eq./m²NGFa		25,24		
	GWP gesamt	kg CO2eq.		**4579012**		
		CO2eq./m²NGFa		27,41		
	PENRT A1-A3	kWh		**1191139**		
		kWh./m²NGFa		7,13		
	PENRT B6	kWh		**13553450**	PENRT B6	13553450
		kWh./m²NGFa		81,13		
	PENRT gesamt	kWh		**14526416**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa		**45**		150594
	Amortisationszeit	Jahre		**26**		
	Einsparung pro kWh			**€ 0,89**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³		**0,00**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³		**178,93**		
	Entsorgungskosten min.	€		**3409,17**		
	Entsorgungskosten max	€		**8136,03**		
	Entsorgungskosten mittel	€		**5543,58**		

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen was bei der Banngartenstraße 16 unter Anwendung vieler Maßnahmen aus dem Baukasten möglich ist.



	Variante 2 ökologisch
B	Außenwand Innendämmung 2
D	Vorhangfassade Zellulose 24cm
E2	Kellerwand außen Schaumglas
I	geschossdecke 30cm
K	Kellerdecke von unten, Holzfaser
M	Bodenplatte von oben
O	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q	Außentürtausch
X3	WP 7,3 mal bis 135 kW Sole

					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition			**1.629.150,32 €**		
Energiekosten	Pro Jahr		**17.405,20 €**	Energiekosten	17405,2
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	-64%	**€ 31.595,22**		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung			**466.496,93 €**		
Ersatzherstellung			**829.527,20 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)			**5.247.237,46 €**		2322063
Umweltfolgekosten			**0,00 €**		
CO_2 Preis			**579.196,73 €**		
Lebenszykluskosten gesamt			**5.826.434,19 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.		**-15964**		
	CO2eq./m²NGFa		-0,10		
GWP B6	kg CO2eq.		**2436750**	GWP B6	2436750
	CO2eq./m²NGFa		14,59		
GWP gesamt	kg CO2eq.		**3228169**		
	CO2eq./m²NGFa		19,32		
PENRT A1-A3	kWh		**799195**		
	kWh./m²NGFa		4,78		
PENRT B6	kWh		**7832350**	PENRT B6	7832350
	kWh./m²NGFa		46,89		
PENRT gesamt	kWh		**8681426**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa		**26**		87026
Amortisationszeit	Jahre		**52**		
Einsparung pro kWh			**€ 2,66**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
nachwachsende Rohstoffe	m³		**771,06**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³		**81,98**		
Entsorgungskosten min.	€		**2699,41**		
Entsorgungskosten max	€		**15893,56**		
Entsorgungskosten mittel	€		**10104,83**		

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	46,9	þ 139,8	99,8	¨ 39,9	þ 54,9	þ 69,9	þ 159,7
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,20	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,2	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik

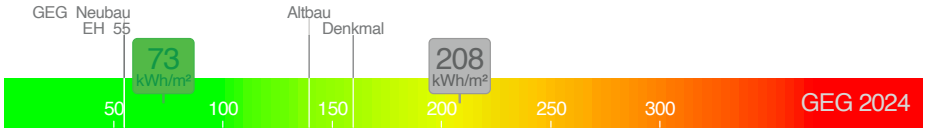
PV-Anlage Nue
Gesamtfläche: 145,00 m²
Modul-Ausrichtung: Süd
Peakleistung: 31,00 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,7500
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Mäßig belüftete Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 36556,70 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 81 %

Primärenergiebedarf

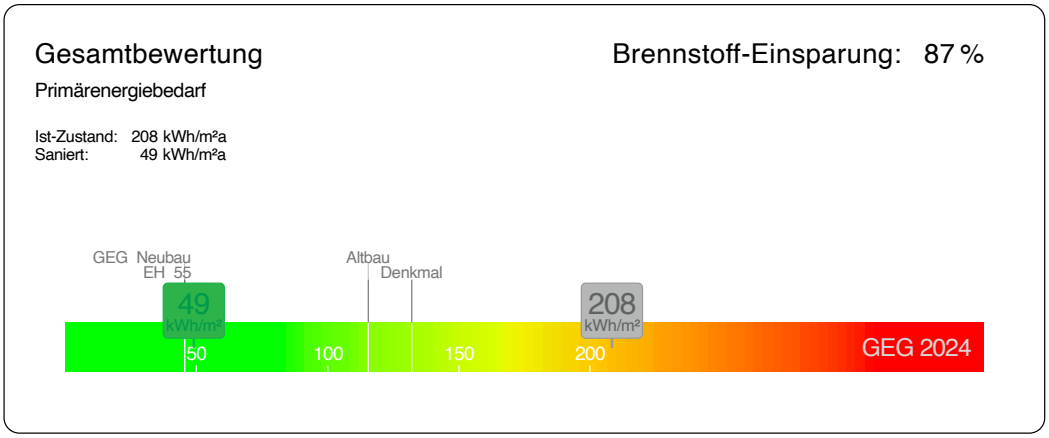
Ist-Zustand: 208 kWh/m²a
Saniert: 73 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	40,5	þ 139,8	99,8	¨ 39,9	þ 54,9	þ 69,9	þ 159,7
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,20	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	

3.3 Variante 2 konventionell



	Variante 2 konventionell
B (k)	Außenwand Innendämmung 2
D (k)	Vorhangfassade Zellulose 24cm
	Kellerwand außen Schaumglas
I (k)	geschossdecke 30cm
K (k)	Kellerdecke von unten, Holzfaser
M (k)	Bodenplatte von oben
O (k)	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q (k)	Außentürtausch
X3	WP 7,3 mal bis 135 kW Sole
Z	RLT 2

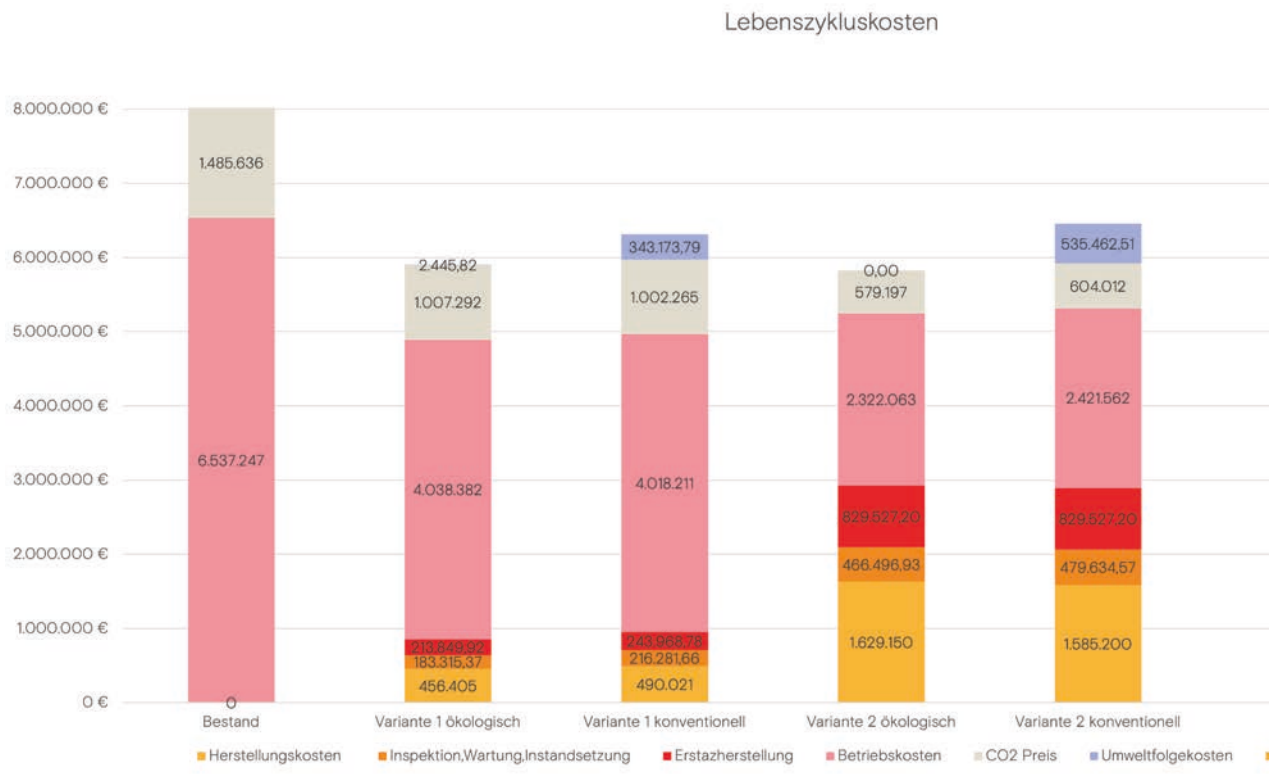
					Werte aus Energieberater und BNBLCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition			**1.585.199,69 €**		
Energiekosten	Pro Jahr		**18.151,00 €**	Energiekosten	18151
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	-63%	**€ 30.849,42**		
			-63%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung			**479.634,57 €**		
Ersatzherstellung			**859.646,06 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)			**5.346.042,33 €**		2421562
Umweltfolgekosten			**535.462,51 €**		
CO_2 Preis			**604.011,81 €**		
Lebenszykluskosten gesamt			**6.485.516,65 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.		**608480**		
	CO2eq./m²NGFa		3,64		
GWP B6	kg CO2eq.		**2541150**	GWP B6	2541150
	CO2eq./m²NGFa		15,21		
GWP gesamt	kg CO2eq.		**3254091**		
	CO2eq./m²NGFa		19,48		
PENRT A1-A3	kWh		**2001355**		
	kWh./m²NGFa		11,98		
PENRT B6	kWh		**8167950**	PENRT B6	8167950
	kWh./m²NGFa		48,90		
PENRT gesamt	kWh		**10238426**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa		**27**		90755
Amortisationszeit	Jahre		**51**		
Einsparung pro kWh			**€ 2,60**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
nachwachsende Rohstoffe	m³		**22,26**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³		**717,58**		
Entsorgungskosten min.	€		**11574,77**		
Entsorgungskosten max	€		**32222,12**		
Entsorgungskosten mittel	€		**20759,94**		

3.2 3 ökologisch

Variante 3 stellt die Empfohlene Variante dar. Bei der Banngartenstraße 16 erweist sich die Variante 1 bei der ausschließlich die Außenwände des Altbaus mit einer Innendämmung gedämmt werden als die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollere, da für die Variante 2 erhebliche Mehrkosten in der Erstherstellung entstehen. Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend den Übersichten auf Seite 18 (ökologisch) und Seite 20 (konventionell) zu entnehmen.

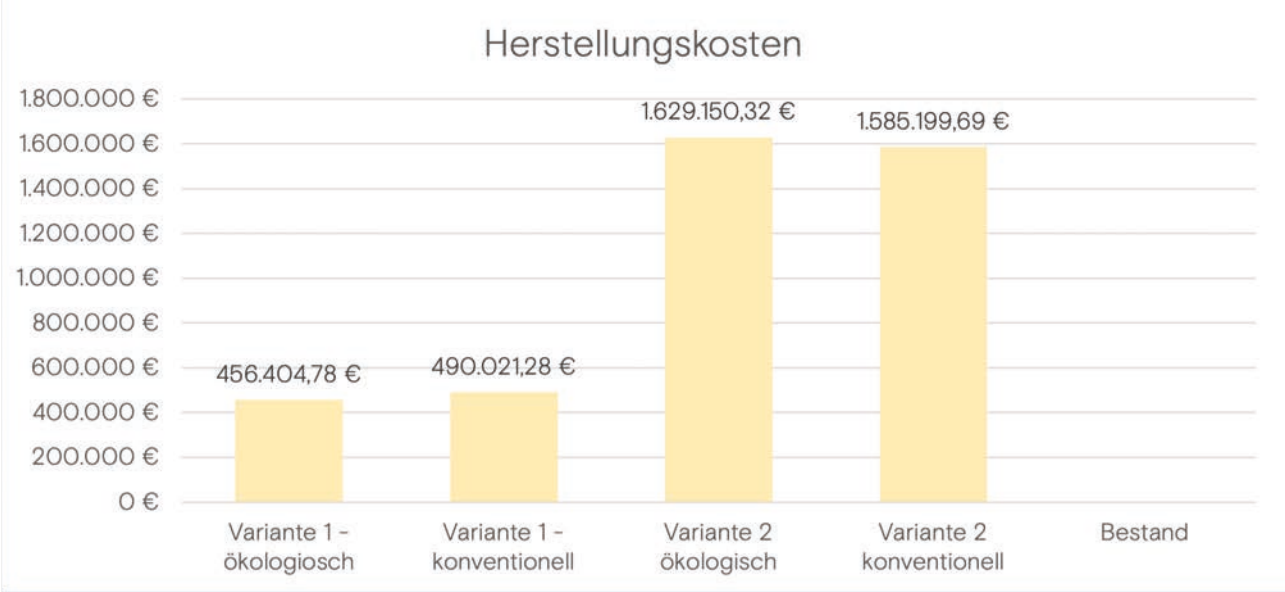
3.5 Variantenvergleich

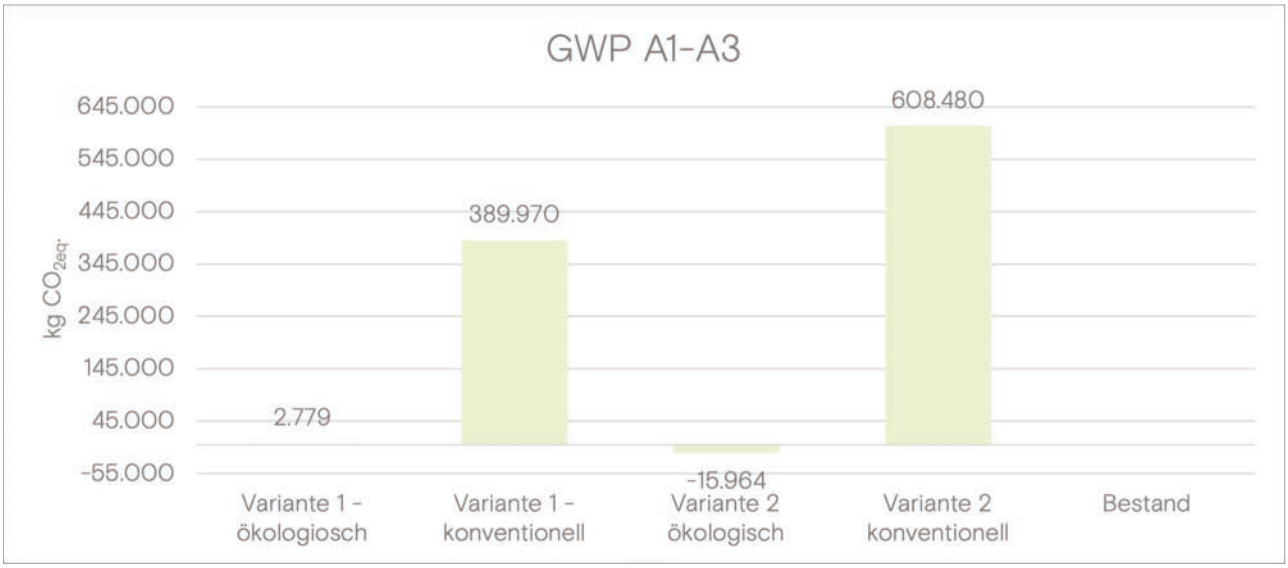
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen (siehe nächste Seiten).
Der Endenergieverbrauch des Bestandsgebäudes liegt mit etwa 210 kWh/m²a deutlich über allen Sanierungsvarianten. Durch die Sanierung kann der Energiebedarf stark reduziert werden. Variante 1 erreicht einen Endenergieverbrauch von 45 kWh/m²a, während Variante 2 mit 26–27 kWh/m²a nochmals deutlich effizienter ist. Damit reduziert Variante 2 den Energieverbrauch um rund 87 % gegenüber dem Bestand und um etwa 40 % gegenüber Variante 1. Es wird deutlich, dass bereits mit den vergleichsweise kostengünstigen Maßnahmen der Variante 1/3 erhebliche Einsparungen beim Energieverbrauch und damit auch bei den Betriebskosten erzielt werden können.
Im Hinblick auf die Treibhausgasemissionen der Herstellung (GWP A1–A3) zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen ökologischen und konventionellen Bauweisen. Während die konventionellen Varianten hohe Emissionen von etwa 390.000 kg CO_2eq (Variante 1) bzw. 608.000 kg CO_2eq (Variante 2) verursachen, liegen die ökologischen Varianten deutlich niedriger. Besonders Variante 2 ökologisch weist mit etwa −15.964 kg CO_2eq sogar eine negative Bilanz auf, was auf die Verwendung biogener bzw. CO_2-speichernder Materialien zurückzuführen ist.

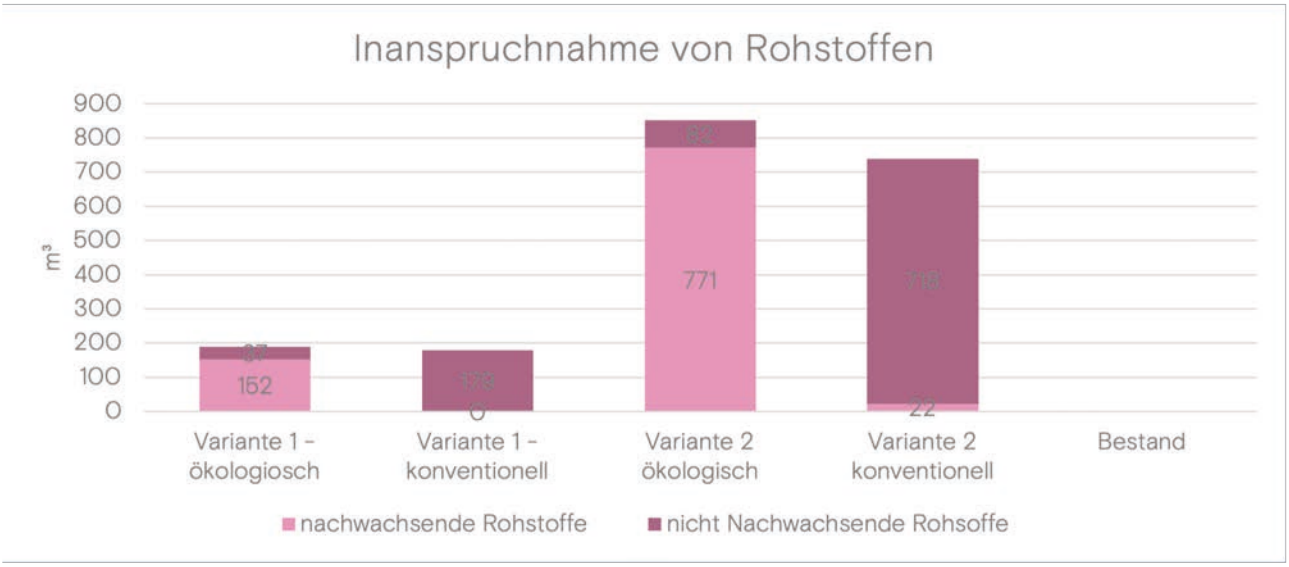


Die Analyse der Lebenszykluskosten zeigt, dass sich die Varianten trotz stark unterschiedlicher Investitionskosten langfristig in einer ähnlichen Gesamtkostenordnung bewegen. Während Variante 1 Herstellungskosten von rund 456.000–490.000 € aufweist, liegen diese bei Variante 2 mit etwa 1,6 Mio. € mehr als dreimal so hoch.
Die höheren Investitionen der Variante 2 werden teilweise durch geringere Betriebskosten ausgeglichen. Dennoch stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit der sehr hohen Anfangsinvestitionen. Variante 1 ermöglicht bereits deutliche Energieeinsparungen und den Einsatz einer Wärmepumpe mit erneuerbarem Strom, wodurch eine vergleichsweise kostengünstige und gleichzeitig klimafreundliche Sanierungsstrategie erreicht werden kann.

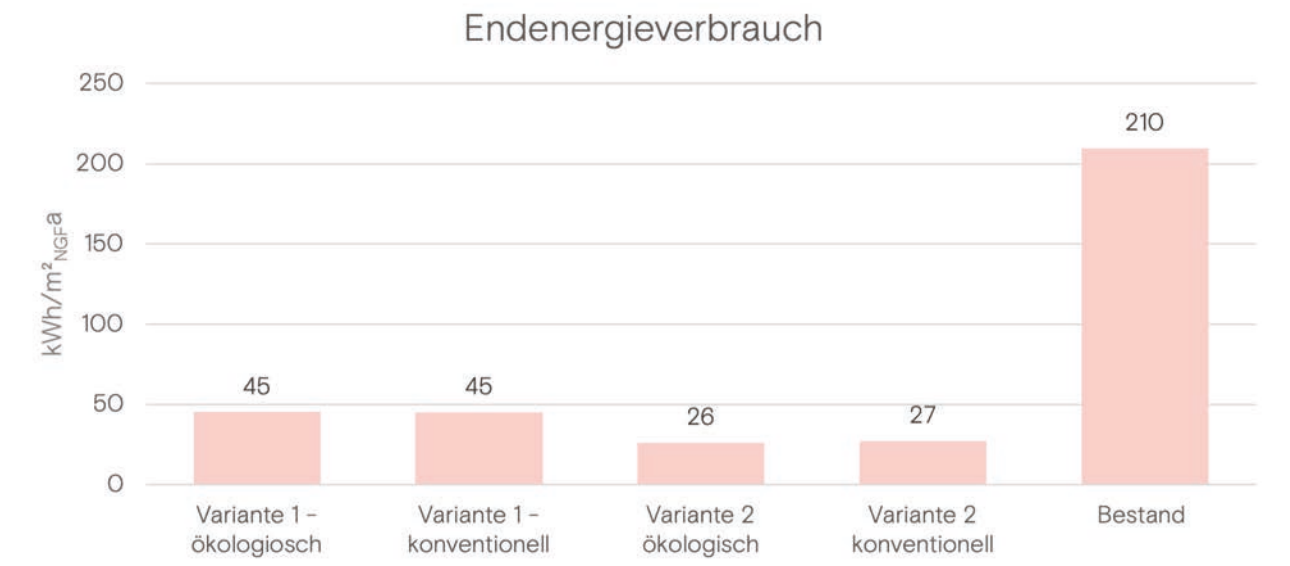
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

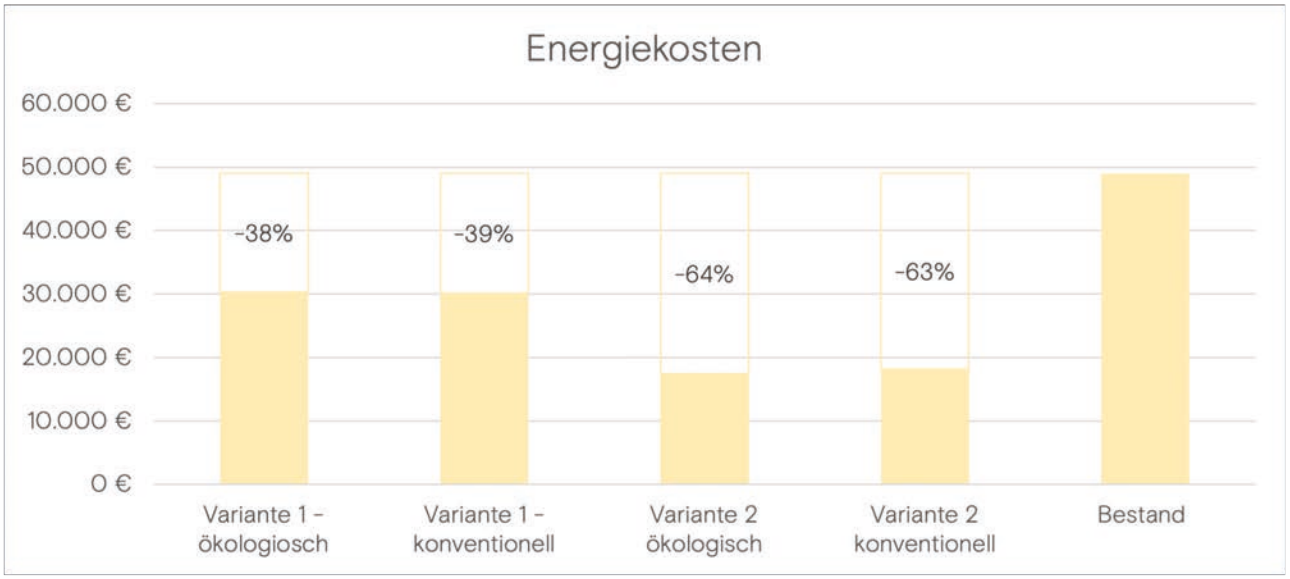


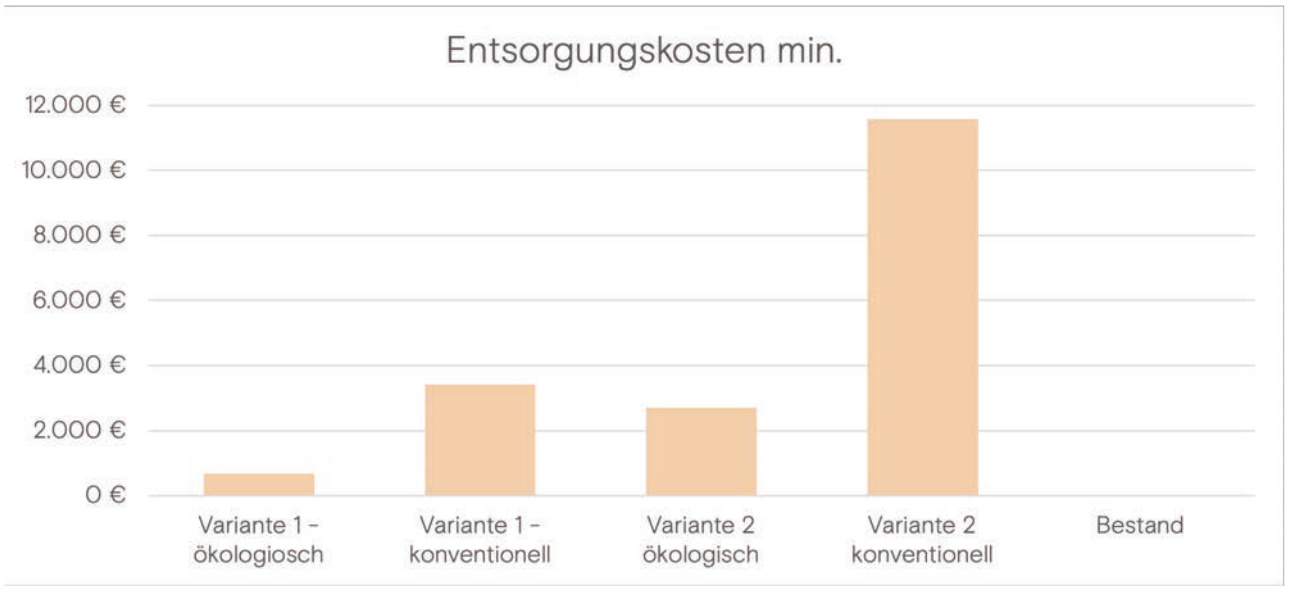




3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Schulgebäude in der Banngartenstraße 16 setzt sich aus zwei Gebäudeteilen unterschiedlicher Bauzeiten zusammen und weist entsprechend sehr unterschiedliche bauliche und energetische Qualitäten auf. Aktuell wird das Gebäude über eine zentrale Heizungsanlage versorgt, die auch die Sporthalle und den Kindergarten am Standort bedient. Der in den Berechnungen angenommene Einsatz einer Wärmepumpe ist daher in Bezug auf die konkrete Situation am Standort als theoretische Annahme zu verstehen. Diese Vereinfachung wurde gewählt, um die Ergebnisse besser vergleichbar zu machen und eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf ähnliche Gebäude in Neckargemünd zu ermöglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits mit vergleichsweise wenigen Maßnahmen erhebliche Verbesserungen des Energieverbrauchs erzielt werden können. In Variante 1 wurde im Wesentlichen eine Innendämmung der Außenwände des Altbaus ergänzt und das bestehende Heizsystem durch eine Wärmepumpe ersetzt. Trotz des relativ geringen baulichen Eingriffs konnte der Energieverbrauch deutlich reduziert werden, sodass eine regenerative Wärmeversorgung möglich wird. Gleichzeitig bleiben die Investitionskosten in einem vergleichsweise moderaten Rahmen.
Um hingegen den Standard der Variante 2 zu erreichen, sind deutlich umfangreichere Maßnahmen erforderlich. Da hierfür bestimmte U-Werte der Bauteile eingehalten werden müssen, sind zusätzliche Eingriffe an mehreren Bauteilen notwendig. Dies führt zwar zu einer weiteren Reduktion des Energieverbrauchs, ist jedoch mit erheblich höheren Investitionskosten verbunden. Im Vergleich zu Variante 1 steigen die Herstellungskosten um ein Mehrfaches, während sich die Lebenszykluskosten insgesamt nur begrenzt unterscheiden Vor diesem Hintergrund erscheint Variante 1 als ein pragmatischer Ansatz, der bereits mit vergleichsweise geringem Aufwand eine deutliche Verbesserung der energetischen Qualität des Gebäudes ermöglicht und gleichzeitig den Einsatz erneuerbarer Energien durch eine Wärmepumpe erlaubt. Variante 2 stellt dagegen eine deutlich ambitioniertere, jedoch auch kostenintensivere Lösung dar, deren Mehrwert im Verhältnis zu den deutlich höheren Investitionen kritisch betrachtet werden muss..

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen (beispielsweise am Dach) bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

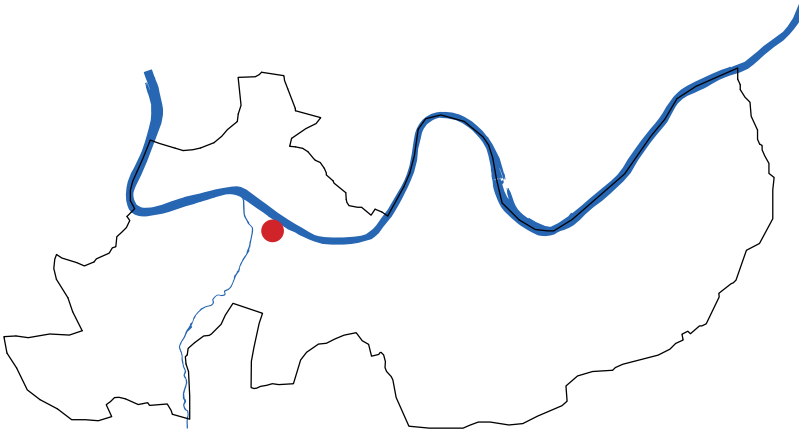
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3a. Energetische Sanierung a
- 3a.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3a.2 Variante 1 S. 10
- 3a.3 Variante 2 S. 13
- 3a.4 Variante 3 S. 16
- 3a.5 Variantenvergleich S. 17

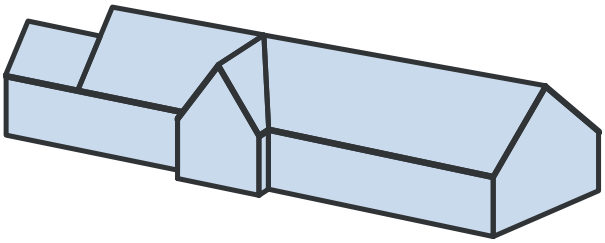
4a. Gebäudefazit und Empfehlung S. 20

3b. Energetische Sanierung b S. 21
- 3b.2 Variante 1 S. 22
- 3b.3 Variante 2 S. 25
- 3b.4 Variante 3 S. 28
- 3b.5 Variantenvergleich S. 29

4b. Gebäudefazit und Empfehlung S. 32



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Betriebsgebäude/Werkstatt
Baujahr:	1892
Denkmalschutz:	Ja
Geschosse:	2
NGF:	869 m²
BGF:	1021 m²
Nutzung:	Werkstatt
Bruttovolumen:	3730 m³
Hüllfläche A:	1795 m²

Der Menzerstall gehört historisch zur Villa Menzer, das denkmalgeschützte Gebäude ist teil des Bauhif Areals und wird asl Werkstatt genutzt. Der Zustand ist schlecht. Das Dachgeschoss wird als unbheizter Lagerraum benutzt. Es gab einen späteren Anbau der das Gebäude verlängert hat und ursprüngliche Dach wurd eim zweiten Weltkrieg zerstört. Das massive Sandsteingebäude ist in einem sehr schelchten Zustand. Das Dach hat Löcher und die Mauer Risse.

Um weiteren Projektverlauf eine Übertragbarkeit auf andere Gebäude der Stadt zu ermöglichen wurde eine 2. Version des Gebäudes angelegt bei der anstelle der Hackschnitzelanlage, die aktuell das ganze Areal bedient, eine Wärmepumpe eingesetzt wurde.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

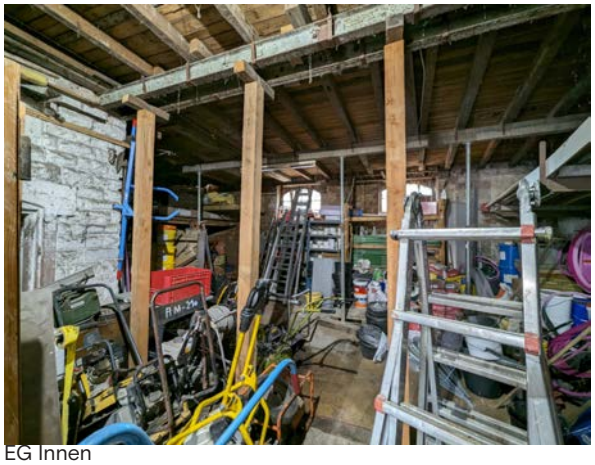
2.1 Ausgewählte Fotos

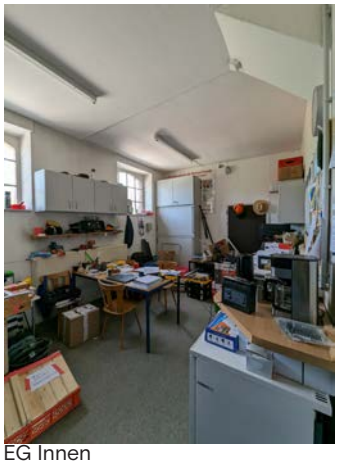

Rückseite


Rückseite 2


Rechts der Anbau


OG Innen

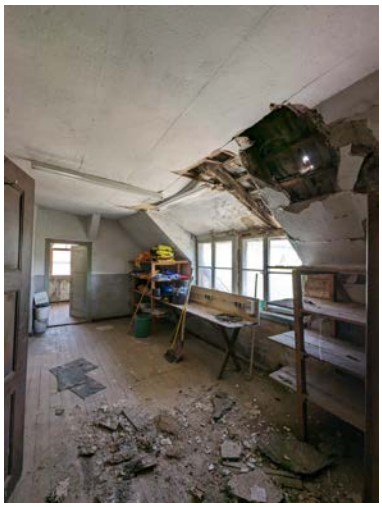

EG Innen


EG Innen


OG Innen

2.2 Bekannte Schäden

Dach, Fenster, Mauerwerk...





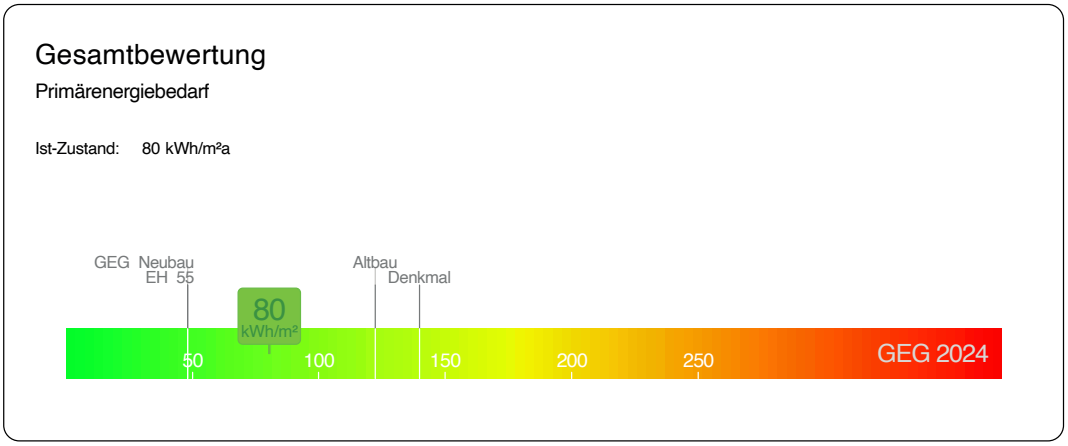


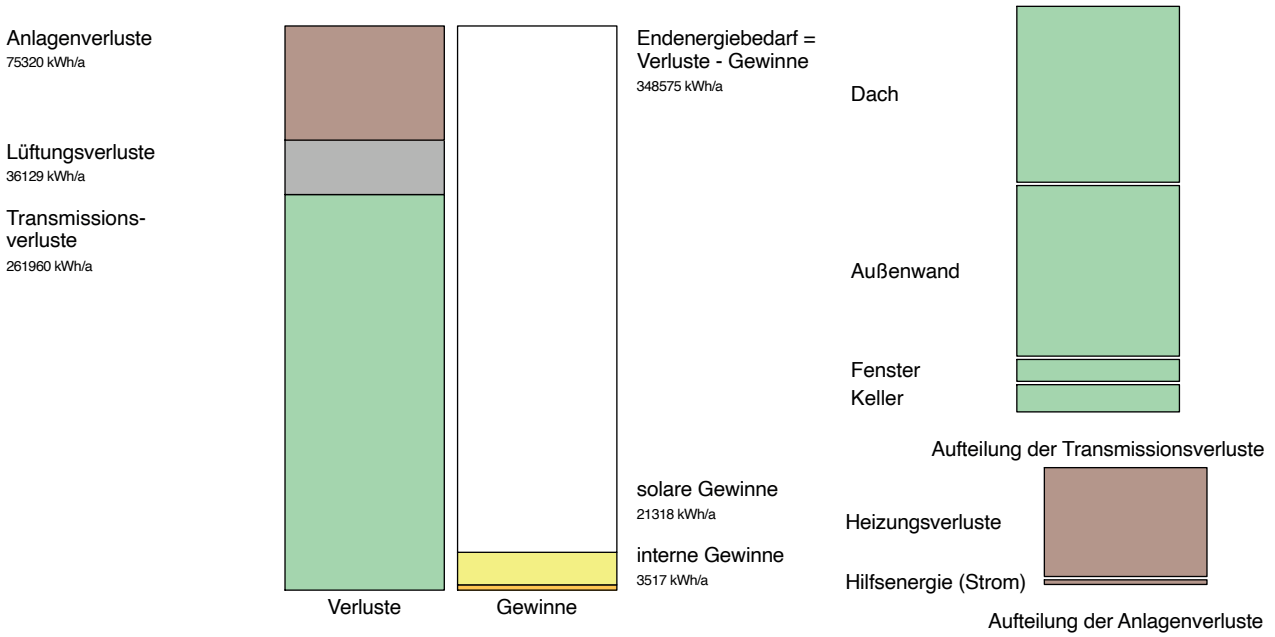


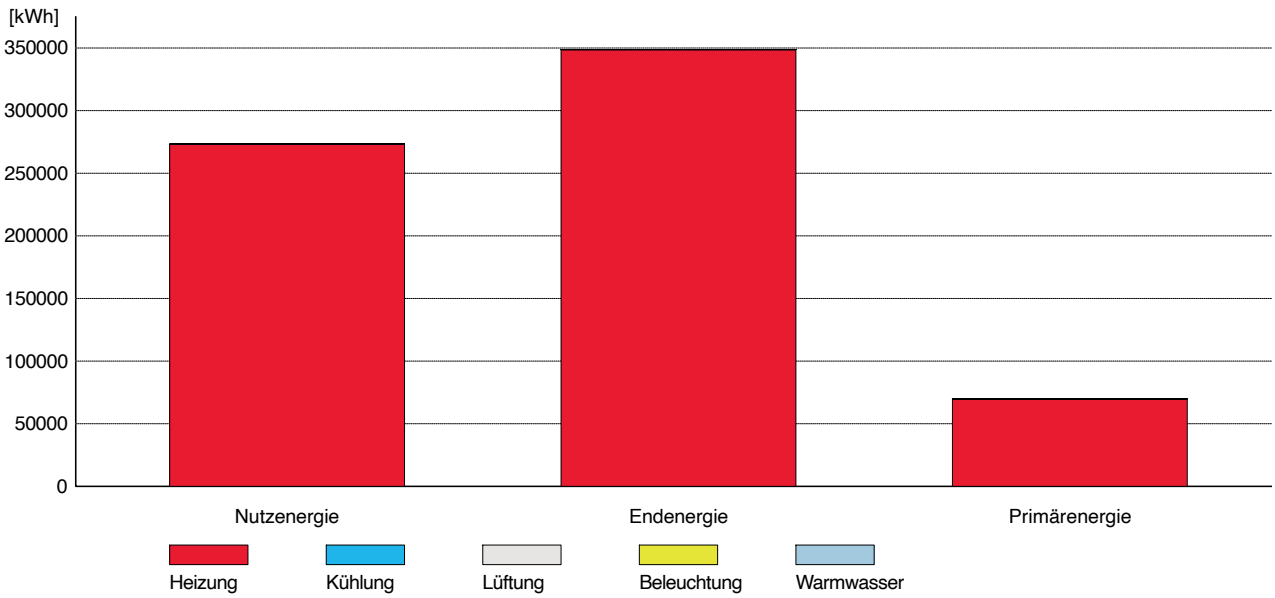


2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem schlechten Zustand, die größten Verluste entstehen durch die Außenwände und das Dach. Der Energieausweis wird aber stark durch die Hackschnitzelanlage beeinflusst, der günstige Kennwert im Energieausweis ist auf den niedrigen Primärenergiefaktor der eingesetzten Biomasse zurückzuführen und spiegelt nicht den tatsächlich hohen energetischen Verbrauch des Gebäudes wider.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
X	DA	Dach 001-2	247,71	2,24	0,24	0,14
X	DA	Dach 002-2	271,75	2,24	0,24	0,14
X	DA	Dach 005-2	23,70	2,24	0,24	0,14
X	DA	Dach 006-2	23,71	2,24	0,24	0,14
X	DA	Dach 007-2	28,24	2,24	0,24	0,14
X	DA	Dach 008-2	28,24	2,24	0,24	0,14
X	DG	Dach DG 001	7,01	2,24	0,20	0,20
X	DG	Dach DG 002	3,73	2,24	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 002-3	3,73	2,24	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 003	6,10	2,24	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 003-3	6,10	2,24	0,24	0,20
	TA	AT 001-1	4,38	1,99	1,8	1,3
	TA	AT 002-1	4,38	1,99	1,8	1,3
	TA	AT 003-1	7,01	1,99	1,8	1,3
	TA	AT 004-1	8,93	1,99	1,8	1,3
	TA	AT 005-1	4,99	1,99	1,8	1,3
	TA	AT 006-1	4,99	1,99	1,8	1,3
X	WA	AW 001	26,60	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 002	36,70	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 003	5,45	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 004	16,80	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 005	5,47	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 006	42,23	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 008	63,92	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 009	32,98	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 010	14,66	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 011	23,45	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 012	19,17	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 013	13,04	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 013-2	9,42	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 014	2,19	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 015	19,94	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 016	2,20	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 017	28,29	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 018	43,80	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 019	29,07	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 020	14,50	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 021	11,94	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW 022	9,08	2,58	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 1	2,64	1,80	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2	1,97	1,80	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3	1,97	1,80	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 1	1,49	0,50	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 2	1,85	0,50	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 3	1,85	0,50	0,24	0,20

X	WA	AW DG 003 - 1	3,21	0,50	0,24	0,20
X	WA	AW DG 003 - 2	5,01	0,50	0,24	0,20
X	WA	AW DG 003 - 3	5,01	0,50	0,24	0,20
X	WA	IW 005	6,28	2,58	0,24	0,20
X	WK	Boden DG-3	82,18	1,00	0,30	0,25
X	WK	Boden DG 003-4	0,01	1,16	0,30	0,25
X	WK	IW 001	17,25	1,70	0,30	0,25
X	WK	IW 002	12,35	1,70	0,30	0,25
X	WK	IW 003	27,19	1,70	0,30	0,25
X	FA	F 001-1	4,25	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 002-1	1,20	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 003-1	0,48	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 004-1	0,48	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	1,87	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 006-1	1,87	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 007-1	2,24	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	1,25	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 009-1	1,20	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 010-1	1,20	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 011-1	1,20	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	1,16	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	1,36	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 014-1	0,92	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	0,92	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 016-1	0,92	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 023-1	0,90	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 024-2	2,04	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 025-1	4,19	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 001	1,53	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-2	0,13	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-3	1,53	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-4	0,13	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 002	1,43	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 003	2,05	5,00	1,3	0,95
X	BE	Boden EG-1	298,56	2,60	0,30	0,25
X	BE	Boden EG-2	133,79	2,60	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der GEG vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(mK)) einzubauen. Soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,045 W/(mK) einzuhalten. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert von 1,30 W/m²K.

**) Die Anforderungen an U-Werte sind bei der Sanierung der jeweiligen Bauteile für eine Förderungen als Einzelmaßnahme einzuhalten (siehe Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen)

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über eine Hackschnitzelanlage aus 2025, die den gesamten Bauhof versorgt.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Biomasse-Heizkessel von 2025 Nennleistung: 200,00 kW Energieträger: Holzhackschnitzel
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 5' hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 368,5 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe ungeregelt
Übergabe	- Übergabe 1 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Nebenfläche' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 2 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Lager' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

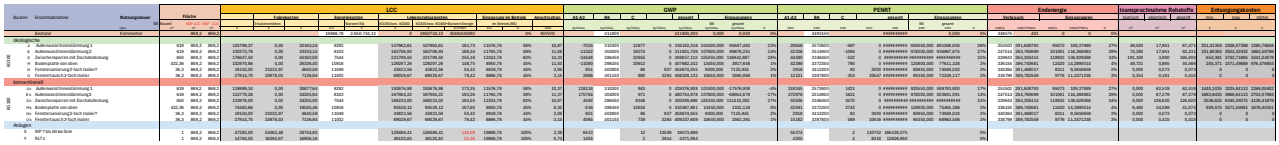
Warmwasser:

Keine Warmwasserbereitung vorhanden

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

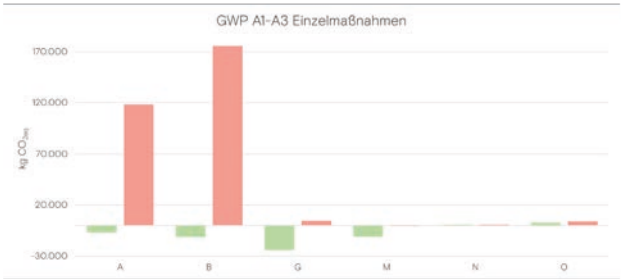
Untersucht wurden aufgrund des Denkmalschutzes nur Maßnahmen die das äußere Erscheinungbild nicht verändern. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

KG300	A	Außenwand Innendämmung 1
	B	Außenwand Innendämmung 2
	G	Zwischensparren mit Dachabdeckung
	M	Bodenplatte von oben
	N	Fenstersanierung 2-fach Isolier?
	O	Fenstertausch 3-fach Isolier
Anlagen		
	X	WP 7 bis 50 kw Sole
	Y	RLT 1

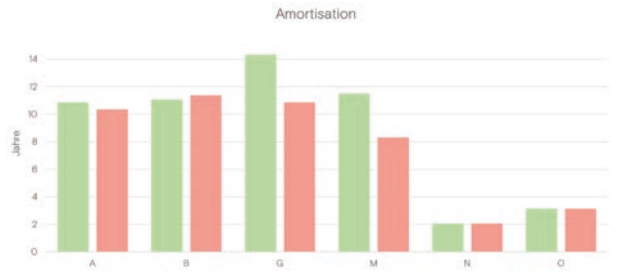
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

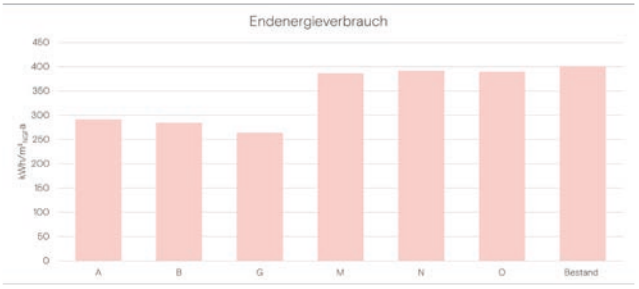


Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung und die Dämmung des Daches die größte nEndenergieeinsparungen bringen.
Das Global Warming Potential Diagramm weist die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.



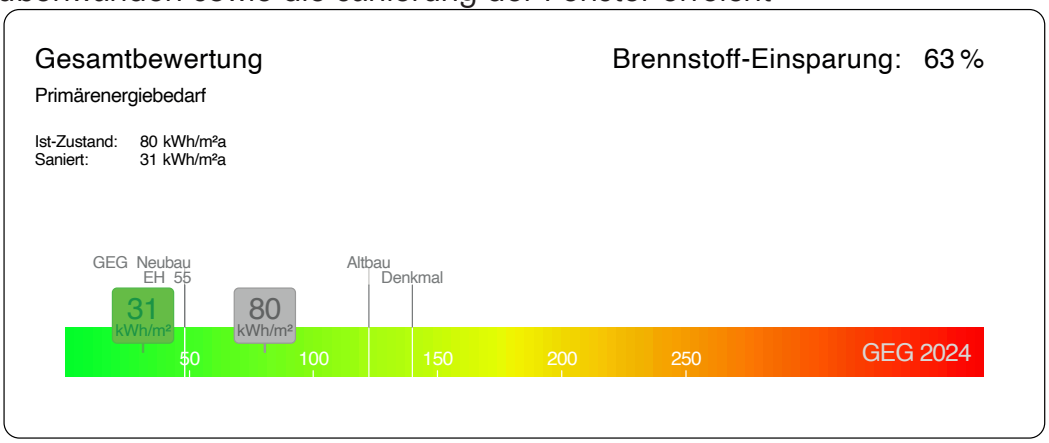
Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.





3.2 Variante 1 & 3 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren. Bei diesem Gebäude wird dies durch die Dämmung vonn Dach und Außenwänden sowie die sanierung der Fenster erreicht



	Variante 1 & 3 - ökologiosch					
A	Außenwand Innendämmung 1					
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
N	Fenstersanierung 2-fach Isolier?					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung			320.586,87 €	Kosten WP	
	Energiekosten	Pro Jahr		7.298,57 €	Energiekosten	7298,57
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	€	13.040,43		
				-64%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung			81.965,83 €		
	Ersatzherstellung			21.032,97 €		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)			1.397.301,67 €		973716
	Umweltfolgekosten			0,00 €		
	CO_2 Preis			42.511,27 €		
	Lebenszykluskosten gesamt			1.439.812,94 €		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	-	30.622		
		CO2eq./m²NGFa		-0,70		
	GWP B6	kg CO2eq.		178.850	GWP B6	178850
		CO2eq./m²NGFa		4,12		
	GWP gesamt	kg CO2eq.		194.984		
		CO2eq./m²NGFa		4,49		
	PENRT A1-A3	kWh		77.156		
		kWh./m²NGFa		1,78		
	PENRT B6	kWh		1.365.450	PENRT B6	1365450
		kWh./m²NGFa		31,42		
	PENRT gesamt	kWh		1.444.570		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa		147		128045
	Amortisationszeit	Jahre		25		
	Einsparung pro kWh			1,45 €		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³		240,62		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³		21,92		
	Entsorgungskosten min.	€		905,79		
	Entsorgungskosten max	€		6051,29		
	Entsorgungskosten mittel	€		3726,84		

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	31,4	þ 122,3	87,4	þ 34,9	þ 48,0	þ 61,2	þ 139,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,53	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	1,8	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,0	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 4009,97 kWh

Photovoltaik

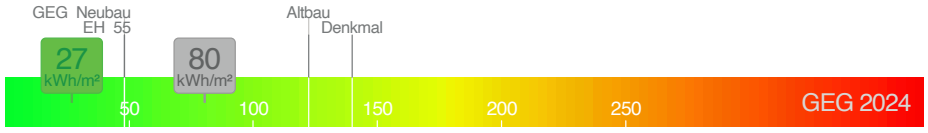
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 19,53 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 4,15 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 4009,97 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 64 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 80 kWh/m²a
Saniert: 27 kWh/m²a

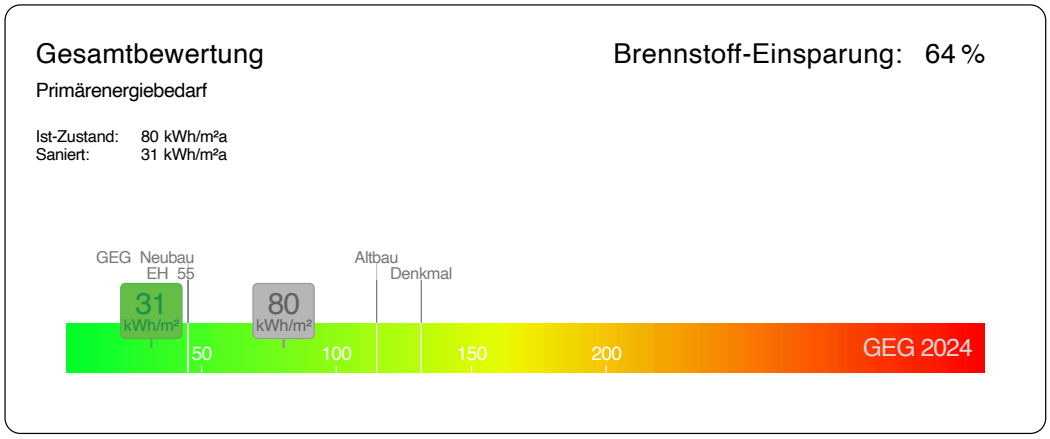


Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	26,8	þ 122,3	87,4	þ 34,9	þ 48,0	þ 61,2	þ 139,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,53	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	1,8	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,0	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

EE-Klasse

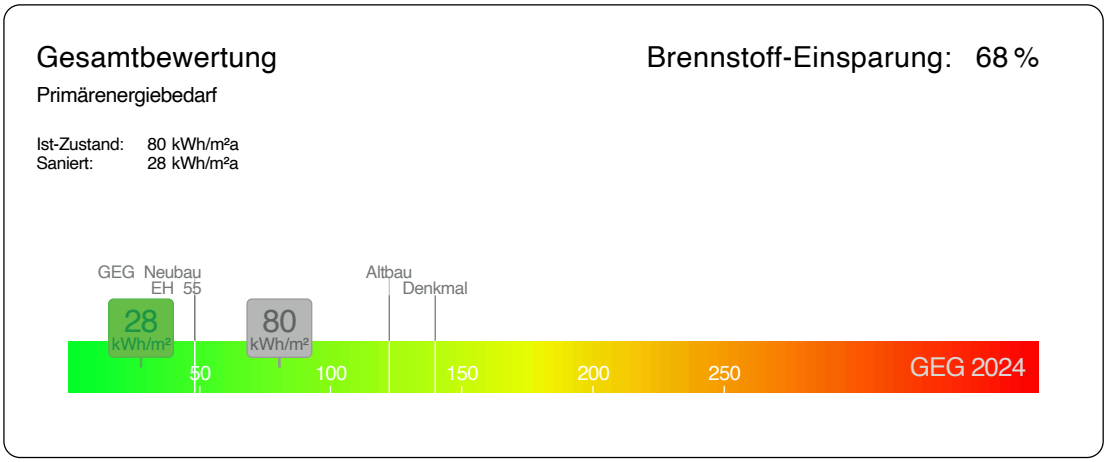
3.2 Variante 1&3 konventionell



	Variante 1 & 3 - konventionell					
A k	Außenwand Innendämmung 1					
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
N k	Fenstersanierung 2-fach Isolier?					
Y	RLT 1					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**286.911,34 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**7.160,11 €**	Energiekosten		7160,11
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 13.178,89**			
			-65%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**86.529,39 €**			
	Ersatzherstellung		**37.413,64 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.366.099,37 €**			955245
	Umweltfolgekosten		**110.028,00 €**			
	CO_2 Preis		**43.996,85 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.520.124,21 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**125032**			
		CO2eq./m²NGFa	2,88			
	GWP B6	kg CO2eq.	**185100**	GWP B6		185100
		CO2eq./m²NGFa	4,26			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**319991**			
		CO2eq./m²NGFa	7,36			
	PENRT A1-A3	kWh	**376973**			
		kWh./m²NGFa	8,67			
	PENRT B6	kWh	**1368250**	PENRT B6		1368250
		kWh./m²NGFa	31,48			
	PENRT gesamt	kWh	**1749093**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**145**			125616
	Amortisationszeit	Jahre	**22**			
	Einsparung pro kWh		**1,29 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³				
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³				
	Entsorgungskosten min.	€				
	Entsorgungskosten max	€				
	Entsorgungskosten mittel	€				

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen oder denkmalkonform und innerhalb des Baukastens so nahe wie möglich an dieses Ziel heran zu kommen. Bei diesem Gebäude gelingt dies durch Maßnahmen an der kompletten Gebäudehülle.



	Variante 2 ökologisch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
M	Bodenplatte von oben					
O	Fenstertausch 3-fach Isolier					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**437.896,84 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**6.349,00 €**	Energiekosten		6349
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 13.990,00**			
			-69%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**111.958,49 €**			
	Ersatzherstellung		**33.978,03 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.430.881,36 €**			847048
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2 Preis		**38.042,65 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.468.924,01 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-43994**			
		CO2eq./m²NGFa	-1,01			
	GWP B6	kg CO2eq.	**160050**	GWP B6		160050
		CO2eq./m²NGFa	3,68			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**192970**			
		CO2eq./m²NGFa	4,44			
	PENRT A1-A3	kWh	**141206**			
		kWh/m²NGFa	3,25			
	PENRT B6	kWh	**1201150**	PENRT B6		1201150
		kWh/m²NGFa	27,64			
	PENRT gesamt	kWh	**1352529**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**128**			111388
	Amortisationszeit	Jahre	**31**			
	Einsparung pro kWh		**1,85 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**315,35**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**22,88**			
	Entsorgungskosten min.	€	**1191,64**			
	Entsorgungskosten max	€	**8238,55**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**5082,11**			

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	27,6	þ 122,3	87,4	þ 34,9	þ 48,0	þ 61,2	þ 139,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,22	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,0	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 3785,33 kWh

Photovoltaik

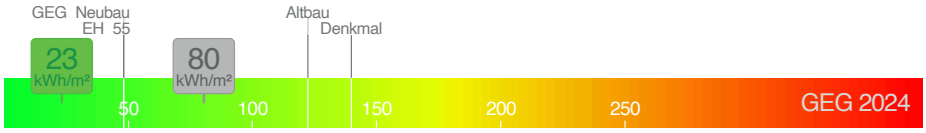
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 19,53 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 4,15 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 3785,33 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 69 %

Primärenergiebedarf

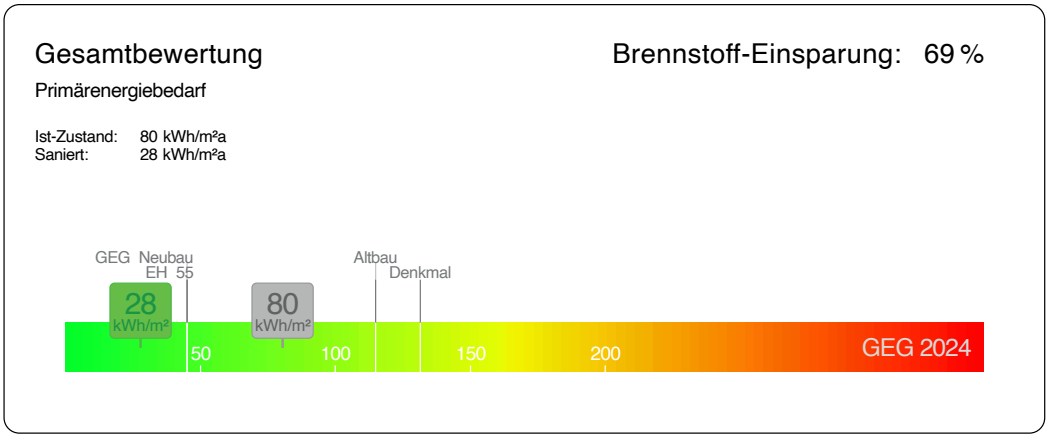
Ist-Zustand: 80 kWh/m²a
Saniert: 23 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	23,3	þ 122,3	87,4	þ 34,9	þ 48,0	þ 61,2	þ 139,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,22	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,0	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

3.3 Variante 2 konventionell



	Variante 2 konventionell					
B k	Außenwand Innendämmung 2					
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
M k	Bodenplatte von oben					
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier					
Y	RLT 1					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**384.937,64 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**6.228,85 €**	Energiekosten		6228,85
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 14.110,15**			
			-69%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**111.599,50 €**			
	Ersatzherstellung		**50.358,70 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.377.898,83 €**			831003
	Umweltfolgekosten		**163.134,48 €**			
	CO_2 Preis		**39.599,54 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.580.632,86 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**185380**			
		CO2eq./m²NGFa	4,27			
	GWP B6	kg CO2eq.	**166600**	GWP B6		166600
		CO2eq./m²NGFa	3,83			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**377500**			
		CO2eq./m²NGFa	8,69			
	PENRT A1-A3	kWh	**585462**			
		kWh./m²NGFa	13,47			
	PENRT B6	kWh	**1206900**	PENRT B6		1206900
		kWh./m²NGFa	2,84			
	PENRT gesamt	kWh	**1807296**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**126**			109278
	Amortisationszeit	Jahre	**27**			
	Einsparung pro kWh		**1,61 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**6,49**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**248,90**			
	Entsorgungskosten min.	€	**5129,14**			
	Entsorgungskosten max	€	**12735,63**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**8520,90**			

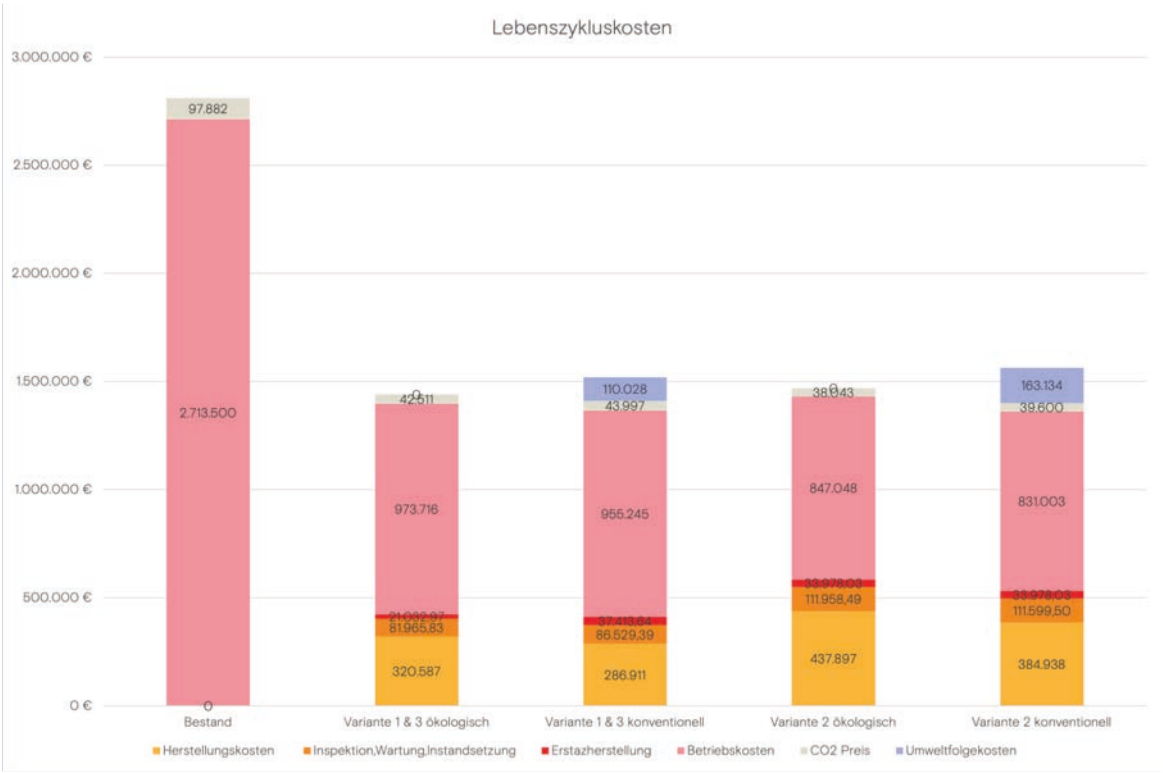
3.3 Variante 3

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar. Bei diesem Gebäude erweist sich die Variante 1 bei der Dach und Außenwände mit einer denlmalkoformen Innenndämmung gedämmt werde ud die Fenster saniert werden, als die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollere, da für die Variante 2 erhebliche Mehrkosten in der Erstherstellung entstehen.

Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend den Übersichten auf Seite 10 (ökologisch) und Seite 13 (konventionell) zu entnehmen.

3.5 Variantenvergleich

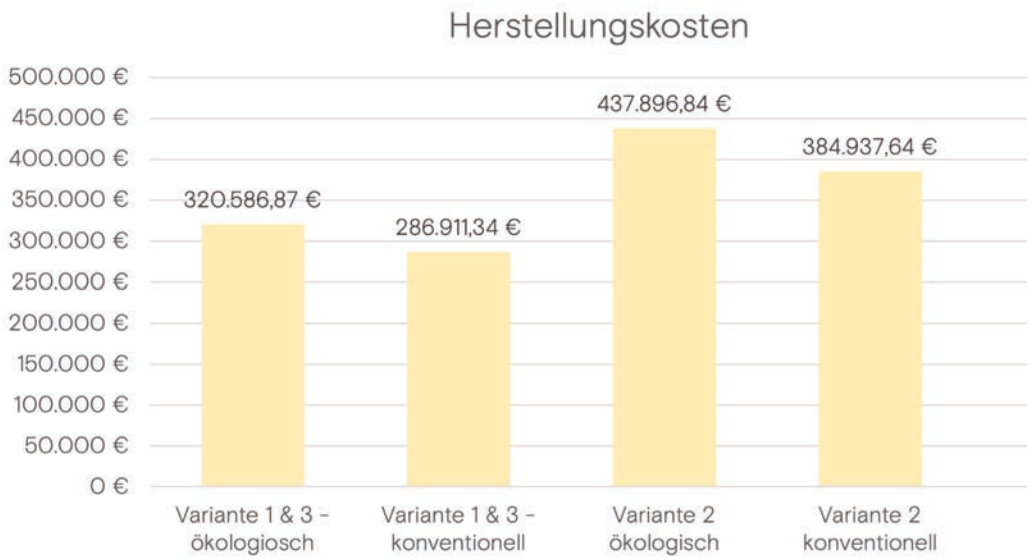
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen. Die Herstellungskosten der Variante 1/3 liegen rund 27 % unter denen der Variante 2 da um den höheren Standard zu erreichen ausführlichere Maßnahmen notwenig sid. Zwischen den ökologischen und konventionellen Ausführungen bestehen ebenfalls Unterschiede in den Kosten. Gleichzeitig zeigen sich bei den Emissionen der Herstellung klare Vorteile für die ökologischen Versionen, die deutlich geringere bzw. teilweise sogar negative Werte aufweisen, da durch den Einsatz biogener Baustoffe Kohlenstoff in den Materialien gespeichert wird. Beide Varianten reduzieren den Endennergieverbrauch deutlich gegenüber dem Bestand, wobei Variante 2 ochmals etwa 10–15 % weniger Energie benötigt als Variante 1/3. Entsprechend fallen auch die Energiekosten bei Variante 2 etwas geringer aus, insgesamt liegen die Einsparungen aber bei beiden Varianten in einer ähnlichen Größenordnung.

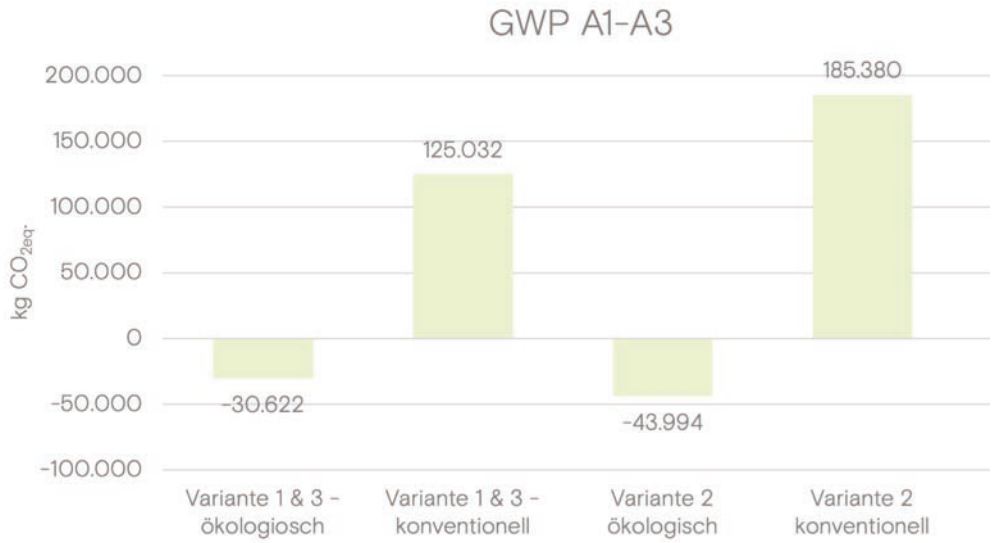


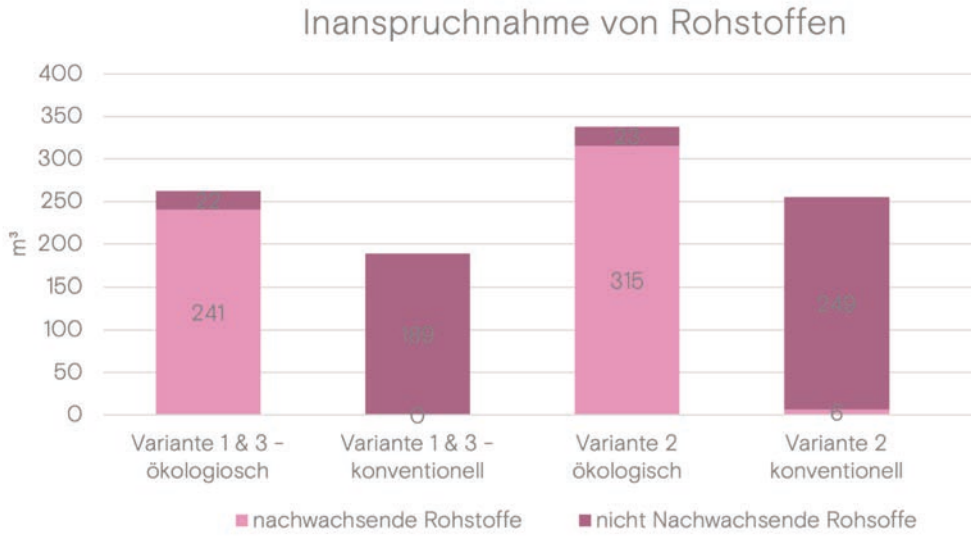
Der Vergleich der Lebenszykluskosten zeigt, dass die ökologische und konventionelle Bauweise sich von den Kosten her zunächst kaum unterscheiden, werden allerdings auch Umweltfolgekosten und ein CO_2 Preis mit einbezogen, zeigt sich, dass die ökologische Variante etwas günstiger ist.

Die Lebenszykluskosten unterscheiden sich zwischen den Varianten nur in wenig. Variante 1/3 ist insgesamt etwas günstiger als Variante 2, da die zusätzlichen Einsparungen im Betrieb die höheren Anfangsinvestitionen von Variante 2 nicht vollständig kompensieren.

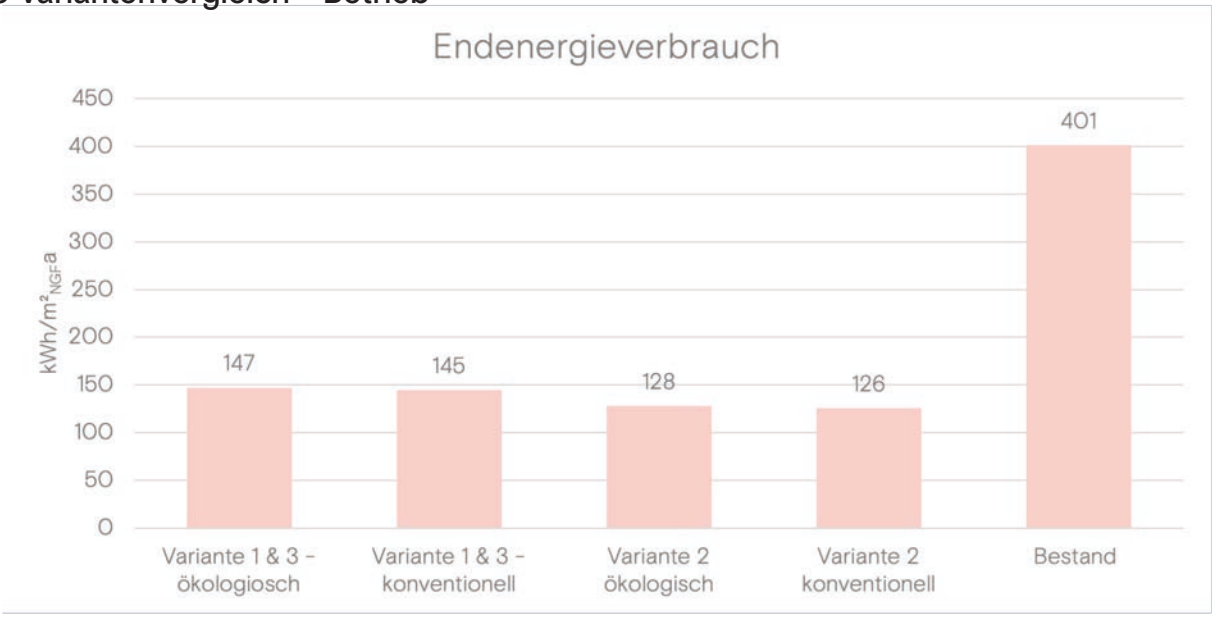
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

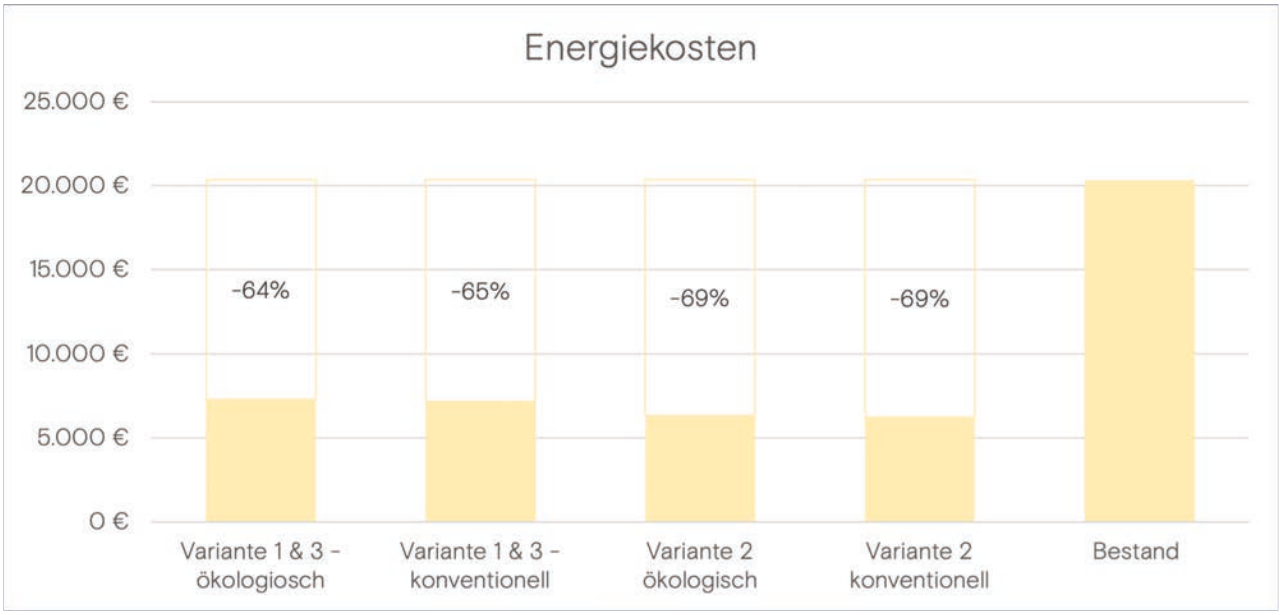


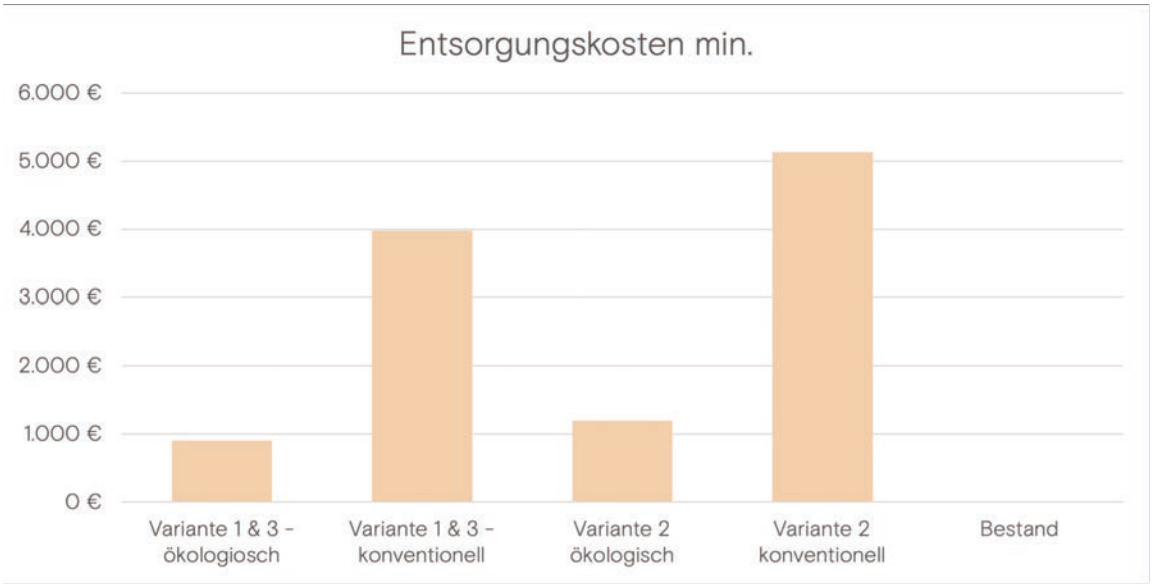




3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Der Menzerstall befindet sich in einem energetisch sehr schlechten Zustand, insbesondere die Außenwände und das Dach weisen erhebliche Magel auf und müssen sowieso erneuert werden. Gleichzeitig steht das Gebäude unter Denkmalschutz, deswegen kommen ur Maßnahmen in Frage, die das äußere Erscheinungsbild nicht wesentlich verändern. Das schränkt die Möglichkeiten einer umfassenden energetischen Optimierung zusätzlich ein.
Aktuell wird das Gebäude über eine neue Hackschnitzelanlage versorgt, was sich positiv auf die Primärenergiebilanz auswirkt. Dadurch erscheint die energetische Bewertung des Gebäudes auf den ersten Blick besser. Tatsächlich bleibt der Endenergieverbrauch aufgrund der großen Wärmeverluste über die Gebäudehülle weiterhin sehr hoch. Die gute Bewertung ergibt sich also vor allem aus dem eingesetzten Energieträger und nicht aus der energetischen Qualität des Gebäudes selbst.
Bereits im Rahmen der Maßnahmen der Variante 1/3 werden die wesentlichen Bauteile der Gebäudehülle ertüchtigt, wodurch die Wärnmeverluste deutlich reduziert und gleichzeitig die Voraussetzungen für einen niedertemperaturbetrieb geschaffen werden. Weitergehende Maßnahmen der Variante 2 wie die Dämmung der Bodenplatte sowie der vollständige Austausch der Fenster,führen zwar zu einer zusätzlichen Reduktion des Energieverbrauchs, erfordern jedoch deutlich höhere Investitionskosten.
In der Lebenszyklusbetrachtung zeigt sich, dass sich diese zusätzlichen Maßnahmen wirtschaftlich nicht auszahlen. Die höheren Anfangsinvestitionen werden durch die zusätzlichen Einsparungen im Betrieb nicht ausreichend kompensiert, so dass Variante 1 insgesamt die günstigere Lösung darstellt.
Es erscheint also eine Sanierungsstrategie sinnvoll die sich auf die wesentlichen Maßnahmen zur reduktion der Wärmeverluste konzentriert und gleichzeitig den Niedertemperaturbetrieb ermöglicht. Insbesondere bei einem als Werkstatt genutzten Gebäude, bei dem keine hohen Raumtemperaturen erforderlich sind, kann so mit vergleichsweise moderatem Aufwand eine deutliche energetische Verbesserung erreicht werden.
Daher wird Variante 1 (bzw. Variante 3) als bevorzugte Sanierungsstrategie empfohlen. Sie stellt einen Kompromiss zwischen Investitionskosten, Energeieinsparung und Umsetzbarkeit dar und ermöglicht eine wirtschaftliche Weiterentwicklung des Gebäudes unter Berücksichtigung der denkmalpflegerischen Anforderungen.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.

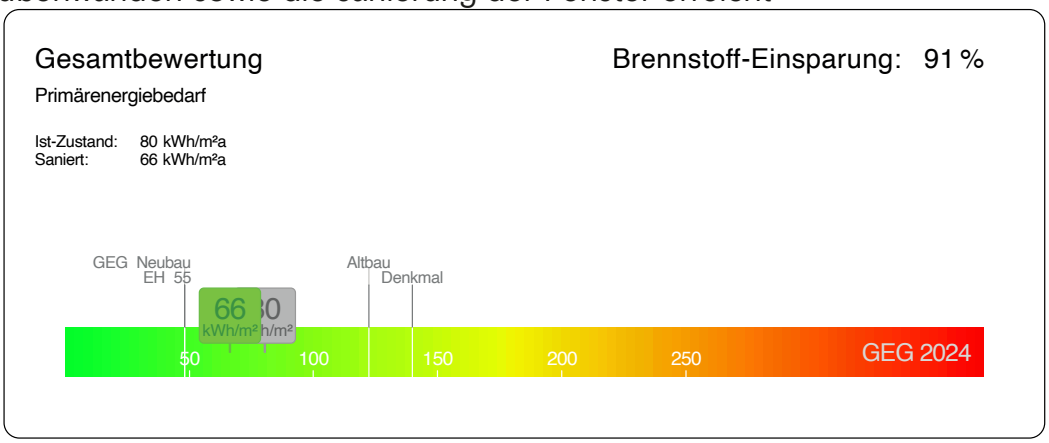
3b. Energetische Sanierung mit Wärmepumpe

Um eine Übertragbarkeit auf andere Gebäude in Neckargemüd zu ermöglichen die nnicht mit einer Hackschnitzelanlage betrieben werden (die gibts nur auf dem Bauhof) wurde einne 2. Version nangelegt in der eine Wärmepumpe zum Einsatz kommt. Die Daten dieser Version wurden im weiteren Projektverlauf genutzt.

Die Varianten unterscheiden sich von den Maßnahme an der Gebäudehülle nicht von den bisher dargestellten, da es sich um das gleiche Gebäude handelt, dementsprechend ergebe ndie gleichen Maßnahmen Sinn und es sind auch die gleichen Maßnahmen notwendig um die Ziele (Varianten) zu erreichen.

3b.2 Variante 1 & 3 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren. Bei diesem Gebäude wird dies durch die Dämmung vonn Dach und Außenwänden sowie die sanierung der Fenster erreicht



	Variante 1 & 3 - ökologiosch				
A	Außenwand Innendämmung 1				
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung				
N	Fenstersanierung 2-fach Isolier?				
X	WP 7 bis 50 kw Sole				
					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		367.868,87 €		
	Energiekosten	Pro Jahr	6.397,20 €	Energiekosten	6397,2
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	€ 13.941,80		
			-69%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		110.710,76 €		
	Ersatzherstellung		74.495,45 €		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		1.406.538,08 €		853463
	Umweltfolgekosten		0,00 €		
	CO_2 Preis		212.877,23 €		
	Lebenszykluskosten gesamt		1.619.415,31 €		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	- 24.109		
		CO2eq./m²NGFa	-0,55		
	GWP B6	kg CO2eq.	895.600	GWP B6	895600
		CO2eq./m²NGFa	20,61		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	911.734		
		CO2eq./m²NGFa	20,98		
	PENRT A1-A3	kWh	132.530		
		kWh./m²NGFa	3,05		
	PENRT B6	kWh	2.878.800	PENRT B6	2878800
		kWh./m²NGFa	66,24		
	PENRT gesamt	kWh	2.957.920		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	37		31986
	Amortisationszeit	Jahre	26		
	Einsparung pro kWh		1,16 €		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	240,62		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	21,92		
	Entsorgungskosten min.	€	905,79		
	Entsorgungskosten max	€	6051,29		
	Entsorgungskosten mittel	€	3726,84		

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

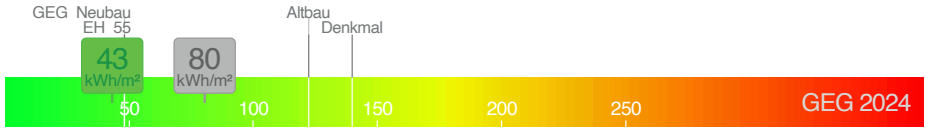
Photovoltaik	1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH) Gesamtfläche: 177,72 m² Modul-Ausrichtung: Süd-West Peakleistung: 37,77 kW Batterie vorhanden: Nein Systemleistungsfaktor: 0,8000 Technologie: kristallin Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18795,96 kWh
Photovoltaik	1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH) Gesamtfläche: 19,53 m² Modul-Ausrichtung: Süd-West Peakleistung: 4,15 kW Batterie vorhanden: Nein Systemleistungsfaktor: 0,8000 Technologie: kristallin Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18795,96 kWh

Gesamtbewertung

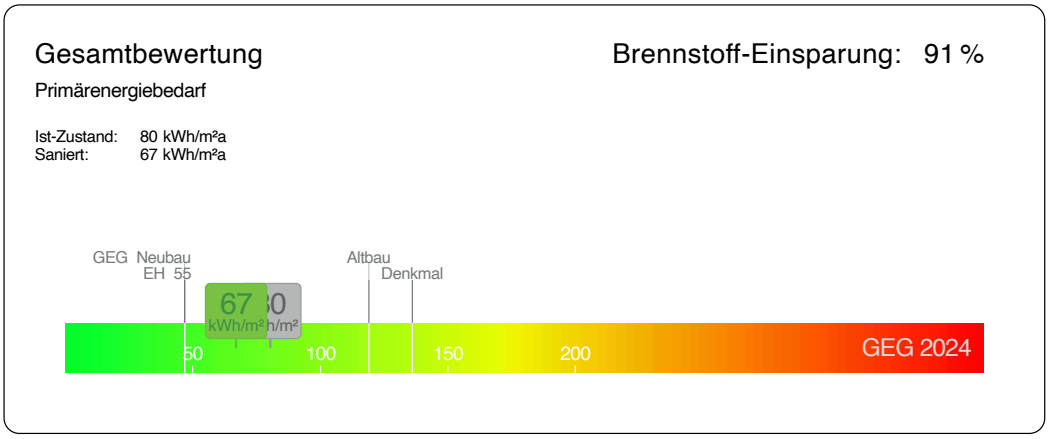
Brennstoff-Einsparung: 94 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 80 kWh/m²a
Saniert: 43 kWh/m²a



3b.2 Variante 1&3 konventionell

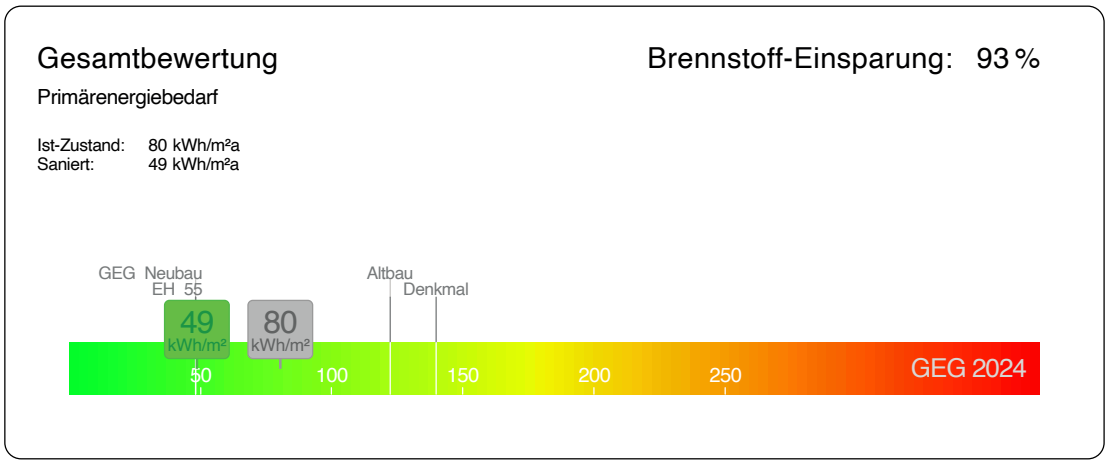


	Variante 1 & 3 - konventionell
Ak	Außenwand Innendämmung 1
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung
N k	Fenstersanierung 2-fach Isolier?
X	WP 7 bis 50 kw Sole
Y	RLT 1

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**334.193,34 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**6.457,70 €**	Energiekosten	6457,7
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 13.881,30**		
		-68%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**115.274,32 €**		
Ersatzherstellung		**90.876,12 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.401.891,78 €**		861548
Umweltfolgekosten		**115.759,54 €**		
CO_2 Preis		**214.897,62 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.732.548,94 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**131545**		
	CO2eq./m²NGFa	3,03		
GWP B6	kg CO2eq.	**904100**	GWP B6	904100
	CO2eq./m²NGFa	20,80		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**1038991**		
	CO2eq./m²NGFa	23,91		
PENRT A1-A3	kWh	**432347**		
	kWh./m²NGFa	9,95		
PENRT B6	kWh	**2906000**	PENRT B6	2906000
	kWh./m²NGFa	66,87		
PENRT gesamt	kWh	**3286843**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**37**		32289
Amortisationszeit	Jahre	**24**		
Einsparung pro kWh		**1,06 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**189,21**		
Entsorgungskosten min.	€	**3976,73**		
Entsorgungskosten max	€	**9421,23**		
Entsorgungskosten mittel	€	**6407,48**		

3b.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen oder denkmalkonform und innerhalb des Baukastens so nahe wie möglich an dieses Ziel heran zu kommen.

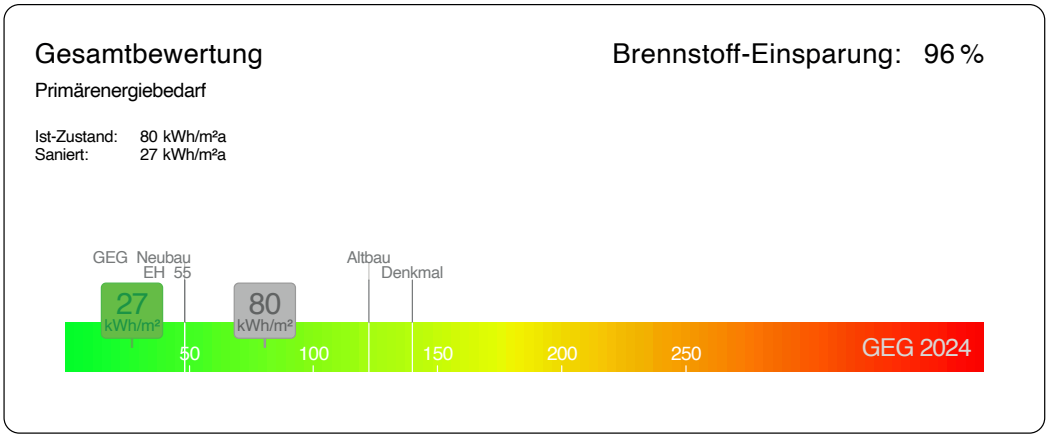


	Variante 2 ökologisch
B	Außenwand Innendämmung 2
G	Zwischensparren mit Dachabdeckung
M	Bodenplatte von oben
O	Fenstertausch 3-fach Isolier
X	WP 7 bis 50 kw Sole

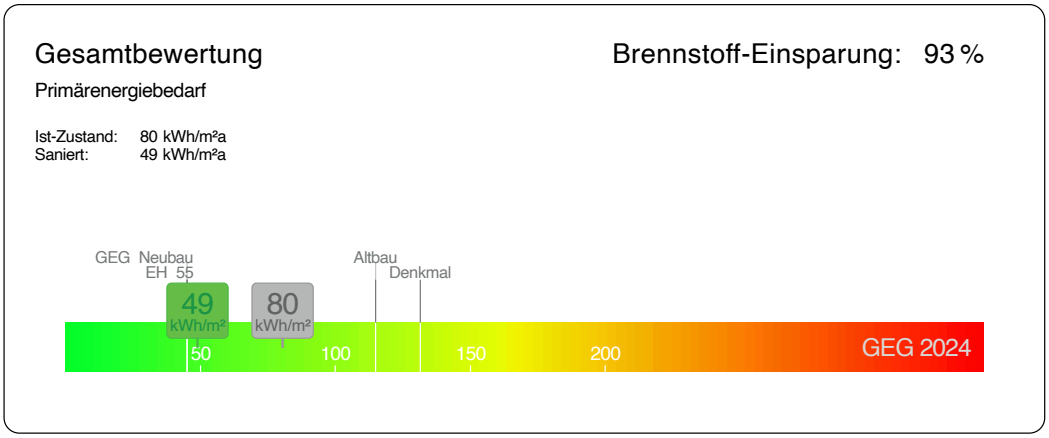
				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**485.178,84 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**4.694,00 €**	Energiekosten	4694
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 15.645,00**		
		-77%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**140.703,42 €**		
Ersatzherstellung		**87.440,51 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.339.558,77 €**		626236
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2 Preis		**156.199,50 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.495.758,27 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-37481**		
	CO2eq./m²NGFa	-0,86		
GWP B6	kg CO2eq.	**657150**	GWP B6	657150
	CO2eq./m²NGFa	15,12		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**690070**		
	CO2eq./m²NGFa	15,88		
PENRT A1-A3	kWh	**196580**		
	kWh./m²NGFa	4,52		
PENRT B6	kWh	**2112300**	PENRT B6	2112300
	kWh./m²NGFa	48,60		
PENRT gesamt	kWh	**2263679**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**27**		23470
Amortisationszeit	Jahre	**31**		
Einsparung pro kWh		**1,49 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**315,35**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**22,88**		
Entsorgungskosten min.	€	**1191,64**		
Entsorgungskosten max	€	**8238,55**		
Entsorgungskosten mittel	€	**5082,11**		

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik	1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH) Gesamtfläche: 177,72 m² Modul-Ausrichtung: Süd-West Peakleistung: 37,77 kW Batterie vorhanden: Nein Systemleistungsfaktor: 0,8000 Technologie: kristallin Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18795,96 kWh
Photovoltaik	1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH) Gesamtfläche: 19,53 m² Modul-Ausrichtung: Süd-West Peakleistung: 4,15 kW Batterie vorhanden: Nein Systemleistungsfaktor: 0,8000 Technologie: kristallin Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18795,96 kWh



3b.3 Variante 2 konventionell



	Variante 2 konventionell					
B k	Außenwand Innendämmung 2					
G k	Zwischensparren mit Dachabdeckung					
M k	Bodenplatte von oben					
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier					
X	WP 7 bis 50 kw Sole					
Y	RLT 1					

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**432.219,64 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**4.730,80 €**	Energiekosten	4730,8
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 15.608,20**		
		-77%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**140.344,43 €**		
Ersatzherstellung		**103.821,18 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.307.530,24 €**		631145
Umweltfolgekosten		**168.866,03 €**		
CO_2 Preis		**157.423,62 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.633.819,89 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**191893**		
	CO2eq./m²NGFa	4,42		
GWP B6	kg CO2eq.	**662300**	GWP B6	662300
	CO2eq./m²NGFa	15,24		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**873200**		
	CO2eq./m²NGFa	20,09		
PENRT A1-A3	kWh	**640836**		
	kWh./m²NGFa	14,75		
PENRT B6	kWh	**2128800**	PENRT B6	2128800
	kWh./m²NGFa	48,98		
PENRT gesamt	kWh	**2729196**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**27**		23654
Amortisationszeit	Jahre	**28**		
Einsparung pro kWh		**1,33 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**6,49**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**248,90**		
Entsorgungskosten min.	€	**5129,14**		
Entsorgungskosten max	€	**12735,63**		
Entsorgungskosten mittel	€	**8520,90**		

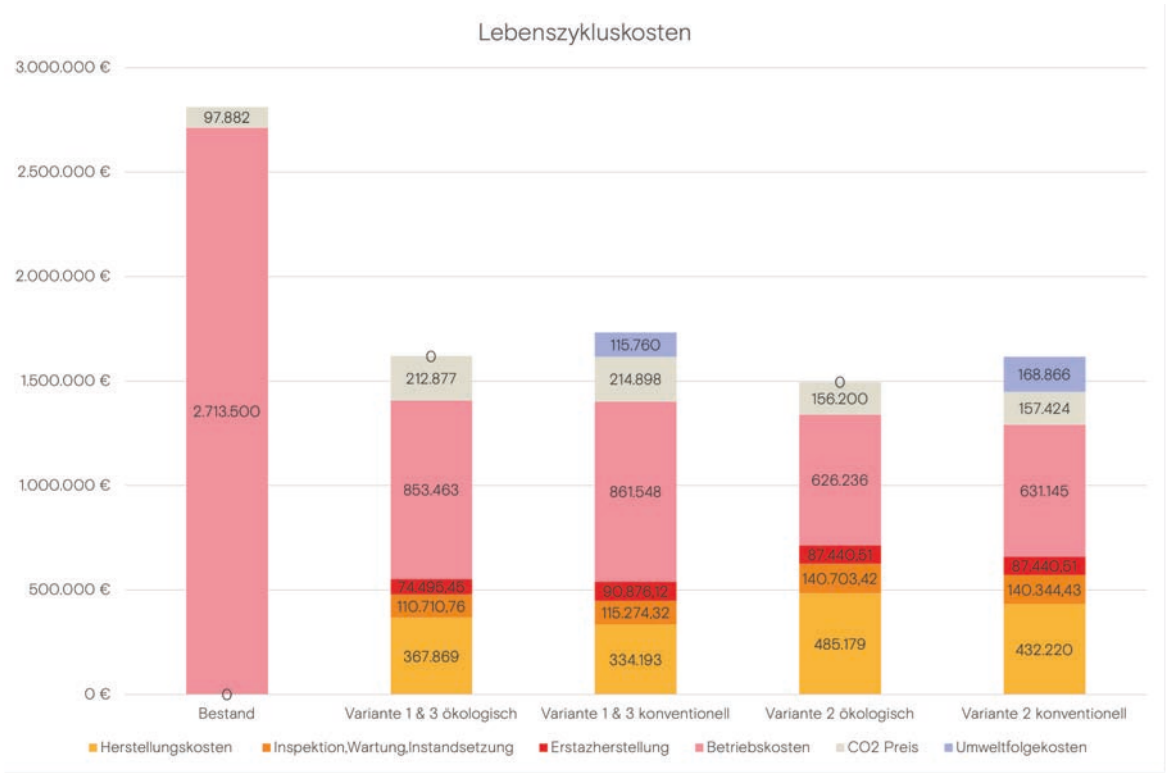
3b.3 Variante 3

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar. Bei diesem Gebäude erweist sich die Variante 1 bei der Dach und Außenwände mit einer denlmalkoformen Innenndämmung gedämmt werde ud die Fenster saniert werden, als die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollere, da für die Variante 2 erhebliche Mehrkosten in der Erstherstellung entstehen.

Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend den Übersichten auf Seite 22 (ökologisch) und Seite 25 (konventionell) zu entnehmen.

3b.5 Variantenvergleich

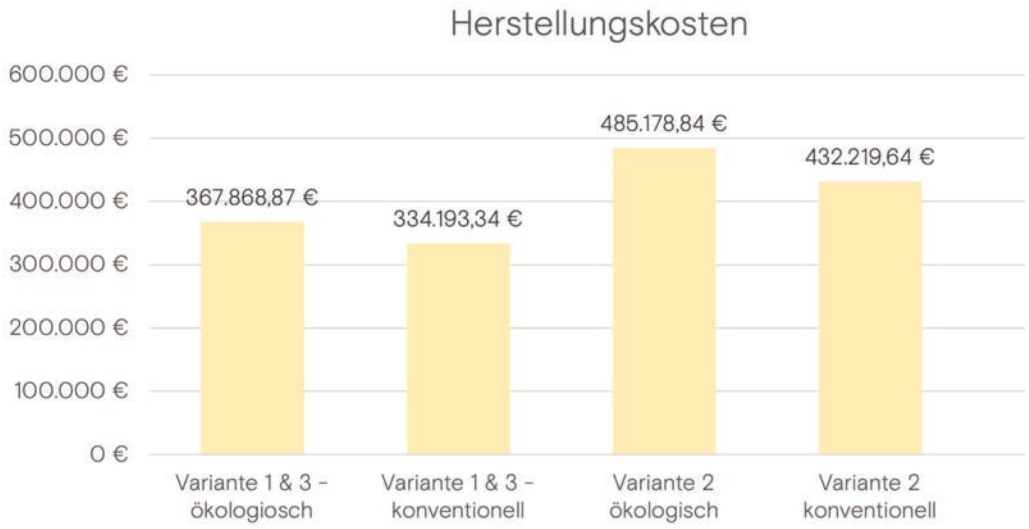
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen. Variante 2 liegt bei de Herstellungskoste sowohl in ökologischer als auch in konventioneller Ausführung rund 30–40 % über den Kosten von Variante 1 &3. Innerhalb der Varianten sind die ökologischen Ausführungen jeweils etwas teurer als die konventionellen, weisen jedoch deutlich geringere bzw. teilweise negative Emissionen in der Herstellungsphase auf was sich auch in den Lebenszykluskosten in Form von häheren Umweltfolgekosten wiederspiegelt.
Im Betrieb zeigen sich bei allen Varianten deutliche Einsparungen gegenüber dem Bestand. Variante 1/3 reduziert den Energieverbrauch um −68 bzw. −69 %, während Variante 2 mit rund −77 % eine nochmals stärkere Reduktion erreicht. Entsprechend fallen auch die Energiekosten bei Variante 2 etwas geringer aus als bei Variante 1 bzw. 3.
Der Materialeinsatz von Variante 2 ist etwa ei ndrittel höher als bei Variante 1/3. Die ökologischen Versioen nutzen überwiegend nachwachsende Rohstoffe, während die konventionellen stärker auf nicht nachwachsende Materialien zurückgreifen.

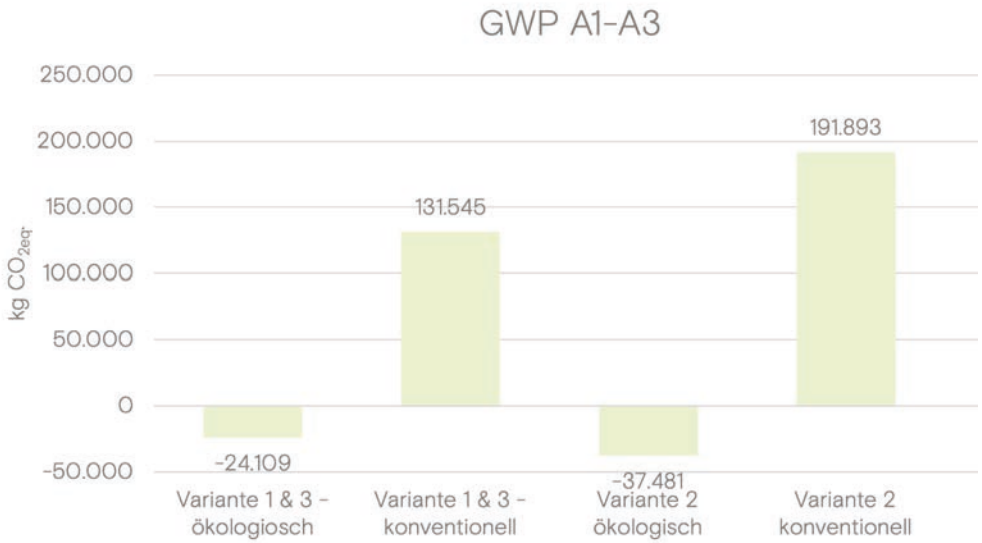


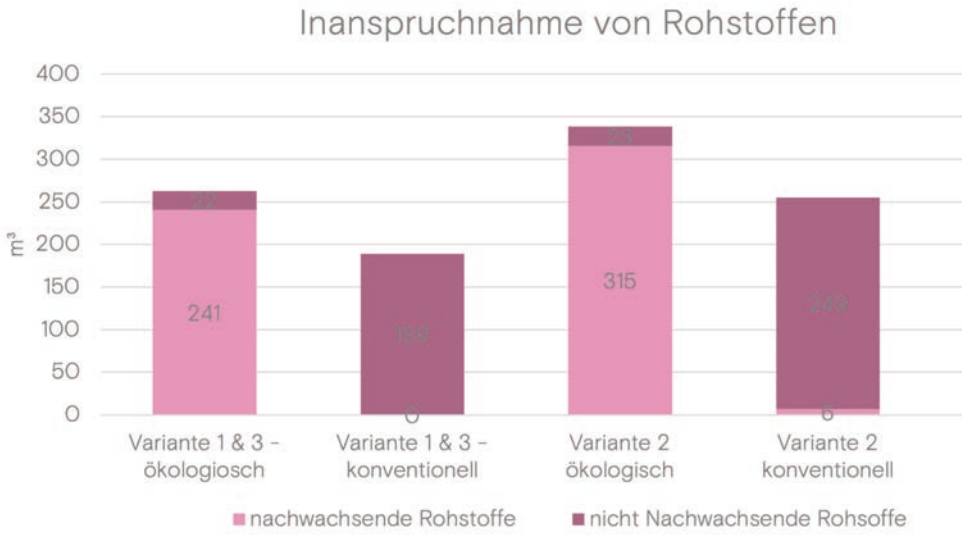
Der Vergleich der Lebenszykluskosten zeigt, dass die ökologische und konventionelle Bauweise sich von den Kosten her zunächst kaum unterscheiden, werden allerdings auch Umweltfolgekosten und ein CO_2 Preis mit einbezogen, zeigt sich, dass die ökologische Variante etwas günstiger ist.

Auf den gesamten Lebenszyklus betrachtet unterscheiden sich Variante 2 und 3 nur wenig. Variante 2 ist insgesamt auf den Lebenszyklus, durch die geringeren Betriebskopsten und den dadurch niedrigeren CO_2 Preis, etwas günstiger, hat dafür aber deutlich höhere Anfangsinvestitionen. Da der Bestand mit einer Hackschnitzelanlage gerechnet wurde sind die CO_2 Koste niedriger als bei den Sanierungsvarianten. Allerdings wird bei allen Sanierugsstrategien davon ausgegangen, dass die Wärmepumpe mit regenerativem Strom betrieben wird, was die Emissionen im Betrieb senkt, die Werte wurde jedoch mit dem aktuellen Strom-mix in Deutschland ermittelt.

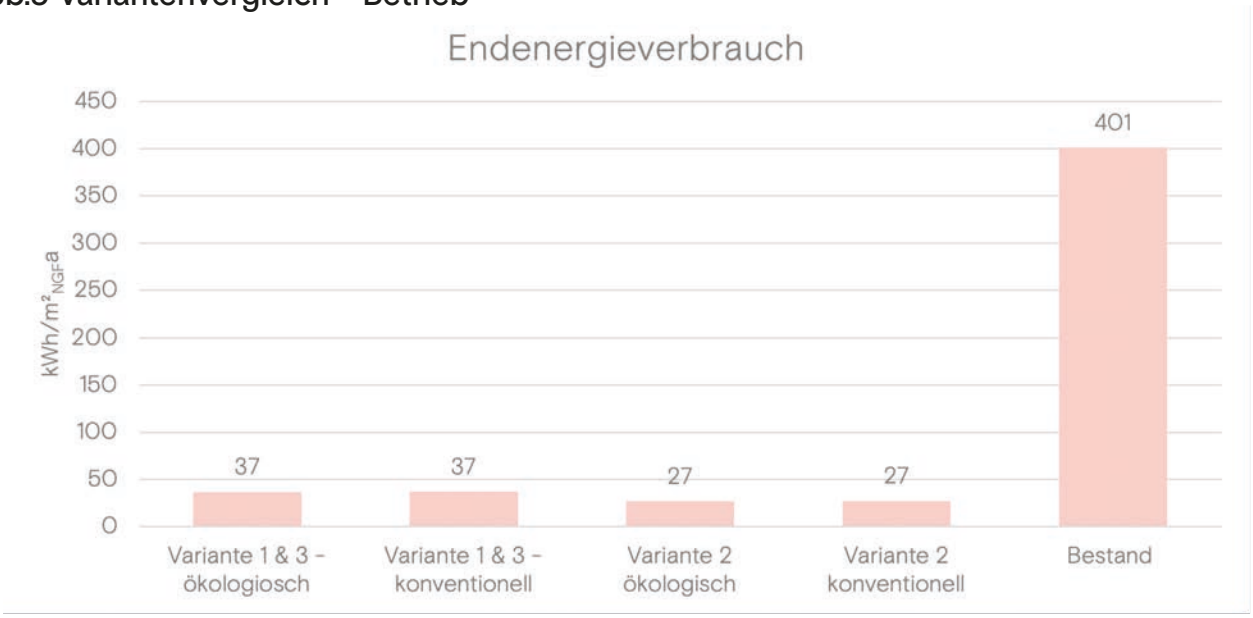
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

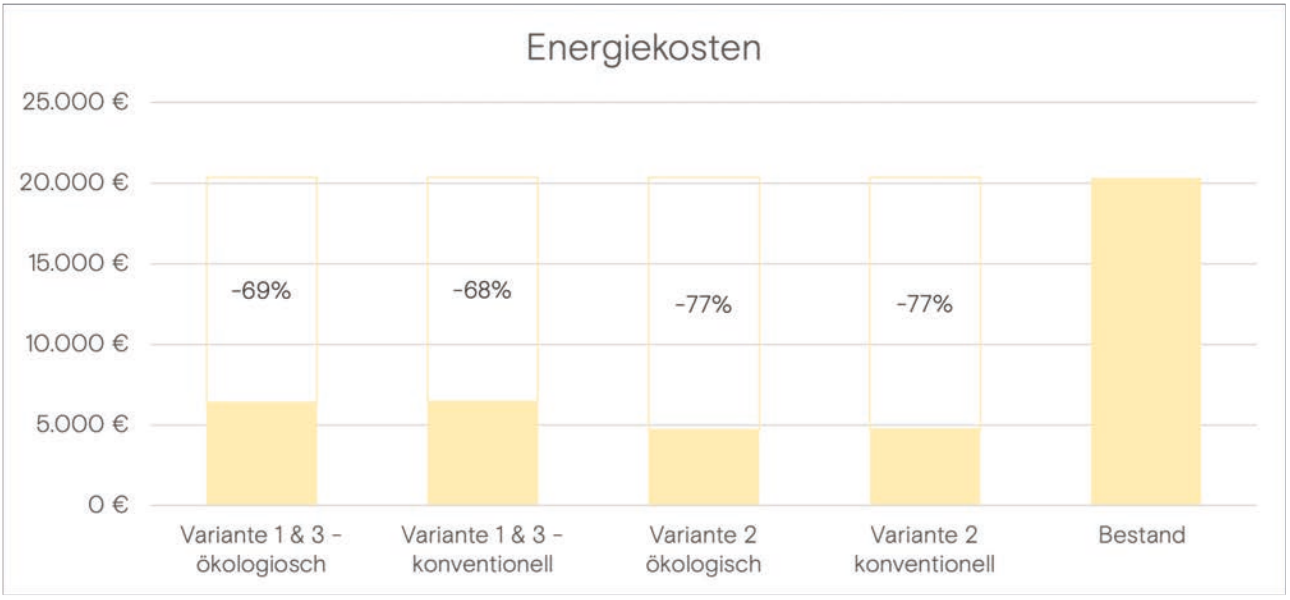


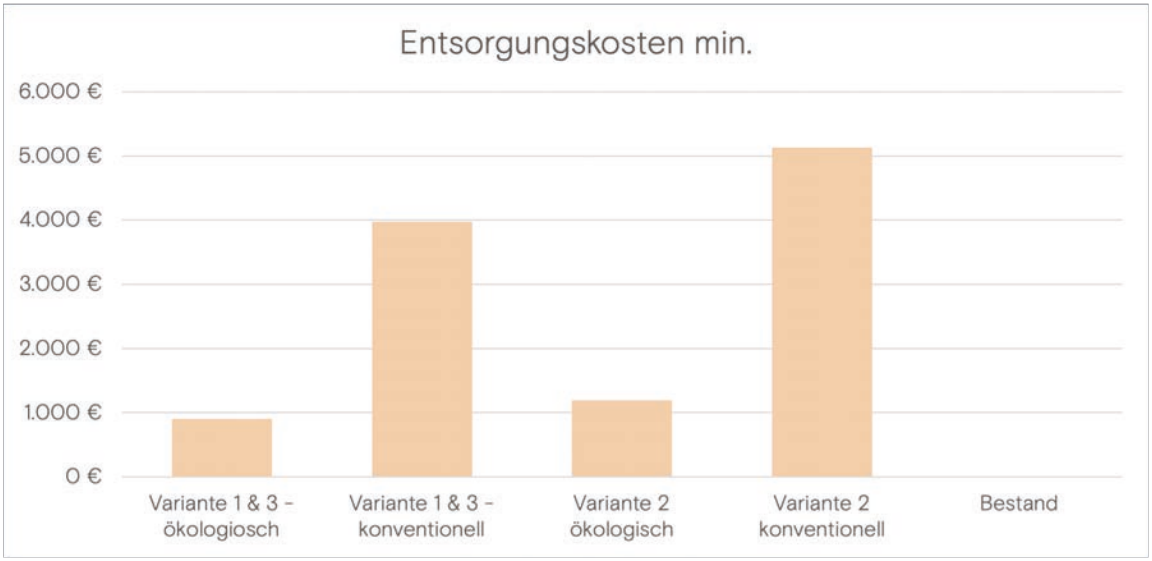




3b.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Gebäude befindet sich in einem energetisch sehr schlechten Zustand. Insbesondere die Gebäudehülle weist erhebliche Defizite auf, wodurch hohe Wärmeverluste entstehen und der Energieverbrauch insgesamt auf einem sehr hohen Niveau liegt. Im Rahmen der Variantenuntersuchung wird deutlich, dass bereits durch grundlegende Maßnahmen an der Gebäudehülle eine deutliche Verbesserung erreicht und gleichzeitig die Voraussetzungen für einen Niedertemperaturbetrieb geschaffen werden können.
Die weitergehenden Maßnahmen der Variante 2 führen zwar zu einer zuästzlichen Reduktion des Energieverbrauchs, erfordern aber auch deutlich höhere Investitionskosten sowie einen erhöhten Materialeinsatz. Der zusätzliche energetische Nutzen fällt im Verhältnis zum Mehraufwand vergleichsweise gering aus, da bereits mit den Maßnahmen der Variante 1 bzw. 3 ein großteil der Einsparpotenziale erschlossen werdenn kann.
Vor diesem Hintergrund erscheint es nicht erforderlich, sämtliche Bauteile auf ein maximales energetisches Niveau zu bringen. Variante 1 bzw 3 ermöglicht bereits eine deutliche Reduktion des Energieverbrauch und schafft gleichzeitig die Grundlage für einen effizienten Betrieb mit einer Wärmepumpe. Damit kann eine klimafreundliche Wärmeversorgung erreicht werden, ohne dass sehrhohe Investitionen notwendig sind.
Im Vergleich zur vorherigen Betrachtung mit einer Hackscnhitzelanlage zeigt sich zudem, dass der Energieverbrauch durch den Einsatz einer Wärmepumpe nochmals deutlich reduziert werden kann. Da Wärmepumpen Umweltenergie nutzen und dadurch effizienter arbeiten als biomasse basierte Heizsysteme. Gleichzeitig ist aber zu beachten, dass die Hackschnitzelanlage bereits eine klimaneutrale Wärmeversorgung ermöglicht und zudem erst vor kurzer Zeit installiert wurde. Ein Austausch dieser Anlage ist daher weder wirtschaftlich noch ökologisch sinnvoll (und wird hier auch nicht empfohlen!)
Die Betrachtung der Wärmepumpenvariante dient in diesem Zusammenhang vielmehr als theoretische Annäherung, um die Ergebnisse auf vergleichbare Gebäude übertragen zu können, die noch mit fossilen Energieträgern beheizt werden.
Insgesamt wird Variante 1 bzw 3 als sinnvolle Sanierungsstrategie empfohlen. Sie stellt einen ausgewogenen Ansatz dar, der eine deutliche energetische Verbesserung ermöglicht, ohne zu hohe Investitionen und zusätzlichen Materialeinsatz zu verursachen, und gleichzeitig eine Übertragbarkeit auf ähnliche Gebäudetypen gewährleistet.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.

kg CO_2/m^2_{NGF}



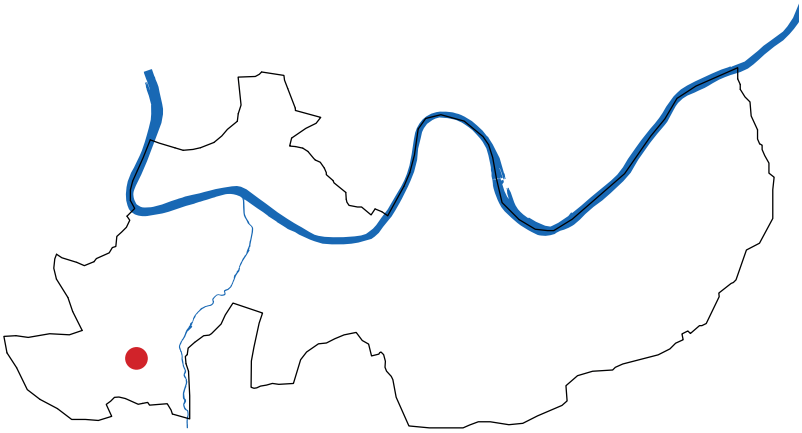
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

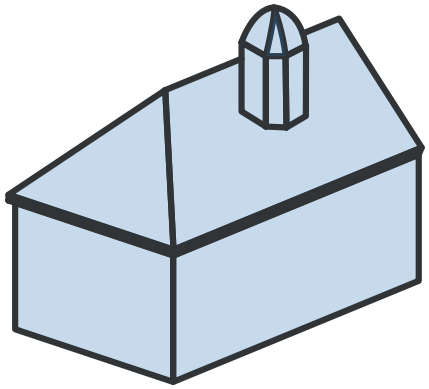
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.4 Variante 3 S. 16
- 3.5 Variantenvergleich S. 18

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 21



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Massivbau
Baujahr:	1912
Denkmalschutz:	Ja
Geschosse:	4
NGF:	911 m²
BGF:	1093 m²
Nutzung:	Grundschule, Verwaltung, Wohnen, Vereinskeller
Bruttovolumen:	3368 m³
Hüllfläche A:	1376 m²

Die Schulstraße 8 ist ein denkmalgeschütztes Sandsteingebäude. Das Gebäude wird multifunktional genutzt und ist insgesamt in einem relativ guten Zustand. Das Dach wurde/wird saniert (stand April 2025). In den oberen Geschossen des Gebäudes befinden sich die Verwaltung von Waldhilsbach sowie eine Wohneinheit. Im Keller gibt es neben Lager- und Sanitärräumen der Schule auch einen Vereinskeller. Das Dach ist aktuell unbeheizt und wird vor allem als Lager genutzt.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Rückseite


Rückseite 2


Kessel


Innen Bürgerkeller


innen


Dach

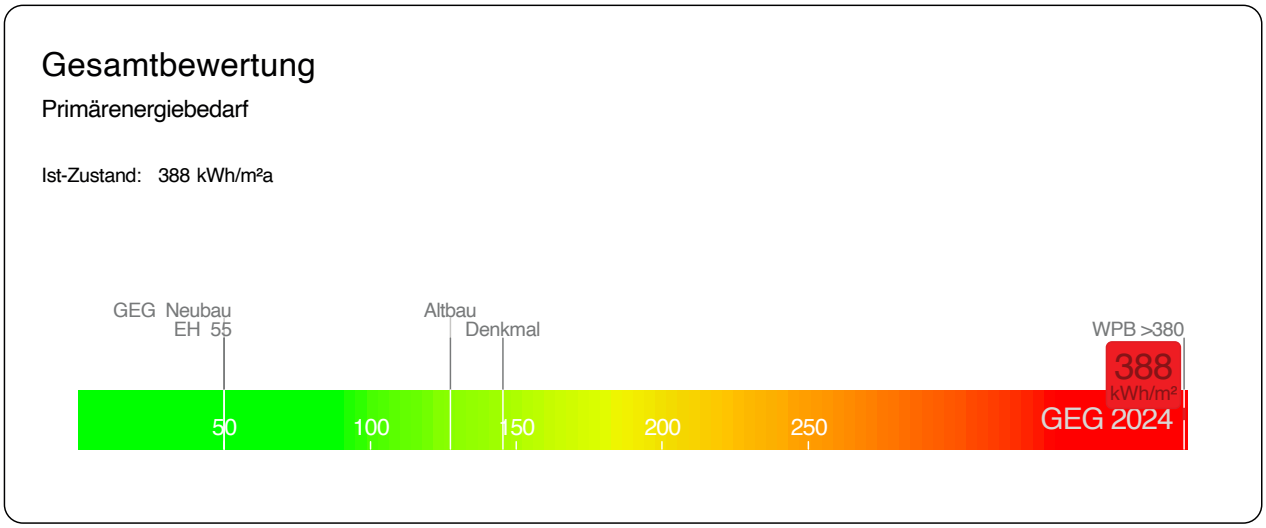

DAch

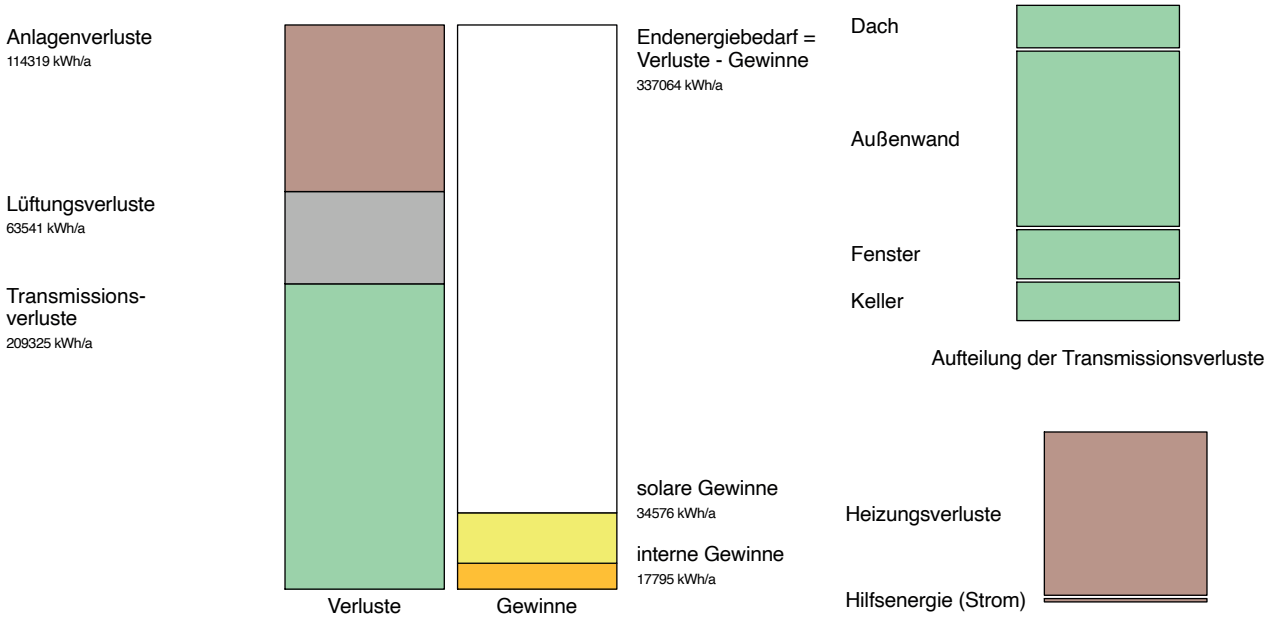
2.2 Bekannte Schäden

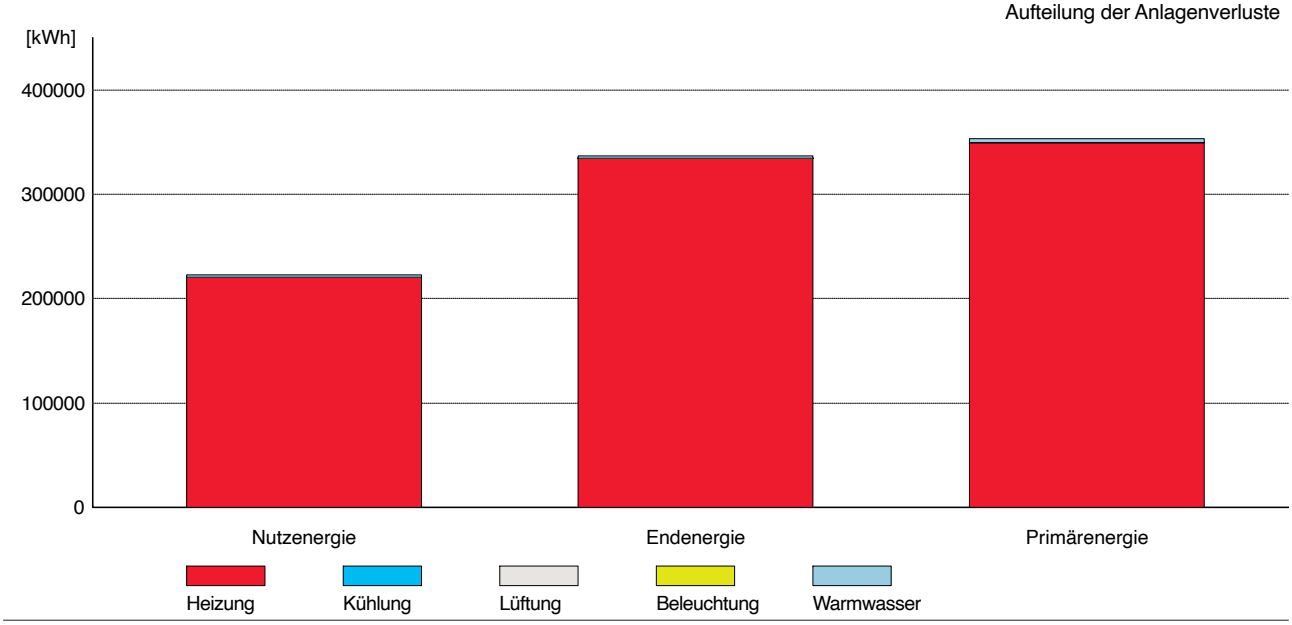
Dach (?)

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem schlechten Zustand, die größten Verluste entstehen durch die Außenwände. Die Heizungsanlage ist zudem sehr ineffizient woduch weitere Verluste entstehen.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
X	DA	Boden DG2-1	0,51	1,00	0,20	0,14
	DA	Dach 001-1	17,70	0,40	0,24	0,14
	DA	Dach 001-2	25,75	0,40	0,24	0,14
	DA	Dach 001-3	12,36	0,40	0,24	0,14
	DA	Dach 005-1	24,27	0,40	0,24	0,14
	DA	Dach 007-1	24,27	0,40	0,24	0,14
X	DA	Dach 008-1	10,60	2,60	0,24	0,14
	DA	Dach 009-1	17,58	0,40	0,24	0,14
	DA	Dach 010-1	16,22	0,40	0,24	0,14
X	DA	Dach 011-1	7,49	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 012-1	6,04	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 013-1	6,21	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 013-2	8,66	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 013-4	4,66	2,60	0,24	0,14
X	DA	Dach 014-1	10,71	2,60	0,24	0,14
X	DG	Dach DG 001	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-2	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-3	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-4	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-5	0,69	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-6	0,69	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-7	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 001-8	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-10	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-2	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-3	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-4	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-5	0,69	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-6	0,69	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-7	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-8	0,72	0,50	0,24	0,20
X	DG	Dach DG 005-9	0,72	0,50	0,24	0,20
X	OG	Boden DG2-4	31,81	1,00	0,24	0,14
X	OG	Boden DG2-5	37,37	1,00	0,24	0,14
X	OG	Boden DG2-6	41,42	1,00	0,24	0,14
X	OG	Boden DG2-7	13,83	1,00	0,24	0,14
X	TA	AT 001-1	1,64	2,30	1,8	1,3
X	TA	AT 001-2	0,12	2,30	1,8	1,3
X	TA	AT 002-1	2,73	2,30	1,8	1,3
X	TA	AT 002-2	0,20	2,30	1,8	1,3
X	TA	AT 003-1	2,12	4,00	1,8	1,3
X	TA	AT 004-1	2,12	4,00	1,8	1,3
	TA	IT 003-1	1,32	2,00	1,8	1,3
	TA	IT 004-1	1,32	2,00	1,8	1,3

X	WA	AW 001-1	44,89	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 002-1	13,76	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 003-3	2,31	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 003-4	2,00	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 004-1	12,38	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 005	26,49	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 005-2	11,65	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 006	26,08	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 006-2	25,71	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 006-3	6,73	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 007	26,52	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 007-2	11,62	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 008	74,56	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 009	55,72	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 010	30,36	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 011	62,94	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 012	30,36	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 013	9,87	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 014	7,92	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 014-2	15,49	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 014-3	8,37	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 015	9,87	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 016	7,81	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 016-2	10,40	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW 016-3	4,64	2,20	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 1	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 1-2	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 1-3	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2-2	0,42	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2-3	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2-4	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3-2	0,42	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3-3	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3-4	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 1	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 1-2	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 1-3	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 1-4	0,87	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 2	0,42	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 2-2	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 2-3	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 2-4	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 2-5	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 3	0,42	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 3-2	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 3-3	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 3-4	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	AW DG 005 - 3-5	0,46	1,51	0,24	0,20
X	WA	IW 001	1,23	2,80	0,24	0,20
X	WA	IW 003-2	1,23	2,80	0,24	0,20
X	WE	AW 001	3,45	2,20	0,30	0,25
X	WE	AW 002	11,95	2,20	0,30	0,25
X	WE	AW 003-2	30,43	2,20	0,30	0,25

X	WE	AW 004	9,97	2,20	0,30	0,25
X	FA	DF 001-1	0,77	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 002-1	0,33	5,00	1,4	1,0
X	FA	DF 003-1	0,33	5,00	1,4	1,0
X	FA	F 001-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 002-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 003-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 004-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 006-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 007-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-1	0,47	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-2	0,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 010-1	0,74	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 010-2	0,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 011-1	0,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 011-2	0,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	0,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 012-2	0,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	1,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 015-2	0,65	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 016-1	0,65	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 016-2	0,65	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 017-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 018-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 019-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 020-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 021-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 022-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 023-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 024-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 025-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 026-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 027-1	2,89	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 028-1	0,86	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 029-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 030-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 031-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 032-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 033-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 034-1	0,86	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 035-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 036-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 037-1	1,44	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 038-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 039-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 040-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 041-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 042-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 043-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 044-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 045-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 046-1	2,29	2,70	1,3	0,95

X	FA	F 047-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 048-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 049-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 050-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 051-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 052-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 053-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 054-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 055-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 056-1	2,29	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 057-1	1,39	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 058-1	1,50	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 059-1	1,50	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 060-1	1,50	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 061-1	1,50	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 062-1	1,39	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 063-1	1,50	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 064-1	1,90	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 065-1	1,50	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 001	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-2	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-3	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 005	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 005-2	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 005-3	0,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 005-4	0,48	2,70	1,3	0,95
X	BE	Boden Keller-2	216,99	1,60	0,30	0,25
X	BK	Boden EG 002-3	34,77	1,10	0,30	0,25
X	BK	IW 004	7,01	2,20	0,30	0,25
X	BK	IW 005	30,44	2,20	0,30	0,25
X	BK	IW 006	7,01	2,20	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der GEG vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(mK)) einzubauen. Soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,045 W/(mK) einzuhalten. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert von 1,30 W/m²K.

**) Die Anforderungen an U-Werte sind bei der Sanierung der jeweiligen Bauteile für eine Förderungen als Einzelmaßnahme einzuhalten (siehe Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen)

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über einen Brennwert Kessel. Da dieser bereits knapp 30 Jahre alt ist steht ein Austausch in den nächsten Jahren ohnehin an. Die Umstellung auf eine regenerative Wärmeerzeugung ist in diesem Zuge sinnvoll um die Klimaziele zu erreichen.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kombi-Kessel von 1997 Nennleistung: 200,00 kW Energieträger: Heizöl EL
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 673,1 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe ungeregelt
Übergabe	- Übergabe 1 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Gruppenbüro' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 2 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Verkehrsfläche' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 3 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 4 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Sonstige Aufenthaltsräume' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 5 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

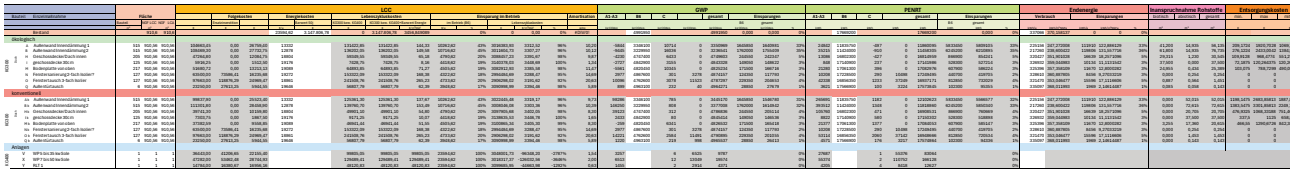
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Elektro-Durchlauferhitzer von 2005 - Nennleistung 30,05 kW Energieträger: Strom-Mix
Verteilung	- TWW-Kreis 1 dezentral ohne Zirkulation' 1,0 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Untersucht wurden aufgrund des Denkmalschutzes nur Maßnahmen die das äußere Erscheinungbild nicht verändern. Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Dach, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

KG300 Dach
- A Außenwand Innendämmung 1
- B Außenwand Innendämmung 2
- H Geschossdecke/Dach innen
- I geschossdecke 30cm
- M Bodenplatte von oben
- N Fenstersanierung 2-fach Isolier?
- O Fenstertausch 3-fach Isolier
- Q Außentürtausch

KG400
- V WP 5 bis 35 kw Sole
- X WP 7 bis 50 kw Sole
- Y RLT 1

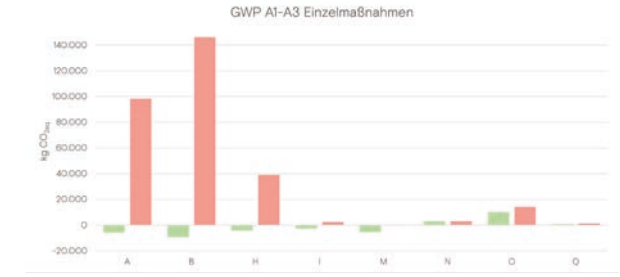
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung den mit Abstand größten Effekt bringt. Die Dämmung der Geschossdecke (I) hat zwar nur einen kleinen effekt auf den Endenergieverbrauch, ist aber dennoch sinnvoll da sie besonders einfach und günstig umzusetzen ist.

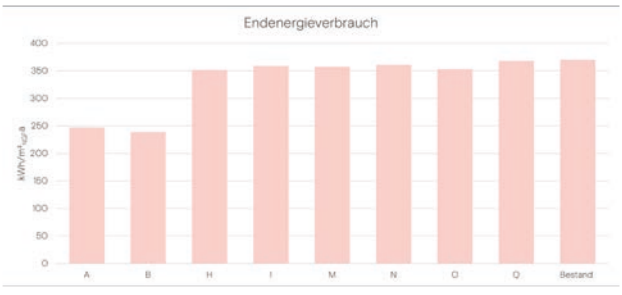
Außerdem weißt das Global Warming Potential Diagramm die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.

Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.



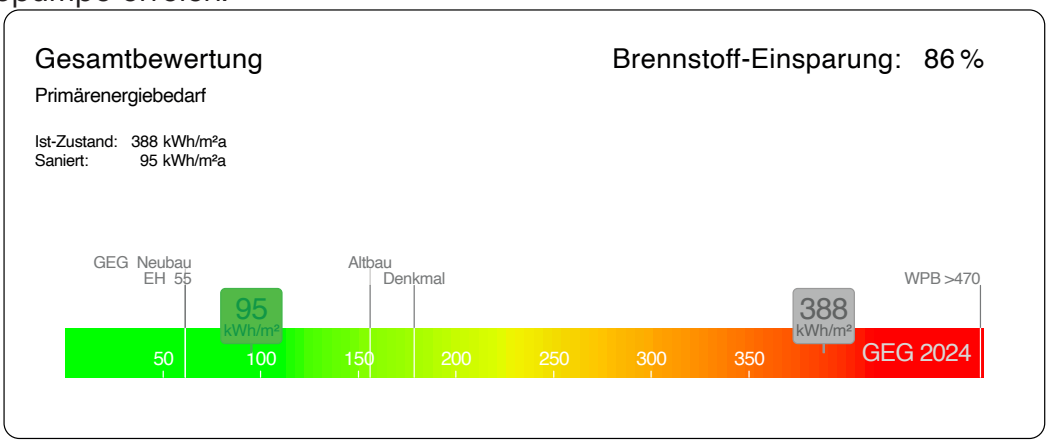






3.2 Variante 1 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren. In der Schulstraße 8 wird dieses Ziel bereits durch eine leichte Innenwanddämmung, die Dämmung der obersten Geschossdecke und den Einbau einer Wärmepumpe erreich.



	Variante 1 - ökologiosch				
A	Außenwand Innendämmung 1				
I	geschossdecke 30cm				
X	WP 7 bis 50 kw Sole				
					Energieberaterund BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**157.861,70 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**9.637,40 €**	Energiekosten	9637,4
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 13.957,22**		
			-59%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**57.016,83 €**		
	Ersatzherstellung		**53.462,48 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.554.086,01 €**		1285745
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
	CO_2 Preis		**320.753,88 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.874.839,89 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-2058**		
		CO2eq./m²NGFa	-0,05		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1349450**	GWP B6	1349450
		CO2eq./m²NGFa	29,64		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1354748**		
		CO2eq./m²NGFa	29,76		
	PENRT A1-A3	kWh	**81064**		
		kWh./m²NGFa	1,78		
	PENRT B6	kWh	**4336850**	PENRT B6	4336850
		kWh./m²NGFa	95,25		
	PENRT gesamt	kWh	**4362280**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**53**		48187
	Amortisationszeit	Jahre	**11**		
	Einsparung pro kWh		**0,55 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**78,70**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**14,94**		
	Entsorgungskosten min.	€	**281,36**		
	Entsorgungskosten max	€	**2040,97**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**1190,03**		

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	95,3	þ 156,1	111,5	¨ 44,6	¨ 61,3	¨ 78,1	þ 178,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,53	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,7	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,6	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 76,17 m²
Modul-Ausrichtung: Ost
Peakleistung: 16,18 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 16927,63 kWh

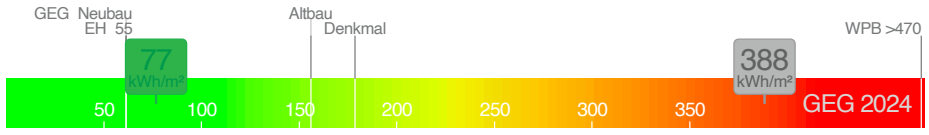
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 7,81 m²
Modul-Ausrichtung: Süd
Peakleistung: 1,66 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 16927,63 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 88 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 388 kWh/m²a
Saniert: 77 kWh/m²a

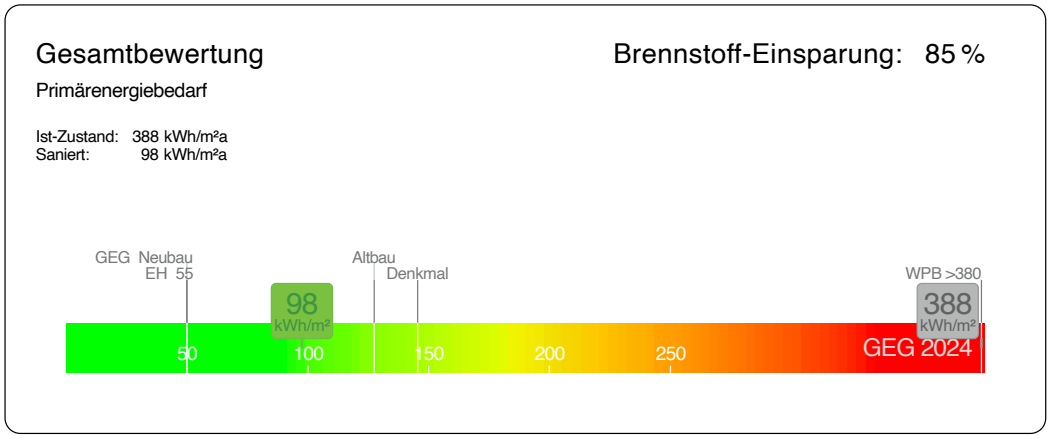


Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	76,7	þ 156,1	111,5	¨ 44,6	¨ 61,3	þ 78,1	þ 178,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,53	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,7	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,6	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	

EE-Klasse

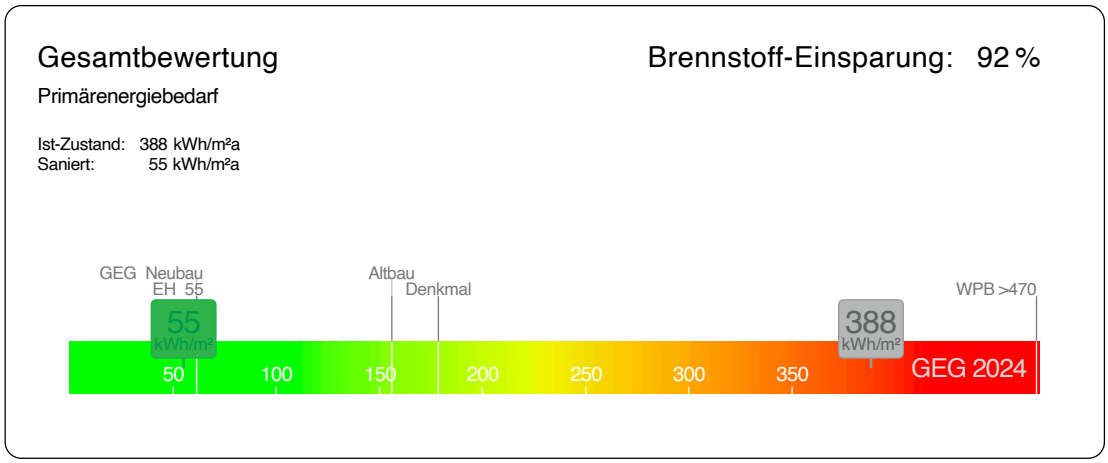
3.2 Variante 1 konventionell



	Variante 1 - konventionell				Energieberater und BNB LCC tool
Ak	Außenwand Innendämmung 1				
Ik	geschossdecke 30cm				
X	WP 7 bis 50 kw Sole				
Y	RLT 1				
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**169.207,65 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**9.871,00 €**	Energiekosten	9871
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 13.723,62**		
			-58%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**73.091,99 €**		
	Ersatzherstellung		**69.843,15 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.629.052,79 €**		1316910
	Umweltfolgekosten		**95.645,07 €**		
	CO_2 Preis		**328.478,88 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**2.053.176,75 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**108.688**		
		CO2eq./m²NGFa	2,39		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1.381.950**	GWP B6	1381950
		CO2eq./m²NGFa	30,35		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1.483.534**		
		CO2eq./m²NGFa	32,58		
	PENRT A1-A3	kWh	**334.091**		
		kWh./m²NGFa	7,34		
	PENRT B6	kWh	**4.442.000**	PENRT B6	4442000
		kWh./m²NGFa	97,56		
	PENRT gesamt	kWh	**4.718.275**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**54**		49355
	Amortisationszeit	Jahre	**12**		
	Einsparung pro kWh		**0,59 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**89,52**		
	Entsorgungskosten min.	€	**1535,65**		
	Entsorgungskosten max	€	**3808,86**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**2546,68**		

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen oder denkmalkonform und innerhalb des Baukastens so nahe wie möglich an dieses Ziel heran zu kommen. In der Schulstraße wird dieses Ziel, auf Grund des zu hohen Mittleren U-Wertes der opakenn Bauteile, nur knapp verfehlt



	Variante 2 ökologisch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
I	geschossdecke 30cm					
H	Geschossdecke/Dach innen					
M	Bodenplatte von oben					
O	Fenstertausch 3-fach Isolier					
Q	Außentürtausch					
V	WP 5 bis 35 kw Sole					

				Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**370.687,07 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**5.568,00 €**	Energiekosten	5568
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 18.026,62**		
		-76%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**107.612,55 €**		
Ersatzherstellung		**187.696,19 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.408.833,80 €**		742838
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2 Preis		**185.281,15 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.594.114,96 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**- 7.711**		
	CO2eq./m²NGFa	-0,17		
GWP B6	kg CO2eq.	**779.500**	GWP B6	779500
	CO2eq./m²NGFa	17,12		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**819.375**		
	CO2eq./m²NGFa	18,00		
PENRT A1-A3	kWh	**144.076**		
	kWh./m²NGFa	3,16		
PENRT B6	kWh	**2.505.600**	PENRT B6	2505600
	kWh./m²NGFa	55,03		
PENRT gesamt	kWh	**2.663.092**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**31**		27840
Amortisationszeit	Jahre	**21**		
Einsparung pro kWh		**1,20 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**154,54**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**17,22**		
Entsorgungskosten min.	€	**561,30**		
Entsorgungskosten max	€	**4310,48**		
Entsorgungskosten mittel	€	**2546,55**		

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	39,5	þ 156,1	111,5	þ 44,6	þ 61,3	þ 78,1	þ 178,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,23	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	0,97	þ 4,34		þ 1,60	þ 2,00	þ 2,40	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 76,17 m²
Modul-Ausrichtung: Ost
Peakleistung: 16,18 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 16927,63 kWh

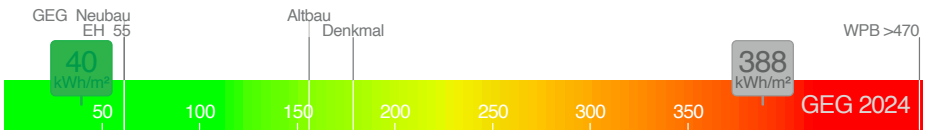
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 7,81 m²
Modul-Ausrichtung: Süd
Peakleistung: 1,66 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 16927,63 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 94 %

Primärenergiebedarf

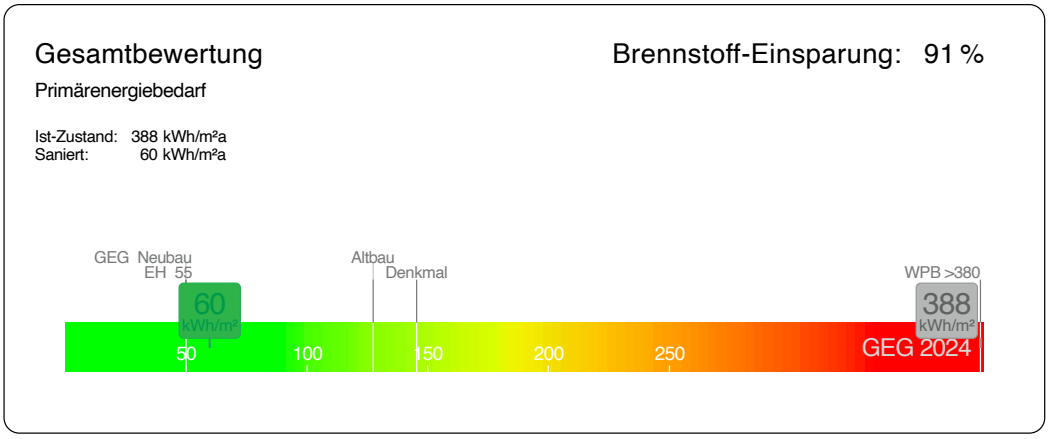
Ist-Zustand: 388 kWh/m²a
Saniert: 40 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	39,5	þ 156,1	111,5	þ 44,6	þ 61,3	þ 78,1	þ 178,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,23	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	0,97	þ 4,34		þ 1,60	þ 2,00	þ 2,40	

3.3 Variante 2 konventionell

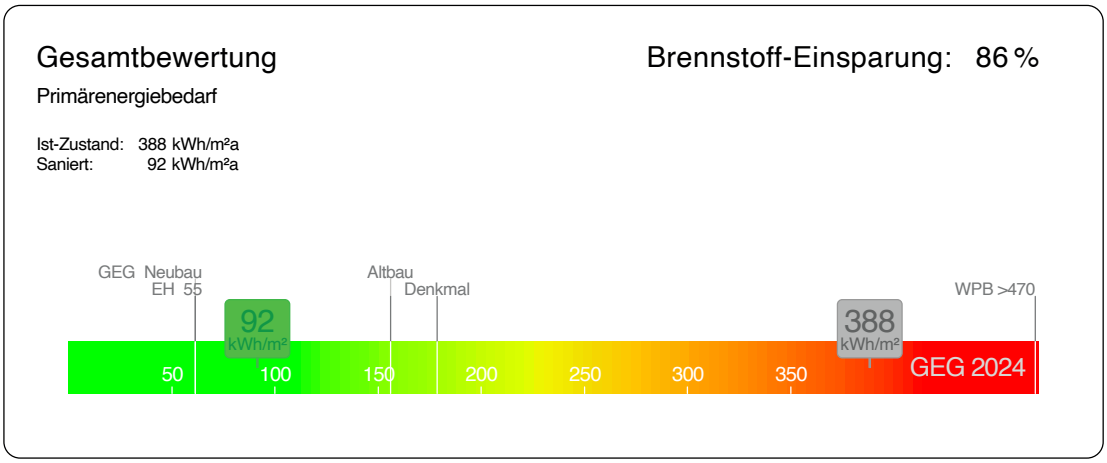


	Variante 2 konventionell
B k	Außenwand Innendämmung 2
I k	geschossdecke 30cm
H k	Geschossdecke/Dach innen
M k	Bodenplatte von oben
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q k	Außentürtausch
V	WP 5 bis 35 kw Sole
Y	RLT 1

				Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**367.869,44 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**6.053,60 €**	Energiekosten	6053,6
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 17.541,02**		
		-74%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**120.070,63 €**		
Ersatzherstellung		**204.076,86 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.499.639,92 €**		807623
Umweltfolgekosten		**182.777,06 €**		
CO_2 Preis		**201.444,23 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.883.861,21 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**207701**		
	CO2eq./m²NGFa	4,56		
GWP B6	kg CO2eq.	**847500**	GWP B6	847500
	CO2eq./m²NGFa	18,61		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**1073322**		
	CO2eq./m²NGFa	23,57		
PENRT A1-A3	kWh	**619048**		
	kWh./m²NGFa	13,60		
PENRT B6	kWh	**2724100**	PENRT B6	2724100
	kWh./m²NGFa	59,83		
PENRT gesamt	kWh	**3357627**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**33**		30268
Amortisationszeit	Jahre	**21**		
Einsparung pro kWh		**1,20 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**3,26**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**149,78**		
Entsorgungskosten min.	€	**2664,53**		
Entsorgungskosten max	€	**6785,86**		
Entsorgungskosten mittel	€	**4502,47**		

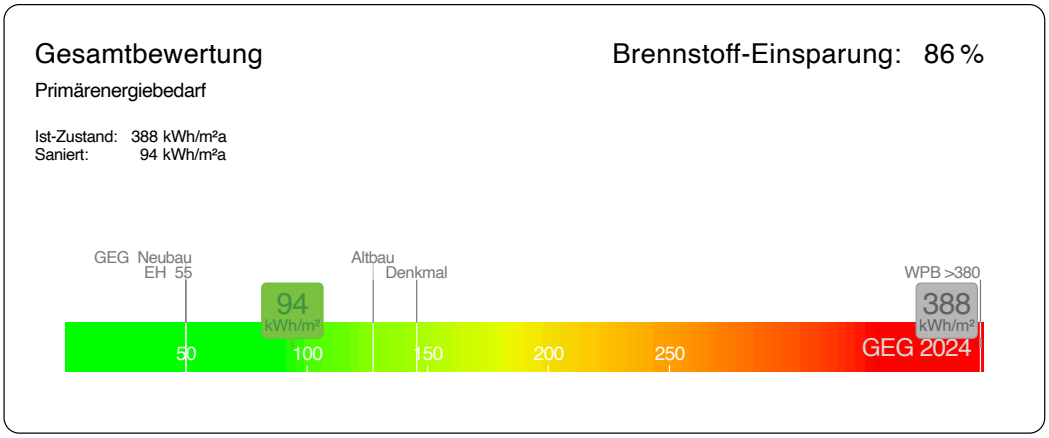
3.3 Variante 3 ökologisch

Variante 3 baut auf der Varainte 1 auf mit einer etwas stärkeren Innendämmung der Außenwände.



	Variante 3 ökologisch				
B	Außenwand Innendämmung 2				
I	geschossdecke 30cm				
X	WP 7 bis 50 kw Sole				
					Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**161.667,55 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**9.261,80 €**	Energiekosten	9261,8
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 14.332,82**		
			-61%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**57.990,18 €**		
	Ersatzherstellung		**53.462,48 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.508.755,21 €**		1235635
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
	CO_2 Preis		**308.203,73 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.816.958,94 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-5659**		
		CO2eq./m²NGFa	-0,12		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1296650**	GWP B6	1296650
		CO2eq./m²NGFa	28,48		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1303669**		
		CO2eq./m²NGFa	28,63		
	PENRT A1-A3	kWh	**91437**		
		kWh./m²NGFa	2,01		
	PENRT B6	kWh	**4167800**	PENRT B6	4167800
		kWh./m²NGFa	91,54		
	PENRT gesamt	kWh	**4203190**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**51**		46309
	Amortisationszeit	Jahre	**11**		
	Einsparung pro kWh		**€ 0,56**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**99,30**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**14,94**		
	Entsorgungskosten min.	€	**348,31**		
	Entsorgungskosten max	€	**2553,27**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**1505,18**		

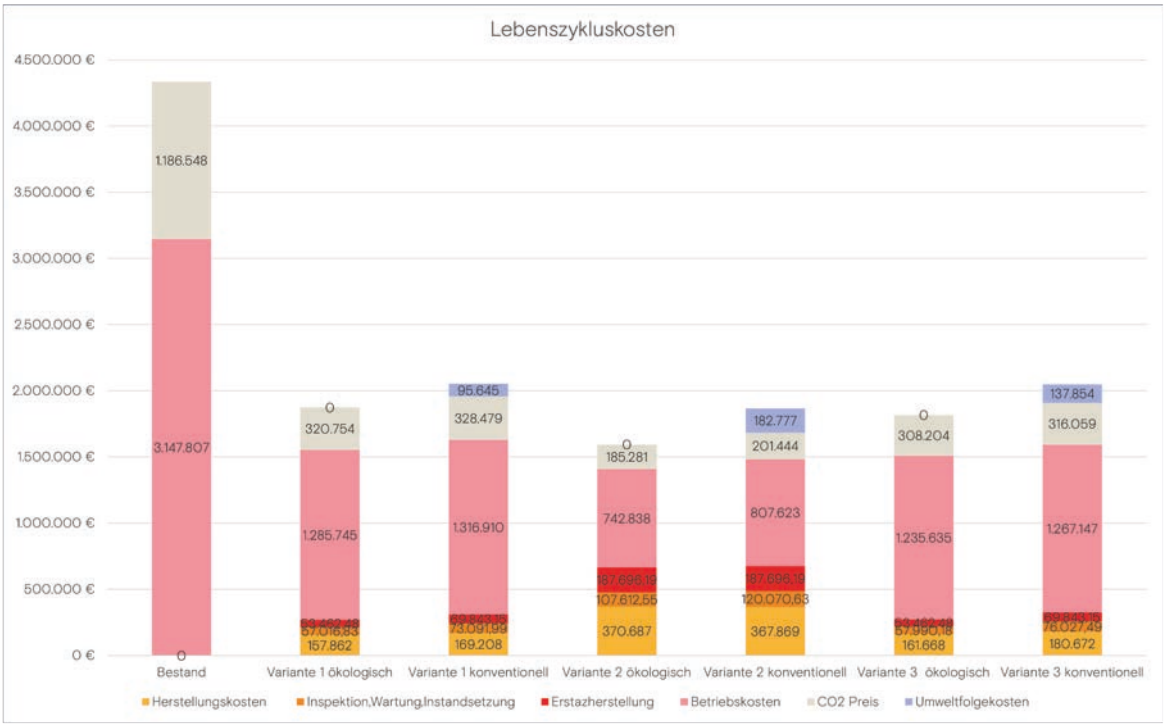
3.3 Variante 3 konventionell



	Variante 3 konventionell					
B k	Außenwand Innendämmung 2					
I k	geschossdecke 30cm					
X	WP 7 bis 50 kw Sole					
Y	RLT 1					
						Energieberater und BNBLCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**180.671,55 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**9.498,00 €**	Energiekosten		9498
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 14.096,62**			
			-60%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**76.027,49 €**			
	Ersatzherstellung		**69.843,15 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.593.689,19 €**			1267147
	Umweltfolgekosten		**137.853,76 €**			
	CO_2Preis		**316.059,46 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**2.047.602,41 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**156652,00**			
		CO2eq./m²NGFa	3,44			
	GWP B6	kg CO2eq.	**1329700,00**	GWP B6		1329700
		CO2eq./m²NGFa	29,20			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1479271,38**			
		CO2eq./m²NGFa	32,49			
	PENRT A1-A3	kWh	**461912,31**			
		kWh./m²NGFa	10,15			
	PENRT B6	kWh	**4274100**	PENRT B6		4274100
		kWh./m²NGFa	93,87			
	PENRT gesamt	kWh	**2517677,44**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**52,15242697**			47490
	Amortisationszeit	Jahre	**12,82**			
	Einsparung pro kWh		**0,623917555**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**110,12**			
	Entsorgungskosten min.	€	**1721,05**			
	Entsorgungskosten max	€	**4426,86**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**2908,62**			

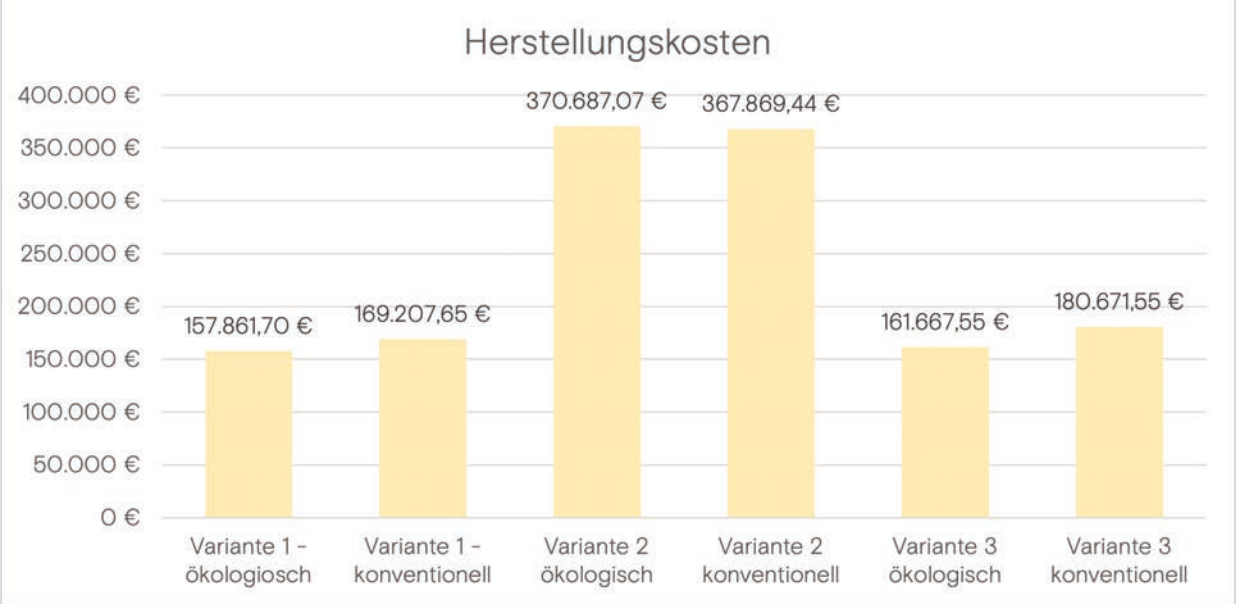
3.5 Variantenvergleich

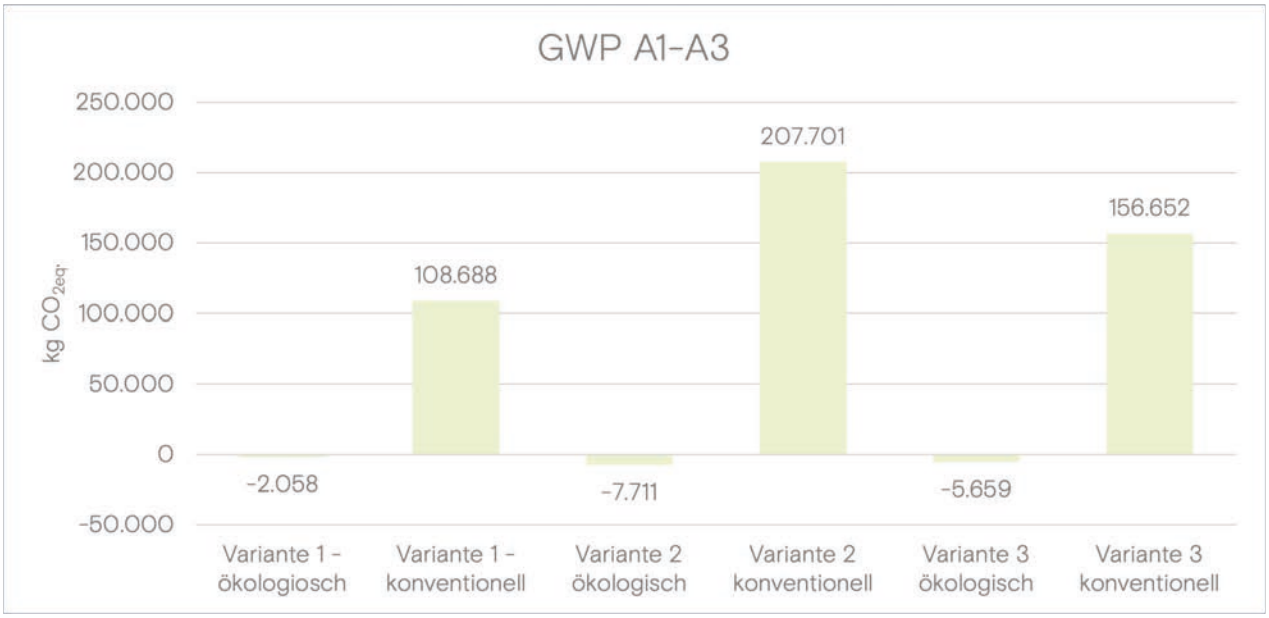
Der Vergleich der Varianten zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber dem Bestand in Bezug auf Energieverbrauch, Kostenstruktur und Umweltwirkungen. Besonders beim Endenergieverbrauch wird das Einsparpotenzial deutlich. Die größte Reduktion erzielt Variante 2 mit etwa 31–33 kWh/m²a, was einer Einsparung von rund 90 % gegenüber dem Bestand entspricht. Auch durch Variante 1 und 3 lassen sich bereits deutliche Verbesserungen mit Reduktionen von etwa 85 % erreichen. Diese Einsparungen spiegeln sich auch in den Energiekosten wider. Je nach Variante können die Energiekosten im Vergleich zum Bestand um etwa 54 % bis 70 % reduziert werden. Die geringere Einsparung der Kosten gegenüber dem Endenergieverbrauch ist auf die Umstellung auf Strom als Wärmeerzeuger zurück zu führen, für den höhere Kosten angesetzt werden als für Heizöl. Bei den Herstellungskosten zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den Varianten. Variante 2 verursacht mit rund 370.000 € mehr als doppelt so hohe Investitionskosten, was auf umfangreichere bauliche Maßnahmen zur Erreichung der höheren energetischen Qualität zurückzuführen ist. Die Betrachtung der Treibhausgasemissionen der Herstellungsphase (GWP A1–A3) zeigt, dass die ökologischen Varianten deutlich geringere Emissionen aufweisen als die konventionellen Ausführungen. Teilweise entstehen sogar negative Emissionswerte, was auf die CO_2-Speicherung in biogenen Materialien zurückzuführen ist.

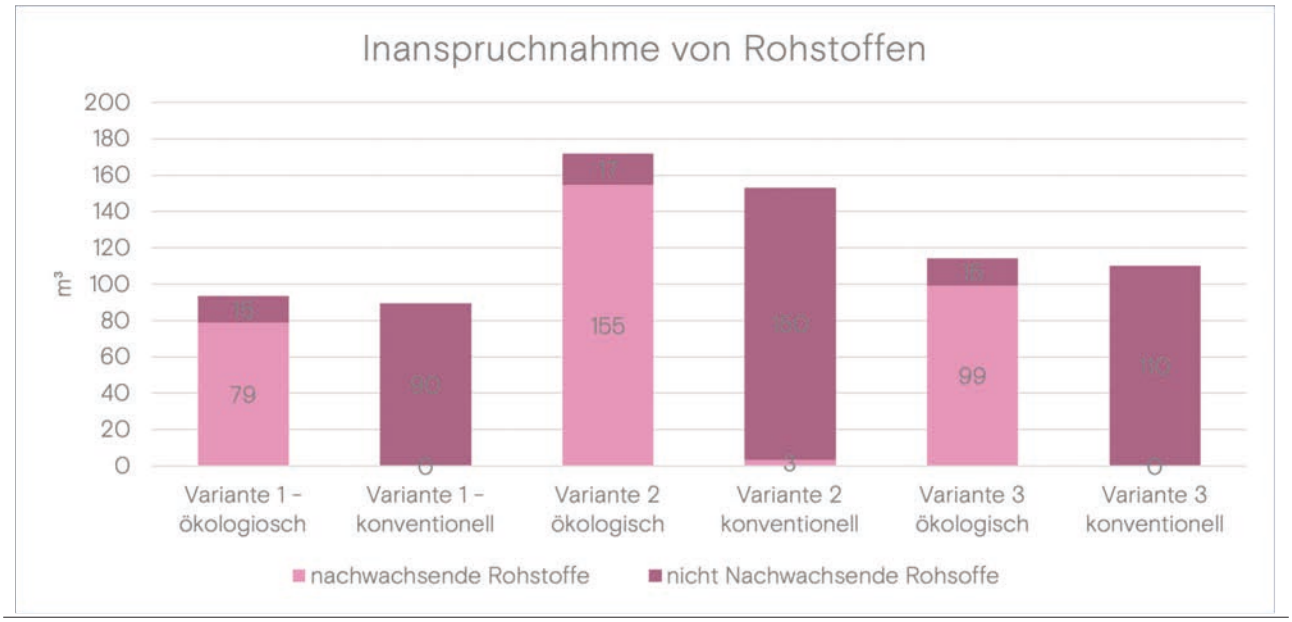


Die Betrachtung der Lebenszykluskosten zeigt, dass alle untersuchten Sanierungsvarianten deutlich günstiger sind als der Bestand. Die geringsten Lebenszykluskosten weist Variante 2 ökologisch mit etwa 1,6 Mio. € auf. Trotz der deutlich höheren Investitionskosten können diese durch geringere Betriebskosten über den Lebenszyklus teilweise kompensiert werden. Die Varianten 1 und 3 liegen mit Gesamtkosten von etwa 1,8 bis 2,0 Mio. € in einer ähnlichen Größenordnung und zeigen ebenfalls erhebliche Einsparungen gegenüber dem Bestand. Die klimafreundlichere Herstellung der ökologischen Varianten wirkt sich positiv auf die Kosten aus, sobald Umweltfolgekosten in die Berechnung einbezogen werden. Zudem zeigt sich die Umstellung von Heizöl auf Strom auch in der Lebenszykluskostenbilanz durch deutlich geringere Ausgaben für CO_2-Emissionen.

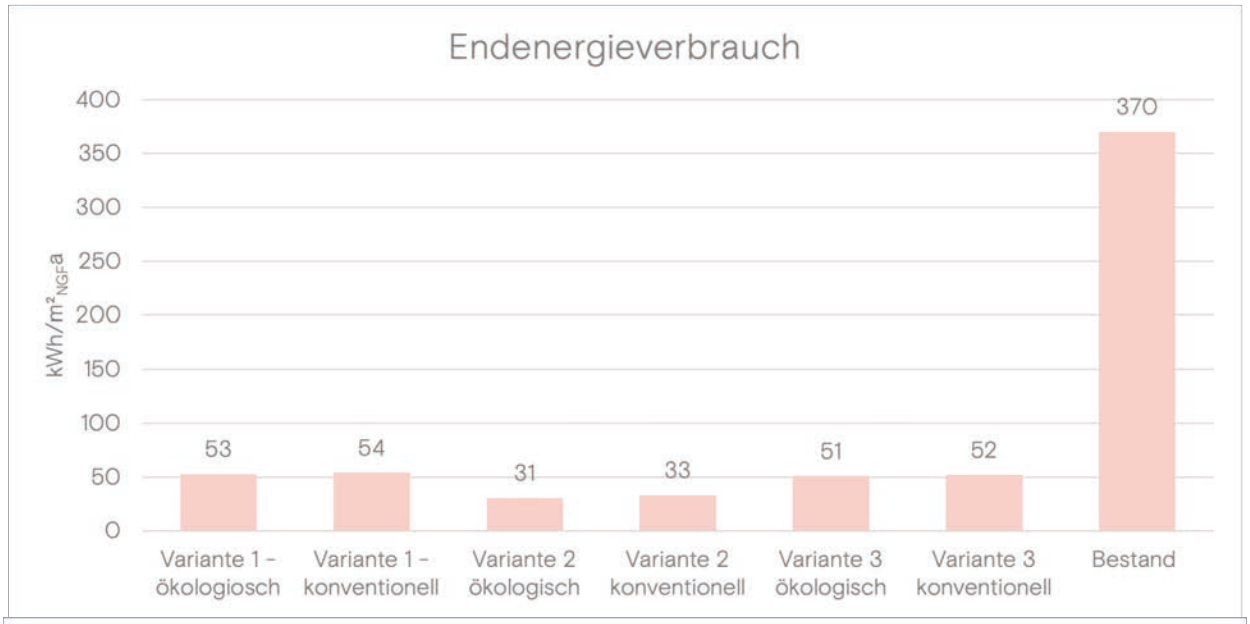
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

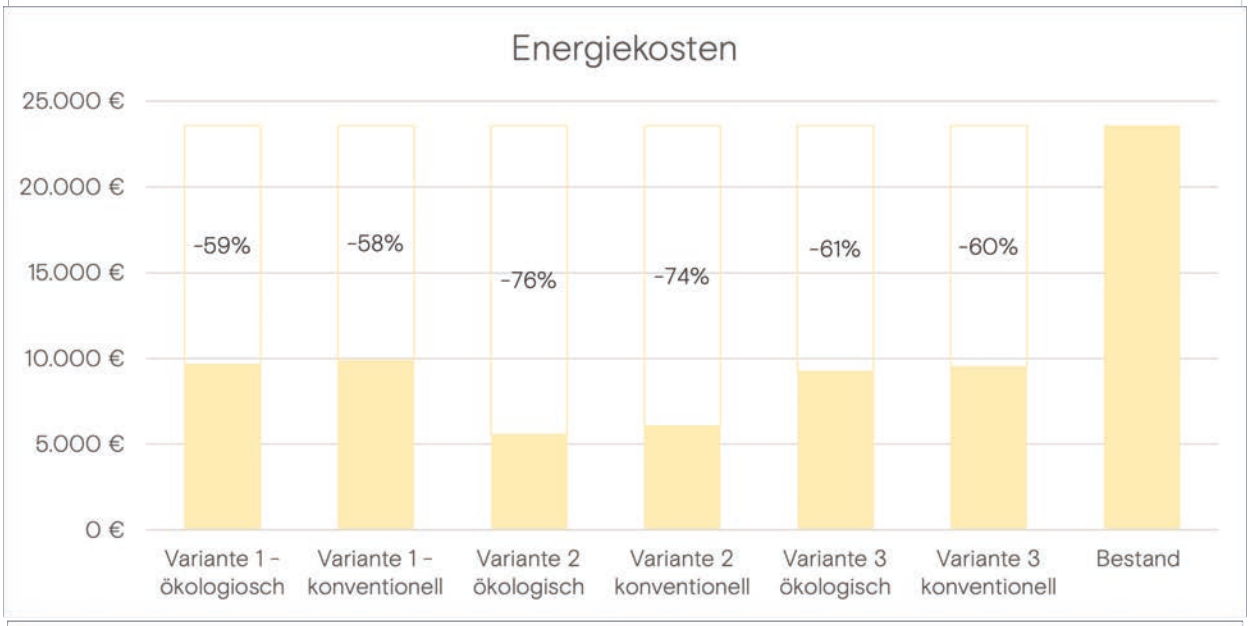


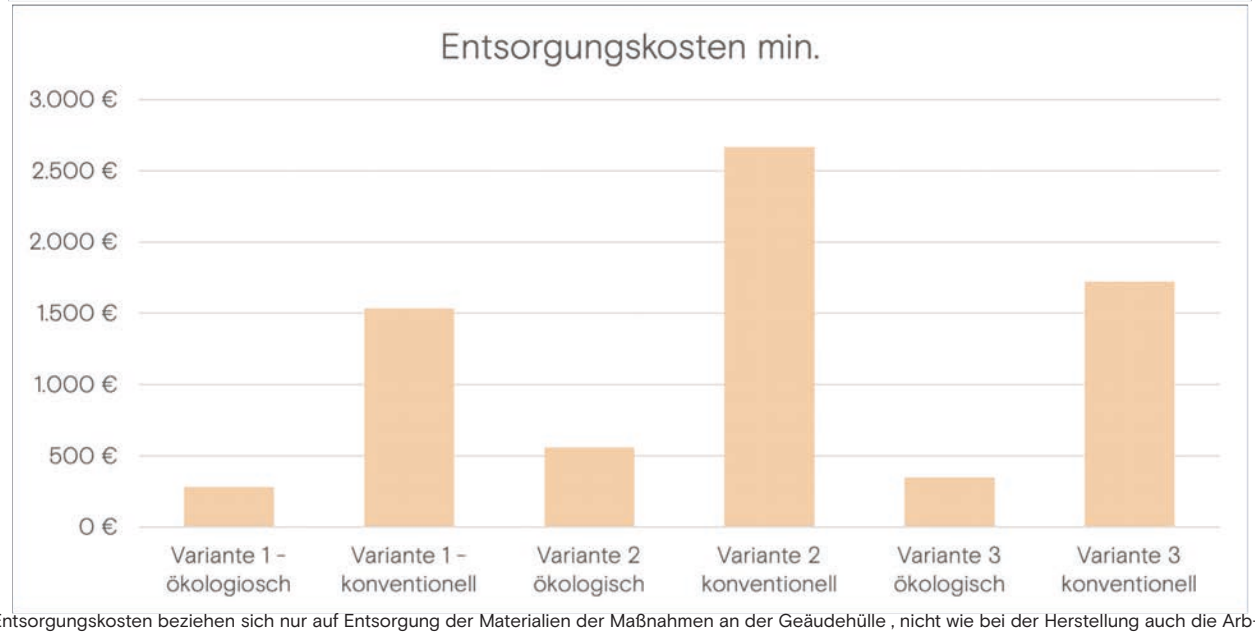




3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das betrachtete Gebäude, in der Schulstraße 8, weist aufgrund seines Alters einen vergleichsweise hohen Energieverbrauch auf. Gleichzeitig schränken denkmalpflegerische Anforderungen mögliche Eingriffe ein.

Aktuell wird das Gebäude über eine zentrale Heizungsanlage versorgt, die auch die Sporthalle am Standort bedient. Der in den Berechnungen angenommene Einsatz einer Wärmepumpe ist daher in Bezug auf die konkrete Situation am Standort als theoretische Annahme zu verstehen. Diese Vereinfachung wurde gewählt, um die Ergebnisse besser vergleichbar zu machen und eine Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf ähnliche Gebäude in Neckargemünd zu ermöglichen.

Die Analyse zeigt, dass bereits vergleichsweise moderate Maßnahmen zu erheblichen Verbesserungen führen können. Durch eine denkmalkonforme Innendämmung der Außenwände sowie die Dämmung der obersten Geschossdecke kann der Energiebedarf deutlich reduziert werden. Gleichzeitig wird damit die Voraussetzung geschaffen, das Gebäude künftig mit einem Niedertemperatursystem wie einer Wärmepumpe zu betreiben. Dieser Ansatz ermöglicht eine deutliche Reduktion der Energiekosten und CO_2 Emissionen, ohne dass umfangreiche Eingriffe in die Bausubstanz notwendig sind.
Variante 2 mit dem Ziel den Standard EH55 zu erreichen, erfordert hingegen deutlich umfangreichere bauliche Maßnahmen. Um die erforderlichen U-Werte der Bauteile zu erreichen, sind zusätzliche Eingriffe in mehrere Bauteile notwendig, wodurch die Sanierung deutlich aufwendiger und kostenintensiver wird. Zwar kann dadurch der Energieverbrauch weiter reduziert werden, der zusätzliche energetische Nutzen fällt aber im Verhältnis zu den deutlich höheren Investitionskosten vergleichsweise gering aus. In der Lebenszykluskostenbetrachtung zeigt sich daher, dass sich die höheren Anfangsinvestitionen nur teilweise durch geringere Betriebskosten kompensieren lassen.
Vor diesem Hintergrund erscheint eine Sanierungsstrategie sinnvoll, die eine deutliche energetische Verbesserung ermöglicht, ohne mit unverhältnismäßig hohen Investitionskosten verbunden zu sein. Entscheidend ist dabei vor allem, das Gebäude möglichst zeitnah auf einen klimafreundlichen pfad zu bringen. Die Ergebnisse zeigen, dass bereits mit vergleichsweise moderaten Maßnahmen der Energieverbrauch deutlich reduziert, und Betrieb mit einer Wärmepumpe ermöglicht werden kann. So eine Strategie kann daher eine wirkungsvollere Alternative zu sehr aufwendigen Sanierungskonzepten darstellen, deren hohe Anfangsinvestitionen eine tatsächliche Umsetzung erschweren könnten. Zusätzlich tragen die ökologischen Varianten durch den Einsatz nachwachsender und weitgehend kreislauffähiger Materialien dazu bei, sowohl die Emissionen der Herstellungsphase als auch die später anfallenden Abfallmengen zu reduzieren.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



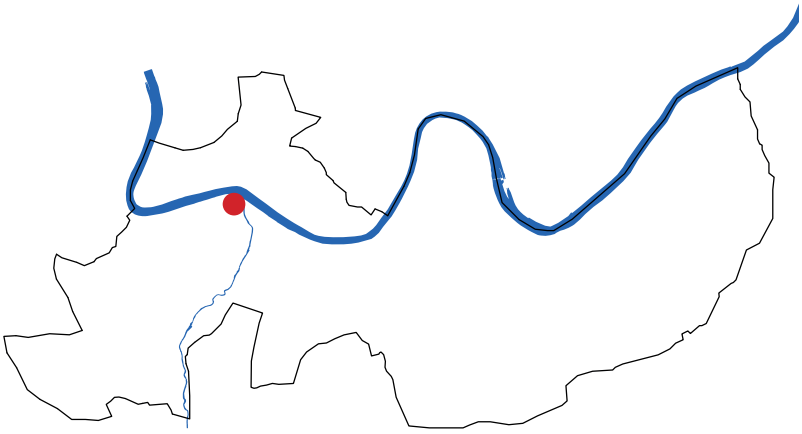
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

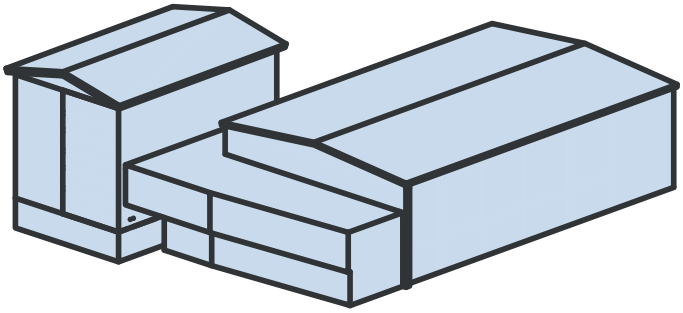
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 & 3 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.4 Variante 3 S. 17
- 3.5 Variantenvergleich S. 18

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 21



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Stahlbetonskelett
Baujahr:	1957
Denkmalschutz:	Nein
Geschosse:	4
NGF:	1032 m²
BGF:	1186 m²
Nutzung:	Veranstaltungen, Wohnen
Bruttovolumen:	3401 m³
Hüllfläche A:	1496 m²

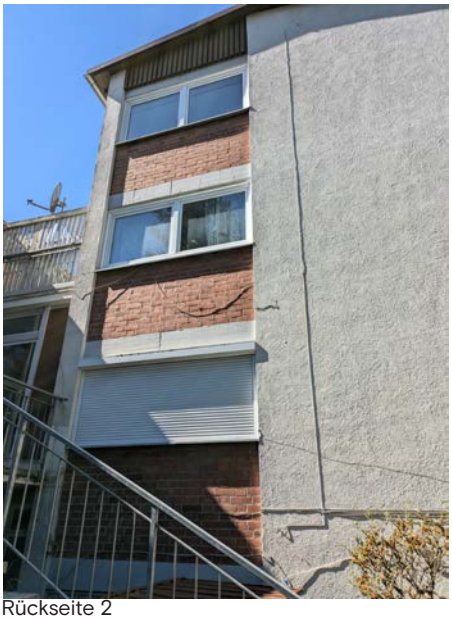
Das Martin Luther Haus ist ein Stahlbetonskelett mit einer zweigeschössigen Halle, mit Seminarräumen im EG und einem Saal im OG und einem Turmartigen Gebäude, welches Wohnungen beherbergt. Das Gebäude wurde erst 2025 von der Stadt Neckargemünd erworben, es befindet sich insgesamt in einem guten Zustand und weißt (so weit bekannt) keine Schäden auf. Unter den ausgewählten Case Study Objekten ist es eines der neusten.

2. Gebäudeaufnahme

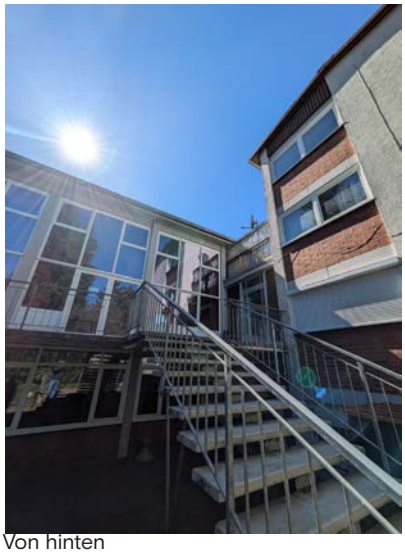
Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


VA Saal


Rückseite 2


Dach Turmgebäude


Von hinten


Garderobe EG


Dach

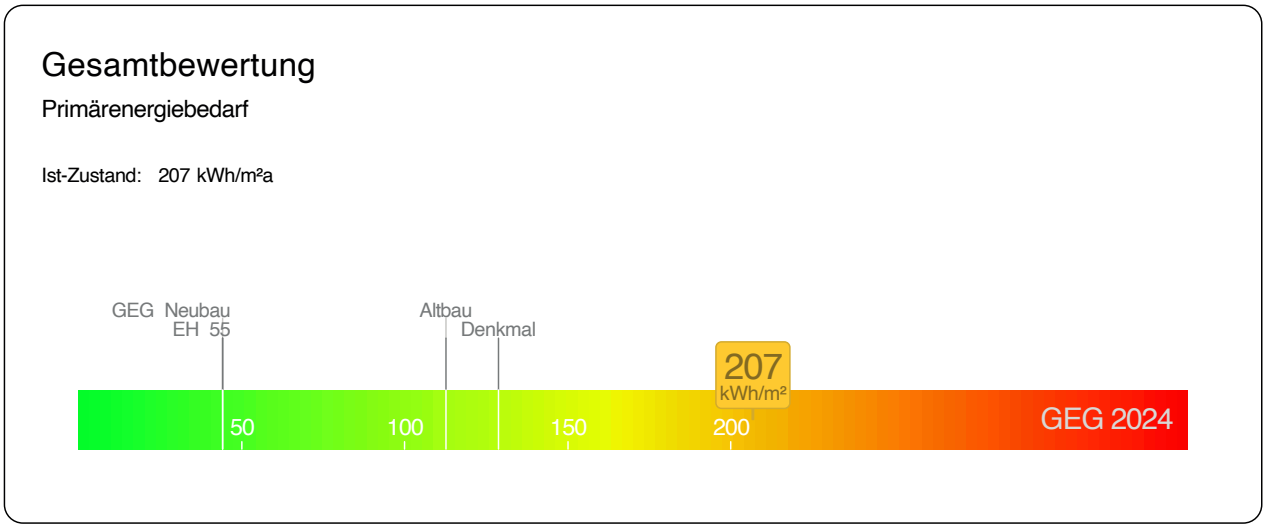

Hinterhof

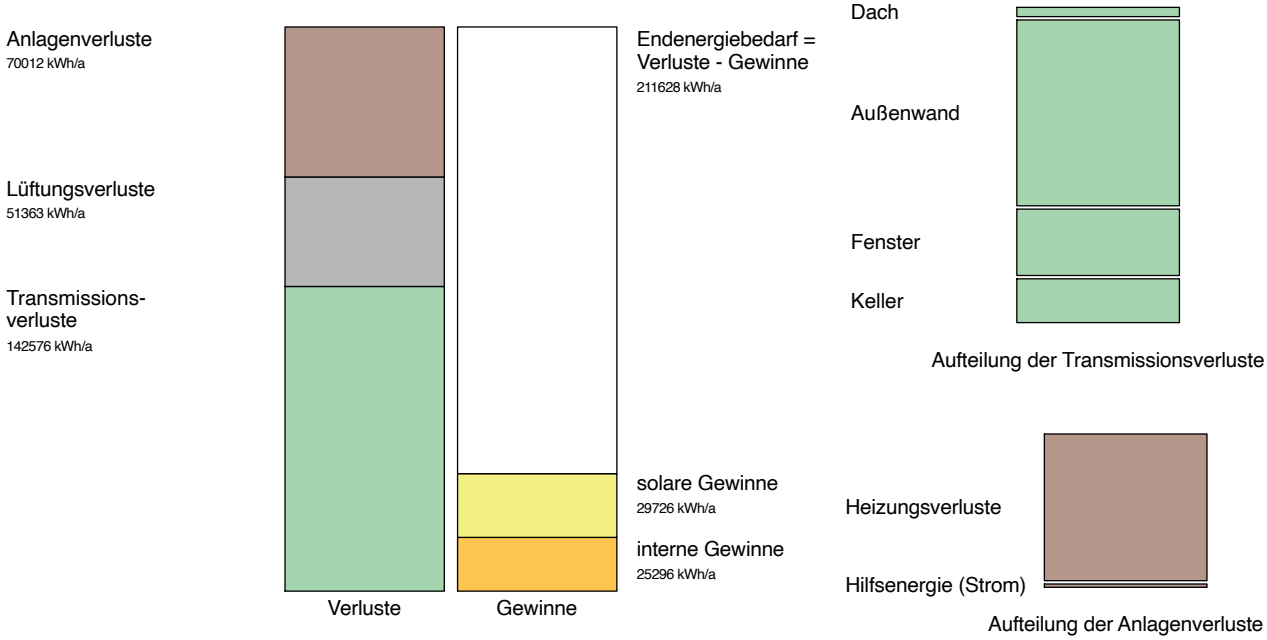
2.2 Bekannte Schäden

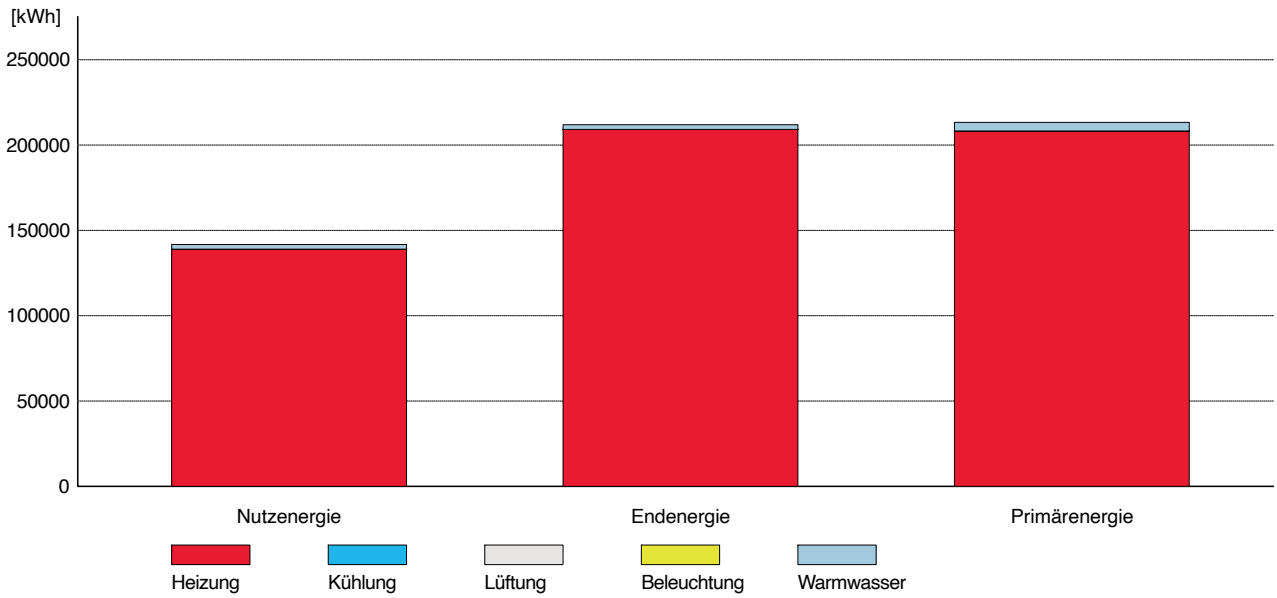
Keine

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem mittleren bis schlechten Zustand, Die Außenwände sind weitesgehend ungedämmt und die großen Fensterflächen im Veranstaltungssaal stellen einen starken Wärmeverlust dar.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
	DA	Boden OG2 003-4	15,98	0,24	0,20	0,14
	DA	Boden OG2 003-5	4,01	0,24	0,20	0,14
	DA	Flachdach-2	104,95	0,34	0,20	0,14
	DA	Geschosssdecke-1	65,26	0,17	0,20	0,14
X	TA	IT 001-1	1,70	4,00	1,8	1,3
X	TA	IT 002-1	1,70	4,00	1,8	1,3
X	TA	IT 004-2	2,00	4,00	1,8	1,3
X	TA	IT 005-1	1,70	4,00	1,8	1,3
X	WA	AW 005-3	11,69	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 007	10,49	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 008	21,51	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 009	23,06	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 009-2	23,31	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 009-3	13,71	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 010	28,62	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 011	8,10	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 012	11,39	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 012-2	0,88	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 013	1,54	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 014	1,57	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 015-1	19,63	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 016-2	4,42	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 017-2	15,10	1,95	0,24	0,20
	WA	AW 019	10,04	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 020	14,79	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 021	13,08	0,42	0,24	0,20
X	WA	AW 022	30,45	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 023	8,39	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 024	8,76	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 025	5,24	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 026	1,62	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 027	21,32	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 028	6,52	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 029	14,23	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 030	19,19	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 031	20,09	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 032	5,95	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 041	8,65	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 042	6,91	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 043	1,03	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 044	2,85	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 045	3,06	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 046	9,95	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 051	11,17	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 052	3,29	1,95	0,24	0,20

X	WA	AW 053	3,07	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 054	10,62	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 055-2	7,10	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 056-1	3,38	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 057-1	3,18	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 058-1	11,13	1,95	0,24	0,20
X	WA	AW 059	56,68	1,95	0,24	0,20
X	WE	AW 005-2	3,79	1,95	0,30	0,25
X	WE	AW 015	0,87	1,95	0,30	0,25
X	WE	AW 016	1,71	1,95	0,30	0,25
X	WE	AW 055	3,61	1,95	0,30	0,25
X	WE	AW 056	0,88	1,95	0,30	0,25
X	WE	AW 057	1,08	1,95	0,30	0,25
X	WE	AW 058	1,46	1,95	0,30	0,25
X	WK	IW 001-3	4,84	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 002	12,50	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 003	6,01	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 004	13,00	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 005	6,23	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 006	12,24	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 007	6,56	1,80	0,30	0,25
X	WK	IW 010-3	10,18	1,80	0,30	0,25
X	FA	F 007-2	8,32	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 008-2	1,51	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 009-2	1,51	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 010-2	1,51	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 011-2	1,51	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 012-2	1,51	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 014-2	7,08	3,00	1,3	0,95
X	FA	F 015-2	2,20	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 016-2	2,24	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 017-2	2,24	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 018-2	2,87	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 019-2	2,87	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 020-2	2,87	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 021-2	2,76	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 022-2	5,99	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 023-2	6,08	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 024-2	6,08	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 025-2	6,96	1,90	1,3	0,95
	FA	F 026-2	5,06	0,90	1,3	0,95
	FA	F 027-3	1,48	0,90	1,3	0,95
	FA	F 027-4	5,34	0,90	1,3	0,95
	FA	F 028-2	5,76	0,90	1,3	0,95
	FA	F 029-2	4,42	0,90	1,3	0,95
	FA	F 030-2	5,06	0,90	1,3	0,95
X	FA	F 031-2	3,56	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 032-4	6,91	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 033-4	8,88	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 034-4	6,91	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 035-4	4,99	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 036-4	6,91	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 037-4	2,74	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 038-4	2,74	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 039-4	2,74	2,70	1,3	0,95

X	FA	F 040-4	2,74	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 041-1	1,03	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 042-1	1,03	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 047-1	2,59	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 048-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 049-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 050-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 051-1	1,12	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 052-1	0,39	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 053-1	0,39	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 054-1	1,64	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 055-1	1,34	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 056-1	1,89	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 057-1	1,89	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 058-1	1,89	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 062-1	0,93	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 064-1	1,34	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 067-1	1,64	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 069-1	0,39	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 070-1	0,39	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 073-1	1,12	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 074-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 075-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 076-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 081-1	1,89	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 082-1	1,89	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 083-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 084-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 085-1	1,50	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 086-1	2,59	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 087-1	2,59	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 088-3	4,79	1,90	1,3	0,95
X	BA	Boden OG1-2	8,69	2,10	0,24	0,20
	BA	Boden OG1 002-12	1,46	0,24	0,24	0,20
X	BE	Boden EG 003-2	151,57	1,20	0,30	0,25
X	BE	Boden EG 003-3	188,32	1,20	0,30	0,25
X	BE	Boden EG 003-4	70,08	1,20	0,30	0,25
X	BK	Boden EG 002-2	86,58	2,30	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der GEG vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(mK)) einzubauen. Soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,045 W/(mK) einzuhalten. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert von 1,30 W/m²K.

**) Die Anforderungen an U-Werte sind bei der Sanierung der jeweiligen Bauteile für eine Förderungen als Einzelmaßnahme einzuhalten (siehe Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen)

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über einen Gaskessel, die Warmwasserbereitung durch dezentrale Durchlauferhitzer.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kombi-Kessel von 2005 Nennleistung: 111,01 kW Energieträger: Erdgas E
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 745,1 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,30 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p konstant
Übergabe	- Übergabe 1 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Hörsaal, Auditorium' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler' - Übergabe 2 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Besprechung, Sitzung, Seminar' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler' - Übergabe 3 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Sonstige Aufenthaltsräume' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler' - Übergabe 4 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Flurs' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'PI-Regler'

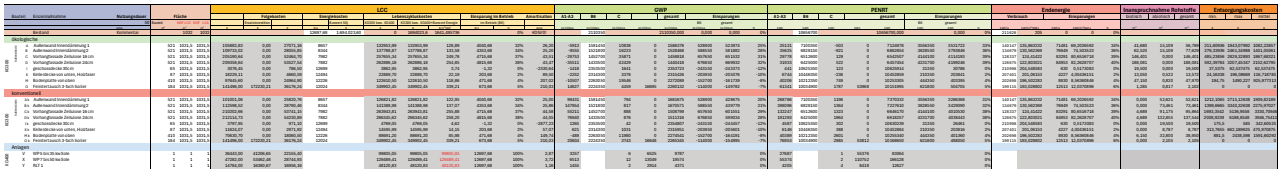
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Elektro-Durchlauferhitzer von 2005 - Nennleistung 34,14 kW Energieträger: Strom-Mix
Verteilung	- TWW-Kreis 1 dezentral ohne Zirkulation' 4,0 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,20 W/(mK) gedämmt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Sonstige Aufenthaltsräume' mit 100 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

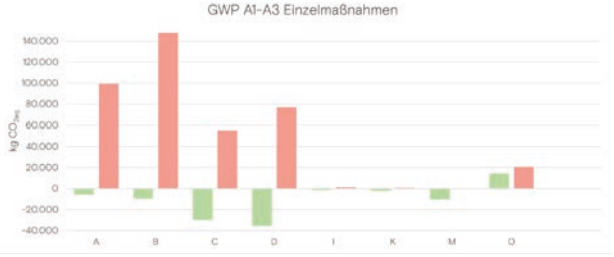
Untersucht wurden verschiedene Maßnahmen für einzelne Gebäudeteile aufgrund des Bauunterschieds. Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Dach, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

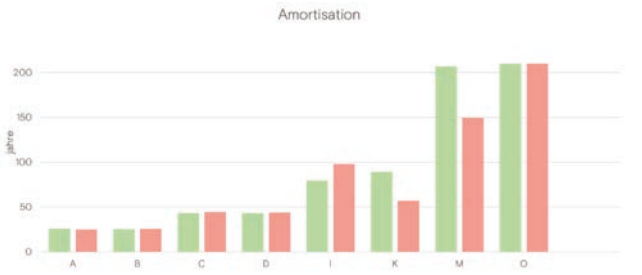
KG300	Außenwände	A	Außenwand Innendämmung 1
		B	Außenwand Innendämmung 2
		C	Vorhangfassade Zellulose 16 cm
		D	Vorhangfassade Zellulose 24cm
		I	geschossdecke 30cm
		K	Kellerdecke von unten, Holzfaser
		M	Bodenplatte von oben
		O	Fenstertausch 3-fach Isolier
Anlagen			
KG400		V	WP 5 bis 35 kw Sole
		X	WP 7 bis 50 kw Sole
		Y	RLT 1

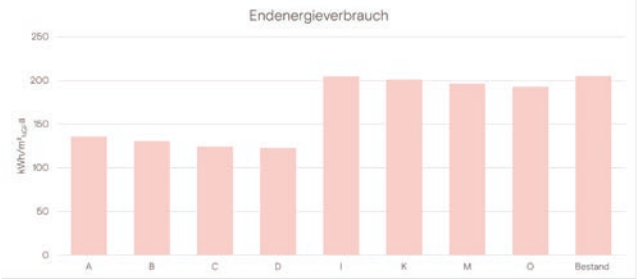
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung den mit Abstand größten Effekt bringt, wobei eine Innendämmung deutlich kostengünstiger ist und einen beinahe eben so großen Effekt auf den Endenergievrbrauch hat wie eine Vorhangfassade. Ein Austausch der Fenster ist auch erforderlich.
Außerdem weißt das Global Warming Potential Diagramm die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.
Es wird auch deutlich, dass die anderen Maßnahmen einen verhätnismäßig kleinen Effekt haben, dennoch können diese sinnvoll oder auch notwendig sein um zu starke Wärmebrücken und Feuchtigkeitsprobleme zu vermeiden.



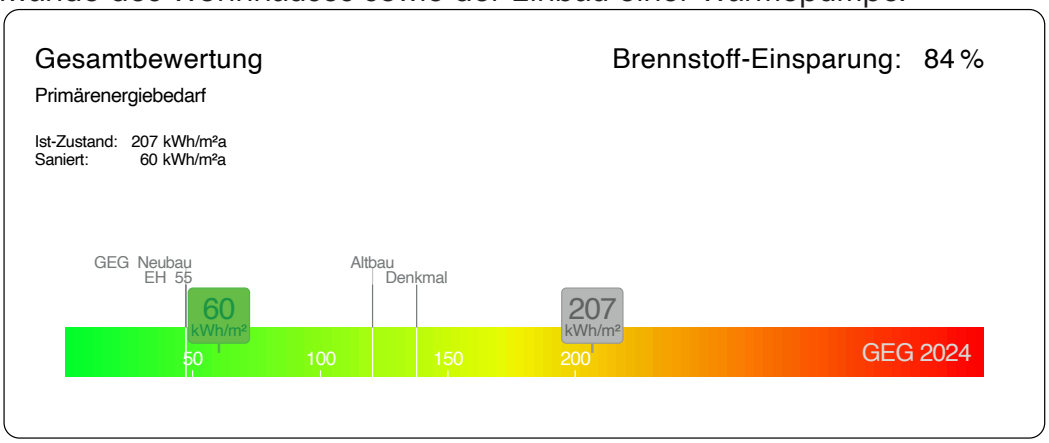






3.2 Variante 1&3 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren, bei dem Gebbäudese genügt hierfür eine Innendämmung der Außenwände des Wohnhauses sowie der Einbau einer Wärmepumpe.



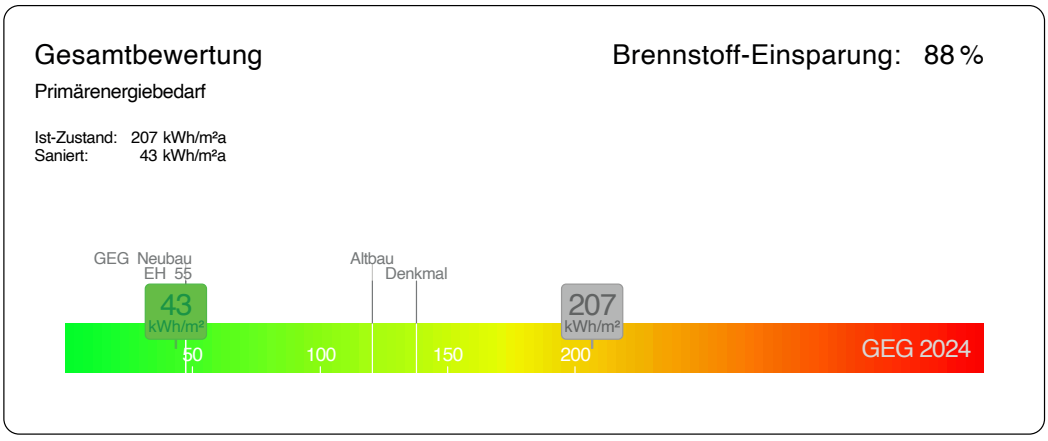
	Variante 1 - ökologiosch				
A	Außenwand Innendämmung 1				
X	WP 7 bis 50 kw Sole				
					Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**153.164,83 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**6.894,80 €**	Energiekosten	6894,8
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.802,88**		
			-46%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**55.816,09 €**		
	Ersatzherstellung		**53.462,48 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.182.292,40 €**		919849
	Umweltfolgekosten		**528,53 €**		
	CO_2 Preis		**229.432,50 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.412.253,43 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**601**		
		CO2eq./m²NGFa	0,01		
	GWP B6	kg CO2eq.	**965250**	GWP B6	965250
		CO2eq./m²NGFa	18,71		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**970.175,95**		
		CO2eq./m²NGFa	18,80		
	PENRT A1-A3	kWh	**80505**		
		kWh./m²NGFa	1,56		
	PENRT B6	kWh	**3102650**	PENRT B6	3102650
		kWh./m²NGFa	60,13		
	PENRT gesamt	kWh	**3127278**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**33**		34474
	Amortisationszeit	Jahre	**26**		
	Einsparung pro kWh		**0,86 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**41,68**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**15,11**		
	Entsorgungskosten min.	€	**211,61**		
	Entsorgungskosten max	€	**1943,08**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**1082,23**		

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	60,2	þ 120,5	86,1	¨ 34,4	¨ 47,3	þ 60,2	þ 137,7
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,54	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,1	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,0	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,51	þ 0,84		¨ 0,24	¨ 0,28	¨ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	1,8	þ 4,9		¨ 1,3	¨ 1,5	¨ 1,7	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	2,0	þ 5,5		þ 2,0	þ 2,5	þ 2,8	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

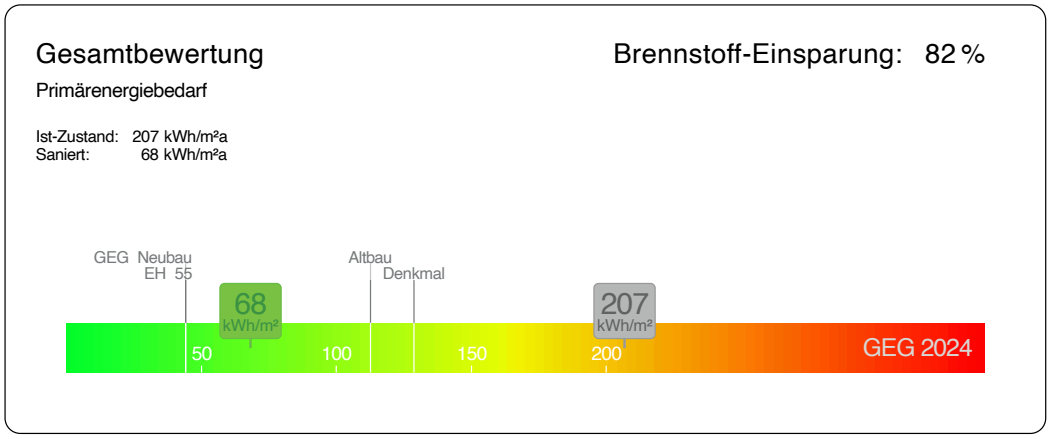
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 148,43 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 31,54 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 17316,00 kWh

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 42,97 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 9,13 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 17316,00 kWh



Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	43,4	þ 120,5	86,1	¨ 34,4	þ 47,3	þ 60,2	þ 137,7
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,54	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,1	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,0	þ 4,3		¨ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,51	þ 0,84		¨ 0,24	¨ 0,28	¨ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	1,8	þ 4,9		¨ 1,3	¨ 1,5	¨ 1,7	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	2,0	þ 5,5		þ 2,0	þ 2,5	þ 2,8	

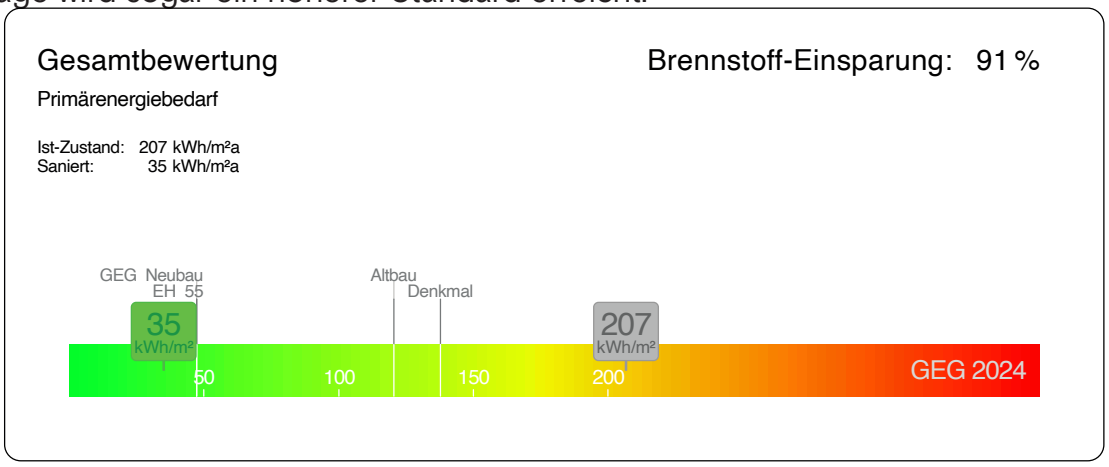
3.2 Variante 1 konventionell



	Variante 1 - konventionell				
Ak	Außenwand Innendämmung 1				
X	WP 7 bis 50 kw Sole				
Y	RLT 1				
					Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**163.067,06 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**7.813,60 €**	Energiekosten	7813,6
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 4.884,08**		
			-38%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**71.521,85 €**		
	Ersatzherstellung		**69.843,15 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.346.860,06 €**		1042428
	Umweltfolgekosten		**94.511,28 €**		
	CO_2 Preis		**260.011,62 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.701.382,95 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**107399**		
		CO2eq./m²NGFa	2,08		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1093900**	GWP B6	1093900
		CO2eq./m²NGFa	21,20		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1.194.124,67**		
		CO2eq./m²NGFa	23,14		
	PENRT A1-A3	kWh	**328365**		
		kWh./m²NGFa	6,36		
	PENRT B6	kWh	**3516100**	PENRT B6	3516100
		kWh./m²NGFa	68,14		
	PENRT gesamt	kWh	**3786082**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**38**		39068
	Amortisationszeit	Jahre	**33**		
	Einsparung pro kWh		**0,94 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**52,62**		
	Entsorgungskosten min.	€	**1212,11**		
	Entsorgungskosten max	€	**2715,13**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**1909,82**		

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen. Beim Martin Luther Haus ist dies durch den Einsatz verschiedener Maßnahmen des Baukastens an verschiedenen Gebäudeteilen möglich, durch den zusätzlichen Eau einer PV-Anlage wird sogar ein höherer Standard erreicht.



	Variante 2 ökologisch					
D	Vorhangfassade Zellulose 24cm					
K	Kellerdecke von unten, Holzfaser					
M	Bodenplatte von oben					
O	Fenstertausch 3-fach Isolier					
V	WP 5 bis 35 kw Sole					
						Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**503.172,35 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**4.004,40 €**	Energiekosten		4004,4
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 8.693,28**			
			-68%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**141.484,67 €**			
	Ersatzherstellung		**213.436,86 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.392.328,88 €**			534235
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2 Preis		**133.262,19 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.525.591,08 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-30386**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,59			
	GWP B6	kg CO_2eq.	**560650**	GWP B6		560650
		CO2eq./m²NGFa	10,87			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**613.514,86**			
		CO2eq./m²NGFa	11,89			
	PENRT A1-A3	kWh	**167911**			
		kWh./m²NGFa	3,25			
	PENRT B6	kWh	**1302000**	PENRT B6		1302000
		kWh./m²NGFa	25,23			
	PENRT gesamt	kWh	**1499013**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**19**			20022
	Amortisationszeit	Jahre	**58**			
	Einsparung pro kWh		**2,63 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**249,57**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**2,16**			
	Entsorgungskosten min.	€	**811,31**			
	Entsorgungskosten max	€	**4893,77**			

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	34,9	þ 120,5	86,1	34,4	þ 47,3	þ 60,2	þ 137,7
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	0,55	þ 4,34		þ 1,60	þ 2,00	þ 2,40	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,22	þ 0,84		þ 0,24	þ 0,28	þ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,90	þ 4,90		þ 1,30	þ 1,50	þ 1,70	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	0,55	þ 5,46		þ 2,00	þ 2,50	þ 2,80	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 148,43 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 31,54 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 17316,00 kWh

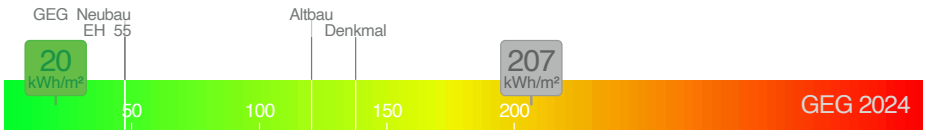
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 42,97 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 9,13 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 17316,00 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 95 %

Primärenergiebedarf

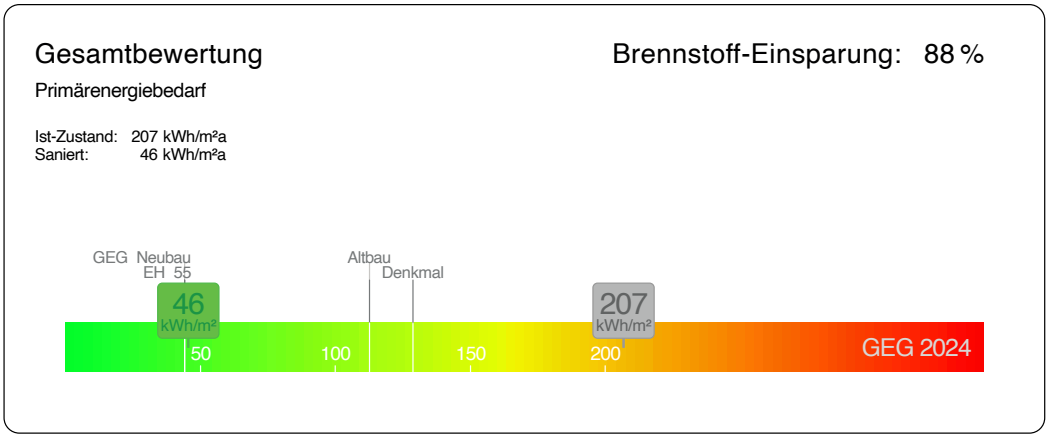
Ist-Zustand: 207 kWh/m²a
Saniert: 20 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	20,1	þ 120,5	86,1	þ 34,4	þ 47,3	þ 60,2	þ 137,7
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	0,55	þ 4,34		þ 1,60	þ 2,00	þ 2,40	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,22	þ 0,84		þ 0,24	þ 0,28	þ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,90	þ 4,90		þ 1,30	þ 1,50	þ 1,70	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	0,55	þ 5,46		þ 2,00	þ 2,50	þ 2,80	

3.3 Variante 2 konventionell



	Variante 2 konventionell				
D k	Vorhangfassade Zellulose 24cm				
K k	Kellerdecke von unten, Holzfaser				
M k	Bodenplatte von oben				
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier				
V	WP 5 bis 35 kw Sole				

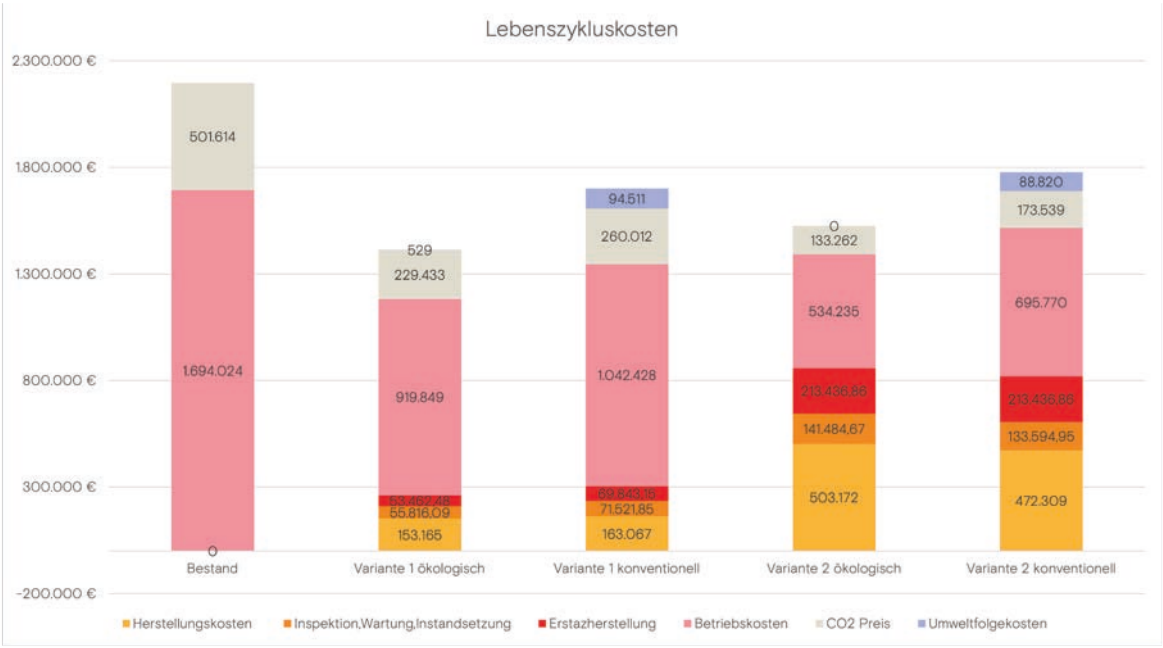
				Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**472.308,50 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**5.215,20 €**	Energiekosten	5215,2
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 7.482,48**		
		-59%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**133.594,95 €**		
Ersatzherstellung		**213.436,86 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.515.110,31 €**		695770
Umweltfolgekosten		**88.819,88 €**		
CO_2 Preis		**173.539,15 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.777.469,35 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**100932**		
	CO2eq./m²NGFa	1,96		
GWP B6	kg CO2eq.	**730100**	GWP B6	730100
	CO2eq./m²NGFa	14,15		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**862054**		
	CO2eq./m²NGFa	16,71		
PENRT A1-A3	kWh	**342468**		
	kWh./m²NGFa	6,64		
PENRT B6	kWh	**2346800**	PENRT B6	2346800
	kWh./m²NGFa	45,48		
PENRT gesamt	kWh	**2723331**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**25**		26076
Amortisationszeit	Jahre	**63**		
Einsparung pro kWh		**2,55 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**0,00**		
Entsorgungskosten min.	€	**3204,19**		
Entsorgungskosten max	€	**9289,64**		
Entsorgungskosten mittel	€	**6009,33**		

3.2 Variante 3

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar. Bei diesem Gebäude erweist sich die Variante 1 bei der ausschließlich die Außenwände mit einer Innendämmung gedämmt werden als die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollere, da für die Variante 2 erhebliche Mehrkosten in der Erstherstellung entstehen. Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend den Übersichten auf Seite 18 (ökologisch) und Seite 20 (konventionell) zu entnehmen.

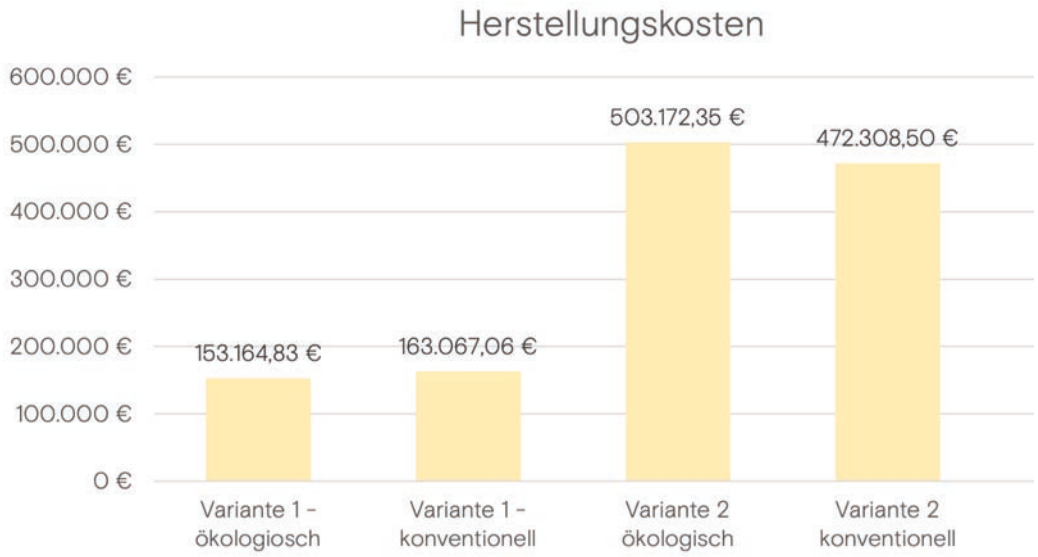
3.5 Variantenvergleich

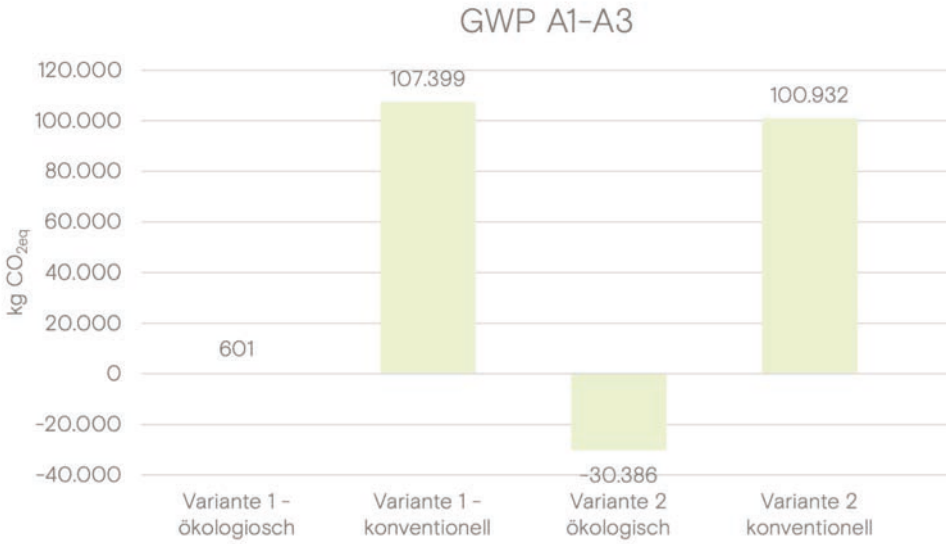
Der Vergleich der untersuchten Varianten zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber dem Bestand hinsichtlich Energieverbrauch, Betriebskosten und Umweltwirkungen. Besonders deutlich wird dies beim Endenergieverbrauch. Variante 2 reduziert den Energieverbrauch um rund 90 % gegenüber dem Bestand, aber auch schon durch Variante 1 bzw. 3 wird eine Reduktion von etwa 80–84 % erreicht. Die geringeren Energieverbräuche spiegeln sich auch in den Energiekosten wider, wobei der Unterschied zwischen Energieeinsparung und Energiekosteneinsparung durch die Umstellung von Gas (6ct/kWh) auf Strom (20ct/kWh) als Wärmeerzeuger kommt.
Bei den Herstellungskosten zeigen sich klare Unterschiede zwischen den Varianten. Variante 2 verursacht mit rund 470.000–503.000 € deutlich höhere Investitionskosten und ist damit etwa dreimal so teuer wie Variante 1/3. Diese höheren Kosten ergeben sich aus umfangreicheren baulichen Maßnahmen zur weiteren Reduktion des Energiebedarfs um den EH55 Standard zu erreichen.
Hinsichtlich der Umweltwirkungen zeigen sich klare Unterschiede zwischen den Bauweisen. Die Betrachtung der Treibhausgasemissionen der Herstellungsphase (GWP A1–A3) zeigt, dass die ökologischen Varianten deutlich geringere Emissionen verursachen. In der ökologischen Ausführung von Variante 2 entstehen sogar negative Emissionswerte, was auf die CO_2-Speicherung in biogenen Materialien zurückzuführen ist. Die konventionellen Varianten weisen dagegen deutlich höhere Emissionen auf, da sie überwiegend aus nicht nachwachsnedcen Rohstoffen hergestellt werden. Was sich auch am ende des Lebenszyklus in deutlich höheren Entsorgungskosten wiederspiegelt.

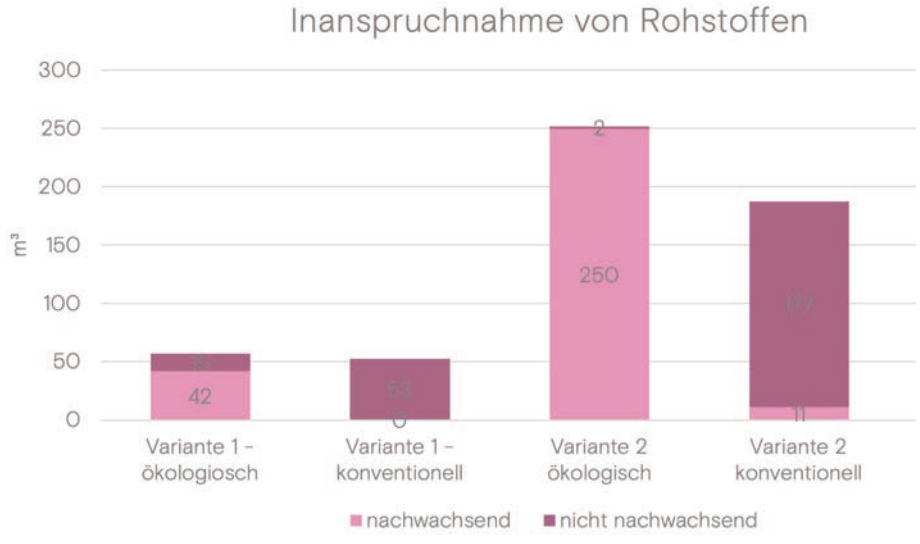


Die Betrachtung der Lebenszykluskosten zeigt, dass alle untersuchten Sanierungsvarianten gegenüber dem Bestand deutliche vorteile aufweisen. Die niedrigsten Lebenszykluskosten weist Variante 1/3 ökoligisch auf. Trotz relativ geringer Investitionskosten können hier deutliche Einsparungen im Betrieb erzielt werden. Variante 2 verursacht aufgrund der deutlich höheren Investitionskosten höhere Gesamtkosten, obwohl der Energieverbrauch und die Betriebskosten niedriger ausfallen. Damit zeigt sich, dass eine weitere Reduktion des Energieverbrauchs zwar möglich ist, der zusätzliche Nutzen jedoch durch die deutlich höheren Anfangsinvestitionen teilweise relativiert wird. Die Ergebnisse verdeutlichen somit den Zielkonflikt zwischen maximaler energetischer Effizienz und wirtschaftlicher Umsetzbarkeit über den gesamten Lebenszyklus.

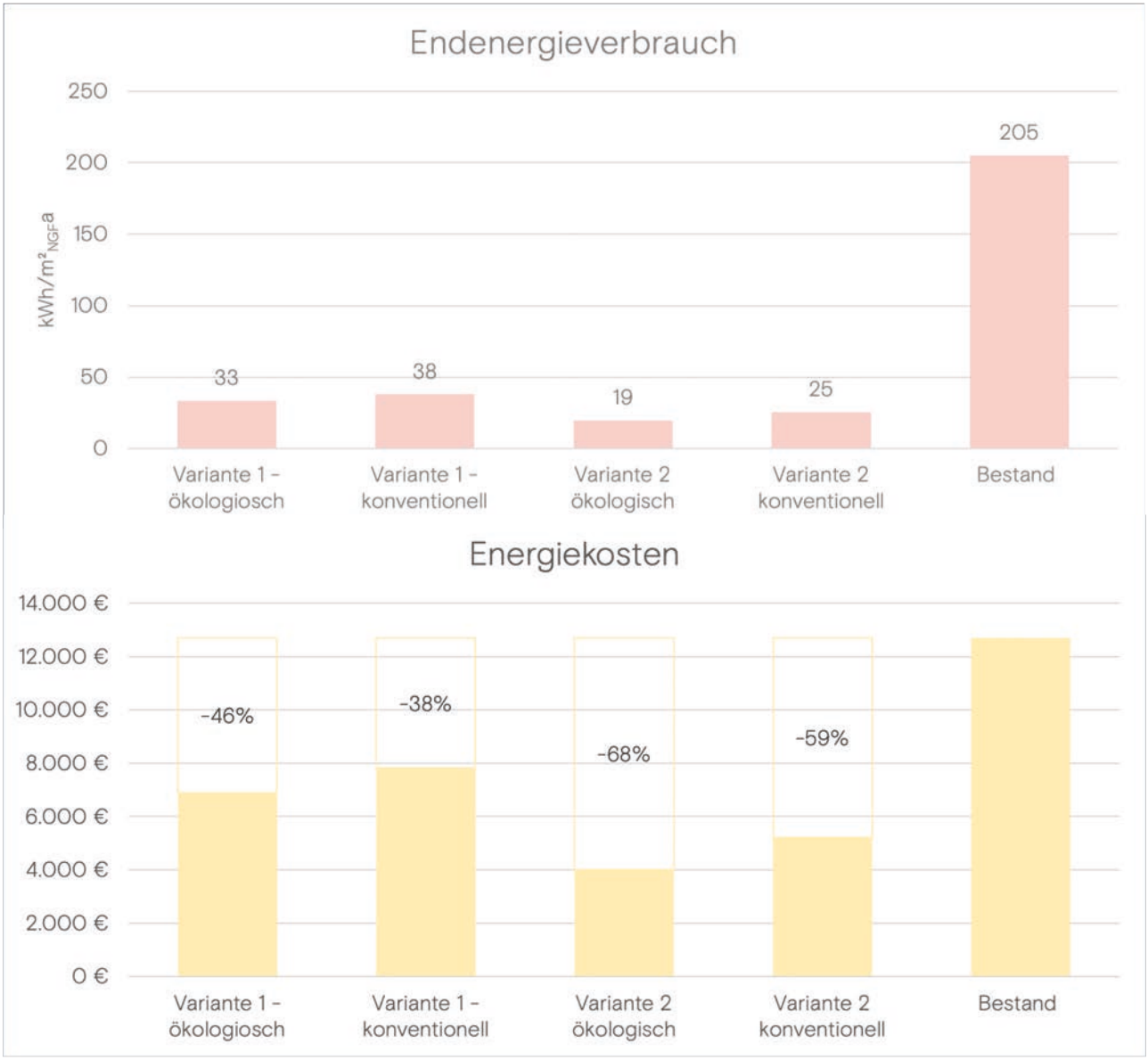
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

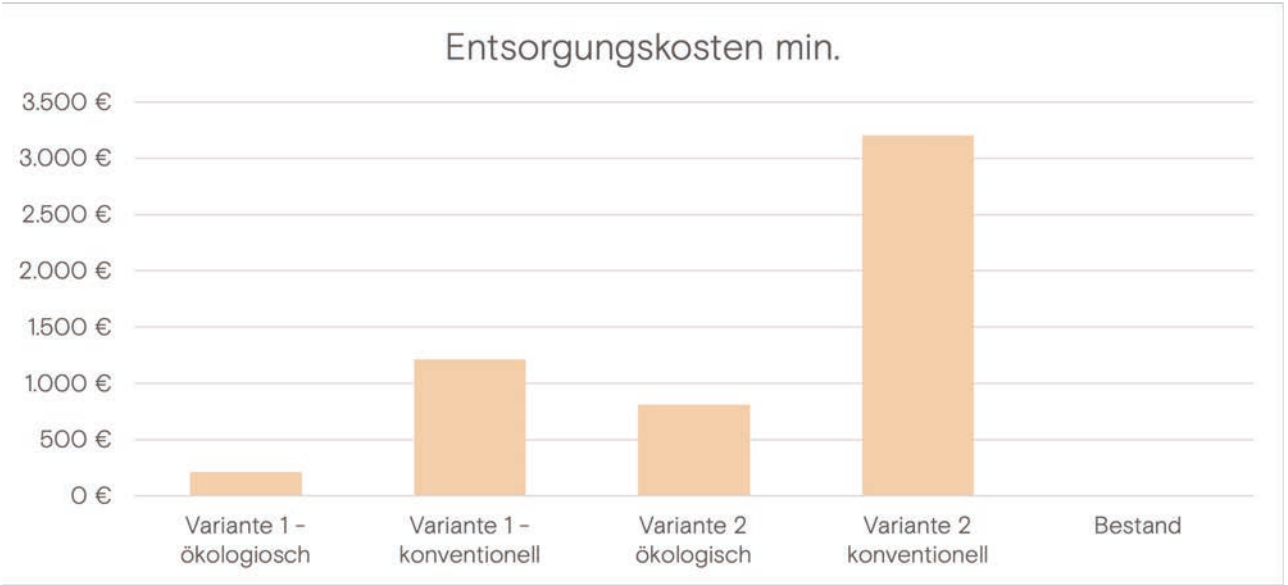






3.5 Variantenvergleich - Betrieb





*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Martin Luther Haus ist insgesamt in einem relativ guten Zustand, energetisch jedoch eher auf einem schlechten Stand. Die Untersuchung der verschiedenen Sanierungsvarianten zeigt, dass bei dem Gebäude erhebliche Verbesserungen hinsichtlich Energieverbrauch, Kostenstruktur und Umweltwirkungen möglich sind.
Die Ergebnisse zeigen, dass bereits mit moderaten Maßnahmen deutliche Reduktionen des Energieverbrauchs erreicht werden können. Variante 1/3 ermöglicht eine erhebliche Senkung des Endenergieverbrauchs und der Energiekosten bei vergleichsweise geringen Investitionskosten. Damit kann der Gebäudebetrieb deutlich effizienter gestaltet werden, durch die Umstellung auf eine möglichst klimaneutrale Wärmeversorgung (Voraussetzung ist nutzung von regenerativem Strom!), ohne dass umfangreiche bauliche Eingriffe erforderlich sind. Gleichzeitig zeigen die ökologischen Versionen Vorteile hinsichtlich der Emissionen in der Herstellungsphase durch dievorrangige Nutzung nachwachsender Rohstoffe.
Die ambitioniertere Variante 2 führt zwar zu einer weiteren Reduktion des Energieverbrauchs, ist jedoch mit deutlich höheren Investitionskosten verbunden. Diese höheren Anfangskosten wirken sich auch in der Lebenszykluskostenbetrachtung aus. Der Vergleich zeigt, dass eine besonders hohe energetische Optimierung nicht zwangsläufig die wirtschaftlich sinnvollste Lösung darstellt. Zudem erfordert diese Variante einen sehr hohen Einsatz an Rohstoffen. Auch bei nachwachsenden Materialien sollte jedoch darauf geachtet werden, Ressourcen möglichst sparsam und verantwortungsvoll einzusetzen.
Vor diesem Hintergrund erscheint eine Sanierungsstrategie sinnvoll, die eine deutliche energetische Verbesserung ermöglicht, ohne mit sehr hohen Investitionskosten und Materialaufwand verbunden zu sein. Eine Umsetzung der Maßnahmen der Variante 1/3 stellt einen ausgewogenen Kompromiss zwischen Energieeinsparung, Wirtschaftlichkeit und Klimawirkung dar. Gleichzeitig zeigt der Einsatz nachwachsender Materialien Potenziale zur Reduktion der Emissionen der Herstellungsphase sowie der später anfallenden Kosten zur Entsorgung (wobei Entsorgung grundsätzlich vermieden werden sollte, viele der Materialien insbesondere der ökologischen Bauweise können in den Kreislaufzurückgeführt bzw. wieder Verwendet werden).

Insgesamt zeigt die Untersuchung, dass bereits mit vergleichsweise moderaten Maßnahmen ein deutlicher Schritt in Richtung eines klimafreundlicheren Gebäudebetriebs möglich ist. Eine solche Strategie kann daher eine realistische Grundlage für zukünftige Sanierungsentscheidungen, auch anderer Gebäude dieses Typs, darstellen.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden eventuell notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



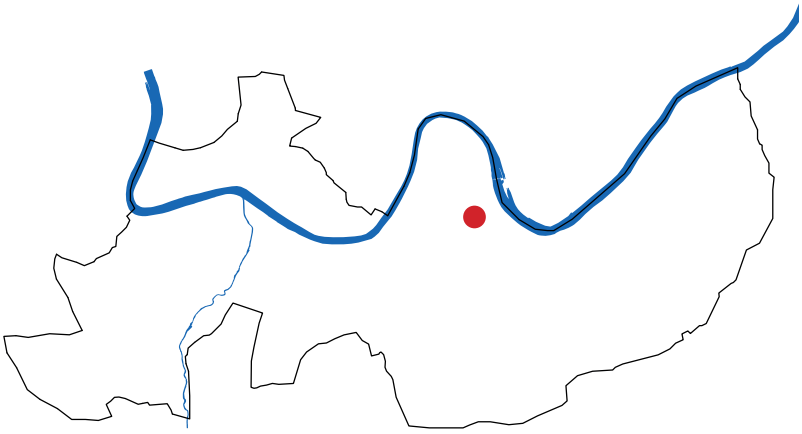
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

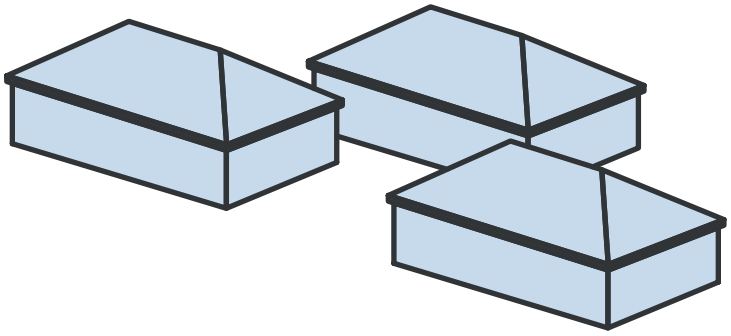
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 & 3 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.5 Variantenvergleich S. 18

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 21



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Massivhaus
Baujahr:	1971
Denkmalschutz:	Nein
Geschosse:	2
NGF:	691 m²
BGF:	795 m²
Nutzung:	Kindergarten
Bruttovolumen:	2275 m³
Hüllfläche A:	1553 m²

Der Kindergarten besteht aus drei verbundenen pavillonartigen Gebäuden. Allgemein ist das Gebäude in einem recht guten Zustand.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Eingang


Rückseite 2


Material


Von hinten


Dachüberstand


Klinkerfassade

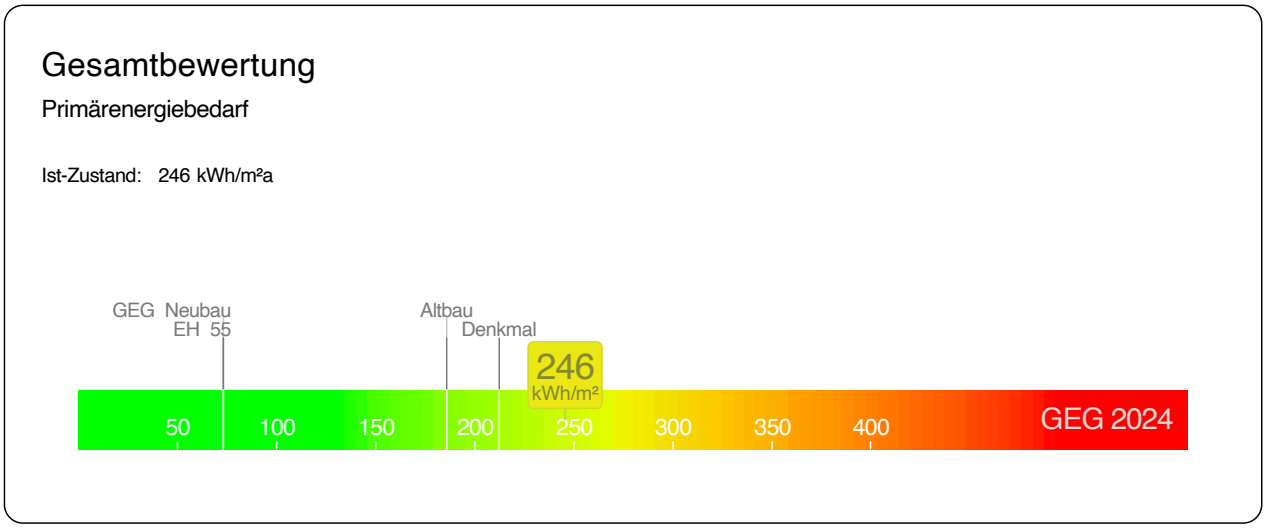

Hinterhof

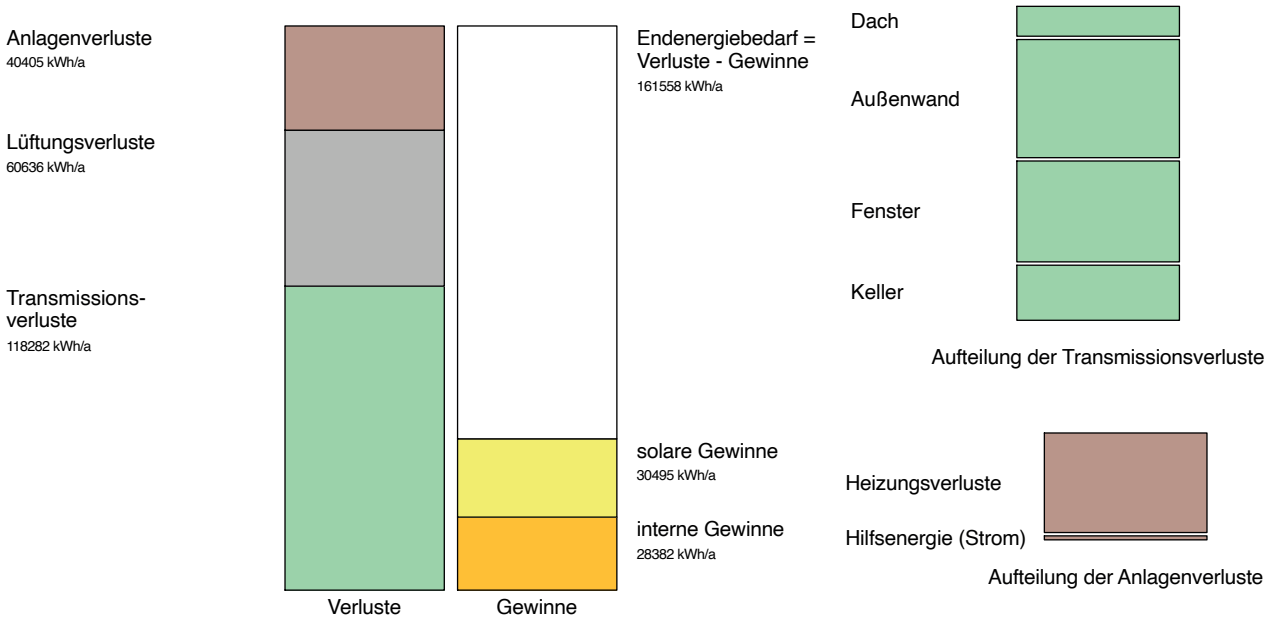
2.2 Bekannte Schäden

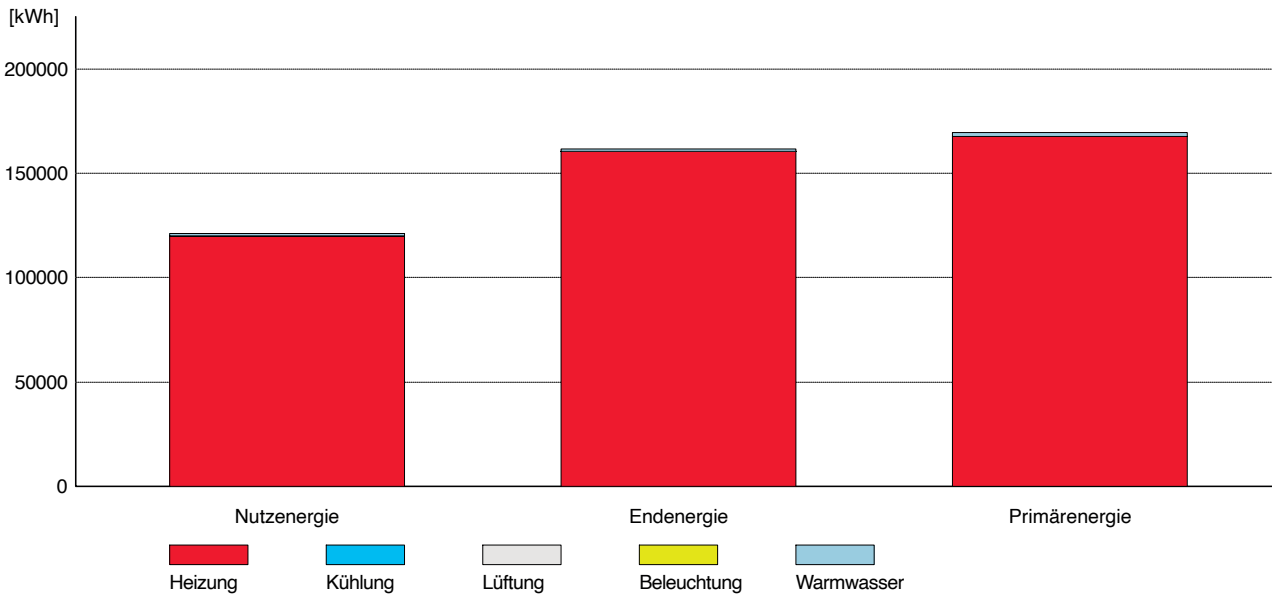
Keine

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem mittleren Zustand. Die einzelnen Bauteile haben vergleichsweise relativ gute U-Werte, allerdings ist das AV Verhätnis extrem ungünstig, da das gebäude sehr niedrig und gestreckt sind entstehen große Verluste an der gesamten Hülle.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

In der folgenden Tabelle finden Sie eine Zusammenstellung der einzelnen Bauteile der Gebäudehülle mit ihren momentanen U-Werten. Zum Vergleich sind die Mindestanforderungen angegeben, die die GEG bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden stellt. Die angekreuzten Bauteile liegen deutlich über diesen Mindestanforderungen und bieten daher ein Potenzial für energetische Verbesserungen.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
	DA	Boden DG-1	421,02	0,24	0,20	0,14
	DA	Boden DG-2	38,46	0,24	0,20	0,14
	DA	Boden DG-3	23,42	0,24	0,20	0,14
	RK	Rollladenkasten (F 001)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 002)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 003)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 004)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 005)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 006)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 007)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 008)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 009)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 010)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 011)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 012)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 013)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 014)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 015)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 016)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 022)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 023)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 027)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 028)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 032)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 033)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 034)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 035)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 044)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 045)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 046)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 047)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 048)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 049)	0,18	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 050)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 054)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 055)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 056)	0,08	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 057)	0,17	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 062)	0,10	0,24	0,24	0,20
	RK	Rollladenkasten (F 063)	0,10	0,24	0,24	0,20
X	TA	AT 001-1	2,57	4,00	1,8	1,3

	WA	AW 002	23,97	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 003	29,72	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 004	19,74	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 005	29,29	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 006	27,51	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 007	34,73	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 008	17,21	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 009	13,17	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 009-2	17,17	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 009-3	8,84	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 010	10,73	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 010-2	15,56	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 011	25,56	0,42	0,24	0,20
	WA	AW 012	32,93	0,42	0,24	0,20
X	WA	AW 017-1	6,12	2,55	0,24	0,20
X	WA	AW 018-1	17,53	2,55	0,24	0,20
X	WA	AW 019-1	15,94	2,55	0,24	0,20
X	WA	AW 020-1	10,92	2,55	0,24	0,20
	WE	AW 002-2	0,06	0,42	0,30	0,25
	WE	AW 003-2	0,04	0,42	0,30	0,25
X	WE	AW 017	32,94	2,55	0,30	0,25
X	WE	AW 018	5,46	2,55	0,30	0,25
X	WE	AW 019	12,77	2,55	0,30	0,25
X	WE	AW 020	13,02	2,55	0,30	0,25
X	FA	F 001-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 002-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 003-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 004-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 006-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 007-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 009-1	1,70	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 010-1	0,80	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 011-1	0,80	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	0,80	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	1,70	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 014-1	1,70	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	1,70	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 016-1	0,80	3,07	1,3	0,95
	FA	F 017-1	0,50	1,10	1,3	0,95
	FA	F 018-1	2,14	1,10	1,3	0,95
	FA	F 018-2	0,02	1,10	1,3	0,95
	FA	F 019-1	2,14	1,10	1,3	0,95
	FA	F 019-2	0,02	1,10	1,3	0,95
	FA	F 020-1	0,54	1,10	1,3	0,95
	FA	F 021-1	0,54	1,10	1,3	0,95
X	FA	F 022-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 023-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 024-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 025-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 026-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 027-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 028-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 029-1	3,40	3,07	1,3	0,95

X	FA	F 030-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 031-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 032-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 033-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 034-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 035-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 036-1	1,96	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 037-1	1,96	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 038-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 039-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 040-1	1,07	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 041-1	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 042-1	1,07	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 043-1	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 044-1	1,96	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 045-1	1,96	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 046-1	1,96	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 047-1	1,96	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 048-1	2,00	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 049-1	3,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 050-1	2,00	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 051-1	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 052-2	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 053-2	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 054-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 055-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 056-1	1,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 057-1	3,40	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 058-1	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 059-1	0,71	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 060-1	1,07	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 061-1	1,07	2,69	1,3	0,95
X	FA	F 062-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 063-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 064-1	2,60	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 065-1	3,90	3,07	1,3	0,95
X	FA	F 072-1	0,64	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 073-1	0,08	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 073-2	0,64	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 074-1	0,44	1,90	1,3	0,95
X	FA	F 074-2	0,89	1,90	1,3	0,95
	FA	F 078-1	0,71	1,30	1,3	0,95
	FA	F 079-1	1,07	1,30	1,3	0,95
X	BA	Boden EG 003-1	133,87	0,87	0,24	0,20
X	BA	Boden EG 003-2	38,46	0,87	0,24	0,20
X	BA	Boden EG 003-3	23,42	0,87	0,24	0,20
X	BE	Boden EG-1	0,29	0,87	0,30	0,25
X	BE	Boden Keller 003-1	158,66	1,20	0,30	0,25
X	BK	Boden EG 002-2	128,48	0,87	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der GEG vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(mK)) einzubauen. Soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,045 W/(mK) einzuhalten. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert von 1,30 W/m²K.

**) Die Anforderungen an U-Werte sind bei der Sanierung der jeweiligen Bauteile für eine Förderungen als Einzelmaßnahme einzuhalten (siehe Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen)

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über einen vergleichsweise (zu den anderen untersuchten Gebäuden) neuen Ölkessel, die Warmwasserbereitung durch dezentrale Durchlauferhitzer.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kessel von 2016 Nennleistung: 50,00 kW Energieträger: Heizöl EL
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 535,9 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,30 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p konstant
Übergabe	- Übergabe 1 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 2 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 4 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Küche in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 5 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Verkehrsfläche' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler' - Übergabe 6 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

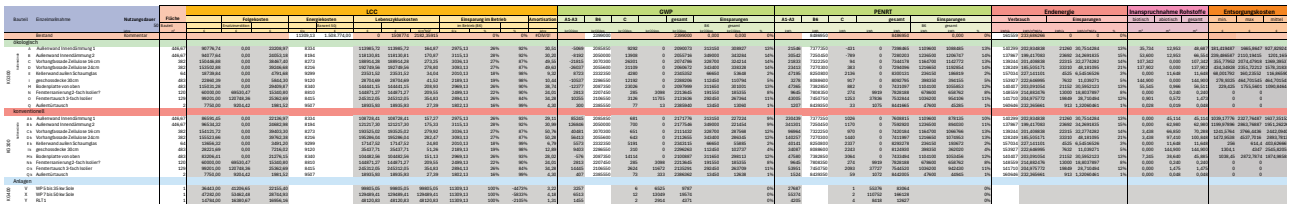
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Elektro-Durchlauferhitzer von 2005 - Nennleistung 18,34 kW Energieträger: Strom-Mix
Verteilung	- TWW-Kreis 1 dezentral ohne Zirkulation' 1,0 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

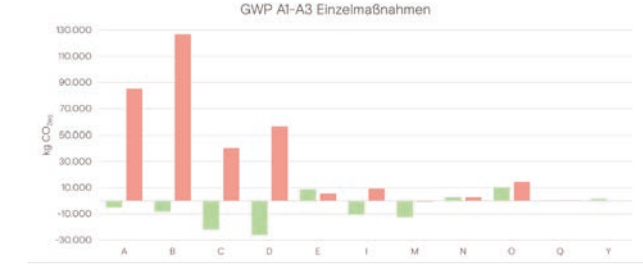
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

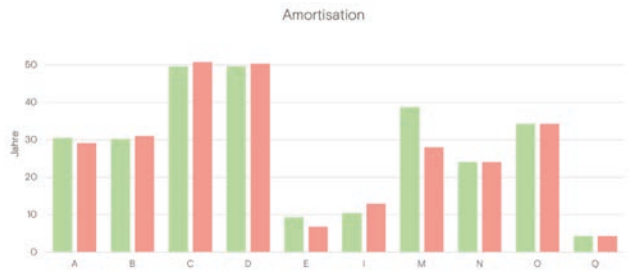
Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Maßnahmen an der Geäudehülle alle keinen besonders großen einfluss auf den Endenergieverbrauch haben. Nur durch die Dämmung der Außenwände, Bodenplatte oder den Austsuch der Fenster können geringe Verbesserungen im Endenergieverbrauch erzielt werden.
Das Global Warming Potential Diagramm die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.

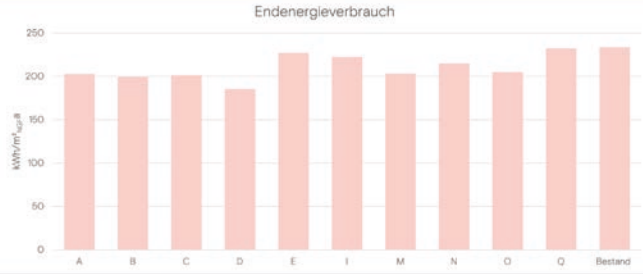
Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.

KG300	Außenwände	A Außenwand Innendämmung 1
		B Außenwand Innendämmung 2
		C Vorhangfassade Zellulose 16 cm
		D Vorhangfassade Zellulose 24cm
		E Kellerwand außen Schaumglas
		I geschossdecke 30cm
		M Bodenplatte vonoben
		N Fenstersanierung 2-fach Isolier?
		O Fenstertausch 3-fach Isolier
		Q Außentürtausch
	Anlagen	
KG400		V WP 5 bis 35 kw Sole
		X WP 7 bis 50 kw Sole
		Y RLT 1



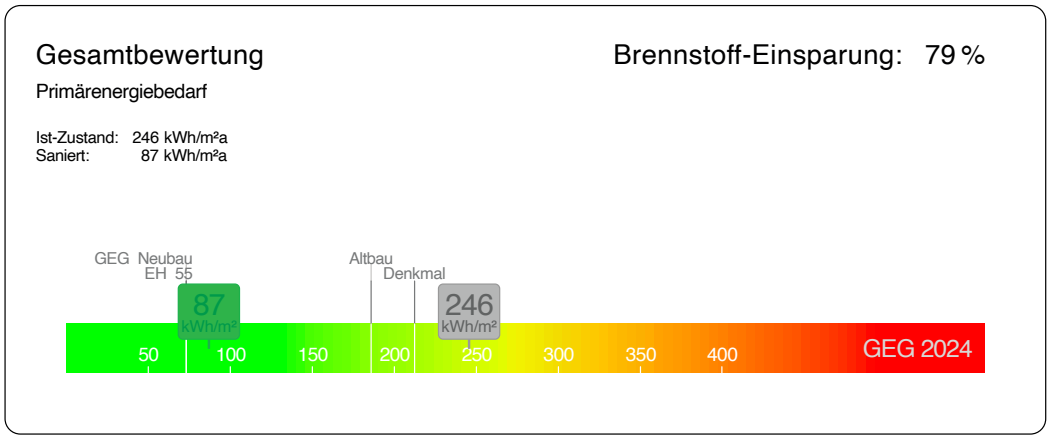






3.2 Variante 1 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren.



	Variante 1 - ökologiosch					
C	Vorhangfassade Zellulose 16 cm					
E	Kellerwand außen Schaumglas					
I	geschossdecke 30cm					
N	Fenstersanierung 2-fach Isolier?					
X	WP 7 bis 50 kw Sole					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**299.329,11 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**6.684,00 €**	Energiekosten		6684
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 4.625,13**			
			-41%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**93.189,11 €**			
	Ersatzherstellung		**122.992,95 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.407.237,17 €**			891726
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2 Preis		**222.420,58 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.629.657,74 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-14303**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,41			
	GWP B6	kg CO2eq.	**935750**	GWP B6		935750
		CO2eq./m²NGFa	27,07			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**961089**			
		CO2eq./m²NGFa	27,80			
	PENRT A1-A3	kWh	**137326**			
		kWh./m²NGFa	3,97			
	PENRT B6	kWh	**3007750**	PENRT B6		3007750
		kWh./m²NGFa	87,01			
	PENRT gesamt	kWh	**3103042**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**48**			33420
	Amortisationszeit	Jahre	**65**			
	Einsparung pro kWh		**2,34 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**252,24**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**11,89**			
	Entsorgungskosten min.	€	**702,71**			
	Entsorgungskosten max	€	**2699,42**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1950,06**			

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	87,0	þ 186,0	132,9	¨ 53,1	¨ 73,1	þ 93,0	þ 212,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,30	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	1,8	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,8	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 52,73 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 11,20 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 66,40 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 14,11 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 39,06 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 8,30 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 7,81 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 1,66 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

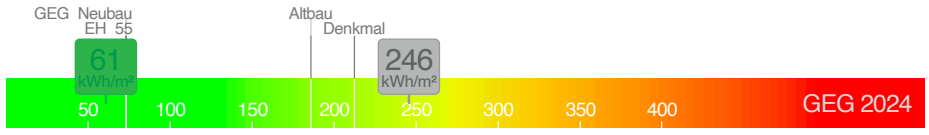
Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 7,81 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 1,66 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 86 %

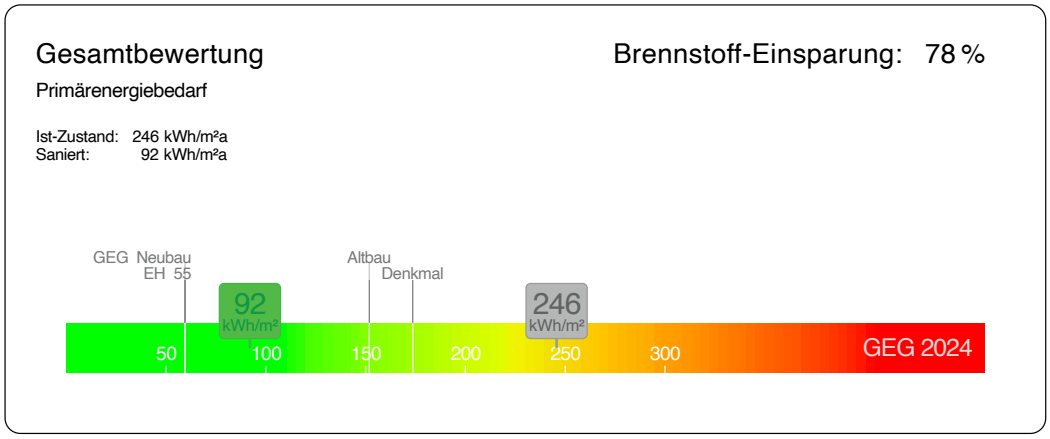
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 246 kWh/m²a
Saniert: 61 kWh/m²a



Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	60,9	þ 186,0	132,9	¨ 53,1	þ 73,1	þ 93,0	þ 212,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,30	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	1,8	þ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	2,8	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	

3.2 Variante 1 konventionell



	Variante 1 - konventionell
C k	Vorhangfassade Zellulose 16 cm
E k	Kellerwand außen Schaumglas
I k	geschossdecke 30cm
N k	Fenstersanierung 2-fach Isolier?
X	WP 7 bis 50 kw Sole
Y	RLT 1

					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**318.065,73 €**			
Energiekosten	Pro Jahr	**7.076,80 €**	Energiekosten		7076,8
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 4.232,33**			
		-37%			
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**111.152,41 €**			
Ersatzherstellung		**139.373,62 €**			
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.512.721,76 €**			944130
Umweltfolgekosten		**58.289,89 €**			
CO_2 Preis		**235.493,65 €**			
Lebenszykluskosten gesamt		**1.806.505,30 €**			
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**66239**			
	CO2eq./m²NGFa	1,92			
GWP B6	kg CO2eq.	**990750**	GWP B6		990750
	CO2eq./m²NGFa	28,66			
GWP gesamt	kg CO2eq.	**1058555**			
	CO2eq./m²NGFa	30,62			
PENRT A1-A3	kWh	**240416**			
	kWh./m²NGFa	6,95			
PENRT B6	kWh	**3184500**	PENRT B6		3184500
	kWh./m²NGFa	92,12			
PENRT gesamt	kWh	**3381080**			
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**51**			35384
Amortisationszeit	Jahre	**75**			
Einsparung pro kWh		**2,52 €**			
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
nachwachsende Rohstoffe	m³	**3,44**			
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**223,64**			
Entsorgungskosten min.	€	**2801,68**			
Entsorgungskosten max	€	**8727,84**			
Entsorgungskosten mittel	€	**5391,54**			

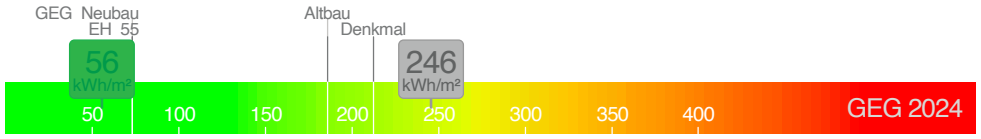
3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen. Unter Anwendung vonn Maßnahmen an allen Teilen des Gebäudes sowie den Einsatz einer Wärmepumpe gelingt dies auch.

Gesamtbewertung Brennstoff-Einsparung: 87 %

Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 246 kWh/m²a
Saniert: 56 kWh/m²a



	Variante 2 ökologisch
C	Vorhangfassade Zellulose 16 cm
I	geschossdecke 30cm
M	Bodenplatte von oben
O	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q	Außentürtausch
V	WP 5 bis 35 kw Sole

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**431.732,55 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**4.270,00 €**	Energiekosten	4270
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 7.039,13**		
		-62%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**123.221,18 €**		
Ersatzherstellung		**171.159,42 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.295.782,15 €**		569669
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2 Preis		**142.092,46 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.437.874,61 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-30918**		
	CO2eq./m²NGFa	-0,89		
GWP B6	kg CO2eq.	**597800**	GWP B6	597800
	CO2eq./m²NGFa	17,29		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**640067**		
	CO2eq./m²NGFa	18,52		
PENRT A1-A3	kWh	**144375**		
	kWh./m²NGFa	4,18		
PENRT B6	kWh	**1921500**	PENRT B6	1921500
	kWh./m²NGFa	55,59		
PENRT gesamt	kWh	**2080279**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**31**		21350
Amortisationszeit	Jahre	**61**		
Einsparung pro kWh		**3,08 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**308,72**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**1,56**		
Entsorgungskosten min.	€	**864,14**		
Entsorgungskosten max	€	**4294,74**		
Entsorgungskosten mittel	€	**2924,94**		

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	55,6	þ 186,0	132,9	¨ 53,1	þ 73,1	þ 93,0	þ 212,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,19	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,91	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 52,73 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 11,20 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 66,40 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 14,11 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 39,06 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 8,30 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 7,81 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 1,66 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

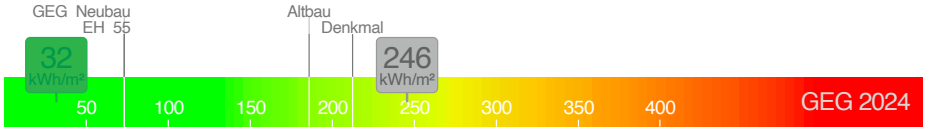
Photovoltaik 1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 7,81 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 1,66 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 18050,55 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 92 %

Primärenergiebedarf

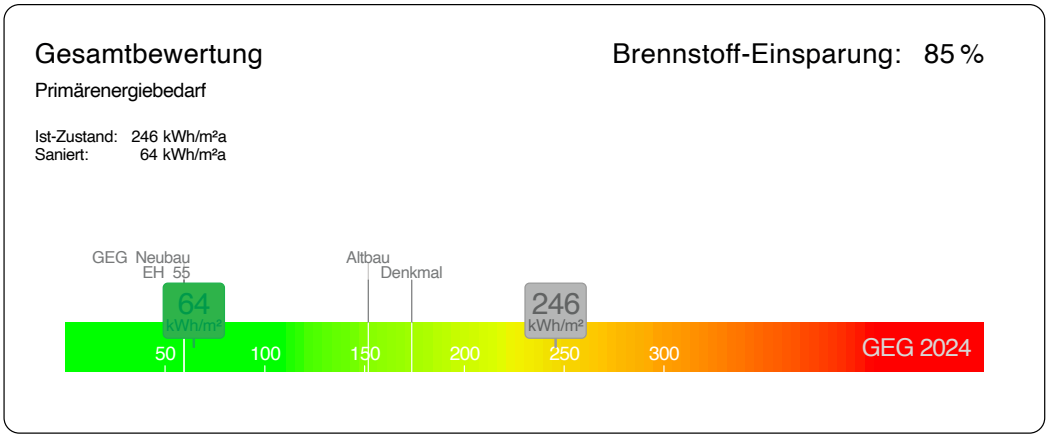
Ist-Zustand: 246 kWh/m²a
Saniert: 32 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	31,9	þ 186,0	132,9	þ 53,1	þ 73,1	þ 93,0	þ 212,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,19	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,91	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

3.3 Variante 2 konventionell

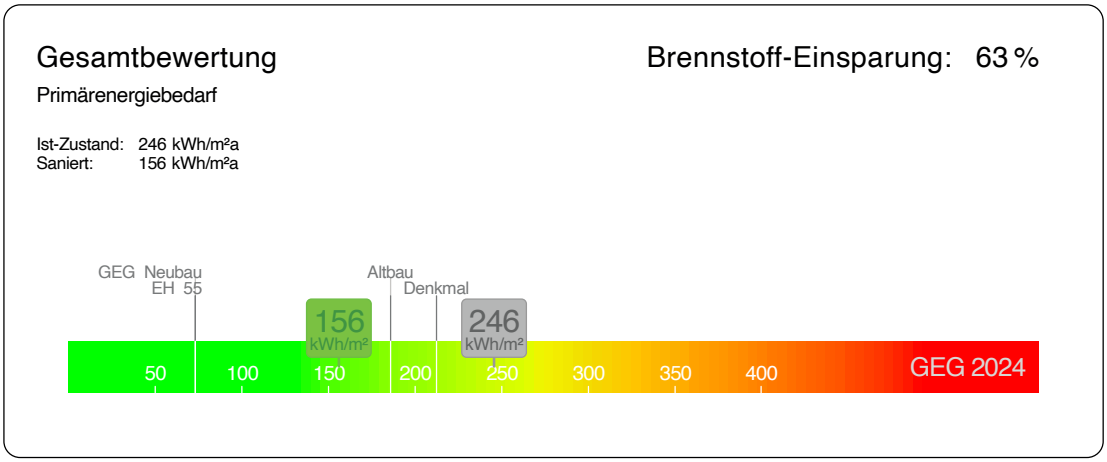


	Variante 2 konventionell
C k	Vorhangfassade Zellulose 16 cm
I k	geschossdecke 30cm
M k	Bodenplatte von oben
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q k	Außentürtausch
V	WP 5 bis 35 kw Sole
Y	RLT 1

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**423.727,82 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**4.939,00 €**	Energiekosten	4939
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 6.370,13**		
		-56%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**134.351,24 €**		
Ersatzherstellung		**187.540,09 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.404.541,15 €**		658922
Umweltfolgekosten		**60.606,49 €**		
CO_2 Preis		**164.352,35 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**1.629.499,99 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**68871**		2380698824
	CO2eq./m²NGFa	1,99		
GWP B6	kg CO2eq.	**691450**	GWP B6	691450
	CO2eq./m²NGFa	20,00		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**785385**		
	CO2eq./m²NGFa	22,72		
PENRT A1-A3	kWh	**265998**		
	kWh./m²NGFa	7,70		
PENRT B6	kWh	**2222500**	PENRT B6	2222500
	kWh./m²NGFa	64,29		
PENRT gesamt	kWh	**2503834**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**36**		24695
Amortisationszeit	Jahre	**67**		
Einsparung pro kWh		**3,10 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**10,68**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**251,91**		
Entsorgungskosten min.	€	**3584,13**		
Entsorgungskosten max	€	**10986,23**		
Entsorgungskosten mittel	€	**6862,90**		

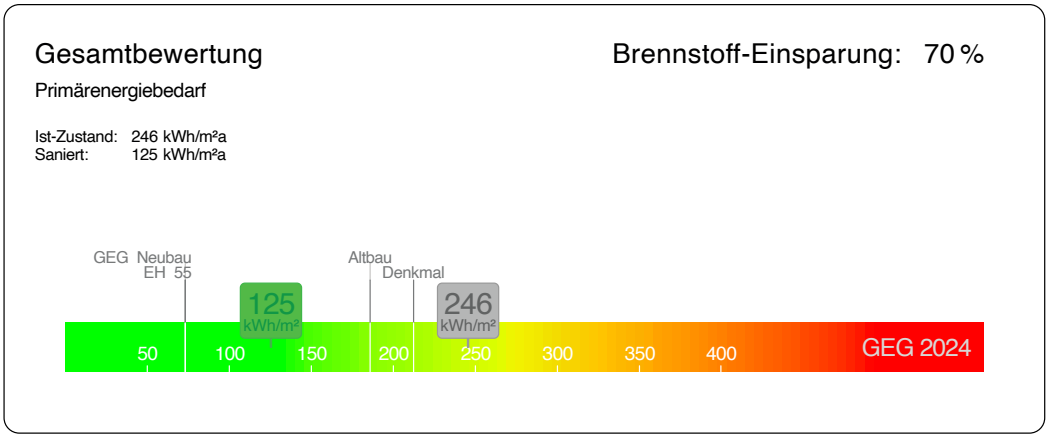
3.3 Variante 3 ökologisch

Die Variante 3 stellt bei diesem Gebäude eine besondere Variante dar. Da das Gebäude insgesamt in einem akzeptablen Zustand ist, eine umfangreiche ergetische Sanierung mit den Maßnahmen an der Gebäudehülle einen hohen Aufwand darstellt, wird hier ausschließlich der Einbau einer Wärmepumpen vorgeschlagen, auch wenn diese dann nicht ganz so effizient läuft wie bei einem Niedertemperatur System.



	Variante 3 ökologisch				
X	WP 7 bis 50 kw Sole keine weiteren Maßnahmen				
					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**47.282,00 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**11.996,60 €**	Energiekosten	11996,6
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**- 687 €**		
			6%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**28.744,93 €**		
	Ersatzherstellung		**53.462,48 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.729.980,41 €**		1600491
	Umweltfolgekosten		**5.731,55 €**		
	CO_2 Preis		**399.216,12 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**2.134.928,07 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**6513**		
		CO2eq./m²NGFa	0,19		
	GWP B6	kg CO2eq.	**1679550**	GWP B6	1679550
		CO2eq./m²NGFa	48,59		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1679550**		
		CO2eq./m²NGFa	48,59		
	PENRT A1-A3	kWh	**55374**		
		kWh./m²NGFa	1,60		
	PENRT B6	kWh	**5398500**	PENRT B6	5398500
		kWh./m²NGFa	156,17		
	PENRT gesamt	kWh	**5398500**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**87**		59983
	Amortisationszeit	Jahre	**-69**		
	Einsparung pro kWh		**€ 0,47**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**0,00**		
	Entsorgungskosten min.	€	**0,00**		
	Entsorgungskosten max	€	**0,00**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**0,00**		

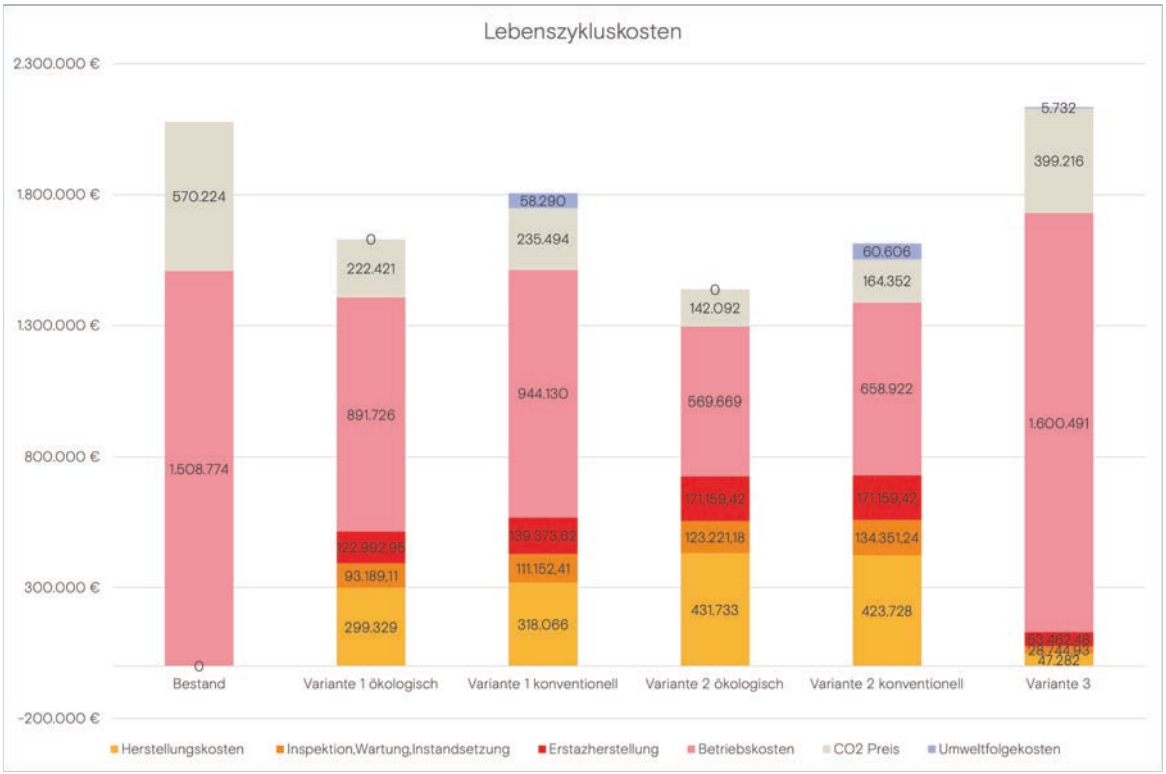
3.3 Variante 3 Solar



Der Vergleich zur konventionellen Variante fällt hier weg, da nur ein Techniktausch stattfindet.

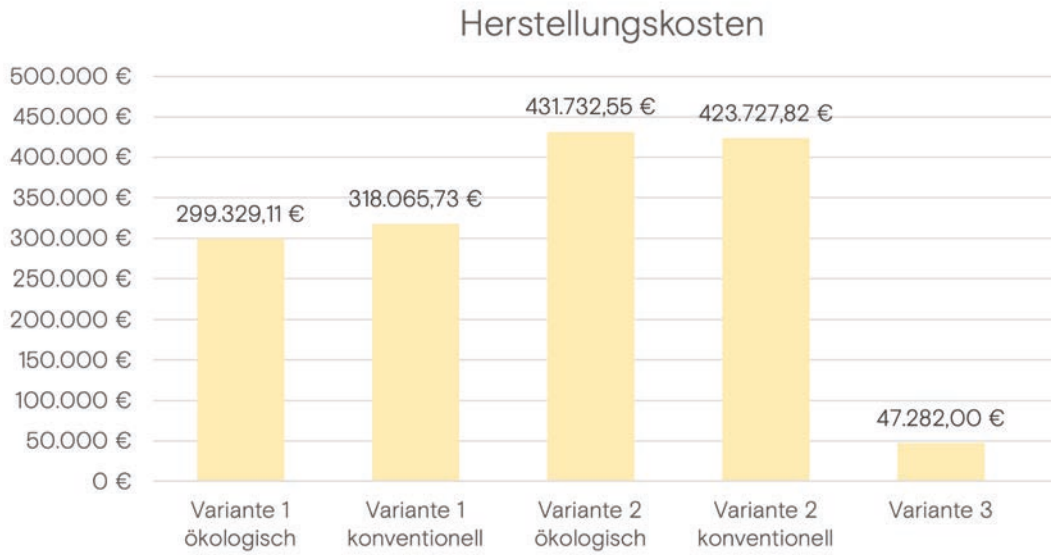
3.5 Variantenvergleich

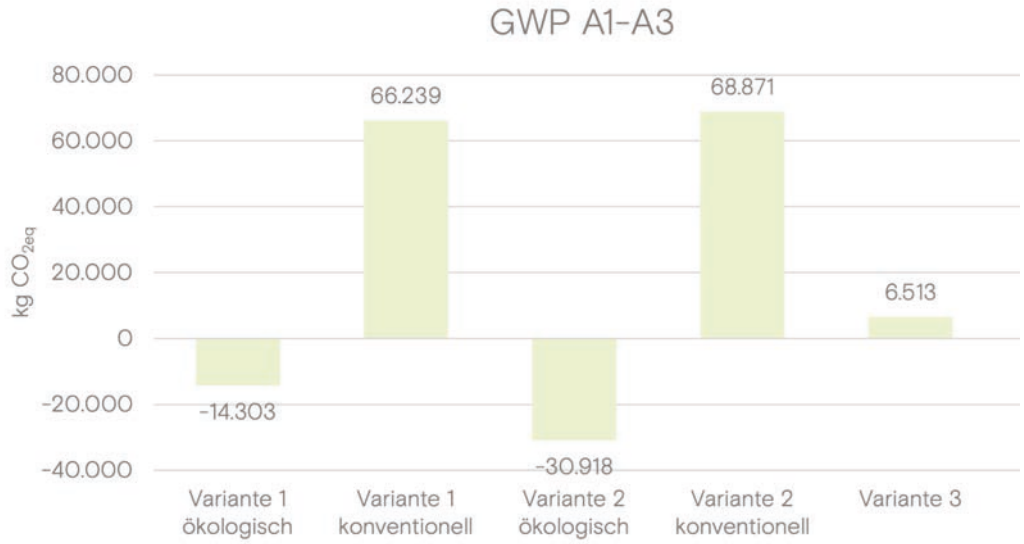
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen. Die Sanierungsvarianten zeigen gegenüber dem Bestand deutliche Verbesserungen hinsichtlich des Energieverbrauchs. Während der Endenergieverbrauch im Bestand bei etwa 234 kWh/m²a liegt, kann dieser durch die Sanierungsmaßnahmen erheblich reduziert werden. Variante 1 erreicht Werte von etwa 48–51 kWh/m²a, während Variante 2 mit 31–36 kWh/m²a die größten Einsparungen erzielt. Auch Variante 3 reduziert den Energieverbrauch deutlich auf etwa 87 kWh/m²a, was knapp 40% des Endenergieverbrauchs des Bestands entspricht. Die Reduktion des Energieverbrauchs führt bei den Varianten 1 und 2 auch zu deutlich geringeren Energiekosten, bei Variante 3 liegen die energiekosten etwa 6% über den Kosten vom Bestand. Das liegt daran, dass das bisherige Heizsystem auf Heizöl basiert, dessen Energiepreis deutlich niedriger ist als der Preis für Strom. Durch die Umstellung auf eine Wärmepumpe kann das Gebäude zwar klimafreundlicher beheizt werden, gleichzeitig führen die höheren Strompreise jedoch zu höheren Betriebskosten.

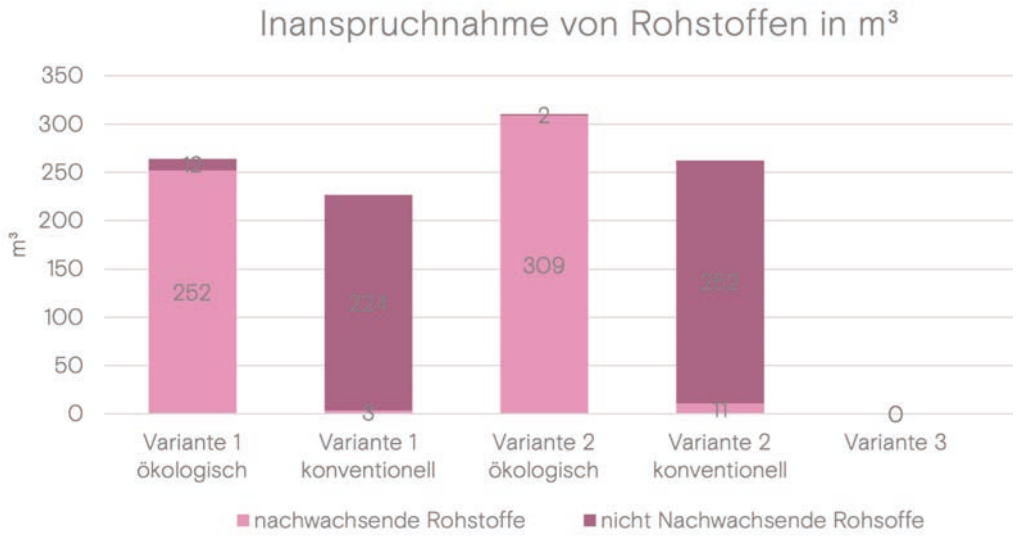


Um das Ziel von Variante 1 zu erreichen (einen neffizienten Betrieb im Niedertemperaturbereich) müssen bereits viele Maßahmen an der Gebäudehülle durchgeführt werden, was zu hohen Investitionskosten führt. Variante 3 wurde deswegen zusätzlich untersucht, da sich bei den Varianten 1 und 2 zeigt, dass die aufwendigeren Maßnahmen an der Gebäudehülle zwar den Energieverbrauch deutlich reduzieren, sich dieser Effekt jedoch in der Lebenszykluskostenbetrachtung nur begrenzt widerspiegelt. Die Gesamtkosten sinken im Vergleich zum Bestand zwar, jedoch nicht in dem Maß, das angesichts der hohen Investitionskosten zu erwarten wäre.

3.5 Variantenvergleich - Herstellung

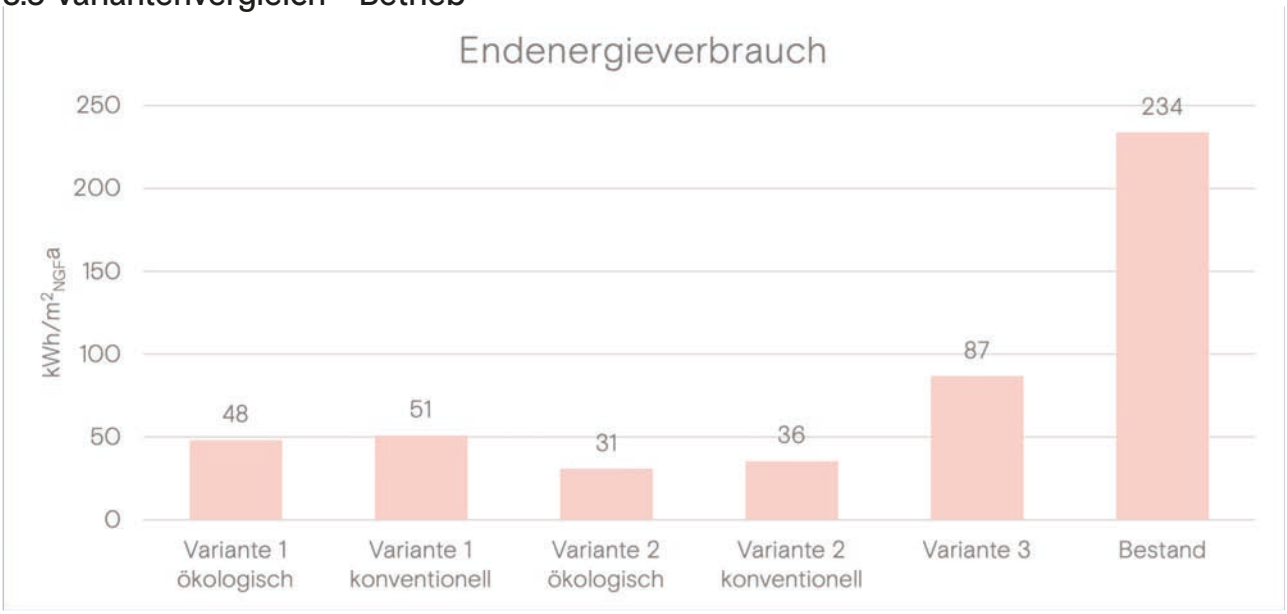


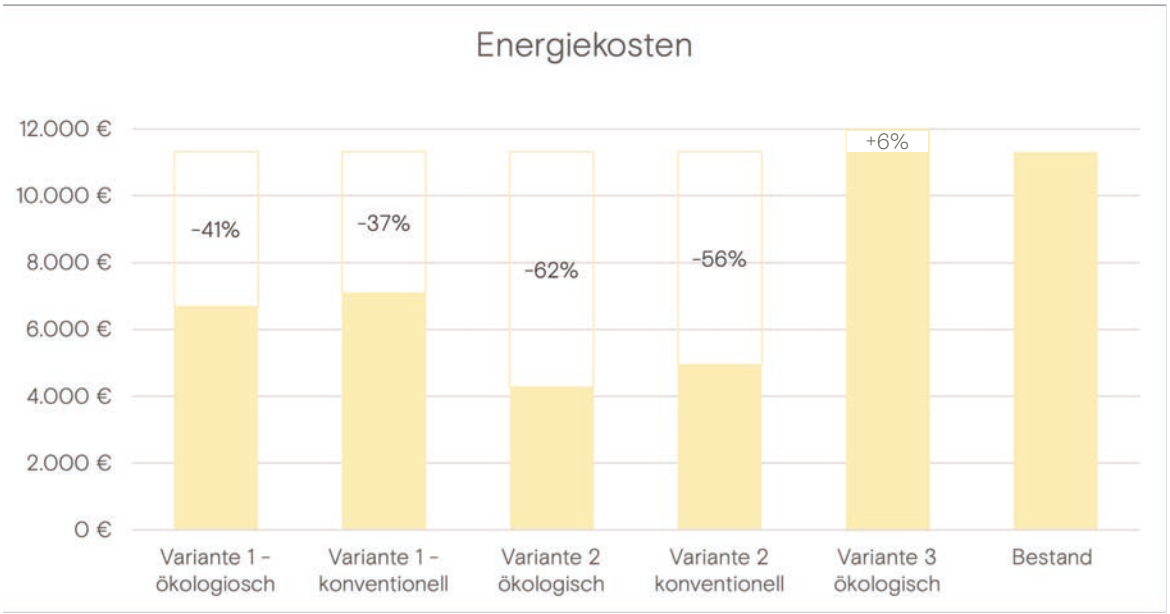


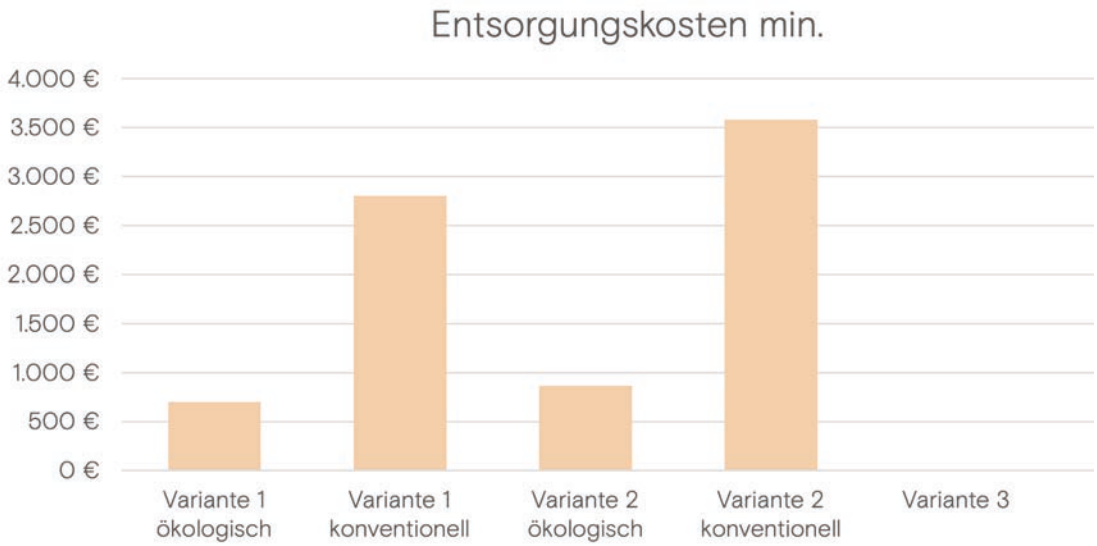


•Inanspruchnahme von Rohstoffen bezieht sich nur auf die Maßnahmen an der Gebäudehülle, Anlagen bleiben unberücksichtigt

3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Gebäude im Allmendeweg 4 ist verglichen mit den anderen Case Study Objekten relativ neu. Viele der Bauteile weisen bereits relativ gute U-Werte auf, sodass durch einzelne Maßnahmen an der Gebäudehülle nur geringe zusätzliche Einsparungen erzielt werden können. Gleichzeitig besitzt das Gebäude ein ungünstiges AV-Verhältnis, wodurch die Wärmeverluste über die Gebäudehülle insgesamt hoch bleiben. Um den Energieverbrauch daher deutlich zu senken, wären umfassende Maßnahmen an nahezu allen Bauteilen erforderlich, was die hohen Investitionskosten der Varianten 1 und 2 erklärt.
Es zeigt sich, dass Maßnahmen an der Gebäudehülle bei diesem Gebäude nur begrenzt wirksam sind und nur durch eine Vielzahl gleichzeitig umgesetzter Eingriffe größere Effekte erzielt werden können. Vor diesem Hintergrund wurde mit Variante 3 ein alternativer Ansatz betrachtet, der sich auf den Austausch des Wärmeerzeugers konzentriert und auf Maßnahmen an der Gebäudehülle verzichtet. Diese Variante weist die mit Abstand geringsten Investitionskosten auf und ermöglicht dennoch eine deutliche Reduktion der Emissionen im Gebäudebetrieb durch den Einsatz einer strombetriebenen Wärmepumpe. Zwar zeigt sich, dass der Energieverbrauch im Vergleich zu den umfassenderen Sanierungsvarianten höher bleibt und die Energiekosten aufgrund des höheren Strompreises leicht ansteigen können, dennoch ermöglicht diese Strategie eine vergleichsweise einfache und kurzfristig umsetzbare Umstellung auf eine klimafreundlichere Wärmeversorgung.
Vor dem Hintergrund zukünftiger Entwicklungen der Energiepreise und steigender CO_2-Kosten kann zudem vermutet werden, dass fossile Energieträger wie Heizöl langfristig weiter an wirtschaftlicher Attraktivität verlieren werden. Gleichzeitig gewinnt die Nutzung erneuerbarer und möglichst lokal verfügbarer Energieträger zunehmend an Bedeutung, auch im Hinblick auf Energieversorgungssicherheit und langfristige Klimaziele.
Aus diesen Gründen kann Variante 3 trotz der zunächst weniger günstigen Kostenstruktur als sinnvolle Sanierungsstrategie betrachtet werden. Die vergleichsweise geringen Anfangsinvestitionen könnte die Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Umsetzung erhöhen, während gleichzeitig ein wichtiger Schritt in Richtung eines klimaneutralen Gebäudebetriebs erreicht wird. Eine solche Strategie könnte daher eine realistische und pragmatische Grundlage für die zukünftige Weiterentwicklung des Gebäudes und anderer Gebbäude dieser Art, darstellen.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



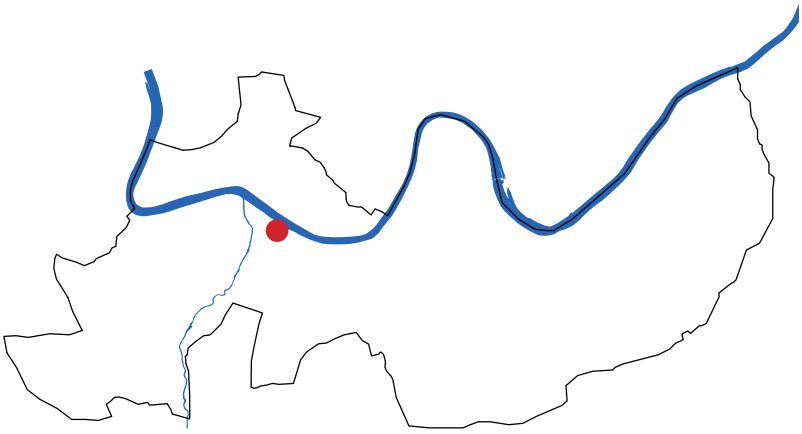
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

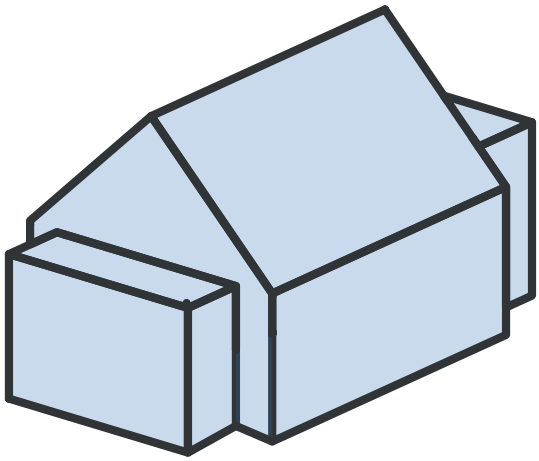
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 & 3 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.4 Variante 3 S. 16
- 3.5 Variantenvergleich S. 17

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 20



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Massivhaus
Baujahr:	1945
Denkmalschutz:	Nein
Geschosse:	3
NGF:	205 m²
BGF:	346 m²
Nutzung:	Leer, früher Kinderwerkstatt
Bruttovolumen:	653 m³
Hüllfläche A:	497 m²

Die Villa Kiwi war eine Kinderwerkstatt. Das Gebäude steht nun seit mehreren Jahren leer, aufgrund eines Schimmelproblems, welches durch einen Wasserschaden entstanden ist. Das Problem scheint sich jedoch in Grenzen zu halten, aber es wird keinerlei Anstrengung unternommen das Gebäude zu retten. Obwohl dieses gut genutzt war. Das Innenleben weist jetzt noch auf eine aktive Nutzung und Bereicherung für Kinder hin. Das Gebäude stellt vom Typus ein typisches Einfamilienhaus nach dem zweiten Weltkrieg dar und kann damit gut stellvertretend für viele Wohngebäude in Neckargemünd stehen. Energetisch schlecht, aber auch simpel und leicht zu sanieren.

2. Gebäudeaufnahme

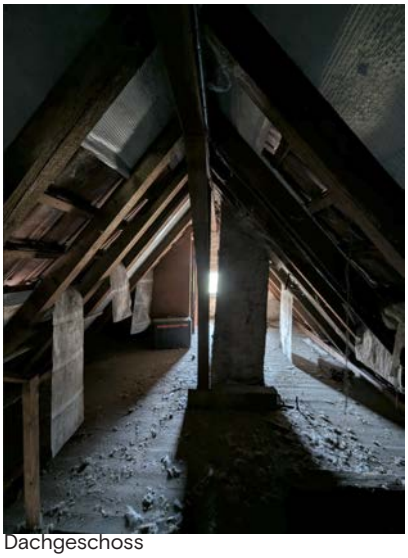
Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Vorne


Innen


keller


Dachgeschoss



Schild


Schimmel


Innen

2.2 Bekannte Schäden

Wasserschaden, Schimmel

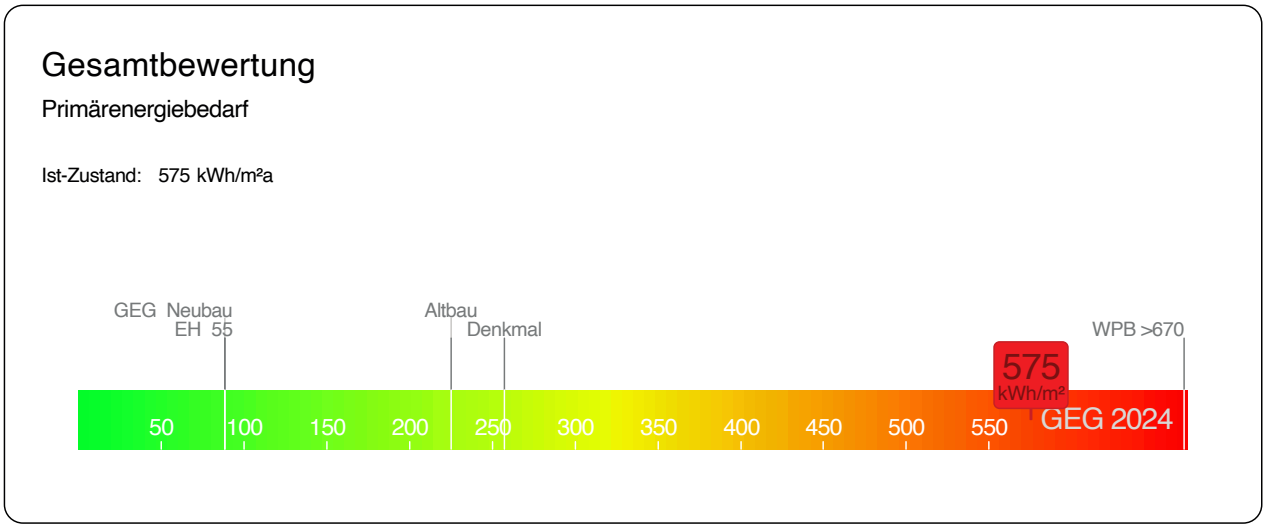


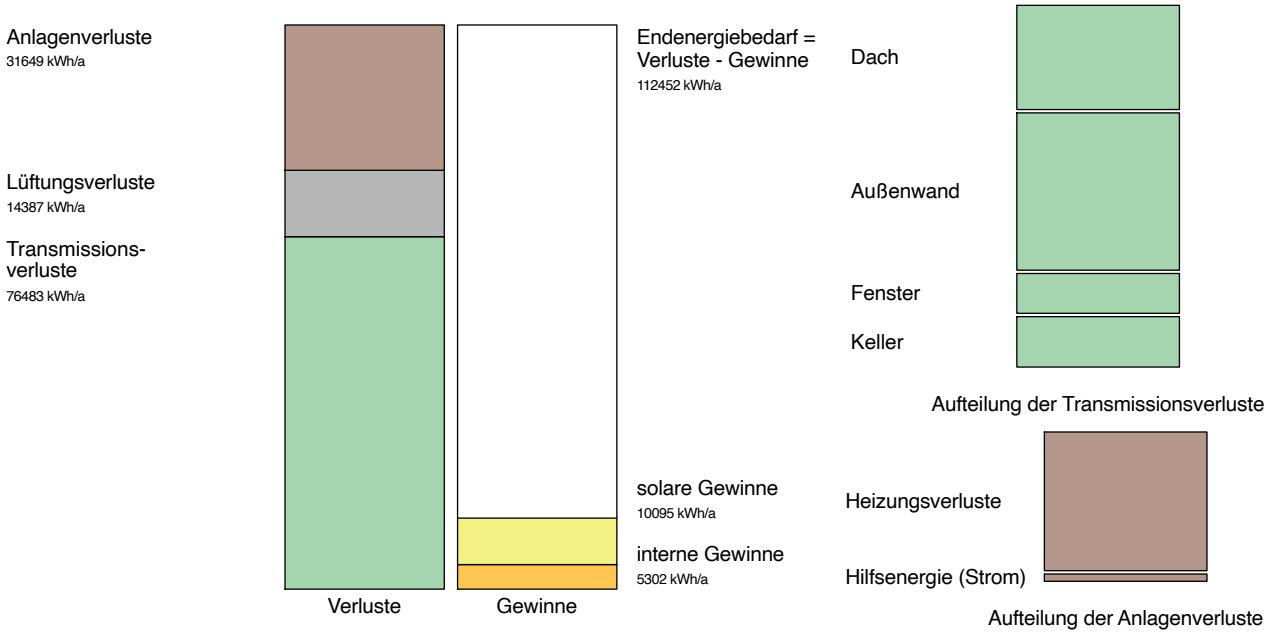


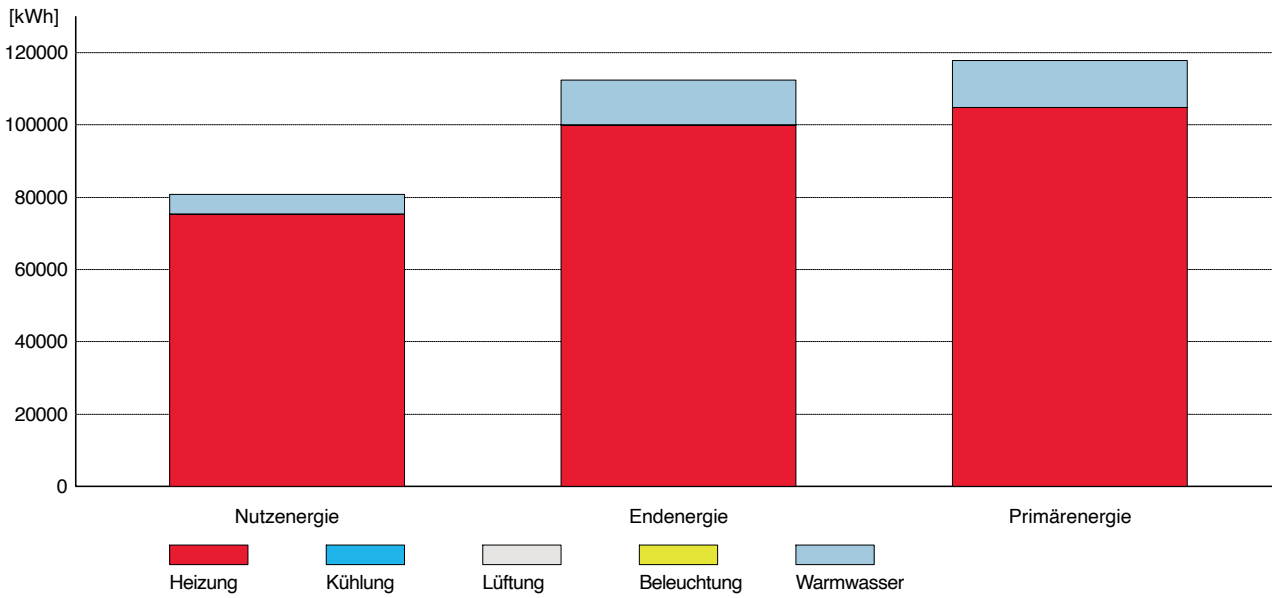


2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem schlechten Zustand, die ungedämmten Außenwände und das ungedämmte Dach stellen die größten Probleme dar.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
X	DA	Boden DG1-3	10,68	2,10	0,20	0,14
X	DA	Boden DG1 003-2	15,86	2,10	0,20	0,14
X	DA	Boden DG2-3	0,83	1,00	0,20	0,14
X	DA	Dach 001-3	29,18	2,00	0,24	0,14
X	DA	Dach 002-3	34,07	2,00	0,24	0,14
X	DG	Dach DG 001	5,14	2,00	0,20	0,20
X	DG	Dach DG 002	2,06	2,00	0,20	0,20
X	OG	Boden DG2-2	57,29	1,00	0,24	0,14
X	TA	AT 002-2	2,02	2,90	1,8	1,3
X	TA	AT 003-2	1,99	2,90	1,8	1,3
X	TA	AT 004-2	1,70	4,50	1,8	1,3
X	TA	AT 005-2	1,69	4,50	1,8	1,3
X	TA	IT 001-2	1,69	2,90	1,8	1,3
X	WA	AW 013	0,07	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 014	0,15	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 015	9,98	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 016	28,69	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 017	2,54	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 020	7,20	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 021	2,54	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 022	30,21	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 023	3,00	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 024	4,20	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 025	0,14	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 026	3,54	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 030	2,78	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 031	0,02	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 032	0,14	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 033	3,60	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 034	0,35	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 035	2,79	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 036	19,11	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 037	4,94	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 038	19,21	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW 039	4,94	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 1	3,37	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 2	1,17	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 001 - 3	1,17	0,60	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 1	1,02	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 2	0,96	2,10	0,24	0,20
X	WA	AW DG 002 - 3	0,96	2,10	0,24	0,20
X	WK	IW 001	7,28	1,89	0,30	0,25
X	WK	IW 002	6,48	1,89	0,30	0,25
X	FA	F 006-2	5,91	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-2	1,19	2,70	1,3	0,95

X	FA	F 010-2	0,53	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 011-2	0,53	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 012-2	0,53	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 013-2	3,20	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 014-2	3,17	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 015-2	3,16	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 016-2	4,72	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 017-2	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 018-2	1,63	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 019-2	1,24	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 020-2	1,15	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 021-2	1,27	5,00	1,3	0,95
X	FA	F DG 001	0,75	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-3	0,75	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 002	0,94	2,70	1,3	0,95
X	BK	Boden EG 002-4	128,25	2,30	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der GEG vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von l = 0,035 W/(mK)) einzubauen. Soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von l = 0,045 W/(mK) einzuhalten. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert von 1,30 W/m²K.

**) Die Anforderungen an U-Werte sind bei der Sanierung der jeweiligen Bauteile für eine Förderungen als Einzelmaßnahme einzuhalten (siehe Technische Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude – Einzelmaßnahmen)

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt über einen Ölkessel.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- 1987-1994 Brennwert-Kessel von 1993 Nennleistung: 45,00 kW Energieträger: Heizöl EL Der Kessel versorgt den TWW-Bereich 'Warmwasser-Erzeugung 1' mit.
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Etagenring' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 213,7 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe ungeregelt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

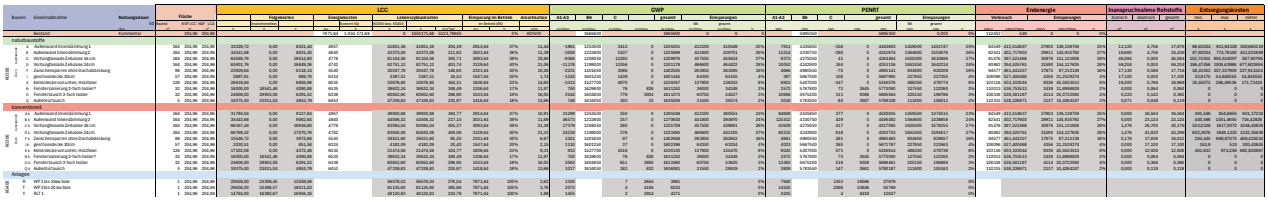
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- 1987-1994 Brennwert-Kessel aus dem Heizkreis 'Viessmann Vitocell' von 1993 - Nennleistung 45,00 kW Energieträger: Heizöl EL
TWW-Speicher	- Warmwasserspeicher 1 von 1993 Speichertyp 'indirekt beheizter Speicher' Speicher-Nenninhalt 165,00 l Lage: in keiner Zone - im Beheizten
Verteilung	- TWW-Kreis 1 zentral mit Zirkulation' 60,4 m Leitungen mit einem U-Wert von 2,00 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p konstant
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)' mit 100 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Dach, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

KG300 – Außenwände
- A Außenwand Innendämmung 1
- B Außenwand Innendämmung 2
- C Vorhangfassade Zellulose 16 cm
- D Vorhangfassade Zellulose 24cm

KG300 – Dach
- F Zwischensparren ohne Dachabdeckung
- I geschossdecke 30cm
- K Kellerdecke von unten, Holzfaser
- N Fenstersanierung 2-fach Isolier?
- O Fenstertausch 3-fach Isolier
- Q Außentürtausch

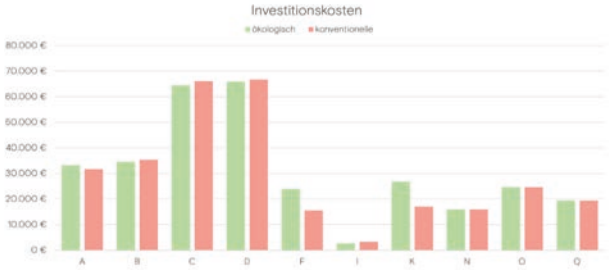
Anlagen

KG400
- R WP 1 bis 15kw Sole
- T WP 3 bis 20 kw Sole
- Y RLT 1

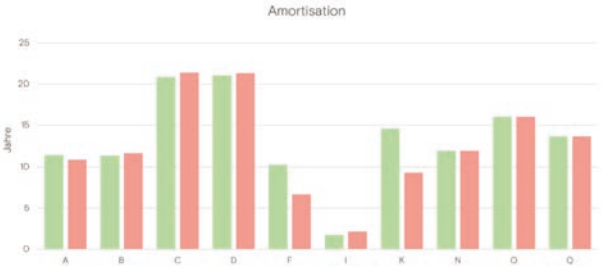
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

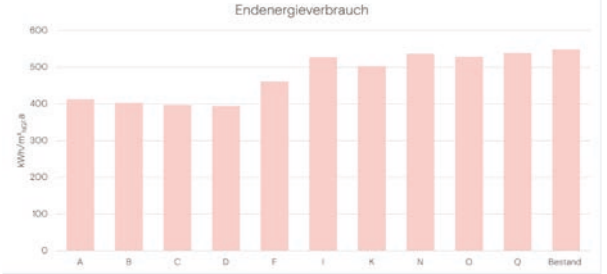
Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung den mit Abstand größten Effekt bringt.
Das Global Warming Potential Diagramm zeigt die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.

Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.



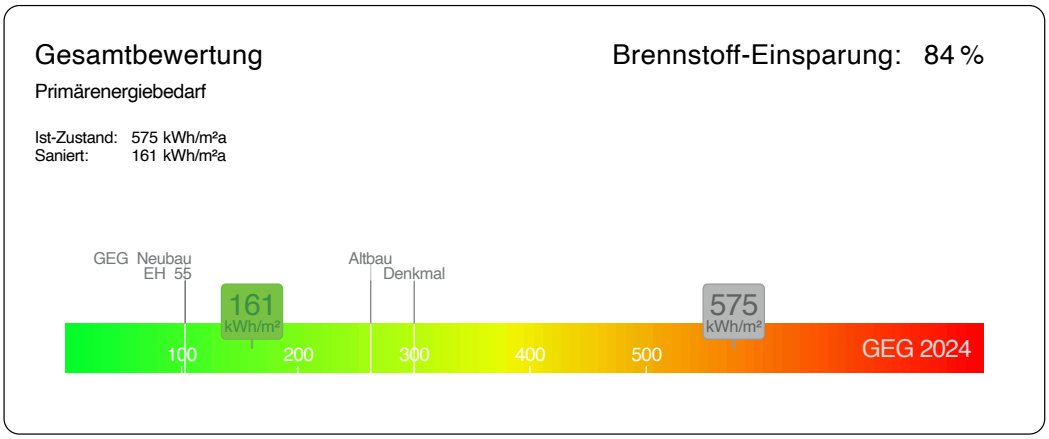






3.2 Variante 1&3 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren.



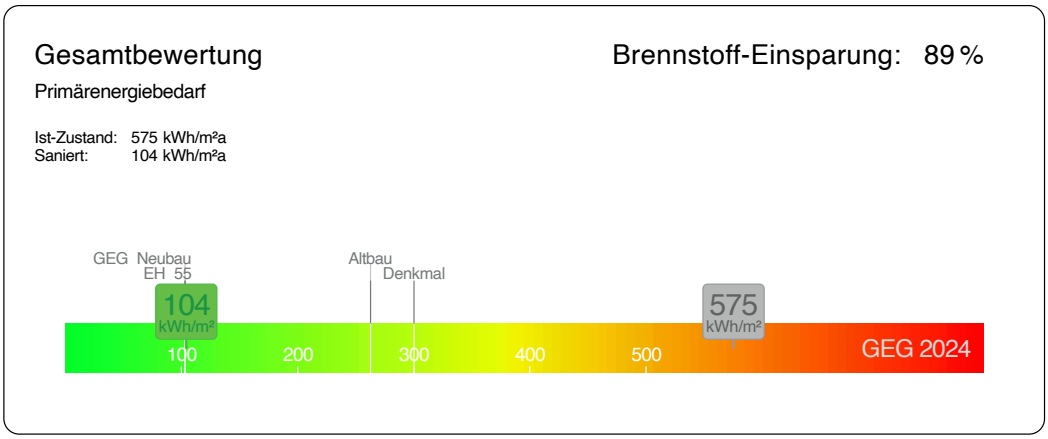
	Variante 1 - ökologiosch					
A	Außenwand Innendämmung 1					
F	Zwischensparren ohne Dachabdeckung					
I	geschossdecke 30cm					
T	WP 3 bis 20 kw Sole					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**89.583,17 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**3.656,60 €**	Energiekosten		3656,6
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 4.215,04**			
			-54%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**33.340,31 €**			
	Ersatzherstellung		**33.498,57 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**644.256,05 €**			487834
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2 Preis		**121.674,69 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**765.930,74 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**- 3.262**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,32			
	GWP B6	kg CO2eq.	**511.900**	GWP B6		511900
		CO2eq./m²NGFa	49,95			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**514.501**			
		CO2eq./m²NGFa	50,21			
	PENRT A1-A3	kWh	**27.489**			
		CO2eq./m²NGFa	2,68			
	PENRT B6	kWh	**1.645.450**	PENRT B6		1645450
		CO2eq./m²NGFa	160,56			
	PENRT gesamt	kWh	**1.658.288**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**89**			18283
	Amortisationszeit	Jahre	**21**			
	Einsparung pro kWh		**0,95 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**47,35**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**5,34**			
	Entsorgungskosten min.	€	**157,86**			
	Entsorgungskosten max	€	**1023,82**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**623,42**			

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	160,6	þ 262,7	187,7	¨ 75,1	¨ 103,2	¨ 131,4	þ 300,3
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,55	¨ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,8	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	3,2	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

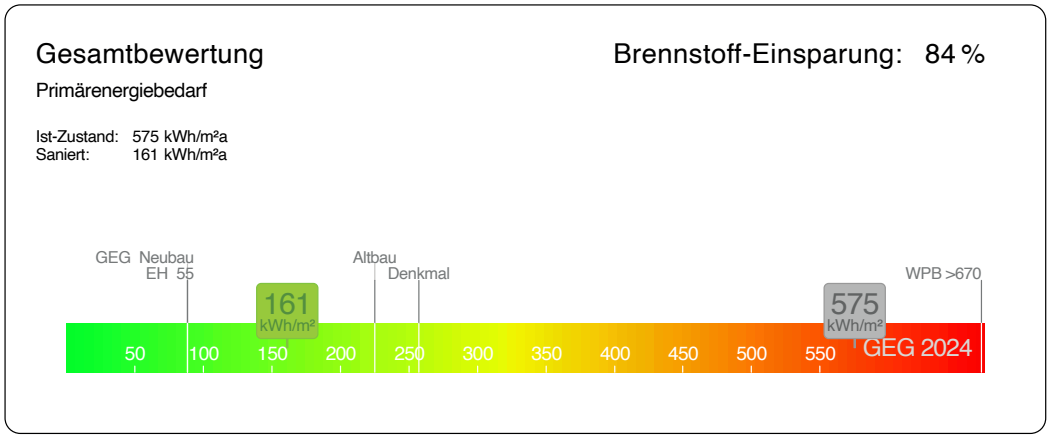
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 19,53 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 4,15 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 11549,66 kWh

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 35,15 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 7,47 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 11549,66 kWh



Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	104,2	þ 262,7	187,7	¨ 75,1	¨ 103,2	þ 131,4	þ 300,3
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,55	¨ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,8	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	3,2	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	

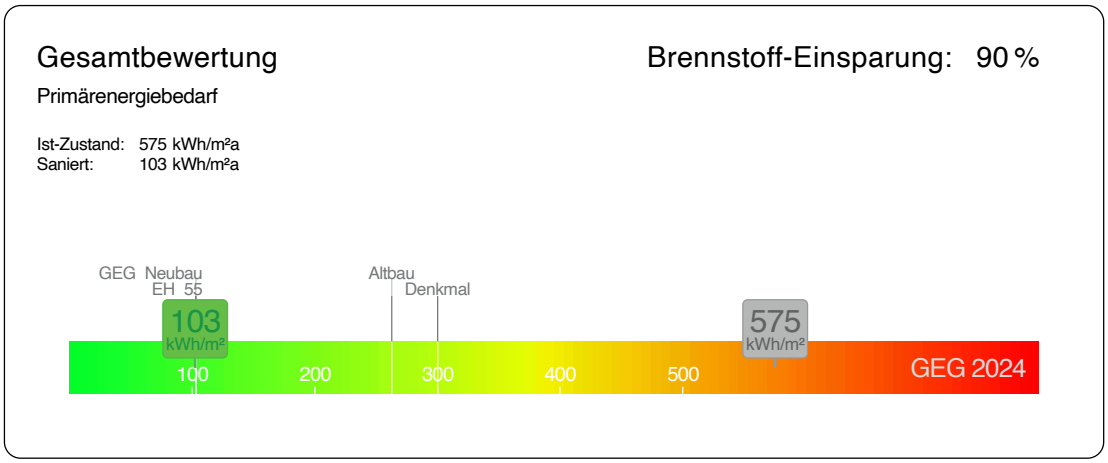
3.2 Variante 1&3 konventionell



	Variante 1 - konventionell					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Ak	Außenwand Innendämmung 1					
F k	Zwischensparren ohne Dachabdeckung					
I k	geschossdecke 30cm					
T	WP 3 bis 20 kw Sole					
Y	RLT 1					
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**95.080,27 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**3.667,80 €**	Energiekosten		3667,8
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 4.203,84**			
			-53%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**47.921,49 €**			
	Ersatzherstellung		**49.879,24 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**682.209,00 €**			489328
	Umweltfolgekosten		**32.681,59 €**			
	CO_2 Preis		**122.055,00 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**836.945,59 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**37.138**			
		CO2eq./m²NGFa	3,62			
	GWP B6	kg CO2eq.	**513.500**	GWP B6		513500
		CO2eq./m²NGFa	50,11			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**547.493**			
		CO2eq./m²NGFa	53,42			
	PENRT A1-A3	kWh	**112.023**			
		CO2eq./m²NGFa	10,93			
	PENRT B6	kWh	**1.650.500**	PENRT B6		1650500
		CO2eq./m²NGFa	161,06			
	PENRT gesamt	kWh	**1.744.715**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**89**			18339
	Amortisationszeit	Jahre	**23**			
	Einsparung pro kWh		**1,01 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,18**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**51,50**			
	Entsorgungskosten min.	€	**819,89**			
	Entsorgungskosten max	€	**2066,54**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1371,04**			

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen. Bei dem Geäude wird dieser Standard erreicht indem Maßnahmen an allen Gebäudeteilen durchgeführt werden. Durch den Einsatz einer Solaranlage könnte sogar ein höherer Standard erreicht werden.



	Variante 2 ökologisch
C	Vorhangfassade Zellulose 16cm
F	Zwischensparren ohne Dachabdeckung
I	geschossdecke 30cm
K	Kellerdecke von unten, Holzfaser
O	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q	Außentürtausch
R	WP 1 bis 15kw Sole

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**182.679,05 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**2.344,80 €**	Energiekosten	2344,8
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.526,84**		
		-70%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**53.984,49 €**		
Ersatzherstellung		**76.323,57 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**625.811,11 €**		312824
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2 Preis		**78.022,50 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**703.833,61 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**- 11.540**		
	CO2eq./m²NGFa	-1,13		
GWP B6	kg CO2eq.	**328.250**	GWP B6	328250
	CO2eq./m²NGFa	32,03		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**340.082**		
	CO2eq./m²NGFa	33,19		
PENRT A1-A3	kWh	**45.975**		
	CO2eq./m²NGFa	4,49		
PENRT B6	kWh	**1.055.150**	PENRT B6	1055150
	CO2eq./m²NGFa	102,96		
PENRT gesamt	kWh	**1.105.378**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**57**		11724
Amortisationszeit	Jahre	**33**		
Einsparung pro kWh		**1,81 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**99,81**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**1,55**		
Entsorgungskosten min.	€	**279,54**		
Entsorgungskosten max	€	**1591,29**		
Entsorgungskosten mittel	€	**1042,38**		

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	103,0	þ 262,7	187,7	75,1	þ 103,2	þ 131,4	þ 300,3
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,88	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,0	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 19,53 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 4,15 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 11549,66 kWh

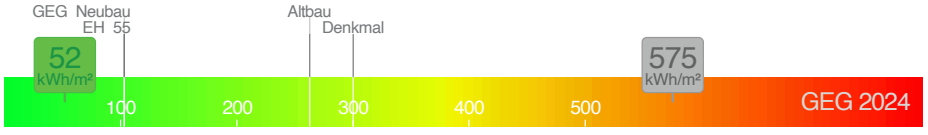
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 35,15 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 7,47 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 11549,66 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 95 %

Primärenergiebedarf

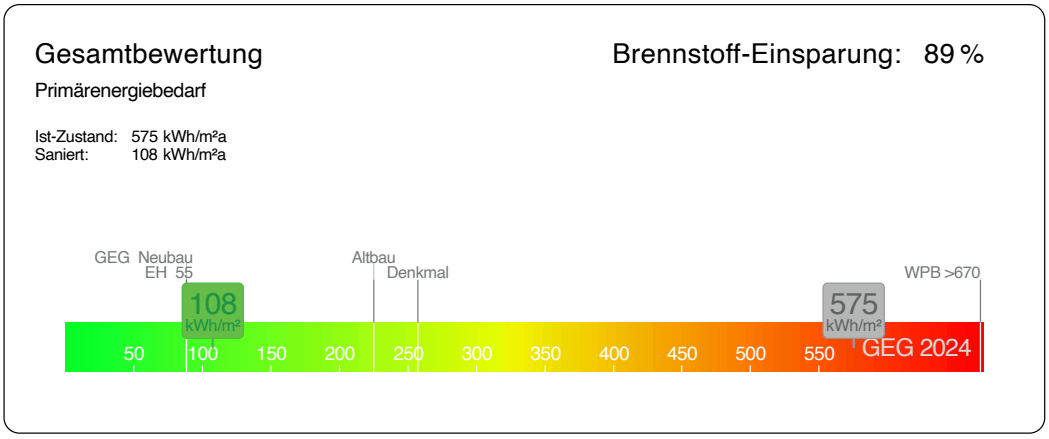
Ist-Zustand: 575 kWh/m²a
Saniert: 52 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	52,2	þ 262,7	187,7	þ 75,1	þ 103,2	þ 131,4	þ 300,3
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,88	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,0	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

3.3 Variante 2 konventionell



	Variante 2 konventionell
C k	Vorhangfassade Zellulose 16cm
F k	Zwischensparren ohne Dachabdeckung
I k	geschossdecke 30cm
K k	Kellerdecke von unten, Holzfaser
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier
Q k	Außentürtausch
R	WP 1 bis 15kw Sole
Y	RLT 1

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**181.572,75 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**2.456,00 €**	Energiekosten	2456
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 5.415,64**		
		-69%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**66.876,59 €**		
Ersatzherstellung		**92.704,24 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**668.813,58 €**		327660
Umweltfolgekosten		**24.621,52 €**		
CO_2 Preis		**81.730,50 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**775.165,60 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**27979**		
	CO2eq./m²NGFa	2,73		
GWP B6	kg CO2eq.	**343850**	GWP B6	343850
	CO2eq./m²NGFa	33,55		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**375543**		
	CO2eq./m²NGFa	36,65		
PENRT A1-A3	kWh	**88693**		
	CO2eq./m²NGFa	8,65		
PENRT B6	kWh	**1105250**	PENRT B6	1105250
	CO2eq./m²NGFa	107,85		
PENRT gesamt	kWh	**1196036**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**60**		12280
Amortisationszeit	Jahre	**34**		
Einsparung pro kWh		**1,81 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**1,65**		
nicht nachwachsende Rohsoffe	m³	**77,05**		
Entsorgungskosten min.	€	**1433,01**		
Entsorgungskosten max	€	**3803,14**		
Entsorgungskosten mittel	€	**2511,23**		

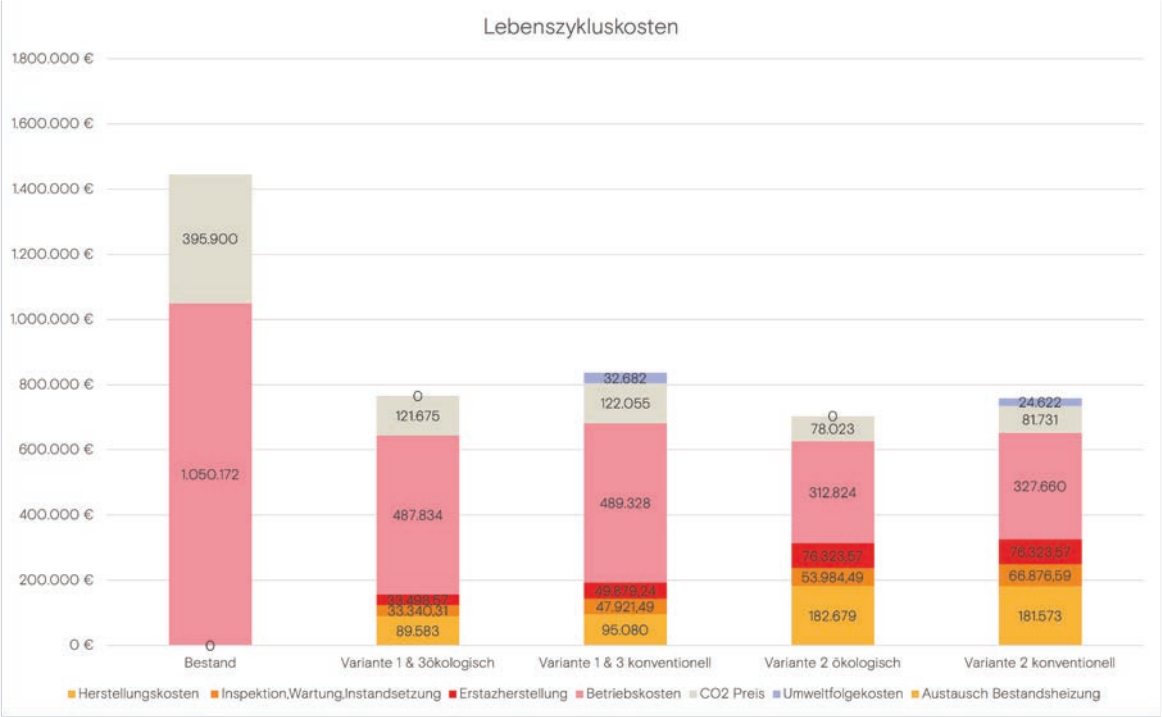
3.2 Variante 3

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar. Bei diesem Gebäude erweist sich die Variante 1 bei der das Dach, die Außenwände sowie die oberste Geschossdedecke gedämmt werden, als die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollere, da für die Variante 2 erhebliche Mehrkosten in der Erstherstellung entstehen. Zusätzlich zu den Maßnahmen an der gebäudehülle wird der Austausch des 30 Jahre alten Ölkessels und der Einbau einer Wärmepumpe empfohlen.

Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend den Übersichten auf Seite 10 (ökologisch) und Seite 12 (konventionell) zu entnehmen.

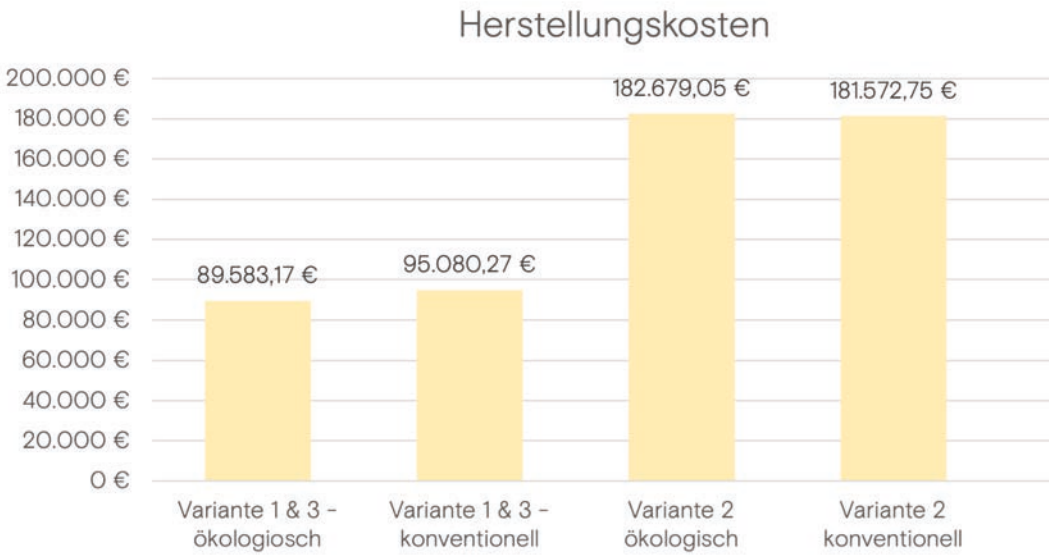
3.5 Variantenvergleich

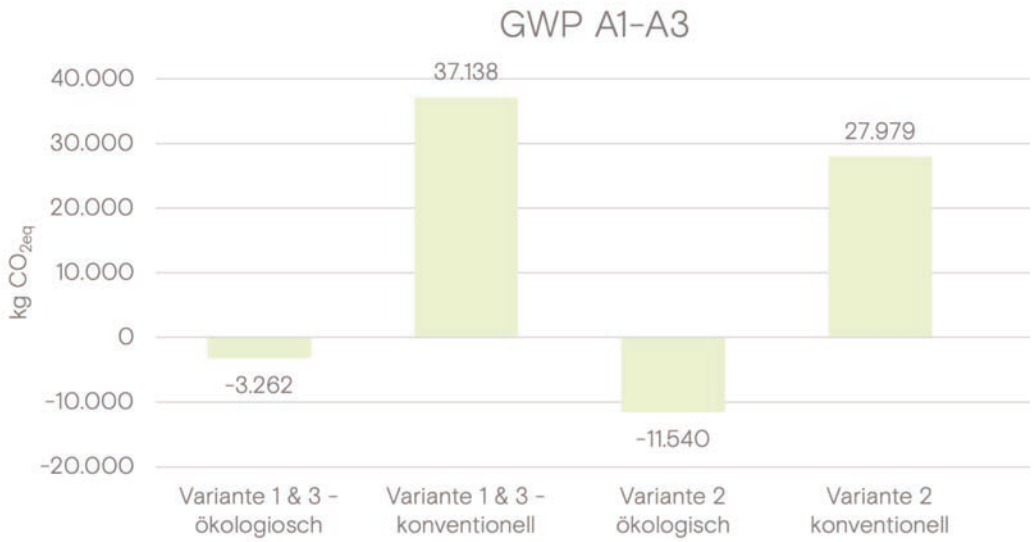
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen.
Der Endenergieverbrauch kann durch die Sanierungsmaßnahmen erheblich reduziert werden. Während der Bestand einen Endenergieverbrauch von rund 549 kWh/m²a aufweist, sinkt dieser in der Variante 1/3 auf etwa 89 kWh/m²a, was einer Reduktion von rund 84 % entspricht. Variante 2 erreicht mit etwa 57–60 kWh/m²a sogar noch geringere Werte und reduziert den Energiebedarf damit um fast 90 %. Diese nur wenig höhere Einsparung der Endenergie und damit auch den Kosten im Betrieb, geht jedoch einher mit deutlich höheren Investitionskosten um das Zeil der Variante 2 zu erreichen. Während die Variante 1/3 mit etwa 90.000–95.000 € vergleichsweise geringe Investitionskosten aufweist, liegen die Kosten der Variante 2 mit rund 182.000 € etwa doppelt so hoch.
Hinsichtlich der Umweltwirkungen der Materialien (GWP A1–A3) zeigen sich deutliche Unterschiede. Die ökologischen Versionen weisen durch den Einsatz biogener oder nachwachsender Baustoffe teilweise sogar negative Emissionswerte auf, da während der Nutzungsdauer Kohlenstoff in den Materialien gespeichert wird. Die konventionellen Versionen hingegen verursachen deutlich höhere Emissionen in der Herstellungsphase.

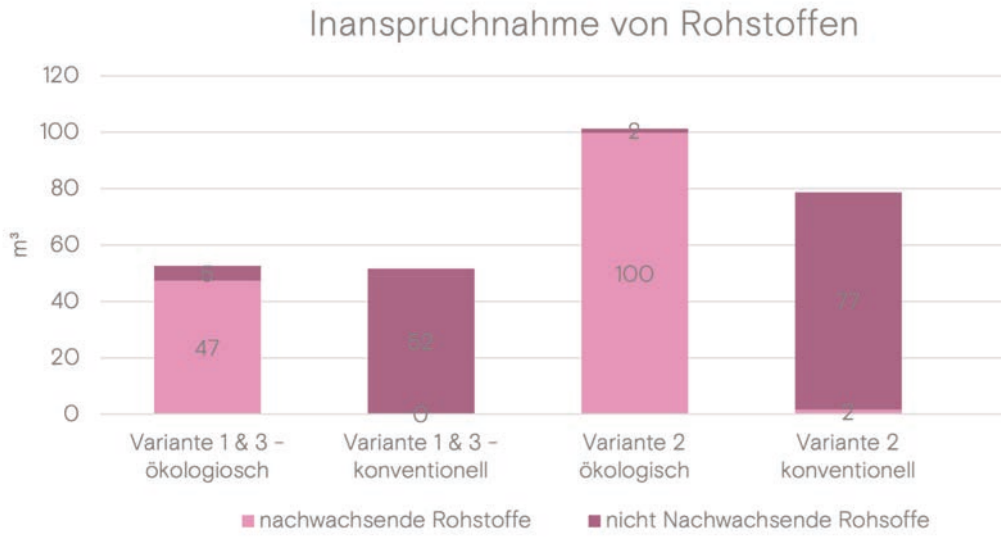


Die günstigsten Gesamtkosten weist die ökologische Variante 2 mit rund 700.000 € auf. Obwohl diese Variante die höchsten Herstellungskosten verursacht, werden diese durch deutlich geringere Betriebskosten über den Lebenszyklus hinweg teilweise kompensiert.
Die Variante 1/3 liegt mit rund 760.000 € bis 840.000 € etwas darüber, profitiert jedoch von deutlich geringeren Anfangsinvestitionen. Insgesamt zeigt sich, dass sich die höheren Investitionen der Variante 2 zwar in niedrigeren Betriebskosten widerspiegeln, die Unterschiede in den gesamten Lebenszykluskosten jedoch vergleichsweise moderat bleiben.

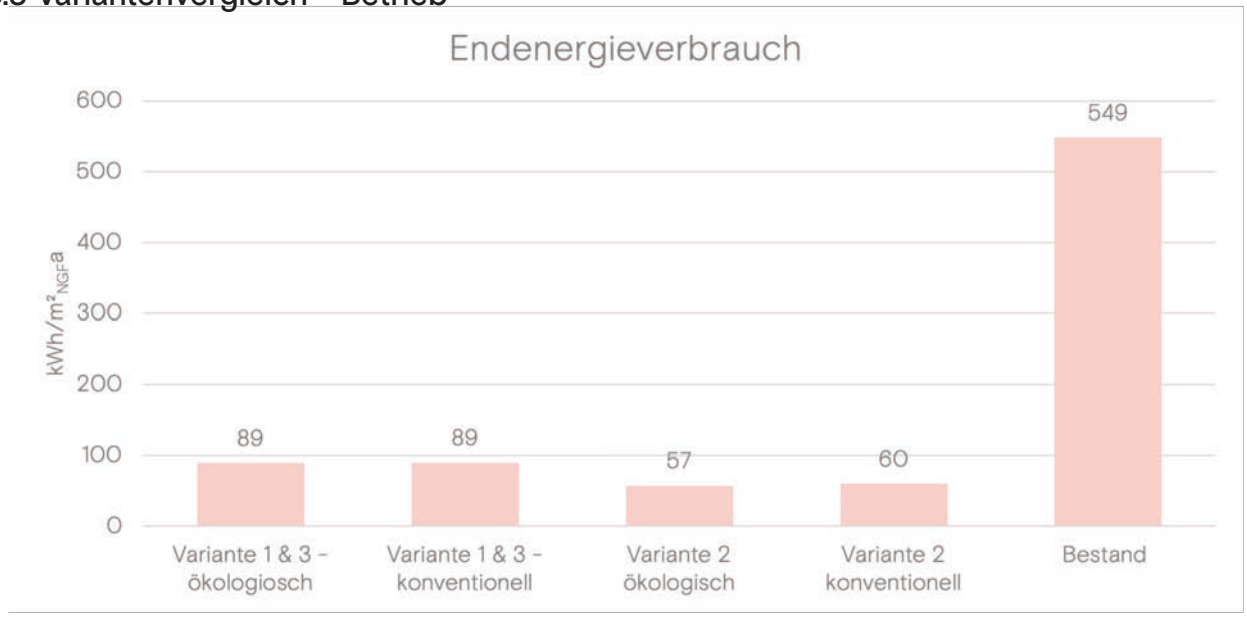
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

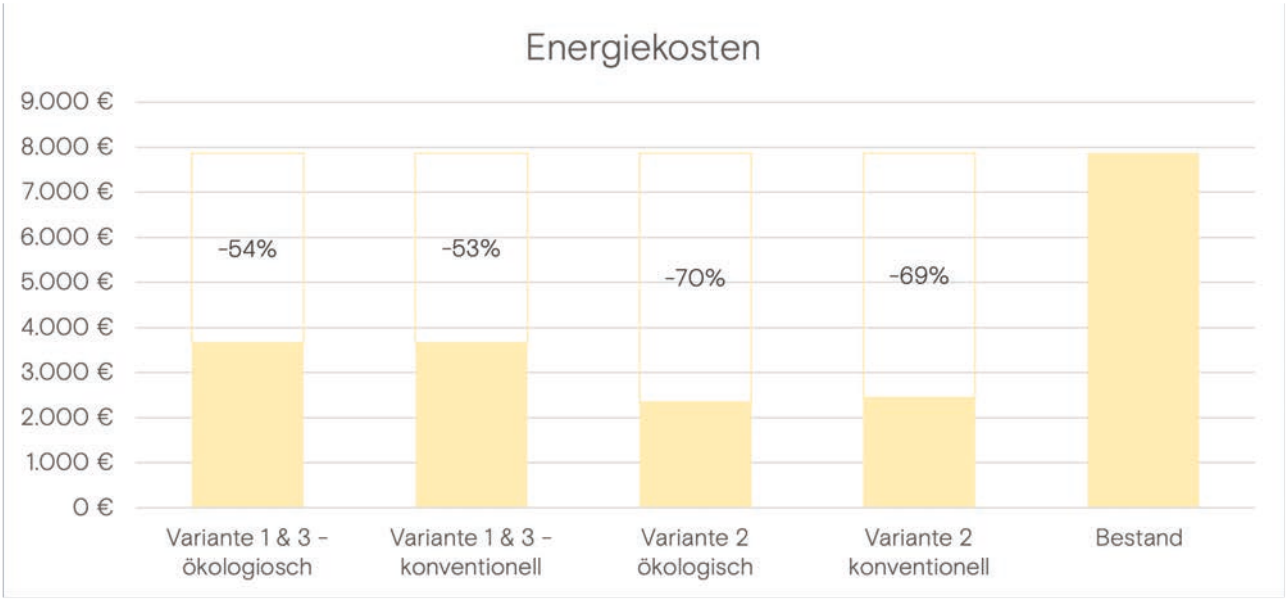


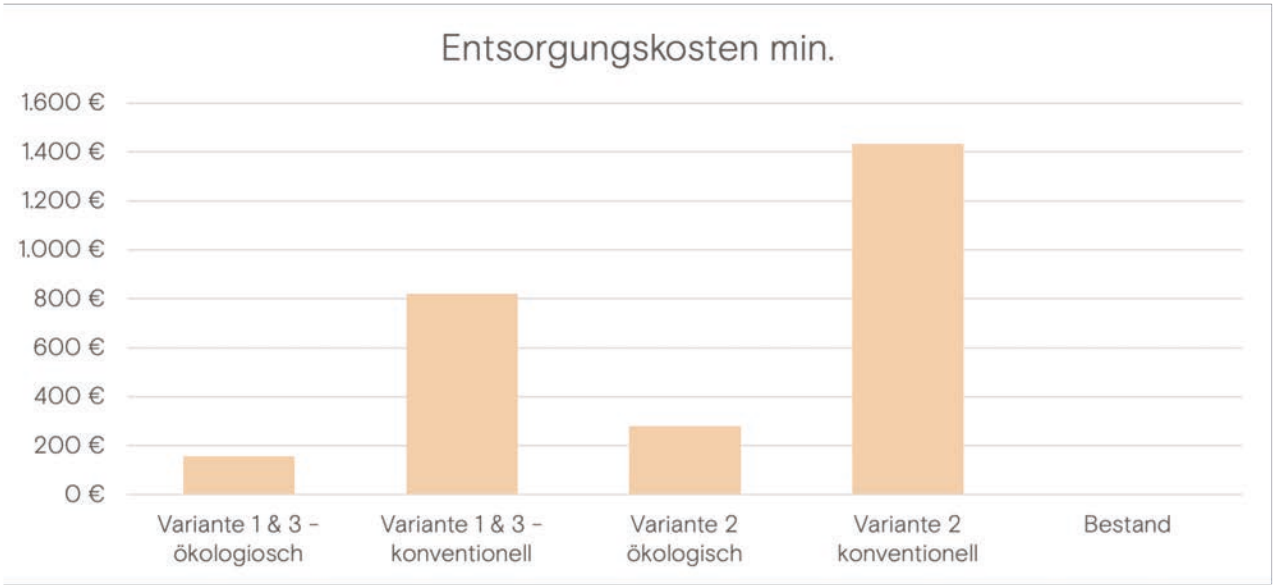




3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Gebbäude ist aktuell sowohl energetisch als auch baulich in einem sehr schlechten Zustand. Die Untersuchung der Villa Kiwi zeigt jedoch, dass für das Gebäude trotzdem eine energetische Ertüchtigung grundsätzlich möglich und wirtschaftlich vertretbar ist. Obwohl das Gebäude aktuell erhebliche Schäden wie Feuchteprobleme und Schimmel aufweist, wird deutlich, dass insbesondere aufgrund der relativ kleinen Gebäudefläche vergleichsweise geringe Investitionen ausreichen, um den Energieverbrauch deutlich zu reduzieren und die Betriebskosten langfristig zu senken.
Vor diesem Hintergrund erscheint ein Abriss des Gebäudes aus ökologischer Sicht nicht sinnvoll. In der bestehenden Bausubstanz sind bereits erhebliche Mengen an Ressourcen und grauer Energie gebunden, die bei einem Rückbau verloren gehen würden. Der Neubau eines Ersatzgebäudes würde hingegen zusätzliche Materialien, Energie und Emissionen verursachen. Die Weiterverwendung und Sanierung des bestehenden Gebäudes stellt daher in der Regel die deutlich ressourcenschonendere Strategie dar.
Hinzu kommt, dass das bestehende Heizsystem mit einem über 30 Jahre alten Ölkessel betrieben wird und ohnehin erneuert werden muss. Im Zuge der notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen bietet sich daher an, das Gebäude gleichzeitig energetisch zu ertüchtigen und auf ein strombasiertes Wärmesystem, beispielsweise eine Wärmepumpe, umzustellen. Aufgrund der geringen Gebäudegröße kann hier bereits eine vergleichsweise kleine Anlage ausreichen, um eine klimafreundliche Wärmeversorgung zu gewährleisten.
Insgesamt zeigt sich somit, dass die Sanierung des Gebäudes trotz der vorhandenen Schäden eine realistische und nachhaltige Option darstellt. Durch die Kombination aus Schadensbehebung (nicht Bestandteil der Untersuchung), energetischer Verbesserung der Gebäudehülle und dem Austausch des Heizsystems kann das Gebäude langfristig weiter genutzt werden und gleichzeitig einen Beitrag zur Reduktion von Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen leisten. Die Ergebnisse sprechen daher dafür, den Bestand zu erhalten und im Zuge der ohnehin notwendigen Instandsetzung energetisch zu modernisieren, anstatt einen ressourcenintensiven Neubau zu realisieren.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



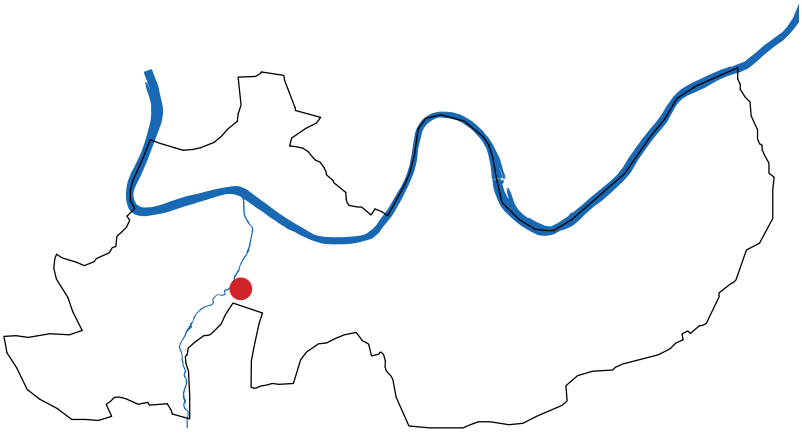
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

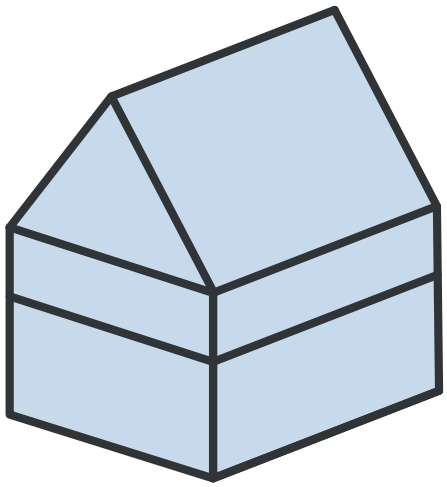
2. Gebäudeaufnahme
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 8
- 3.2 Variante 1 S. 19
- 3.3 Variante 2 S. 12
- 3.4 Variante 3 S. 14
- 3.5 Variantenvergleich S. 17

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 20



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Massivhaus
Baujahr:	1890
Denkmalschutz:	Ja
Geschosse:	3
NGF:	448 m²
BGF:	538 m²
Nutzung:	Wohnen
Bruttovolumen:	1528 m³
Hüllfläche A:	790 m²

Das Geäude An der Walkmühle 1 ist Teil eines Ensembles, durch Schimmelbefall ist allerdings nur noch dieses Gebäude in Benutzung. Momentan wird es in Kombination mit Containern als Flüchtlingsunterkunft genutzt. Das Sandsteingebäude steht unter Denkmalschutz und ist in einem schlechten Zustand.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Eingang


Rückseite 2


Rückseite


Keller


Kellertür


Dach


Eingang Innen

2.2 Bekannte Schäden

Viele Putz und Schönheitsschäden.



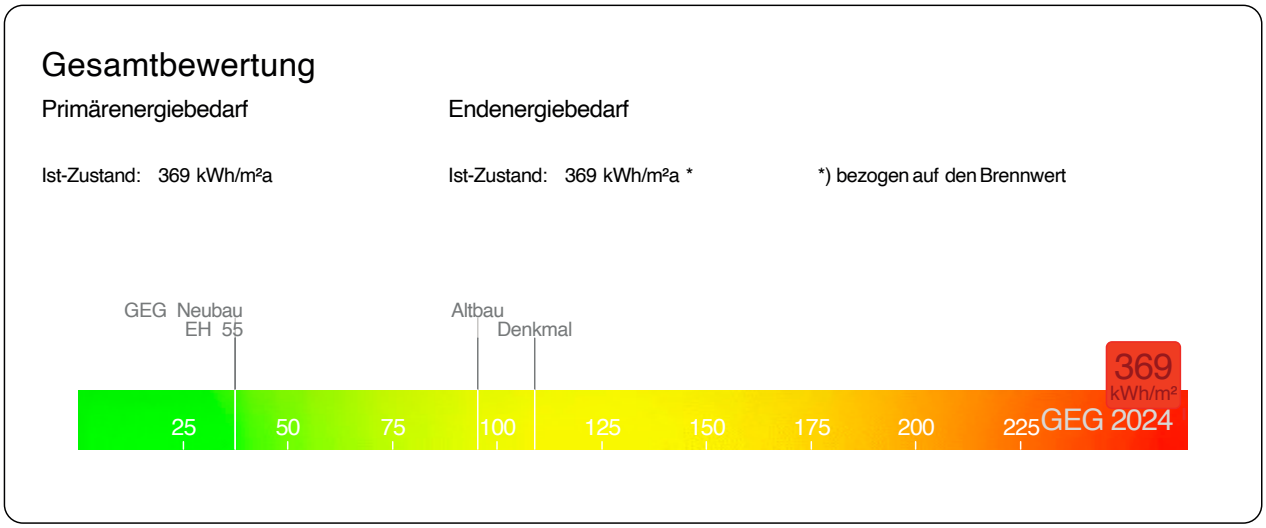


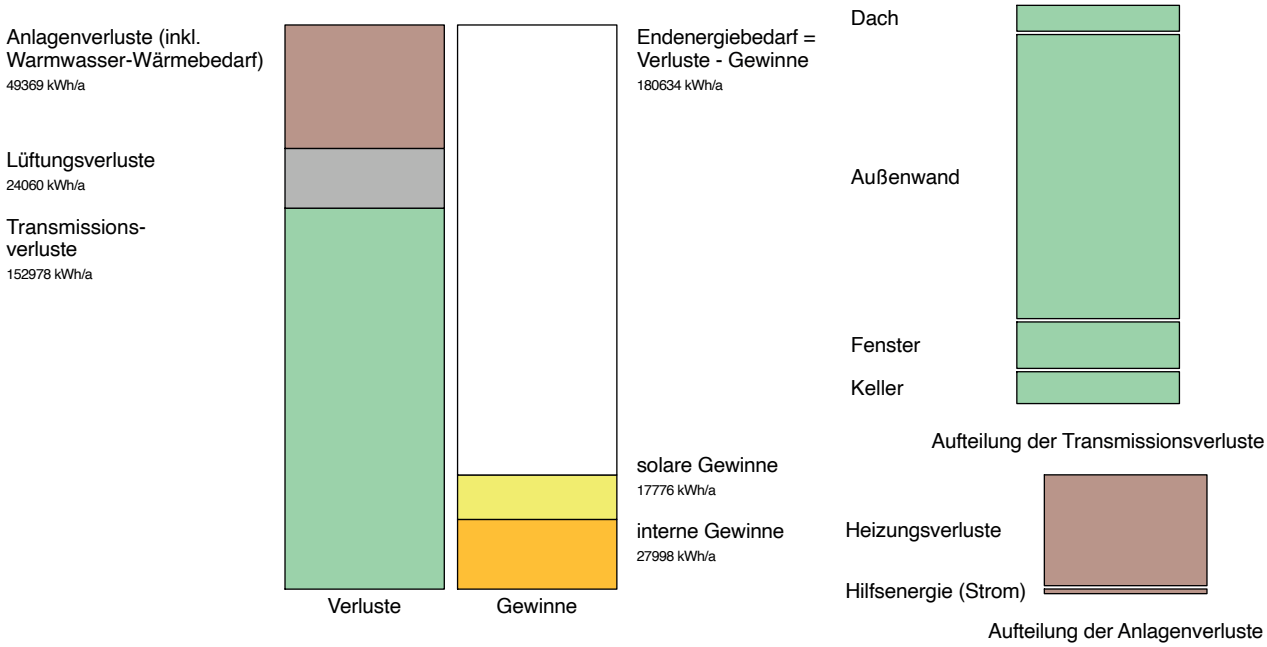




2.3 Energiebilanz

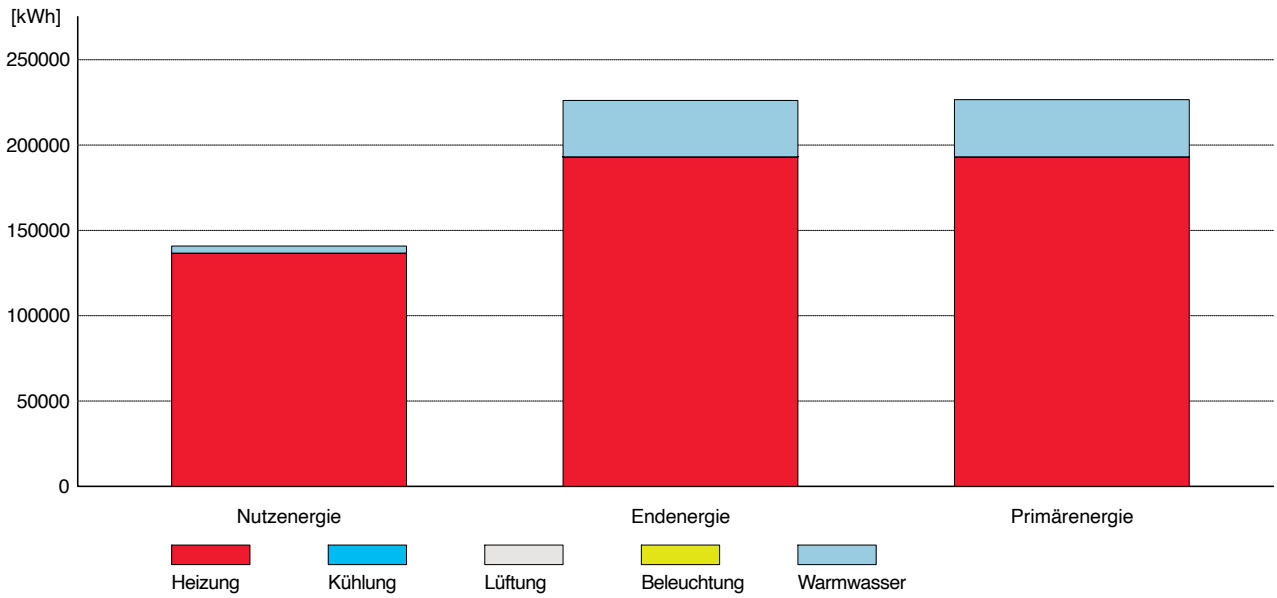
Das Gebäude ist energetisch in einem mittleren bis schlechten Zustand, Die Außenwände sind weitestgehend ungedämmt und die Fensterflächen stellen einen weiteren Wärmeverlust dar.





Aufteilung der Transmissionsverluste

Aufteilung der Anlagenverluste



2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
	DA	Dach 001-6	42,21	0,31	0,24	0,14
	DA	Dach 002-5	42,87	0,31	0,24	0,14
X	DA	Dach 003-6	1,41	2,81	0,24	0,14
X	DA	Dach 004-5	1,42	2,81	0,24	0,14
	DG	Dach DG 002	3,42	0,31	0,20	0,20
	DG	Dach DG 003 + Dach DG 001	5,17	0,31	0,20	0,20
X	OG	Boden DG2-8	90,41	1,00	0,24	0,14
X	TA	AT 002-2	1,97	2,50	1,8	1,3
X	TA	AT 003-2	2,56	2,50	1,8	1,3
X	WA	AW 002-5 + AW DG 001 - 2 + AW DG 003 - 2 + AW 014-6 + AW 014-5 + AW 014-7 + AW DG 002 - 3	19,46	2,23	0,24	0,20
X	WA	AW 005 + AW 004 + AW DG 002 - 2 + AW DG 003 - 3 + AW DG 001 - 3 + AW 016	83,77	2,23	0,24	0,20
X	WA	AW 006 + AW 001 + AW DG 002 - 1 + AW 013	87,74	2,23	0,24	0,20
X	WA	AW 008 + AW 003 + AW DG 003 - 1 + AW 015 + AW DG 001 - 1	85,09	2,23	0,24	0,20
X	WK	AW 007 + AW 002 + AW 014	80,73	2,23	0,30	0,25
X	FA	DF 001-2 + DF 002-2	2,88	1,60	1,4	1,0
X	FA	DF 003-2	0,40	1,60	1,4	1,0
X	FA	DF 005-2 + DF 004-2	0,80	1,60	1,4	1,0
X	FA	F 001-2 + F 002-2 + F 004-2 + F 003-2	7,59	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 007-2 + F 005-2 + F 006-2	5,69	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-2 + F 008-2	3,79	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 010-2	1,98	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 011-2	1,98	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 012-2	1,90	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 013-2	1,77	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 014-2	1,47	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 016-2	0,53	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 017-2	0,56	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 019-2 + F 018-2 + F 021-2 + F 020-2	7,28	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 023-2 + F 022-2	3,64	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 024-2	1,82	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 027-2 + F 026-2	3,35	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 028-2	4,03	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 030-2 + F 029-2 + F 025-2	5,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 031-2	1,82	5,00	1,3	0,95
X	FA	F 033-2 + F 032-2 + F 034-2	4,05	2,70	1,3	0,95
X	FA	F DG 001	0,52	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 001-3	0,52	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002	0,52	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 002-3	0,52	1,60	1,3	0,95
X	FA	F DG 003	0,44	1,60	1,3	0,95
X	BA	Boden EG-3	104,41	4,76	0,24	0,20
X	BK	Boden EG-11	71,57	4,76	0,30	0,25

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt über einen Gaskessel.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kessel von 2019 Nennleistung: 80,00 kW Energieträger: Erdgas E Der Kessel versorgt den TWW-Bereich 'Warmwasser-Erzeugung 1' mit.
Pufferspeicher	- Heizungsspeicher 1 von 2015 Speicher-Nenninhalt 473,00 l Lage: in Zone
Verteilung	- Verteilkreis 1 als Zweirohrheizung Verteilnetztyp 'Steigestrang' in der Gebäudeart 'Gruppe 1' kein hydraulischer Abgleich Heizkreisauslegung 70/55 °C 276,5 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,30 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe geregelt - delta-p konstant
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Wohnen' mit 100 % Übergabekomponente: 'Heizkörper (freie Heizflächen)' Regelung: 'P-Regler'

Lüftung:

Keine Lüftung vorhanden

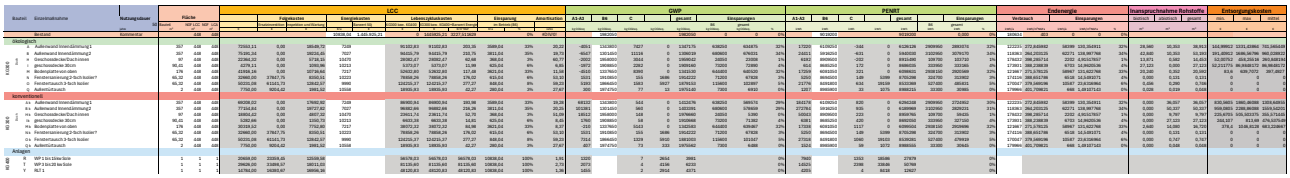
Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Brennwert-Kessel aus dem Heizkreis 'Bruderus' von 2019 - Nennleistung 80,00 kW Energieträger: Erdgas E
Verteilung	- TWW-Kreis 1 zentral mit Zirkulation' 117,8 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt Umwälzpumpe ungeregelt
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Wohnen' mit 100 %

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Untersucht wurden aufgrund des Denkmalschutzes nur Maßnahmen die das äußere Erscheinungbild nicht verändern. Die Einzelmaßnahmen umfassen Außenwand, Dach, Bodenplatte, und Öffnungen. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

KG300

Dach

- A Außenwand Innendämmung 1
- B Außenwand Innendämmung 2
- H Geschossdecke/Dach innen
- I geschossdecke 30cm
- M Bodenplatte von oben
- N Fenstersanierung 2-fach Isolier?
- O Fenstertausch 3-fach Isolier
- Q Außentürtausch

Anlagen

KG400

- R WP 1 bis 15kw Sole
- T WP 3 bis 20 kw Sole
- Y RLT 1

Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

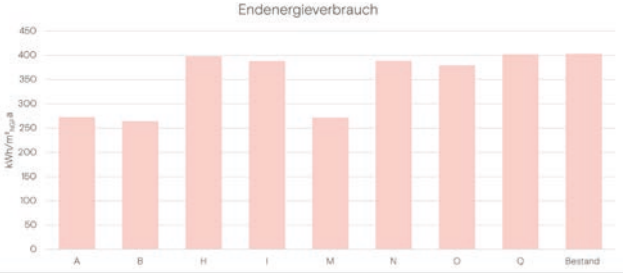


Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung den größten Effekt bringt. Außerdem sehr sinnvoll ist die Dämmung der Bodenplatte sowie die Dämmung der obersten Geschossdecke.
Das Global Warming Potential Diagramm weist die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.



Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.





3.2 Variante 1 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren. ei diesem Gebäude gelinngt dies nur durch eine Innendämmung der Außenwände

Gesamtbewertung — **Brennstoff-Einsparung: 80 %**

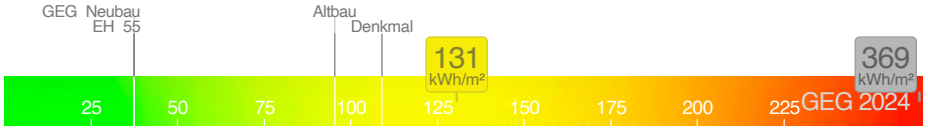
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a
Saniert: 131 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a *
Saniert: 73 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



	Variante 1 - ökologiosch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
T	WP 3 bis 20 kw Sole					
	Erstinvestition/Herstellung		104.817,34 €			
	Energiekosten	Pro Jahr	7.091,80 €	Energiekosten		7091,8
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	€ 3.746,24			
			-35%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		37.235,48 €			
	Ersatzherstellung		33.498,57 €			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		1.121.682,39 €			946131
	Umweltfolgekosten		0,00 €			
	CO_2 Preis		235.992,81 €			
	Lebenszykluskosten gesamt		1.357.675,20 €			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	-4474			
		CO2eq./m²NGFa	-0,20			
	GWP B6	kg CO2eq.	992850	GWP B6		992850
		CO2eq./m²NGFa	44,32			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	997419			
		CO2eq./m²NGFa	44,53			
	PENRT A1-A3	kWh	38936			
		CO2eq./m²NGFa	1,74			
	PENRT B6	kWh	3191350	PENRT B6		3191350
		CO2eq./m²NGFa	142,47			
	PENRT gesamt	kWh	3215130			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	79			35459
	Amortisationszeit	Jahre	28			
	Einsparung pro kWh		0,72 €			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	42,84			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	10,35			
	Entsorgungskosten min.	€	191,41			
	Entsorgungskosten max	€	1686,57			
	Entsorgungskosten mittel	€	960,03			

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	130,5	95,4	68,2	27,3	37,5	47,7	57,9	109,0
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	1,426	0,700	0,389	0,214	0,273	0,331	0,389	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 50,78 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 10,79 kW

Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 13265,45 kWh

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 19,53 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 4,15 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 13265,45 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 84 %

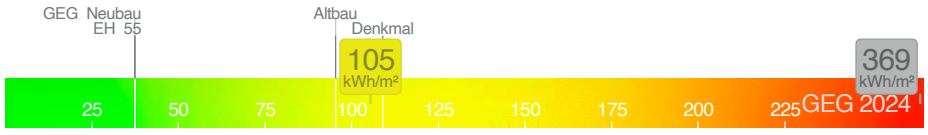
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a
Saniert: 105 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a *
Saniert: 59 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	105,5	95,4	68,2	27,3	37,5	47,7	57,9	109,0
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	1,426	0,700	0,389	0,214	0,273	0,331	0,389	

EE-Klasse

3.2 Variante 1 konventionell

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 81 %**

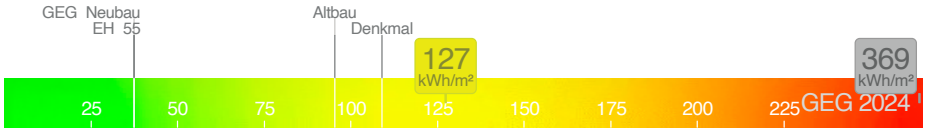
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a
Saniert: 127 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a *
Saniert: 71 kWh/m²a *

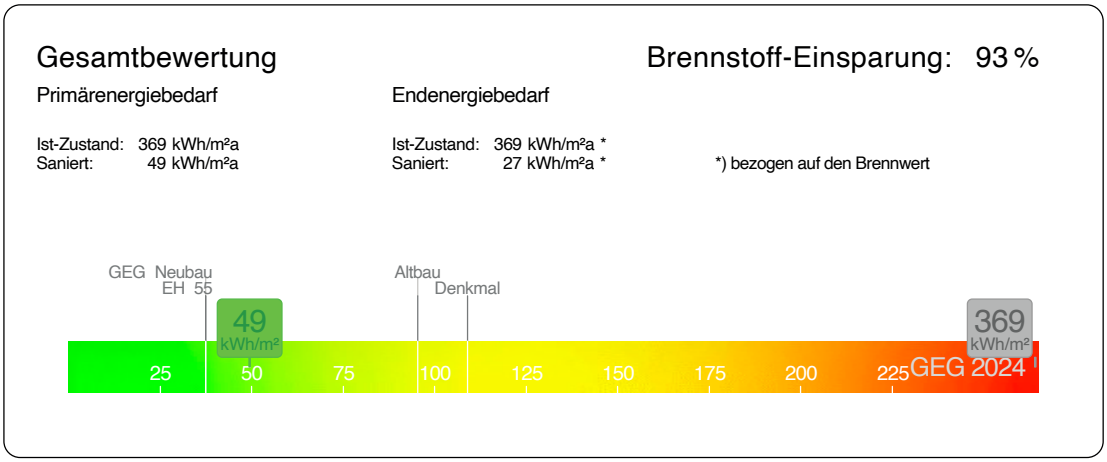
*) bezogen auf den Brennwert



	Variante 1 - konventionell					
B k	Außenwand Innendämmung 2					
T	WP 3 bis 20 kw Sole					
Y	RLT 1					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**121.564,84 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**6.924,20 €**	Energiekosten		6924,2
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 3.913,84**			
			-36%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**54.695,01 €**			
	Ersatzherstellung		**49.879,24 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.149.910,09 €**			923771
	Umweltfolgekosten		**92.320,68 €**			
	CO_2 Preis		**230.418,92 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**1.472.649,69 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**104910**			
		CO2eq./m²NGFa	4,68			
	GWP B6	kg CO2eq.	**969400**	GWP B6		969400
		CO2eq./m²NGFa	43,28			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1071341**			
		CO2eq./m²NGFa	47,83			
	PENRT A1-A3	kWh	**291514**			
		CO2eq./m²NGFa	13,01			
	PENRT B6	kWh	**3115950**	PENRT B6		3115950
		CO2eq./m²NGFa	139,10			
	PENRT gesamt	kWh	**3389669**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**77**			34.621
	Amortisationszeit	Jahre	**31**			
	Einsparung pro kWh		**0,83 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**50,34**			
	Entsorgungskosten min.	€	**959,08**			
	Entsorgungskosten max	€	**2288,86**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1559,54**			

3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen oder denkmalkonform und innerhalb des Baukastens so nahe wie möglich an dieses Ziel heran zu kommen, insbesondere bei denkmalgeschützten Gebäuden wie dem vorliegenden ist es jedoch nicht möglich dieses Ziel mit den Maßnahmen aus dem Baukasten zu erreichen.



	Variante 2 ökologisch					
B	Außenwand Innendämmung 2					
H	Geschossdecke/Dach innen					
I	geschossdecke 30cm					
M	Bodenplatte von oben					
O	Fenstertausch 3-fach Isolier					
Q	Außentürtausch					
R	WP 1 bis 15kw Sole					

				Werte aus Energieberater und BNBLCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**222.391,01 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**2.684,00 €**	Energiekosten	2684
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 8.154,04**		
		-75%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**64.136,86 €**		
Ersatzherstellung		**93.705,59 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**738.310,46 €**		358077
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2Preis		**89.312,88 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**827.623,34 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-8219**		
	CO2eq./m²NGFa	-0,37		
GWP B6	kg CO2eq.	**375750**	GWP B6	375750
	CO2eq./m²NGFa	16,77		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**398644**		
	CO2eq./m²NGFa	17,80		
PENRT A1-A3	kWh	**79399**		
	CO2eq./m²NGFa	3,54		
PENRT B6	kWh	**1207800**	PENRT B6	1207800
	CO2eq./m²NGFa	53,92		
PENRT gesamt	kWh	**1299820**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**30**		13420
Amortisationszeit	Jahre	**27**		
Einsparung pro kWh		**1,33 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**104,56**		
nicht nachwachsende Rohsoffe	m³	**11,60**		
Entsorgungskosten min.	€	**379,23**		
Entsorgungskosten max	€	**2871,52**		
Entsorgungskosten mittel	€	**1705,35**		

Effizienzhaus-Stufen

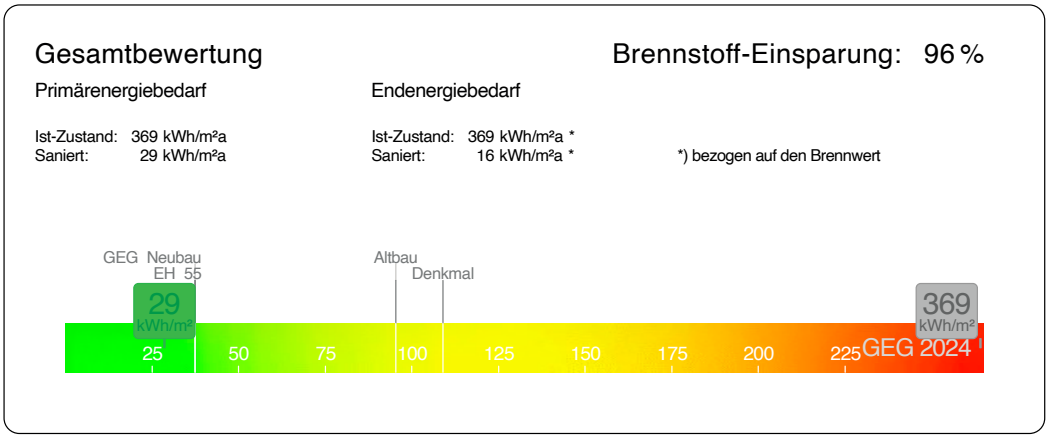
Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	49,4	þ 95,4	68,2	¨ 27,3	¨ 37,5	¨ 47,7	þ 57,9	þ 109,0
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,412	þ 0,700	0,389	¨ 0,214	¨ 0,273	¨ 0,331	¨ 0,389	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 50,78 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 10,79 kW

Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 13265,45 kWh

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 19,53 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 4,15 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 13265,45 kWh



Effizienzhaus-Stufen

Ergebnis			Anforderungen WG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH 40	EH 55	EH 70	EH 85	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	28,7	þ 95,4	68,2	¨ 27,3	þ 37,5	þ 47,7	þ 57,9	þ 109,0
Transmissionswärme-verlust H_T	W/m²K	0,412	þ 0,700	0,389	¨ 0,214	¨ 0,273	¨ 0,331	¨ 0,389	

3.3 Variante 2 konventionell

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 93 %**

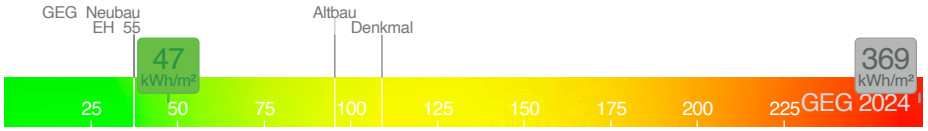
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a
Saniert: 47 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a *
Saniert: 26 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



	Variante 2 konventionell	Mit Wärmepumpe
B k	Außenwand Innendämmung 2	
H k	Geschossdecke/Dach innen	
I k	geschossdecke 30cm	
M k	Bodenplatte von oben	
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier	
Q k	Außentürtausch	
R	WP 1 bis 15kw Sole	
Y	RLT 1	

Werte aus Energieberater und BNB LCC tool

Herstellungskosten/Erstinvestition		**224.985,52 €**			
Energiekosten	Pro Jahr	**2.569,00 €**	Energiekosten		2569
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 8.269,04**			
		-76%			
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**77.978,49 €**			
Ersatzherstellung		**110.086,26 €**			
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**755.785,26 €**			342735
Umweltfolgekosten		**116.107,25 €**			
CO_2 Preis		**85.486,04 €**			
Lebenszykluskosten gesamt		**957.378,55 €**			
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**131940**			
	CO2eq./m²NGFa	5,89			
GWP B6	kg CO2eq.	**359650**	GWP B6		359650
	CO2eq./m²NGFa	16,06			
GWP gesamt	kg CO2eq.	**502367**			
	CO2eq./m²NGFa	22,43			
PENRT A1-A3	kWh	**387532**			
	CO2eq./m²NGFa	17,30			
PENRT B6	kWh	**1156050**	PENRT B6		1156050
	CO2eq./m²NGFa	51,61			
PENRT gesamt	kWh	**1555425**			
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**29**			12.845
Amortisationszeit	Jahre	**27**			
Einsparung pro kWh		**1,34 €**			
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
nachwachsende Rohstoffe	m³	**2,64**			
nicht nachwachsende Rohsoffe	m³	**102,13**			
Entsorgungskosten min.	€	**1807,26**			
Entsorgungskosten max	€	**4654,87**			
Entsorgungskosten mittel	€	**3074,88**			

3.3 Variante 3 ökologisch

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar, diese ist entweder eine der beiden Varianten zuvor oder eine neue Zwischenversion die sich aus den beiden Varainten entwickelt hat. ei diesem Gebäude orientiert wurden zusätzlich zur Innendämmung noch die Dämmung der obersten geschossdecke und der Bodenplatte gewählt, da sich diese Maßnahmen als sehr effektiv erweisen.

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 91 %**

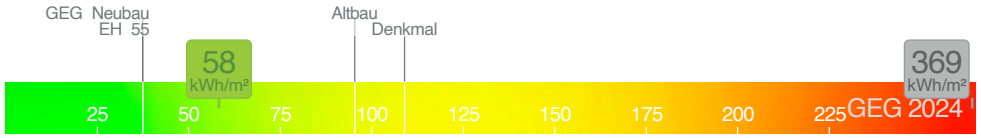
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a
Saniert: 58 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a *
Saniert: 32 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert



	Variante 3 ökologisch
B	Außenwand Innendämmung 2
I	geschossdecke 30cm
M	Bodenplatte von oben
R	WP 1 bis 15kw Sole

				Werte aus Energieberater und BNB.LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**142.045,61 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**3.165,00 €**	Energiekosten	3165
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 7.673,04**		
		-71%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**43.594,63 €**		
Ersatzherstellung		**23.359,45 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**631.354,69 €**		422355
Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
CO_2 Preis		**105.345,23 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**736.699,92 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-11709**		
	CO2eq./m²NGFa	-0,52		
GWP B6	kg CO2eq.	**443200**	GWP B6	443200
	CO2eq./m²NGFa	19,79		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**451959**		
	CO2eq./m²NGFa	20,18		
PENRT A1-A3	kWh	**50224**		
	CO2eq./m²NGFa	2,24		
PENRT B6	kWh	**1424600**	PENRT B6	1424600
	CO2eq./m²NGFa	63,60		
PENRT gesamt	kWh	**1466746**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**35**		15.829
Amortisationszeit	Jahre	**19**		
Einsparung pro kWh		**€ 0,86**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**90,20**		
nicht nachwachsende Rohsoffe	m³	**10,71**		
Entsorgungskosten min.	€	**327,22**		
Entsorgungskosten max	€	**2413,26**		
Entsorgungskosten mittel	€	**1444,51**		

3.3 Variante 3 konventionell

Gesamtbewertung **Brennstoff-Einsparung: 92 %**

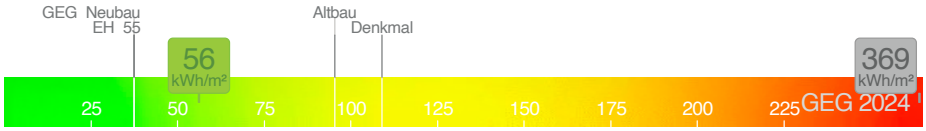
Primärenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a
Saniert: 56 kWh/m²a

Endenergiebedarf

Ist-Zustand: 369 kWh/m²a *
Saniert: 31 kWh/m²a *

*) bezogen auf den Brennwert

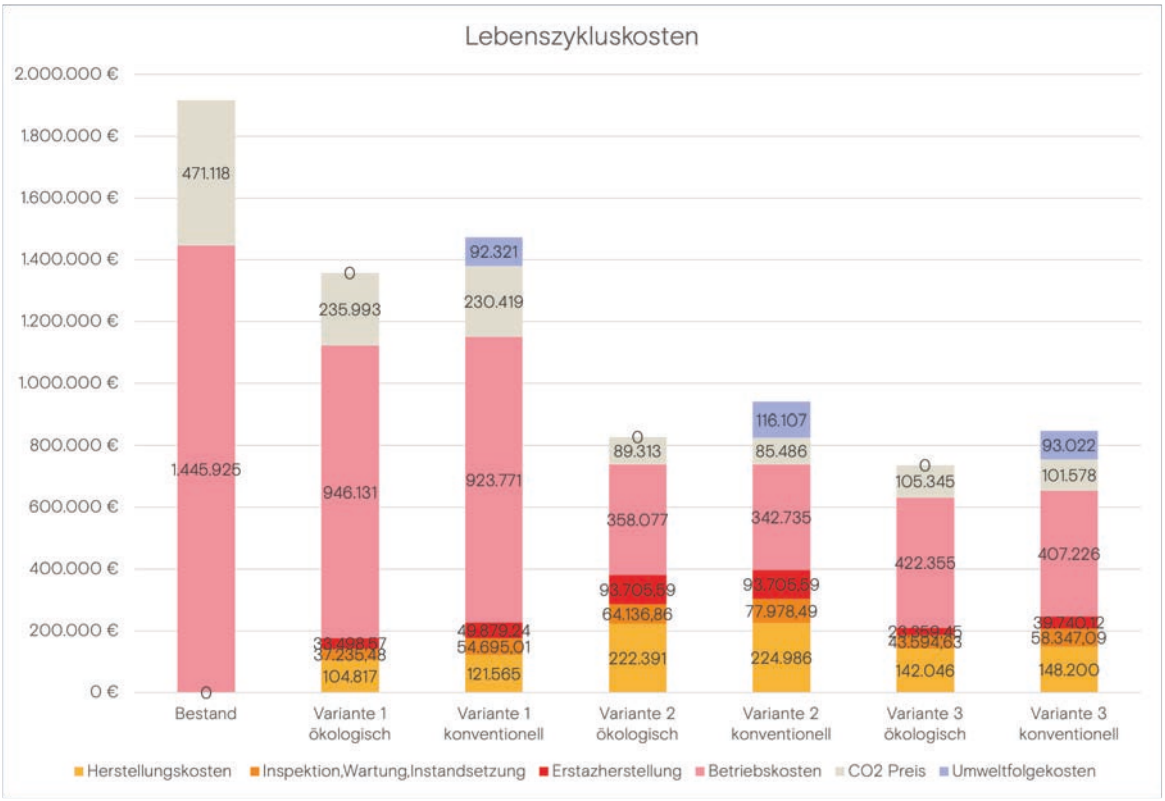


	Variante 3 konventionell
B k	Außenwand Innendämmung 2
I k	geschossdecke 30cm
M k	Bodenplatte von oben
R	WP 1 bis 15kw Sole
Y	RLT 1

				Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**148.200,02 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**3.052,40 €**	Energiekosten	3052,4
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 7.785,64**		
		-72%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**58.347,09 €**		
Ersatzherstellung		**39.740,12 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**653.513,22 €**		407226
Umweltfolgekosten		**93.022,09 €**		
CO_2Preis		**101.577,81 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**848.113,12 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**105707**		
	CO2eq./m²NGFa	4,72		
GWP B6	kg CO2eq.	**427350**	GWP B6	427350
	CO2eq./m²NGFa	19,08		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**536042**		
	CO2eq./m²NGFa	23,93		
PENRT A1-A3	kWh	**308647**		
	CO2eq./m²NGFa	13,78		
PENRT B6	kWh	**1373600**	PENRT B6	1373600
	CO2eq./m²NGFa	61,32		
PENRT gesamt	kWh	**1102575**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**34**		15.262
Amortisationszeit	Jahre	**19**		
Einsparung pro kWh		**€ 0,90**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**2,64**		
nicht nachwachsende Rohsoffe	m³	**91,54**		
Entsorgungskosten min.	€	**1581,59**		
Entsorgungskosten max	€	**4149,36**		
Entsorgungskosten mittel	€	**2719,30**		

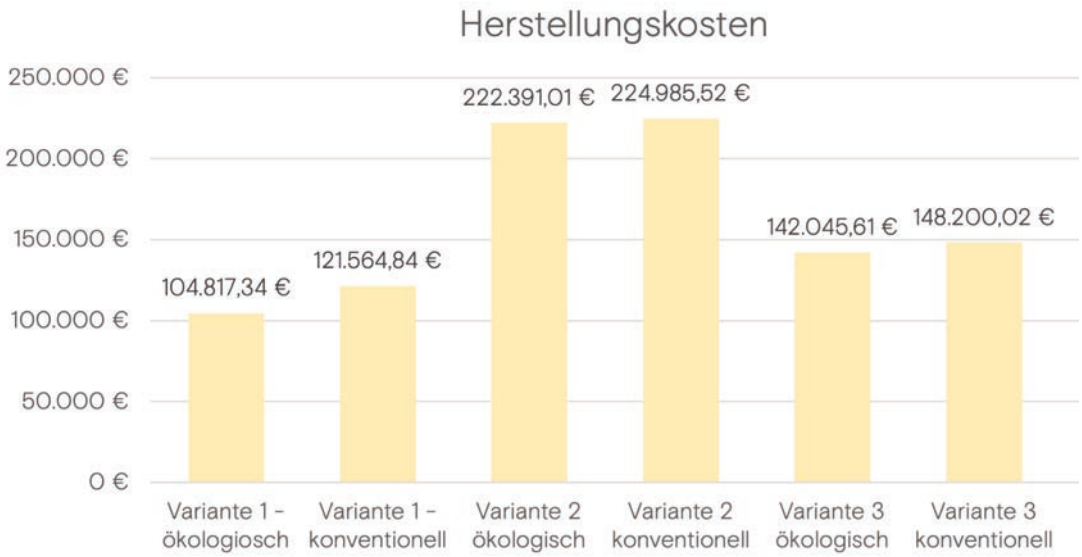
3.5 Variantenvergleich

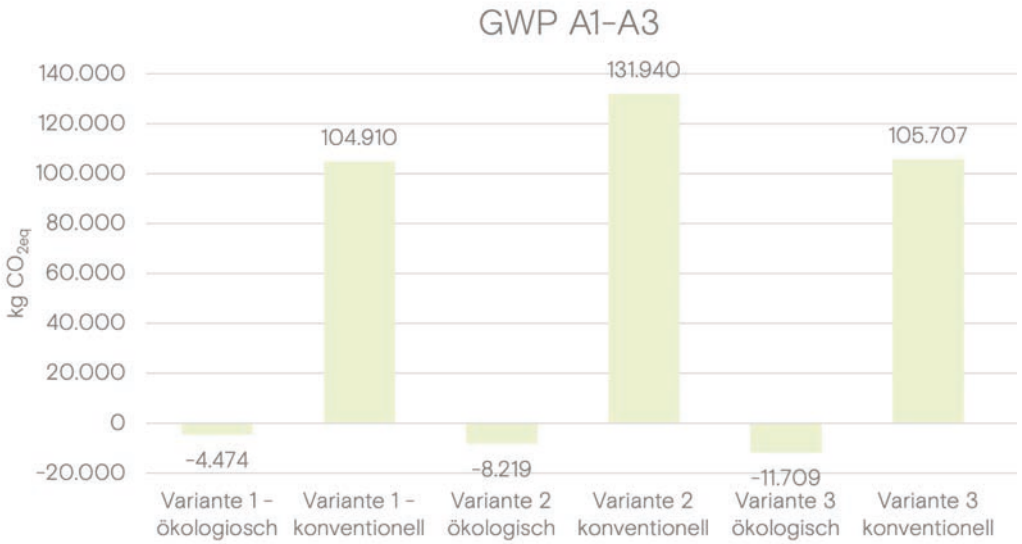
Die untersuchten Sanierungsvarianten zeigen gegenüber dem Bestand deutliche Verbesserungen hinsichtlich Energieverbrauch, Energiekosten und Umweltwirkungen. Endenergieverbrauch kann durch die Maßnahmen erheblich reduziert werden. Bereits Variante 1 senkt den Energiebedarf um rund 80 % gegenüber dem Bestand. Variante 2 und 3 erreichen nochmals bessere Werte und reduzieren den Energieverbrauch insgesamt um etwa 90 %. Diese Einsparungenn spiegeln sich auch in den Energiekosten wider. Das sich die Kosteneinsparungen und Energieeinsparunngen unterscheiden liegt an der Umstellung von Gas auf Strom als Energieträger. Bei den Herstellungskosten zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den Varianten. Variante 1 verursacht die geringsten Investitionskosten, Variante 3 liegt im mittleren Bereich, während Variante 2 mit etwa doppelt so hohen Kosten deutlich aufwendiger ist. Die höheren Kosten der Variante 2 gegenüber Variante 3 ergeben sich vor allem aus den Anforderungen an die u-Werte der Öffnungen: Der notwendige Austausch von fenstern und Türen verursacht hohe Investitionskosten, führt aber nur zu vergleichsweise geringen zusätzlichen Energieeinsparungen. Die ökologischen Varianten verursachen durch den Einsatz nachwachsender Materialien deutlich geringere (teilweise sogar negative) Emissionen und führen gleichzeitig zu geringeren Entsorgungskosten.

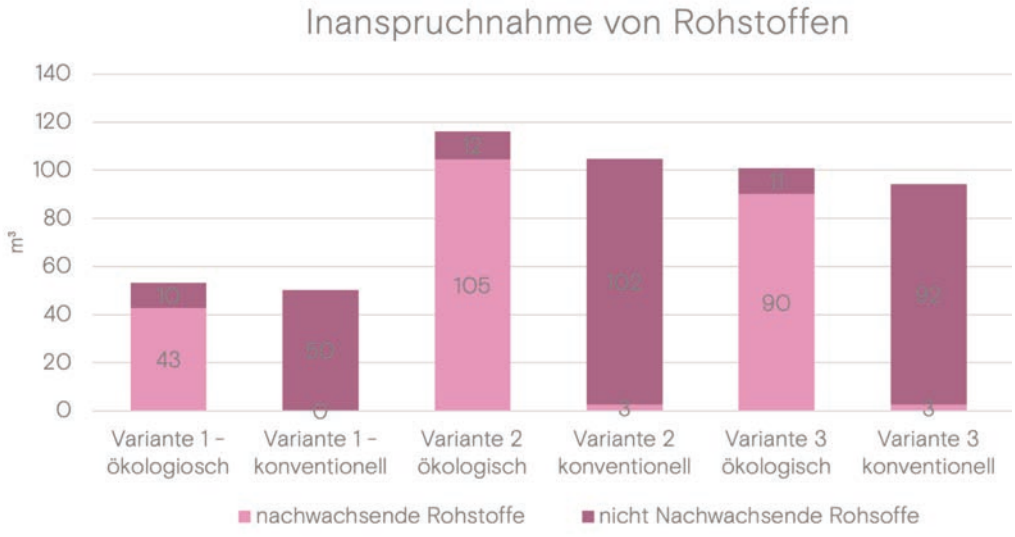


Der Vergleich der Lebenszykluskosten zeigt, dass die ökologische und konventionelle Bauweise sich von den Kosten her zunächst kaum unterscheiden, werden allerdings auch Umweltfolgekosten und ein CO_2 Preis mit einbezogen, zeigt sich, dass die ökologische Variante günstiger ist.
Die Lebenszykluskosten können durch alle Sanierungsvarianten deutlich reduziert werden. Variante 2 und 3 senken die Gesamtkosten um rund 55–60 % gegenüber dem Bestand. Obwohl Variante 2 die niedrigsten Betriebskosten aufweist, liegen die Herstellungskosten deutlich über denen von Variante 3, sodass sich der zusätzliche Aufwand über den gesamten Lebenszyklus nicht auszahlt. Variante 3 erreicht daher insgesamt eine ähnlich starke Kostensenkung bei deutlich geringeren Anfangsinvestitionen.

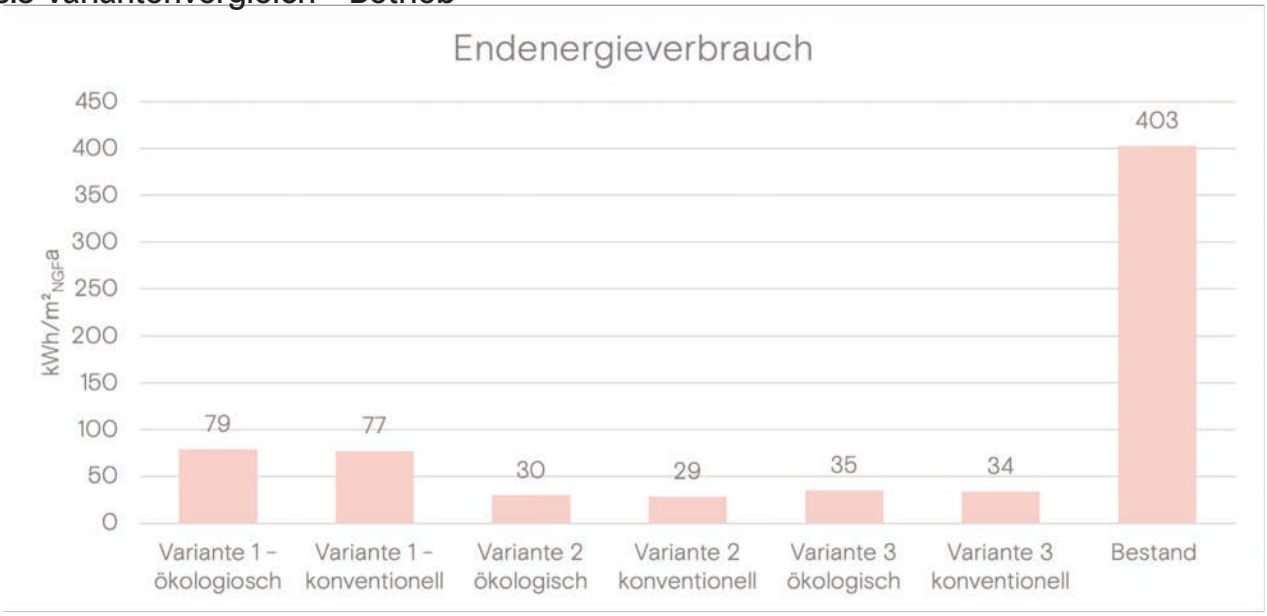
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

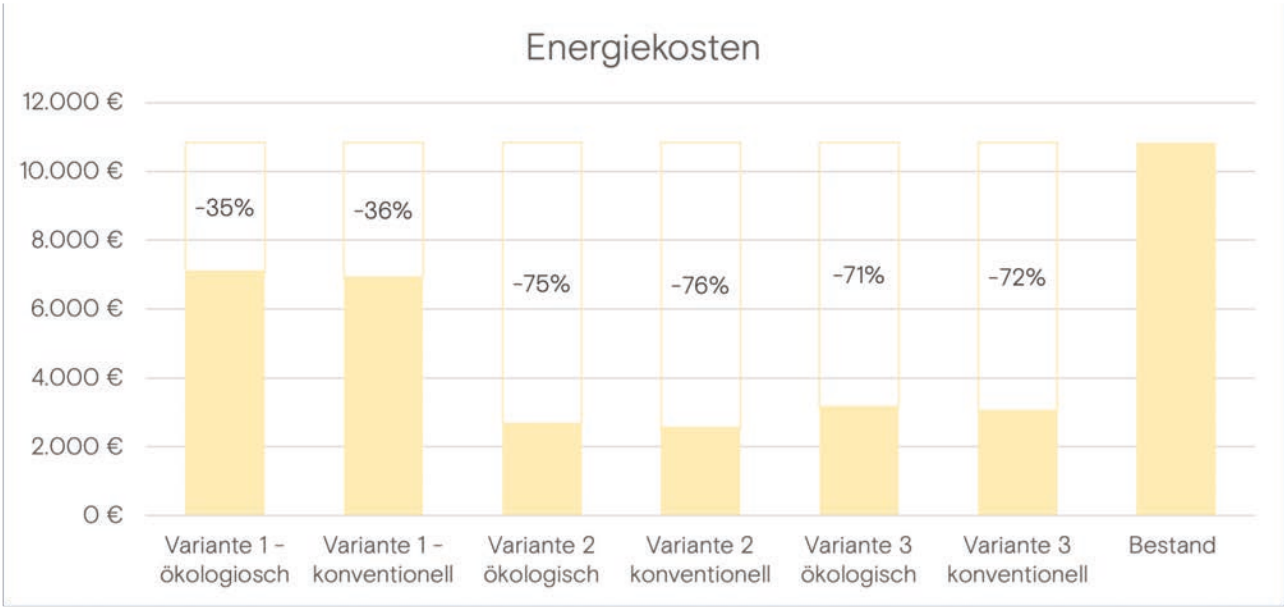


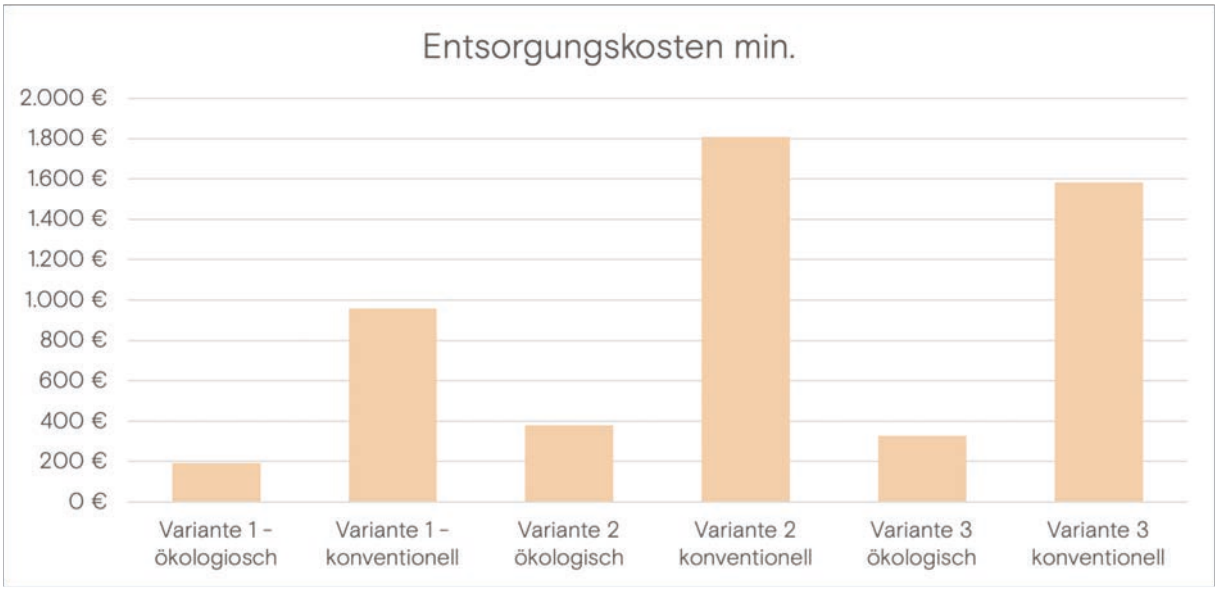




3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Gebäude An der Walkmühle 1 stellt aufgrund seines Alters und des bestehenden Denkmalschutzes besondere Anforderungen an mögliche Sanierungsmaßnahmen. Eingriffe in die Gebäudehülle sind nur eingeschränkt möglich, da das äußere Erscheinungsbild erhalten bleiben muss.
Die Untersuchung zeigt, dass selbst mit umfangreicheren Maßnahmen an der Gebäudehülle der angestrebte energetischen Standard der Variante 2 nicht erreicht werden kann. Um den EH55 Standard zu erfüllen, wären unter anderem der Austausch von Fenstern und Türen sowie weitere Maßnahmen an der Gebäudehülle erforderlich. Trotz dieser Eingriffe bleiben die Transmissionswärmeverluste auf grund der bestehenden baulichen Rahmenbedingungen jedoch relativ hoch, sodass das angestrebte Effizienzniveau, mit den Maßnahmen naus dem Baukasten, nicht vollständig erreicht werden kann. Gleichzeitig führen diese Maßnahmen zu deutlich höheren Investitionskosten.
Bereits mit den vergleichsweise geringen Maßnahmen der Variante 1 lässt sich jedoch der Energiebedarf so weit reduzieren, dass der Einsatz einer Wärmepumpe möglich wird. Damit kann das Gebäude grundsätzlich auf eine klimaneutrale Wärmeversorgung umgestellt werden, sofern der benötigte Strom aus erneuerbaren Quellen stammt. Variante 3 verfolgt diesen Ansatz weiter, indem zusätzliche Maßnahmen umgesetzt werden, die den Energieverbrauch des Gebäudes weiter reduzieren, ohne unverhältnismäßig hohe Investitionskosten zu verursachen. Dies ist auch vor dem Hintergrund sinnvoll, dass selbst bei der Nutzung erneuerbarer Energien ein effizienter Umgang mit Energie weiterhin wichtig bleibt.
Vor diesem Hintergrund erscheint eine Sanierungsstrategie sinnvoll, die sich nicht nur an maximalen Dämmstandards orientiert. Gerade bei denkmalgeschützten Bestandsgebäuden können ambitionierte energetische Anforderungen zu ziemlich hohen Investitionskosten führen, die eine tatsächliche Umsetzung erschweren. Stattdessen kann es zielführender sein zunächst den Umstieg auf eine klimafreundliche Wärmeversorgung zu ermöglichen und gleichzeitig mit moderaten Maßnahmen den Energieverbrauch zu reduzieren. Auf diese Weise kann das Gebäude relativ kosteneffizient auf einen klimaneutralen Betriebspfad gebracht werden, ohne die Bausubstanz oder das äußere Erscheinungsbild wesentlich zu verändern.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



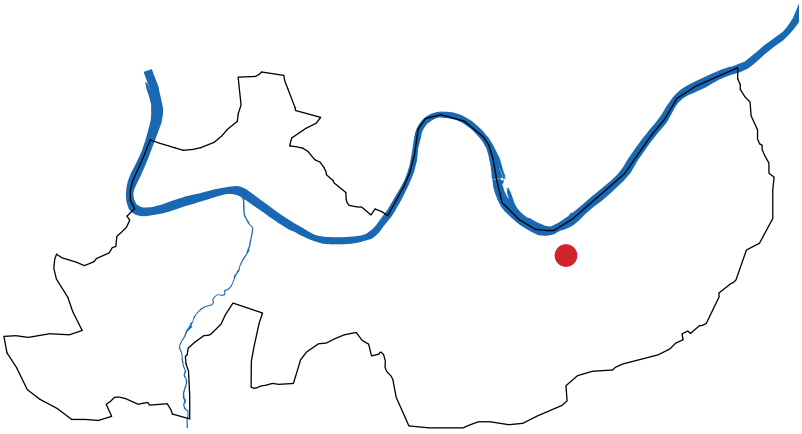
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

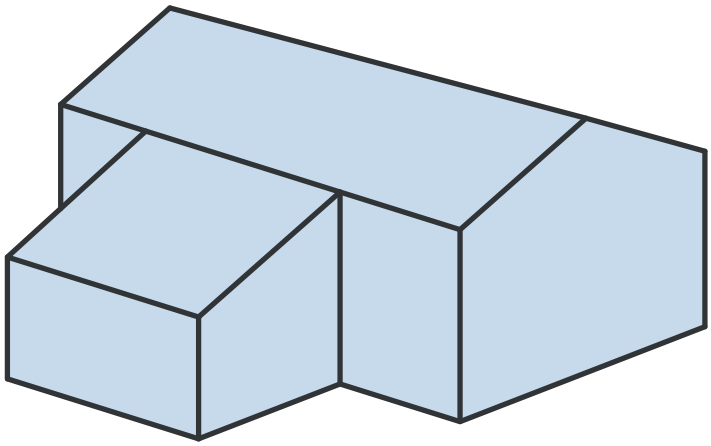
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 & 3 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.5 Variantenvergleich S. 18

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 21



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Stahlbetonskelett
Baujahr:	1974
Denkmalschutz:	Nein
Geschosse:	2-3
NGF:	1609 m²
BGF:	1850m²
Nutzung:	Wohnen
Bruttovolumen:	5252 m³
Hüllfläche A:	2072 m²

Die Kirchberghalle ist eine mehrfachnutzungs- bzw. Sporthalle. Die Halle ist relativ modern und in einem baulich guten Zustand. Die Außenwände wurden kürzlich mit einem Wärmedämmverbundsystem versehen. Im Rahmen der Bauaufnahme fiel auf, dass die elektrischen Blockspeicherheizungen trotz des Wochenendes in allen Gebäudeteilen auf voller Leistung betrieben wurden. Dies deutet darauf hin, dass der Heizbetrieb möglicherweise nicht an den tatsächlichen Nutzungsbedarf angepasst ist.

2. Gebäudeaufnahme

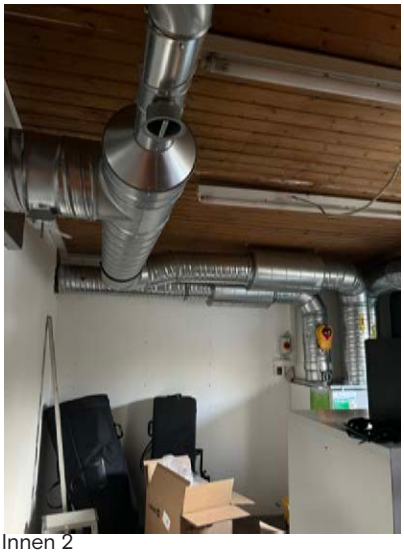
Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos


Außen


Rückseite


innen


Innen 2


Innen 3


Außen

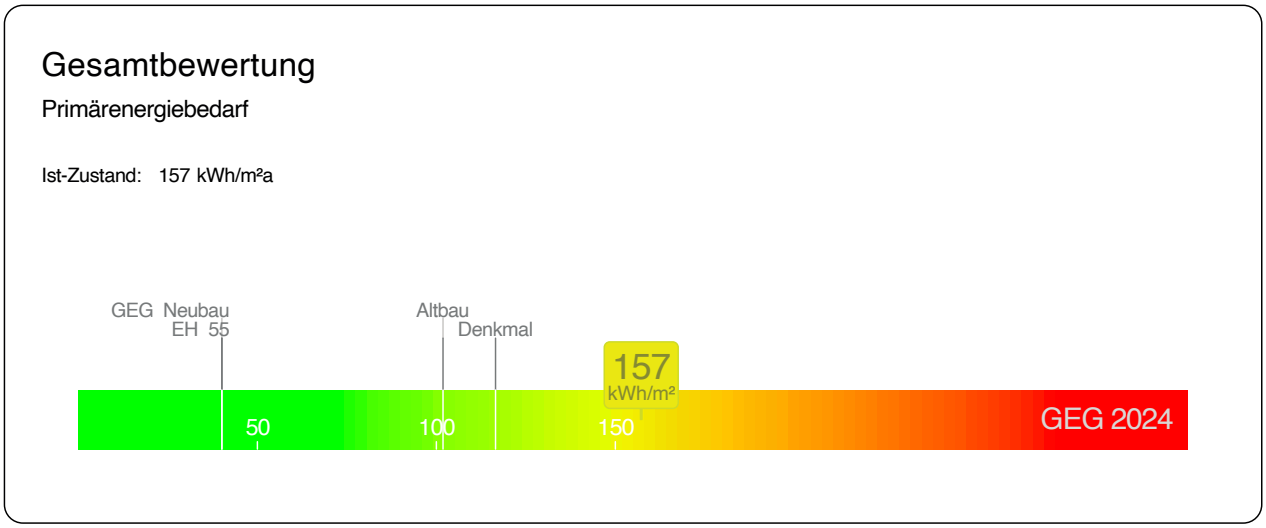

Außen

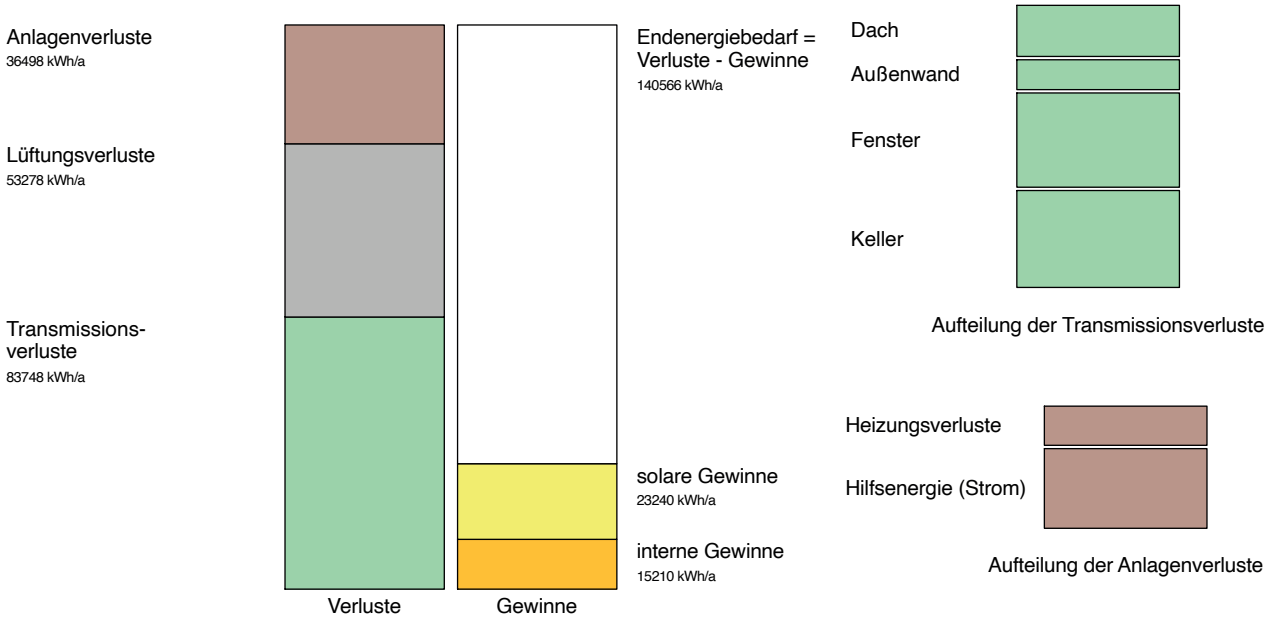
2.2 Bekannte Schäden

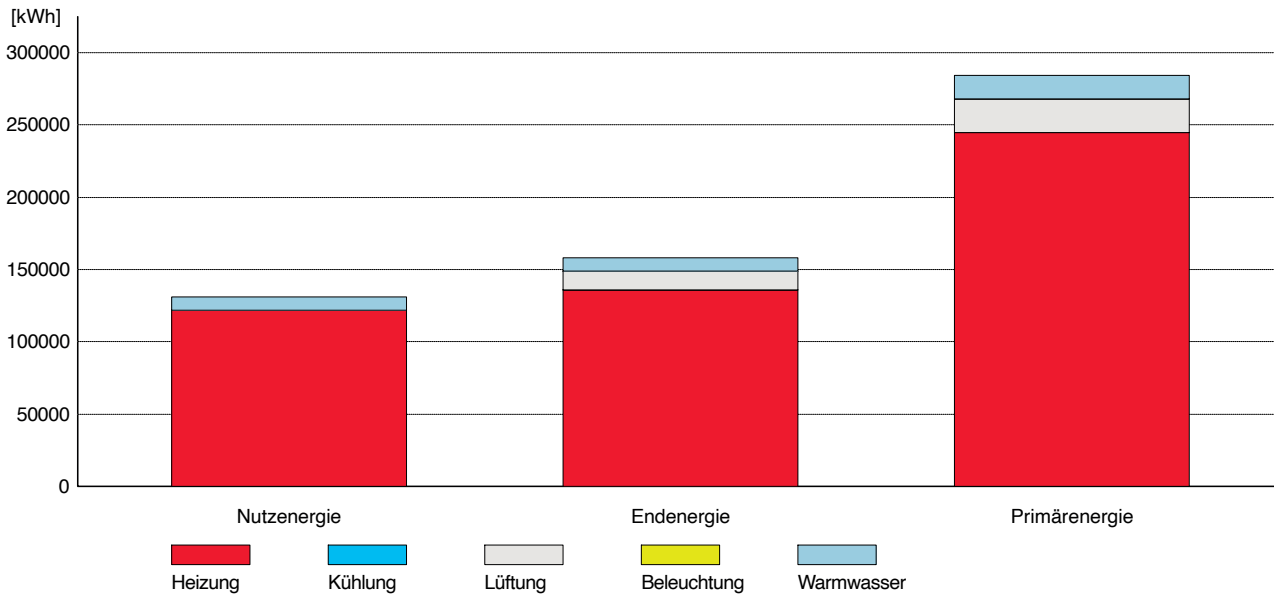
Keine.

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem relativ guten Zustand. Die größten Wärmeverluste entstehe über den Keller und die großen Fensterflächen.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
	DA	Boden OG1-1	83,19	0,30	0,20	0,14
	DA	Boden OG1 002-1	544,57	0,24	0,20	0,14
	TA	AT 001-2	1,84	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 002-2	3,25	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 003-1	1,96	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 004-1	2,00	1,10	1,8	1,3
	TA	AT 005-1	2,50	1,10	1,8	1,3
	WA	AW 001-3	19,28	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 002-3	8,85	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 003-1	18,32	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 004	63,03	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 005-1	13,95	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 006-3	2,42	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 007-3	6,32	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 008	1,77	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 009	1,65	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 010-3	25,18	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 011	14,60	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 012	22,05	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 013	72,11	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 014	23,40	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 015	5,61	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 016	24,79	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 017	4,67	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 018	23,23	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 019	18,56	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 020	6,17	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 021	22,08	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 022	26,56	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 023	41,03	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 024	21,40	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 025	22,72	0,17	0,24	0,20
	WA	AW 026	62,10	0,17	0,24	0,20
	WE	AW 001	9,11	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 002	1,01	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 003	0,30	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 005	3,86	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 006	2,32	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 007	7,99	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 008-2	15,59	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 009-2	14,49	0,17	0,30	0,25
	WE	AW 010	65,42	0,17	0,30	0,25
X	FA	F 001-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 002-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 003-1	5,07	2,70	1,3	0,95

X	FA	F 004-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 006-2	2,48	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 007-1	1,26	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	1,26	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-2	1,90	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 010-2	3,73	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 011-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 014-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 016-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 017-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 018-1	5,07	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 019-1	8,40	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 021-1	2,96	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 022-1	2,96	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 023-1	8,40	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 025-1	0,78	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 026-1	0,78	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 027-1	0,78	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 034-1	2,45	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 035-1	11,00	2,70	1,3	0,95
X	BE	Boden EG 003-1	516,38	0,80	0,30	0,25
X	BE	Boden Keller-1	304,09	0,80	0,30	0,25
X	BE	Boden Keller-2	570,21	0,80	0,30	0,25

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über Elektro Blockspeicherheizungen. Die Anlagentechnik ist stark veraltet, die Erneuerung der Beheizung und Lüftungsanlage wird im Energiebericht bereits dringend empfohlen.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 1
Erzeugung	- dezentral elektrischer Wärmeerzeuger von 1994 mit einer Nennleistung von 85,19 kW Energieträger: Strom-Mix
Übergabe	- Übergabe 1 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Elektroheizung' Regelung: 'E-Speicherheizung' - Übergabe 2 (Verteilung 1) Übergabe an Zone 'Sporthalle' mit 100 % Übergabekomponente: 'Elektroheizung' Regelung: 'E-Speicherheizung'

Lüftung:

Bereich :	Lüftungsanlage 1
Erzeugung	- Zu- und Abluftanlage Mit Wärmetauscher und einem Wärmebereitstellungsgrad von 80,00 %
Verteilung	- Luftkreis 1 Nutzungsgrad der Übergabe 16,00
Verteilung	- Luftkreis 2 Nutzungsgrad der Übergabe 16,00
Heizregister	- Lüftungsanlage 1 versorgt durch Heizkreis 'Heizwärme-Erzeugung 1'

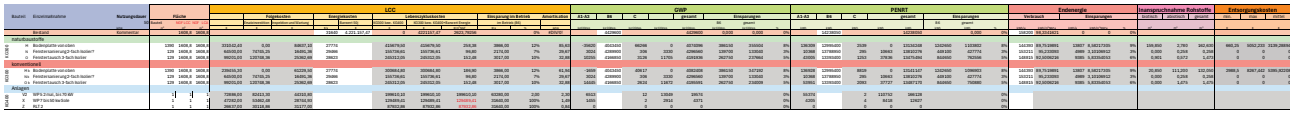
Warmwasser:

Keine Warmwasserbereitung vorhanden

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

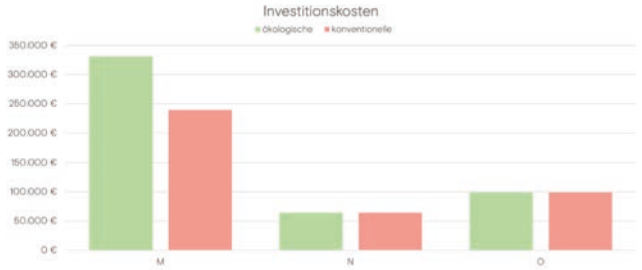
Auf Grund des relativ guten Zustands des Gebäudes (vor allem der Außenwände) kommen nur wenig Maßnahmen aus dem Baukasten in Frage.
Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

KG300	M	Bodenplatte von oben	
	N	Fenstersanierung 2-fach Isolier?	
	O	Fenstertausch 3-fach Isolier	
	Anlagen		
KG400	V2	WP 5 2 mal, bis 70 kW	
	X	WP 7 bis 50 kw Sole	
	Z	RLT 2	

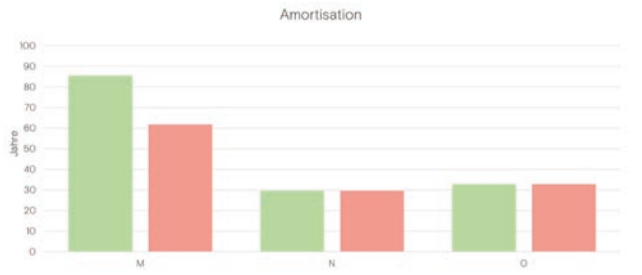
Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

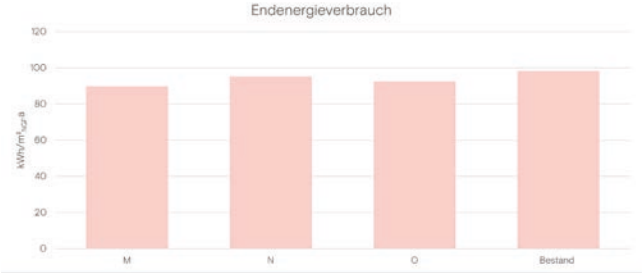
Die größten Einsparungen lassen sich durch die Dämmung der Bodenplatte erziehlen, allerdings hat auch diese nur einen sehr gerigen Einfluss auf den gesamt Verbrauch. Insgesamt lohnen sich Maßnahmen an der Gebäudehülle bei diesem Gebäude kaum, da die meisten Bauteile bereits in gutem Zustand sind.

Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.



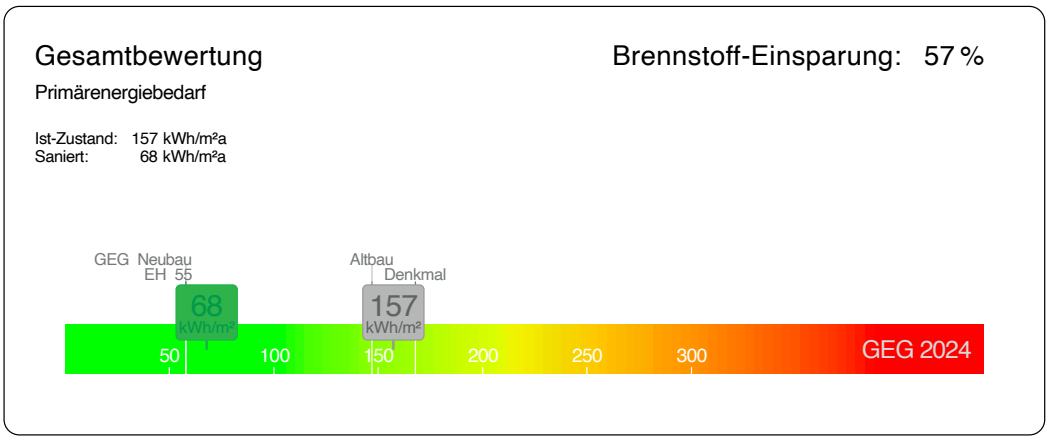






3.2 Variante 1 & 3 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren. Bei diesem Gebäude gilt die Annahme dass sich auf Basis typischer Heizkörperleistungen und durchschnittlicher Radiatorenflächen im Gebäudebestand ein Schwellenwert ableiten lässt, unterhalb dessenn Gebäude bereits in ihrem aktuellen Zustand für einen Niedertemperaturbetrieb geeignet sind. Dieser liegt bei aktuellem Stand der Technik etwa bei 100kWh Nutzenergie pro Quadratmeter. Variante 1 besteht hier also nur aus dem Austausch des Wärmeerzeugers



Variante 1

V2 WP 5 2 mal, bis 70 kW
keine weiteren maßnahmen

				Werte aus Energieberater und BNBLCC tool
Erstinvestition/Herstellung		**72.886,00 €**		
Energiekosten	Pro Jahr	**12.117,40 €**	Energiekosten	12117,4
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 19.522,60**		
		-62%		
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**44.310,80 €**		
Ersatzherstellung		**82.413,30 €**		
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.815.680,10 €**		1616070
Umweltfolgekosten		**5.731,55 €**		
CO_2Preis		**403.233,12 €**		
Lebenszykluskosten gesamt		**2.224.644,76 €**		
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**6.513**		
	CO2eq./m²NGFa	0,08		
GWP B6	kg CO2eq.	**1.696.450**	GWP B6	1696450
	CO2eq./m²NGFa	21,09		
GWP gesamt	kg CO2eq.	**1.696.450**		
	CO2eq./m²NGFa	21,09		
PENRT A1-A3	kWh	**55.374**		
	CO2eq./m²NGFa	0,69		
PENRT B6	kWh	**5.452.850**	PENRT B6	5452850
	CO2eq./m²NGFa	67,79		
PENRT gesamt	kWh	**5.452.850**		
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**38**		60587
Amortisationszeit	Jahre	**4**		
Einsparung pro kWh		**0,75 €**		
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
nachwachsende Rohstoffe	m³	**0,00**		
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**0,00**		
Entsorgungskosten min.	€	**0,00**		
Entsorgungskosten max	€	**0,00**		
Entsorgungskosten mittel	€	**0,00**		

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	67,8	þ 146,9	104,9	¨ 42,0	¨ 57,7	þ 73,4	þ 167,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,29	þ 0,56		¨ 0,18	¨ 0,22	¨ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,7	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 484,34 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 102,92 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 47719,94 kWh

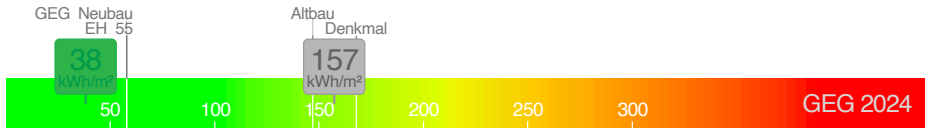
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 91,79 m²

Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 19,51 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 47719,94 kWh

Gesamtbewertung
Brennstoff-Einsparung: 76 %

Primärenergiebedarf

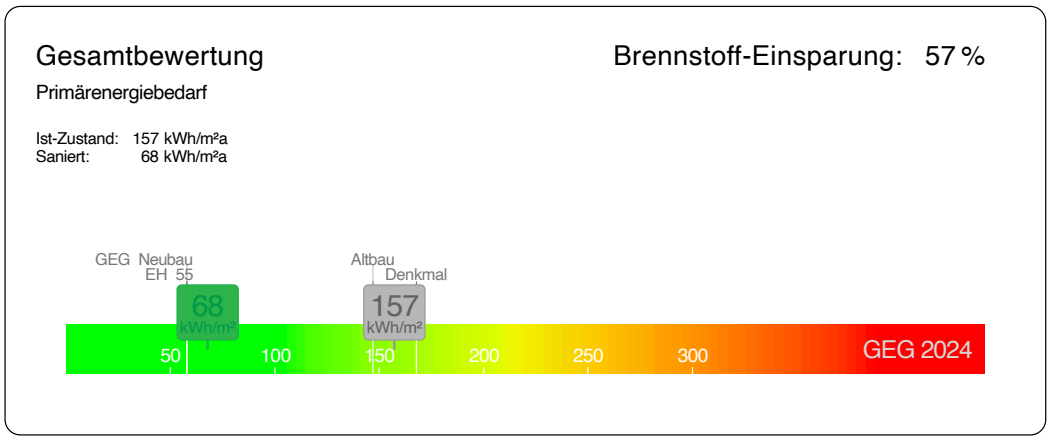
Ist-Zustand: 157 kWh/m²a
Saniert: 38 kWh/m²a



Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	21,4	þ 146,9	104,9	þ 42,0	þ 57,7	þ 73,4	þ 167,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

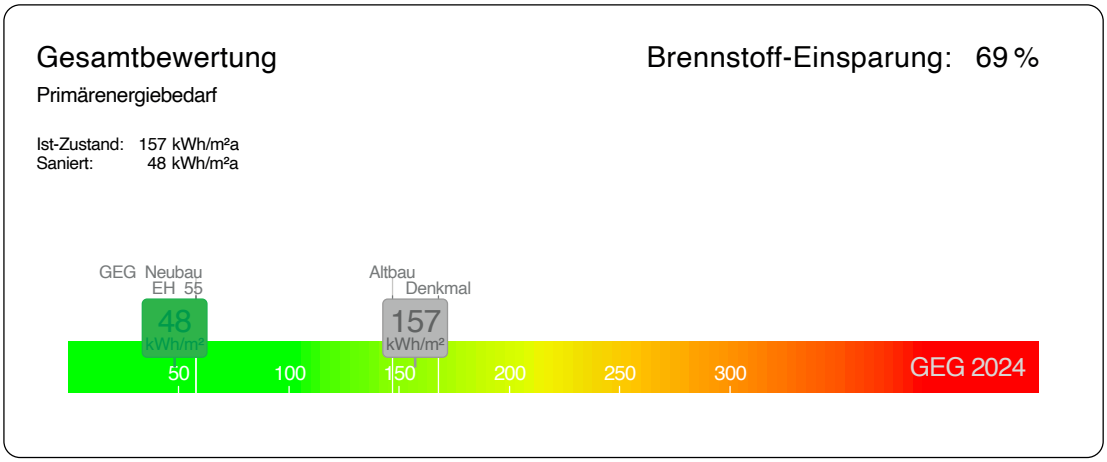
3.2 Variante 1 & 3 konventionell

Da bei Variante 1 bzw. 3 nur eine Wärmepumpe eingebaut wird, entfällt der Vergleich von ökologischer und konventioneller Bauweise



3.3 Variante 2 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen. Bei diesem Gebäude gelingt dies unter Einsatz einner Wärmepumpe sowie die Dämmunng der Bodenplatte und den Austausch der Fenster.



	Variante 2 ökologisch					
M	Bodenplatte von oben					
O	Fenstertausch 3-fach Isolier					
X	WP 7 bis 50 kw Sole					
						Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**477.525,40 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**8.593,20 €**	Energiekosten		8593,2
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 23.046,80**			
			-73%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**138.744,72 €**			
	Ersatzherstellung		**174.210,84 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.936.916,96 €**			1146436
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2Preis		**285.955,73 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**2.222.872,69 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**- 23.910**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,30			
	GWP B6	kg CO2eq.	**1.203.050**	GWP B6		1203050
		CO2eq./m²NGFa	14,96			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**1.258.782**			
		CO2eq./m²NGFa	15,65			
	PENRT A1-A3	kWh	**183.519**			
		CO2eq./m²NGFa	2,28			
	PENRT B6	kWh	**3.866.950**	PENRT B6		3866950
		CO2eq./m²NGFa	48,07			
	PENRT gesamt	kWh	**4.087.892**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**27**			42966
	Amortisationszeit	Jahre	**21**			
	Einsparung pro kWh		**4,14 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**160,75**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**3,35**			
	Entsorgungskosten min.	€	**660,25**			
	Entsorgungskosten max	€	**5052,23**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**3139,29**			

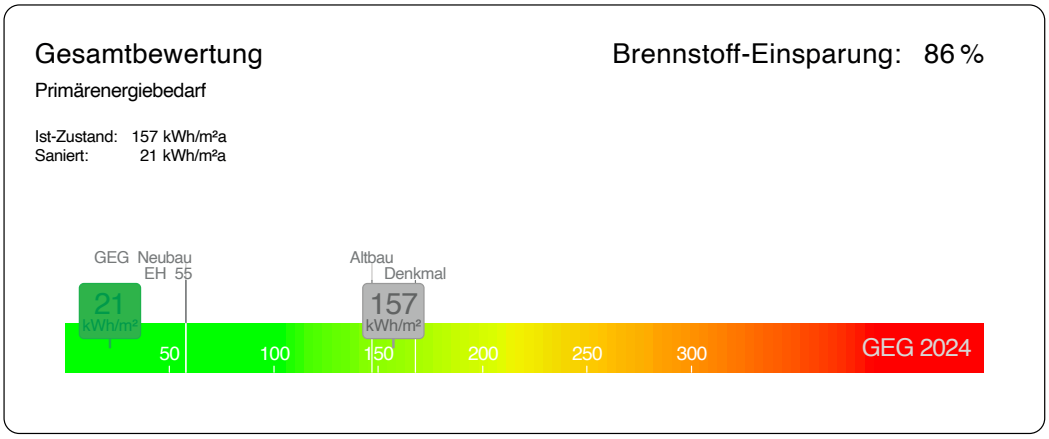
Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	48,1	þ 146,9	104,9	42,0	þ 57,7	þ 73,4	þ 167,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 484,34 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 102,92 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 42944,56 kWh

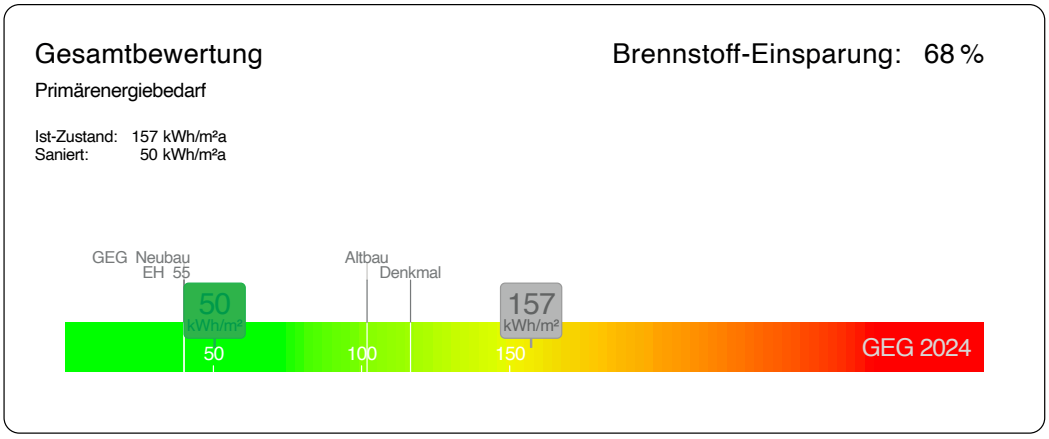
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 91,79 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-West
Peakleistung: 19,51 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 42944,56 kWh



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	21,4	þ 146,9	104,9	þ 42,0	þ 57,7	þ 73,4	þ 167,8
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,18	þ 0,56		þ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	

3.3 Variante 2 konventionell



	Variante 2 konventionell
M k	Bodenplatte von oben
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier
X	WP 7 bis 50 kw Sole
Z	RLT 2

					Werte aus Energieberater und BNB LCC tool
Herstellungskosten/Erstinvestition		**385.938,30 €**			
Energiekosten	Pro Jahr	**9.004,00 €**	Energiekosten		9004
Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 22.636,00**			
		-72%			
Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**115.337,12 €**			
Ersatzherstellung		**174.210,84 €**			
Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**1.876.728,26 €**			1201242
Umweltfolgekosten		**12.532,49 €**			
CO_2 Preis		**299.623,04 €**			
Lebenszykluskosten gesamt		**2.188.883,78 €**			
GWP A1-A3	kg CO2eq.	**14.241**			
	CO2eq./m²NGFa	0,18			
GWP B6	kg CO2eq.	**1.260.550**	GWP B6		1260550
	CO2eq./m²NGFa	15,67			
GWP gesamt	kg CO2eq.	**1.328.249**			
	CO2eq./m²NGFa	16,51			
PENRT A1-A3	kWh	**195.084**			
	CO2eq./m²NGFa	2,43			
PENRT B6	kWh	**4.051.800**	PENRT B6		4051800
	CO2eq./m²NGFa	50,37			
PENRT gesamt	kWh	**4.291.317**			
Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**28**			45020
Amortisationszeit	Jahre	**17**			
Einsparung pro kWh		**3,41 €**			
Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
nachwachsende Rohstoffe	m³	**20,85**			
nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**112,68**			
Entsorgungskosten min.	€	**2988,50**			
Entsorgungskosten max	€	**8267,44**			
Entsorgungskosten mittel	€	**5395,92**			

3.4 Variante 3 ökologisch

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar. Bei diesem Gebäude erweist sich die Variante 1 bei der ausschließlich der Austausch des Wärmeerzeugers (Umstellung auf Wärmepumpe) erfolgt, als die wirtschaftlich und ökologisch sinnvollere, da für die Variante 2 erhebliche Mehrkosten in der Erstherstellung entstehen. Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend der Übersicht auf Seite 10 zu entnehmen.

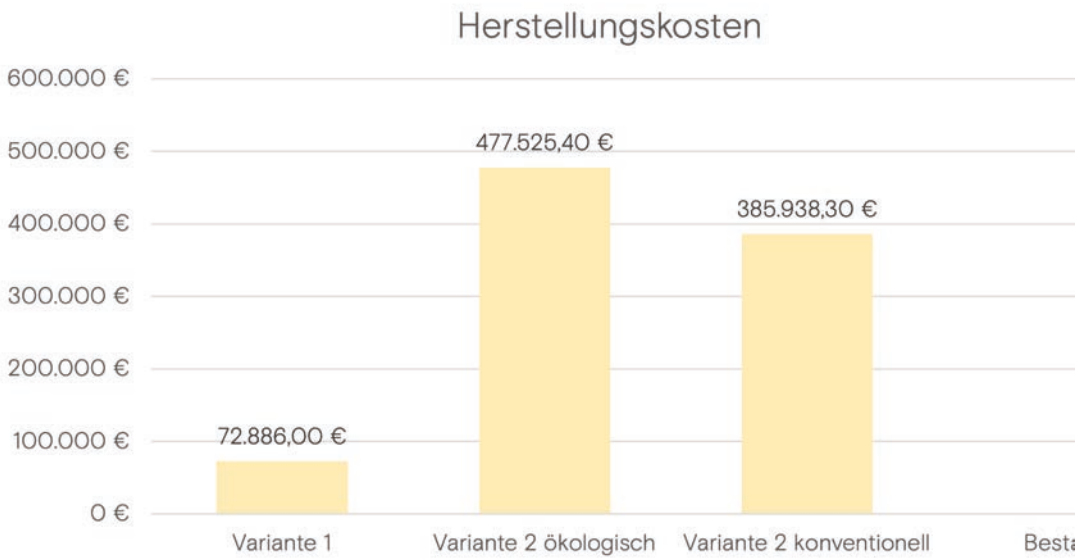
3.5 Variantenvergleich

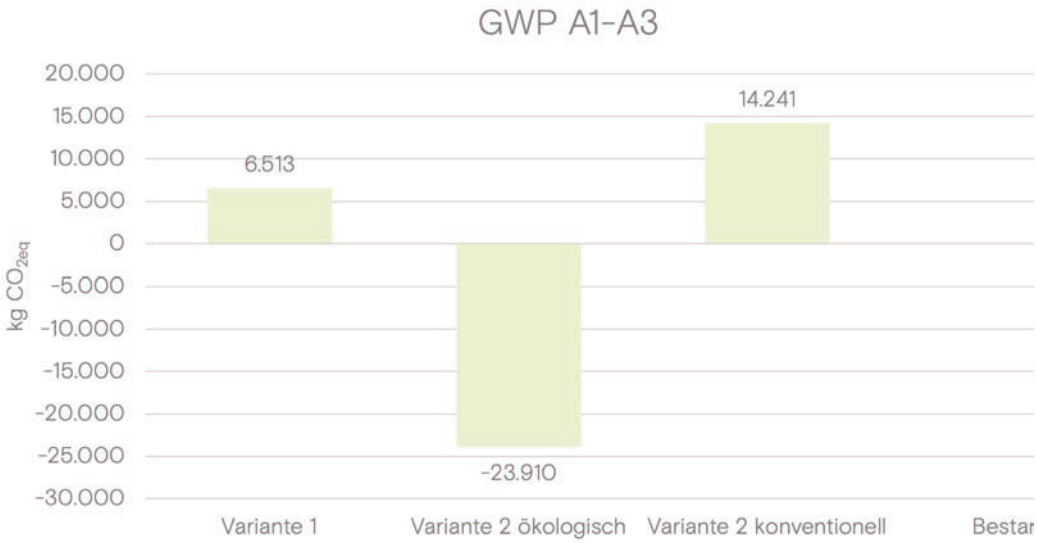
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen. Der Austausch der bestehenden Blockspeicherheizungen durch eine Wärmepumpe in Variante 1 führt bereits zu einer deutlichen Verbesserung der energetischen Situation des Gebäudes. Der Endenergieverbrauch sinkt dabei auf deutlich unter die Hälfte des ursprünglichen Wertes. Durch weitergehende Maßnahmen an der Gebäudehülle in Variante 2 kann der Energiebedarf nochmals reduziert werden, alelrdings nur um weitere ca. 10 % im Vergleich zu den Einsparungen durch Variante 1. Entsprechend sinken auch die Energiekosten, schon Variante 1 reduziert diese um rund 60 %, während die umfassenderen Maßnahmen der Variante 2 Einsparungen von etwa 70 % gegenüber dem Bestand ermöglichen. Den größten Unterschied zwischen den Varianten zeigen die Herstellungskosten. Während Variante 1 einen vergleichsweise geringen Investitionsaufwand erfordert (da ausschließlich das Heizsystem erneuert wird) liegen die Herstellungskosten der Variante 2 mehr als fünf- bis sechsmal höher. Ursache hierfür sind die zusätzlichen Maßnahmen an der Gebäudehülle. Zwischen der ökologischen und der konventionellen Bauweise bestehen dabei moderate Kostenunterschiede. Die Variante 2 ökologisch weist durch den Einsatz biogener Baustoffe negative Emissionswerte im Modul A1–A3 auf, da Kohlenstoff in den Materialien gespeichert wird. Die konventionelle Bauweise verursacht hingegen deutlich höhere Emissionen in der Herstellungsphase.

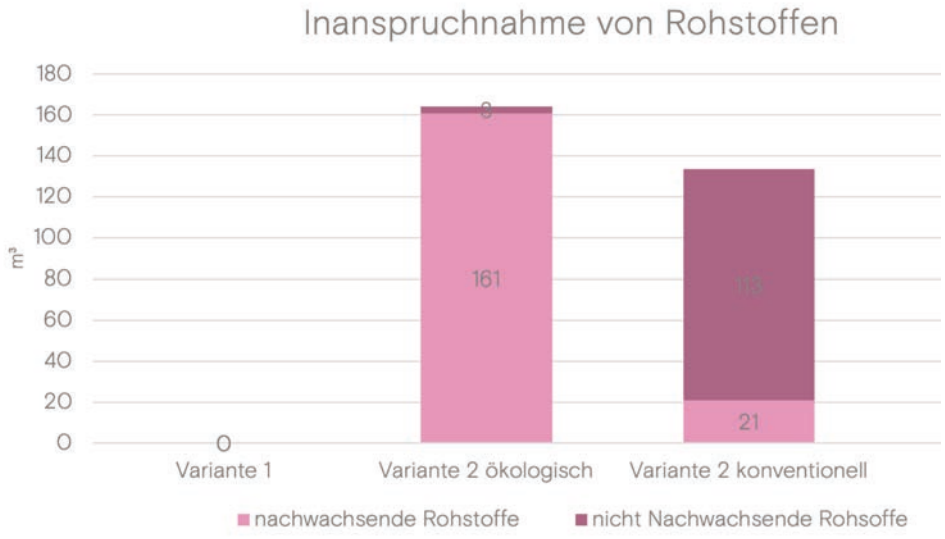


Über den gesamten Lebenszyklus hinweg zeigt sich, dass bereits der Austausch des Heizsystems eine deutliche Reduktion der Gesamtkosten ermöglicht, da die sehr hohen Betriebskosten des Bestands stark sinken. Die weitergehenden Maßnahmen der Variante 2 reduzieren zwar den Energieverbrauch und damit auch die laufenden Kosten zusätzlich, führen durch die deutlich höheren Herstellungskosten jedoch insgesamt zu vergleichbaren oder teilweise sogar höheren Lebenszykluskosten als Variante 1.

3.5 Variantenvergleich - Herstellung

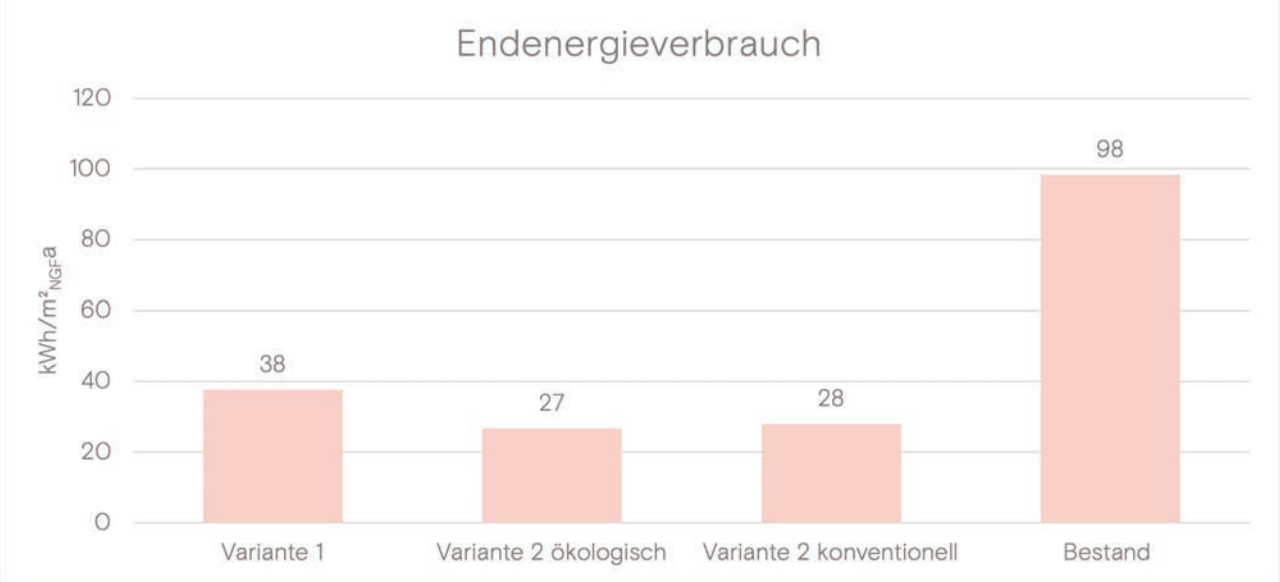


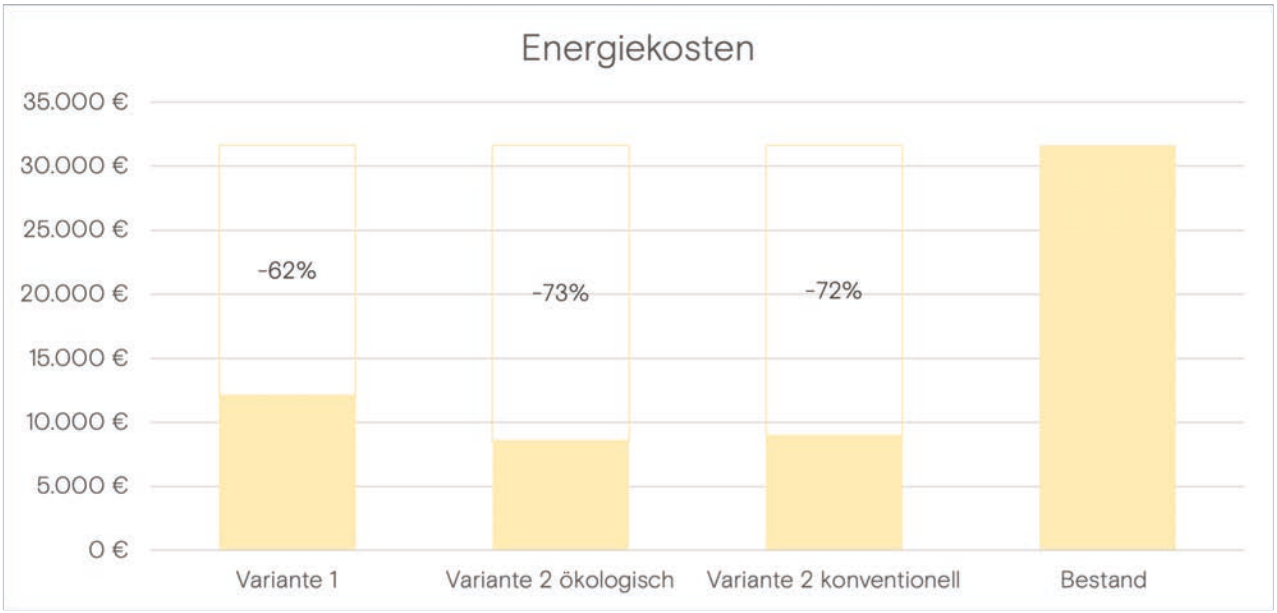


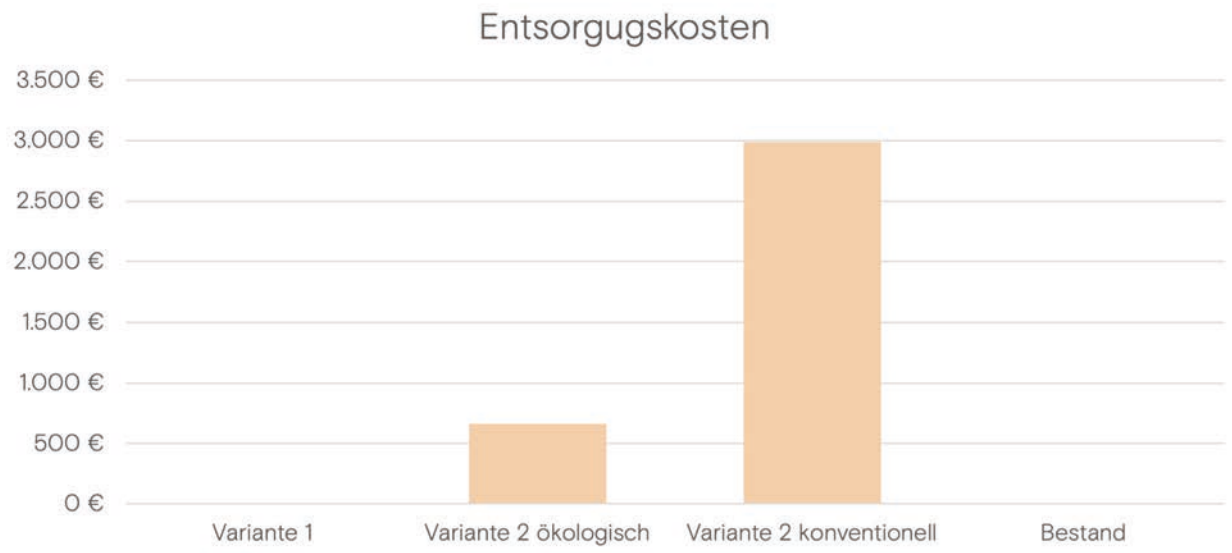


•Inanspruchnahme von Rohstoffen bezieht sich nur auf die Maßnahmen an der Gebäudehülle, Anlagen bleiben unberücksichtigt

3.5 Variantenvergleich - Betrieb







*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Die Sport- und Mehrzweckhalle in der Kirchstraße 26 befindet sich insgesamt in einem vergleichsweise guten energetischen Zustand, da die Außenwände bereits vor wenigen Jahren nachträglich gedämmt wurden. Deswegenn zeigen zusätzliche Maßnahmen an der Gebäudehülle nur geringe Auswirkungen auf den Energieverbrauch. Der größte energetische Hebel liegt daher nicht in weiteren Dämmmaßnahmen sondern im Austausch der veralteten Gebäudetechnik.
Die bestehende Heizungs- und Lüftungsanlage stammt noch aus dem Baujahr des Gebäudes (1974) und arbeitet entsprechend ineffizient. Ein Austausch der Blockspeicherheizungen wird daher ohnehin empfohlen. In diesem Zuge bietet sich der Einbau einer Wärmepumpe an, da diese deutlich effizienter arbeitet und die Wärmeversorgung perspektivisch klimaneutral gestaltet werden kann, insbesondere wenn der benötigte Strom aus erneuerbaren Quellen stammt.
Zusätzlich sollte geprüft werden, ob die große Dachfläche der Halle für eine Photovoltaikanlage genutzt werden kann. Durch die eigene Stromerzeugung könnten sowohl der Betrieb der Wärmepumpe unterstützt als auch weitere Emissionen reduziert werden.

Darüber hinaus wurde festgestellt, dass die Heizungsanlage offenbar auch außerhalb der Nutzungszeiten häufig in Betrieb ist. Da solche Hallen in der Regel von vielen unterschiedlichen Nutzergruppen belegt werden, besteht hier ein zusätzliches Einsparpotenzial durch eine optimierte Betriebsführung und klar geregelte Heizzeiten. Eine Anpassung der Steuerung sowie eine bewusste Abstimmung der Heizzeiten auf die tatsächliche Nutzung könnte den Energieverbrauch ohne bauliche Maßnahmen weiter reduzieren.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.



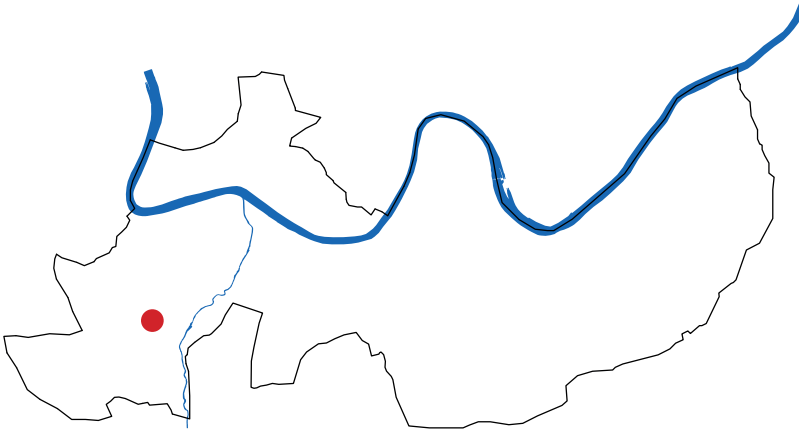
Inhalt

1. Allgemeine Angaben S. 2

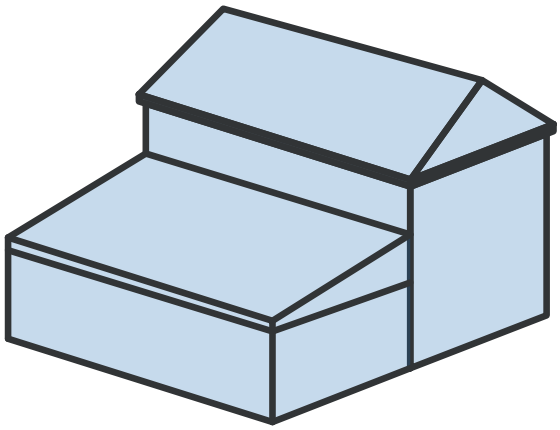
2. Gebäudeaufnahme S. 3
- 2.1 Fotos S. 3
- 2.2 Bekannte Schäden S. 4
- 2.2 Energiebilanz S. 5
- 2.3 Gebäudehülle S. 6
- 2.4 Technische Anlagen S. 8

3. Energetische Sanierung S. 9
- 3.1 Einzelmaßnahmen S. 9
- 3.2 Variante 1 & 3 S. 10
- 3.3 Variante 2 S. 13
- 3.5 Variantenvergleich S. 18

4. Gebäudefazit und Empfehlung S. 21



1. Allgemeine Angaben



Gebäudetyp:	Massivhaus
Baujahr:	1982 und 2000
Denkmalschutz:	Nein
Geschosse:	2
NGF:	227 m²
BGF:	272 m²
Nutzung:	Feuerwehr
Bruttovolumen:	982 m³
Hüllfläche A:	684 m²

Das Feuerwehrgebäude Waldhilsbach befindet sich insgesamt in einem baulich guten Zustand. Es handelt sich um ein vergleichsweise kleines Gebäude, das im Jahr 1982 errichtet wurde. Aufgrund der Hanglage ist ein Teil des Gebäudes freistehend, während andere Gebäudeteile teilweise in das Erdreich eingebunden sind.
Der im Jahr 2000 errichtete Anbau dient hauptsächlich als Garage sowie zur Lagerung von Geräten und Werkzeug der Feuerwehr. Im Hauptgebäude befinden sich im Obergeschoss ein Gemeinschaftsraum sowie eine kleine Küche. Das Dach des Hauptgebäudes wurde im Jahr 2024 saniert.

2. Gebäudeaufnahme

Weitere Fotos, Pläne und Notizen befinden sich im Gebäudeordner.

2.1 Ausgewählte Fotos



Außen



Außen



Außen



Beton



Heizkörper elektrisch



Betonschaden



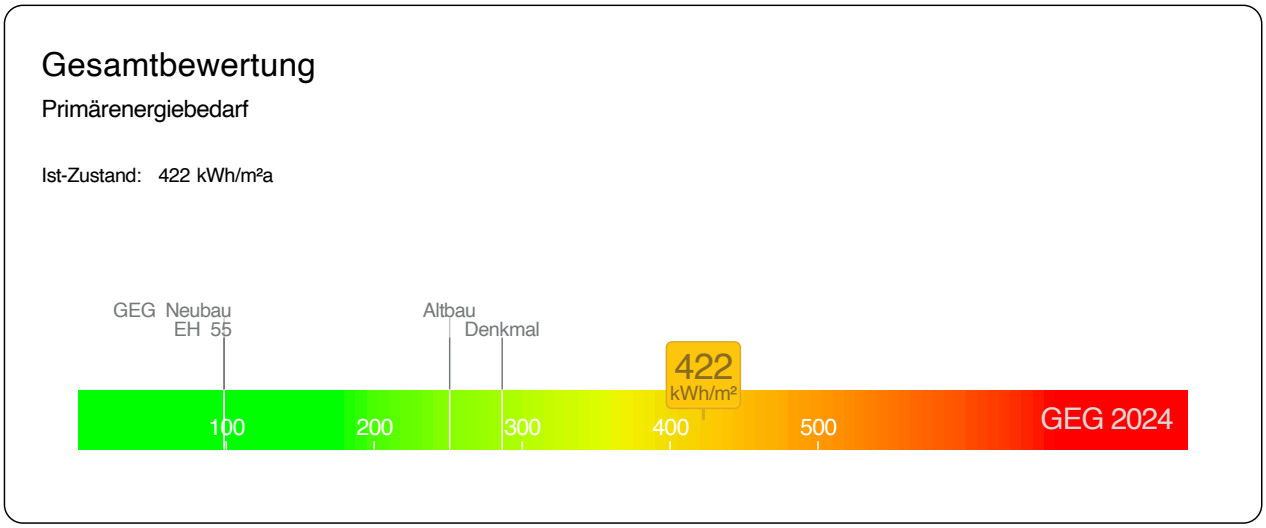
Dach + Solarpanele

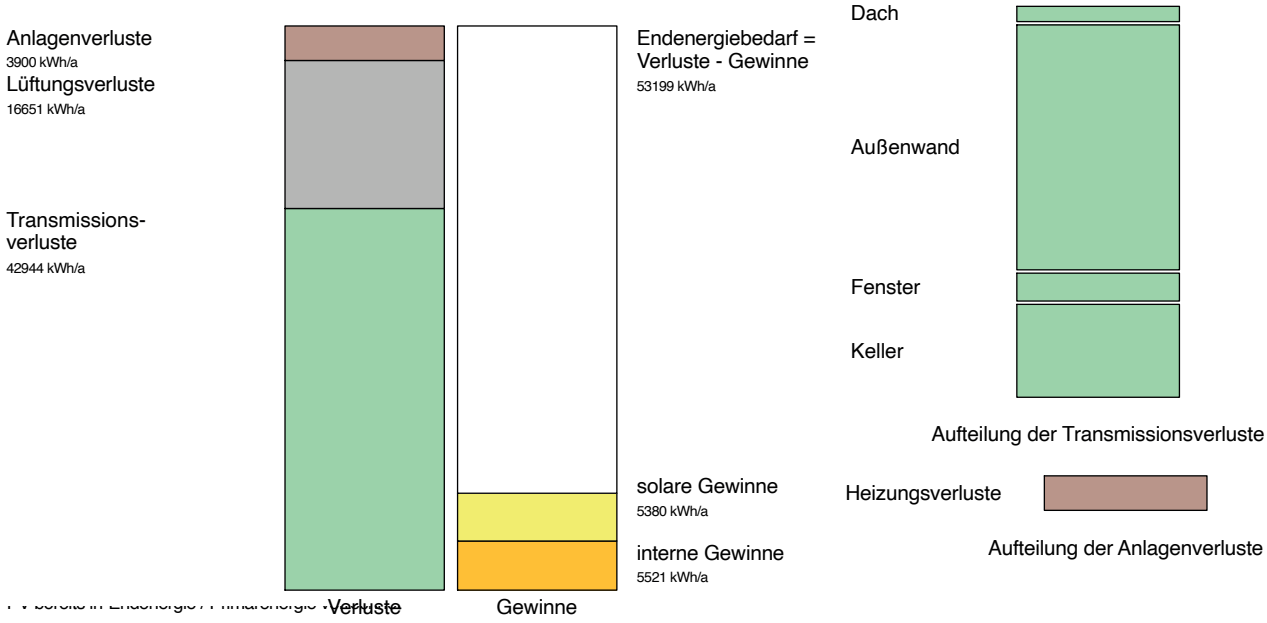
2.2 Bekannte Schäden

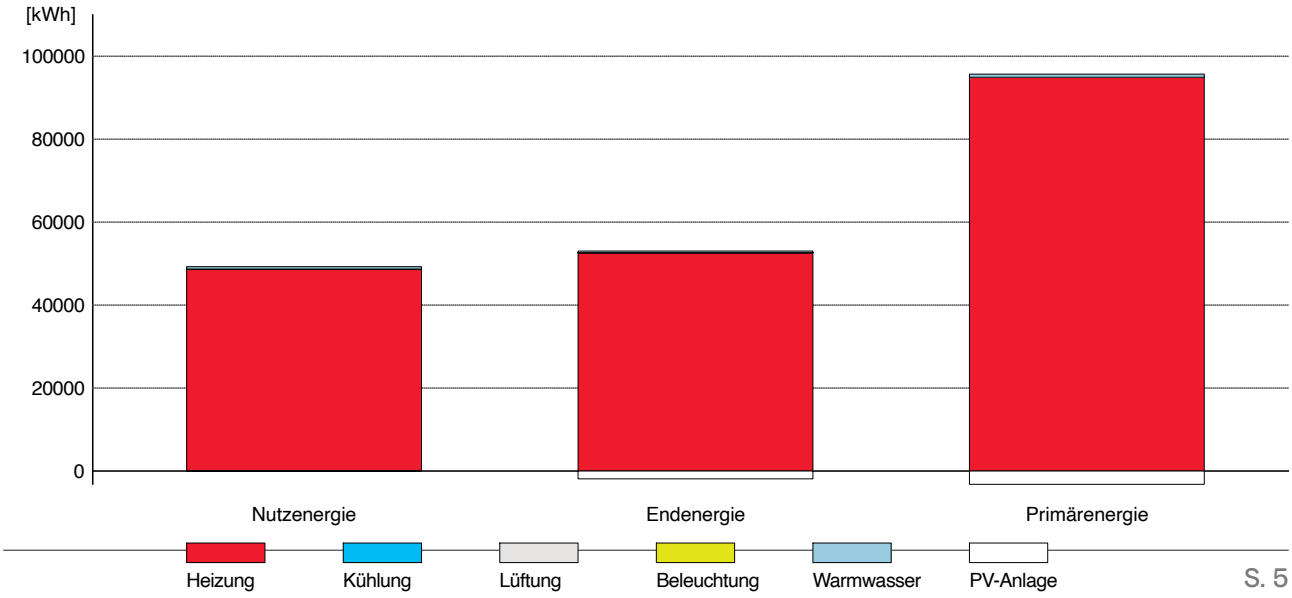
Keine.

2.3 Energiebilanz

Das Gebäude ist energetisch in einem mittleren bis schlechten Zustand. Die Außenwände sind weitestgehend nur leicht gedämmt und die großen Rolltore stellen einen starken Wärmeverlust dar.







2.4 Gebäudehülle

Die folgende Tabelle ist eine Aufstellung aller Bauteile mit Fläche, aktuellem U-Wert und als Referenzwert der vom GEG bei Änderungen geforderte U-Wert.

	Typ	Bauteil	Fläche in m²	U-Wert in W/m²K	U_{max} GEG*) in W/m²K	U_{max} BEG**) in W/m²K
	DA	Dach 002-1	52,74	0,26	0,20	0,14
	OG	Boden OG1	15,84	0,15	0,24	0,14
	OG	Boden OG1-6	70,40	0,15	0,24	0,14
	OG	Boden OG1-7	19,12	0,15	0,24	0,14
X	TA	AT 001-1	10,60	5,50	1,8	1,3
X	TA	AT 002-1	17,50	5,50	1,8	1,3
X	TA	AT 003-2	3,50	4,00	1,8	1,3
X	WA	AW 001	43,66	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 002	9,73	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 003	8,57	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 003-2	12,48	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 005	29,31	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 006	1,63	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 014	0,63	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 015	1,54	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 016	13,21	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 016-2	7,68	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 017	17,74	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 018	1,60	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 019	13,09	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 020	20,05	0,75	0,24	0,20
X	WA	AW 020-3	9,42	0,75	0,24	0,20
X	WA	IW 005	23,74	0,55	0,24	0,20
X	WA	KWand1-1	9,25	3,57	0,24	0,20
X	WA	Kwand2-1	0,51	3,57	0,24	0,20
X	WA	Kwand3-1	5,23	3,57	0,24	0,20
X	WA	Kwand5-2	5,96	3,57	0,24	0,20
X	WA	Kwand5-3	2,42	3,57	0,24	0,20
X	WA	Kwand6-1	4,58	3,57	0,24	0,20
X	WE	KWand1	14,95	3,57	0,30	0,25
X	WE	Kwand2	1,58	3,57	0,30	0,25
X	WE	Kwand3	16,20	3,57	0,30	0,25
X	WE	Kwand5	18,46	3,57	0,30	0,25
X	WE	Kwand5-4	9,00	3,57	0,30	0,25
X	WE	Kwand6	15,97	3,57	0,30	0,25
X	FA	DF 001-1	0,32	1,90	1,4	1,6
X	FA	DF 002-1	0,32	1,90	1,4	1,6
X	FA	DF 003-1	0,32	1,90	1,4	1,6
X	FA	F 001-2	0,40	5,90	1,3	0,95
X	FA	F 002-2	0,66	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 003-2	1,05	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 004-3	0,53	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 004-4	0,14	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 005-1	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 006-1	1,46	2,70	1,3	0,95

X	FA	F 007-1	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 008-1	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 009-1	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 010-2	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 011-2	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 012-1	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 013-1	1,46	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 014-1	0,53	2,70	1,3	0,95
X	FA	F 015-1	0,53	2,70	1,3	0,95
	BA	Boden EG 002-5	0,55	0,39	0,24	0,20
X	BE	Boden EG	15,43	0,60	0,30	0,25
X	BE	Boden EG-4	19,63	0,60	0,30	0,25
X	BE	Boden Keller-1	122,45	0,60	0,30	0,25

2.5 Technische Anlagen

Die Heizung erfolgt über elektirsche Heizkörper, die Warmwasserbereitung über Durchlauferhitzer. Eine kleine PV Anlage ist vorhanden.

Heizung:

Bereich	Heizwärme-Erzeugung 2
Erzeugung	- dezentral elektrischer Wärmeerzeuger von 2005 mit einer Nennleistung von 2,70 kW Energieträger: Strom-Mix
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Küche in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Elektroheizung' Regelung: 'E-Direktheizung'
Bereich	Heizwärme-Erzeugung 3
Erzeugung	- dezentral elektrischer Wärmeerzeuger von 2005 mit einer Nennleistung von 5,82 kW Energieträger: Strom-Mix
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 % Übergabekomponente: 'Elektroheizung' Regelung: 'E-Direktheizung'
Bereich	Heizwärme-Erzeugung 4
Erzeugung	- dezentral elektrischer Wärmeerzeuger von 2005 mit einer Nennleistung von 8,79 kW Energieträger: Strom-Mix
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Sonstige Aufenthaltsräume' mit 100 % Übergabekomponente: 'Elektroheizung' Regelung: 'E-Direktheizung'
Bereich	Heizwärme-Erzeugung 5
Erzeugung	- dezentral elektrischer Wärmeerzeuger von 2005 mit einer Nennleistung von 18,16 kW Energieträger: Strom-Mix
Übergabe	- Übergabe 1 Übergabe an Zone 'Lagerhalle, Logistikhalle' mit 100 % Übergabekomponente: 'Elektroheizung' Regelung: 'E-Direktheizung'

Warmwasser:

Bereich	Warmwasser-Erzeugung 1
Erzeugung	- Elektro-Durchlauferhitzer von 2005 - Nennleistung 11,69 kW Energieträger: Strom-Mix
Verteilung	- TWW-Kreis 1 dezentral ohne Zirkulation' 1,0 m Leitungen mit einem U-Wert von 0,40 W/(mK) gedämmt
Übergabe	- Übergabe 1 (DHWKreis 1) Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 0 % - Übergabe 2 (DHWKreis 1) Übergabe an Zone 'Küche in Nichtwohngebäuden' mit 100 % - Übergabe 3 (DHWKreis 1) Übergabe an Zone 'WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden' mit 100 %

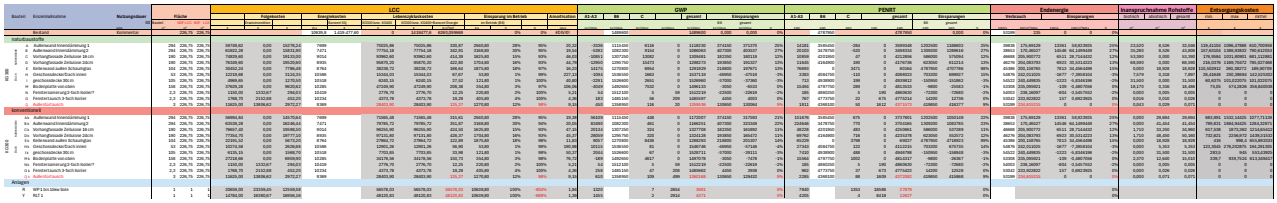
PV-Anlage:

Photovoltaik	Sunny Boy (SMA Technologie) Gesamtfläche: 21,00 m² Modul-Ausrichtung: Horizontal Peakleistung: 2,80 kW Batterie vorhanden: Nein Systemleistungsfaktor: 0,7000 Technologie: kristallin Stärke der Belüftung: Unbelüftete Module

3. Energetische Sanierung

3.1 Einzelmaßnahmen

Für genaue Zahlen und Daten in der Excel nachgucken.



Hier ein kurzer Vergleich der angewendeten Baukasten Maßnahmen:

Für die verschiedenen Gebäudeteile wurden unterschiedliche Maßnahmen Untersucht. Rechts eine Liste:
Die Aufbauten der Maßnahmen sind im RE:SOURCE Lowtech Baukasten zu finden.

Die hier dargestellten Untersuchungen beziehen sich nur auf die Gebäudehülle, die Gebäudetechnik und die Energieträger bleiben in diesem Szenario gleich, so können die Effekte der Einzelmaßnahmen besser betrachtet werden und eine sinnvolle Kombination erstellt werden.

Die nebenliegenden Diagramme zeigen, dass die Außenwanddämmung den größten Effekt bringt. Auch die Dämmung der Wand im Erdreich ist sinnvoll. Maßnahmen am Dach ergeben keinen sinn da dieses Bereits 2024 ertüchtigt wurde.

Das Global Warming Potential Diagramm weist die enormen Vorteile des ökologischen Baukastens im Vergleich zum konventionellen auf.

Die Amortisation ist hier nur eingeschränkt aussagekräftig, da sie sich ausschließlich auf Einzelmaßnahmen bezieht und Wechselwirkungen unberücksichtigt bleiben.

KG300

Außenwände
- A Außenwand Innendämmung 1
- B Außenwand Innendämmung 2
- C Vorhangfassade Zellulose 16 cm
- D Vorhangfassade Zellulose 24cm
- E Kellerwand außen Schaumglas
- H Geschossdecke/Dach innen

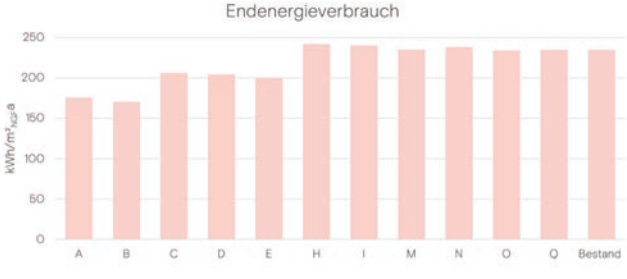
Dach
- I geschossdecke 30cm
- M Bodenplatte von oben
- N Fenstersanierung 2-fach Isolier?
- O Fenstertausch 3-fach Isolier
- Q Außentürtausch

Anlagen
- R WP 1 bis 15kw Sole
- Y RLT 1



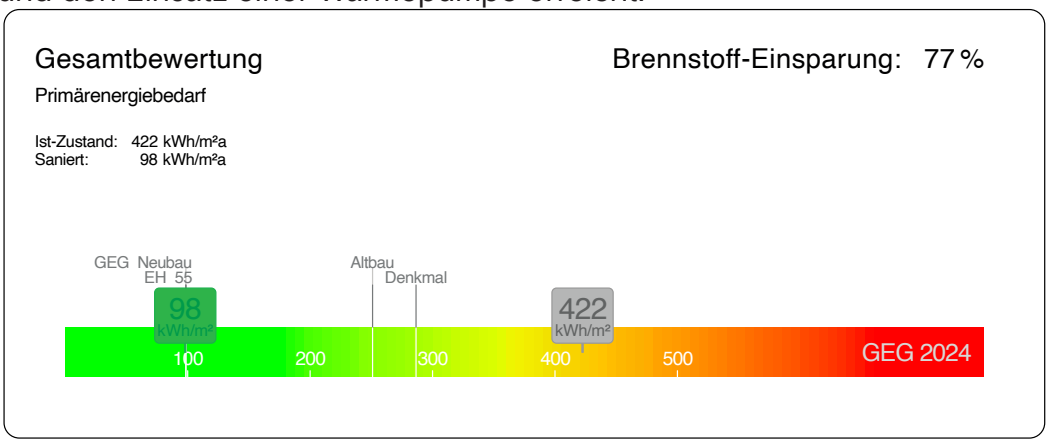






3.2 Variante 1 ökologisch

Variante 1 verfolgt das Ziel das Gebäude für den Einsatz von erneuerbarer Energie bereit zu machen, konkret bedeutet das eine Vorlauftemperatur von maximal 55 Grad Celsius zu ermöglichen um einen möglichst effizienten Einsatz einer Wärmepumpe oder eines Wärmenetztes zu garantieren. Bei diesem gebäude wird dies durch die Dämmunng der Außenwand und den Einsatz einer Wärmepumpe erreicht.



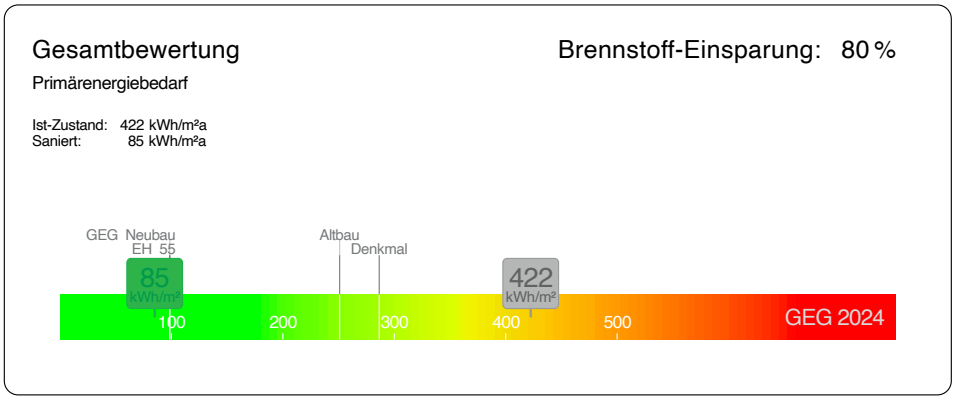
	Variante 1 - ökologiosch				
C	Vorhangfassade Zellulose 16 cm				
R	WP 1 bis 15kw Sole				
					Energieberater und BNB LCC tool
	Erstinvestition/Herstellung		**95.488,60 €**		
	Energiekosten	Pro Jahr	**2.466,20 €**	Energiekosten	2466,2
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 8.173,60**		
			-77%		
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**31.692,58 €**		
	Ersatzherstellung		**23.359,45 €**		
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**479.560,63 €**		329020
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**		
	CO_2 Preis		**82.063,27 €**		
	Lebenszykluskosten gesamt		**561.623,90 €**		
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-9530**		
		CO2eq./m²NGFa	-0,84		
	GWP B6	kg CO2eq.	**345250**	GWP B6	345250
		CO2eq./m²NGFa	30,45		
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**347481**		
		CO2eq./m²NGFa	30,65		
	PENRT A1-A3	kWh	**18800**		
		kWh./m²NGFa	1,66		
	PENRT B6	kWh	**1109750**	PENRT B6	1109750
		kWh./m²NGFa	97,88		
	PENRT gesamt	kWh	**1120656**		
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**54**		12331
	Amortisationszeit	Jahre	**12**		
	Einsparung pro kWh		**2,34 €**		
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle				
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**53,39**		
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**0,00**		
	Entsorgungskosten min.	€	**176,96**		
	Entsorgungskosten max	€	**1031,81**		
	Entsorgungskosten mittel	€	**681,11**		

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	97,9	þ 250,8	179,1	¨ 71,7	þ 98,5	þ 125,4	þ 286,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,19	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,8	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	4,0	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,24	þ 0,84		þ 0,24	þ 0,28	þ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	2,2	þ 4,9		¨ 1,3	¨ 1,5	¨ 1,7	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	5,5	þ 5,5		¨ 2,0	¨ 2,5	¨ 2,8	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

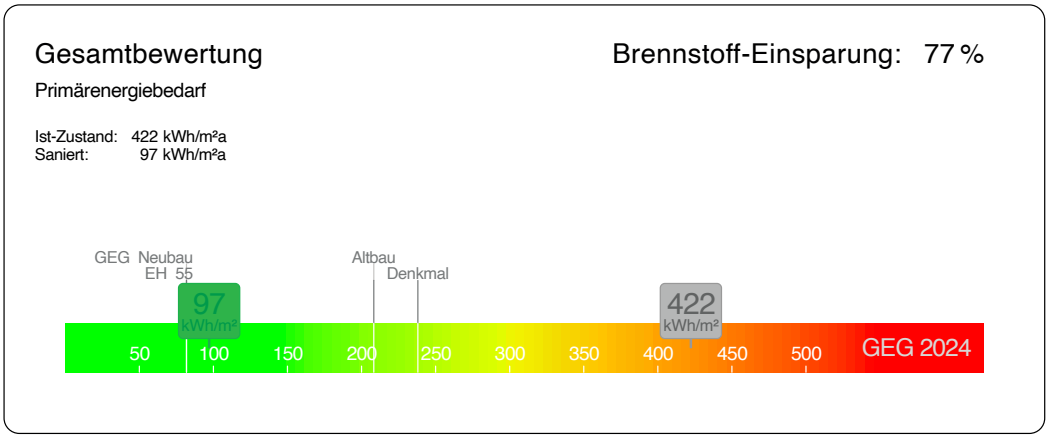
Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 27,34 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 5,81 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 5249,97 kWh

Photovoltaik
PV-Anlage 2
Gesamtfläche: 21,00 m²
Modul-Ausrichtung: Horizontal
Peakleistung: 2,80 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,7000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Unbelüftete Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 5249,97 kWh



Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	84,8	þ 250,8	179,1	¨ 71,7	þ 98,5	þ 125,4	þ 286,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,19	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	2,8	¨ 2,7		¨ 1,0	¨ 1,2	¨ 1,4	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	4,0	þ 4,3		¨ 1,6	¨ 2,0	¨ 2,4	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,24	þ 0,84		þ 0,24	þ 0,28	þ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	2,2	þ 4,9		¨ 1,3	¨ 1,5	¨ 1,7	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	5,5	þ 5,5		¨ 2,0	¨ 2,5	¨ 2,8	

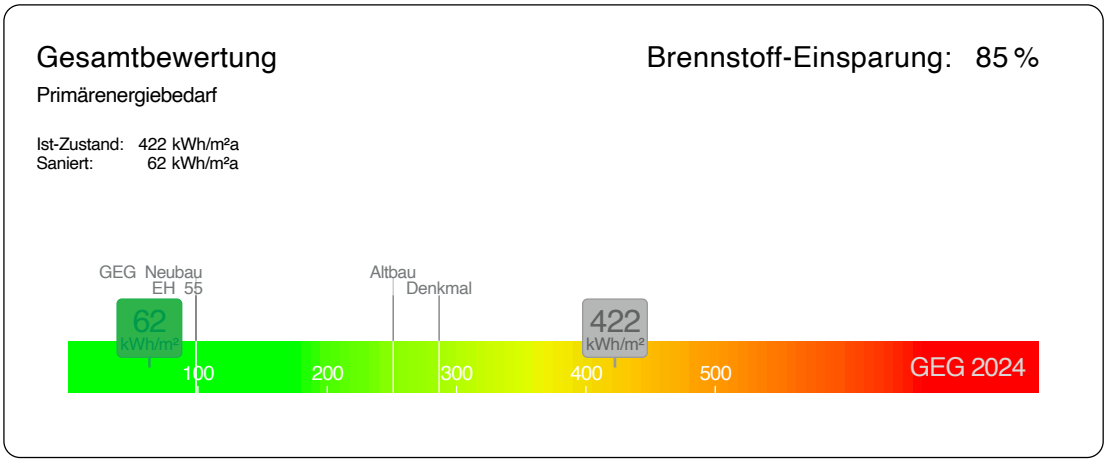
3.2 Variante 1 konventionell



	Variante 1 - konventionell					
C k	Vorhangfassade Zellulose 16cm					
R	WP 1 bis 15kw Sole					
Y	RLT 1					
						Energieberaterund BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**112.100,40 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**2.443,20 €**	Energiekosten		2443,2
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 8.196,60**			
			-77%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**49.114,24 €**			
	Ersatzherstellung		**39.740,12 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**526.906,76 €**			325952
	Umweltfolgekosten		**20.160,95 €**			
	CO_2 Preis		**81.302,65 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**628.370,36 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**22910**			
		CO2eq./m²NGFa	2,02			
	GWP B6	kg CO2eq.	**342050**	GWP B6		342050
		CO2eq./m²NGFa	30,17			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**362508**			
		CO2eq./m²NGFa	31,97			
	PENRT A1-A3	kWh	**60374**			
		kWh./m²NGFa	5,33			
	PENRT B6	kWh	**1099400**	PENRT B6		1099400
		kWh./m²NGFa	96,97			
	PENRT gesamt	kWh	**1148111**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**54**			12216
	Amortisationszeit	Jahre	**14**			
	Einsparung pro kWh		**2,74 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**1,71**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**33,25**			
	Entsorgungskosten min.	€	**617,54**			
	Entsorgungskosten max	€	**1873,36**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1214,65**			

3.3 Variante 2 & 3 ökologisch

Variante 2 verfolgt das Ziel das Gebäude auf den Effizienzhaus 55 Standard zu bringen. Bei diesem Gebäude gelingt dies durch den Einsatz einer Wärmepumpe und die dämmung der Außenwände sowie den Austausch der Fenster und Türen.



	Variante 2&3 ökologisch					
C	Vorhangfassade Zellulose 16cm					
O	Fenstertausch 3-fach Isolier					
Q	Außentürtausch					
						Energieberater und BNB LCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**108.882,30 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**1.570,00 €**	Energiekosten		1570
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 9.069,80**			
			-85%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**35.117,06 €**			
	Ersatzherstellung		**39.318,95 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**392.801,31 €**			209483
	Umweltfolgekosten		**0,00 €**			
	CO_2 Preis		**52.244,77 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**445.046,08 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**-8898**			
		CO2eq./m²NGFa	-0,78			
	GWP B6	kg CO2eq.	**219800**	GWP B6		219800
		CO2eq./m²NGFa	19,39			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**223064**			
		CO2eq./m²NGFa	19,67			
	PENRT A1-A3	kWh	**21377**			
		kWh./m²NGFa	1,89			
	PENRT B6	kWh	**706550**	PENRT B6		706550
		kWh./m²NGFa	62,32			
	PENRT gesamt	kWh	**722393**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**35**			7851
	Amortisationszeit	Jahre	**12**			
	Einsparung pro kWh		**2,40 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**53,45**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**0,04**			
	Entsorgungskosten min.	€	**176,96**			
	Entsorgungskosten max	€	**1031,81**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**681,11**			

Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	62,3	þ 250,8	179,1	þ 71,7	þ 98,5	þ 125,4	þ 286,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,19	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,24	þ 0,84		þ 0,24	þ 0,28	þ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,90	þ 4,90		þ 1,30	þ 1,50	þ 1,70	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	1,1	þ 5,5		þ 2,0	þ 2,5	þ 2,8	

Zusätzlich wurde für jede Variante der Einsatz einer Solaranlage errechnet:

Photovoltaik
1KOMMA5GRAD-FullBlack-01-415 (1KOMMA5° GmbH)
Gesamtfläche: 27,34 m²
Modul-Ausrichtung: Süd-Ost
Peakleistung: 5,81 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,8000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Stark belüftete oder freistehende Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 5249,97 kWh

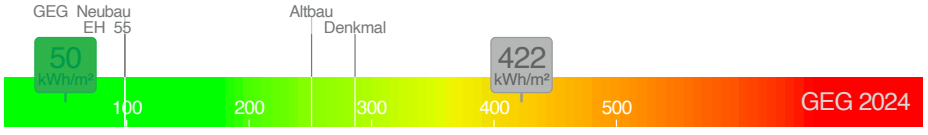
Photovoltaik
PV-Anlage 2
Gesamtfläche: 21,00 m²
Modul-Ausrichtung: Horizontal
Peakleistung: 2,80 kW
Batterie vorhanden: Nein
Systemleistungsfaktor: 0,7000
Technologie: kristallin
Stärke der Belüftung: Unbelüftete Module
PV-Abzugswert (Gesamtanlage) nach GEG: 5249,97 kWh

Gesamtbewertung

Brennstoff-Einsparung: 88 %

Primärenergiebedarf

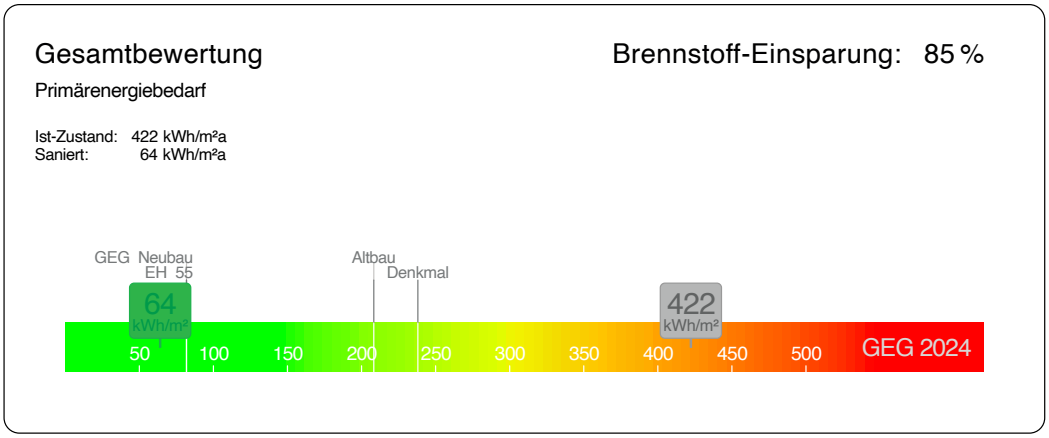
Ist-Zustand: 422 kWh/m²a
Saniert: 50 kWh/m²a



Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf Q_p	kWh/m²a	50,2	þ 250,8	179,1	þ 71,7	þ 98,5	þ 125,4	þ 286,6
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,19	þ 0,56		¨ 0,18	þ 0,22	þ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,90	þ 2,66		þ 1,00	þ 1,20	þ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,1	þ 4,3		þ 1,6	þ 2,0	þ 2,4	
Mittlerer U-Wert opake Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,24	þ 0,84		þ 0,24	þ 0,28	þ 0,32	
Mittlerer U-Wert transp. Baut. 12°C-19°C	W/m²K	0,90	þ 4,90		þ 1,30	þ 1,50	þ 1,70	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln 12°C-19°C	W/m²K	1,1	þ 5,5		þ 2,0	þ 2,5	þ 2,8	

3.3 Variante 2 & 3 konventionell



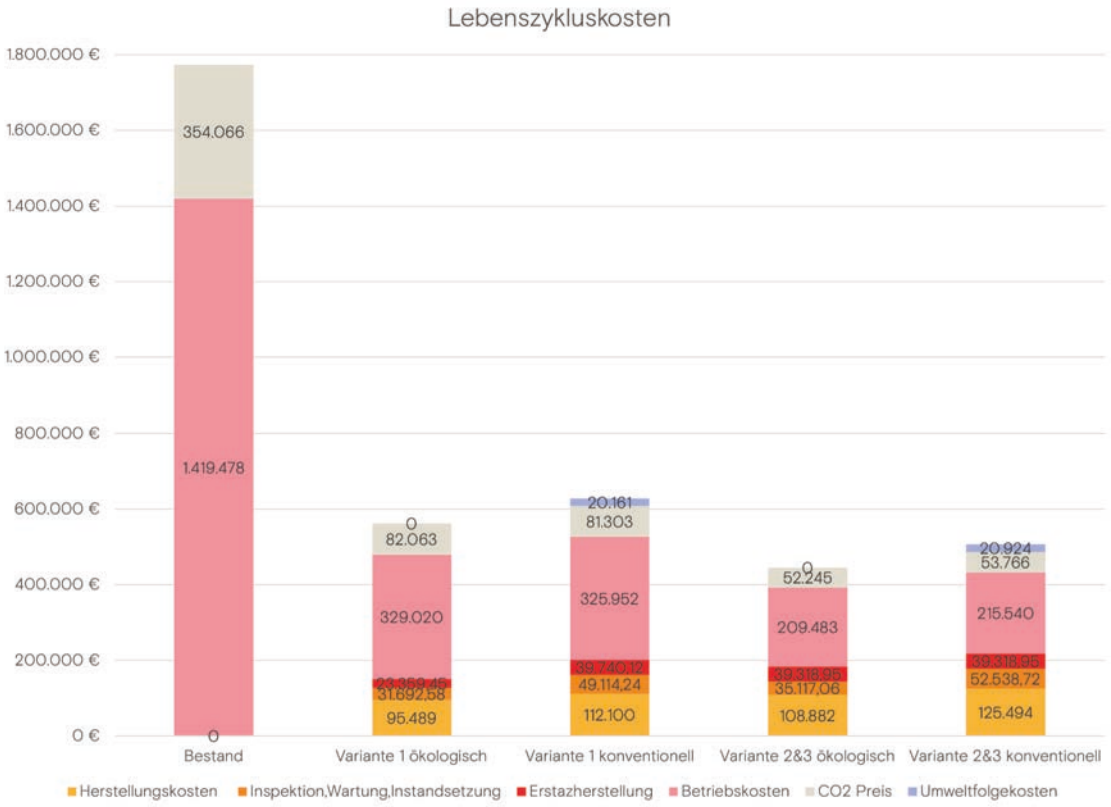
	Variante 2&3 konventionell					
C k	Vorhangfassade Zellulose 16 cm					
O k	Fenstertausch 3-fach Isolier					
Q k	Außentürtausch					
R	WP 1 bis 15kw Sole					
Y	RLT 1					
						Energieberaterund BNBLCC tool
	Herstellungskosten/Erstinvestition		**125.494,10 €**			
	Energiekosten	Pro Jahr	**1.615,60 €**	Energiekosten		1615,6
	Kosten Einsparung im Betrieb	pro Jahr	**€ 9.024,20**			
			-85%			
	Inspektion, Wartung, Instandsetzung		**52.538,72 €**			
	Ersatzherstellung		**55.699,62 €**			
	Lebenszykluskosten (Maßnahmen)		**449.272,44 €**			215540
	Umweltfolgekosten		**20.924,49 €**			
	CO_2 Preis		**53.766,00 €**			
	Lebenszykluskosten gesamt		**523.962,93 €**			
	GWP A1-A3	kg CO2eq.	**23778**			
		CO2eq./m²NGFa	2,10			
	GWP B6	kg CO2eq.	**226200**	GWP B6		226200
		CO2eq./m²NGFa	19,95			
	GWP gesamt	kg CO2eq.	**248389**			
		CO2eq./m²NGFa	21,91			
	PENRT A1-A3	kWh	**63621**			
		kWh./m²NGFa	5,61			
	PENRT B6	kWh	**722500**	PENRT B6		722500
		kWh./m²NGFa	63,73			
	PENRT gesamt	kWh	**776865**			
	Endenergieverbrauch	kWh/m²NGFa	**36**			8078
	Amortisationszeit	Jahre	**14**			
	Einsparung pro kWh		**2,78 €**			
	Inanspruchnahme von Rohstoffen ohne Anlagen, nur Maßnahmen an der Gebäudehülle					
	nachwachsende Rohstoffe	m³	**1,71**			
	nicht Nachwachsende Rohsoffe	m³	**33,35**			
	Entsorgungskosten min.	€	**617,54**			
	Entsorgungskosten max	€	**1873,36**			
	Entsorgungskosten mittel	€	**1214,65**			

3.2 Variante 3

Variante 3 stellt die empfohlene Variante dar. Bei diesem Gebäude erweist sich die Variante 2 als die sinnvollere, da für beide Varianten relativ Hohe Herstellungskosten anfallen und die Variante 2 durch den geringeren Endenergieverbrauch etwas niedrigere Kosten und Emissionen im Betrieb verursacht. Die Daten für Variante 3 sind dementsprechend den Übersichten auf Seite 13 (ökologisch) und Seite 15 (konventionell) zu entnehmen.

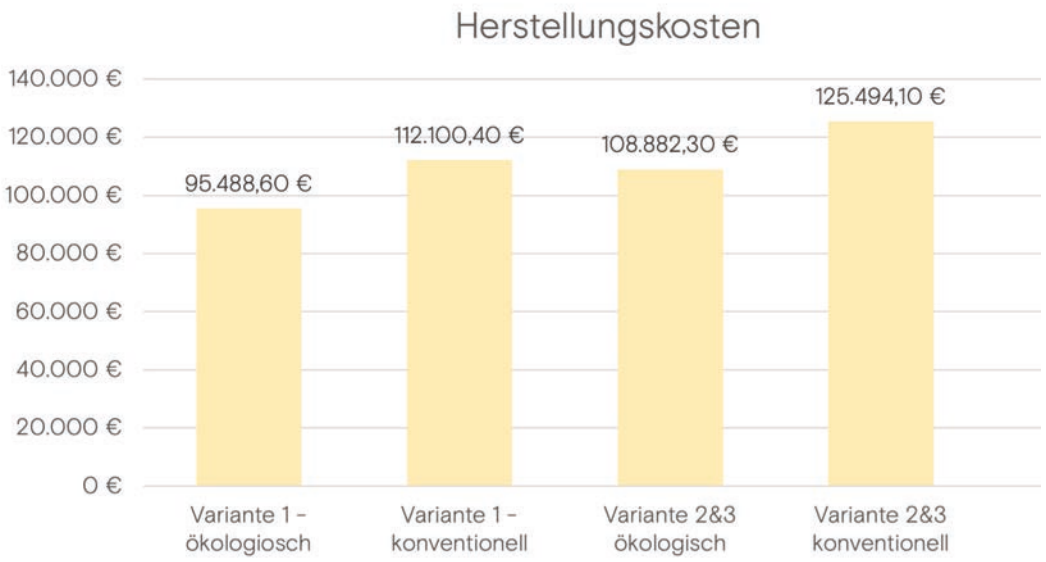
3.5 Variantenvergleich

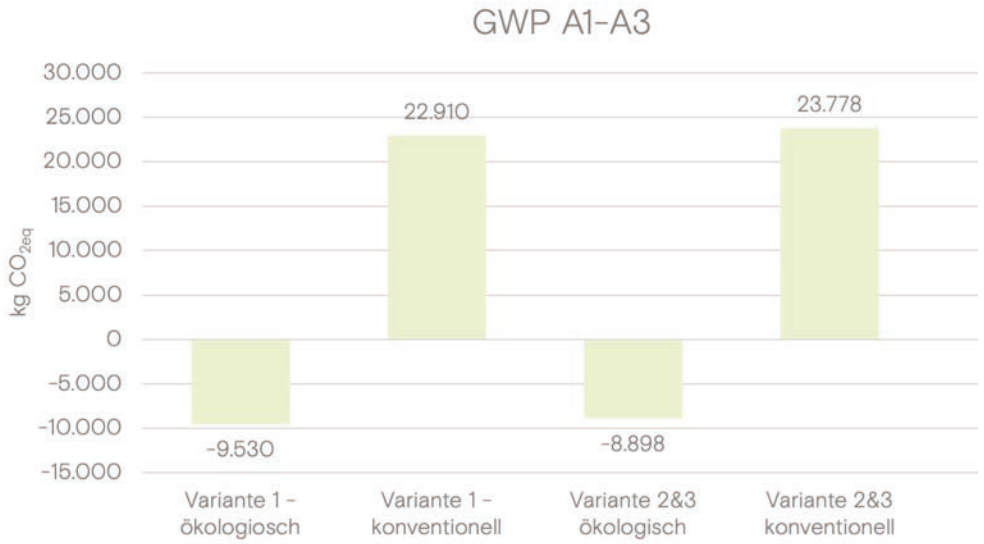
Die Varianten wurden in Bezug auf verschiedene nachhaltigkeits Kritereien miteinander verglichen. Der Vergleich der Varianten zeigt deutliche Verbesserungen gegenüber dem Bestand, insbesondere beim Energieverbrauch und den daraus resultierenden Betriebskosten. Bereits mit den Maßnahmen der Variante 1 kann der Endenergieverbrauch stark reduziert werden und liegt nur noch bei etwa einem viertel im vergleich mit dem Betand. Die Maßnahmen der Variante 2 bzw. 3 senkt den Energiebedarf lum weitere 19 kWh/m^2_{NG-F}a.Entsprechend sinken auch die Energiekosten deutlich, während Variante 1 die Kosten bereits um rund 77 % gegenüber dem Bestand reduziert, können mit den Varianten 2 bzw. 3 Einsparungen von 85 % erreicht werden. Im Gegensatz zu vielen anderen untersuchten Gebäuden unterscheiden sich die Herstellunngskosten der Varianten hier nur geringfügig. Die Maßnahmen der Variante 1 liegen lediglich etwa 12–15 % unter den Herstellungskosten der Variante 2/3. Die zusätzlichen energetischen Maßnahmen führen also nur zu moderat höheren anfangs Investitionen. Die ökologischen Varianten weisen durch den Einsatz biogener Baustoffe negative Emissionen im Modul A1–A3 auf, da Kohlenstoff in den Materialien gespeichert wird. Die konventionellen Bauweisen verursachen hingegen deutlich höhere Emissionen in der Herstellungsphase.

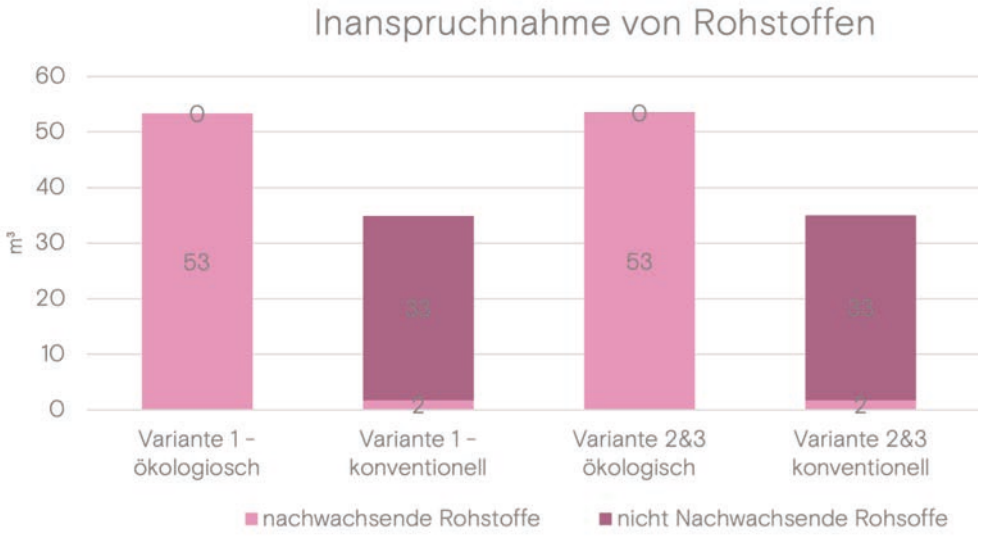


In der Lebenszyklusbetrachtung wird deutlich, dass alle Sanierungsvarianten im Vergleich zum Bestand zu erheblichen Kosteneinsparungen führen, da die sehr hohen Betriebskosten deutlich reduziert werden. Die Varianten 2/3 weist dabei insgesamt die niedrigsten Lebenszykluskosten auf. Obwohl ihre Herstellungskosten etwas höher liegen, gleichen die deutlich geringeren Betriebskosten diesen Unterschied über den Lebenszyklus hinweg aus und führen insgesamt zu der wirtschaftlich günstigsten Lösung.

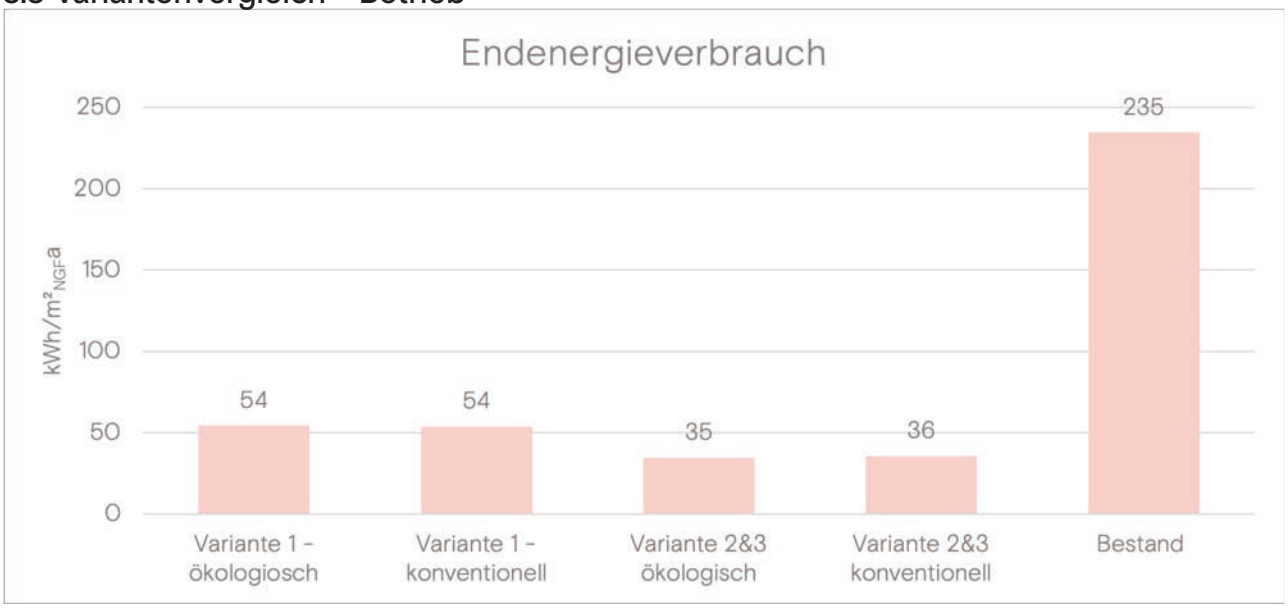
3.5 Variantenvergleich - Herstellung

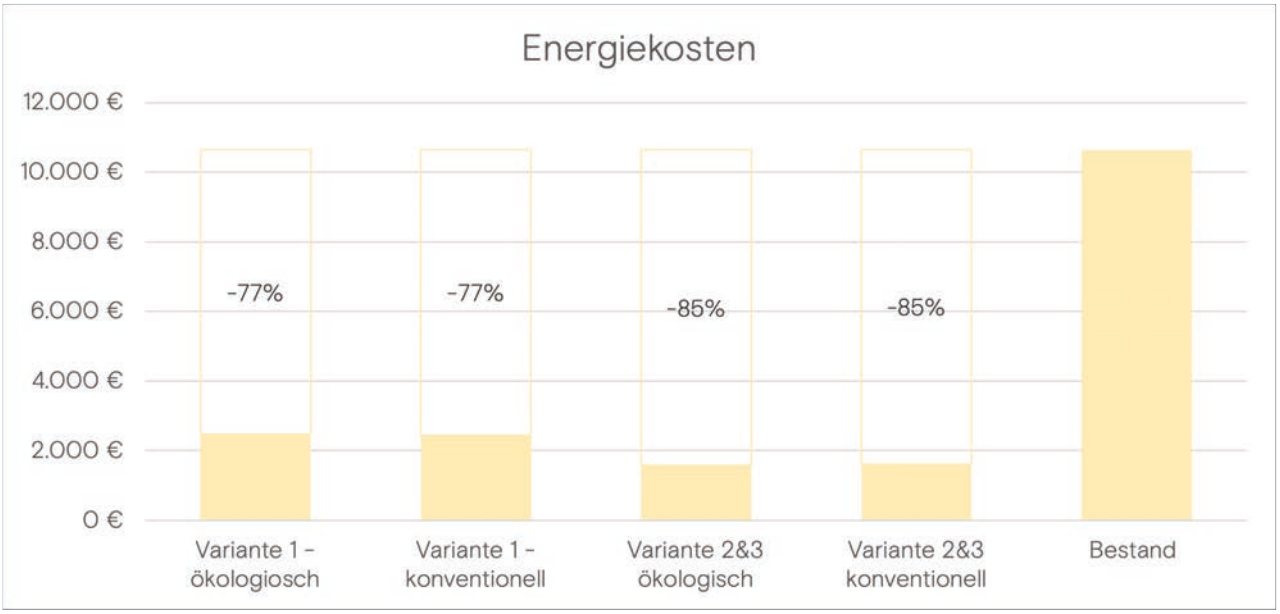






3.5 Variantenvergleich - Betrieb





*Entsorgungskosten beziehen sich nur auf Entsorgung der Materialien der Maßnahmen an der Geäudehülle , nicht wie bei der Herstellung auch die Arbetszeit etc. (Anlagen bleiben unberücksichtigt)

4 Gebäudefazit und Empfehlung

Das Feuerwehr Gebäude in Waldhilsbach weist aufgrund der großen Garagentore einen sehr hohen Wärmeverlust über die Gebäudehülle auf. Besonders die Tore stellen energetisch eine Schwachstelle dar, da sie deutlich schlechtereDämmwerte besitzen als die aderen Bauteile der Gebäudehülle. deswegen sind Maßnahmen an den Toren besonders wirksam, weshalb die Varianten 2 bzw. 3 hier energetisch die sinnvollere Lösung darstellt. Durch den austausch der bestehenden Tore gegen besser gedämmte Elemente können die Wärmeverluste deutlich reduziert werden.
Im Rahmen der Sanierung wird der Einsatz einer Wärmepumpe vorgeschlagen. Das aktuelle Heizsystem (kleine elektrische Direktheizungen) kann zwar auch schon klimaneutral arbeiten, vorausgesetzt der benötigte Strom kommt aus erneuerbaren Quellen (gibt ja aber schon eine PV Anlage auf dem Dach), ist aber vergleichsweise ineffizient, da Strom direkt in Wärme umgewandelt wird. Einne Wärmepumpe kann deutlich effizienter arbeiten und ermöglicht ebenfalls eine klimafreundliche Wärmeversorgung des Gebäudes.
Insgesamt erscheint eine Sanierungsstrategie sinnvoll, die neben der Modernisierung der Heiztechnik vorallem die energetische Verbesserung der großen Garagentore berücksichtigt. Dadurch lassen sich sowohl der Energieverbrauch als auch die Betriebskosten deutlich reduzieren, während gleichzeitig eine langfristig klimafreundliche Wärmeversorgung des Gebäudes ermöglicht wird.

Bei den dargestellten Ergebnissen handelt es sich um eine theoretische Annäherung. Die berechneten Werte dienen in erster Linie der Vergleichbarkeit der untersuchten Varianten und stellen keine abschließende Sanierungsplanung für das Gebäude dar. Um eine Übertragbarkeit auf weitere Gebäude zu gewährleisten, wurden notwendige Instandhaltungsmaßnahmen bewusst nicht in die Betrachtung einbezogen, da diese unabhängig von der gewählten Sanierungsstrategie anfallen und im Einzelfall gesondert untersucht werden müssten.