

Neubau Westflügel der Albert-Schweitzer-Schule Wedel

Energetische Variantenbetrachtung

08.06.2022,

B.Eng. Christian Kruse, ISRW Dr.-Ing. Klapdor GmbH

1. Situation und Aufgabenstellung

1.1 Vorbemerkungen zur Bearbeitung

2. Varianten

- 2.1 GEG (Mindeststandard)**
- 2.2 Effizienzgebäude 40**
- 2.3 Passivhausbauweise FW**
- 2.4 Passivhausbauweise WP**
- 2.5 Nullenergiehaus**
- 2.6 Plusenergiehaus**
- 2.7 Gebäudehülle**
- 2.8 Übersicht TGA**

3. Ergebnisse

- 3.1 Endenergiebedarf**
- 3.2 Erneuerbare Energien**
- 3.3 Jahresheizwärmebedarf**
- 3.4 Photovoltaik-Anlagen**
- 3.5 CO2-Emissionen**

4. Wirtschaftlichkeit

- 4.1 Förderung nach BEG / KfW**
- 4.2 Energiekostensteigerung 2 %**
- 4.3 Energiekostensteigerung 4 %**
- 4.4 Energiekostensteigerung 7 %**
- 4.5 Energiekostensteigerung 10 %**

5. Bewertungsmatrix / Empfehlung

1. Situation und Aufgabenstellung

- Neubau des Westflügels der Albert-Schweitzer-Schule Wedel
- Anbau an Bestandsgebäude
- Ermittlung eines geeigneten energetischen Standards
- Energetische Variantenuntersuchung zur Entscheidungsfindung
- Untersuchung anhand Bilanzierungsrechnungen
- Definition und Berücksichtigung von geeigneter technischer Gebäudeausrüstung (Zusammenarbeit TGA-Planung)
- Amortisationsrechnungen anhand Energiekostensteigerung von 2%, 4%, 7%, 10%

1. Situation und Aufgabenstellung

1.1 Vorbemerkungen zur Bearbeitung

- Durchführung der Rechnungen auf Basis DIN V 18599
→ Vergleichbarkeit der Ergebnisse
- Software SolarComputer Version 5.26.01
- Grundlage Planstand „Variante 7e“, Stand Januar 2022
- Vorbetrachtungen der Varianten als Grundlage zur weiteren Planung
 - Keine Passivhausberechnung (PHPP)
 - Begrenzte Darstellbarkeit für Nullenergie- / Plusenergiegebäude
- Rechnungen auf Basis theoretischer und normativer Datengrundlage
 - Abweichungen im Realfall sind generell möglich und u.a. von Nutzerverhalten abhängig

2. Varianten

2.1 GEG (Mindeststandard):

- Dämmstandard GEG 2020 (Mindeststandard verbessert)
- Wärmeversorgung über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper
- Fensterlüftung und Abluftsystem für Sanitärbereiche

2.2 Effizienzgebäude 40:

- Dämmstandard nach Effizienzgebäude 40
- Wärmeversorgung über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper
- Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage auf Flachdach
- PV-Speicher

2. Varianten

2.3 Passivhausbauweise FW:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper, Ausnahme Flure mit Deckenstrahlsystem
- Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage auf Flachdach
- PV-Speicher

2.4 Passivhausbauweise WP:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Spitzenlastabdeckung mittels Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper, Ausnahme Flure mit Deckenstrahlsystem
- Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage auf Flachdach
- PV-Speicher

2. Varianten

2.5 Nullenergiehaus:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Wärmepumpe Erdsonden (100 %)
- Deckenstrahlsystem
- Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage für Nullenergiehaus dimensioniert auf Flachdach
- PV-Speicher

2.6 Plusenergiehaus:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Wärmepumpe Erdsonden (100 %)
- Deckenstrahlsystem
- Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage für Plusenergiehaus dimensioniert auf Flachdach + Fassade
- PV-Speicher

2. Varianten

2.7 Gebäudehülle

	Außenwand	Flachdach	Decke n.u. gegen Außenluft	Bodenplatte	Fenster	Außentür	Wärmebrücken zuschlag
GEG	ca. 12 cm WLS 035	ca. 12 cm WLS 035	ca. 12 cm WLS 035	ca. 8 cm WLS 040	2-fach Verglasung		$\Delta U = 0,05$ W/m²K
U-Wert in [W/m²*K]	0,28	0,28	0,28	0,56	1,50	1,60	
EG40	ca. 20 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 035	ca. 14 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Ar)		$\Delta U = 0,05$ W/m²K
U-Wert in [W/m²*K]	0,18	0,15	0,20	0,28	0,90	1,30	
Passivhausbauweise ohne Zertifizierung	ca. 24 cm WLS 035	ca. 36 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Kr)		$\Delta U = 0,01$ W/m²K
U-Wert in [W/m²*K]	0,15	0,10	0,10	0,20	0,80	1,00	
Nullenergiehaus	ca. 24 cm WLS 035	ca. 36 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Kr)		$\Delta U = 0,01..0,03$ W/m²K
U-Wert in [W/m²*K]	0,15	0,10	0,10	0,20	0,80	1,00	
Plusenergiehaus	ca. 24 cm WLS 035	ca. 36 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Kr)		$\Delta U = 0,01..0,03$ W/m²K
U-Wert in [W/m²*K]	0,15	0,10	0,10	0,20	0,80	1,00	

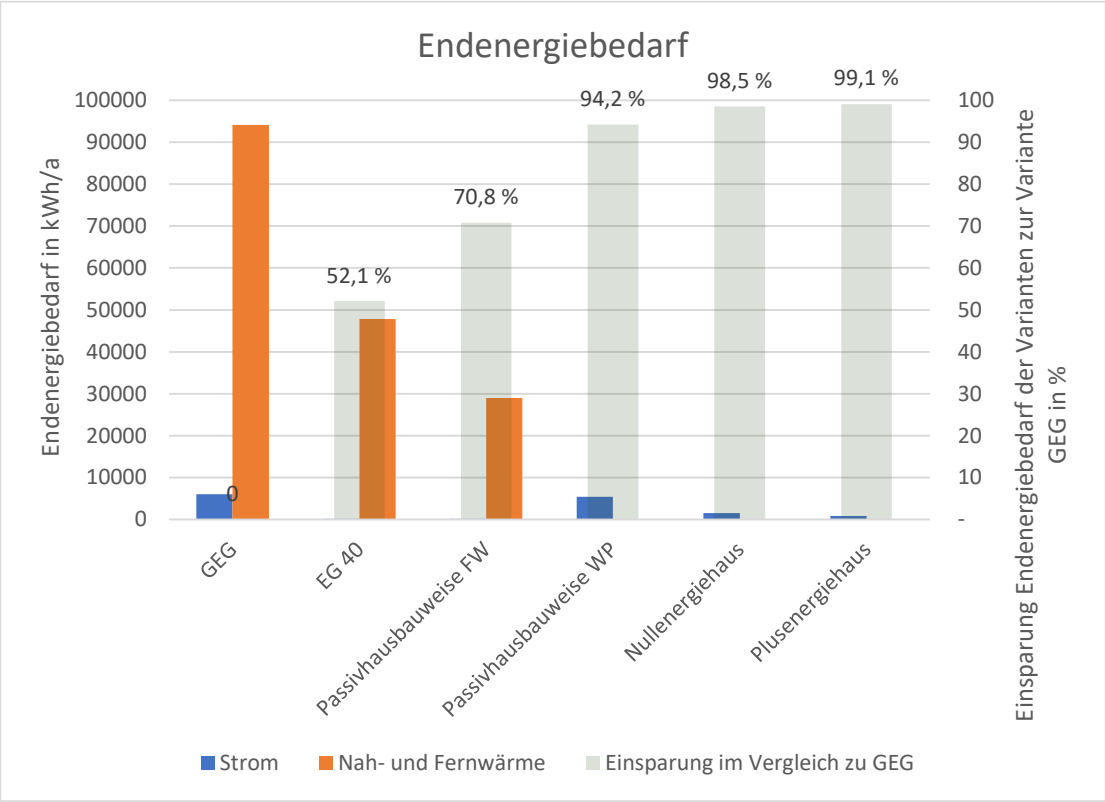
2. Varianten

2.8 Übersicht TGA

GEG	EG 40	Passivhaus- bauweise FW	Passivhaus- bauweise WP	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
GEG Standard	Effizienzhaus 40 Standard	Passivhaus Standard	Passivhaus Standard	Passivhaus Standard	Passivhaus Standard
Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Luft-Wasser- Wärmepumpe / Fernwärme	Wärmepumpe Erdsonden	Wärmepumpe Erdsonden
Fensterlüftung, Abluft im Sanitärbereich	Lüftungsanlage Dezentral mit WRG	Lüftungsanlage Dezentral mit WRG	Lüftungsanlage Dezentral mit WRG	Zentrale Lüftungsanlage mit WRG	Zentrale Lüftungsanlage mit WRG
Platten- heizkörper	Platten- heizkörper, Deckenstrahl- platten in Fluren	Platten- heizkörper, Deckenstrahl- platten in Fluren	Platten- heizkörper, Deckenstrahl- platten in Fluren	Deckenstrahl- platten	Deckenstrahl- platten
-	PV	PV	PV	PV	PV+

3. Ergebnisse

3.1 Endenergiebedarf:



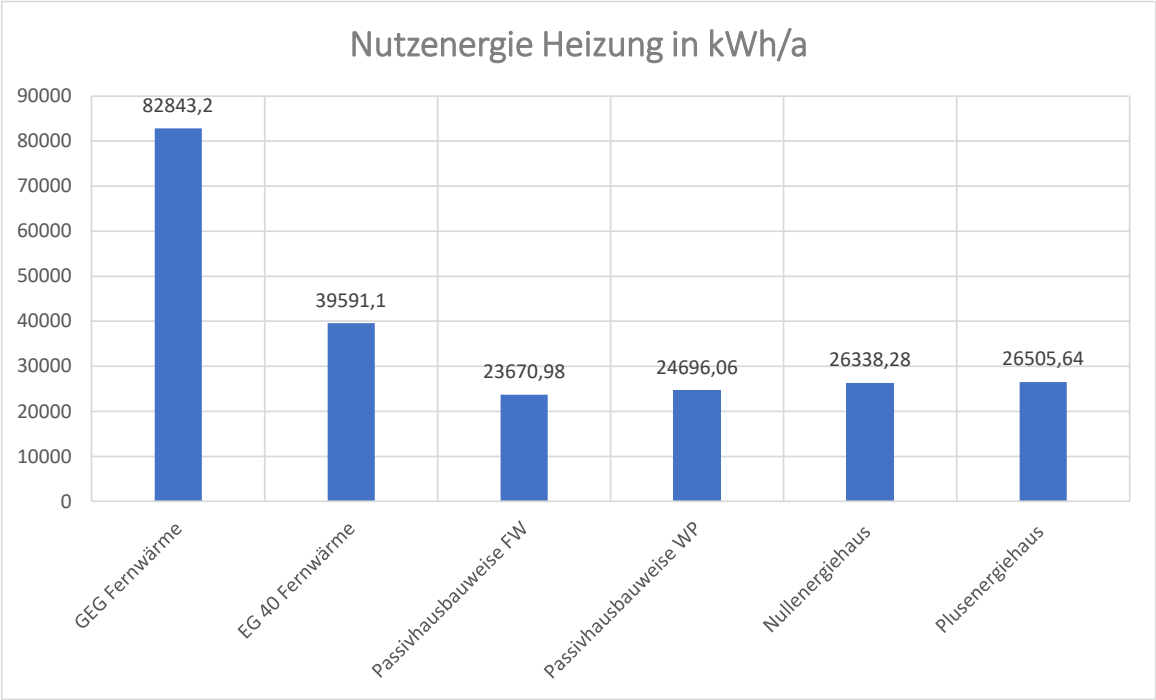
3. Ergebnisse

3.2 Deckung durch Erneuerbare Energien:

- GEG: 0 %
- EG 40: 2 %
- Passivhausbauweise FW: 4 %
- Passivhausbauweise WP: 97 %
- Nullenergiehaus: 97 %
- Plusenergiehaus: 97 %

3. Ergebnisse

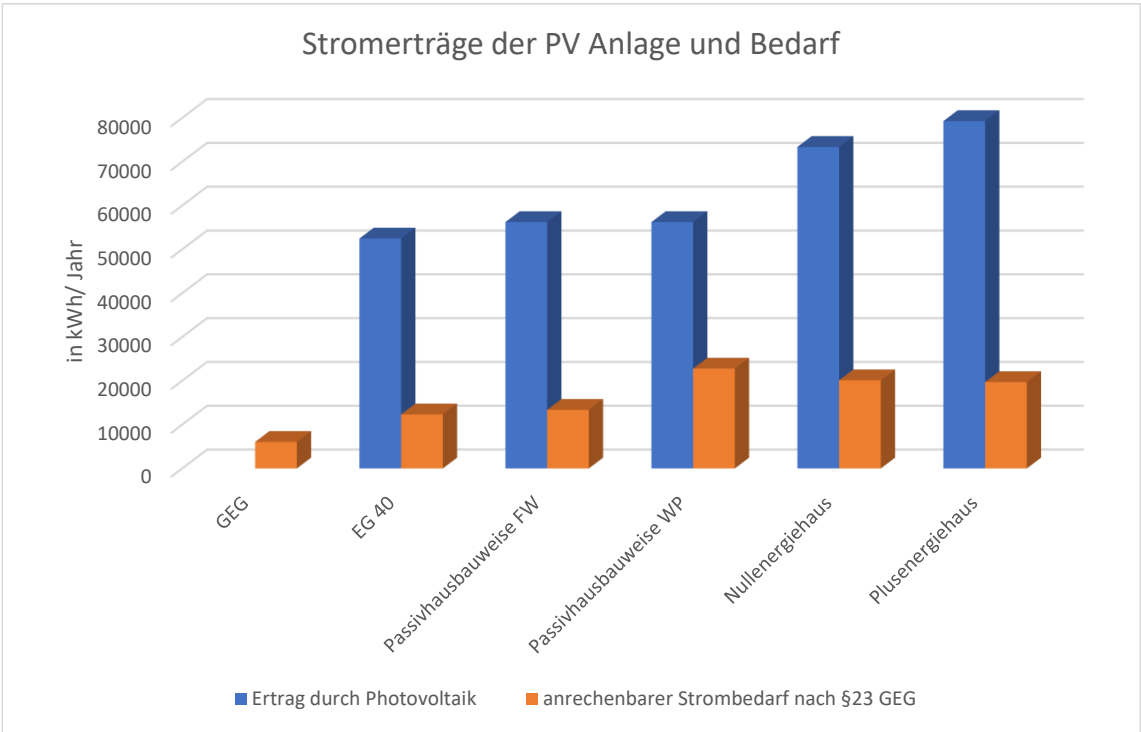
3.3 Jahresheizenergiebedarf:



3. Ergebnisse

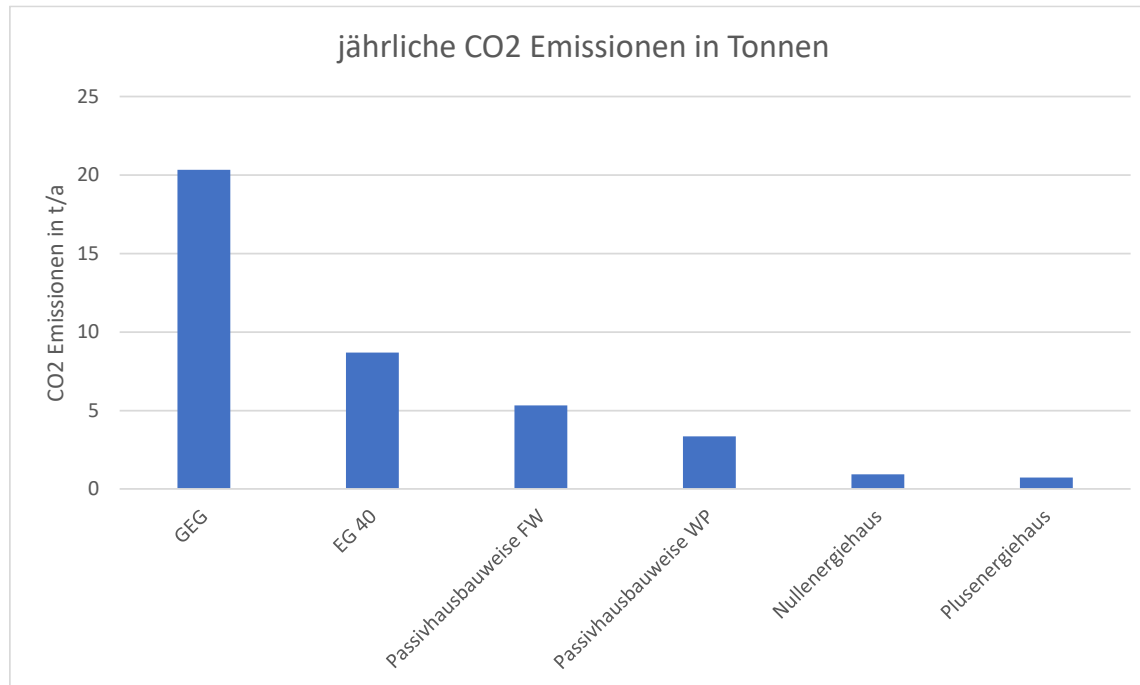
3.4 Photovoltaik-Anlagen:

	GEG	EG 40	Passivhaus- bauweise FW	Passivhaus- bauweise WP	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
m²	X	420 m²	420 m²	420 m²	500m²	500m²
Speicher	X	25 kWh	28kWh	28kWh	35kWh	40kWh
Zelltyp	X	Polykristallines Silizium	Polykristallines Silizium	Polykristallines Silizium	Monokristallines Silizium	Monokristallines Silizium



3. Ergebnisse

3.5 CO₂-Emission:



4. Wirtschaftlichkeit

4.1 Förderung nach BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude) / KfW

- Derzeit (Stand 28.04.2022) keine Förderung mehr möglich für Effizienzgebäude 40 und Effizienzgebäude 40 Erneuerbare Energien (EE)
- Derzeit (Stand 28.04.2022) nur noch Förderung möglich für Effizienzgebäude 40 Nachhaltigkeit (NH)
→ Tilgungszuschuss 12,5 %

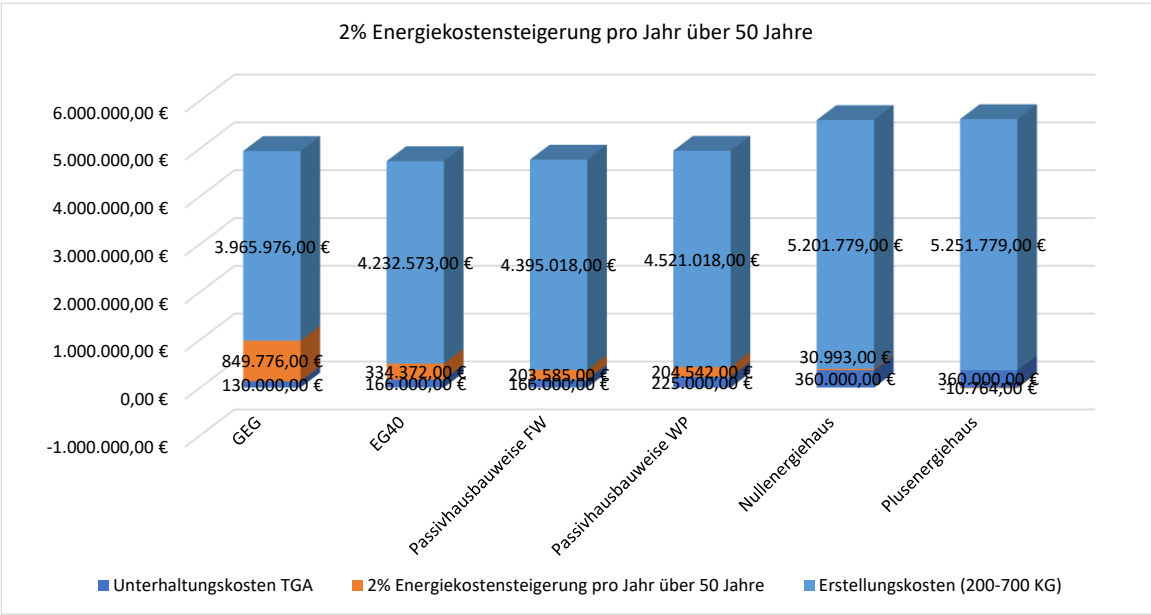
4. Wirtschaftlichkeit

4.2 Amortisationsrechnung, 2 % Energiekostensteigerung:

Varianten					Variante 0 Gebäude nach GEG mit Fernwärme		Variante 1 BEG 40 mit Fernwärme		Variante 2 A Passivhausbauweise mit Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Variante 2 A/B Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Variante 2 B Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Variante 3 Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Variante 4 Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe			
Erstellungskosten (KG 200-700) Mehrkosten zu Variante 0					3.965.976 €		4.232.573 € +266.597 €		4.395.018 € +429.042 €		4.521.018 € +555.042 €		4.521.018 € +555.042 €		5.201.779 € +1.235.803 €		5.251.779 € +1.285.803 €			
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420) Wartung					130.000 € 100.000 €		166.000 € 100.000 €		166.000 € 100.000 €		225.000 € 125.000 €		360.000 € 200.000 €		360.000 € 200.000 €		360.000 € 200.000 €			
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €			
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €			
Energiekosten					Jahresendenergiebedarf 1.196 m³ BGF		95,72 kWh/m³ 114.481 kWh		45,84 kWh/m³ 54.825 kWh		27,91 kWh/m³ 33.380 kWh		5,87 kWh/m³ 7.021 kWh		5,87 kWh/m³ 7.021 kWh		1,46 kWh/m³ 1.746 kWh		-5,00 kWh/m³ -5.980 kWh	
jährliche Energiekostensteigerung 2%	Jahr	Fernwärme Preis	Strom Preis	Einspeisung Preis	Fernwärme 89,98 kWh/m² 107.612 kWh	Strom 5,74 kWh/m² 6.869 kWh	Fernwärme 45,38 kWh/m² 54.276 kWh	Strom 0,46 kWh/m² 548 kWh	Fernwärme 27,63 kWh/m² 33.047 kWh	Strom 0,28 kWh/m² 334 kWh	Fernwärme 0,70 kWh/m² 842 kWh	Strom 5,17 kWh/m² 6.178 kWh	Fernwärme 0,70 kWh/m² 842 kWh	Strom 5,17 kWh/m² 6.178 kWh	Fernwärme 0,00 kWh/m² 0 kWh	Strom 1,46 kWh/m² 1.746 kWh	Fernwärme 0,00 kWh/m² 0 kWh	Einspeisung -5,00 kWh/m² -5.980 kWh		
	2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh																
	2023	6,63 ct/kWh	36,72 ct/kWh	8,00 ct/kWh																
	2024	6,76 ct/kWh	37,45 ct/kWh	8,00 ct/kWh																
	2025	6,90 ct/kWh	38,20 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.423 €	2.624 €	3.744 €	209 €	2.280 €	128 €	58 €	2.360 €	58 €	2.360 €	0 €	667 €	0 €	-478 €		
	2026	7,04 ct/kWh	38,97 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.571 €	2.677 €	3.819 €	214 €	2.325 €	130 €	59 €	2.407 €	59 €	2.407 €	0 €	680 €	0 €	-478 €		
	2027	7,18 ct/kWh	39,75 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.723 €	2.730 €	3.895 €	218 €	2.372 €	133 €	60 €	2.456 €	60 €	2.456 €	0 €	694 €	0 €	-478 €		
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
	2044	10,05 ct/kWh	55,66 ct/kWh	8,00 ct/kWh	10.814 €	3.823 €	5.454 €	305 €	3.321 €	186 €	85 €	3.438 €	85 €	3.438 €	0 €	972 €	0 €	-478 €		
	2045	10,25 ct/kWh	56,77 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.030 €	3.899 €	5.563 €	311 €	3.387 €	189 €	86 €	3.507 €	86 €	3.507 €	0 €	991 €	0 €	-478 €		
	2046	10,45 ct/kWh	57,90 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.251 €	3.977 €	5.675 €	317 €	3.455 €	193 €	87 €	3.577 €	87 €	3.577 €	0 €	1.011 €	0 €	-478 €		
	2047	10,66 ct/kWh	59,06 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.476 €	4.057 €	5.788 €	324 €	3.524 €	197 €	88 €	3.649 €	88 €	3.649 €	0 €	1.031 €	0 €	-478 €		
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
	2070	16,82 ct/kWh	93,13 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.096 €	6.397 €	9.127 €	511 €	5.557 €	311 €	5.557 €	311 €	142 €	5.754 €	0 €	1.626 €	0 €	-478 €		
	2071	17,15 ct/kWh	95,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.458 €	6.525 €	9.310 €	521 €	5.668 €	317 €	5.668 €	317 €	145 €	5.869 €	0 €	1.659 €	0 €	-478 €		
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...		
	2072	17,50 ct/kWh	96,90 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.827 €	6.656 €	9.496 €	531 €	5.782 €	323 €	5.782 €	323 €	147 €	5.986 €	0 €	1.692 €	0 €	-478 €		
	2073	17,85 ct/kWh	98,84 ct/kWh	8,00 ct/kWh	19.204 €	6.789 €	9.686 €	542 €	5.897 €	330 €	5.897 €	330 €	150 €	6.106 €	0 €	1.726 €	0 €	-478 €		
	2074	18,20 ct/kWh	100,81 ct/kWh	8,00 ct/kWh	19.588 €	6.925 €	9.879 €	553 €	6.015 €	337 €	6.015 €	337 €	153 €	6.228 €	0 €	1.760 €	0 €	-478 €		
					627.827 €	221.949 €	316.657 €	17.715 €	192.799 €	10.786 €	135.524 €	68.353 €	4.915 €	199.627 €	0 €	56.422 €	0 €	-23.920 €		
Gesamtkosten auf 50 Jahre					4.945.752 €		4.732.945 €		4.764.603 €		4.949.895 €		5.085.560 €		5.618.201 €		5.587.859 €			

4. Wirtschaftlichkeit

4.2 Energiekosten bei 2 % Kostensteigerung:



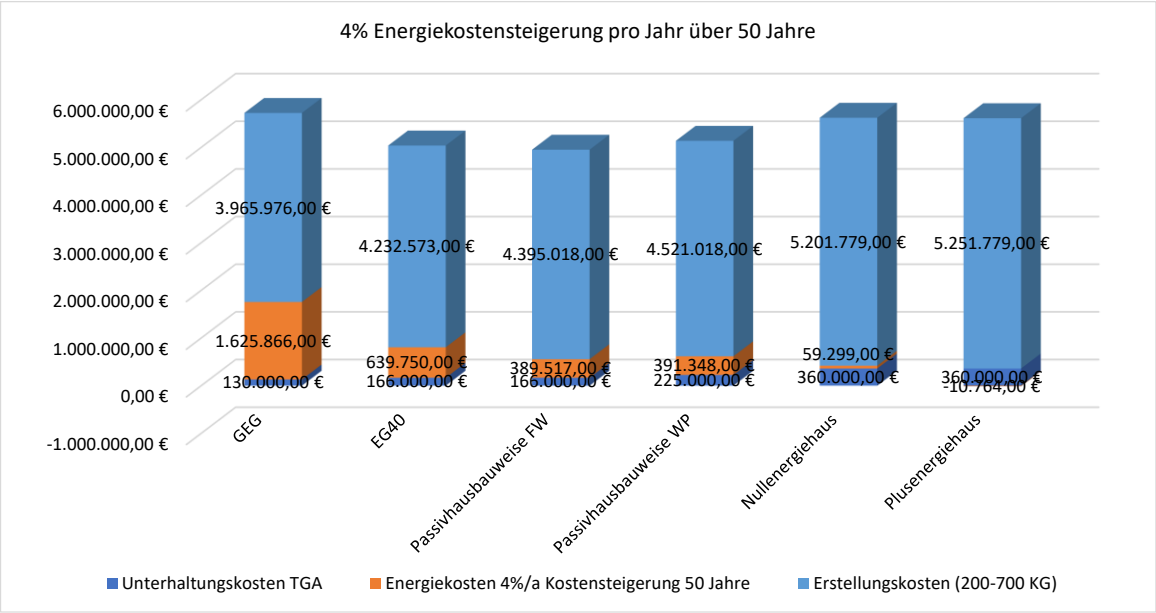
4. Wirtschaftlichkeit

4.3 Amortisationsrechnung, 4 % Energiekostensteigerung:

Varianten					Variante 0 Gebäude nach GEG mit Fernwärme		Variante 1 BEG 40 mit Fernwärme		Variante 2 A Passivhausbauweise mit Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Variante 2 A/B Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Variante 2 B Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Variante 3 Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Variante 4 Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		
Erstellungskosten (KG 200-700) <i>Mehrkosten zu Variante 0</i>					3.965.976 €		4.232.573 € <i>+266.597 €</i>		4.395.018 € <i>+429.042 €</i>		4.521.018 € <i>+555.042 €</i>		4.521.018 € <i>+555.042 €</i>		5.201.779 € <i>+1.235.803 €</i>		5.251.779 € <i>+1.285.803 €</i>		
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420)					130.000 €		166.000 €		166.000 €		225.000 €		360.000 €		360.000 €		360.000 €		
Wartung					100.000 €		100.000 €		100.000 €		125.000 €		200.000 €		200.000 €		200.000 €		
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €		
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		
Energiekosten					95,72 kWh/m² 1.196 m² BGF 114.481 kWh		45,84 kWh/m² 54.825 kWh		27,91 kWh/m² 33.380 kWh		5,87 kWh/m² 7.021 kWh		5,87 kWh/m² 7.021 kWh		1,46 kWh/m² 1.746 kWh		-5,00 kWh/m² -5.980 kWh		
jährliche Energiekostensteigerung 4%		Jahr	Fernwärme Preis	Strom Preis	Einspeisung Preis	Fernwärme 89,98 kWh/m² 107.612 kWh	Strom 5,74 kWh/m² 6.869 kWh	Fernwärme 45,38 kWh/m² 54.276 kWh	Strom 0,46 kWh/m² 548 kWh	Fernwärme 27,63 kWh/m² 33.047 kWh	Strom 0,28 kWh/m² 334 kWh	Fernwärme 0,70 kWh/m² 842 kWh	Strom 5,17 kWh/m² 6.178 kWh	Fernwärme 0,70 kWh/m² 842 kWh	Strom 5,17 kWh/m² 6.178 kWh	Fernwärme 0,00 kWh/m² 0 kWh	Strom 1,46 kWh/m² 1.746 kWh	Fernwärme 0,00 kWh/m² 0 kWh	Einspeisung -5,00 kWh/m² -5.980 kWh
		2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2023	6,76 ct/kWh	37,44 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2024	7,03 ct/kWh	38,94 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2025	7,31 ct/kWh	40,50 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.868 €	2.782 €	3.968 €	222 €	2.416 €	135 €	62 €	2.502 €	62 €	2.502 €	0 €	707 €	0 €	-478 €
		2026	7,60 ct/kWh	42,11 ct/kWh	8,00 ct/kWh	8.183 €	2.893 €	4.127 €	231 €	2.513 €	141 €	64 €	2.602 €	64 €	2.602 €	0 €	735 €	0 €	-478 €
		2027	7,91 ct/kWh	43,80 ct/kWh	8,00 ct/kWh	8.510 €	3.009 €	4.292 €	240 €	2.613 €	146 €	67 €	2.706 €	67 €	2.706 €	0 €	765 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		2044	15,40 ct/kWh	85,32 ct/kWh	8,00 ct/kWh	16.577 €	5.860 €	8.361 €	468 €	5.091 €	285 €	130 €	5.271 €	130 €	5.271 €	0 €	1.490 €	0 €	-478 €
		2045	16,02 ct/kWh	88,73 ct/kWh	8,00 ct/kWh	17.240 €	6.095 €	8.695 €	486 €	5.294 €	296 €	135 €	5.482 €	135 €	5.482 €	0 €	1.549 €	0 €	-478 €
		2046	16,66 ct/kWh	92,28 ct/kWh	8,00 ct/kWh	17.930 €	6.339 €	9.043 €	506 €	5.506 €	308 €	140 €	5.701 €	140 €	5.701 €	0 €	1.611 €	0 €	-478 €
		2047	17,33 ct/kWh	95,97 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.647 €	6.592 €	9.405 €	526 €	5.726 €	320 €	146 €	5.929 €	146 €	5.929 €	0 €	1.676 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		2070	42,71 ct/kWh	236,54 ct/kWh	8,00 ct/kWh	45.960 €	16.248 €	23.181 €	1.297 €	14.114 €	790 €	14.114 €	790 €	360 €	14.614 €	0 €	4.130 €	0 €	-478 €
		2071	44,42 ct/kWh	246,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh	47.798 €	16.897 €	24.108 €	1.349 €	14.678 €	821 €	14.678 €	821 €	374 €	15.198 €	0 €	4.296 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
		2072	46,19 ct/kWh	255,84 ct/kWh	8,00 ct/kWh	49.710 €	17.573 €	25.072 €	1.403 €	15.265 €	854 €	15.265 €	854 €	389 €	15.806 €	0 €	4.467 €	0 €	-478 €
		2073	48,04 ct/kWh	266,07 ct/kWh	8,00 ct/kWh	51.698 €	18.276 €	26.075 €	1.459 €	15.876 €	888 €	15.876 €	888 €	405 €	16.438 €	0 €	4.646 €	0 €	-478 €
		2074	49,96 ct/kWh	276,72 ct/kWh	8,00 ct/kWh	53.766 €	19.007 €	27.118 €	1.517 €	16.511 €	924 €	16.511 €	924 €	421 €	17.096 €	0 €	4.832 €	0 €	-478 €
						1.201.214 €	424.652 €	605.856 €	33.894 €	368.880 €	20.637 €	293.604 €	96.296 €	9.404 €	381.944 €	0 €	107.952 €	0 €	-23.920 €
Gesamtkosten auf 50 Jahre					5.721.842 €		5.038.324 €		4.950.535 €		5.135.918 €		5.272.366 €		5.669.731 €		5.587.859 €		

4. Wirtschaftlichkeit

4.3 Energiekosten bei 4 % Kostensteigerung:



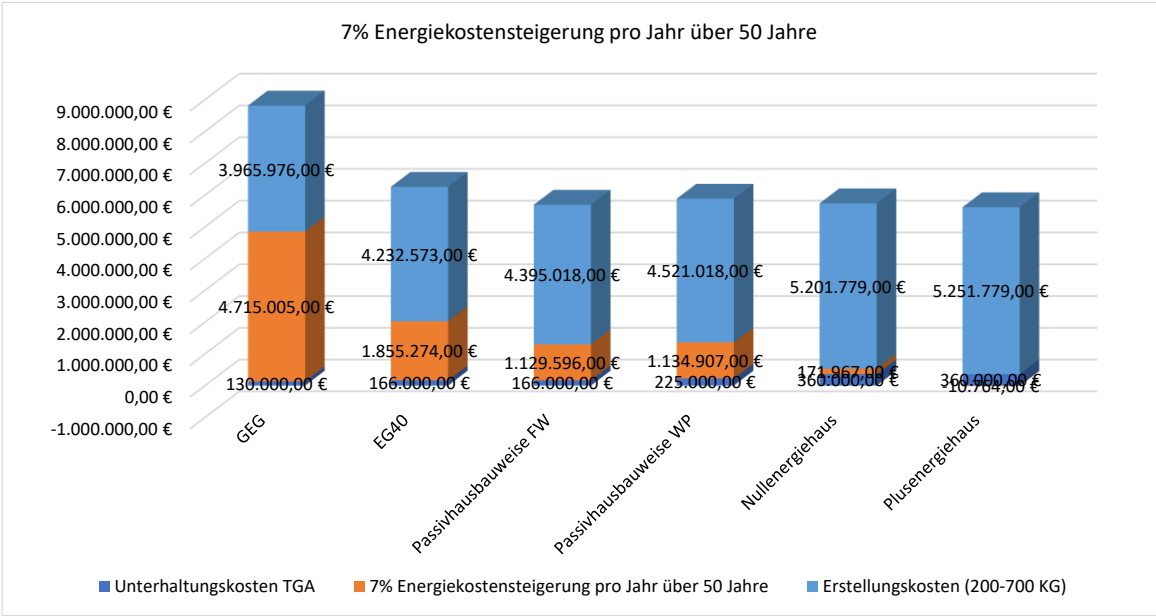
4. Wirtschaftlichkeit

4.3 Amortisationsrechnung, 7 % Energiekostensteigerung:

Varianten					Variante 0 Gebäude nach GEG mit Fernwärme		Variante 1 BEG 40 mit Fernwärme		Variante 2 A Passivhausbauweise mit Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Variante 2 A/B Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2048 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Variante 2 B Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Variante 3 Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Variante 4 Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe	
Erstellungskosten (KG 200-700) <i>Mehrkosten zu Variante 0</i>					3.965.976 €		4.232.573 € +266.597 €		4.395.018 € +429.042 €		4.521.018 € +555.042 €		4.521.018 € +555.042 €		5.201.779 € +1.235.803 €		5.251.779 € +1.285.803 €	
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420) Wartung					130.000 € 100.000 €		166.000 € 100.000 €		166.000 € 100.000 €		225.000 € 125.000 €		360.000 € 200.000 €		360.000 € 200.000 €		360.000 € 200.000 €	
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €	
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €	
Energiekosten Jahresendenergiebedarf 1.196 m³ BGF					95,72 kWh/m³ 114.481 kWh		45,84 kWh/m³ 54.825 kWh		27,91 kWh/m³ 33.380 kWh		5,87 kWh/m³ 7.021 kWh		5,87 kWh/m³ 7.021 kWh		1,46 kWh/m³ 1.746 kWh		-5,00 kWh/m³ -5.980 kWh	
jährliche Energiekostensteigerung 7%	Jahr	Fernwärme Preis	Strom Preis	Einspeisung Preis	Fernwärme 89,98 kWh/m³ 107.612 kWh	Strom 5,74 kWh/m³ 6.869 kWh	Fernwärme 45,38 kWh/m³ 54.276 kWh	Strom 0,46 kWh/m³ 548 kWh	Fernwärme 27,63 kWh/m³ 33.047 kWh	Strom 0,28 kWh/m³ 334 kWh	Fernwärme 0,70 kWh/m³ 842 kWh	Strom 5,17 kWh/m³ 6.178 kWh	Fernwärme 0,70 kWh/m³ 842 kWh	Strom 5,17 kWh/m³ 6.178 kWh	Fernwärme 0,00 kWh/m³ 0 kWh	Strom 1,46 kWh/m³ 1.746 kWh	Fernwärme 0,00 kWh/m³ 0 kWh	Einspeisung -5,00 kWh/m³ -5.980 kWh
	2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
	2023	6,96 ct/kWh	38,52 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
	2024	7,44 ct/kWh	41,22 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
	2025	7,96 ct/kWh	44,10 ct/kWh	8,00 ct/kWh	8.569 €	3.029 €	4.322 €	242 €	2.631 €	147 €	67 €	2.725 €	67 €	2.725 €	0 €	770 €	0 €	-478 €
	2026	8,52 ct/kWh	47,19 ct/kWh	8,00 ct/kWh	9.169 €	3.241 €	4.624 €	259 €	2.816 €	158 €	72 €	2.915 €	72 €	2.915 €	0 €	824 €	0 €	-478 €
	2027	9,12 ct/kWh	50,49 ct/kWh	8,00 ct/kWh	9.811 €	3.468 €	4.948 €	277 €	3.013 €	169 €	77 €	3.119 €	77 €	3.119 €	0 €	882 €	0 €	-478 €
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2044	28,80 ct/kWh	159,49 ct/kWh	8,00 ct/kWh	30.990 €	10.955 €	15.630 €	874 €	9.517 €	532 €	243 €	9.854 €	243 €	9.854 €	0 €	2.785 €	0 €	-478 €
	2045	30,81 ct/kWh	170,66 ct/kWh	8,00 ct/kWh	33.159 €	11.722 €	16.724 €	936 €	10.183 €	570 €	260 €	10.543 €	260 €	10.543 €	0 €	2.980 €	0 €	-478 €
	2046	32,97 ct/kWh	182,61 ct/kWh	8,00 ct/kWh	35.480 €	12.543 €	17.895 €	1.001 €	10.896 €	610 €	10.896 €	610 €	278 €	11.281 €	0 €	3.189 €	0 €	-478 €
	2047	35,28 ct/kWh	195,39 ct/kWh	8,00 ct/kWh	37.964 €	13.421 €	19.148 €	1.071 €	11.658 €	652 €	11.658 €	652 €	297 €	12.071 €	0 €	3.412 €	0 €	-478 €
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2070	167,24 ct/kWh	926,24 ct/kWh	8,00 ct/kWh	179.968 €	63.622 €	90.771 €	5.078 €	55.266 €	3.092 €	1.409 €	57.224 €	1.409 €	57.224 €	0 €	16.174 €	0 €	-478 €
	2071	178,94 ct/kWh	991,08 ct/kWh	8,00 ct/kWh	192.566 €	68.076 €	97.125 €	5.434 €	59.135 €	3.308 €	1.508 €	61.229 €	1.508 €	61.229 €	0 €	17.306 €	0 €	-478 €
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	2072	191,47 ct/kWh	1.060,45 ct/kWh	8,00 ct/kWh	206.046 €	72.841 €	103.923 €	5.814 €	63.274 €	3.540 €	1.613 €	65.515 €	1.613 €	65.515 €	0 €	18.517 €	0 €	-478 €
	2073	204,87 ct/kWh	1.134,68 ct/kWh	8,00 ct/kWh	220.469 €	77.940 €	111.198 €	6.221 €	67.704 €	3.788 €	1.726 €	70.101 €	1.726 €	70.101 €	0 €	19.813 €	0 €	-478 €
	2074	219,21 ct/kWh	1.214,11 ct/kWh	8,00 ct/kWh	235.902 €	83.396 €	118.982 €	6.656 €	72.443 €	4.053 €	1.847 €	75.009 €	1.847 €	75.009 €	0 €	21.200 €	0 €	-478 €
					3.483.516 €	1.231.489 €	1.756.981 €	98.293 €	1.069.750 €	59.846 €	954.701 €	175.482 €	27.271 €	1.107.636 €	0 €	313.061 €	0 €	-23.920 €
Gesamtkosten auf 50 Jahre					8.810.981 €		6.253.847 €		5.690.614 €		5.876.200 €		6.015.926 €		5.874.840 €		5.587.859 €	

4. Wirtschaftlichkeit

4.3 Energiekosten bei 7 % Kostensteigerung:



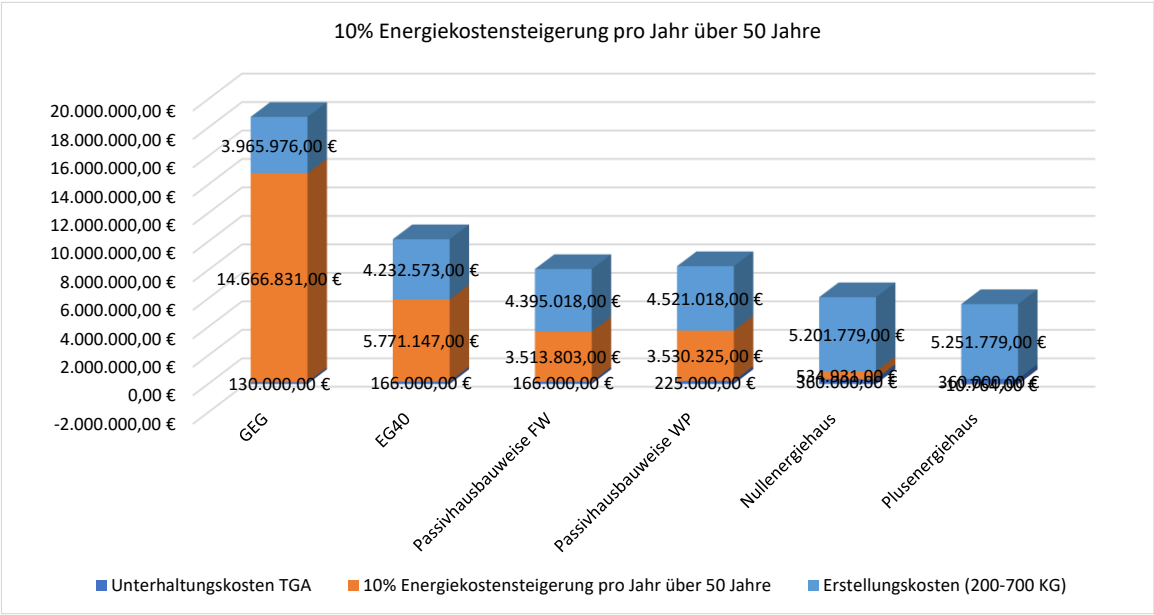
4. Wirtschaftlichkeit

4.3 Amortisationsrechnung, 10 % Energiekostensteigerung:

Varianten					Variante 0		Variante 1		Variante 2 A		Variante 2 A/B		Variante 2 B		Variante 3		Variante 4	
					Gebäude nach GEG mit Fernwärme		BEG 40 mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe	
Erstellungskosten (KG 200-700)					3.965.976 €		4.232.573 €		4.395.018 €		4.521.018 €		4.521.018 €		5.201.779 €		5.251.779 €	
Mehrkosten zu Variante 0							+266.597 €		+429.042 €		+555.042 €		+555.042 €		+1.235.803 €		+1.285.803 €	
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420)					130.000 €		166.000 €		166.000 €		225.000 €		360.000 €		360.000 €		360.000 €	
Wartung					100.000 €		100.000 €		100.000 €		125.000 €		200.000 €		200.000 €		200.000 €	
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €	
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €	
Energiekosten					95,72 kWh/m²		45,84 kWh/m²		27,91 kWh/m²		5,87 kWh/m²		5,87 kWh/m²		1,46 kWh/m²		-5,00 kWh/m²	
Jahresendenergiebedarf					114.481 kWh		54.825 kWh		33.380 kWh		7.021 kWh		7.021 kWh		1.746 kWh		-5.980 kWh	
1.196 m² BGF																		
jährliche					Fernwärme		Strom		Fernwärme		Strom		Fernwärme		Strom		Fernwärme	
Energiekostensteigerung					Preis		Preis		Preis		Preis		Preis		Preis		Preis	
10%					107.612 kWh		6.869 kWh		54.276 kWh		548 kWh		33.047 kWh		334 kWh		0 kWh	
2022					6,50 ct/kWh		36,00 ct/kWh		8,00 ct/kWh									
2023					7,15 ct/kWh		39,60 ct/kWh		8,00 ct/kWh									
2024					7,87 ct/kWh		43,56 ct/kWh		8,00 ct/kWh									
2025					8,65 ct/kWh		47,92 ct/kWh		8,00 ct/kWh		9.310 €		3.291 €		4.696 €		263 €	
2026					9,52 ct/kWh		52,71 ct/kWh		8,00 ct/kWh		10.241 €		3.620 €		5.165 €		289 €	
2027					10,47 ct/kWh		57,98 ct/kWh		8,00 ct/kWh		11.265 €		3.982 €		5.682 €		318 €	
...																		
2044					52,91 ct/kWh		293,05 ct/kWh		8,00 ct/kWh		56.940 €		20.129 €		28.719 €		1.607 €	
2045					58,20 ct/kWh		322,35 ct/kWh		8,00 ct/kWh		62.634 €		22.142 €		31.590 €		1.767 €	
2046					64,02 ct/kWh		354,59 ct/kWh		8,00 ct/kWh		68.897 €		24.356 €		34.750 €		1.944 €	
2047					70,43 ct/kWh		390,05 ct/kWh		8,00 ct/kWh		75.787 €		26.792 €		38.224 €		2.138 €	
...																		
2070					630,61 ct/kWh		3.492,62 ct/kWh		8,00 ct/kWh		678.616 €		239.903 €		342.273 €		19.148 €	
2071					693,67 ct/kWh		3.841,88 ct/kWh		8,00 ct/kWh		746.477 €		263.894 €		376.501 €		21.063 €	
...																		
2072					763,04 ct/kWh		4.226,07 ct/kWh		8,00 ct/kWh		821.125 €		290.283 €		414.151 €		23.169 €	
2073					839,34 ct/kWh		4.648,68 ct/kWh		8,00 ct/kWh		903.238 €		319.312 €		455.566 €		25.486 €	
2074					923,28 ct/kWh		5.113,55 ct/kWh		8,00 ct/kWh		993.561 €		351.243 €		501.123 €		28.035 €	
					10.836.075 €		3.830.756 €		5.465.391 €		305.756 €		3.327.641 €		186.162 €		3.149.321 €	
Gesamtkosten auf 50 Jahre					18.762.807 €		10.169.720 €		8.074.821 €		8.260.729 €		8.411.343 €		6.535.610 €		5.587.859 €	

4. Wirtschaftlichkeit

4.3 Energiekosten bei 10 % Kostensteigerung:



5. Bewertungsmatrix / Empfehlung

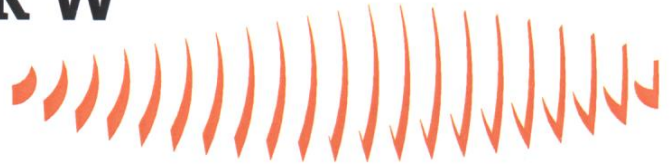
	GEG	EG 40	Passivhaus- bauweise FW (ohne Zert.)	Passivhaus- bauweise WP (ohne Zert.)	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
Wirtschaftlichkeit (4 %)	-1	+1	+1	±0	-1	-1
Energiebedarf	-2	±0	+1	+2	+2	+2
Investition	+2	+1	+1	±0	-2	-2
CO2 Emissionen	-2	±0	+1	+1	+2	+2
Raumluftqualität	-1	+1	+1	+1	+1	+1
Baupraxis	+1	±0	-1	-1	-1	-1
Nutzung erneuerbarer Energien	-2	±0	±0	+2	+2	+2
Zukunftsfähigkeit	-1	+1	+1	+2	+2	+2
Fazit	-6	4	5	7	5	5

5. Bewertungsmatrix / Empfehlung

Empfehlung:

- Umsetzung des Standards „Passivhausbauweise mit Wärmepumpe“
- Durch Einbindung Luft-Wasser-Wärmepumpe Ausnutzung PV-Strom und Nutzung erneuerbarer Energien
- Wärmepumpe lässt sich über begrenzten Zeitraum (z.B. 20 Jahre) betreiben und durch Fernwärme ablösen, sofern diese bis dahin mittels erneuerbarer Energien betrieben wird.
- Passivhausbauweise
 - Einsparung von Energiekosten über längeren Zeitraum
 - Konsequente Wärmebrückenfreiheit nach Passivhausrichtlinie wird nicht empfohlen
- Prüfung der zusätzlichen Versorgung des Bestandsgebäudes durch PV-Anlage

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



ISRW Dr.-Ing. Klapdor GmbH • Kulemannstieg 34 • 22457 Hamburg

Hamburg, 08.06.2022
 Unser Zeichen: L 915190
 Ansprechpartner: Herr Kruse, B. Eng.

Energetische Variantenbetrachtung

Objekt: **Neubau Westflügel Albert-Schweitzer-Schule Wedel**

Bauherr: **Stadt Wedel**

 Rathausplatz 3-5
 22880 Wedel

Architekt: **BKSA Hamburg GmbH**

 Jarrestraße 42a
 22303 Hamburg

Inhalt: **Energetische Variantenbetrachtung**

Institut für Schalltechnik, Raumakustik, Wärmeschutz

Dr.-Ing. Klapdor GmbH

Mitgliedschaften: DGNB, VBI

VMPA Schallschutzprüfstelle nach DIN 4109

VMPA-SPG-178-97 NRW

Bekannt gegebene Stelle nach § 29b BImSchG für den Standort Düsseldorf

40468 Düsseldorf · Kalkumer Straße 173
 Tel.: 0211 / 41 85 56-0 Fax: 0211 / 42 05 11

Niederlassungen:

10553 Berlin · Reuchlinstraße 10-11
 Tel.: 030 / 36 40 799-0 Fax: 030 / 36 40 799-19

33602 Bielefeld · Niederwall 10
 Tel.: 0521 / 96 87 64-82 Fax: 0521 / 98 62 88 86

44227 Dortmund · Baroper Straße 233
 Tel.: 0231 / 75 445-197

55124 Mainz · An der Ochsenwiese 3
 Tel.: 06131 / 62 72 46-0 Fax: 06131 / 62 72 464

22457 Hamburg · Kulemannstieg 34
 Tel.: 040 / 27 16 75 66

76137 Karlsruhe · Schützenstraße 12
 Tel.: 0721 / 93 51 41 30 Fax: 0721 / 93 51 41 32

50674 Köln · Brüsseler Platz 15
 Tel.: 0221 / 94 99 02-0 Fax: 0221 / 94 99 02 99

info@isrw-klapdor.de
www.isrw-klapdor.de

Geschäftsführer:

Dipl.-Ing. Michael Urta

Dipl.-Ing. Gernot Kubanek

Öffentlich bestellter und vereidigter

Sachverständiger von der IHK zu Düsseldorf für Bau- und Raumakustik

Sitz der Gesellschaft: Düsseldorf

Registergericht Düsseldorf, HRB 27839

Deutsche Bank PGK AG, Remscheid

IBAN: DE44 3407 0024 0506 4688 00

Postbank Essen

IBAN DE23 3601 0043 0448 8184 31

Inhaltsverzeichnis

1. Situation und Aufgabenstellung	3
2. Grundlagen	3
3. Varianten.....	4
3.1 GEG (Gebäudeenergiegesetz - Mindeststandard)	4
3.2 Effizienzgebäude 40	4
3.3 Passivhausbauweise FW / WP.....	5
3.4 Nullenergiehaus	5
3.5 Plusenergiehaus.....	6
3.5 Übersicht Gebäudehülle	6
4. Energiebedarf und -erzeugung	7
4.1 Gebäudespezifikation nach Varianten	7
4.2 Energiebedarf	9
4.3 Deckung durch erneuerbare Energien.....	10
4.4 Jahresheizwärmebedarf	11
4.5 Photovoltaik-Anlagen.....	12
4.6 CO ₂ -Emissionen	13
5. Wirtschaftlichkeit	14
5.1 Energiekosten	14
6. Bewertungsmatrix	16
7. Schlussbemerkung	18

Anlagen: Amortisationsrechnungen

1. Situation und Aufgabenstellung

Im Auftrag der Stadt Wedel plant das Architekturbüro BKSA Hamburg GmbH den Neubau des Westflügels der Albert-Schweizer-Schule in Wedel (ASS). Zur Entscheidungsfindung in der Planung sollen verschiedene energetische Varianten hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile verglichen werden. Ziel ist es, eine energetische Variante zu finden, die sowohl der Energieeinsparung, dem Klimaschutz sowie der Wirtschaftlichkeit zuträglich ist, und diese der weiteren Planung zugrunde zu legen.

2. Grundlagen

Als Planungsgrundlagen der Bearbeitung dienen:

- Grundrisse: Maßstab 1:250, Stand Januar 2022, „Variante 7e“
- Schnitte: Maßstab 1:100, Stand Januar 2022, „Variante 7e“
- Abstimmungsgespräche mit den Planungsbeteiligten

Verordnungstext

- Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energie zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG)

Normen und Regelwerke:

- DIN V 18599 Teil 1-11, Ausgabe 2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung
- DIN V 4108-6, Ausgabe 2003-06: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- DIN V 4108-6, Ausgabe 2004-03: Berichtigungen zu DIN V 4108-6:2003-06
- DIN 4108-7, Ausgabe 2011-01: Luftdichtheit von Gebäuden
- DIN EN ISO 6946, Ausgabe 2008-04: Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren

3. Varianten

Es werden die Varianten nach Vorgabe GEG, Effizienzgebäude 40, Passivhausbauweise FW, Passivhausbauweise WP, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus hier untersucht. Um eine Vergleichbarkeit der Variantenbetrachtungen zu gewährleisten, wurden alle Varianten mit der Software Solarcomputer Version 5.26.01 auf Grundlage der DIN 18599 berechnet. Die jeweils angedachte technische Gebäudeausrüstung (siehe Kapitel 4) wurde dabei berücksichtigt. Für die Berechnungen wurde ein 3D-Modell des Gebäudes auf Grundlage des Planstands vom 11.01.2022 erstellt. Nachfolgend werden die untersuchten Varianten konzeptionell vorgestellt:

Hinweis Passivhaus / Null-/Plusenergiehaus:

Eine Bilanzierung nach Passivhausrichtlinie ist auf Grundlage der DIN 18599 nicht möglich. Daher und zum Zwecke einer Vergleichbarkeit der Varianten sind die Berechnungen in Anlehnung an die Passivhausrichtlinie durchgeführt worden. D.h. die Gebäudehülle ist als „Passivhausbauweise“ gewählt worden. Für die Zertifizierung eines Passivhauses nach Passivhausrichtlinie gibt es vom Passivhausinstitut gesonderte Anforderungen an die Rechenrandbedingungen, mit denen ein Passivhaus zu bilanzieren ist. Dafür ist jedoch ein äußerst detaillierter Planstand notwendig, der zum jetzigen Zeitpunkt nicht ausreichend ist. Für die energetische Bilanzierung eines Null-/Plusenergiehauses ist ebenfalls eine abweichende Rechenmethodik anzuwenden. Zwecks Vergleichbarkeit ist auch hier die Bilanzierung nach DIN V 18599 durchgeführt worden. Ergänzend dazu lässt sich im weiteren Planungsverlauf ein „Plusenergiehausrechner“ vom BMWI nutzen.

3.1 GEG (Gebäudeenergiegesetz - Mindeststandard)

Gesetzlicher Mindeststandard (Gebäudeenergiegesetz) für einen Anbau als Nichtwohngebäude

Das GEG bezieht sich auf den Dämmstandard der Gebäudehülle sowie die Gebäudetechnik. Rechnerisch wird das geplante Gebäude mit einem sogenannten „Referenzgebäude“ verglichen, welches dieselbe Geometrie, Nutzfläche und Ausrichtung wie das geplante Gebäude hat. Die U-Werte der Außenbauteile des Referenzgebäudes entsprechen den Anforderungen des GEG, hier auf Grundlage eines Anbaus. In der hier betrachteten Variante sind die Bauteile als „verbesserter Mindeststandard“ anzusehen.

3.2 Effizienzgebäude 40

Effizienzgebäude 40-Standard gemäß Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude (BEG NWG)

Die Anforderungen an ein Effizienzgebäude 40 (EG 40) beziehen sich im Wesentlichen auf den Jahres- Primärenergiebedarf (Q_p) sowie auf die thermische Gebäudehülle. Der Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes ($Q_{p, ref}$) muss dabei um 60% unterschritten werden. Wesentlich dafür ist eine geeignete Anlagentechnik sowie die entsprechende Anpassung der Gebäudehülle.

Hinweis:

Derzeit ist eine Förderung im Rahmen der „Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)“ über die Kreditbank für Wiedervereinigung (KfW) nur noch für Effizienzgebäude 40 NH (Nachhaltigkeit) möglich.

3.3 Passivhausbauweise FW / WP

Passivhausbauweise in Anlehnung an die Anforderungen gemäß Passivhausrichtlinie

Passivhäuser sind auf einen definierten Heizwärmebedarf optimierte Gebäude. Ein Teil des Heizenergiebedarfs wird dabei u.a. durch solare Einträge über Fenster, Abwärme von Personen im Gebäude und technischer Ausstattung gedeckt. So kann auf eine konventionelle Heizung teilweise verzichtet werden, weil die Wärmeverluste durch eine optimierte Gebäudehülle (mit ausreichender Luftdichtheit $n_{50} \leq 0,60$ [1/h]) minimiert werden. Passivhäuser werden „passiv“ beheizt und gekühlt. Die hochgedämmte Gebäudehülle ist elementar für die Passivhausbauweise, um möglichst keine Wärmeverluste über die Gebäudehülle zu verzeichnen. Ergänzend wird eine weitestgehende Wärmebrückenfreiheit benötigt. Wärme bleibt durch die Dämmung im Gebäude und solare Wärmeeinträge über die Fenster heizen -auch im Winter- das Gebäude zu Teilen auf. Im Sommer bildet die Dämmung ebenso einen Schutz vor Hitze.

Um die thermische Behaglichkeit und die Luftqualität zu gewährleisten, ist eine Lüftungsanlage mit hohen Wärmerückgewinnungskennwerten notwendig. So lässt sich die zusätzlich erforderliche Heizenergie minimieren. Es werden zwei Varianten für die „Passivhausbauweise“ untersucht, die sich lediglich in der Wärmeerzeugung unterscheiden, d.h. Fernwärme und Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Die Rechenvariante wird in Anlehnung an die Passivhausrichtlinie untersucht, unterliegt hier jedoch den Randbedingungen der DIN V 18599 und bildet daher keine Passivhausrechnung ab.

3.4 Nullenergiehaus

Auf Energieeinsparung und Klimaschutz optimiertes Gebäude

Bei einem Nullenergiehaus soll der jährliche Energiebedarf der Haustechnik durch die eigene Erzeugung von Energie vollständig gedeckt werden. Durch den Einsatz von z.B. PV-Anlagen oder Geothermalkumpen wird Energie zur Deckung des Energiebedarfes des Gebäudes gewonnen. Auch wenn externe Energiequellen genutzt werden, muss das Gebäude in der Jahresbilanz dieselbe Energiemenge erzeugen, wie durch die verbaute Anlagentechnik wie Beleuchtung und Heizung des Gebäudes verbraucht wird. Um den Energiebedarf zum Heizen- und Kühlen des Gebäudes möglichst gering zu halten, wurde eine hochgedämmte Gebäudehülle nach Passivhausbauweise zugrunde gelegt.

3.5 Plusenergiehaus

Auf Energieeinsparung und Klimaschutz optimiertes Gebäude (mehr Energieerzeugung)

Das Plusenergiehaus produziert über das Jahr gesehen mehr Energie als benötigt wird. Auch in diesem Fall kann Energie aus externen Quellen bezogen werden, wenn in der Jahresbilanz mehr Energie bereitgestellt als verbraucht wird. Um den Energiebedarf zum Heizen- und Kühlen des Gebäudes möglichst gering zu halten wurde auch in dieser Variante eine hochgedämmte Gebäudehülle nach Passivhausbauweise zugrunde gelegt.

3.5 Übersicht Gebäudehülle

Nachfolgend (Abbildung 1) wird die rechnerisch zugrunde gelegte Gebäudehülle, nach Varianten, dargestellt:

	Außenwand	Flachdach	Decke n.u. gegen Außenluft	Bodenplatte	Fenster	Außentür	Wärmebrücken- zuschlag
GEG	ca. 12 cm WLS 035	ca. 12 cm WLS 035	ca. 12 cm WLS 035	ca. 8 cm WLS 040	2-fach Verglasung		$\Delta U = 0,05$ W/m ² K
U-Wert in [W/m ² *K]	0,28	0,28	0,28	0,56	1,50	1,60	
EG40	ca. 20 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 035	ca. 14 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Ar)		$\Delta U = 0,05$ W/m ² K
U-Wert in [W/m ² *K]	0,18	0,15	0,20	0,28	0,90	1,30	
Passivhausbauweise	ca. 24 cm WLS 035	ca. 36 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Kr)		$\Delta U = 0,01$ W/m ² K
U-Wert in [W/m ² *K]	0,15	0,10	0,10	0,20	0,80	1,00	
Nullenergiehaus	ca. 24 cm WLS 035	ca. 36 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Kr)		$\Delta U = 0,01..0,03$ W/m ² K
U-Wert in [W/m ² *K]	0,15	0,10	0,10	0,20	0,80	1,00	
Plusenergiehaus	ca. 24 cm WLS 035	ca. 36 cm WLS 035	ca. 24 cm WLS 035	ca. 20 cm WLS 040	3-fach Verglasung (Kr)		$\Delta U = 0,01..0,03$ W/m ² K
U-Wert in [W/m ² *K]	0,15	0,10	0,10	0,20	0,80	1,00	

Abbildung 1 Wärmedämmung und Außenbauteile

4. Energiebedarf und -erzeugung

4.1 Gebäudespezifikation nach Varianten

Nachfolgend wird die Anlagentechnik sowie der Dämmstandard der jeweiligen Varianten in Kürze beschrieben.

GEG:

- Dämmstandard GEG 2020 (Mindeststandard verbessert)
- Wärmeversorgung über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper
- Fensterlüftung und Abluftsystem für Sanitärbereiche

EG 40:

- Dämmstandard nach Effizienzgebäude 40
- Wärmeversorgung über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper, Ausnahme Flure mit Deckenstrahlssystem
- Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage auf Flachdach
- PV-Speicher

Passivhausbauweise FW:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel
- Plattenheizkörper, Ausnahme Flure mit Deckenstrahlssystem
- Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage auf Flachdach
- PV-Speicher

Passivhausbauweise WP:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Fernwärme zur Spitzenlastabdeckung
- Plattenheizkörper, Ausnahme Flure mit Deckenstrahlssystem
- Dezentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage auf Flachdach
- PV-Speicher

Nullenergiehaus:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Wärmepumpe Erdsonden (100 %)
- Deckenstrahlssystem
- Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage für Nullenergiehaus dimensioniert auf Flachdach
- PV-Speicher

Plusenergiehaus:

- Dämmstandard nach Passivhausrichtlinie
- Wärmeversorgung über Wärmepumpe Erdsonden (100 %)
- Deckenstrahlsystem
- Zentrale Lüftungsanlage Anlage mit Wärmerückgewinnung
- Photovoltaikanlage für Plusenergiehaus dimensioniert auf Flachdach + Fassade
- PV-Speicher

GEG	EG 40	Passivhaus- bauweise FW	Passivhaus- bauweise WP	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
GEG Standard	Effizienzhaus 40 Standard	Passivhaus Standard	Passivhaus Standard	Passivhaus Standard	Passivhaus Standard
Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Luft-Wasser- Wärmepumpe / Fernwärme	Wärmepumpe Erdsonden	Wärmepumpe Erdsonden
Fensterlüftung, Abluft im Sanitärbereich	Lüftungsanlage Dezentral mit WRG	Lüftungsanlage Dezentral mit WRG	Lüftungsanlage Dezentral mit WRG	Zentrale Lüftungsanlage mit WRG	Zentrale Lüftungsanlage mit WRG
Platten- heizkörper	Platten- heizkörper, Deckenstrahl- platten in Fluren	Platten- heizkörper, Deckenstrahl- platten in Fluren	Platten- heizkörper, Deckenstrahl- platten in Fluren	Deckenstrahl- platten	Deckenstrahl- platten
-	PV	PV	PV	PV	PV+

Abbildung 2 Übersicht der Varianten (TGA)**Hinweis Wärmepumpen:**

Bei Wärmepumpen ist nur ein geringer Anteil Strom für die Wärmebereitstellung nötig. Pro eingesetzter Kilowattstunde Strom erhält man ca. 3,5-4 Kilowattstunden Wärmeenergie. Oftmals lassen sich vergünstigte Stromtarife für den Betrieb von Wärmepumpen abschließen - vorausgesetzt die Wärmepumpe ist steuerbar und hat einen eigenen Stromzähler.

Zusätzlich zu den dargestellten Versorgungsstrukturen wurde für die Varianten EG 40, Passivhausbauweise, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus jeweils eine Luft-Wasser-Wärmepumpe als Wärmeversorger kostentechnisch geprüft und dargestellt (siehe Anhang). Diese ließe sich prinzipiell auch umsetzen.

Hinweis Fernwärmeanschluss:

Derzeit ist kein Fernwärmeanschluss für die Albert-Schweitzer-Schule gegeben. Eine entsprechende Umsetzung ist jedoch bereits vorgesehen. Die Nah- und Fernwärme der Stadt Wedel ist derzeit durch einen sehr guten Primärenergiefaktor $f_{p,FW} = 0,19$ und hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung (Anteil >81 %) gekennzeichnet. Sie wird zurzeit im Wesentlichen durch den Rohstoff Erdgas betrieben. Durch eine entsprechend andere Ausrichtung der Stadtwerke wäre zukünftig ggf. auch die Einbindung erneuerbarer Energien denkbar.

4.2 Energiebedarf

Im Folgenden wird der Endenergiebedarf des Gebäudes in den verschiedenen Varianten dargestellt und genauer erläutert. Der Endenergiebedarf berechnet sich aus dem Heizwärmebedarf des Gebäudes, geteilt durch die Effizienzkennwerte der Wärmeerzeuger (inklusive aller Verluste). Die Effizienzkennwerte liegen bei Nah- und Fernwärme mit Kraft- Wärmekopplung bei 80-90%, während Wärmepumpen häufig bei deutlich über 300% liegen.

Die Berechnungen sind auf Grundlage eines 3D Gebäudemodells entstanden. Die Gebäudehülle wurde entsprechend der U- Werte der Varianten (Abbildung 1) in die Berechnung einbezogen. Um eine Vergleichbarkeit der Varianten zu gewährleisten, wurde die Gebäudebilanzierung für alle Varianten mit der Software Solarcomputer in der Version 5.26.01 auf Grundlage der DIN V 18599 durchgeführt.

In der Folgenden Abbildung (Abbildung 3) ist der Endenergiebedarf der Varianten -unterschieden in Strom und Heizung- dargestellt. Der Ertrag der PV-Anlagen ist bereits vom Strombedarf abgezogen. In den Varianten EG40, Passivhausbauweise, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus ist, bis auf den Dezember, der Bedarf durch die geplanten PV-Anlagen gedeckt. Aufgrund der hochgedämmten Gebäudehülle in den Varianten Passivhausbauweise, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus ist der Endenergiebedarf für das Heizen (Nah- und Fernwärme bzw. Strom für die Wärmepumpe) deutlich geringer, verglichen mit der Variante GEG.

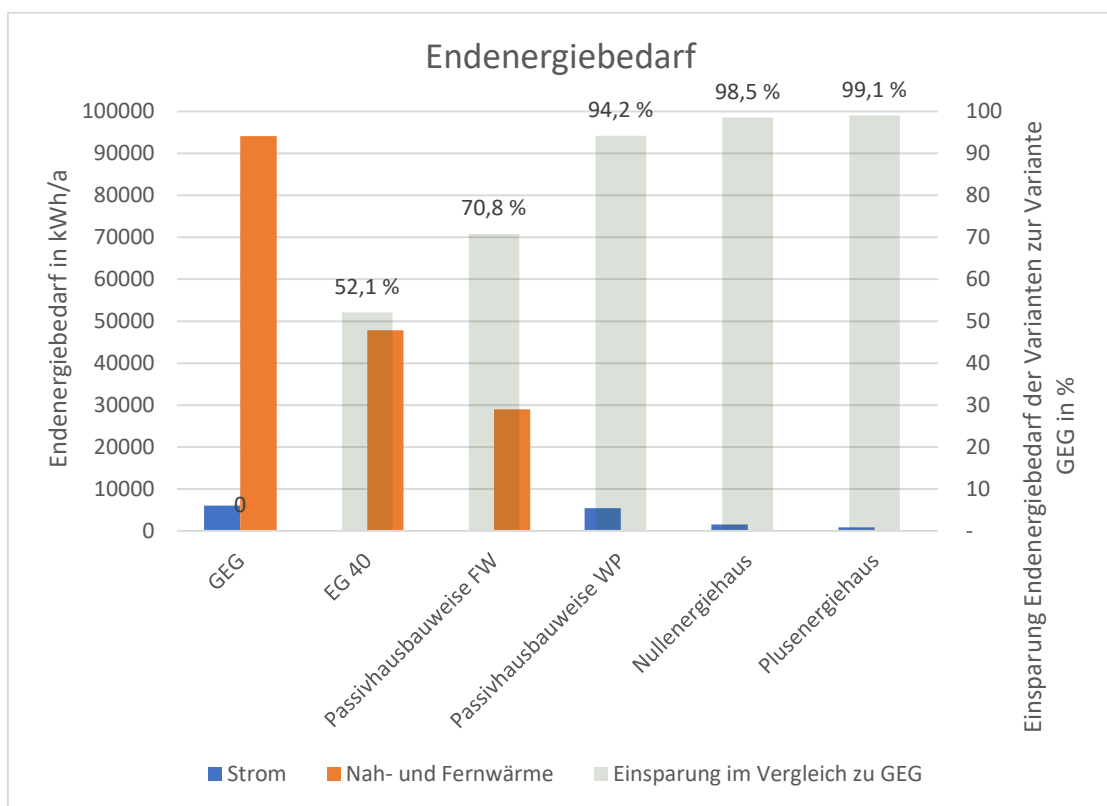


Abbildung 3 Endenergiebedarf im Variantenvergleich mit Darstellung der Einsparung im Variantenvergleich

In der folgenden Abbildung (Abbildung 4) ist der Endenergiebedarf nach Verbrauchern dargestellt. Die Erträge der PV-Anlage sind bereits vom Bedarf abgezogen. Die Darstellung zeigt also ausschließlich den Bedarf, der von externen Energie- bzw. Stromquellen gedeckt werden muss.

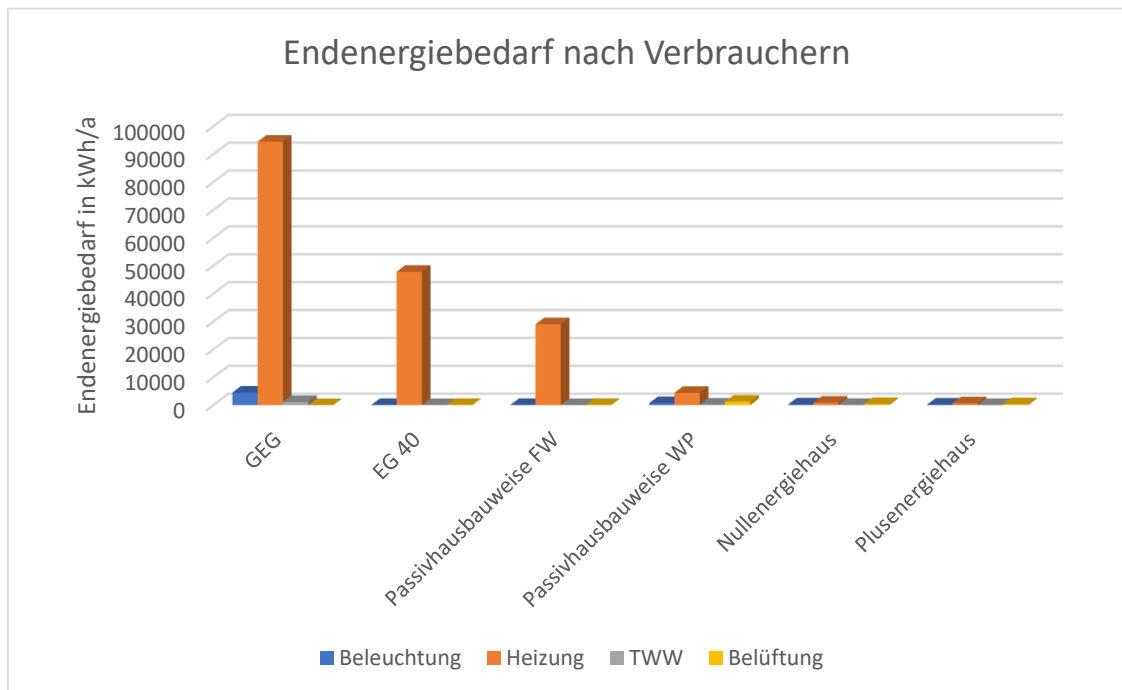


Abbildung 4 Endenergiebedarf nach Verbrauchern

4.3 Deckung durch erneuerbare Energien

Die Nutzung erneuerbarer Energien ist mit Blick auf die steigenden Energiepreise sowie den Klimaschutz sinnvoll und wichtig. Nachfolgend wird der Deckungsanteil des Energiebedarfes aus erneuerbaren Energien prozentual für die Varianten aufgeführt:

GEG:	0%
EG40:	2%
Passivhausbauweise FW:	4%
Passivhausbauweise WP:	97%
Nullenergiehaus:	97%
Plusenergiehaus:	97%

4.4 Jahresheizwärmebedarf

Nachfolgend wird der Jahresheizwärmebedarf bzw. die Nutzenergie Heizung in kWh/a dargestellt. Es zeigt sich eine deutliche Abnahme der Nutzenergie von GEG-Standard zu EG 40 und noch einmal zur Passivhausbauweise. Für das Nullenergiehaus und Plusenergiehaus wird wiederum eine Steigerung im Vergleich zum Passivhaus erreicht. Dies begründet sich durch das andere Heizungssystem (z.B. Wärmeerzeuger und Übergabe).

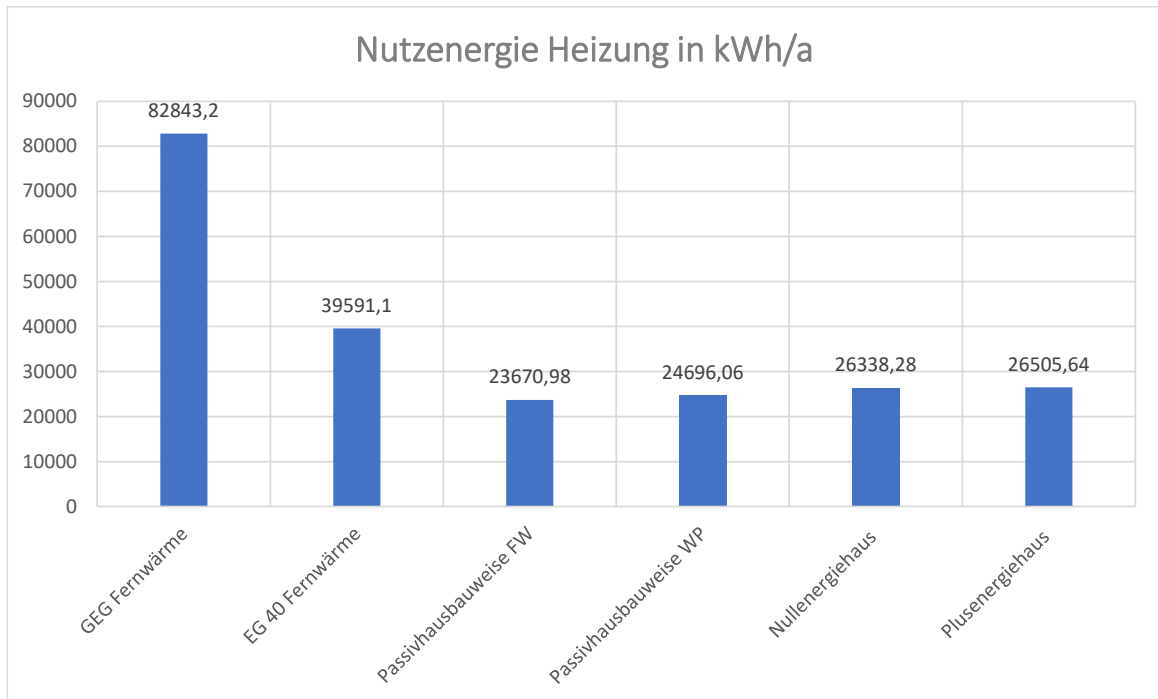


Abbildung 5 Jahresheizwärmebedarf, auf Grundlage DIN V 18599

4.5 Photovoltaik-Anlagen

Geplant sind PV-Anlagen zur Stromerzeugung in den Varianten EG40, Passivhausbauweise, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus. In der folgenden Übersicht ist die derzeit zugrunde gelegte Dimensionierung der jeweiligen Anlage dargestellt:

	GEG	EG 40	Passivhaus- bauweise FW	Passivhaus- bauweise WP	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
m ²	X	420 m ²	420 m ²	420 m ²	500m ²	500m ²
Speicher	X	25 kWh	28kWh	28kWh	35kWh	40kWh
Zelltyp	X	Polykristallines Silizium	Polykristallines Silizium	Polykristallines Silizium	Monokristallines Silizium	Monokristallines Silizium

In der folgenden Abbildung (Abbildung 6) ist die erzeugte Strommenge in kWh/a, verglichen mit dem anrechenbaren Strombedarf nach §23 GEG, dargestellt. Es wird in allen Varianten mit geplanter PV-Anlage mehr Strom erzeugt, als nach §23 GEG anrechenbar ist. Für die Albert-Schweizer-Schule ist ein Strom-Überschuss insbesondere in den Sommermonaten vorhanden. Mit Hilfe der geplanten Speicher lassen sich kurzzeitige Knappheiten der solaren Einträge überbrücken bzw. der Tagesüberschuss lässt sich beispielsweise in den Abend- und Nachtstunden nutzen. Eine Einspeisung ins Netz ist ebenfalls eine Option.

Auch ist prinzipiell eine Nutzung der überschüssigen Strommenge im Bestandsgebäude der Schule möglich. So können dort -insbesondere im Hinblick auf die steigenden Strom- und Energiekosten- Kosten gespart werden. Rechnerisch wurde diese Option nicht berücksichtigt.

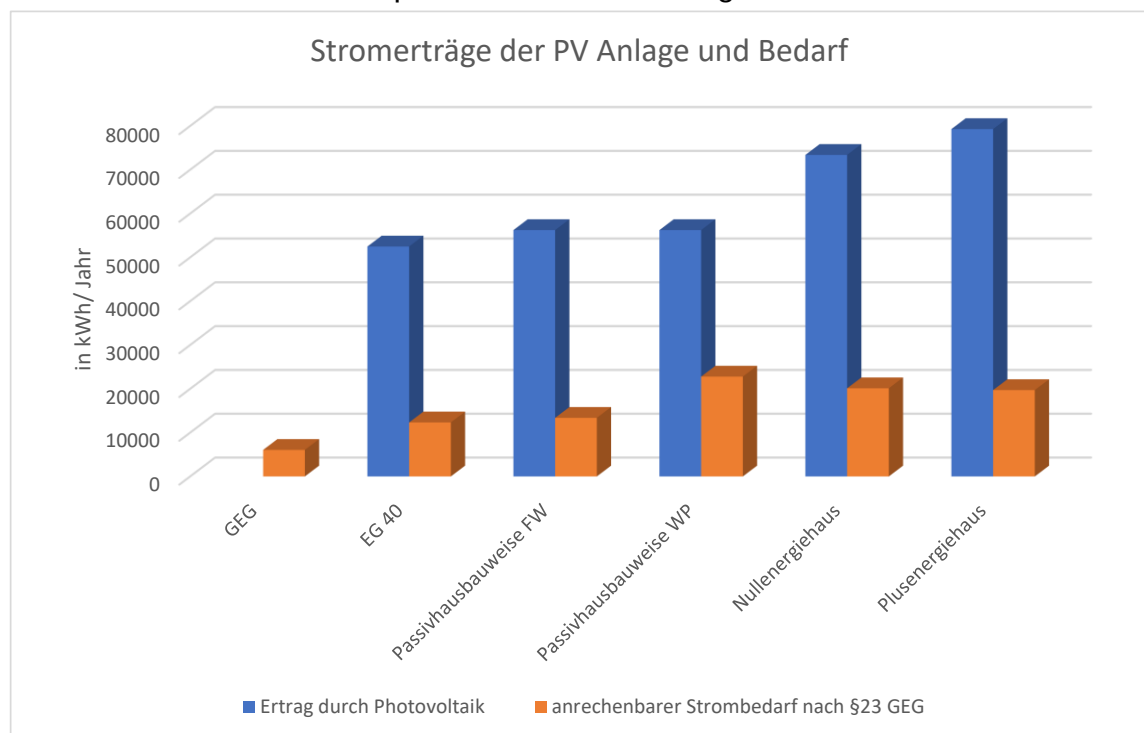


Abbildung 6 Stromertrag der PV Anlage verglichen mit Strombedarf in Variantenvergleich

4.6 CO₂-Emissionen

Für den Klimaschutz ist es unerlässlich, CO₂ einzusparen. Auch im Hinblick auf das Ziel der BRD, im Jahr 2045 klimaneutral zu sein, ist es wichtig, schon jetzt entsprechende Maßnahmen zur Einsparung zu ergreifen. Durch die Planung der PV-Anlage wird ein Großteil des Strombedarfs durch die Erträge der PV-Anlage gedeckt. Da die Stromproduktion durch die PV-Anlage kein CO₂ emittiert, ist die CO₂-Menge in den Varianten EG40 und Passivhausbauweise deutlich geringer. In den Varianten Nullenergiehaus und Plusenergiehaus werden durch den Wärmepumpeneinsatz nochmals geringere Werte erreicht. In der folgenden Abbildung (Abbildung 7) sind die CO₂-Emissionen in Tonnen pro Jahr für die Varianten dargestellt.

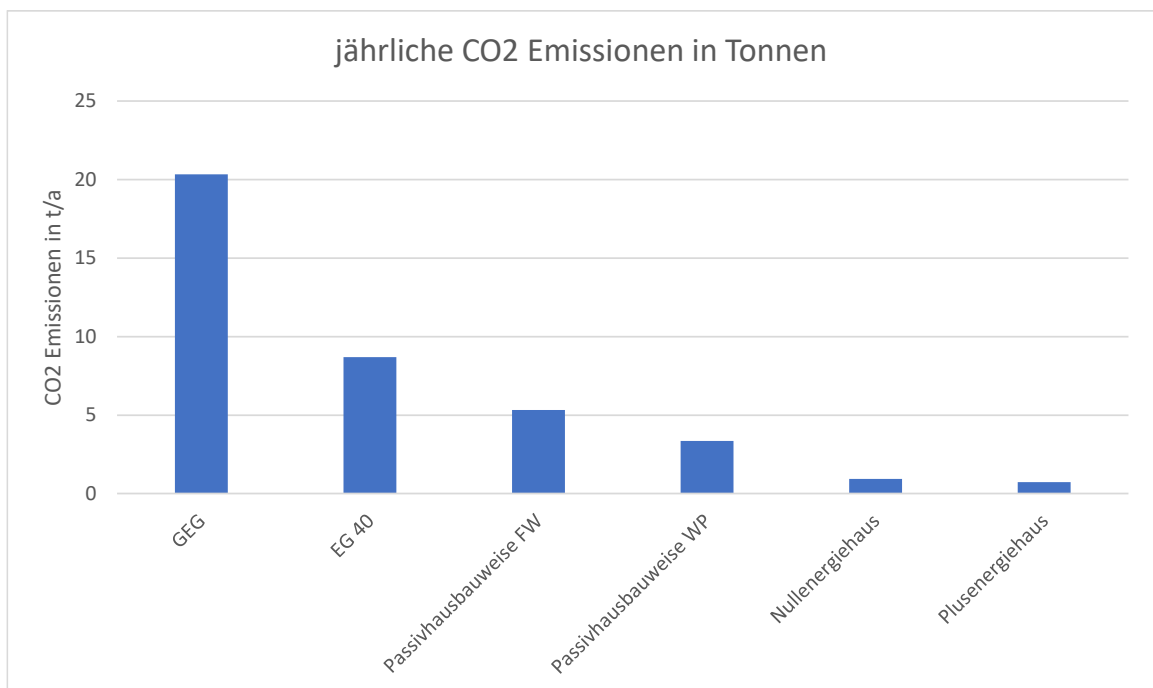


Abbildung 7 CO₂ Emissionen in t/a

5. Wirtschaftlichkeit

Im Anhang ist eine Amortisationsberechnung gegeben, nach der sich grob ermittelte, vorläufige Gesamtkosten ergeben.

Nach aktuellem Stand ergibt sich für die untersuchten Varianten keine Förderungsmöglichkeit der KfW-Bank bzw. nach den Bedingungen des BEG (Bundesförderung für effiziente Gebäude). Daher wurde eine entsprechende Förderung in der Kostenaufstellung nicht berücksichtigt.

Hinweis:

Insbesondere in Bezug auf die Varianten Passivhausbauweise FW, Passivhausbauweise WP, Nullenergiehaus, Plusenergiehaus ist bedarfsweise eine tiefergehende Untersuchung durchzuführen. Die hier ermittelten Angaben und Werte unterliegen bestimmten Unsicherheiten aufgrund der Rechensystematik und sind daher lediglich als richtungsweisende Hilfsmittel zu verstehen.

5.1 Energiekosten

Für die Energiekosten wurden Annahmen zu den Energiepreisen getroffen.

Strom: 0,36€/kWh

Nah- und Fernwärme: 0,065 €/kWh

Die jährlichen Kosten von Nah- und Fernwärme sowie Strom wurden mit dem Endenergiebedarf errechnet und auf eine Nutzungszeit von 50 Jahren bezogen. Es wurde in einem exemplarischen Szenario von einer jährlichen Kostensteigerung von 2%, 4 %, 7 % und 10 % ausgegangen. Eine Vergütung für die Einspeisung von Strom aus der PV- Anlage wurde berücksichtigt.

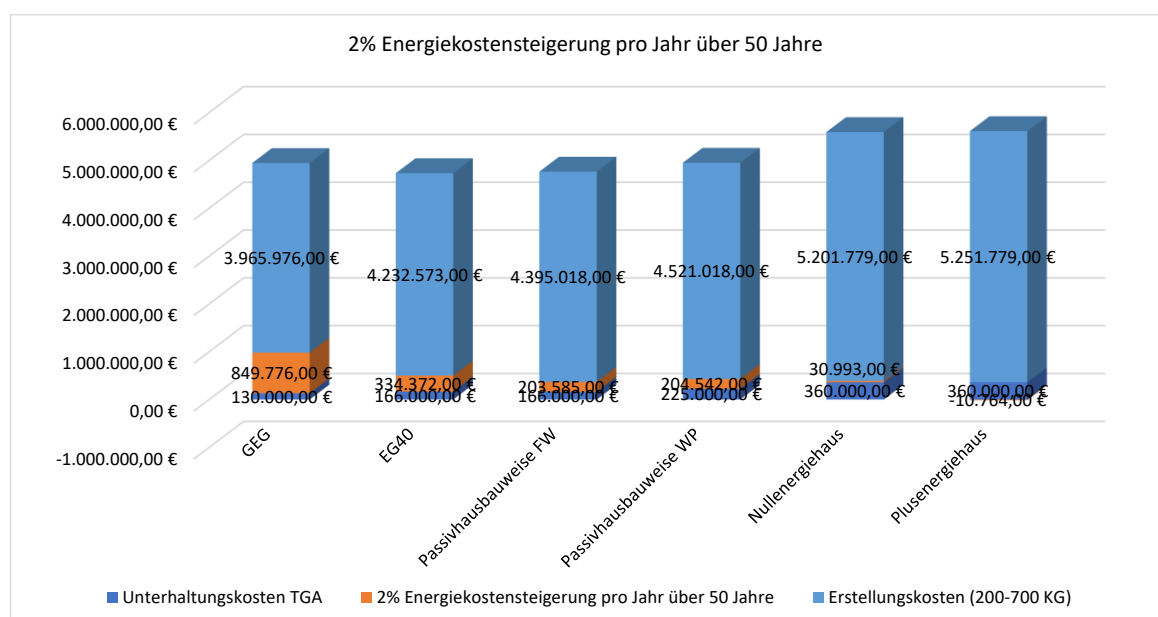


Abbildung 8 Energiekostensteigerung um 2% pro Jahr für 50 Jahre

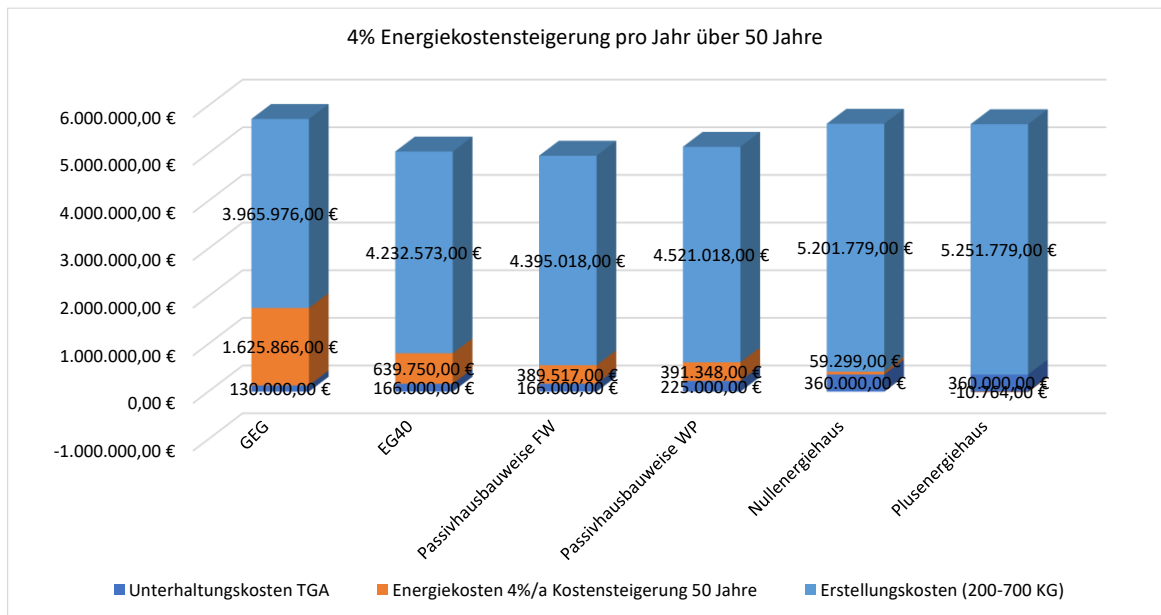


Abbildung 9 Energiekostensteigerung um 4% pro Jahr für 50 Jahre

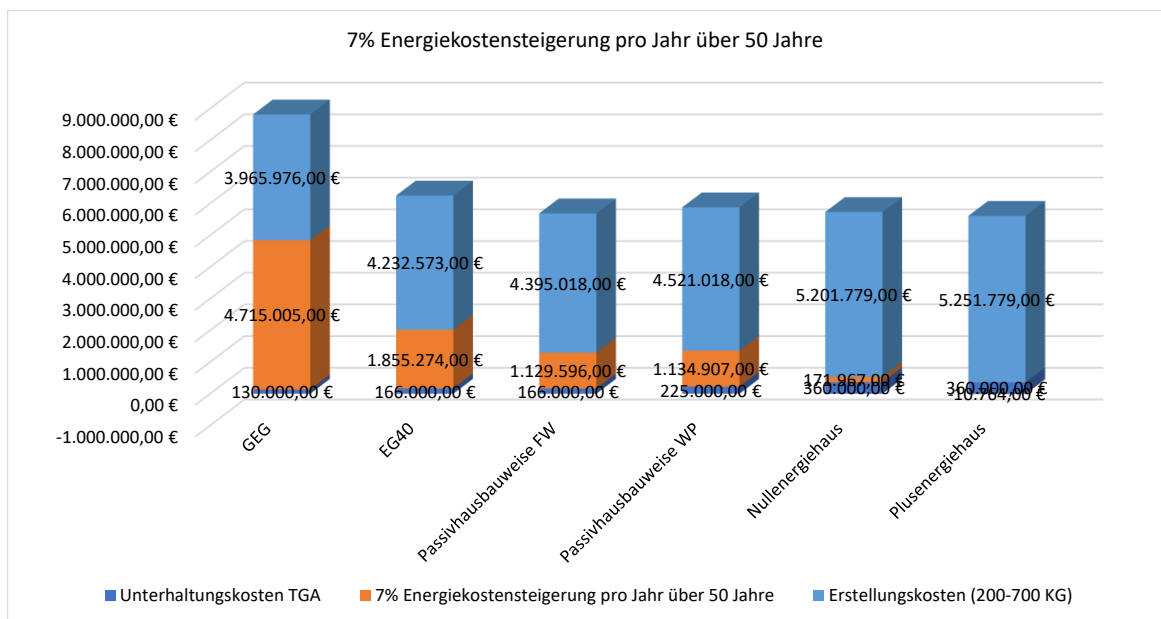


Abbildung 10 Energiekostensteigerung um 7% pro Jahr für 50 Jahre

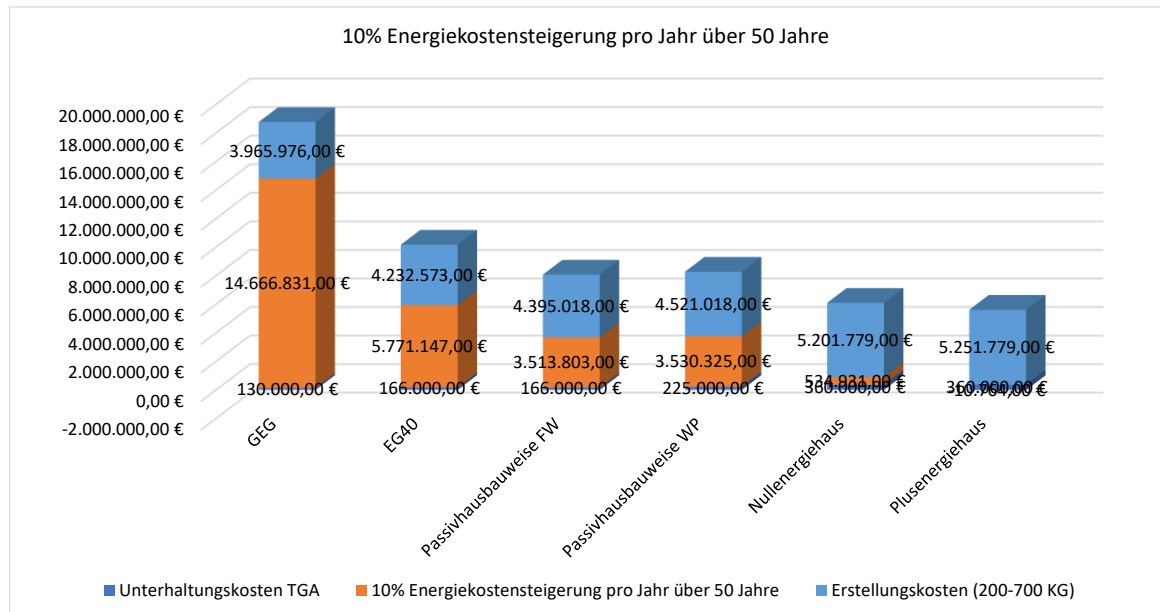


Abbildung 11 Energiekostensteigerung um 10% pro Jahr für 50 Jahre

6. Bewertungsmatrix

Nachfolgend soll mittels einer Bewertungsmatrix eine gesamtheitliche Bewertung der unterschiedlichen Varianten vorgenommen werden. Dabei sind die Einstufungen als ungefähre Angaben zu verstehen, die lediglich eine Richtung aufweisen.

	GEG	EG 40	Passivhaus- bauweise FW (ohne Zert.)	Passivhaus- bauweise WP (ohne Zert.)	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
Wirtschaftlichkeit (4 %)	-1	+1	+1	±0	-1	-1
Energiebedarf	-2	±0	+1	+2	+2	+2
Investition	+2	+1	+1	±0	-2	-2
CO2 Emissionen	-2	±0	+1	+1	+2	+2
Raumluftqualität	-1	+1	+1	+1	+1	+1
Baupraxis	+1	±0	-1	-1	-1	-1
Nutzung erneuerbarer Energien	-2	±0	±0	+2	+2	+2
Zukunftsfähigkeit	-1	+1	+1	+2	+2	+2
Fazit	-6	4	5	7	5	5

Abbildung 10 Bewertungsmatrix

Es zeigt sich bei einer gesamtheitlichen Betrachtung, hier anhand der Bewertungsmatrix, dass die Variante Passivhausbauweise WP die meisten Vorteile mit sich bringt.

Die GEG-Variante stellt sich im Ergebnis am schlechtesten dar, wobei sie aber zunächst auch die geringsten Investitionskosten mit sich bringt.

Die EG-40-Variante stellt i.A. einen modernen Baustandard dar, der in der Umsetzung noch bauüblich ist. Aktuell ist für diese Variante keine Förderung der KfW-Bank möglich, was eine entsprechende Umsetzung derzeit unattraktiver macht, als bisher. Nur in Verbindung mit einer Nachhaltigkeitsklasse ist eine Förderungsmöglichkeit seitens KfW-Bank gegeben.

Die Variante der Passivhausbauweise ist insgesamt baulich sehr hochwertig und bewirkt über die sehr gute Gebäudehülle langfristig eine hohe Energieeinsparung. Sie weicht jedoch auch von der üblichen Baupraxis ab, insbesondere bei Inanspruchnahme einer entsprechenden Zertifizierung sind sehr hohe Anforderungen zu erfüllen. Ohne Inanspruchnahme einer Zertifizierung ist eine entsprechende Bindung an die Wärmebrückenausführung nicht gegeben, was sich vorteilhaft darstellen kann.

Es ist im Ergebnis zu unterscheiden zwischen den Varianten mit Fernwärme und Luft-Wasser-Wärmepumpe als Wärmeversorgung. Durch den Einsatz der Wärmepumpe lässt sich die PV-Anlage optimal ausnutzen, in dem Sinne, dass der erzeugte Strom als Energieträger für die Wärmepumpe dient und so indirekt das Gebäude heizt.

Das Null- und Plusenergiehaus beinhalten ebenfalls einen Dämmstandard nach Passivhausbauweise und damit einen erhöhten baulichen Aufwand. In der Praxis ergibt sich hier der Vorteil, dass Wärmebrücken wie o.g. nicht so konsequent vermieden werden müssen wie bei einem zertifizierten Passivhaus. Durch den Einsatz einer Wärmepumpe lässt sich die PV-Anlage optimal ausnutzen, in dem Sinne, dass der erzeugte Strom als Energieträger für die Wärmepumpe dient und so indirekt das Gebäude heizt.

Empfehlung:

Unter Beachtung der technischen und energetischen Zielsetzungen wird empfohlen, für das Bauvorhaben die Qualität einer „Passivhausbauweise mit Wärmepumpe“ anzustreben.

In der angehängten Amortisationsrechnung ist die genannte Variante nochmals in „A/B“ und „B“ geteilt. Dabei ist in der Version A/B eine Ablösung der Wärmepumpe nach 20 Jahren vorgesehen, so dass dann die Fernwärme als einzige Wärmeversorgung zum Tragen käme. Der Hintergrund dabei ist die Erwartung, dass die Fernwärme bis dahin ebenso über erneuerbare Energien betrieben werden wird. Die Version B beschreibt die Weiternutzung einer Luft-Wasser-Wärmepumpe.

Die Umsetzung eines Passivhauses mit entsprechender Zertifizierung erfolgt unter generell anderen Rechenrandbedingungen, bringt sehr hohe Anforderungen mit sich, die nur begrenzte energetische Verbesserungen für das reale Gebäude mit sich bringen. Daher wird eine konsequente Passivhaus-Umsetzung nicht empfohlen.

Zusätzlich sollten die möglichen PV-Flächen auch hinsichtlich der Versorgung des Bestandsgebäudes geprüft werden.

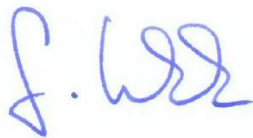
7. Schlussbemerkung

In der vorliegenden Bearbeitung wurden energetische Gebäudevarianten für den vorgesehenen Anbau der Albert-Schweitzer-Schule in Wedel untersucht. Dies soll einer Entscheidungsfindung für einen Gebäudestandard sowie als Grundlage für die weitere Planung dienen.

Die Varianten wurden hinsichtlich mehrerer Parameter bewertet, so dass sich schließlich die Zielrichtung einer Passivhausbauweise mit Wärmepumpe empfehlen lässt.

Die im Rahmen der weiteren Planung durchzuführende Bearbeitung kann i.A. zu einer Abweichung der bisher angesetzten Bemessungsgrößen führen.

Mit freundlichen Grüßen



(Dipl.-Ing. Gernot Kubanek)



i. A. (B. Eng. Christian Kruse)

21004 - Ersatzneubau Westflügel der Albert-Schweizer-Schule, Wedel

Übersicht der energetischen Varianten - Investitions- & Verbrauchswerte
Amortisations-Berechnung auf 50 Jahre, 2% jährliche Energiekostensteigerung



BKSA Stand 07.06.2022

Varianten					Variante 0		Variante 1		Variante 2 A		Variante 2 A/B		Variante 2 B		Variante 3		Variante 4		
					Gebäude nach GEG mit Fernwärme		BEG 40 mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		
									(ohne Zertifizierung)		(ohne Zertifizierung)		(ohne Zertifizierung)						
Erstellungskosten (KG 200-700)					3.965.976 €		4.232.573 €		4.395.018 €		4.521.018 €		4.521.018 €		5.201.779 €		5.251.779 €		
Mehrkosten zu Variante 0							+266.597 €		+429.042 €		+555.042 €		+555.042 €		+1.235.803 €		+1.285.803 €		
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420)					130.000 €		166.000 €		166.000 €		225.000 €		360.000 €		360.000 €		360.000 €		
Wartung					100.000 €		100.000 €		100.000 €		125.000 €		200.000 €		200.000 €		200.000 €		
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €		
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		
Energiekosten					95,72 kWh/m²		45,84 kWh/m²		27,91 kWh/m²		5,87 kWh/m²		5,87 kWh/m²		1,46 kWh/m²		-5,00 kWh/m²		
1.196 m² BGF					114.481 kWh		54.825 kWh		33.380 kWh		7.021 kWh		7.021 kWh		1.746 kWh		-5.980 kWh		
jährliche		Jahr	Fernwärme	Strom	Einspeisung	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Einspeisung
Energiekostensteigerung			Preis	Preis	Preis	89,98 kWh/m²	5,74 kWh/m²	45,38 kWh/m²	0,46 kWh/m²	27,63 kWh/m²	0,28 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,00 kWh/m²	1,46 kWh/m²	0,00 kWh/m²	-5,00 kWh/m²
2%						107.612 kWh	6.869 kWh	54.276 kWh	548 kWh	33.047 kWh	334 kWh	842 kWh	6.178 kWh	842 kWh	6.178 kWh	0 kWh	1.746 kWh	0 kWh	-5.980 kWh
		2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2023	6,63 ct/kWh	36,72 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2024	6,76 ct/kWh	37,45 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2025	6,90 ct/kWh	38,20 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.423 €	2.624 €	3.744 €	209 €	2.280 €	128 €	58 €	2.360 €	58 €	2.360 €	0 €	667 €	0 €	-478 €
		2026	7,04 ct/kWh	38,97 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.571 €	2.677 €	3.819 €	214 €	2.325 €	130 €	59 €	2.407 €	59 €	2.407 €	0 €	680 €	0 €	-478 €
		2027	7,18 ct/kWh	39,75 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.723 €	2.730 €	3.895 €	218 €	2.372 €	133 €	60 €	2.456 €	60 €	2.456 €	0 €	694 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2044	10,05 ct/kWh	55,66 ct/kWh	8,00 ct/kWh	10.814 €	3.823 €	5.454 €	305 €	3.321 €	186 €	85 €	3.438 €	85 €	3.438 €	0 €	972 €	0 €	-478 €
		2045	10,25 ct/kWh	56,77 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.030 €	3.899 €	5.563 €	311 €	3.387 €	189 €	86 €	3.507 €	86 €	3.507 €	0 €	991 €	0 €	-478 €
		2046	10,45 ct/kWh	57,90 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.251 €	3.977 €	5.675 €	317 €	3.455 €	193 €	88 €	3.577 €	88 €	3.577 €	0 €	1.011 €	0 €	-478 €
		2047	10,66 ct/kWh	59,06 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.476 €	4.057 €	5.788 €	324 €	3.524 €	197 €	90 €	3.649 €	90 €	3.649 €	0 €	1.031 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2070	16,82 ct/kWh	93,13 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.096 €	6.397 €	9.127 €	511 €	5.557 €	311 €	142 €	5.754 €	142 €	5.754 €	0 €	1.626 €	0 €	-478 €
		2071	17,15 ct/kWh	95,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.458 €	6.525 €	9.310 €	521 €	5.668 €	317 €	145 €	5.869 €	145 €	5.869 €	0 €	1.659 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2072	17,50 ct/kWh	96,90 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.827 €	6.656 €	9.496 €	531 €	5.782 €	323 €	147 €	5.986 €	147 €	5.986 €	0 €	1.692 €	0 €	-478 €
		2073	17,85 ct/kWh	98,84 ct/kWh	8,00 ct/kWh	19.204 €	6.789 €	9.686 €	542 €	5.897 €	330 €	150 €	6.106 €	150 €	6.106 €	0 €	1.726 €	0 €	-478 €
		2074	18,20 ct/kWh	100,81 ct/kWh	8,00 ct/kWh	19.588 €	6.925 €	9.879 €	553 €	6.015 €	337 €	153 €	6.228 €	153 €	6.228 €	0 €	1.760 €	0 €	-478 €
						627.827 €	221.949 €	316.657 €	17.715 €	192.799 €	10.786 €	135.524 €	68.353 €	4.915 €	199.627 €	0 €	56.422 €	0 €	-23.920 €
Gesamtkosten auf 50 Jahre					4.945.752 €		4.732.945 €		4.764.603 €		4.949.895 €		5.085.560 €		5.618.201 €		5.587.859 €		

3

1

2

4

5

7

6

21004 - Ersatzneubau Westflügel der Albert-Schweizer-Schule, Wedel

Übersicht der energetischen Varianten - Investitions- & Verbrauchswerte
Amortisations-Berechnung auf 50 Jahre, 4% jährliche Energiekostensteigerung



BKSA Stand 07.06.2022

Varianten					Variante 0		Variante 1		Variante 2 A		Variante 2 A/B		Variante 2 B		Variante 3		Variante 4			
					Gebäude nach GEG mit Fernwärme		BEG 40 mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe			
Erstellungskosten (KG 200-700)					3.965.976 €		4.232.573 €		4.395.018 €		4.521.018 €		4.521.018 €		5.201.779 €		5.251.779 €			
Mehrkosten zu Variante 0							+266.597 €		+429.042 €		+555.042 €		+555.042 €		+1.235.803 €		+1.285.803 €			
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420)					130.000 €		166.000 €		166.000 €		225.000 €		360.000 €		360.000 €		360.000 €			
Wartung					100.000 €		100.000 €		100.000 €		125.000 €		200.000 €		200.000 €		200.000 €			
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €			
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €			
Energiekosten					95,72 kWh/m²		45,84 kWh/m²		27,91 kWh/m²		5,87 kWh/m²		5,87 kWh/m²		1,46 kWh/m²		-5,00 kWh/m²			
1.196 m² BGF					114.481 kWh		54.825 kWh		33.380 kWh		7.021 kWh		7.021 kWh		1.746 kWh		-5.980 kWh			
jährliche		Jahr	Fernwärme	Strom	Einspeisung	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Einspeisung	
Energiekostensteigerung			Preis	Preis	Preis	89,98 kWh/m²	5,74 kWh/m²	45,38 kWh/m²	0,46 kWh/m²	27,63 kWh/m²	0,28 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,00 kWh/m²	1,46 kWh/m²	0,00 kWh/m²	-5,00 kWh/m²	
4%						107.612 kWh	6.869 kWh	54.276 kWh	548 kWh	33.047 kWh	334 kWh	842 kWh	6.178 kWh	842 kWh	6.178 kWh	0 kWh	1.746 kWh	0 kWh	-5.980 kWh	
		2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh															
		2023	6,76 ct/kWh	37,44 ct/kWh	8,00 ct/kWh															
		2024	7,03 ct/kWh	38,94 ct/kWh	8,00 ct/kWh															
		2025	7,31 ct/kWh	40,50 ct/kWh	8,00 ct/kWh	7.868 €	2.782 €	3.968 €	222 €	2.416 €	135 €	62 €	2.502 €	62 €	2.502 €	0 €	707 €	0 €	-478 €	
		2026	7,60 ct/kWh	42,11 ct/kWh	8,00 ct/kWh	8.183 €	2.893 €	4.127 €	231 €	2.513 €	141 €	64 €	2.602 €	64 €	2.602 €	0 €	735 €	0 €	-478 €	
		2027	7,91 ct/kWh	43,80 ct/kWh	8,00 ct/kWh	8.510 €	3.009 €	4.292 €	240 €	2.613 €	146 €	67 €	2.706 €	67 €	2.706 €	0 €	765 €	0 €	-478 €	
		...	...	...	...															
		2044	15,40 ct/kWh	85,32 ct/kWh	8,00 ct/kWh	16.577 €	5.860 €	8.361 €	468 €	5.091 €	285 €	130 €	5.271 €	130 €	5.271 €	0 €	1.490 €	0 €	-478 €	
		2045	16,02 ct/kWh	88,73 ct/kWh	8,00 ct/kWh	17.240 €	6.095 €	8.695 €	486 €	5.294 €	296 €	135 €	5.482 €	135 €	5.482 €	0 €	1.549 €	0 €	-478 €	
		2046	16,66 ct/kWh	92,28 ct/kWh	8,00 ct/kWh	17.930 €	6.339 €	9.043 €	506 €	5.506 €	308 €	140 €	5.701 €	140 €	5.701 €	0 €	1.611 €	0 €	-478 €	
		2047	17,33 ct/kWh	95,97 ct/kWh	8,00 ct/kWh	18.647 €	6.592 €	9.405 €	526 €	5.726 €	320 €	146 €	5.929 €	146 €	5.929 €	0 €	1.676 €	0 €	-478 €	
		...	...	...	...															
		2070	42,71 ct/kWh	236,54 ct/kWh	8,00 ct/kWh	45.960 €	16.248 €	23.181 €	1.297 €	14.114 €	790 €	14.114 €	790 €	360 €	14.614 €	0 €	4.130 €	0 €	-478 €	
		2071	44,42 ct/kWh	246,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh	47.798 €	16.897 €	24.108 €	1.349 €	14.678 €	821 €	14.678 €	821 €	374 €	15.198 €	0 €	4.296 €	0 €	-478 €	
		...	...	...	...															
		2072	46,19 ct/kWh	255,84 ct/kWh	8,00 ct/kWh	49.710 €	17.573 €	25.072 €	1.403 €	15.265 €	854 €	15.265 €	854 €	389 €	15.806 €	0 €	4.467 €	0 €	-478 €	
		2073	48,04 ct/kWh	266,07 ct/kWh	8,00 ct/kWh	51.698 €	18.276 €	26.075 €	1.459 €	15.876 €	888 €	15.876 €	888 €	405 €	16.438 €	0 €	4.646 €	0 €	-478 €	
		2074	49,96 ct/kWh	276,72 ct/kWh	8,00 ct/kWh	53.766 €	19.007 €	27.118 €	1.517 €	16.511 €	924 €	16.511 €	924 €	421 €	17.096 €	0 €	4.832 €	0 €	-478 €	
						1.201.214 €	424.652 €	605.856 €	33.894 €	368.880 €	20.637 €	293.604 €	96.296 €	9.404 €	381.944 €	0 €	107.952 €	0 €	-23.920 €	
Gesamtkosten auf 50 Jahre					5.721.842 €		5.038.324 €		4.950.535 €		5.135.918 €		5.272.366 €		5.669.731 €		5.587.859 €			

7

2

1

3

4

6

5

21004 - Ersatzneubau Westflügel der Albert-Schweizer-Schule, Wedel

Übersicht der energetischen Varianten - Investitions- & Verbrauchswerte
Amortisations-Berechnung auf 50 Jahre, 7% jährliche Energiekostensteigerung



Varianten					Variante 0		Variante 1		Variante 2 A		Variante 2 A/B		Variante 2 B		Variante 3		Variante 4		
					Gebäude nach GEG mit Fernwärme		BEG 40 mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		
Erstellungskosten (KG 200-700)					3.965.976 €		4.232.573 €		4.395.018 €		4.521.018 €		4.521.018 €		5.201.779 €		5.251.779 €		
Mehrkosten zu Variante 0							+266.597 €		+429.042 €		+555.042 €		+555.042 €		+1.235.803 €		+1.285.803 €		
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420)					130.000 €		166.000 €		166.000 €		225.000 €		360.000 €		360.000 €		360.000 €		
Wartung					100.000 €		100.000 €		100.000 €		125.000 €		200.000 €		200.000 €		200.000 €		
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €		
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		
Energiekosten					95,72 kWh/m²		45,84 kWh/m²		27,91 kWh/m²		5,87 kWh/m²		5,87 kWh/m²		1,46 kWh/m²		-5,00 kWh/m²		
1.196 m² BGF					114.481 kWh		54.825 kWh		33.380 kWh		7.021 kWh		7.021 kWh		1.746 kWh		-5.980 kWh		
jährliche		Jahr	Fernwärme	Strom	Einspeisung	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Einspeisung
Energiekostensteigerung			Preis	Preis	Preis	89,98 kWh/m²	5,74 kWh/m²	45,38 kWh/m²	0,46 kWh/m²	27,63 kWh/m²	0,28 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,00 kWh/m²	1,46 kWh/m²	0,00 kWh/m²	-5,00 kWh/m²
7%						107.612 kWh	6.869 kWh	54.276 kWh	548 kWh	33.047 kWh	334 kWh	842 kWh	6.178 kWh	842 kWh	6.178 kWh	0 kWh	1.746 kWh	0 kWh	-5.980 kWh
		2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2023	6,96 ct/kWh	38,52 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2024	7,44 ct/kWh	41,22 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2025	7,96 ct/kWh	44,10 ct/kWh	8,00 ct/kWh	8.569 €	3.029 €	4.322 €	242 €	2.631 €	147 €	67 €	2.725 €	67 €	2.725 €	0 €	770 €	0 €	-478 €
		2026	8,52 ct/kWh	47,19 ct/kWh	8,00 ct/kWh	9.169 €	3.241 €	4.624 €	259 €	2.816 €	158 €	72 €	2.915 €	72 €	2.915 €	0 €	824 €	0 €	-478 €
		2027	9,12 ct/kWh	50,49 ct/kWh	8,00 ct/kWh	9.811 €	3.468 €	4.948 €	277 €	3.013 €	169 €	77 €	3.119 €	77 €	3.119 €	0 €	882 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2044	28,80 ct/kWh	159,49 ct/kWh	8,00 ct/kWh	30.990 €	10.955 €	15.630 €	874 €	9.517 €	532 €	243 €	9.854 €	243 €	9.854 €	0 €	2.785 €	0 €	-478 €
		2045	30,81 ct/kWh	170,66 ct/kWh	8,00 ct/kWh	33.159 €	11.722 €	16.724 €	936 €	10.183 €	570 €	260 €	10.543 €	260 €	10.543 €	0 €	2.980 €	0 €	-478 €
		2046	32,97 ct/kWh	182,61 ct/kWh	8,00 ct/kWh	35.480 €	12.543 €	17.895 €	1.001 €	10.896 €	610 €	10.896 €	610 €	278 €	11.281 €	0 €	3.189 €	0 €	-478 €
		2047	35,28 ct/kWh	195,39 ct/kWh	8,00 ct/kWh	37.964 €	13.421 €	19.148 €	1.071 €	11.658 €	652 €	11.658 €	652 €	297 €	12.071 €	0 €	3.412 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2070	167,24 ct/kWh	926,24 ct/kWh	8,00 ct/kWh	179.968 €	63.622 €	90.771 €	5.078 €	55.266 €	3.092 €	55.266 €	3.092 €	1.409 €	57.224 €	0 €	16.174 €	0 €	-478 €
		2071	178,94 ct/kWh	991,08 ct/kWh	8,00 ct/kWh	192.566 €	68.076 €	97.125 €	5.434 €	59.135 €	3.308 €	59.135 €	3.308 €	1.508 €	61.229 €	0 €	17.306 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2072	191,47 ct/kWh	1.060,45 ct/kWh	8,00 ct/kWh	206.046 €	72.841 €	103.923 €	5.814 €	63.274 €	3.540 €	63.274 €	3.540 €	1.613 €	65.515 €	0 €	18.517 €	0 €	-478 €
		2073	204,87 ct/kWh	1.134,68 ct/kWh	8,00 ct/kWh	220.469 €	77.940 €	111.198 €	6.221 €	67.704 €	3.788 €	67.704 €	3.788 €	1.726 €	70.101 €	0 €	19.813 €	0 €	-478 €
		2074	219,21 ct/kWh	1.214,11 ct/kWh	8,00 ct/kWh	235.902 €	83.396 €	118.982 €	6.656 €	72.443 €	4.053 €	72.443 €	4.053 €	1.847 €	75.009 €	0 €	21.200 €	0 €	-478 €
						3.483.516 €	1.231.489 €	1.756.981 €	98.293 €	1.069.750 €	59.846 €	954.701 €	175.482 €	27.271 €	1.107.636 €	0 €	313.061 €	0 €	-23.920 €
Gesamtkosten auf 50 Jahre					8.810.981 €		6.253.847 €		5.690.614 €		5.876.200 €		6.015.926 €		5.874.840 €		5.587.859 €		

7

6

2

4

5

3

1

21004 - Ersatzneubau Westflügel der Albert-Schweizer-Schule, Wedel

Übersicht der energetischen Varianten - Investitions- & Verbrauchswerte
Amortisations-Berechnung auf 50 Jahre, 10% jährliche Energiekostensteigerung



BKSA Stand 07.06.2022

Varianten					Variante 0		Variante 1		Variante 2 A		Variante 2 A/B		Variante 2 B		Variante 3		Variante 4		
					Gebäude nach GEG mit Fernwärme		BEG 40 mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Fernwärme		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe 20 Jahre als Brückentechnologie ab 2046 mit "grüner" Fernwärme (ohne Zertifizierung)		Passivhausbauweise mit Luft-Wasser-Wärmepumpe (ohne Zertifizierung)		Nullenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		Plusenergiehaus mit Erd-Wasser-Wärmepumpe		
					3.965.976 €		4.232.573 €		4.395.018 €		4.521.018 €		4.521.018 €		5.201.779 €		5.251.779 €		
Erstellungskosten (KG 200-700)																			
Mehrkosten zu Variante 0							+266.597 €		+429.042 €		+555.042 €		+555.042 €		+1.235.803 €		+1.285.803 €		
Unterhaltskosten auf 50 Jahre (TGA, KG 420)					130.000 €		166.000 €		166.000 €		225.000 €		360.000 €		360.000 €		360.000 €		
Wartung					100.000 €		100.000 €		100.000 €		125.000 €		200.000 €		200.000 €		200.000 €		
Reparatur & Erneuerung Zentrale					20.000 €		56.000 €		56.000 €		90.000 €		150.000 €		150.000 €		150.000 €		
Reparatur PV					10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		10.000 €		
Energiekosten					95,72 kWh/m²		45,84 kWh/m²		27,91 kWh/m²		5,87 kWh/m²		5,87 kWh/m²		1,46 kWh/m²		-5,00 kWh/m²		
1.196 m² BGF					114.481 kWh		54.825 kWh		33.380 kWh		7.021 kWh		7.021 kWh		1.746 kWh		-5.980 kWh		
jährliche		Jahr	Fernwärme	Strom	Einspeisung	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Strom	Fernwärme	Einspeisung
Energiekostensteigerung			Preis	Preis	Preis	89,98 kWh/m²	5,74 kWh/m²	45,38 kWh/m²	0,46 kWh/m²	27,63 kWh/m²	0,28 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,70 kWh/m²	5,17 kWh/m²	0,00 kWh/m²	1,46 kWh/m²	0,00 kWh/m²	-5,00 kWh/m²
10%						107.612 kWh	6.869 kWh	54.276 kWh	548 kWh	33.047 kWh	334 kWh	842 kWh	6.178 kWh	842 kWh	6.178 kWh	0 kWh	1.746 kWh	0 kWh	-5.980 kWh
		2022	6,50 ct/kWh	36,00 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2023	7,15 ct/kWh	39,60 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2024	7,87 ct/kWh	43,56 ct/kWh	8,00 ct/kWh														
		2025	8,65 ct/kWh	47,92 ct/kWh	8,00 ct/kWh	9.310 €	3.291 €	4.696 €	263 €	2.859 €	160 €	73 €	2.960 €	73 €	2.960 €	0 €	837 €	0 €	-478 €
		2026	9,52 ct/kWh	52,71 ct/kWh	8,00 ct/kWh	10.241 €	3.620 €	5.165 €	289 €	3.145 €	176 €	80 €	3.256 €	80 €	3.256 €	0 €	920 €	0 €	-478 €
		2027	10,47 ct/kWh	57,98 ct/kWh	8,00 ct/kWh	11.265 €	3.982 €	5.682 €	318 €	3.459 €	194 €	88 €	3.582 €	88 €	3.582 €	0 €	1.012 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2044	52,91 ct/kWh	293,05 ct/kWh	8,00 ct/kWh	56.940 €	20.129 €	28.719 €	1.607 €	17.486 €	978 €	446 €	18.105 €	446 €	18.105 €	0 €	5.117 €	0 €	-478 €
		2045	58,20 ct/kWh	322,35 ct/kWh	8,00 ct/kWh	62.634 €	22.142 €	31.590 €	1.767 €	19.234 €	1.076 €	490 €	19.915 €	490 €	19.915 €	0 €	5.629 €	0 €	-478 €
		2046	64,02 ct/kWh	354,59 ct/kWh	8,00 ct/kWh	68.897 €	24.356 €	34.750 €	1.944 €	21.157 €	1.184 €	21.157 €	1.184 €	539 €	21.907 €	0 €	6.192 €	0 €	-478 €
		2047	70,43 ct/kWh	390,05 ct/kWh	8,00 ct/kWh	75.787 €	26.792 €	38.224 €	2.138 €	23.273 €	1.302 €	23.273 €	1.302 €	593 €	24.097 €	0 €	6.811 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2070	630,61 ct/kWh	3.492,62 ct/kWh	8,00 ct/kWh	678.616 €	239.903 €	342.273 €	19.148 €	208.396 €	11.658 €	208.396 €	11.658 €	5.313 €	215.776 €	0 €	60.987 €	0 €	-478 €
		2071	693,67 ct/kWh	3.841,88 ct/kWh	8,00 ct/kWh	746.477 €	263.894 €	376.501 €	21.063 €	229.235 €	12.824 €	229.235 €	12.824 €	5.844 €	237.354 €	0 €	67.085 €	0 €	-478 €
		...	...	...	...														
		2072	763,04 ct/kWh	4.226,07 ct/kWh	8,00 ct/kWh	821.125 €	290.283 €	414.151 €	23.169 €	252.159 €	14.107 €	252.159 €	14.107 €	6.428 €	261.089 €	0 €	73.794 €	0 €	-478 €
		2073	839,34 ct/kWh	4.648,68 ct/kWh	8,00 ct/kWh	903.238 €	319.312 €	455.566 €	25.486 €	277.374 €	15.517 €	277.374 €	15.517 €	7.071 €	287.198 €	0 €	81.173 €	0 €	-478 €
		2074	923,28 ct/kWh	5.113,55 ct/kWh	8,00 ct/kWh	993.561 €	351.243 €	501.123 €	28.035 €	305.112 €	17.069 €	305.112 €	17.069 €	7.778 €	315.918 €	0 €	89.291 €	0 €	-478 €
						10.836.075 €	3.830.756 €	5.465.391 €	305.756 €	3.327.641 €	186.162 €	3.149.321 €	365.390 €	84.832 €	3.445.493 €	0 €	973.831 €	0 €	-23.920 €
Gesamtkosten auf 50 Jahre					18.762.807 €		10.169.720 €		8.074.821 €		8.260.729 €		8.411.343 €		6.535.610 €		5.587.859 €		

7

6

3

4

5

2

1

TOP 5.1: Antworten Fragen Bündnis 90 / Die Grünen - Energievarianten Neubau Westflügel Albert-Schweitzer-Schule:

FRAGE a)

Die Energiepreise haben sich laut Stadtwerke Wedel schon jetzt verzehnfacht, d.h. die Annahmen in der Präsentation (+2/+4 Prozent) sind nicht realistisch, da sogar von noch weiteren Preissteigerungen auszugehen ist:

Wie lautet die Amortisierungsrechnung bei einer Energiekostensteigerung von 10 bzw. von 30 Prozent?

ANTWORT a)

Eine Größenordnung 2-4 % jährlicher Energiekostensteigerung über 50 Jahre wird als realistisch eingeschätzt. Eine 10 %ige Kostensteigerung (50 Jahre lang, jedes Jahr) wird als deutlich zu hoch eingeschätzt. Eine Gewissheit gibt es nicht.

Hier zur Verdeutlichung die prozentuale Steigerung in 50 Jahren bei einer Steigerung von 2%, 4%, 7% und 10% für die Fernwärme. Der Strombedarf für das Gebäude wird aus erneuerbaren Energien über die Photovoltaik-Anlage geliefert.

Preis Wärme:

2% pro Jahr:	2022: 6,5 ct/kWh -> 2072: 17,5 ct/kWh	(169% in 50 Jahren)
4% pro Jahr:	2022: 6,5 ct/kWh -> 2072: 46,2 ct/kWh	(611% in 50 Jahren)
7% pro Jahr:	2022: 6,5 ct/kWh -> 2072: 191,5 ct/kWh	(2846% in 50 Jahren)
10% pro Jahr:	2022: 6,5 ct/kWh -> 2072: 763,0 ct/kWh	(11638% in 50 Jahren)

FRAGE b)

Die Wärmeversorgung des Effizienzgebäude 40 und des Passivhauses soll über Fernwärmenetz der Stadtwerke Wedel, aktuell fossiles Gas, realisiert werden: Wann wäre mit einer Umstellung auf Fernwärme aus erneuerbaren Energien realistisch zu rechnen?

ANTWORT b)

Derzeit ist kein Fernwärmeanschluss für die Albert-Schweitzer-Schule gegeben. Eine entsprechende Umsetzung ist vorgesehen. Die Nah- und Fernwärme der Stadt Wedel ist derzeit durch einen sehr guten Primärenergiefaktor $f_{p,FW} = 0,19$ und hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung (Anteil >81 %) gekennzeichnet. Sie wird zurzeit im Wesentlichen durch den Rohstoff Erdgas betrieben. Durch eine entsprechend andere Ausrichtung der Stadtwerke wäre zukünftig ggf. auch die Einbindung erneuerbarer Energien denkbar.

FRAGE c)

Was kostet die Installation

I) einer Wärmeversorgung über Wärmepumpe Erdsonden (100 %)?

II) einer Wärmeversorgung mit Luft-Wasser-Wärmepumpe?

III) Vor- und Nachteile dieser Varianten der Wärmeversorgung im Vergleich?

ANTWORT c)

Zu I) Die Installation einer Luft-Wasser-Wärmepumpe kostet ca. 126.000€/brutto.

Zu II) Die Installation einer Erd-Wasser-Wärmepumpe kostet ca. 306.000€/brutto.

Zu III) Der Nachteil der Geothermie, bzw. der Erdwärmesonden ist die notwendige Regeneration des Grundwassers. Das Grundwasser muss wieder auf seine Ursprungstemperatur zurückgeführt werden. Das führt dazu, dass nur Heizflächen, die auch kältegeführt arbeiten können, z.B. Deckenstrahl- Heiz-Kühlplatten zum Einsatz kommen können die mit einer niedrigen Vorlauftemperatur betrieben werden müssen. Einfache mechanisch, für die Nutzer*innen, regelbare Heizkörper können nicht zum Einsatz kommen. Hinzu kommen noch die erheblichen Investitionskosten für die Tiefbohrungen bis zu 100m Tiefe.

Eine wirtschaftliche einfache und funktionelle Wärmepumpenkonzeption ist die Luft-Wasser-Wärmepumpe, die Ihre Energie aus der Außenluft bezieht und somit keine Regeneration benötigt. Diese Variante wird als „Passivhausbauweise mit Wärmepumpe“ in einer aktualisierten Version der Präsentation zur Betrachtung der Energievarianten dar- und zur Verfügung gestellt.

FRAGE d)

Erklären Sie bitte die Empfehlungs-Matrix (Folie 19) bei dem Punkt CO₂-Einsparung genauer und nennen Sie bitte die exakten Werte für die jährlichen CO₂-Emissionen der Varianten in Folie 13!

Warum erhalten das Nullenergiehaus und das Plusenergiehaus nicht jeweils 2 Punkte bei den CO₂-Emissionen (jährliche CO₂-Emissionen Passivhaus ca. 5,5t, Nullenergiehaus ca. 1t; Plusenergiehaus ca. 0,5t)?

Genau dieser Punkt der CO₂-Einsparung besitzt große Relevanz für den Klimaschutz und entspräche auch der Verpflichtung des Ratsbeschlusses zum Klimanotstand für Wedel klimaschädliche Emissionen zu minimieren?

ANTWORT d)

Die Einstufung in der (sehr groben) Matrix wird für die CO₂-Einsparung als angemessen angesehen

CO ₂ Bilanz in	GEG	EG 40	Passivhausbauweise	Nullenergiehaus	Plusenergiehaus
kg/m ² *a	19,43	8,31	5,09	0,82	0,46
m ²	1046	1046	1046	1046	1046
CO ₂ in kg/a	20323,78	8692,26	5324,14	857,72	481,16
CO ₂ in t/a	20,32378	8,69226	5,32414	0,85772	0,48116

Die Matrix ist der Versuch einen Vergleich auf mehreren Ebenen herzustellen und einen komplexen Sachverhalt zu vereinfachen. Ungenauigkeiten im Detail sind dem Prinzip geschuldet.

FRAGE e)

In Folie 10 stellen Sie die Deckung der Varianten durch erneuerbare Energien dar. Die Energieversorgung des EG 40 Hauses erfolgt durch 2 Prozent erneuerbare Energien, des Passivhauses durch 4 Prozent - also keine relevante Abdeckung mit erneuerbaren Energien -, das Null- und Plusenergiehaus besitzen eine im Prinzip autarke Energieversorgung mit 97 Prozent. Warum geben Sie dem EG 40 Haus sowie dem Passivhaus für 2 bzw. 4 Prozent erneuerbare Energien (!) eine ± 0 Punkt bei der Bewertungs-Matrix, müsste es bei dieser geringen Abdeckung nicht -1 lauten?

ANTWORT e)

EG 40 und Passivhaus besitzen jeweils eine große Photovoltaik-Anlage, welche mit erneuerbaren Energien arbeitet. Daher erscheint die Punktevergabe hier angemessen. Die Photovoltaikanlage kann nur nicht in der Bilanzierungsrechnung zur Wärmeerzeugung angerechnet werden, woraus sich die geringen Prozentangaben ergeben. Die Deckung durch erneuerbare Energien verbessert sich durch den Einsatz einer Luft-Wasser-Wärmepumpe erheblich. Die CO₂-Emissionen werden verbessert. Aus diesem Grund wird der Einsatz einer Wärmepumpe empfohlen (zumindest bis zum Zeitpunkt bis die Stadtwerke z.B. Erdwärme aus regenerativen Energien anbieten können).

In den Varianten EG40, Passivhausbauweise, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus ist, bis auf die Wintermonate, der Strombedarf durch die geplanten PV-Anlagen gedeckt.

Aufgrund der hochgedämmten Gebäudehülle in den Varianten Passivhausbauweise, Nullenergiehaus und Plusenergiehaus ist der Endenergiebedarf für das Heizen (Nah- und Fernwärme bzw. Strom für die Wärmepumpe) deutlich geringer, verglichen mit der Variante GEG.

FRAGE f)

Erklären Sie den Punkt „Zukunftsfähigkeit“ in der Bewertungsmatrix (Folie 19) bitte inhaltlich genauer:

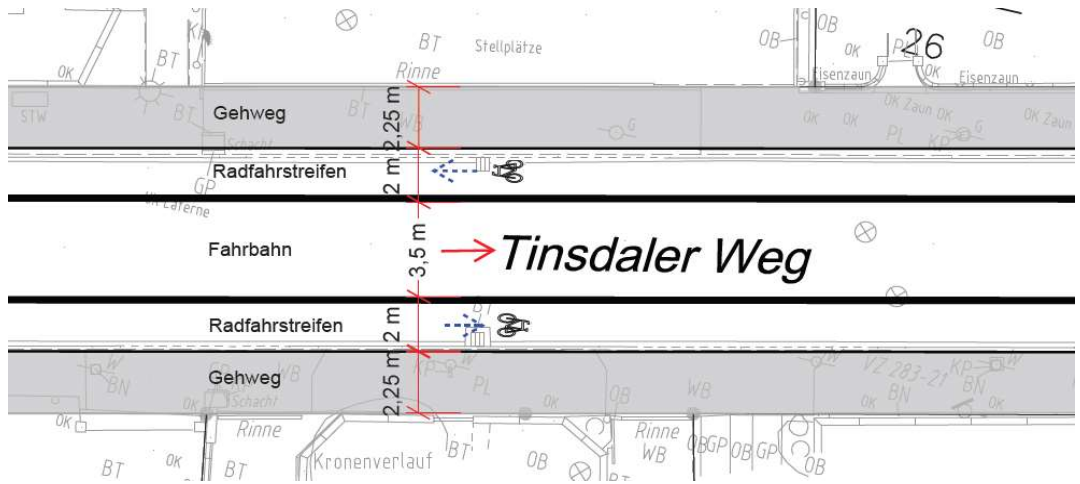
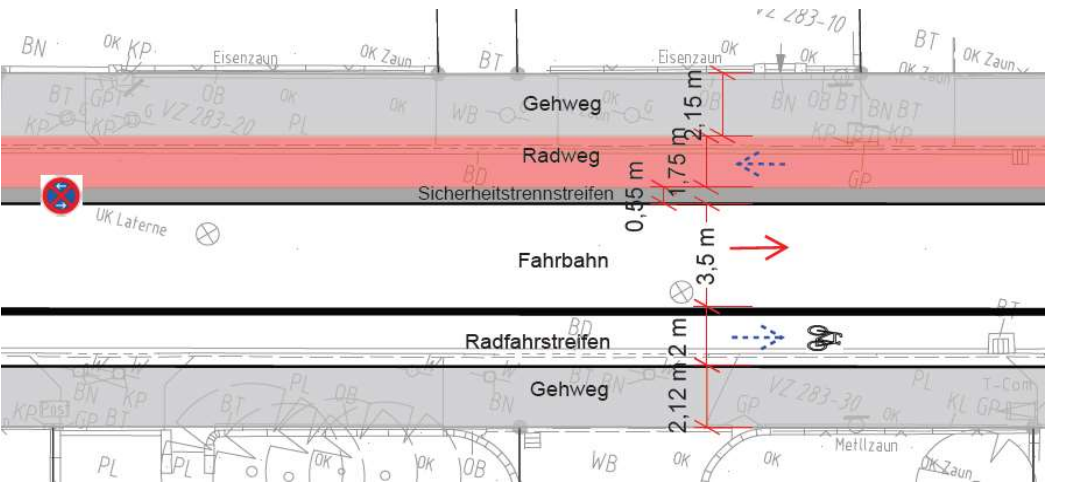
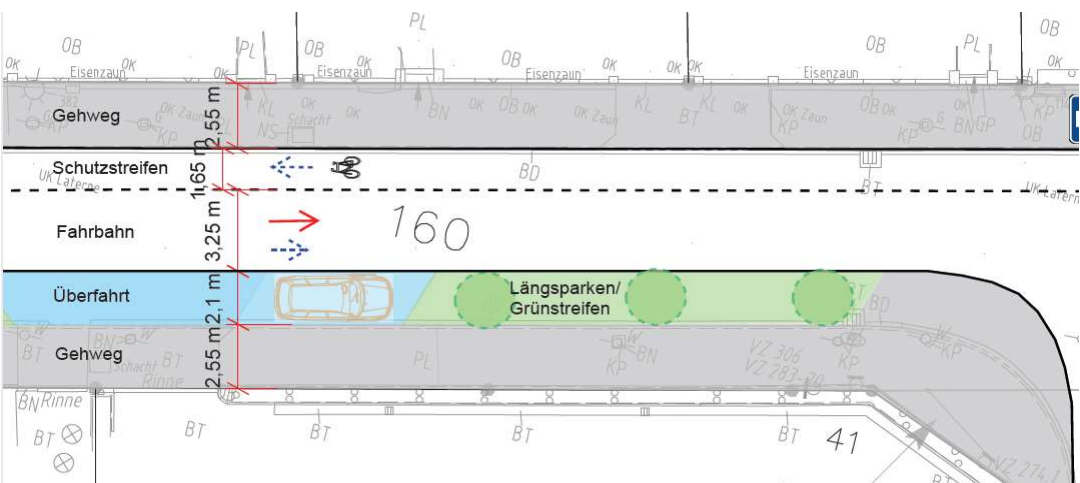
Warum schätzen Sie ein EG 40 und ein Passivhaus (Versorgung durch fossile Energie & hohe CO₂-Emissionen) angesichts der Klima- und Energiekrise als genauso „zukunftsfähig“ ein wie ein Nullenergie-/Plusenergiehaus?

ANTWORT f)

Baulich bewegen sich die Gebäude alle auf einem hohen Niveau. Die Aufstellung der Fernwärme in Bezug auf Energieträger baut in Zukunft ggf. ebenso auf erneuerbaren Energien auf. Die Fernwärme ist zudem ein technisch einfacher handhabbares System bezogen auf den Gesamtstandort Albert-Schweitzer-Schule.

Im Hinblick auf die Ergänzung einer Luftwärmepumpe ist bis zur Umstellung der Fernwärme aus erneuerbaren Energien eine Versorgung des Neubaus mit erneuerbaren Energien gewährleistet. Die Fernwärme wird für den gesamten Schultrakt vorgesehen.

Bauvorhaben: Ausbau der Straße Tinsdaler Weg (Bereich A - zw. Bei der Doppeleiche und Galgenberg)

Varianten Einbahnstraße	Auswirkungen auf:							Anmerkungen
Variante E1: beidseitig neue Gehwege und beidseitig Radfahrstreifen (auch in Gegenrichtung) auf der Fahrbahn	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	Nutzer müssen sich an neue Situation gewöhnen; klare Trennung Fußgänger / Radfahrer; benutzungspflichtige Radwege; zügige Durchfahrt für MIV / Bus möglich; Kein Halten/Parken im Straßenraum möglich; vorh. Bäume (bei EBG) werden erhalten, aber keine Neupflanzungen
								
Variante E2: beidseitig neue Gehwege und Radfahrstreifen in Fahrtrichtung auf Fahrbahn sowie Radweg (auf Hochbord) in Gegenrichtung	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	Nutzer müssen sich an neue Situation gewöhnen; klare Trennung Fußgänger / Radfahrer; benutzungspflichtige Radwege; zügige Durchfahrt für MIV / Bus möglich; Kein Halten/Parken im Straßenraum möglich; vorh. Bäume (bei EBG) werden erhalten, aber keine Neupflanzungen
								
Variante E3: beidseitig neue, breite Gehwege und Schutzstreifen in Gegenrichtung auf Fahrbahn	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	Nutzer müssen sich an neue Situation gewöhnen; Radfahrende (in Fahrtrichtung) müssen die Fahrbahn nutzen; gut nutzbare Gehwege; angelegte Parkstreifen ("Parkzone"); Verkehr muss ggf. hinter Radfahrenden hinterher fahren; neue Grünflächen mit Baumpflanzungen
								

Wertungsscala: positiv neutral negativ

Auszug aus § 2 StVO: Kinder bis zum vollendeten achten Lebensjahr müssen, Kinder bis zum vollendeten zehnten Lebensjahr dürfen mit Fahrrädern Gehwege benutzen. Ist ein baulich von der Fahrbahn getrennter Radweg vorhanden, so dürfen abweichend von Satz 1 Kinder bis zum vollendeten achten Lebensjahr auch diesen Radweg benutzen.

Auszug aus Richtlinie RAS 06 - Breiten je Richtung: Fahrbahn (bei Bus-/Lkw-Verkehr) mind. 3,25 m; Radfahrstreifen mind. 1,60 m (zzgl. 0,25 m Markierung); Radweg mind. 1,60 m (zzgl. 0,50 m Sicherheitsstreifen zur Fahrbahn); Schutzstreifen mind. 1,25 m (inkl. 0,15 m Markierung); Gehweg mind. 2,0 m

Zusatz: Die subjektive Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer wird sich verbessern, wenn die Straße aus dem Vorbehaltsnetz heraus genommen bzw. die Geschwindigkeit auf Tempo-30 begrenzt wird.

Bauvorhaben: Ausbau der Straße Tinsdaler Weg (Bereich A - zw. Bei der Doppeleiche und Galgenberg)

Varianten Gegenverkehr	Auswirkungen auf:							Anmerkungen
	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	
Grundsatzvariante: beidseitig neue Gehwege und beidseitig Schutzstreifen (Radfahrangebot) auf der Fahrbahn								ähnlich wie Feldstraße; klare Trennung Fußgänger / Radfahrer; Kein Halten/Parken im Straßenraum möglich; Verkehr muss bei Gegenverkehr hinter Radfahrenden bleiben; vorh. Bäume (bei EBG) werden erhalten, aber keine Neupflanzungen
Variante a): beidseitig neue Gehwege und breite Fahrbahn - anlaog Bestand	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	Nutzer sind an Situation gewöhnt; Radfahrende müssen die Fahrbahn nutzen; Halten/Parken am Fahrbahnrand möglich; Verkehr muss ggf. hinter Radfahrenden hinterher fahren; Bus / Lkw muss an Engstellen Gegenverkehr abwarten; neue Pflanz-/ Bauminself
Alternative zu Variante a): beidseitig neue Gehwege und Fahrbahn mit wechselseitigen Parkstreifen ("Parkzone")	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	Nutzer sind an Situation gewöhnt; Radfahrende müssen die Fahrbahn nutzen; angelegte Parkstreifen ("Parkzone"); Verkehr muss ggf. hinter Radfahrenden hinterher fahren; Bus / Lkw muss an Engstellen Gegenverkehr abwarten; neue Pflanz-/Bauminself

Wertungsscala: positiv neutral negativ

Auszug aus § 2 StVO: Kinder bis zum vollendeten achten Lebensjahr müssen, Kinder bis zum vollendeten zehnten Lebensjahr dürfen mit Fahrrädern Gehwege benutzen. Ist ein baulich von der Fahrbahn getrennter Radweg vorhanden, so dürfen abweichend von Satz 1 Kinder bis zum vollendeten achten Lebensjahr auch diesen Radweg benutzen.

Auszug aus Richtlinie RAS 06 - Breiten je Richtung: Fahrbahn (bei Bus-/Lkw-Verkehr) mind. 3,25 m; Radfahrstreifen mind. 1,60 m (zzgl. 0,25 m Markierung); Radweg mind. 1,60 m (zzgl. 0,50 m Sicherheitsstreifen zur Fahrbahn); Schutzstreifen mind. 1,25 m (inkl. 0,15 m Markierung); Gehweg mind. 2,0 m

Ergänzung aus VwV - StVO zu § 2: Ausnahmsweise und nach sorgfältiger Überprüfung kann von den Mindestmaßen dann, wenn es aufgrund der örtlichen oder verkehrlichen Verhältnisse erforderlich und verhältnismäßig ist, an kurzen Abschnitten (z. B. kurze Engstelle) unter Wahrung der Verkehrssicherheit abgewichen werden.

Zusatz: Die subjektive Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer wird sich verbessern, wenn die Straße aus dem Vorbehaltsnetz heraus genommen bzw. die Geschwindigkeit auf Tempo-30 begrenzt wird.

Bauvorhaben: Ausbau der Straße Tinsdaler Weg (Bereich B - zw. Galgenberg und Grenzweg)

Varianten Gegenverkehr	Auswirkungen auf:							Anmerkungen
	Radfahrende	Fußgänger	Radfahrende Kinder (bis 11)	motorisierter Verkehr (MIV)	öffentl. Parkraum	Bus-/Lkw-Verkehr	Grün / Bäume	
Grundsatzvariante: beidseitig neue Gehwege und beidseitig neue Radwege (auf Hochbord) - analog Bestand								Nutzer sind an Situation gewöhnt; Trennung Fußgänger / Radfahrer; Halten/Parken am Fahrbahnrand möglich; wechselseitig neue Pflanz-/Bauminselformen möglich
Alternative / Variante a): beidseitig neue Gehwege und beidseitig Radfahrstreifen auf der Fahrbahn								Nutzer müssen sich an neue Situation gewöhnen; klare Trennung Fußgänger / Radfahrer; benutzungspflichtige Radwege; zügige Durchfahrt für MIV / Bus / Lkw möglich; Kein Halten/Parken im Straßenraum möglich; keine Grünflächen im Straßenraum
Alternative / Variante b): beidseitig neue, breite Gehwege und beidseitig Schutzstreifen (Radfahrangebot) auf der Fahrbahn								Nutzer müssen sich an neue Situation gewöhnen; klare Trennung Fußgänger / Radfahrer; gut nutzbare Gehwege; Kein Halten/Parken im Straßenraum möglich; Bus / Lkw muss bei Gegenverkehr hinter Radfahrenden bleiben; keine Grünflächen im Straßenraum

Wertungsskala: positiv neutral negativ

Auszug aus § 2 StVO: Kinder bis zum vollendeten achten Lebensjahr müssen, Kinder bis zum vollendeten zehnten Lebensjahr dürfen mit Fahrrädern Gehwege benutzen. Ist ein baulich von der Fahrbahn getrennter Radweg vorhanden, so dürfen abweichend von Satz 1 Kinder bis zum vollendeten achten Lebensjahr auch diesen Radweg benutzen.

Auszug aus Richtlinie RAS 06 - Breiten je Richtung: Fahrbahn (bei Bus-/Lkw-Verkehr) mind. 3,25 m; Radfahrstreifen mind. 1,60 m (zzgl. 0,25 m Markierung); Radweg mind. 1,60 m (zzgl. 0,50 m Sicherheitsstreifen zur Fahrbahn); Schutzstreifen mind. 1,25 m (inkl. 0,15 m Markierung); Gehweg mind. 2,0 m

Ergänzung aus VwV - StVO zu § 2: Ausnahmsweise und nach sorgfältiger Überprüfung kann von den Mindestmaßen dann, wenn es aufgrund der örtlichen oder verkehrlichen Verhältnisse erforderlich und verhältnismäßig ist, an kurzen Abschnitten (z. B. kurze Engstelle) unter Wahrung der Verkehrssicherheit abgewichen werden.

Zusatz: Die subjektive Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer wird sich verbessern, wenn die Straße aus dem Vorbehaltsnetz heraus genommen bzw. die Geschwindigkeit auf Tempo-30 begrenzt wird.