

Energieberatungsbericht

für ein energetisches Sanierungskonzept

gemäß der Richtlinie „Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme“ (EBN) vom 13. November 2020.

Beratungsobjekt:

EBN 80018816

Werkhalle Berufskolleg Jülich

Bongardstraße 15

52428 Jülich



Beratungsempfänger / Auftraggeber (AG):

Kreis Düren

Zentrales Gebäudemanagement

Bismarckstraße 16

52351 Düren

Auftragnehmer (AN):

Berater / Nr.: EB501414

Öko-Zentrum NRW GmbH

Sachsenweg 8

59073 Hamm

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'C. Berner'.

Christiane Berner / EB501414

Hamm, 05. Dezember 2024

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Vorbemerkungen	20
2.1	Ausgangssituation.....	20
2.2	Berechnungsgrundlagen.....	20
2.3	Energiepreise	20
2.4	Betrachtungszeiträume und Lebensdauern	21
2.5	Zinssätze und Energiepreissteigerungen	22
2.6	Emissionen.....	23
2.7	Berücksichtigung von Klimafolgekosten.....	24
3	Allgemeine Informationen zur energetischen Sanierung	27
3.1	Kontext der Energieberatung.....	27
3.2	Definition „Energieberatung“	27
4	Vorstellung Beratungsobjekt:	28
4.1	Allgemeine Angaben zum Beratungsobjekt	28
4.2	Gebäudebeschreibung	30
4.3	Zonierung des Gebäudes	31
4.4	3D Ansichten des digitalen Gebäudemodells	33
4.5	Ansichten des Bestandsgebäudes	34
5	Beschreibung der Gebäudehülle – Bestand	36
5.1	Bauteilbeschreibung	36
5.2	Bauteilübersicht.....	40
5.3	Einordnung der thermischen Qualität der Gebäudehülle.....	42
6	Technische Gebäudeausrüstung	43
6.1	Wärmeerzeugung	43
6.2	Brauchwasserbereitung	44
6.3	Lüftungstechnik.....	45
6.4	Kühlung	48
6.5	Beleuchtung	48
6.6	Sommerlicher Wärmeschutz.....	50
7	Darstellung der Energiebilanz des Bestands	51
7.1	Zusammenstellung der Zonen, Bauteile, Flächen und U-Werte.....	51
7.2	Ermittelter Energiebedarf des Beratungsobjektes.....	54

7.3	Ermittelte THG-Emissionen des Beratungsobjektes	56
7.4	Abgleich mit Verbrauchsdaten.....	56
7.5	Vergleich Energiebedarf und Energieverbrauch	57
7.6	Bewertung des Gebäudes im IST-Zustand	58
8	Variantenuntersuchung / Ermittlung der Wirtschaftlichkeit	59
8.1	Übersicht der Maßnahmen	63
8.2	Variante 1: Außenwände dämmen	66
8.3	Variante 2: Fenster, Türen & Tore ersetzen.....	70
8.4	Variante 3: Hybridheizung aus Luft-Wasser-Wärmepumpe Bivalent + PV-Anlage + Spitzenlastdeckung über den Fernwärmeanschluss	75
8.5	Variante 4: Austausch Wärmeerzeugers – Luft-Wasser-Wärmepumpe + dezentrale WW-Durchlauferhitzer + Photovoltaikanlage	81
8.6	Variante 5: Installation dezentraler Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG) 86	
8.7	Variante 6: Beleuchtung – Leuchtstoffröhren ersetzen mit LED Lampen	90
8.8	Variante 7: Maßnahmenkombination aus V2, V3 und V6.....	93
8.9	Variante 8: Maßnahmenkombination aus V1, V2, V3 und V6	98
8.10	Variante 9 – Effizienzgebäude 55 EE.....	105
8.11	Übersicht der Ergebnisse	112
9	Möglichkeiten zur Stromeinsparung	124
9.1	Maßnahme: Verbesserung der Energieeffizienz von EDV Geräten.....	124
9.2	Maßnahme: Verbesserung der Energieeffizienz von Beleuchtungsprodukten	124
10	Weitere Empfehlungen.....	125
10.1	Maßnahme: Hinweise zum Nutzerverhalten	125
10.2	Einsatz von dezentralen Lüftern mit Wärmerückgewinnung.....	126
10.3	Informationen über anwendbare Zuschüsse und Beihilfen.....	128
10.3.1	Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen	128
10.3.2	Bundesförderung für effiziente Gebäude - Sanierung zum Effizienzgebäude ..	131
10.4	Nachhaltiges Bauen.....	132
10.5	Informationen zum GEIG (Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz)	134
10.6	Hinweis zur Prüfpflicht von Solarenergie nach GEG §4 Absatz 2	135
10.7	Hinweis zur Solarpflicht	135
10.8	Hinweis zur 65-Prozent-Regel des GEG.....	136

10.9	Hinweis zur EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie	137
11	Unterzeichnung.....	138
12	Anhang.....	139
12.1	Relevante Normen, Vorschriften und Literatur	139
12.2	Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen.....	140
12.3	Verzeichnis der verwendeten Abbildungen	142
12.4	Verzeichnis der verwendeten Tabellen	145

1 Zusammenfassung

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um die energetische Beratung für die Werkhalle des Berufskollegs in Jülich im Kreis Düren. Ziel ist es dabei, den Ist-Zustand des Gebäudes aufzunehmen, zu analysieren und mögliche Effizienzmaßnahmen energetisch und wirtschaftlich zu bewerten.

Für die energetische Bilanzierung wird angenommen, dass die Gebäudenutzung einer Kombination aus Unterrichtsräumen und aus Lehrwerkstätten mit überwiegend leichter körperlicher Arbeit entspricht. Die Werkhalle wurde im Jahr 1965 errichtet, im Jahr 1973 wurden die Nebenräume der Sporthalle daran angebaut, wie aus dem Lageplan der Abbildung 7 zu entnehmen ist. Es wird angenommen, dass im weiteren Lebenszyklus Anfang der 1990er Jahre die Fenster ausgetauscht und mit einer Zweifachverglasung ausgestattet wurden. Danach wurde laut der Dokumentation des Auftraggebers im Jahr 2005 das Dach der Werkhalle saniert und energetisch ertüchtigt, so dass die energetische Qualität des Daches dem heutigen GEG - Mindeststandard entspricht. Das Gebäude wurde eingeschossig errichtet und ist nicht unterkellert.

Abgesehen von der Dachsanierung und den Fenstern, welche nach heutigem Stand der Technik nicht mehr als zeitgemäß betrachtet werden, entspricht der energetische Standard der vorhandenen Bauteile dem Jahr ihrer Errichtung. Somit ergeben sich einige Potenziale an der thermischen Gebäudehülle.

Die Wärmeversorgung erfolgt über einen Erdgasheizkessel, der im Gebäude des Berufskollegs nebenan aufgestellt ist. Die Wärmeübergabe an die Räume erfolgt über freie Heizflächen (Heizkörper). Die ursprüngliche Versorgung mit Fernwärme wurde vermutlich aus wirtschaftlichen Gründen aus der Nutzung genommen.

Der zuvor genannte Heizkessel versorgt als zentrale Einheit alle Gebäude auf dem Grundstück: das Berufskolleg, eine Schulerweiterung von 2008, die Werkhalle und eine Kreisdreifachsporthalle. Die beiden weiteren Gebäude sind nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

Die energetischen Berechnungen umfassen den gesamten Baukörper und basieren auf einer energetischen Bilanzierung gemäß DIN V 18599 [5]. Die energetische Bilanzierung des Gebäudes im Bestand (Ist-Zustand) ergibt folgende Ergebniswerte (bedarfsorientiert):

- Nutzenergiebedarf von 213 kWh/m²a
- Endenergiebedarf (Brennwertbezogen) von 341 kWh/m²a
- Primärenergiebedarf (Heizwertbezogen) von 347 kWh/m²a

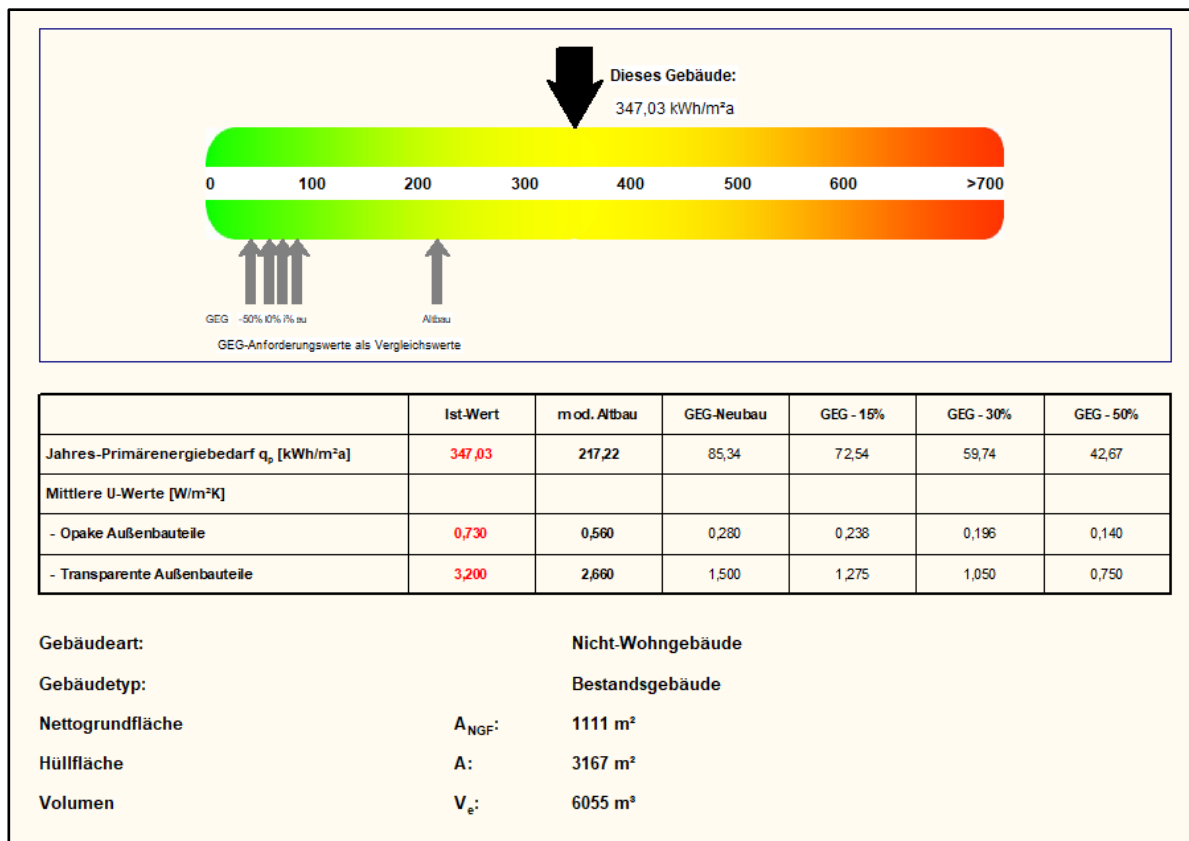


Abbildung 1: Gebäudebewertung mit Standardrandbedingungen

Ein Gebäude, das die aktuellen Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes an einen modernisierten Altbau erfüllt, weist einen Primärenergiebedarf von etwa 218 kWh/m²a auf. Der primärenergetische Zustand des bestehenden Gebäudes überschreitet diese Anforderungen um ca. 60 %.

Untersuchte Varianten

Dieses energetische Sanierungskonzept soll einen sinnvollen Weg aufzeigen, wie die Energieeffizienz des Gebäudes verbessert werden kann. Hierbei werden Sanierungsmaßnahmen unter Berücksichtigung bauphysikalischer, anlagentechnischer und bauordnungsrechtlicher Aspekte untersucht und anschließend in einem schrittweisen Sanierungsfahrplan zusammengefasst / als Ausarbeitung und Darstellung von objektbezogenen Maßnahmen zum Erlangen eines energetischen Niveaus, das einem förderfähigen Effizienzgebäude entspricht, dargestellt. Im Folgenden sind die untersuchten Varianten dargestellt:

Variante 1 – Außenwände dämmen:

- Dämmung der Außenwände mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ($U_{\text{neu}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Variante 2 – Fenster, Türen und Tore ersetzen:

- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_{\text{W}} = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_{\text{D}} = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_{\text{D}} = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)

Variante 3 – Hybridheizung aus Luft-Wasser-Wärmepumpe + Spitzenlastdeckung über den Fernwärmeanschluss + PV-Anlage:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 4 – Luft-Wasser-Wärmepumpe monoenergetisch + dezentrale WW-Durchlauferhitzer + Photovoltaikanlage:

- Austausch des Gaskessels gegen eine monoenergetische Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Umstellung der Warmwassererzeugung auf 12 dezentrale WW-Durchlauferhitzer
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 5 – Installation dezentraler Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG):

- Installation einer dezentralen Abluftanlage für die WCs
- Ersetzen der Fensterlüftung durch Einbau von dezentralen Lüftungsgeräten für alle weiteren Zonen / Räume mit Wärmerückgewinnung (WRG)

- Berücksichtigung der bestehenden Absaugeinrichtungen

Variante 6 – Beleuchtung – Leuchtstoffröhren ersetzen mit LED Lampen:

- Austausch aller noch mit Leuchtstoffröhren ausgeführten Leuchten mit LED-Lampen

Variante 7 – Maßnahmenkombination aus V2, V3 und V6:

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 8 – Maßnahmenkombination aus V1, V2, V3 und V6:

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Dämmung der Außenwände mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ($U_{\text{neu}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 9 – Effizienzgebäude 55 EE:

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Dämmung aller Fußböden auf einen mittleren U-Wert = 0,54 W/m²K
- Dämmung der Außenwände mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 (U_{neu} = 0,14 W/m²K)
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Umstellung der Warmwassererzeugung auf 12 dezentrale WW-Durchlauferhitzer
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Lüftungsanlage für alle Zonen / Räume wie in Variante 5
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Die folgende Tabelle zeigt die Endenergieeinsparungen sowie die Energiekosten und Energiekosteneinsparungen der verschiedenen Varianten. Die Ergebnisse wurden mit dem gemessenen Verbrauch des Gebäudes abgeglichen. Darüber hinaus werden die zu erwartenden Energiekosteneinsparungen für den jeweiligen Betrachtungszeitraum ausgewiesen. In die Prognosen fließen beispielsweise Annahmen zu Energiepreissteigerungen sowie zu den CO₂-Preisen ein (s. 2.3-2.7).

Tabelle 1: Übersicht der Energie- und Kosteneinsparungen (verbrauchsabgeglichen)¹

Variante	Endenergiebedarf (verbrauchsorientiert)	Endenergieeinsparung		Heutige Energiekosten	Kosteneinsparung	
		[kWh/a]	[%]		[€/a]	[%]
Bestand	212.538	-	-	14.397	-	-
Variante 1	162.120	50.418	24%	11.285	3.111	22%
Variante 2	181.706	30.832	15%	12.459	1.938	13%
Variante 3	85.821	126.717	60%	15.832	-1.435	-10%
Variante 4	52.942	159.596	75%	12.441	1.956	14%
Variante 5	204.649	7.888	4%	16.329	-1.932	-13%
Variante 6	207.730	4.808	2%	12.724	1.672	12%
Variante 7	71.577	140.961	66%	11.503	2.894	20%
Variante 8	42.680	169.858	80%	7.802	6.595	46%
Variante 9	25.885	186.652	88%	6.083	8.314	58%

¹ Angepasster Bedarf in Bezug auf realen Verbrauch

Tabelle 2: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum

Variante	Energiekosten zzgl. Preis- Steigerung im jeweiligen Be- trachtungszeit- raum	Kosteneinsparung	
		[€/a]	[%]
Bestand	-	-	-
Variante 1	22.293	6.500	77%
Variante 2	24.775	4.000	86%
Variante 3	16.969	200	99%
Variante 4	12.806	12.300	51%
Variante 5	19.486	-2.300	113%
Variante 6	16.056	2.000	89%
Variante 7	14.696	14.100	51%
Variante 8	9.349	19.400	32%
Variante 9	6.392	22.400	22%

Die Werte aus der Tabelle werden in den folgenden Grafiken detaillierter gegenübergestellt:

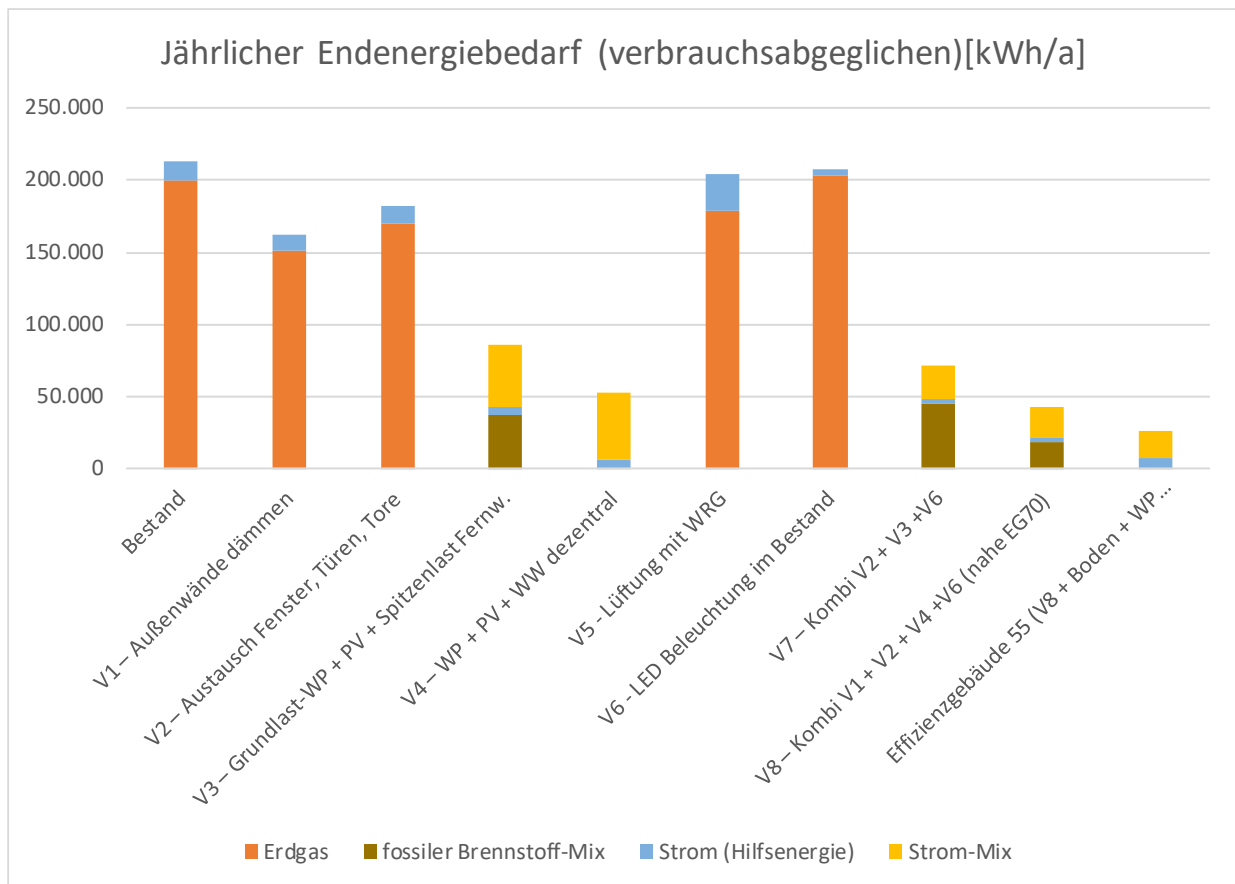


Abbildung 2: Jährlicher Endenergiebedarf im Vergleich (verbrauchsabgeglichen) [kWh/a]

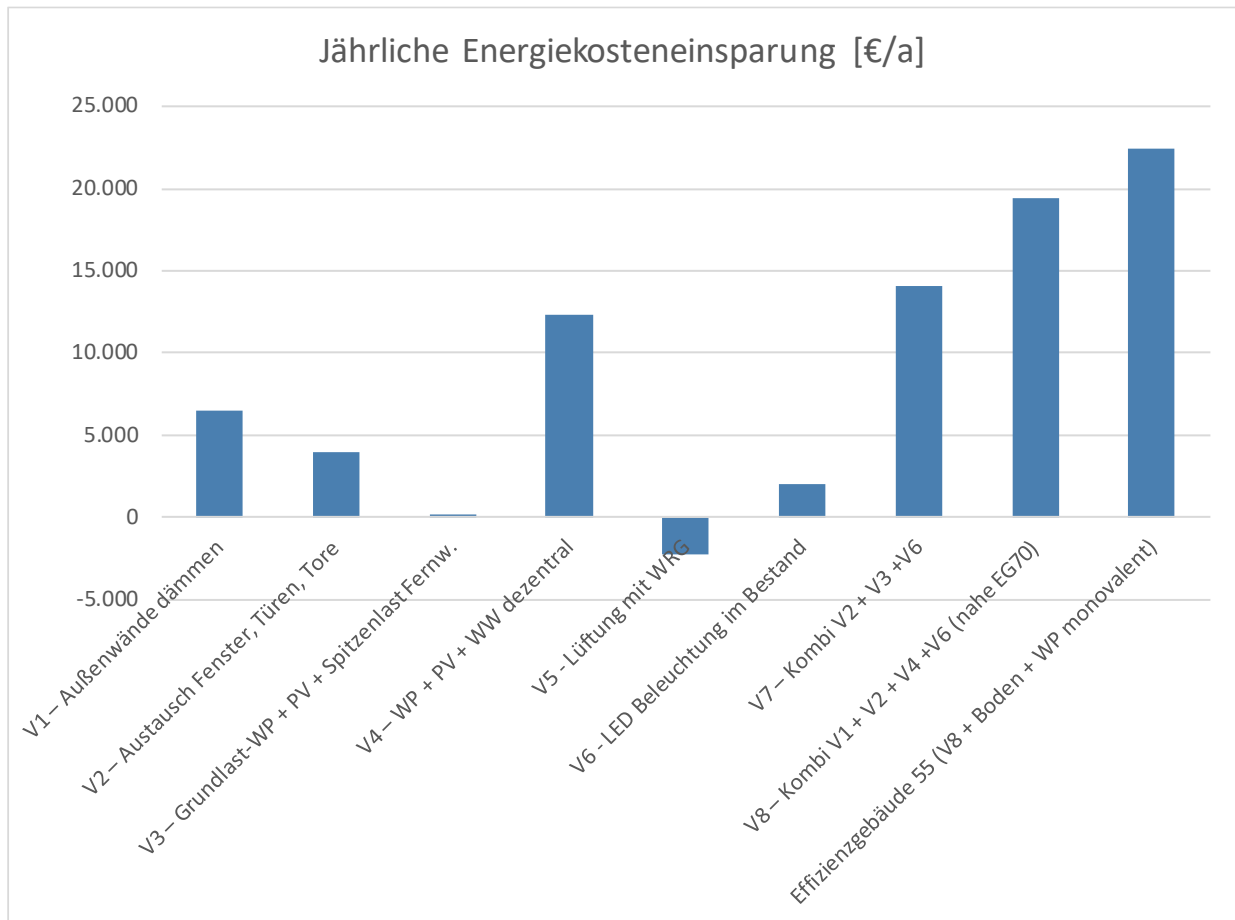


Abbildung 3: Vergleich der künftigen Energiekosteneinsparung je Sanierungsmaßnahme

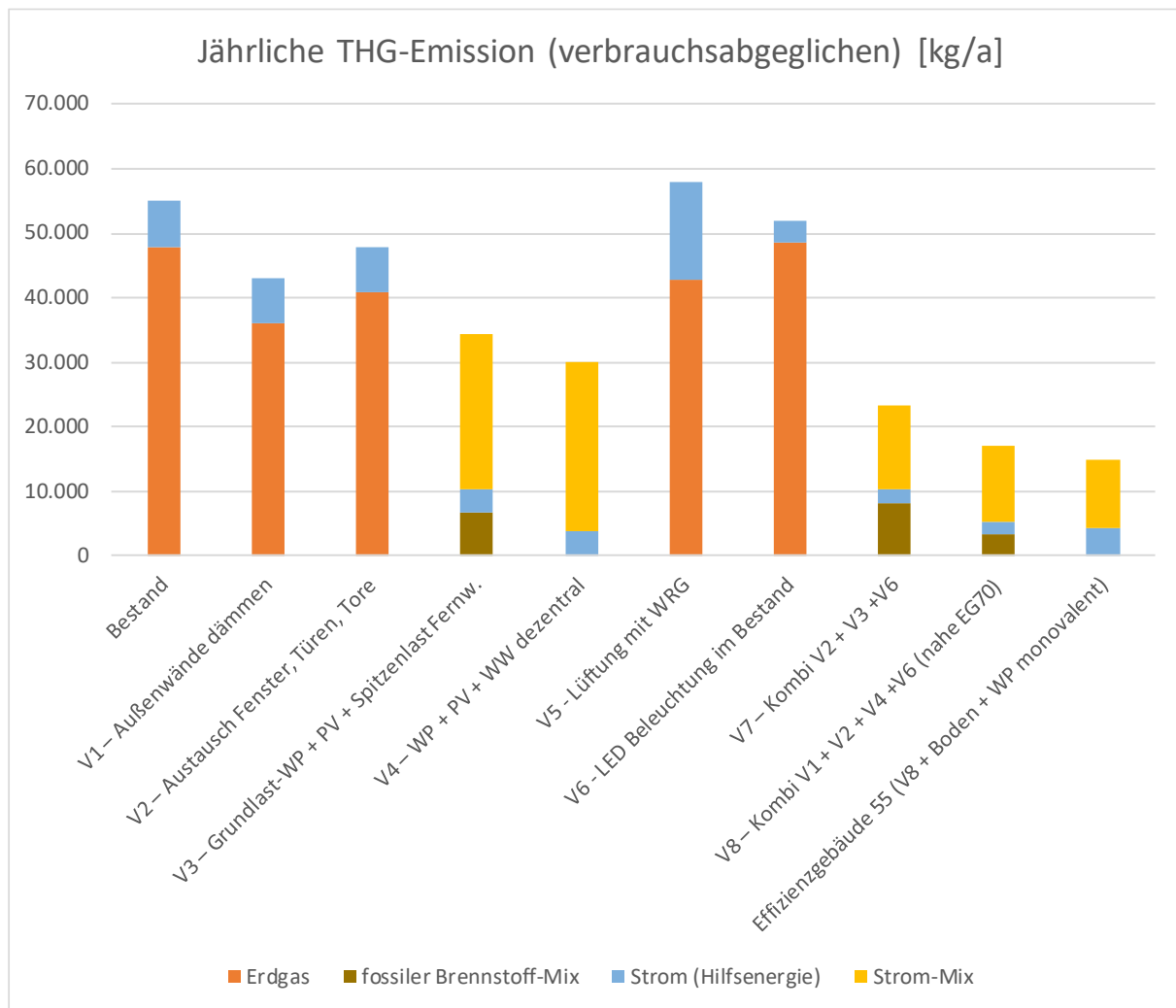


Abbildung 4: Vergleich der jährlichen THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen)

Bewertung und Empfehlung

Da erst wenige bauliche Maßnahmen zur energetischen Optimierung des Gebäudes durchgeführt wurden, sind in diesem Bereich viele Einsparpotenziale zu realisieren. Optimierungsbedarf besteht vor allem bei der Fassade und den Fenstern sowie bei der vorhandenen Anlagentechnik. Als Einzelmaßnahme sind besonders aus wirtschaftlicher Perspektive die vorgestellten Varianten V2 – (Fenster, Türen und Tore ersetzen), V4 – (Eigenständige Luft-Wasser-Wärmepumpe monoenergetisch + dezentrale WW-Durchlauferhitzer + Photovoltaikanlage) und V6 – (Beleuchtung – Leuchtstoffröhren ersetzen mit LED Lampen) hervorzuheben.

Dementsprechend enthält unsere Empfehlung für eine umfangreichere Sanierung diese einzelnen Maßnahmen. Die empfohlene Variante 7 berücksichtigt neben V2 und V6 die für das Schulgebäude als wahrscheinlich angenommene Heizungssanierung gemäß V3 – (Hybridheizung aus Luft-Wasser-Wärmepumpe + Spitzenlastdeckung über den Fernwärmeanschluss + PV-Anlage) und zusätzlich einen sommerlichen Wärmeschutz. Mit dieser Variante 7 als Kombination aus den Maßnahmen V2, V3 und V6 ist es möglich, eine Endenergieeinsparung von bis zu 66 % zu realisieren und es können in dieser Variante 58 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Dadurch kann im Mittel mit einer zukünftigen jährlichen Reduktion der Energiekosten von ca. 12.200 Euro über die mittlere Lebensdauer von 31 Jahren gerechnet werden.

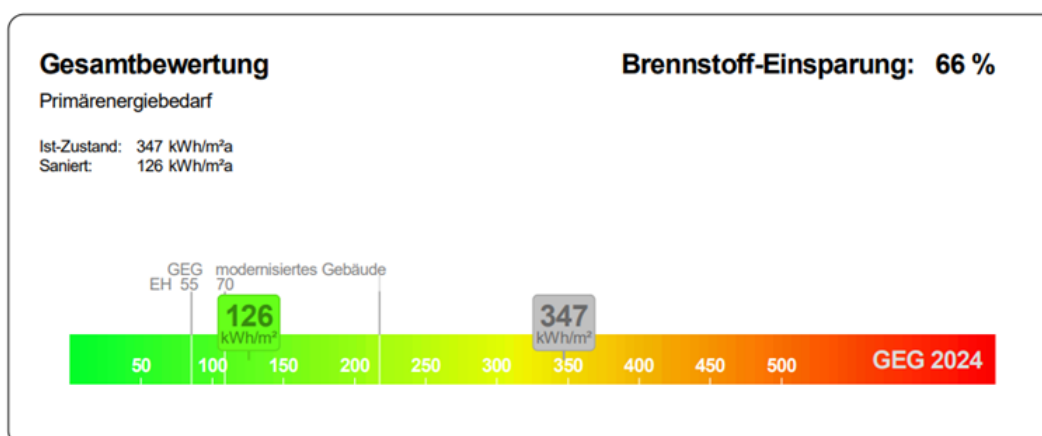


Abbildung 5: Bandtacho der Variante 7 mit Standard-Randbedingungen

Die maximal förderfähigen Kosten für Einzelmaßnahmen (ohne Heizungstausch) liegen bei rund 0,55 Mio. Euro. Der genannte Wert kann jedes Jahr erneut in Anspruch genommen werden, sollte die jeweilige Höchstgrenze überschritten werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die jeweiligen Sanierungsschritte je Kalenderjahr aufeinander abgestimmt sind. Die maximal förderfähigen Kosten für die Sanierung zu einem Effizienzgebäude belaufen sich auf ca. 2,2 Mio. Euro. Unabhängig von der Sanierung der Gebäudehülle kann zudem eine Förderung für den Austausch des Wärmeerzeugers auf eine regenerative Wärmeerzeugerstrategie mit maximal förderfähigen Kosten von ca. 160.000 Euro in Anspruch genommen werden.

Für Variante 7 können Fördermittel in Höhe von insgesamt ca. 119.000 Euro beantragt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit in Anspruch zu nehmen. Bei Inanspruchnahme der Fördermittel ist die Maßnahme empfehlenswert, da sich die energieeffizienzbedingten Mehrkosten der Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen bereits nach 18 Jahren amortisieren können.

Die Einzelmaßnahmen der Variante werden derzeit durch die „Bundesförderung für effiziente Gebäude - NWG“ (BEG NWG) mit einem Zuschuss in Höhe von 15 % unterstützt. Die Förderung für die Einzelmaßnahme „Wärmeerzeuger“ beträgt bis zu 35 % der förderfähigen Kosten. Förderfähig sind die im Zusammenhang mit der jeweiligen Maßnahme anfallenden Kosten. Des Weiteren werden auch notwendige Umfeldmaßnahmen gefördert.

Für Gebäude, die den Standard eines Effizienzgebäudes erfüllen, gibt es einen höheren Maßstab. Die Effizienz eines Gebäudes wird durch eine Kennzahl ausgedrückt, wobei ein niedrigerer Wert eine höhere Effizienz und einen geringeren Energieverbrauch bedeutet.

Die Variante 9 zeigt die theoretische Erreichbarkeit eines **Effizienzgebäude 55 EE** (Erneuerbare Energie Klasse). Damit besteht die Möglichkeit, Fördermittel aus dem Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) mit einer erhöhten Förderung von 35 % der förderfähigen Kosten in Anspruch zu nehmen. Trotz der besseren Förderung ist eine Umsetzung dieser Variante unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu empfehlen.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen sollte neben der Einsparung an Energiekosten allerdings auch immer der Aspekt des Klimaschutzes sowie die langfristigen klimapolitischen Ziele berücksichtigt werden.

Tabelle 3: Übersicht und Vergleich der einzelnen Wirtschaftlichkeitskennzahlen je Variante

Variante	Energiekosten	Investitionskosten (Vollkosten)	Energiebedingte Mehrkosten	Annuität	Dyn. Amortisation	Äqu. Energiepreis	CO ₂ Vermeidungskosten	Interner Zins
	[€/a]	[€]	[€]	[€/a]	[a]	[ct/kWh]	[€/kg]	[%]
Variante 1	22.293	349.404	349.404	-4.976	unwirtschaftlich	23	0,96	0,35
Variante 2	24.775	519.994	149.683	1.241	21	9	0,38	5,13
Variante 3	16.969	193.689	120.184	-5.007	unwirtschaftlich	4	0,26	-15,68
Variante 4	12.806	207.258	131.322	6.674	10	4	0,23	11,26
Variante 5	19.486	198.150	198.150	-11.940	unwirtschaftlich	122	-3,24	n.a.
Variante 6	16.056	75.130	15.026	1.768	2	5	0,07	52,78
Variante 7	14.696	825.822	321.902	258	18	6	0,25	6,66
Variante 8	9.349	1.175.227	671.306	-7.885	unwirtschaftlich	13	0,56	2,49
Variante 9	6.392	2.206.148	1.699.797	-12.675	unwirtschaftlich	20	0,94	1,78

Tabelle 4: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Fördermaßnahmen

Kosten	Variante 7
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	825.800 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	321.900 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	118.900 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	203.000 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	71.577 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	31.728 kg/a
	58%
Endenergieeinsparung durch die Variante	140.961 kWh/a
	66%
Energiekosteneinsparung	2.900 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO2-Preis	8.400 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	14.100 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	18 a
Kapitalwert	6.695 €
Annuität	258 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 14 ct/kWh)	6 ct/kWh
CO2-Vermeidungskosten	0,25 €/kg
Interne Verzinsung	6,66%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	131.370 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	31 a

Schritt-für-Schritt-Sanierung (Sanierungsfahrplan)

1. Die zweifach verglasten Fenster entsprechen nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. Der Austausch der Fenster und Türen kann unabhängig von anderen Sanierungsmaßnahmen kurzfristig durchgeführt werden. Sollte eine Dämmung der Außenwände zu einem späteren Zeitpunkt vorgesehen sein, ist bei der Wahl der Rahmenbreite eine mögliche Leibungsdämmung zu berücksichtigen. Zudem kann eine Optimierung der Fensterposition erforderlich sein.
2. Im Fall einer ohnehin vorgesehenen Dämmung der Außenwände sollte dies idealerweise mit dem Fensteraustausch einhergehen, um Synergieeffekte zu nutzen. Dazu zählen beispielsweise die Gerüststellung, aber auch Arbeiten an Fensterbänken und die Abdichtung der Anschlüsse zwischen Fassade und Fenster.
3. Im nächsten Schritt sollte die vorhandene Dachfläche genutzt werden, um eine Photovoltaikanlage zu errichten. Vor Errichtung der Anlage ist eine Überprüfung des Zustandes der Dachflächen sowie der Statik erforderlich. Vor Beginn der Arbeiten am Dach sind diese sowie etwaige Änderungen an der Dacheindeckung bzw. -abdichtung durchzuführen.
4. Der Austausch der Leuchtmittel stellt eine sehr wirtschaftliche Variante dar, die unabhängig von anderen Sanierungsmaßnahmen als Sofortmaßnahme durchgeführt werden kann. Es ist empfehlenswert, einen Fachplaner zur Überprüfung der Beleuchtungsqualität und Einhaltung der Arbeitsstättenrichtlinien zu Rate zu ziehen.
5. Nach Durchführung von Dämmmaßnahmen und Austausch der Fenster sollte die derzeit bereits störanfällige Heizungsanlage ersetzt werden. Nachdem die Wärmeverluste des Gebäudes auf ein Minimum reduziert wurden, kann die Leistung der Wärmepumpenanlage entsprechend niedrig gewählt werden, wodurch eine kleinere Dimensionierung möglich ist.
6. Bei Sanierungsarbeiten ist darauf zu achten, dass diese aufeinander aufbauen. Zunächst sollten die Außenarbeiten wie die Dacheindeckung, die Fassadendämmung oder der Fensteraustausch durchgeführt werden. Im Anschluss werden die Gewerke für Elektroinstallation, Heizung und Sanitär mit den Arbeiten beginnen, bevor schließlich der Innenausbau erfolgt.
7. Ein nahezu klimaneutrales Gebäude kann mit den vorgeschlagenen Maßnahmen nicht erreicht werden. Dafür wäre es erforderlich, auch Bauteile, die aufwendig und kostspielig (z. B. Bodenplatte) zu dämmen sind oder die ihre Lebensdauer noch lange nicht erreicht haben (z.B. Dach), zu sanieren. Die dadurch erzielbaren Einsparungen sind sowohl aus monetärer Sicht als auch unter Berücksichtigung ökologischer Aspekte derzeit nicht zu empfehlen. Bei späterer Sanierung der Bauteile im Verlauf des Lebenszyklus des Gebäudes empfehlen wir eine entsprechende Dämmqualität, um den Energiebedarf des Gebäudes weiter zu senken.

2 Vorbemerkungen

2.1 Ausgangssituation

Die Energieberatung gemäß der Richtlinie „Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme“ (EBN) vom 13. November 2020 [1], ist ein wichtiges Instrument, um in Nichtwohngebäuden Maßnahmenvorschläge zur Energieeinsparung und Energieeffizienz zu erarbeiten.

Der Kreis Düren hat sich dazu entschieden eine geförderte Energieberatung durchführen zu lassen, um ein energetisches Sanierungskonzept für das Berufskolleg in Jülich erstellen zu lassen. Die Öko-Zentrum NRW GmbH wurde damit beauftragt, das Sanierungskonzept zu erarbeiten und einen Beratungsbericht zu erstellen.

2.2 Berechnungsgrundlagen

Als Grundlage für die Energieberatung dient eine energetische Bilanzierung des Gebäudes nach der DIN V 18599 [5] mit der Software „Energieberater“ der Firma Hottgenroth. Die Ermittlung der Energiebedarfe erfolgte mit den Standard-Klimabedingungen für Deutschland und Standard-Nutzerprofilen.

Die Flächenberechnungen und die Ermittlung der Bauteilqualitäten basieren auf den zur Verfügung gestellten Planunterlagen sowie auf den bei einem Vor-Ort-Termin erworbenen Kenntnissen. Bei fehlenden Angaben zu Bauteilqualitäten werden die Standardwerte aus der „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand“ vom 8. Oktober 2020 entsprechend dem Baujahr des Bauteils angesetzt ggf. unter Berücksichtigung von eigenen sinnvollen Ergänzungen.

2.3 Energiepreise

Zur Berechnung der aus den Transmissions- und Anlagenverlusten resultierenden Energiekosten werden entsprechend der Energiekostenabrechnung von 2022 für das Berufskolleg Jülich die in Tabelle 5 dargestellten Energiepreise angesetzt.

Im Rahmen weiterer Vergleiche mit einer alternativen Versorgung aus Fernwärme, wird ein marktüblicher Bezugspreis der Stadtwerke Jülich angenommen (Stand: April 2024).

Tabelle 5: Übersicht verwendeter Energieträger und Verbrauchskosten

Energieträger	Verbrauchskosten ²
Strom	23,50 ct / kWh brutto
Erdgas H	5,70 ct / kWh brutto
Fernwärme	11,78 ct / kWh brutto

2.4 Betrachtungszeiträume und Lebensdauern

Mit der Wahl eines Betrachtungszeitraums wird der Planungs- und Erwartungshorizont ausgedrückt. Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen zur Energieeinsparung wird empfohlen, dass sich der Betrachtungszeitraum an der technischen oder wirtschaftlichen Lebensdauer der Bauteile und Systeme orientieren sollte.

Im Rahmen von Wirtschaftlichkeitsrechnungen von Maßnahmenpaketen ergeben sich jedoch in Abhängigkeit vom gewählten Betrachtungszeitraum in der Regel Werte für den nicht ausgenutzten Abnutzungsvorrat (nicht genutzte Restlebensdauer) für die thermische Hülle und Ersatzinvestitionen für die Anlagentechnik. Es bietet sich daher an die längste aller Nutzungsdauern als Betrachtungszeitraum zu wählen und die transitorischen Komponenten entsprechend mit mehrfacher Investition zu berücksichtigen. Die notwendige Ersatzinvestition für alle transitorischen Komponenten wird anhand ihres Barwertes berücksichtigt. Das ist der Geldbetrag, der zum Investitionszeitpunkt hätte angelegt werden müssen, um die Investition in Zukunft tätigen zu können. Dieser Wert hängt davon ab, wie fern in der Zukunft die Ersatzinvestition stattfindet, wie hoch der Kalkulationszins ist und welche Preissteigerungsrate für das Investitionsgut erwartet wird.

Als Grundlage für die angenommenen Lebensdauern der Bauteile dienen sowohl die Veröffentlichung "Nutzungsdauern von Bauteilen zur Lebenszyklusanalyse nach BNB" [8] als auch die Veröffentlichung „Lebensdauer von Bauteilen und Bauteilschichten“ [8]. Für Anlagenkomponenten wird bei der Nutzungsdauer (einschl. Aufwand) ergänzend Bezug genommen auf die Angaben der Richtlinie VDI 2067 Blatt 1 [9].

² Strom und Wärme/Erdgas, basierend auf Angaben des Auftraggebers. Durchschn. Bezugspreis Pellets bezogen auf den Heizwert und brutto nach C.A.R.M.E.N. e.V; Annahme: 20 Tonnen-Lieferung, Januar 2024

2.5 Zinssätze und Energiepreissteigerungen

Zur Betrachtung der Amortisationszeit der Maßnahmen wird eine dynamische Betrachtung durchgeführt. Es wird von einem Sollzins (Kreditzins) von 3,5 ausgegangen – damit wird die mögliche langfristige Veränderung am Markt für Maßnahmen ohne Förderung durch die KfW abgeschätzt. Für Maßnahmen mit Förderung und Ergänzungskredit ergibt sich zum Zeitpunkt der Betrachtung im KfW-Programm ein Effektivzins von 0,44 % für Kommunen (Stand 10.12.2024 – Kredit 10/ 2/ 10, Kommunen – Kredit Nr 264 | KfW) . Die deutlichen Zinsvergünstigungen der KfW sollen einem Subventionswert von bis zu 15 % entsprechen. Bei Erreichen der Voraussetzung zur Förderung wurde dieser reduzierte Effektivzinssatz in erster Annahme bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt. Zusätzlich wird von einem Zinssatz für Eigenkapital (Kapitalmarktzins) von 2,4 % ausgegangen.

Zur Wirtschaftlichkeitsberechnung wird der Kalkulationszinssatz gebildet. Er ist der angenommene Zinssatz für Eigenkapital (entgangener Sparzins) oder für Fremdkapital (Kreditzins). In diesem Fall wird eine Mischfinanzierung und damit ein gewichteter Mittelwert aus beiden angesetzt. Für die Betrachtung von ergibt sich folglich eine Kalkulationszins von 2,94 %. Die oben beschriebenen Zinsvergünstigungen (z.B. der KfW) fließen durch einen barwertigen Zinsvorteil in die jeweilige Wirtschaftlichkeitskennzahl ein.

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit in diesem Bericht wird jeweils ein Faktor für die mittlere Energiepreissteigerung von 1,5 % für Erdgas, 1 % für Fernwärme und von 0,25 % für Strom³ angenommen. Der verwendete dimensionslose Faktor ist ein Maß für die Verteuerung der Energie über den Betrachtungszeitraum der jeweiligen Variante. Er wird von drei Faktoren bestimmt: der jährlichen Teuerungsrate der Energie, der Länge des Betrachtungszeitraumes und von der Höhe des Kalkulationszinssatzes.

Hinweis: Die derzeitige, volatile Preisentwicklung aller Energieträger betrifft auch die Ansätze und Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. Sowohl im Hinblick auf kurzfristige, aber noch verstärkt im Hinblick auf langfristige Maßnahmen, kommt es zu großen preislichen Unsicherheiten. Kurzfristig eingeführte Umlagen oder Senkungen der Umsatzsteuer finden aufgrund ihrer Befristung keine Berücksichtigung in der Wirtschaftlichkeitsberechnung.

³ Die zusätzlichen Einnahmen aus der 2021 eingeführten CO₂-Bepreisung in den Sektoren Gebäude und Verkehr werden über den Klima- und Transformationsfond anstelle der EEG-Umlage genutzt. Da die Veränderung des Strompreises von verschiedenen, volatilen Faktoren abhängig ist, gehen wir in der Wirtschaftlichkeitsbewertung von einem konservativen Anstieg des Strompreises aus.

2.6 Emissionen

Die Gefahr des Klimawandels verstärkt zurzeit die öffentliche Diskussion um einen umweltverträglichen Energieeinsatz. Hauptverantwortlich für die drohende Klimaveränderung ist das Kohlendioxid. Aber auch andere Gase, wie z.B. unverbrannte Kohlenwasserstoffe, tragen dazu bei. Kohlendioxid (CO₂) ist mit etwa 50% am sogenannten Treibhauseffekt beteiligt. CO₂ vermindert die Wärmeabstrahlung der Erde in den Weltraum. Dieser Effekt ist in einem bestimmten Umfang erwünscht, wäre ohne ihn doch ein Leben auf der Erde unmöglich. Wird das Gleichgewicht, das sich in Jahrtausenden eingestellt hat, durch eine Erhöhung des CO₂-Gehalts der Atmosphäre gestört, kommt es zu einer Aufheizung der Erdatmosphäre mit unberechenbaren Folgen für alle Lebensbereiche.

Um die Reduktion der Treibhausgasemissionen möglichst effektiv voranzubringen, sollte insbesondere beim Neubau die Herstellung der Baustoffe mitberücksichtigt werden. Die dafür benötigte Energie wird graue Energie genannt und wird mit Hilfe einer Lebenszyklusanalyse ermittelt. Analog dazu werden ebenfalls die entstehenden THG-Emissionen für die Herstellung der Baumaterialien ermittelt. Durch bessere Energiestandards reduzieren sich Energieverbrauch und THG-Emissionen in der Gebäudebewirtschaftung, sodass die Betrachtung grauer Energien an Relevanz gewinnt. (Abbildung 6: Qualitative Entwicklung des Primärenergiebedarfs, FIW München 2017) Aus diesem Grund wird aktuell über die Aufnahme grauer Energien und Emissionen in das Gebäudeenergiegesetz diskutiert. [10].

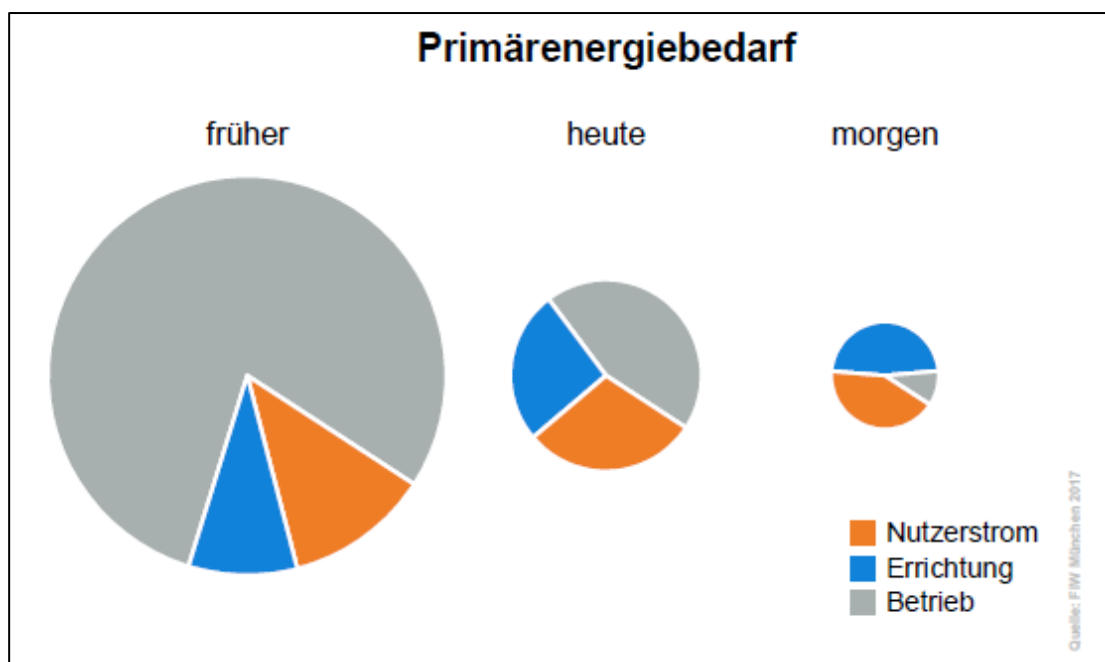


Abbildung 6: Qualitative Entwicklung des Primärenergiebedarfs, FIW München 2017

Die Menge des bei der Verbrennung entstehenden Kohlendioxids hängt von der Kohlenstoffmenge des Brennstoffes pro Energieinhalt ab. Ein Vergleich heute üblicher Energieträger und deren Emissionsfaktoren (CO₂-Äquivalent) ist der folgenden Tabelle 6 zu entnehmen. Die Umweltbelastung durch Kohlendioxid kann durch Energieeinsparung, die Verwendung kohlenstoffärmerer Energieträger und die Verwendung regenerativer Energieträger wie Sonne, Wind, Wasser, Biomasse, etc. reduziert werden.

Tabelle 6: Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren⁴

CO ₂ -Emissionsfaktoren	
Energieträger	g CO ₂ -Äquivalent/kWh _{End}
Strom	560
Erdgas	240
Fernwärme aus KWK (Gasförmige und flüssige Brennstoffe)	180

2.7 Berücksichtigung von Klimafolgekosten

Zusätzlich zu der rein monetären Wirtschaftlichkeitsbetrachtung von Maßnahmen zur energetischen Sanierung auf Grundlage der Energiekosteneinsparung, sollten bei der Sanierung des Gebäudes auch der Aspekt des Klimaschutzes sowie die dahingehend langfristigen politischen Ziele und die Vorbildfunktion von öffentlichen Gebäuden berücksichtigt werden.

Etwaige Klimafolgekosten werden bisher bei einer herkömmlichen Amortisationsbetrachtung auf Grundlage der Energiebezugspreise nicht berücksichtigt. Deutschland hat 2021 eine Besteuerung von Treibhausgasemissionen für die Sektoren Verkehr und Wärme eingeführt. Das nationale Emissionshandelssystem (nEHS) umfasst die bisherigen Nicht-ETS-Sektoren, Wärme und Verkehr. Im Bereich Wärme werden die Emissionen der Wärmeerzeugung des Gebäudesektors und der Energie- und Industrieanlagen außerhalb des EU-Emissionshandelssystems miteinbezogen.

Bis zum Jahr 2026 werden Zertifikate zu einem Festpreis an Unternehmen verkauft, die die Heiz- und Kraftstoffe in Verkehr bringen. Die höheren Preise werden anschließend entlang der Produktionskette weitergegeben. Ab 2026 wird eine maximale Emissionsmenge festgelegt, die

⁴ gem. Anlage 9 GEG

jährlich sinkt. Im Rahmen der Emissionshandelsrichtlinie findet eine Auktion auf einer Handelsplattform statt. Die Zertifikate werden zu einem Mindestpreis von 55 Euro pro Tonne CO₂ und einem Höchstpreis von 65 Euro pro Tonne CO₂ verkauft. Ab 2027 erfolgt die Preisbildung im Emissionshandel auf freiem Markt.

Das Umweltbundesamt (UBA) empfiehlt auf Grundlage der Methodenkonvention für im Jahr 2022 emittierte Treibhausgase einen Kostensatz von 237 Euro₂₀₂₂ pro Tonne Kohlendioxid (t CO₂) zu verwenden (1% Zeitpräferenzrate). Bei einer Gleichgewichtung klimawandelverursachter Wohlfahrtseinbußen heutiger und zukünftiger Generationen (0% Zeitpräferenzrate) ergibt sich ein Kostensatz von 809 Euro₂₀₂₂ pro Tonne Kohlendioxid. Dabei bezeichnet Euro₂₀₂₂ jeweils die Kaufkraft des Euro im Jahr 2022.⁵

Zu beachten ist, dass der Wert je nach Ort und Zeitpunkt starken Abweichungen unterliegt. Um die politische Akzeptanz sicherzustellen, wird eine stufenweise Erhöhung der Bepreisung von CO₂ wie in anderen Ländern empfohlen.

Aus wirtschaftlicher Perspektive wird ein Modell zur Prognose der zu erwartenden Mehrkosten durch die CO₂-Bepreisung herangezogen. Für jede Variante wird die entsprechende Wachstumsrate angesetzt. In Anbetracht der Klimazielvereinbarungen sollte bis zum Jahr 2040 mindestens der wissenschaftliche Mittelwert der Emissionskosten erreicht werden (s. Tabelle 7).

Tabelle 7: Klimafolgekosten

Jahr	Abgabesatz
	(€/t CO ₂)
2024	45
2025	55
2026	65
2027	75
2028	85
2029	100
2030	115
2040	265

⁵ UBA-Empfehlung zu den Klimakosten: Umweltbundesamt 10.08.2023, Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen

Die einzelnen Energieträger werden nach ihrer CO₂-Intensität unterschieden, um die differenzierte emissionsspezifische Wirkung zu erfassen. Dazu werden die jeweiligen CO₂-Äquivalente der zu untersuchenden Energieträger als Maßstab herangezogen (s. Tabelle 6).

Die CO₂-Abgabe für das Heizen wird nicht mehr allein von Mieterinnen und Mietern getragen. Die Kostenanteile werden künftig entsprechend dem Kohlendioxidausstoß des Gebäudes pro Quadratmeter Wohnfläche berechnet. Damit wird die energetische Qualität des Gebäudes als Bemessungsgrundlage herangezogen. Der Anteil der Vermieterseite steigt mit abnehmender energetischer Qualität des Gebäudes. In der untersten Stufe für Gebäude mit besonders hohem CO₂-Ausstoß tragen Vermieter bis zu 95 Prozent der CO₂-Abgabe. Das Gesetz beinhaltet zudem Ausnahmeregelungen für besondere Fallgestaltungen, beispielsweise wenn die Vorgaben des Denkmalschutzes eine bessere Dämmung der Wohnungen verhindern.

Im Bereich der Nichtwohngebäude erfolgt zunächst eine hälftige Aufteilung der Kohlendioxidkosten.

3 Allgemeine Informationen zur energetischen Sanierung

3.1 Kontext der Energieberatung

Das Förderprogramm zur „Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme“ (EBN) soll zur Steigerung der Energieeffizienz im Bereich der Nichtwohngebäude beitragen. Durch das Aufzeigen von Einsparpotenziale kann ein wesentlicher Beitrag zur Energieeffizienz und zum Klimaschutz in den Kommunen geleistet werden. Damit geht eine Steigerung der Energieeffizienz und Senkung des Energieverbrauchs einher. Die aktuelle Förderrichtlinie vom 13. November 2020 ist zum 01. Januar 2021 in Kraft getreten. Im Rahmen der Beratung sollen wirtschaftlich sinnvolle Energieeffizienzpotenziale in Nichtwohngebäuden aufgezeigt werden. Die individuellen Schwerpunkte werden dabei zwischen dem Auftraggeber und dem Berater festgelegt.

Das vorliegende Sanierungskonzept für die Werkhalle des Berufskollegs Jülich soll Maßnahmen zur Bauteilsanierung sowie Alternativen zur Beheizung des Gebäudes untersuchen. Weitere Maßnahmen sollen insbesondere den THG-Ausstoß reduzieren und idealerweise die Energiekosten senken.

3.2 Definition „Energieberatung“

Im Rahmen der Energieberatung soll durch ein energetisches Sanierungskonzept ein sinnvoller Weg aufgezeigt werden, wie für das zu beurteilende Nichtwohngebäude die Energieeffizienz sinnvoll gesteigert werden kann. Dies kann auf den zwei folgenden Wegen erfolgen:

1. Ausarbeitung und Darstellung von objektbezogenen Maßnahmen zum Erlangen eines energetischen Niveaus, das einem förderfähigen Effizienzgebäude entspricht
2. Erstellung eines energetischen Sanierungsfahrplans

Das erweiterte Ziel des energetischen Sanierungskonzepts ist die Bewertung der Effizienzmaßnahmen als Investitionen im Gegensatz zu Instandhaltungsmaßnahmen.

4 Vorstellung Beratungsobjekt:

4.1 Allgemeine Angaben zum Beratungsobjekt

Das Beratungsobjekt, die Werkhalle des Berufskolleg, befindet sich in Jülich im Kreis Düren in Nordrhein-Westfalen. Auf der Liegenschaft befinden sich zudem das mehrfach angebaute Hauptgebäude des Berufskollegs und die Kreissporthalle. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Standort des Gebäudes.

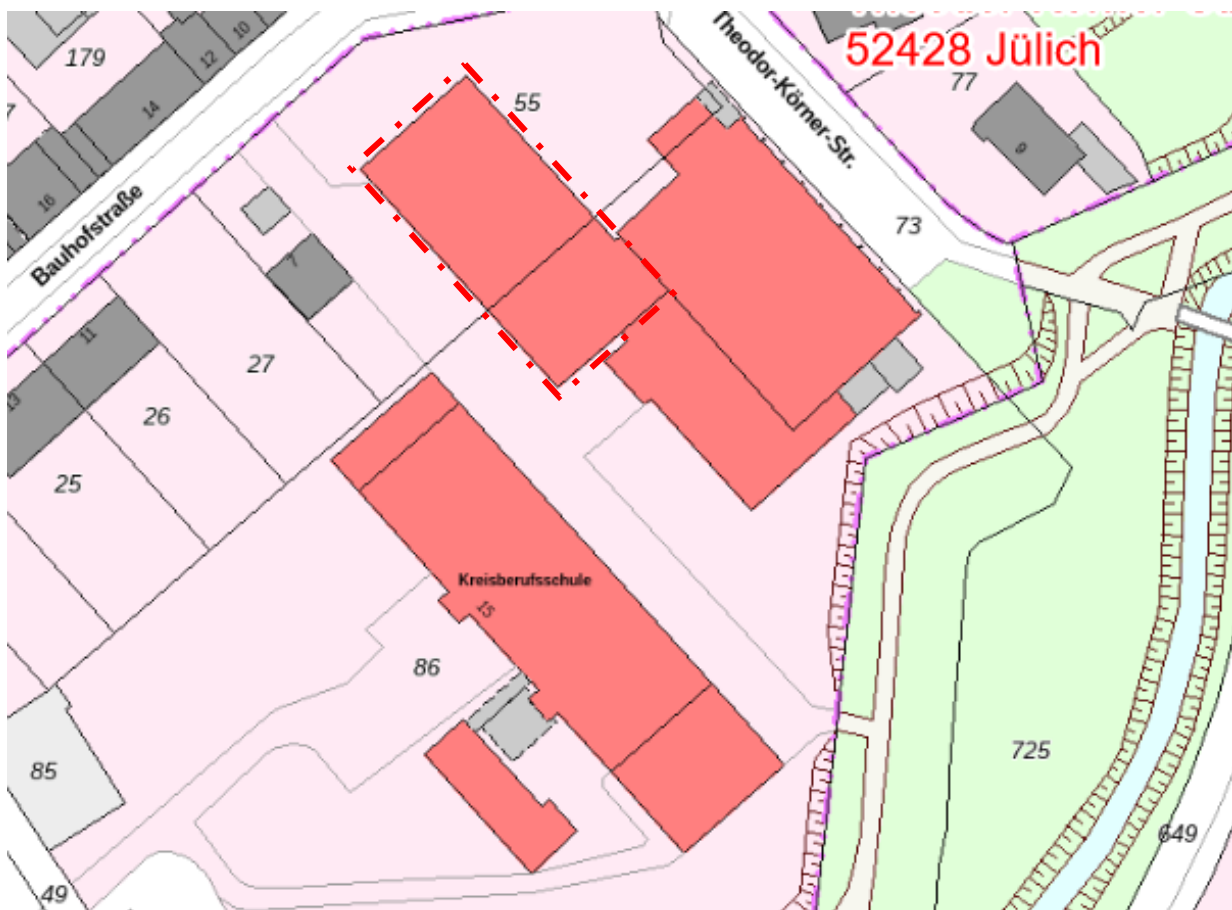


Abbildung 7: Lageplan, Quelle: www.tim-online.nrw.de (GeoBasis-DE / BKG 2020, Geobasis NRW)

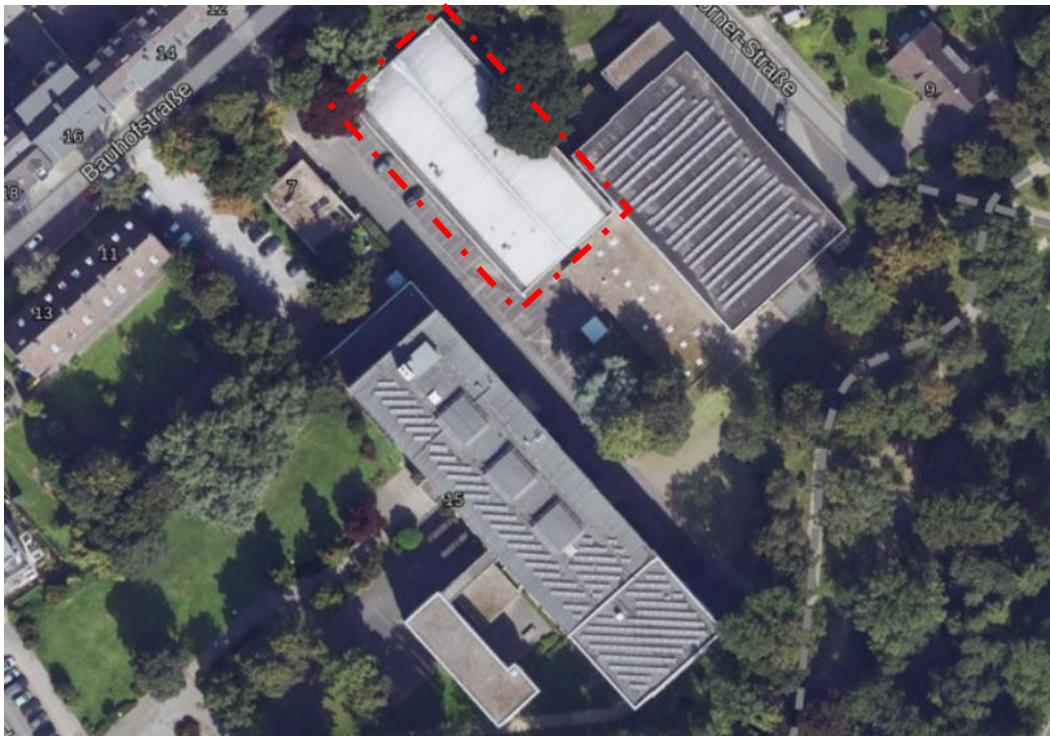


Abbildung 8: Luftbild, Quelle: www.tim-online.nrw.de (GeoBasis-DE / BKG 2020, Geobasis NRW)

Tabelle 8: Allgemeine Rahmendaten über das Beratungsobjekt

Gebäude:	Berufskolleg Jülich - Werkhalle
Standort/ Anschrift:	Bongardstraße 15 52428 Jülich
Art der Nutzung	Berufskolleg, Lehrwerkstatt (Schule)
Baujahr:	1965
beheizte Fläche des Gebäudes (NGF)	1.111 m ²
Hüllfläche A	3.167 m ²
beheiztes Volumen V_e	6.055 m ³

4.2 Gebäudebeschreibung

Die Nutzung des Gebäudes entspricht einem Mischbetrieb und kann zum Teil einem Schulgebäude und zu einem weiteren Teil mit einem Werkstattbetrieb mit leichten Tätigkeiten verglichen werden. Heute beinhaltet es drei Räume mit Nutzung als Unterrichtsraum, fünf „Labore“ mit handwerklichen Tätigkeiten ohne Bestuhlung und daneben zwei „Sammlungen“ sowie einen Kompressorraum und einen Sanitärbereich. Die Labore dienen als Lehr-Werkstätten für Holz- und Metall- und Elektro- und Pneumatik- zur Ausbildung in KFZ- und Landmaschinenteknik. Die Werkhalle wurde im Jahr 1965 errichtet, im Jahr 1973 wurden die Nebenräume der Sporthalle daran angebaut, wie aus dem Lageplan der Abbildung 7 zu entnehmen ist.

Das Gebäude ist eingeschossig ohne Keller und mit einem tragenden Gerüst aus Stahlbetonstäben und -trägern ausgeführt. Zwischen den Ständern wurden die Wände aus Kalksandstein aufgemauert und verklinkert. Es wird angenommen, dass eine dem Baujahr entsprechende Dämmschicht eingebracht wurde. Die Wärmeversorgung erfolgt über die Heizungsanlage im Schulgebäude des Berufskollegs. Um hinsichtlich der Bewertung der Primärenergiefaktoren konsistent zu den Annahmen beim Berufskolleg zu bleiben, wird in unserer Betrachtung die Wärmeversorgung wie ein eigenständiger Wärmeerzeuger für die Werkhalle behandelt.

Laut der Dokumentation des Auftraggebers wurde im Jahr 2005 das Dach der Werkhalle saniert und energetisch ertüchtigt, so dass die energetische Qualität des Daches dem heutigen GEG-Mindeststandard entspricht. Darüber hinaus wird angenommen, dass Anfang der 1990er Jahre die Fenster ausgetauscht und mit einer Zweifachverglasung ausgestattet wurden, welche aus heutiger Sicht eine unzureichende energetische Qualität aufweisen. Von diesen Maßnahmen abgesehen, entspricht der energetische Standard der Werkhalle augenscheinlich dem Jahr ihrer Errichtung. Somit ergeben sich einige Potenziale an der thermischen Gebäudehülle und der technischen Ausrüstung.

4.3 Zonierung des Gebäudes

Die nachfolgenden Abbildungen geben geschossweise einen Überblick über die Zuordnung der beheizten bzw. gekühlten Räume zur gewählten Zonierung nach DIN V 18599 Teil 10. Diese bildet die Grundlage für die energetische Bilanzierung nach DIN V 18599.[5].

Nr.	Bezeichnung
8	Klassenzimmer
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden
17	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume
18	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume
19	Unbeheizte Zone

Abbildung 9: Übersicht Farbskala mit Zuordnung der Zonen gemäß DIN V 18599 Teil 10

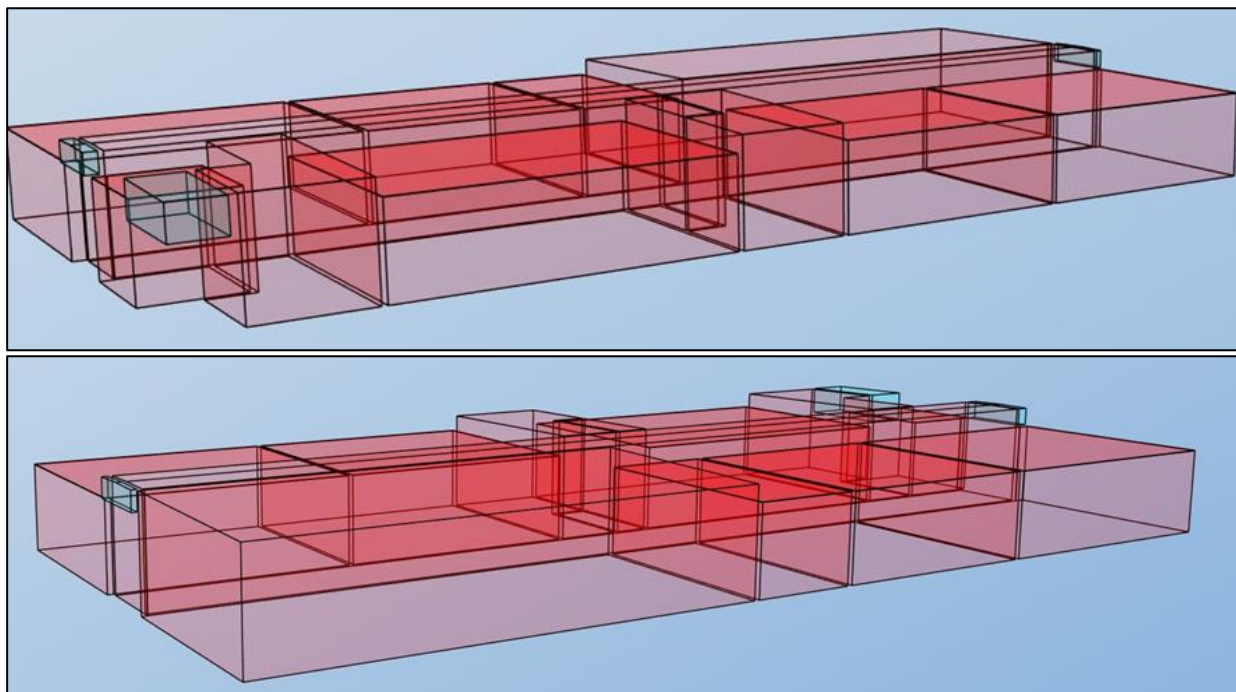


Abbildung 10: Thermische Hüllfläche im 3D-Gebäudemodell (rot)

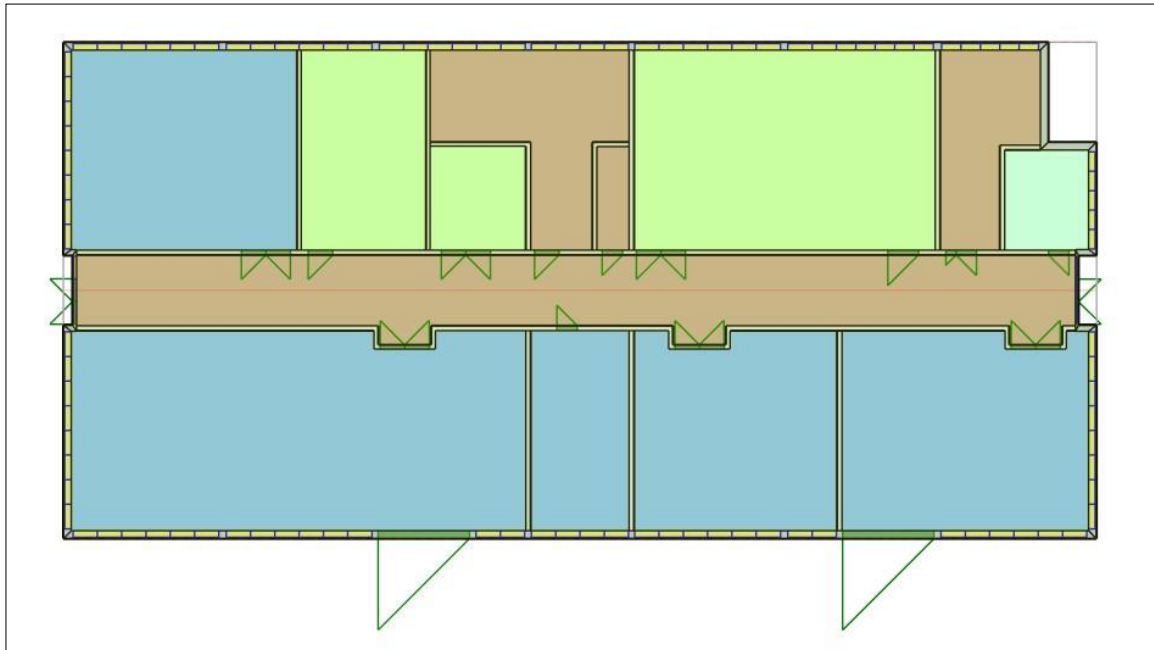


Abbildung 11: Zonierung 1 Erdgeschoss

4.4 3D Ansichten des digitalen Gebäudemodells

Nachfolgend sind die dreidimensionalen Ansichten des digitalen Gebäudemodells aufgeführt. Dieses wurde mit dem Programm Energieberater 2024 der Firma ETU Software (Hottgenroth) erstellt und diente als Grundlage für die Energiebilanzierung.

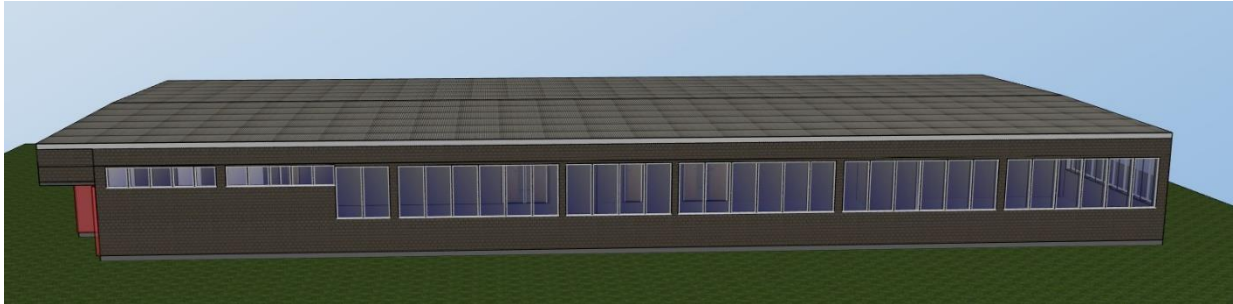


Abbildung 12: Nordost Ansicht

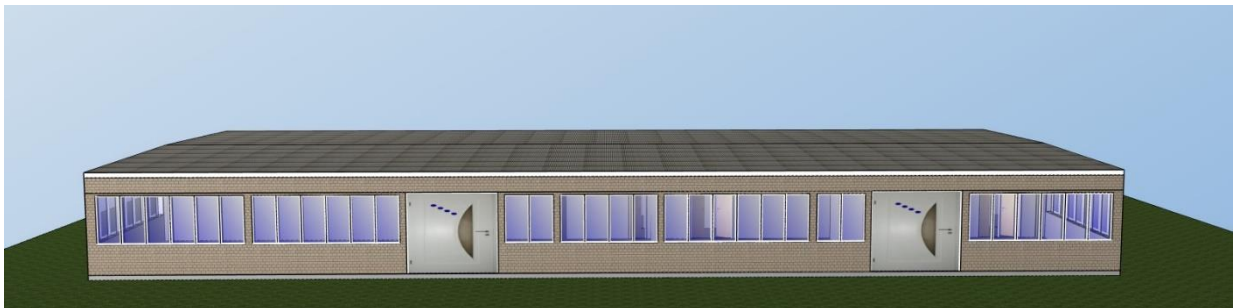


Abbildung 13: Südwest Ansicht

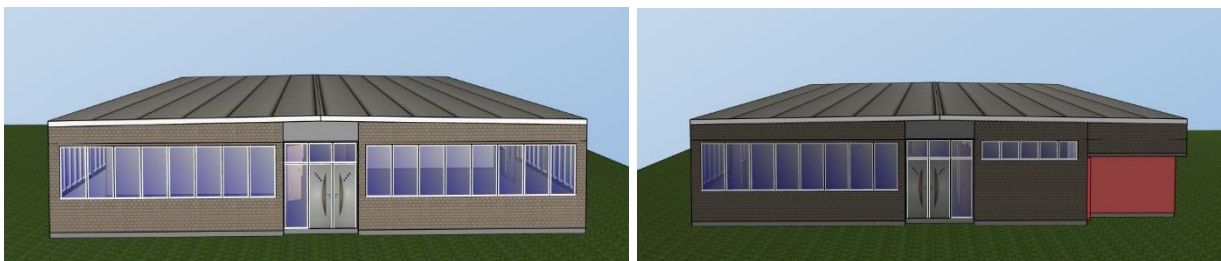


Abbildung 14: Nordwest-Ansicht // Südost Ansicht

4.5 Ansichten des Bestandsgebäudes

Im Folgenden ist eine fotografische Dokumentation des Bestandsgebäudes dargestellt. Diese wurde während des Vor-Ort-Termins erstellt.



Abbildung 15: Nordwestansicht Werkhalle



Abbildung 16: Nordostansicht



Abbildung 17: Südostansicht Werkhalle mit Nebengebäuden der Sporthalle (rechts) und mit Sporthalle (Hintergrund)



Abbildung 18: Südwestansicht

5 Beschreibung der Gebäudehülle – Bestand

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung gestellten Unterlagen sowie der vor Ort gewonnenen Erkenntnisse wurden die verschiedenen Konstruktionen mit den jeweiligen Flächen erfasst.

Die Bauteile wurden im Rahmen einer Ortsbegehung am 26. März 2024 erfasst. Bauteilaufbauten, die nicht vollständig ohne Bauteilöffnungen ermittelt werden konnten, wurden anhand der vorliegenden Planunterlagen sowie unter Berücksichtigung baualterstypischer Annahmen ergänzt.

5.1 Bauteilbeschreibung

Das Bauteil des oberen Gebäudeabschlusses entspricht dem Stand nach Sanierung ca. im Jahr 2005. Das Dach ist auf den vorhandene Stegplatten wie folgt neu aufgebaut worden: es wurde mit einer neuen Abdichtung, sowie mit 16-18 cm „komprimierte Mineralfaserdämmung“ als MF-Dämmplatte und Alu-Profilblechplatten versehen. Der U-Wert berechnet sich demnach zu $U_D = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ weshalb aktuell keine Sanierung mehr notwendig ist. (Abbildung 19)

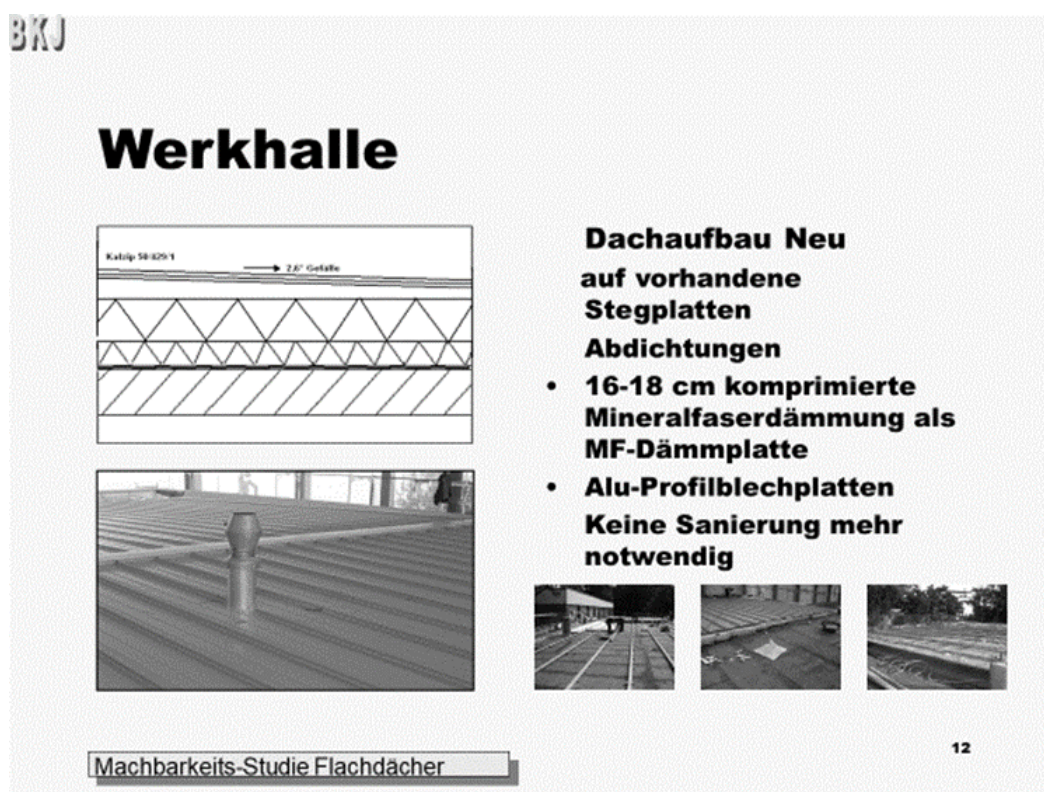


Abbildung 19: Dach Werkhalle nach Sanierung (lt. Kunden-Bericht)

Die Außenwände des Gebäudes bestehen im Bereich bis etwa 4 m Höhe aus Stahlbetonstützen und zwischen den Stützen bis zur Brüstungshöhe von etwa 1,5 m aufgemauertem 24 cm Kalksandsteinziegel. Bis auf Brüstungshöhe ist eine Klinkerfassade vorgesetzt. Dazwischen wird eine dem Baujahr entsprechend starke Dämmschicht 3,5 cm angenommen. Der Bereich oberhalb der Brüstungshöhe ist – abgesehen von den Tür- und Torflächen – vollständig mit Fenstern ausgestattet. Ausnahmen bilden die Außenwände, welche an die angebauten Bereiche der Sporthallen-Nebenräume grenzen. Hier sind die Außenwände nur oberhalb des Nebengebäudes in einer Höhe von etwa 3 bis 4 m mit Fenstern ausgestattet.

Der Bereich oberhalb von 4 m besteht aus 20 cm starken Stahlbetonträgern, die scheinbar ungedämmt sind. Zwar weisen die Mauerwerke bzw. Stahlbetonkonstruktion teilweise unterschiedliche Wandstärken auf, diese wurden aber vereinfacht in der nachstehenden Tabelle 9 angenommen, da der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) hierdurch nur marginal beeinflusst wird.

Bei Beantragung einer BEG-Förderung sollten die Bauteilaufbauten noch einmal durch Bauteilöffnungen verifiziert werden. Für den unteren Gebäudeabschluss des Gebäudes wird ein geringfügig gedämmter Betonboden mit einem U-Wert entsprechend des Baualters zu Grunde gelegt. Da die Bodenoberfläche der Werkhalle in verschiedenen Räumen unterschiedlich ausgeführt ist, wird die einfachste Ausführung mit Betonfußboden für die Berechnung herangezogen.

Die Eingangstüren sind gegenüber den Außenwänden zurückversetzt und so durch die Dachfläche überdacht.



Abbildung 20: Zurückgesetzte Eingangstüren

Die Außentüren des Gebäudes sind verglast und scheinen aus der Zeit der Errichtung, spätestens jedoch aus der Zeit des Sporthallenbaus zu stammen. Demnach werden die Türen altersentsprechend mit einem U-Wert von $U_D = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bewertet.

Zu den Fenstern liegen keine genauen Informationen vor. Es wird daher angenommen, dass diese in den Jahren zwischen 1985 und 1995 ausgetauscht wurden. Den doppelverglasten Scheiben sowie den Metall-Rahmen wird eine altersentsprechende energetische Qualität zugeordnet. Demnach werden die Fenster mit einem U-Wert von $U_D = 3,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen.

In der Südwest-Seite des Gebäudes befinden sich zwei große Sektionaltore. (Abbildung 21) Es wird angenommen, dass diese aus der Zeit der Errichtung sind. Diese werden deshalb altersentsprechend mit einem U-Wert von $U_D = 3,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bewertet.

In der Außenwand nach Südost befindet sich eine Ventilatoreinrichtung (Abbildung 22). Aufgrund hoher anzunehmender Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste muss insbesondere im Sanierungsfall eine energetisch optimierte Ersatzlösung geschaffen werden.

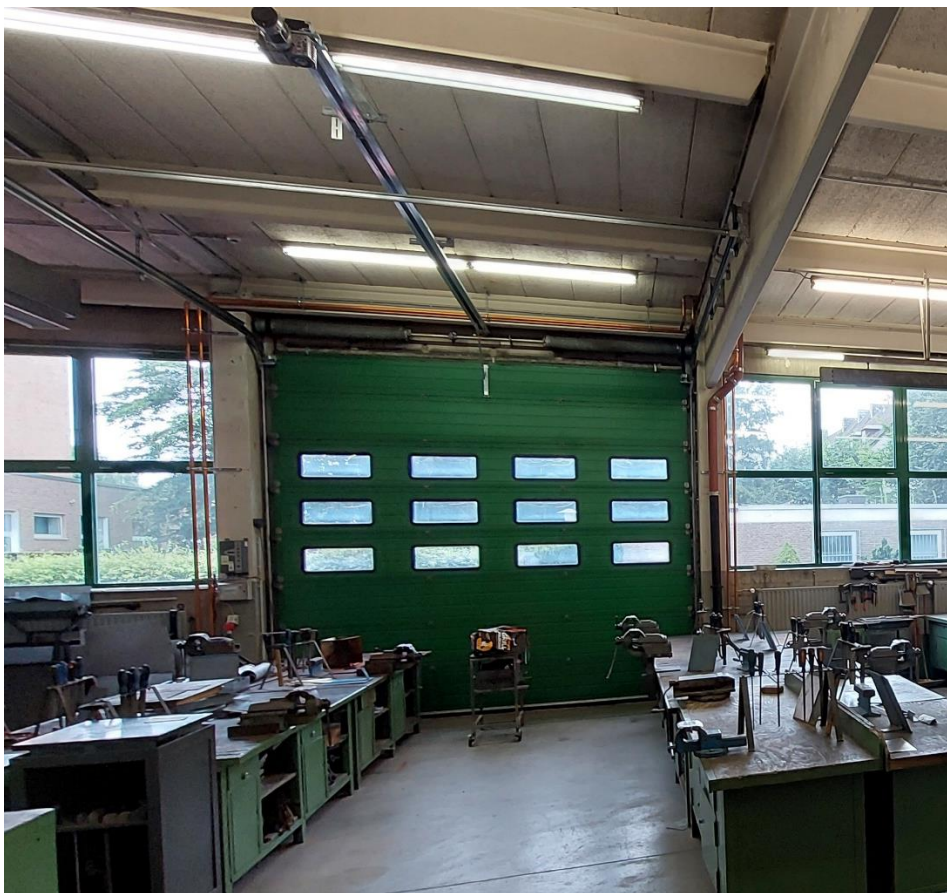


Abbildung 21: Sektionaltor Innenansicht



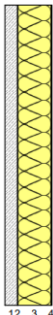
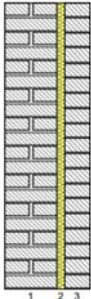

Abbildung 22: Ventilatoreinrichtung – Fahrzeugtechnik – Innenansicht / Außenansicht

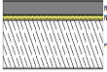
5.2 Bauteilübersicht

In der folgenden Tabelle ist eine Übersicht über die beschriebenen Bauteile (s. 5.1) im Schichtaufbau dargestellt. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass im Falle einer Beantragung einer BEG-Förderung die Aufbauten vorher mittels Bauteilöffnung verifiziert werden sollten. Die Bauteile wurden zunächst anhand der zerstörungsfreien, optischen Begutachtung im Rahmen der Vor-Ort-Begehung, vorhandenen Planunterlagen, bautypischen Bauteilaufbauten für das jeweilige Baualter und Angaben des Bauherrn abgeschätzt.

Tabelle 9: Bauteilaufbauten im IST-Zustand

Bauteilübersicht

Kennung	Bauteil		
<i>Dach</i>			
	Dach Gesamtdicke: 24,6 cm	U-Wert:	0,198
		W/(m² K)	
		d	λ
		cm	W/(m K)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
1 Porenbeton dampfgehärtet (600 kg/m³)	6,00	0,190	
2 Bitumendachbahn	0,30	0,170	
3 Mineral. Dämmstoff (WLG 035)	16,00	0,035	
4 Aluminiumblech	0,30	160,000	
<i>Wand gegen Außenluft</i>			
	AW Kalksandstein+Klinker Gesamtdicke: 39 cm	U-Wert:	1,164
		W/(m² K)	
		d	λ
		cm	W/(m K)
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen			
1 Kalksandstein, NM/DM (2000 kg/m³)	24,00	1,100	
2 Holzwolle-Leichtbauplatten („Heraklit“)	3,50	0,090	
3 Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker, NM/DM (2400kg/m³)	11,50	1,400	
	AW Stahlbeton-Träger Gesamtdicke: 15 cm (lt. Bauplan)	U-Wert:	4,348
		W/(m² K)	
		d	λ
	cm	W/(m K)	
Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen			
1 Beton armiert mit 2% Stahl	15,00	2,500	

Kennung	Bauteil		
<i>Boden gegen Erdreich</i>			
	Bodenplatte Gesamtdicke: 28,0 cm	U-Wert: W/(m ² K)	1,20
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	d cm	λ W/(m K)
	1 Zementestrich	5,00	1,400
	2 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLG 040)	2,00	0,040
3 Beton armiert mit 2% Stahl	20,00	2,500	
<i>Fenster (nach außen)</i>			
	Alufenster BJ 1993	U-Wert: W/(m ² K)	3,200
	Alufenster BJ 2014 (einzelne Fenster)	U-Wert: W/(m ² K)	1,500
	Festverglasung neben Türen	U-Wert: W/(m ² K)	3,200
<i>Tür (nach außen)</i>			
	Außentüren Bestand	U-Wert: W/(m ² K)	2,700
	Tore	U-Wert: W/(m ² K)	3,700

5.3 Einordnung der thermischen Qualität der Gebäudehülle

Um die ermittelten U-Werte der einzelnen Bauteile besser einschätzen zu können, ist eine Betrachtung im Verhältnis zu aktuellen Anforderungen und zum derzeitigen Stand der Technik erforderlich. Die folgende Tabelle bietet Ihnen die Möglichkeit, die berechneten U-Werte mit den heutigen Mindestanforderungen des Gebäudeenergiegesetzes [7] sowie der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG-Einzelmaßnahmen) zu vergleichen:

Tabelle 10: Übersicht U-Werte der opaken und transparenten Bauteile im IST-Zustand mit Vergleich zu Anforderungen nach GEG und BEG-EM

Konstruktion		IST	GEG ⁶	BEG-EM ⁷
opake Bauteile	Nr.	W/(m ² K)	W/(m ² K)	W/(m ² K)
Dach	1	0,198	0,2	0,14
AW Kalksandstein + Klinker	2	1,164	0,24	0,2
AW Stahlbeton-Träger	3	4,348	0,24	0,2
Bodenplatte	4	1,33	0,50 / 0,30	0,35 / 0,25
transparente Bauteile				
Fenster (BJ 2014)	12	1,5	1,3	0,95
Fenster (BJ 1993)	13	3,2	1,3	0,95
Tore / Lichtkuppeln	14	3,7	2,5	1,5
Türen mit Verglasung (Haupteingang)	15	2,7	1,8	1,3

*Beim Bauteil „Außenwand“ gelten die Werte nach GEG für eine Außendämmung – an eine Innendämmung werden keine Anforderungen gestellt.
**Beim Bauteil „Bodenplatte“ gelten die geringeren Anforderungen für einen neuen Fußbodenaufbau – die größeren Werte für eine vollständige Sanierung

Legende:

- Ein Austausch macht aus energetischen und/oder bauphysikalischen Gründen wenig Sinn.
- Ein Austausch sollte im Zuge von Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden.
- Ein Austausch macht aus energetischen oder bauphysikalischen Gründen viel Sinn.

Abgesehen vom im Jahr 2025 sanierten Dach entspricht keines der Bauteile im Bestand den Anforderungen nach GEG bei Sanierung von Bauteilen. Insbesondere die thermische Hülle der Außenwände weicht stark von den Soll-Werten ab. Auch die Fenster und Außentüren sind in ihrer energetischen Qualität deutlich schlechter als dies bei einem Austausch nach dem GEG vorzusehen wäre.

⁶ nach GEG, Anlage 7 – Werte für normal beheizte Zonen $\geq 19^{\circ}\text{C}$

⁷ Technische Mindestanforderungen nach BEG EM, Stand 01/2021

6 Technische Gebäudeausrüstung

Im Folgenden wird der aktuelle Zustand der technischen Gebäudeausrüstung beschrieben und bewertet.

6.1 Wärmeerzeugung

Die Wärmeversorgung erfolgt, wie auch für die Sporthalle, über den Anschluss an das Heizungssystem des Hauptgebäudes des Berufskollegs aus dem Jahr 2007, wobei keine separate Wärmemengenmessung etabliert ist. Der gemessene Wärmeverbrauch wird darum gemäß dem ermittelten Bedarf jedes Gebäudes anteilig (für die Werkhalle 16 %) aufgeteilt. Die Heizungstechnik wird im Folgenden nicht gesondert betrachtet, sondern im Rahmen des Beratungsberichts für das Hauptgebäude des Berufskollegs behandelt. Maßnahmen, welche für das Hauptgebäude vorgesehen werden, müssen demnach geeignete Lösungen für die Werkhalle mitberücksichtigen.

Allein die Versorgung mit Warmwasser an den wenigen Entnahmestellen in der Werkhalle erfährt eine eigenständige Betrachtung.

Die Leitungen von der Heizzentrale zur Werkhalle sind augenscheinlich im Tiefbau verlegt und gedämmt. Die genaue Lage und Ausführung sind nicht bekannt. Wärmeverluste dieser Leitungsabschnitte wurden im Rahmen dieses Berichts deshalb nicht konkret quantifiziert.

Die Wärmeübergabe an die Raumluft erfolgt über freie Heizflächen (Heizkörper).



Abbildung 23: Werkhalle: Freie Heizkörper (links) / Verteilleitungen im Flur nicht gedämmt (rechts)



Abbildung 24: Hydraulisches System – Strangleitungen in der Werkhalle

Die Bewertung der Heizungstechnik der Werkhalle folgt der Betrachtung der Heizungsanlage des Hauptgebäudes.

Tabelle 11: Übersicht zur Wärmeerzeugung, Verteilung und Übergabe

Wärmeerzeuger	Gas-Brennwertkessel Primärenergiefaktor $f_P = 1,10$
Verteilung	Horizontale Verteilleitungen, überwiegend innenliegend; im sichtbaren Bereich nicht gedämmt. Vertikale Strangleitungen und Anbindeleitungen innerhalb der beheizten Zonen, überwiegend ungedämmt
Wärmeübergabe und Regelung	freie Heizkörperflächen mit Thermostatventilen

6.2 Brauchwasserbereitung

Die Warmwasseraufbereitung, auch als Brauchwasserbereitung bezeichnet, umfasst das Erhitzen von Trinkwasser in einem Wassererwärmer. Bei der Warmwasseraufbereitung wird zwischen zwei Arten unterschieden: der zentralen und der dezentralen Warmwasseraufbereitung. Bei zentralen Anlagen befindet sich ein Wasserspeicher an einem Ort, beispielsweise im Keller, und wird von dort aus an die verschiedenen Entnahmestellen geleitet. Bei dezentralen Systemen hingegen befinden sich die Speicher direkt bei der Entnahmestelle. Die Auswahl der optimalen Energieberatung Berufskolleg in Jülich – Werkhalle EBN 80018816

Technologie ist von verschiedenen Faktoren abhängig, darunter das jeweilige Gebäude, der Energieverbrauch und die bereits installierte Warmwasserversorgung.

In der Werkhalle besteht augenscheinlich ein zentraler Warmwasseranschluss mit Zirkulation, es wird angenommen lediglich den Bedarf der Sanitärräume und ggf. auch der Klassenräume decken muss. Dieser Warmwasseranschluss ist jedoch nicht im Verteilerkreis der Heizzentrale im Hauptgebäude wiederzufinden. Es wird daher vermutet, dass der Anschluss zur Warmwasserbereitung der Sporthalle besteht. Im Rahmen dieses Berichts wird angenommen, dass als Wärmeerzeuger für das Warmwasser der Sporthalle ein Puffertank mit Wärmetauscher an das Heizungssystem des Hauptgebäudes angeschlossen ist. Dafür sprechen auch die Abgänge mit den hohen Temperaturen von 80° C in der Verteilerstation des Hauptgebäudes (siehe auch Kapitel 6.1 des Berichts zum Berufskolleg). In den Monaten außerhalb der Heizperiode wird in diesem Fall der Heizkessel lediglich für eine im Verhältnis sehr kleine Menge Brauchwasser betrieben.

6.3 Lüftungstechnik

Die Belüftung des Gebäudes erfolgt im Wesentlichen manuell durch Fensterlüftung.

In einigen Laboren / Lehrwerkstätten sind prozessrelevante Ablufteinrichtungen installiert, für die zum Ausgleich obligatorisch entsprechende Nachström-/Zuluftöffnungen in der Fassade als vorhanden angenommen werden.

Auf dem Dach (Abbildung 25) befinden sich augenscheinlich folgende Elemente : eine Zuluft-Haube für den Kompressor (Ansaugung), eine Ablufteinrichtung für den Kompressorraum (dezentral), ein Kamin für die Esse der Metallwerkstatt, eine Ablufteinrichtung für die Metallwerkstatt – Schweißkabine und Schmiedebereich (dezentral), und weiter eine Zuluft-Einrichtung (Deckenlüftung) KFZ sowie eine Ablufteinrichtung (Abgasabsaugung) für den Bereich Fahrzeugtechnik N1 sowie eine weitere Ablufteinrichtung, die dem Raum Fahrzeugtechnik N2 zugeordnet wird (Abbildung 26, Abbildung 27). Für weitere Informationen zur Lüftungstechnik verweisen wir auf Kapitel 10.2.



Abbildung 25: Dach mit Abluft- und Ansaugeinrichtung



Abbildung 26: Beispiel: KFZ-Labor (N1) Abgasabsaugung (links) / Zuluft-Einlass (rechts)

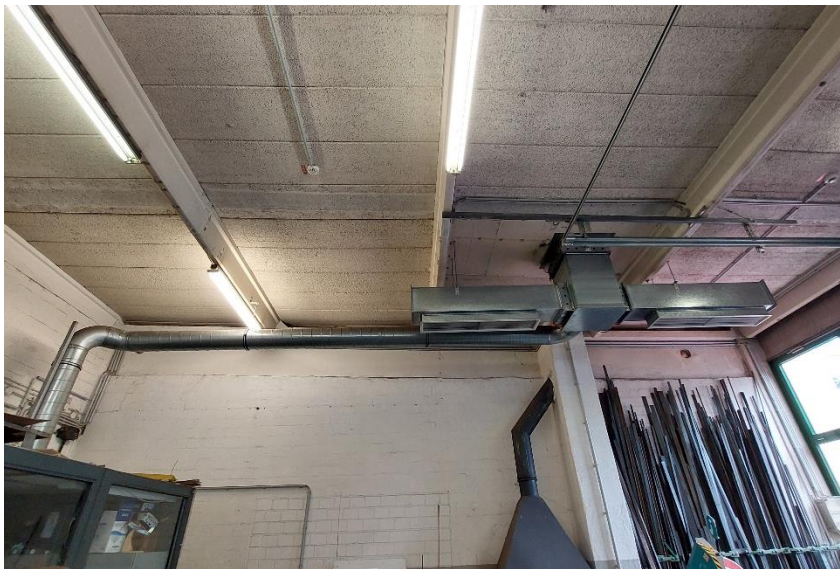


Abbildung 27: Beispiel: Metall-Labor (N4) Abgasabsaugung Schweißkabine + Esse (Schmiede)

Im Rahmen einer umfassenden Sanierungsmaßnahme empfehlen wir, auch die Möglichkeit einer mechanischen Belüftung des gesamten Gebäudes zu prüfen. Die Gebäudehülle von sanierten Gebäuden ist aus Gründen der Minimierung von Wärmeverlusten sehr luftdicht ausgeführt. Es ist deshalb von großer Bedeutung, die Innenräume regelmäßig zu lüften. Eine Lüftung über die Fenster ist ebenfalls möglich, allerdings geht dabei Wärmeenergie verloren. Eine Lüftungsanlage gewährleistet, dass ausreichend Frischluft durch das Gebäude zirkuliert, um Gerüche, Feuchtelasten und Schadstoffe abzuführen. Die frische Luft trägt zu hygienischen Verhältnissen und einer behaglichen Umgebung bei.

Die Praxis zeigt zudem, dass in Nichtwohngebäuden nicht alle Räume konform gelüftet werden. Im Rahmen der Baubegleitung zur BEG-Fördermaßnahme ist zudem ein Lüftungskonzept zu erstellen. Dieses hat die Sicherstellung des benötigten Mindestluftwechsels zum Feuchteschutz und nach Arbeitsstättenrichtlinie zum Ziel.

Auch der Einbau von Anlagen zur effizienten Lüftung gehört zu den förderfähigen Maßnahmen im Rahmen der BEG-Einzelmaßnahmen. Die Förderung umfasst den Einbau von Anlagentechnik in Bestandsgebäuden zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudes, beispielsweise in Form einer energieeffizienten raumluftechnischen Anlage. Der Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung im Verbund mit der Deckung von mindestens 65 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs aus erneuerbaren Energien führt zur Einhaltung der Anforderungen an die EE-Klasse im Rahmen der Förderung und damit zu einem zusätzlichen 5%-Bonus im Zuge der Effizienzgebäudeförderung.

6.4 Kühlung

Eine aktive Kühlung ist in der Werkhalle nicht installiert.

Über die BEG-EM wird der Einbau energieeffizienter Kälteerzeugungsanlagen gefördert. Dazu gehören: Wärmegetriebene Kälteanlagen zur Nutzung von Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung oder von Prozessabwärmern, Kompressionskälteanlagen mit Leistungsregelung, Hydraulischer Abgleich sowie die Dämmung ungedämmter oder unzureichend gedämmter Wärme-/Kälteverteilungen und Armaturen. Im Rahmen der Förderung werden weiterhin anlagentechnische Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz kältetechnischer Anlagen in Nichtwohngebäuden unterstützt. Gefördert werden alle Maßnahmen, die für die Ausführung und Funktionstüchtigkeit erforderlich sind. Dies umfasst das Material sowie den fachgerechten Einbau, die Inbetriebnahme und die Einregulierung durch die jeweiligen Fachunternehmen.

6.5 Beleuchtung

Die meisten Räume werden über Leuchtstoffröhren mit konventionellen Vorschaltgeräten (KVG) beleuchtet. Teilweise sind die Vorschaltgeräte auch elektronisch (EVG). In den Klassenräumen kommen LED-Ersatzlampen zum Einsatz, welche auch an einzelnen Positionen in den Lehrwerkstätten eingesetzt sind.

In einigen Bereichen, wie beispielsweise in WC-Räumen kommen Präsenzmelder zum Einsatz.













Zone	Beleuchtungsbereich	A	A_w	A_TL	E_m	Lampe	P_el
 Klassenzimmer (Schule), (Beleuchtung 1		346	40,86		300	 LEDs in LED-Leuchten	3,6
WC	WC und Sanitärräume in I Beleuchtung 1	20	4,51		200	 Leuchtstofflampe - kompakt, EVG int	11,8
	Nebenflächen ohne Außer Beleuchtung 1	282	39,92		100	 Leuchtstofflampe - stabförmig, EVG	2,7
	Verkehrsfläche						
	Sonstige Aufenthaltsraum Beleuchtung 1	463	184,71		300	 Leuchtstofflampe - kompakt, EVG int	12,9

Abbildung 28: Übersicht installierte Lampenleistung und Beleuchtungskontrolle je Zone - IST-Zustand (A = Fläche des Bereichs; A_w = Fensterfläche; A_TL Tageslichtabdeckung bei Tag; E_m = benötigte Beleuchtungsstärke; P_el = resultierende elektrische Leistung in W/m²)

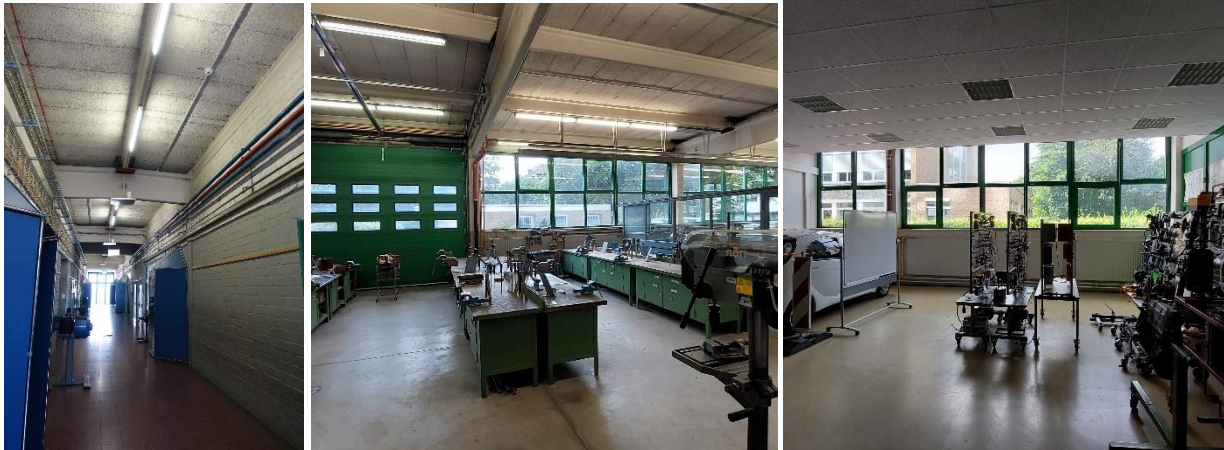


Abbildung 29: Beleuchtung über Leuchtstoffröhren in Flur / Werkhalle / Laboren

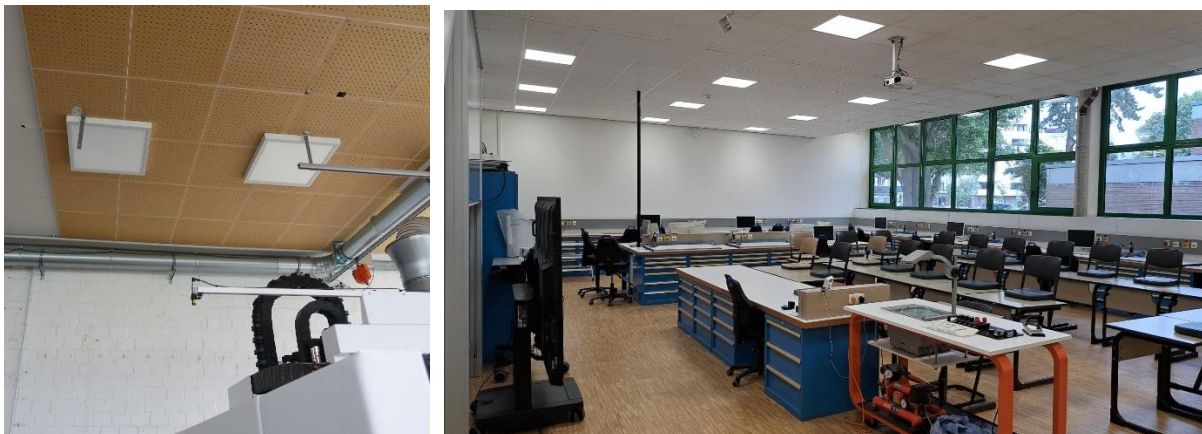


Abbildung 30: LED-Beleuchtung in Werkräumen // LED-Beleuchtung Klassenzimmern

Analog zu den Einzelmaßnahmen der Anlagentechnik und Gebäudehülle wird der Einbau energieeffizienter Innenbeleuchtungssysteme mit 15 % der förderfähigen Kosten bezuschusst. Die Förderung umfasst den Einbau von Beleuchtungssystemen für Innenräume mit hoher Systemlichtausbeute und hohem Lichtstromerhalt. Die Förderung umfasst ausschließlich den kompletten Leuchten-Tausch (keine Einzelkomponenten von Leuchten), einschließlich sonstiger erforderlicher Nebenarbeiten und Komponenten sowie die Erstellung eines Beleuchtungskonzepts. Grundsätzlich werden alle Maßnahmen gefördert, die für die Ausführung und Funktionstüchtigkeit erforderlich sind. Lampen, die nicht fest verbaut, für den späteren Einbau oder für den Einbau in bestehende Bestandsleuchten vorgesehen sind, z. B. Retrofit, Ersatzlampen, sind nicht förderfähig. Des Weiteren werden der Einbau sowie der Ersatz von Mess-, Steuer- und Regelungstechnik gefördert, sofern diese der Realisierung eines Gebäudeautomatisierungsgrades von mindestens Klasse B nach DIN V 18599-11 dienen (inklusive

notwendiger Feldgeräte). Beispiele für förderfähige Maßnahmen sind tageslicht- oder präsenzabhängige Steuerung oder Regelung von Beleuchtungsanlagen. Es wird empfohlen, insbesondere Leuchtstofflampen und Glühlampen gemäß dem Stand der Technik durch effiziente LED-Lampen zu ersetzen.

6.6 Sommerlicher Wärmeschutz

Das Gebäude ist nicht mit außenliegendem Sonnenschutz ausgestattet.

Innenliegender Sonnenschutz ist in Form von Innenjalousien teilweise vorhanden. Diese fungieren meist jedoch nur als Blendschutz, weil die Sonnenstrahlen dennoch in den Raum eindringen und beim Auftreffen auf eine Oberfläche zu einem großen Teil in Wärme umgewandelt werden.

Aufgrund des hohen Verglasungsanteil muss insbesondere die nach Südwesten ausgerichtete Fassade als kritisch betrachtet werden, da diese eine insgesamt große verglaste Fläche hat. Hier ist davon auszugehen, dass insbesondere im Sommer häufiger Überhitzungen auftreten.

Hier gelangt zwar eine große Lichtmenge in die Räume, aber übermäßiges Aufheizen wird nicht verhindert. Neben einer verbesserten Wärmeschutzverglasung wird insbesondere für die Südwestrichtung und die Südostausrichtung ein außenliegender Sonnenschutz vorgeschlagen.

Förderfähig ist der Ersatz oder der erstmalige Einbau von außenliegenden Sonnenschutzrichtungen mit optimierter Tageslichtversorgung z.B. über Lichtlenksysteme oder strahlungsabhängige Steuerung. Im Rahmen der BEG-Einzelmaßnahme „Sommerlicher Wärmeschutz“ sind ausschließlich außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen nach DIN 4108-2 Tabelle 7 Zeile 3.1 bis 3.3 (unabhängig von der Art des Antriebes) förderfähig. Außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen gemäß DIN 4108 2 Tabelle 7 Zeile 3.1 bis 3.3 sind zum Beispiel:

- Fensterläden und Rollläden
- Jalousien und Raffstores
- Markisen, die parallel zu Fenstern in der thermischen Gebäudehülle verlaufen

Im Rahmen der Einzelmaßnahme „Fenster“ können zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen gefördert werden. Bei Effizienzgebäuden können sowohl außenliegende als auch zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen gefördert werden.

7 Darstellung der Energiebilanz des Bestands

Die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Bauteilqualitäten, Flächen sowie die beim Vor-Ort-Termin festgestellten Eigenschaften der Anlagentechnik bilden die Grundlage für die Berechnung der Energiebilanz nach DIN V 18599 [5]. Damit lassen sich die energetischen Eigenschaften und Schwachstellen des Gebäudes analysieren.

7.1 Zusammenstellung der Zonen, Bauteile, Flächen und U-Werte

Im Rahmen der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 erfolgt eine Unterteilung des Gebäudes in Zonen. Die Zusammenfassung von Räumen bzw. Raumgruppen erfolgt auf Basis gleichartiger Nutzungsprofile, Kriterien zur Raumkonditionierung sowie weiterer Faktoren. Im Folgenden werden die zu Grunde gelegten Zonen aufgelistet. Die jeweilige Zuordnung zu den Räumen bzw. Bereichen ist in Kapitel 4.3 zu finden.

Die Analyse der Flächennutzung (Abbildung 31) ergibt, dass die Zonen „Sonstige Aufenthaltsräume“ (Werkstätten & Labore) und „Klassenzimmer“ eine relevante Rolle beim Energiebedarf spielen. Die „Nebenflächen“ (Sammlungen & Flure) haben flächenmäßig ebenfalls einen großen Anteil im Gebäude.






Nr	Zone	A_NGF
1	 Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)	228
2	 WC WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	20
3	 Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	282
4	 Verkehrsfläche	13
5	 Sonstige Aufenthaltsräume	581

Abbildung 31: Übersicht Zoneneinteilung des Gebäudes inkl. Nutzfläche (A_{NGF}) nach DIN V 18599 sowie Farbcode für Konditionierung (Grün = Lüftung, Rot = Heizung, Blau = Warmwasser, Gelb = Beleuchtung)

Abbildung 32 stellt die nutzungsspezifischen Eigenschaften dar. Hierin sind die Nutzungstage (Spaltenüberschrift: Tage) und die Nutzungsstunden je Tag aufgeführt. Letztere werden in der dahinterstehenden Klammer zusätzlich aufgeteilt nach Nutzungsstunden am Tag und in der Nacht. Es folgen die Dauer je Tag ($t_{v_op_d}$) in der die Heizung die Zone voll beheizt und die Tage an denen die Zone grundsätzlich beheizt wird (d_{op_a}). In den übrigen Zeiten fährt die Heizung in einen Absenkbetrieb oder ist ausgeschaltet (Sommerbetrieb). Die Werte aus den standardisierten Nutzungsprofilen wurden an die tatsächlichen Bedingungen im Gebäude angeglichen, um so den berechneten Energiebedarf dem tatsächlichen Energieverbrauch anzupassen. Eine Gegenüberstellung dieser Werte finden Sie im Kapitel 7.5.

Nutzung	Tage	Nutzungsstunden	$t_{v_op_d}$	d_{op_a}
8 - Klassenzimmer (Schulen), Gruppenraum (Kinder	200	7 (7/0)	9	200
16 - WC, Sanitärraum (in Nichtwohngebäuden)	250	11 (10/1)	13	250
18 - Nebenfläche (ohne Aufenthaltsräume)	250	11 (10/1)	13	250
19 - Verkehrsfläche / unbeheizte Zone	250	11 (10/1)	13	250
17 - Sonstige Aufenthaltsräume	250	11 (10/1)	13	250

Abbildung 32: Anteil der Zonen an der beheizten Bezugsfläche

Im Folgenden werden alle wärmeübertragenden Flächen des Gebäudes mit Einbauzustand, U-Werten und Flächen aufgelistet. Diese U-Werte wurden in der Berechnung berücksichtigt.

Tabelle 12: Zusammenstellung der wärmeübertragenden Gebäudehüllfläche*

Konstruktion	Nr.	U-Wert W/(m ² K)	Fläche m ²
opake Bauteile			
Außenwand Beton (Stahlbetonträger)*	2	4,35	155
Außenwand Kalksandst. + Klinker	3	1,16	251
Flachdach	1	0,20	1.232
Bodenplatte*	4	1,20	1.215
transparente Bauteile / Türen / Lichtkuppeln	Nr.	W/(m²K)	m²
Fenster	13	3,2	270
Rolltore	14	3,7	36
Türen großflächig verglast	15	2,7	13

*Eine energetische Bewertung der Bauteile erfolgte bereits in Kapitel 5.3.

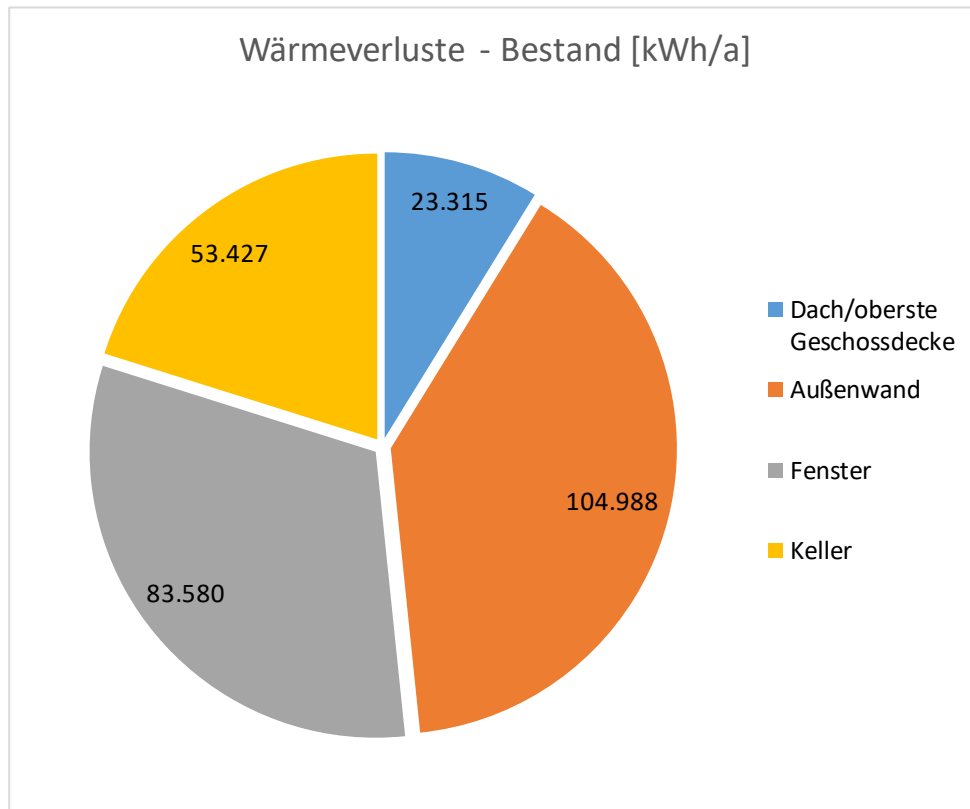


Abbildung 33: Aufteilung der absoluten Transmissionswärmeverluste je Bauteilkategorie im IST-Zustand

Die Darstellung der Transmissionswärmeverluste verdeutlicht, dass die energetische Schwachstelle insbesondere im Bereich der unsanierten Außenwände und Fensterflächen besteht.

Wärmebrücken wurden mit einem pauschalen Zuschlag von $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ berücksichtigt, da davon ausgegangen werden kann, dass ein Großteil der vorhandenen Wärmebrücken den im Beiblatt 2 der DIN 4108 enthaltenen Konstruktionsdetails nicht entsprechen.

7.2 Ermittelter Energiebedarf des Beratungsobjektes

Im Folgenden werden die Energiebedarfe aufgeführt, die sich auf Grundlage der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 unter normierten Randbedingungen und Referenzklima ergeben.

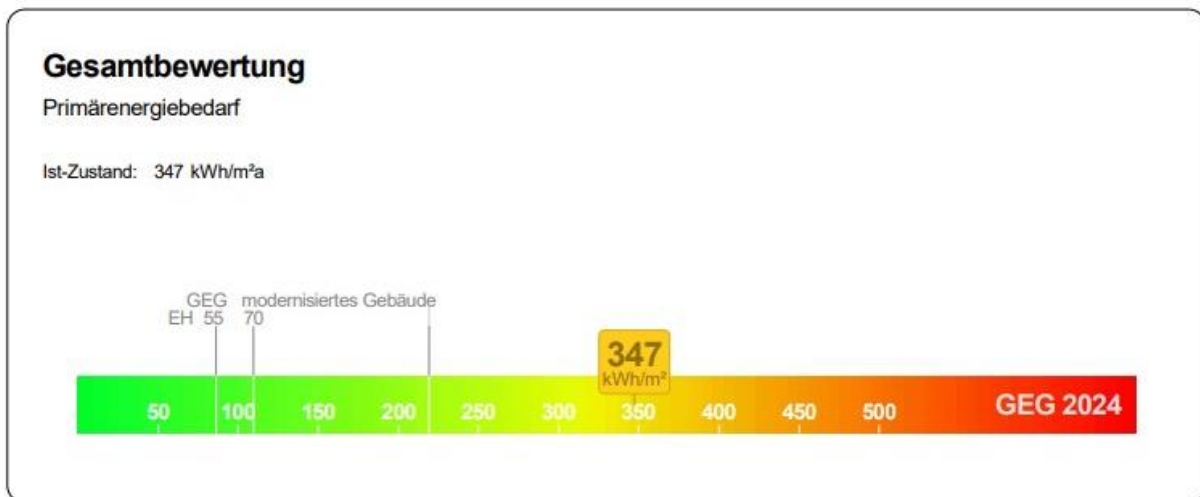


Abbildung 34: Bandtacho Primärenergiebedarf IST-Zustand gemäß Standard-Randbedingungen

Tabelle 13: Übersicht Primärenergiebedarf des Gebäudes im IST-Zustand

Energiebilanz des Gebäudes	absolut [kWh/a]	Anteil [%]	flächenbezogen [kWh/m² _{NGF} a]
Primärenergiebedarf			
Primärenergiebedarf Heizung	402.466 kWh	95%	362
Primärenergiebedarf WW	4.118 kWh	1%	4
Primärenergiebedarf Beleuchtung	18.963 kWh	4%	17
Primärenergiebedarf Belüftung	0 kWh	0%	0
Primärenergiebedarf gesamt	425.547 kWh	100%	383

Der Warmwasserbedarf besteht in unserer Betrachtung allein im Bedarf der WC-Räume. Es wird angenommen, dass die Nutzer aufgrund der Werk Tätigkeiten einen regelmäßigen Bezug von Warmwasser zur Handreinigung haben. Er wurde mit dem Standardprofil WC Räume für Schulen ermittelt.

Tabelle 14: Übersicht der Endenergiebedarfe des Gebäudes im IST-Zustand

Energiebilanz des Gebäudes	absolut [kWh/a]	Anteil [%]	flächenbezogen [kWh/m²_{NGFä}]
Endenergiebedarf			
Endenergiebedarf Heizung	364.438 kWh	96%	328
Endenergiebedarf WW	3.729 kWh	1%	3
Endenergiebedarf Beleuchtung	10.535 kWh	3%	9
Endenergiebedarf Belüftung	0 kWh	0%	0
Endenergiebedarf gesamt	378.702 kWh	100%	341

Aus der Übersicht des Bedarfs wird der theoretische Endenergiebedarf nach Energieträgern aufgelistet, der sich aus der energetischen Bilanzierung nach DIN V 18599 [5] ergibt.

Tabelle 15: Übersicht des Bedarfs aufgeteilt nach Energieträgern, IST-Zustand

Energieträger des Gebäudes	absolut [kWh/a]	Anteil [%]	flächenbezogen [kWh/m²_{NGFä}]
Energieträger			
Erdgas	365.881 kWh	97%	329
fossiler Brennstoff-Mix	0 kWh	0%	0
Strom (Hilfsenergie)	12.821 kWh	3%	12
Strom-Mix	0 kWh	0%	0
gesamt	378.702 kWh	100%	341

7.3 Ermittelte THG-Emissionen des Beratungsobjektes

In der nachfolgenden Tabelle wird der jährliche Ausstoß an Treibhausgas-Emissionen aufgelistet, der sich aus den verwendeten Energieträgern ergibt.

Tabelle 16: Übersicht der THG-Emissionen nach Energieträgern – IST-Zustand

THG-Emissionen nach Anteil des jeweiligen Energieträgers	absolut [kg/a]	Anteil [%]	flächenbezogen [kg/m ² _{NGFA}]
Energieträger			
Erdgas	87.811 kg/a	92%	79
fossiler Brennstoff-Mix	0 kg/a	0%	0
Strom (Hilfsenergie)	7.180 kg/a	8%	6
Strom-Mix	0 kg/a	0%	0
gesamt	94.991 kg/a	100%	86

7.4 Abgleich mit Verbrauchsdaten

Im Folgenden werden die vorliegenden Verbrauchsdaten dargestellt:

Tabelle 17: Übersicht der witterungsbereinigten Verbrauchsdaten

Energieträger		Klimafaktor	Energieverbrauch
	Jahr	[-]	
Wärme	2016	1,27	208.131 kWh
Wärme	2017	1,22	185.590 kWh
Wärme	2018	1,32	205.431 kWh

Bei den vorgefundenen Stromverbrauchern in den Gebäuden handelt es sich neben Beleuchtungsanlagen und der Hilfsenergie der Anlagentechnik, zusätzlich um die Lüftungs- und Werkstatanlagen sowie den Kompressor. Eine Angabe zum Verbrauch der Werkhalle alleine gibt es nicht. Darum wird in der oben gezeigten Tabelle kein Verbrauch zugeordnet und wir rechnen im Folgenden mit dem ermittelten Strombedarf der Norm-Profile.

7.5 Vergleich Energiebedarf und Energieverbrauch

Der gemessene Energieverbrauch der eingesetzten Energieträger weicht in der Regel, aufgrund von Nutzerverhalten und Betrieb des Gebäudes, von den rechnerisch ermittelten Energiebedarfswerten (Berechnungsergebnisse) ab. Deshalb wird ein Verbrauchsabgleich durchgeführt.

Tabelle 18: Übersicht Energiebedarf und -verbrauch inkl. Umrechnungsfaktor

Wärmeenergie <u>bedarf</u> (angepasst) für das Gebäude [kWh/a] Ist-Zustand	Wärmeenergie <u>verbrauch</u> für das Gebäude [kWh/a] Ist-Zustand	Umrechnungsfaktor Verbrauch/Bedarf
365.881 kWh	199.717 kWh	0,546

Als Wärmeenergieverbrauch wird der Gesamtverbrauch der Heizungsanlage prozentual bezogen auf den errechneten Bedarf auf die drei damit versorgten Gebäude aufgeteilt. Ohne Anpassung der nutzungsspezifischen Randbedingungen liegt der berechnete Wärmebedarf etwa 69 % über dem so ermittelten Verbrauch. Aus diesem Grund erfolgt die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen unter Berücksichtigung eines Faktors von 0,59 für alle Ergebnisse der Wärmebedarfsberechnung. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass Energiekosteneinsparungen nicht überbewertet werden, sondern sich am Energieverbrauch orientieren.

Zu beachten ist, dass der rechnerisch bilanzierte Stromverbrauch lediglich Hilfsenergien berücksichtigt, die für die Konditionierung des Gebäudes erforderlich sind. Hierzu zählen beispielsweise Strom für Pumpen und Regelungsanlagen der Heizung sowie für die notwendige Innenbeleuchtung (keine Zierlichter) und für den Betrieb von Lüftungs- oder Kälteanlagen. Der tatsächliche Stromverbrauch umfasst hingegen jeglichen Strom, der auch durch andere Prozesse im oder am Gebäude verbraucht wird. Aus diesem Grund weicht der tatsächliche Stromverbrauch in der Regel deutlich von dem berechneten Bedarf ab.

Aufgrund der fehlenden Aufschlüsselung des Stromverbrauchs nach Verbrauchern ist ein Abgleich mit dem Bedarf nicht möglich. Bei der Angabe der Energiekosten und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Strombedarf wird daher der errechnete Bedarfswert für die Konditionierung des Gebäudes zugrunde gelegt.

7.6 Bewertung des Gebäudes im IST-Zustand

Abgesehen von dem 2005 sanierten Dach ist die Gebäudehülle energetisch betrachtet als ungenügend zu bezeichnen. Durch einen Ersatz der Fenster und eine nachträgliche Dämmung der Außenwände besteht die Möglichkeit den energetischen Zustand wirksam zu verbessern, insbesondere im Rahmen künftiger Sanierungen.

Im Hinblick auf die anlagentechnischen Gegebenheiten besteht Nachbesserungsbedarf. Die vorhandenen Anlagen zur Wärme- und Warmwasserbereitung sind zwar noch funktionstüchtig, jedoch wird lediglich fossile Energie verbraucht. Da die Kessel im Hauptgebäude rechnerisch ihre Lebensdauer erreicht haben und auch bereits repariert werden mussten, sollte kurzfristig eine Ersatzlösung unter Nutzung erneuerbarer Energien angestrebt werden. Im Rahmen der Variantenuntersuchung werden daher anlagentechnische Nachbesserungen sowie alternative Energieversorgungsmöglichkeiten betrachtet – die den Varianten im Beratungsbericht für das Berufskolleg entsprechen.

8 Variantenuntersuchung / Ermittlung der Wirtschaftlichkeit

Im Rahmen der Energieberatung wird untersucht, durch welche Maßnahmen der Energiebedarf, die Energiekosten und die Emissionen des Gebäudes gesenkt werden können. Dabei werden verschiedene Maßnahmen und Maßnahmenpakete zur Sanierung der Gebäudehülle und Optimierung der Anlagentechnik untersucht.

Einzelne bauliche Maßnahmen, die sich zwar aufgrund eines Optimierungsbedarfs ergeben, aber der Kostenaufwand offensichtlich in keinem Verhältnis zur möglichen Energieeinsparung stehen, wurden nicht weiterverfolgt.

Alle vorgeschlagenen Maßnahmen werden im Folgenden beschrieben und erläutert. Dabei wird auch auf wichtige bauphysikalische Anforderungen und mögliche Probleme bei der Umsetzung hingewiesen. **Trotzdem kann dieser Beratungsbericht eine konkrete Ausführungsplanung nicht ersetzen. Sie sollten sich deshalb auch bei der Planung und Umsetzung der Maßnahmen immer fachkundig beraten lassen.**

Bei den angesetzten Kosten ist zu beachten, dass es sich hier um eine grobe Vorermittlung eines Kostenrahmens im Zuge einer Energieberatung handelt; es sind keine Planungsleistungen erfolgt. Aufgrund nicht absehbarer baulicher Notwendigkeiten können im Vergleich zu einer Kostenschätzung nach DIN 276 im Rahmen einer Sanierungsplanung deutliche Abweichungen entstehen.

Die im Folgenden dargestellten Energiebedarfe und Einsparungen zum Wärmebedarf sowie die Angaben zum Gasverbrauch sind, unter Ausnahme der Bandtacho-Darstellung des Primärenergiebedarfs entsprechend der Darstellung in einem Energieausweis und die Transmissionswärmeverluste, verbrauchsabgeglichen dargestellt. Das heißt der errechnete Bedarfswert ist, mit dem in Kapitel 7.5 dargestellten Faktor verrechnet.

Die im Folgenden darstellten Energiebedarfe und Einsparungen zum Strombedarf beziehen sich lediglich auf den Anteil zur Konditionierung des Gebäudes (Hilfsenergie der Heizung und der Beleuchtung) – d.h. der individuelle Strombedarf für die Nutzung des Gebäudes (z.B. Geräte oder Produktionsprozesse) ist nicht enthalten. In Kapitel 9 werden zusätzlich allgemeine Tipps zum Stromsparen gegeben.

Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ist es erforderlich zwischen „Sowieso-Kosten“ und energetisch bedingten Kosten zu unterscheiden. Eine Erläuterung der unterschiedlichen Kosten finden Sie im nachfolgenden Schaubild nach Abbildung 35.

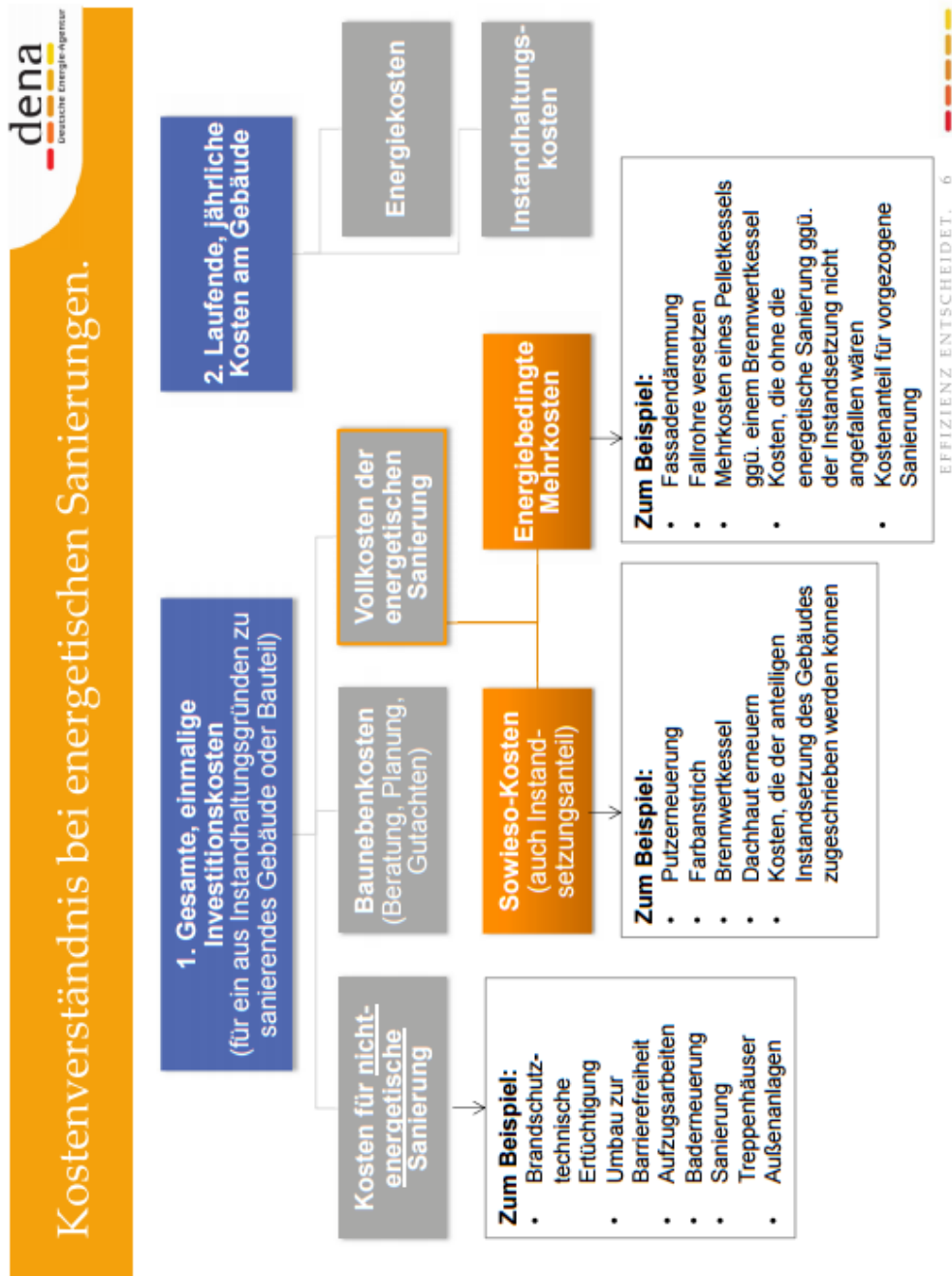


Abbildung 35: Kostenverständnis bei energetischen Sanierungen (Bildquelle: www.dena.de)

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der nachfolgenden Energiesparmaßnahmen wurden überwiegend nur die energetisch bedingten Investitionskosten berücksichtigt. Die geschätzten erforderlichen Gesamtinvestitionskosten wurden ermittelt. Eine detaillierte Kostenermittlung ist als Planungsleistung im Rahmen der Sanierungsplanung zu erstellen. Zu beachten ist, dass die Kostenermittlung in dieser Stufe der Planung im Vergleich zur letztendlichen Kostenfeststellung deutliche Abweichungen aufweisen kann (s. Abbildung 36).

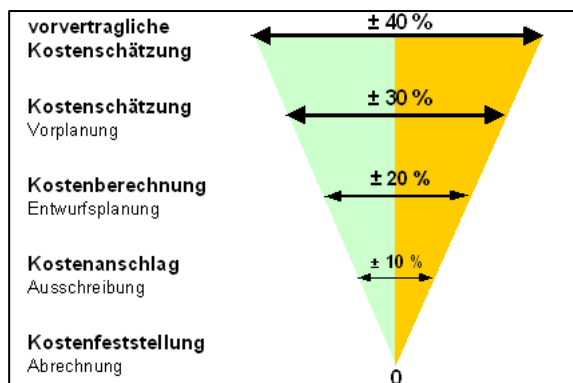


Abbildung 36: Genauigkeit der Kostenermittlung im Bauwesen mit fortschreitender Planungstiefe⁸

Die prozentuale Endenergieeinsparung basiert auf den ermittelten Werten nach DIN V 18599 - auf sogenannten Bedarfswerten. Die jeweilige ermittelte Einsparung wird bei dem Energiebedarf zur Gebäudebeheizung auf den tatsächlichen über die letzten Jahre gemittelten Verbrauch bezogen und übertragen. Dadurch ergeben sich jeweils die absolute und angepasste Endenergieeinsparung und die Kosteneinsparung in allen Sanierungsvarianten.

Die ermittelten Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung können je nach Finanzierungsbedingungen, Förderung und tatsächlichen zukünftigen Energiepreisentwicklung auch abweichen. Als heutige Energiekosten wurden die Werte der Tabelle 4 im Kapitel 1.3 angesetzt. Durch die zunehmende Komplexität bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit u. a. durch die verschiedenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielgrößen und Anforderungen, die sich bei unterschiedlichen Konstellationen und Perspektiven ergeben, wächst auch die Schwierigkeit einer präzisen Gewichtung von Entscheidungsparametern. Es bestehen Unsicherheiten, Risiken und Ungewissheiten im Kontext eines möglicherweise schwierig zu erfassenden Entscheidungsvorgangs (vgl. Enseling/Lützkendorf/Buchholz 2023).

⁸ Bernd Kochendörfer, Jens H. Liebchen, Markus G. Viering: Bau-Projekt-Management: Grundlagen und Vorgehensweisen. (Leitfaden des Baubetriebs und der Bauwirtschaft). 4. Auflage. Vieweg & Teubner Verlag, 2010, ISBN 978-3-8348-0496-9.

Daher ist es sinnvoll, als zweckmäßig identifizierte Darstellungsformen zum Umgang mit Unsicherheit und Risiko zu etablieren und vorzugeben. Es werden daher im Zuge der Amortisationsrechnung, Bandbreiten für Baukosten und Energiepreissteigerungen vorgegeben, um (klassische) Sensitivitäts- bzw. Szenarioanalysen zu den wesentlichen Eingangsgrößen und Randbedingungen durchzuführen.

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Einzelmaßnahmen oder Maßnahmenkombinationen sollte trotzdem nicht allein den Ausschlag zur Entscheidung für oder gegen eine Maßnahme bzw. Kombination geben. Daran angebunden sind vielfach zusätzliche Vorteile, z.B. Komfortsteigerung, geringere Emissionen oder Wertsicherung des Gebäudes.

Hinweis zum weiteren Vorgehen: Die energetische Untersuchung mit den Optimierungsvarianten wird auf Basis der DIN V 18599 durchgeführt. Anschließend wird eine Kosten- und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erstellt. Ergänzende Begriffserklärungen sind im Anhang (s. 12.2) zu finden.

Hinweis zur Altdämmung: Bei der vorhandenen Dämmung der jeweiligen Bauteile muss gemäß Baualter davon ausgegangen werden, dass es sich um künstliche Mineralfaser (KMF) handelt, die krebserregenden Fasern enthalten kann und bei unsachgemäßem Umgang gesundheitsschädlich ist. KMF muss bei Bedarf durch Fachpersonal ausgebaut und entsorgt werden. Für eine Verifizierung und Beurteilung der Materialien ist die Hinzuziehung eines Schadstoffsachverständigen erforderlich. Bei der Vorabschätzung der Kosten wurden keine zusätzlichen Aufwendungen für das Arbeiten mit Schadstoffen und deren Entsorgung berücksichtigt, da es sich zum jetzigen Zeitpunkt lediglich um eine Vermutung handelt.

8.1 Übersicht der Maßnahmen

Folgende Maßnahmenkombinationen zur energetischen Verbesserung wurden betrachtet (hier nur prinzipielle Beschreibung).

Variante 1 – Außenwände dämmen:

- Dämmung der Außenwände mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ($U_{\text{neu}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Variante 2 – Fenster, Türen und Tore ersetzen:

- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_{\text{W}} = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_{\text{D}} = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_{\text{D}} = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)

Variante 3 – Hybridheizung aus Luft-Wasser-Wärmepumpe + Spitzenlastdeckung über den Fernwärmeanschluss + PV-Anlage:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 4 – Luft-Wasser-Wärmepumpe monoenergetisch + dezentrale WW-Durchlauferhitzer + Photovoltaikanlage:

- Austausch des Gaskessels gegen eine monoenergetische Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Umstellung der Warmwassererzeugung auf 12 dezentrale WW-Durchlauferhitzer
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 5 – Installation dezentraler Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG):

- Installation einer dezentralen Abluftanlage für die WCs
- Ersetzen der Fensterlüftung durch Einbau von dezentralen Lüftungsgeräten für aller weiteren Zonen / Räume mit Wärmerückgewinnung (WRG)
- Berücksichtigung der bestehenden Absaugeinrichtungen

Variante 6 – Beleuchtung – Leuchtstoffröhren ersetzen mit LED Lampen:

- Austausch aller noch mit Leuchtstoffröhren ausgeführten Leuchten mit LED-Lampen

Variante 7 – Maßnahmenkombination aus V2, V3 und V6:

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 8 – Maßnahmenkombination aus V1, V2, V3 und V6:

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Dämmung der Außenwände mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ($U_{\text{neu}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Variante 9 – Effizienzgebäude 55 EE:

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Dämmung aller Fußböden auf einen mittleren U-Wert = 0,54 W/m²K
- Dämmung der Außenwände mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 (U_{neu} = 0,14 W/m²K)
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Umstellung der Warmwassererzeugung auf 12 dezentrale WW-Durchlauferhitzer
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Lüftungsanlage für alle Zonen / Räume wie in Variante 5
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Hinweis: Diese Variante stellt einen Idealzustand dar und ist zum derzeitigen Zeitpunkt unwirtschaftlich. Sie soll einen möglichen Weg aufzeigen, den Energieverbrauch unter den gegebenen Umständen möglichst niedrig zu halten und den Rest durch den Einsatz erneuerbarer Energien bereitzustellen. Um ein möglichst effizientes klimaneutrales Gebäude zu erhalten, stellt diese Maßnahme eine Orientierung dar für zukünftige Modernisierungen und Instandsetzungen des Gebäudes.

8.2 Variante 1: Außenwände dämmen

Als erste Variante wird eine vollständige Außenwanddämmung vorgeschlagen. Die Dämmqualität ist entscheidend für die energetische Verbesserung und Förderrelevanz. Die Investitionskosten können je nach Verkleidung variieren. Im Folgenden wird die Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem dargestellt.

Im Rahmen der Untersuchung wurde die Dämmung der Außenwände in einer thermischen Qualität analysiert, welche den Anforderungen für eine Förderung als BEG-Einzelmaßnahme entspricht. Dementsprechend ist vorgesehen, alle Wände mit einem WDVS aus Mineralwolle mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$ zu versehen. Bei der Materialwahl sind etwaige Vorgaben aus dem Brandschutzkonzept zu beachten.

Bei der Ausführung der Dämmmaßnahme ist darauf zu achten, dass vorhandene Wärmebrücken weitestgehend reduziert oder vermieden werden. So wird hier beispielsweise auf die Abluftanlage in der Wand der KFZ-Ausbildungswerkstatt hingewiesen. Diese muss im Sanierungsfall beachtet und soweit wie möglich der energetischen Qualität der restlichen Wand angepasst werden. Außerdem muss sichergestellt werden, dass die vorhandene Klinkerfassade nicht hinterlüftet ist, damit das auf die Klinker aufgebrachte WDVS nicht unwirksam wird.

Die Maßnahme hat folgende Auswirkung auf die U-Werte opaken Bauteile:

Tabelle 19: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 1

Konstruktion	Fläche [m ²]	Kostenansatz [€ / m ²]	U-Wert alt W/(m ² K)	U-Wert neu W/(m ² K)
Dämmen der Außenwände gegen Außenluft (16 cm / WLS035)	407	500	1,16 – 3,20	0,20

Die folgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung der Außenwände in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises. Der Primärenergiebedarf wird dabei nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

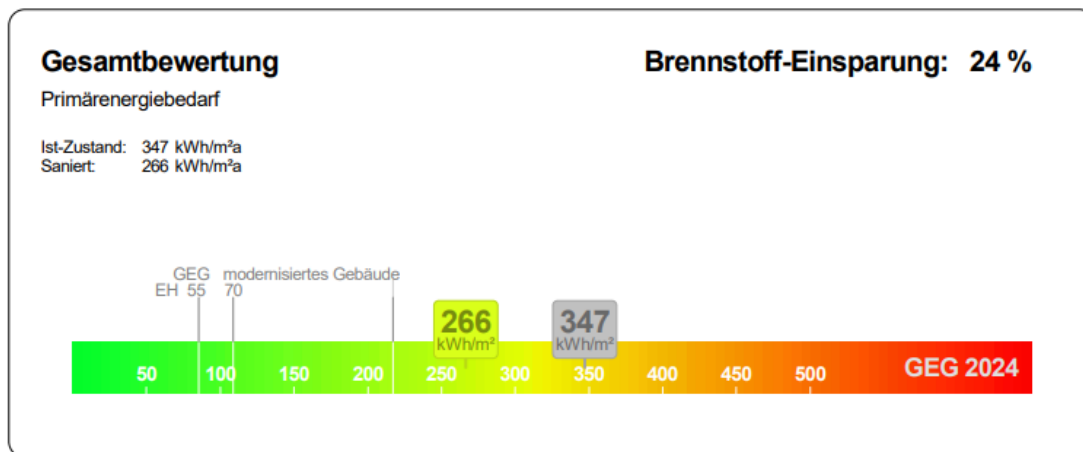


Abbildung 37: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 1

Tabelle 20: Übersicht der Kosten – Variante 1

Kostenrahmen der Variante 1	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Außenwandsanierung	244.681 €	244.681 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	48.936 €	48.936 €
Summe der Kosten netto	293.617 €	293.617 €
19% MwSt.	55.787 €	55.787 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	349.400 €	349.400 €

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich Folgendes feststellen:

Tabelle 21: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 1

Kosten	Variante 1
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	349.400 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	349.400 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	52.400 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	297.000 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	162.120 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	11.999 kg/a
	22%
Endenergieeinsparung durch die Variante	50.418 kWh/a
	24%
Energiekosteneinsparung	3.100 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	4.700 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	6.500 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-128.899 €
Annuität	-4.976 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 14 ct/kWh)	23 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,96 €/kg
Interne Verzinsung	0,35%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	30.585 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	50 a

Die Umsetzung der Dämmung der Fassade führt zu einer Einsparung von 24 % des Endenergieverbrauchs. Daraus resultiert ein Potenzial zur Energiekosteneinsparungen von ca. 3.100 € bis 4.700 € (mit Berücksichtigung des CO₂-Preises) pro Jahr.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird angenommen, dass für die Fassade kein Sanierungsbedarf besteht. Darum werden die Maßnahmenkosten der Fassadenerneuerung zu 100% als energieeffizienzbedingten Mehrkosten betrachtet. Demzufolge lässt sich eine Amortisation der Fassadenerneuerung aus rein energetischen Gründen nicht darstellen. Der *Tabelle 22* lässt sich jedoch entnehmen, dass sich diese Betrachtung relativiert, je größer der Erneuerungsbedarf der Fassade bewertet wird und sich eine entsprechende Amortisationszeit darstellen lässt.

Im Fall einer ohnehin anstehenden großflächigen Sanierung der Fassade wäre diese Maßnahme förderfähig. Folgende Punkte sind zu beachten: Die maximal förderfähigen Kosten für Einzelmaßnahmen (ohne Heizungstausch) liegen bei rund 0,55 Mio. Euro, wobei die aktuelle Förderhöhe mit 15% angesetzt wird. Der genannte Wert kann jedes Jahr erneut in Anspruch genommen werden, sollte die jeweilige Höchstgrenze überschritten werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die jeweiligen Sanierungsschritte je Kalenderjahr aufeinander abgestimmt sind.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann unsere Sensitivitätsanalyse herangezogen werden. Diese dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Erneuerungsbedarf* und *Investitionskosten* auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 22: Sensitivitätsanalyse V1 – Amortisation in Abhängigkeit von Erneuerungsbedarf und Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 1		gewichtete mittlere Lebensdauer: 50,0 Jahre			
		gewichtetes Alter (Bestand): 0,0 Jahre			
	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)				
Erneuerungsbedarf	210.000 €	280.000 €	349.000 €	419.000 €	489.000 €
	60%	80%	100%	120%	140%
0%	36 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich
10%	31 Jahre	45 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich
20%	26 Jahre	38 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich
30%	22 Jahre	31 Jahre	42 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich
40%	18 Jahre	25 Jahre	33 Jahre	43 Jahre	unwirtschaftlich
50%	14 Jahre	20 Jahre	26 Jahre	32 Jahre	39 Jahre
60%	11 Jahre	15 Jahre	19 Jahre	23 Jahre	28 Jahre
70%	8 Jahre	10 Jahre	12 Jahre	15 Jahre	18 Jahre
80%	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	8 Jahre	10 Jahre
90%	1 Jahre	2 Jahre	2 Jahre	2 Jahre	3 Jahre

8.3 Variante 2: Fenster, Türen & Tore ersetzen

In Variante 2 erfolgt eine Untersuchung der Auswirkungen eines Austauschs aller Fenster, Türen und der Sektionaltore. Dabei wird für diese Bauteile von einer mittleren Nutzungsdauer von 40 Jahren ausgegangen und für alle Bauteile im Bestand dasselbe Alter angenommen. Die Fenster und Türen des Gebäudes sind etwa 32 Jahre alt und weisen somit nur noch eine relativ geringe Restnutzungsdauer auf. Da die Lebensdauer der Fenster nahezu abgelaufen ist, die jeweiligen Bauteile jedoch noch funktionstüchtig sind, wird von einem maximalen Erneuerungsbedarf von 80 % ausgegangen. Ein Großteil der Transmissionswärmeverluste des Gebäudes entfällt auf die Fenster (*siehe Abbildung 33*).

Bei dieser Variante werden Fenster mit 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem U_W -Wert für das gesamte Fenster inkl. Rahmen von $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt. Damit entsprechen sie den Anforderungen der aktuellen Einzelmaßnahmenförderung der BEG. Für die neuen Fenster wird ein Gesamtdurchlassgrad $g = 0,5$ angenommen. Dies hat Auswirkungen auf den Tageslichteintrag und den Wärmegewinn durch Sonneneinstrahlung und wird in der Bilanz berücksichtigt.

Auch die Türen sind hinsichtlich des U_W -Wertes = $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ an den technischen Mindestanforderungen zum Programm Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) orientiert und sind somit förderfähig. Der U_W -Wert der Tore ist mit $2,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ höher als der Standard für die Einzelmaßnahmenförderung der BEG – somit nicht förderfähig – weil ein höherer Standard für eine Ausführung als Rolltor möglicherweise nicht wirtschaftlich realisierbar ist. Ein Austausch wird jedoch empfohlen weil somit der notwendige mittlere Wert für Türen, Tore und Lichtkuppeln für den Standard eines Effizienzgebäudes 55 erreicht werden kann.

Bei einem Austausch der Fenster und Türen sind folgende Punkte zu berücksichtigen:

Sofern der U-Wert der neu einzubauenden Fenster geringer ist als der U-Wert der Außenwand (was in dieser Variante der Fall ist), ist vor dem Einbau der Fenster zu prüfen, ob das Risiko von Tauwasserausfall an den Wänden (vor allem in den Fensterlaibungen) ausgeschlossen werden kann. Sofern die Fenster, nicht jedoch die Außenwände, verbessert werden, sind ggf. zusätzliche Maßnahmen wie eine Laibungsdämmung erforderlich. Insbesondere in wenig beheizten Räumen wird zudem empfohlen, auf ein angemessenes Lüftungsverhalten zu achten. Im Zuge der Baubegleitung zur BEG-Fördermaßnahme ist zudem ein Lüftungskonzept zu erstellen, welches die Sicherstellung des benötigten Mindestluftwechsels zum Feuchteschutz zum Ziel hat.

Hinweis: Bei schlecht oder mäßig gedämmten Mauerwerken ist die gleichzeitige Erneuerung der Fenster und eine Außenwanddämmung eine optimale Lösung⁹. Bei einer gleichzeitigen Erneuerung der Fenster und einer Dämmung der Außenwände ist es empfehlenswert, die neuen Fenster entweder bündig mit der massiven Außenwand oder, noch besser, in der Dämmebene anzubringen. Der Fensterrahmen wird 2 bis 4 cm durch die Dämmung überdeckt.

Die Maßnahme hat folgende Auswirkung auf die U-Werte der transparenten und opaken Bauteile:

Tabelle 23: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 2

Konstruktion	Fläche [m ²]	Kostenansatz [€ / m ²]	U-Wert alt W/(m ² K)	U-Wert neu W/(m ² K)
Fenster	270	500	U _w = 3,2 W/(m ² K), g = 0,78	U _w = 0,95 W/(m ² K), g = 0,50
Türen großflächig verglast	13	1100	U _w = 2,7 W/(m ² K), g = 0,78	U _w = 1,30 W/(m ² K), g = 0,50
Rolltore	36	1000	U _w = 3,7 W/(m ² K)	U _w = 2,20 W/(m ² K),

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einem Austausch von Fenstern, Türen und Toren in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises. Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

⁹ Eine kombinierte Betrachtung erfolgt in „Variante 8“

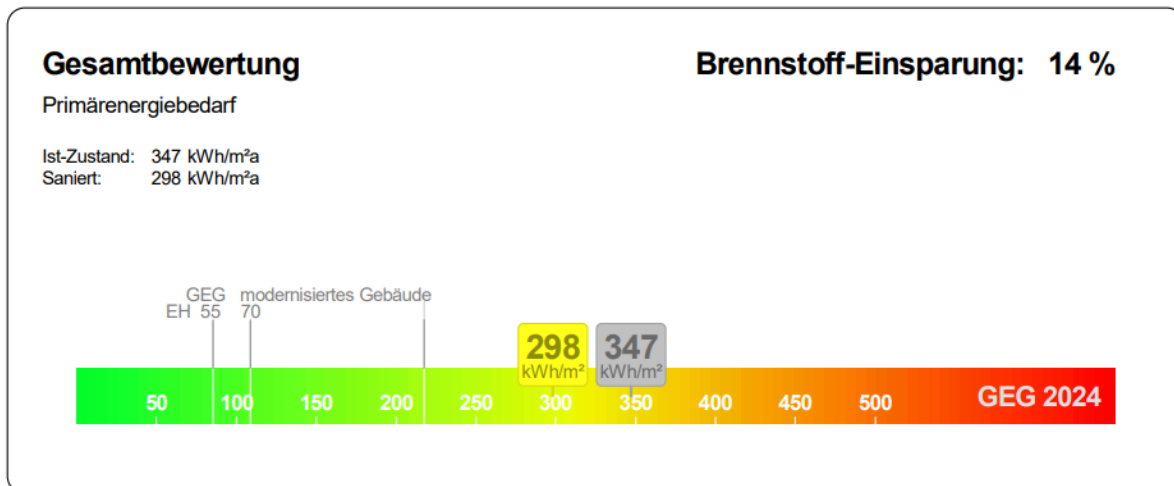


Abbildung 38: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 2

Tabelle 24: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 2

Kostenrahmen der Variante 2	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	358.183 €	98.862 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	72.287 €	20.422 €
Summe der Kosten netto	436.970 €	125.784 €
19% MwSt.	83.024 €	23.899 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	520.000 €	149.700 €

Zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme kann folgendes festgestellt werden:

Tabelle 25: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 2

Kosten	Variante 2
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	520.000 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	149.700 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	78.000 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	71.700 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	181.706 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	7.195 kg/a
	13%
Endenergieeinsparung durch die Variante	30.832 kWh/a
	15%
Energiekosteneinsparung	1.900 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	2.900 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	4.000 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	21 a
Kapitalwert	32.132 €
Annuität	1.241 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 14 ct/kWh)	9 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,38 €/kg
Interne Verzinsung	5,13%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	71.637 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	40 a

Der Austausch der Fenster durch dreifach verglaste Fenster mit einem U_w -Wert von max. $0,95 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ kann zusammen mit dem Austausch von Türen und Toren zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen bis zu 13 % und der Endenergie bis zu 15 % bewirken. Unter Berücksichtigung der aktuellen Restnutzungsdauer und bei Inanspruchnahme von Fördermitteln für Einzelmaßnahmen (15 % Förderzuschuss) können sich die energieeffizienzbedingten Mehrkosten nach 21 Jahren und somit innerhalb der Lebensdauer der neuen Bauteile amortisieren. Wir empfehlen die Umsetzung dieser Maßnahme als Einzelmaßnahme, wenn ohnehin mehrere Fenster aufgrund von Instandsetzungsmaßnahmen ausgetauscht werden müssen.

Nach aktuellem Stand der Technik ist es empfehlenswert, die Fenster Türen und Tore auszutauschen. Neben Energieeinsparung ist eine deutliche Komfortsteigerung zu erwarten durch höhere Dichtigkeit, geringere Strahlungskälte und höheren Bedienkomfort.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 26 herangezogen werden. Die Sensitivitätsanalyse dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Energiepreis* und *Investitionskosten* auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 26: Sensitivitätsanalyse V2 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 2		Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:				78%
	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)					
Energiepreis	312.000 € 60%	416.000 € 80%	520.000 € 100%	624.000 € 120%	728.000 € 140%	
-20%	14 Jahre	19 Jahre	25 Jahre	32 Jahre	unwirtschaftlich	
-10%	13 Jahre	18 Jahre	23 Jahre	29 Jahre	unwirtschaftlich	
0%	12 Jahre	16 Jahre	21 Jahre	26 Jahre	39 Jahre	
10%	11 Jahre	15 Jahre	20 Jahre	25 Jahre	35 Jahre	
20%	10 Jahre	14 Jahre	18 Jahre	23 Jahre	33 Jahre	

8.4 Variante 3: Hybridheizung aus Luft-Wasser-Wärmepumpe Bivalent + PV-Anlage + Spitzenlastdeckung über den Fernwärmeanschluss

Im Rahmen der Betrachtung der Heizanlage im Hauptgebäude des Berufskollegs sind Lösungen zum Ersatz der 17 Jahre alten und technisch teilweise anfälligen Gasbrennwertanlage vorgestellt worden. Sofern ein neues Wärme-Konzept weiterhin die Versorgung der Werkhalle aus einer gemeinsamen zentralen Versorgung vorsieht, muss diese in den kalkulatorischen Annahmen – insbesondere bei förderungsrelevanten Aspekten – berücksichtigt werden.

Zur Bestimmung der Kostenzuordnung zu den drei von der Heizungsanlage versorgten Gebäuden wurden in einem frühen Stadium der Gebäudemodellierung die Heizenergiebedarf je Gebäude ermittelt – *Tabelle 27* – und daran eine prozentuale Verteilung vorgenommen. Der Endenergiebedarf für das endgültige Gebäudemodell der Werkhalle weicht nun mit 365.881 kWh um weniger als 10 % nach oben ab, weshalb der festgestellte Anteil am Gesamtbedarf von 16 % als hinreichend genau betrachtet werden kann.

Zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für die Werkhalle wurde die Vereinfachung getroffen, dass der Wärmeerzeuger nur die Werkhalle versorgt bei sonst gleichen Bedingungen für die Art des Erzeugers und den Brennstoff. Wärmeverluste über die langen Zuleitungswege wurden somit vernachlässigt.

Tabelle 27: Übersicht des Endenergiebedarfes für das Berufskolleg, Werkhalle und Sporthalle

Endenergiebedarf	Berufskolleg	Werkshalle	Sporthalle	SUMME
Erdgas/Heizwerk	1.255.423,00	336.740,00	553.790,00	2.145.953,00
Prozentualer Anteil	59%	16%	26%	100 %

Die hier untersuchte Variante berücksichtigt die neue Heizanlage im Hauptgebäude des Berufskollegs zur Gesamtversorgung aller drei Schulgebäude wie sie im Bericht zum Hauptgebäude unter Variante 8 (Kapitel 8.9) beschrieben wird. Die energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen bezüglich der Werkhalle zum Hauptgebäude werden in Verhältnis von 16% / 60% gestellt.

Zur technischen Beschreibung dieser Variante wird der Beratungsbericht für das Schulgebäude des Berufskollegs Kapitel 8.9 zitiert:

„Diese gebäudetechnische-Variante untersucht den bivalenten Betrieb einer Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Grundlasterzeugung samt Unterstützung durch den (Wieder-)Anschluss an die Fernwärme der Stadtwerke Jülich für die Spitzenlastabdeckung.

Um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten, ist vorgesehen, dass die Wärmepumpe vor allem in den Übergangs- und Sommermonaten die Grundlast abdeckt. In dieser Zeit kann die Wärmepumpe ihr volles Potenzial entfalten und den höchstmöglichen Wirkungsgrad generieren, da die Außentemperaturen höher sind. In der kälteren Jahreszeit übernimmt die Fernwärme die Funktion des Spitzenlastkessels. Zusätzlich wird ein Pufferspeicher (genauere Ausführung in Variante 7) mit einem Puffervolumen von ca. 7.000 Litern eingeplant.

Für die Dimensionierung wurde unter Berücksichtigung des derzeitigen Temperaturniveaus der bestehenden Heizflächen und RLT-Anlagen hinsichtlich der Wärmeerzeuger in die Jahresdauerlinie für die Liegenschaft integriert, um so die Abdeckung des Jahresheizenergiebedarfs durch regenerative Energien zu ermitteln.

Anhand der blauen Fläche unter der Jahresdauerlinie ist ersichtlich, dass mit einem Wärmeerzeuger mit einer Wärmeleistung von 150 kW bereits 81 % des Jahresheizwärmebedarfs abgedeckt werden kann. Das Ergebnis bildet die Grundlage für die weiteren Betrachtungen.

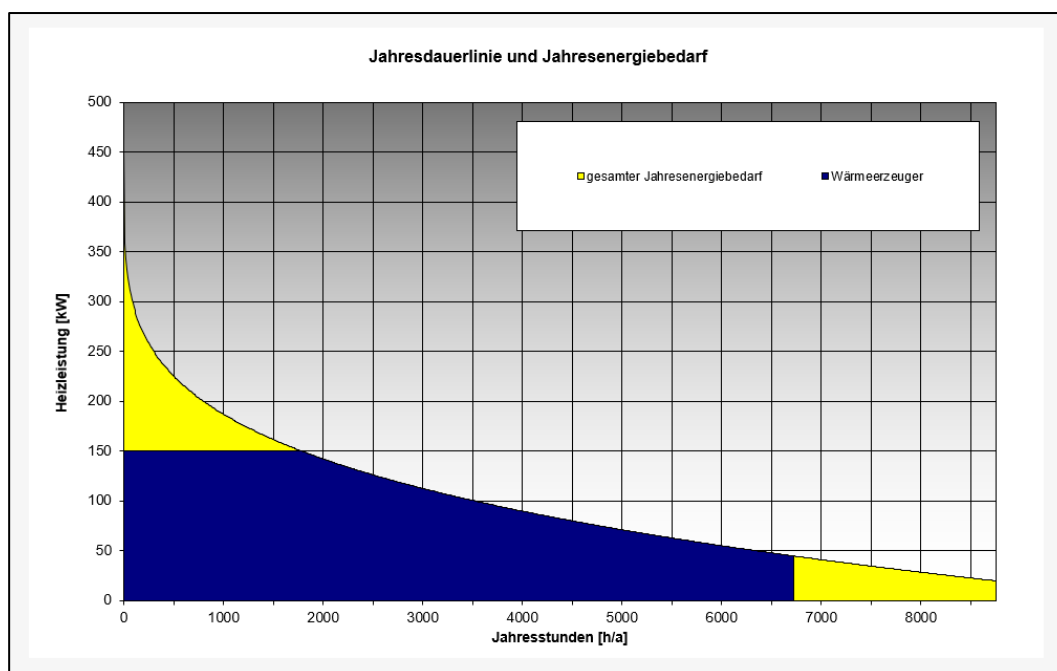


Abbildung 39: Jahresdauerlinie für das Berufskolleg, Sporthalle und Werkhalle Jülich

Des Weiteren wird ein Austausch der Pumpen, ein hydraulischer Abgleich des Heizsystems sowie die Erneuerung der alten Beleuchtung auf LED-Technik in die Betrachtung mit einbezogen.“

Um den Strombedarf der Wärmepumpe teilweise abzudecken, wird vorgeschlagen, eine mindestens 91 kWp Photovoltaik-Anlage zur Eigenstromproduktion auf dem Dach der Werkhalle zu installieren.

Wir möchten an dieser Stelle darauf hinweisen, dass eine genaue Auslegung der Anlage vor Umsetzung durch einen Fachplaner erfolgen sollte.

Die Maßnahme hat folgende Auswirkung auf die U-Werte der entsprechenden Bauteile:

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung entsprechend Variante 3 in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises (ohne Verbrauchsabgleich).

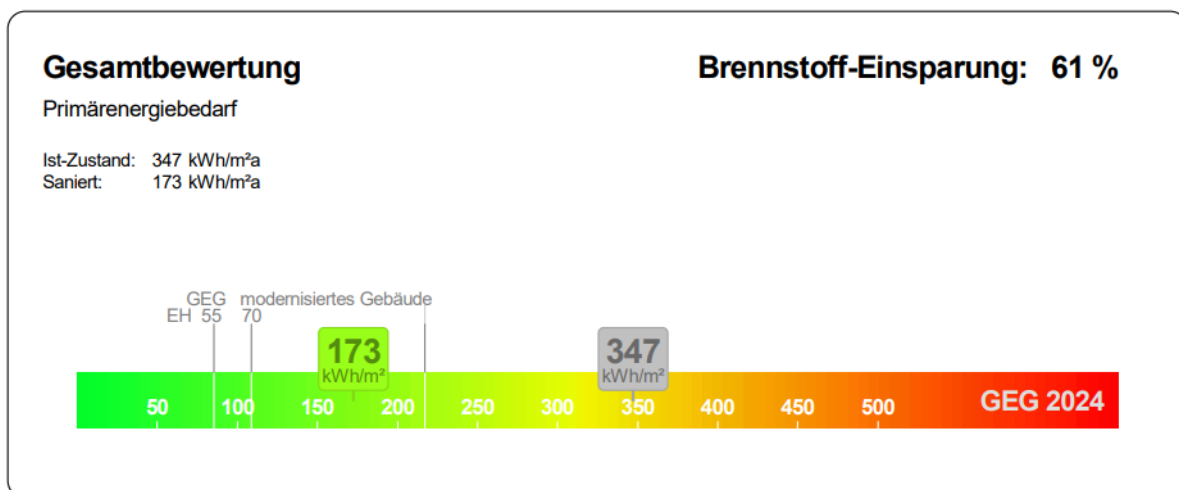


Abbildung 40: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 3

Tabelle 28: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 3

Kostenrahmen der Variante 3	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent 150 kW; Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 16 % der Gesamtkosten)	35.440 €	5.316 €
Spitzenlast über Anschluss Fernwärme (300 kW); Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 16 % der Gesamtkosten)	15.800 €	2.370 €
Wärmeverteilnetze (hydr. Abgleich) (ca. 16 % der Gesamtkosten)	14.000 €	1.400 €
Eigenstromversorgungsanlagen (z.B. PV-Anlage)	91.000 €	91.000 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	6.524 €	909 €
Summe der Kosten netto	162.764 €	100.995 €
19% MwSt.	30.925 €	19.189 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	193.700 €	120.200 €

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich Folgendes festhalten:

Tabelle 29: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 3

Kosten	Variante 3
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	193.700 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	120.200 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	25.600 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	94.600 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	85.821 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	20.675 kg/a 38%
Endenergieeinsparung durch die Variante	126.717 kWh/a 60%
Energiekosteneinsparung	-1.400 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO2-Preis	-1.400 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	200 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-87.530 €
Annuität	-5.007 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 8 ct/kWh)	4 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,26 €/kg
Interne Verzinsung	-15,68%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	48.972 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	21 a

Trotz der hohen möglichen Einsparung bei der Endenergie kann den Energiekosten aufgrund des heute sehr niedrigen Gaspreises kein Kostenersparnis gegenübergestellt werden. Dazu kommt, dass die Vorteile einer Solaranlage sich lediglich auf einen Teil der benötigten Energie zur Wärmeerzeugung auswirken. Zudem stellt die PV-Anlage in dieser Variante eine im Verhältnis sehr große Investition dar. Eine Amortisation kann darum auch bei größeren Steigerungen der Energiepreise nicht erreicht werden.

Eine alleinige Umsetzung dieser Maßnahme ist nicht zu empfehlen.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 30 herangezogen werden. Die Sensitivitätsanalyse dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Energiepreis* und *Investitionskosten* auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 30: Sensitivitätsanalyse V3 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 3		Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:				36%
	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)					
Energiepreis	116.000 €	155.000 €	194.000 €	232.000 €	271.000 €	
	60%	80%	100%	120%	140%	
-20%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
-10%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
0%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
10%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
20%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	

8.5 Variante 4: Austausch Wärmeerzeugers – Luft-Wasser-Wärmepumpe + dezentrale WW-Durchlauferhitzer + Photovoltaikanlage

In dieser Variante 4 betrachten wir anlagenseitig eine vom Hauptgebäude autarke Heizanlage und den Austausch des Wärmeerzeugers – zunächst ohne Maßnahmen an der Gebäudehülle – mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe im monoenergetischen Betrieb. Zusätzlich wird ein Austausch der Heizungspumpen und ein hydraulischer Abgleich geplant. Gleichzeitig werden für die Warmwasserversorgung Durchlauferhitzern kalkuliert. Zur teilweisen Deckung des Strombedarfs der Heizungsanlage wird eine mindestens 91 kWp große Photovoltaik-Anlage in das Konzept mit aufgenommen, die auf dem Dach der Werkhalle installiert wird.

Als Ersatz für das alte System wird in dieser Variante eine Luft-Wasser-Wärmepumpenanlage untersucht, welche die zur Heizung aufgewendete Energie überwiegend aus der Umgebungsluft zieht und so den Wärmebedarf abdeckt. In dieser Variante wird die Anlage so dimensioniert, dass der Wärmebedarf allein über die Wärmepumpe (monoenergetisch – ohne Spitzenlastkessel) gedeckt werden kann da es mittlerweile möglich ist dies mit größeren Wärmepumpen oder auch einer kaskadierenden Verschaltung mehrerer, einzelner Wärmepumpen zu realisieren. Für die Heizungsunterstützung bei sehr niedrigen Außentemperaturen und zur Vermeidung von Takten in Übergangszeiten wird ein zusätzlicher Pufferspeicher integriert. Ein elektrischer Heizstab wird in einer Wärmepumpenanlage im Pufferspeicher (Tauchheizkörper) oder in den Heizungsvorlauf (Flanschheizung) integriert. Dadurch kann auf einen zusätzlichen Gaskessel und somit auf fossile Brennstoffe verzichtet werden.

Insbesondere in dem Fall, dass eine Wärmepumpenheizung in einem weitgehend ungedämmten Gebäude eingesetzt wird, müssen an den kältesten Tagen vergleichsweise hohe Vorlauftemperaturen realisiert werden. Hierfür ist ein kaskadierender Ansatz mitunter günstiger, um eine höhere Jahresarbeitszahl und damit einen niedrigeren Energieverbrauch ermöglichen. Im Fall, dass ein Herabsetzen der Vorlauftemperatur auf 60° nur am Bedarf weniger Räume scheitert, besteht eine zusätzliche Optimierungsmöglichkeit im Einsatz von Niedertemperaturheizkörper.

Wird eine Wärmepumpe monovalent betrieben, muss die Heizleistung entsprechend der Jahresdauerlinie so ausgelegt werden, dass auch bei der niedrigsten Außentemperatur des Jahres nur die Wärmepumpe den Heizbetrieb gewährleistet. Da so eine Maximalauslegung für nur wenige Tage im Jahr notwendig ist führt sie für den größeren Teil der Betriebszeit zu einer Überdimensionierung. Daher wird stattdessen ein bivalenter Betrieb mit einem elektrischen Zusatzheizgerät für die Lastspitzen vorgeschlagen.

Der Heizstab dient zudem bei elektrischen Anlagen zum Ausgleich der von der Sonneneinstrahlung oder Außenluft abhängigen Schwankungen. Der Heizstab schaltet sich nur beim Unterschreiten der voreingestellten Temperatur im Pufferspeicher ein. Die Notheizung garantiert damit zu jeder Zeit eine Erwärmung des Pufferspeicherinhalts. Der Heizstab ist als zusätzliche Heizung deutlich günstiger als Zusatzheizungen mit Gas, Öl oder Pellets.

Weitere Vorteile einer monoenergetischen Luft-Wasser-Wärmepumpe sind die Fördermöglichkeiten durch das BAFA (bis zu 35 % der förderfähigen Kosten).

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung entsprechend Variante 4 in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises.

Der Primärenergiebedarf wird dabei nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

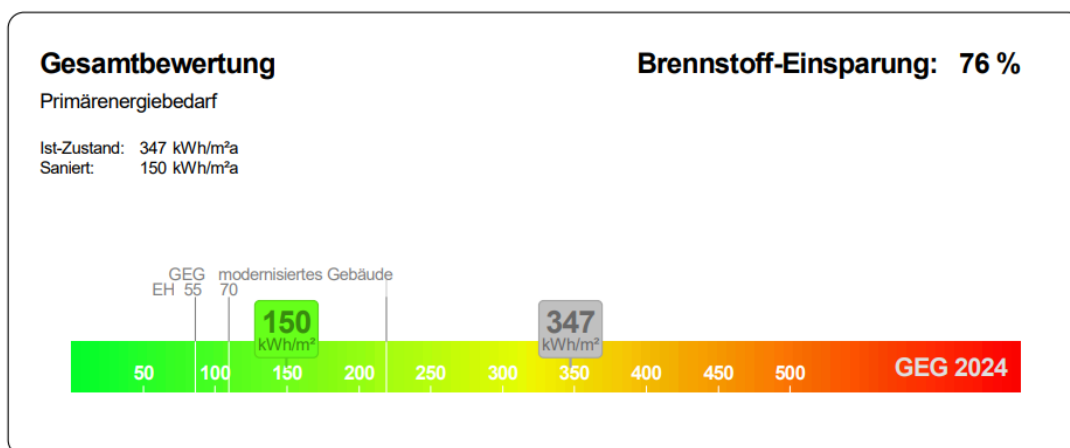


Abbildung 41: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 4

Hinweis: Wie in der Variante 3 (Kapitel 8.4) bereits beschrieben, werden bei der Betrachtung der Auslegung der Heizungstechnik die Kosten anteilig je Gebäude angesetzt, da die zentrale Heizungsanlage des Hauptgebäudes die angrenzende Werkhalle und Sporthalle mitversorgt. Die Heizlast des Gebäudekomplexes im Bestand beläuft sich gemäß Darstellung im Bericht zum Schulgebäude 450 kW. Zur Kostenkalkulation setzen wir zur Vereinfachung den Anteil der Heizlast der Werkhalle gleich dem Anteil des Wärmebedarfs und ermitteln diesen mit 16 % zu einer Auslegungs-Heizlast von 72 kW. Diese Größe wird allein für den Kostenansatz herangezogen und stellt keine Plangröße für eine Auslegungsplanung dar. Diese muss im Fall der Umsetzung von einem Fachplaner vorgenommen werden.

Da hier davon ausgegangen wird, dass eine eigenständige neu zu errichtende Anlage für die Werkhalle aufgebaut wird, wählen wir für die Wärmepumpe für die Kostenschätzung einen überdurchschnittlichen Kostenansatz (Kosten pro kW Leistung; 30 l Pufferspeicher pro kW; 40 % Baunebenkosten) wie folgt:

Tabelle 31: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 4

Kostenrahmen der Variante 4	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Wärmeerzeuger (überdurchschnittlicher Kostenansatz)	53.424 €	8.014 €
Wärmeverteilnetze (hydr. Abgleich) (ca. 16 % der Gesamtkosten)	14.000 €	1.400 €
Eigenstromversorgungsanlagen (z.B. PV-Anlage)	91.000 €	91.000 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	6.742 €	941 €
Summe der Kosten netto	174.166 €	110.355 €
19% MwSt.	33.092 €	20.967 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	207.300 €	131.300 €

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich folgendes feststellen:

Tabelle 32: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 4

Kosten	Variante 4
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	207.300 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	131.300 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	29.700 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	101.600 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	52.942 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	24.948 kg/a
	45%
Endenergieeinsparung durch die Variante	159.596 kWh/a
	75%
Energiekosteneinsparung	2.000 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	8.600 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	12.300 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	13 a
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	10 a
Kapitalwert	116.677 €
Annuität	6.674 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 12 ct/kWh)	4 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,23 €/kg
Interne Verzinsung	11,26%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	49.627 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	20 a

Die Tabelle 32 zeigt die mögliche Endenergieeinsparung von 75 % und Energiekosteneinsparungen mit einem Potenzial von 2.000 € bis 8.600 € pro Jahr. Als Betrachtungszeitraum für diese Variante, welche allein die Anlagentechnik verbessert, werden 25 Jahre angesetzt, da dies die geringere mittlere Nutzungsdauer für Anlagentechnik berücksichtigt. Diese Variante amortisiert sich aufgrund des Erneuerungsbedarfs des jetzigen Kessels nach 10 Jahren und ist somit als wirtschaftlich zu beurteilen.

Die wirtschaftliche Betrachtung bleibt in Bezug auf die Werkhalle ähnlich, wenn eine monoenergetische Luft-Wasser-Wärmepumpe für den gesamten Gebäudekomplex (Schulgebäude, Werkhalle und Sporthalle) kalkuliert wird.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 33 herangezogen werden. Die Sensitivitätsanalyse dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Energiepreis* und *Investitionskosten* auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 33: Sensitivitätsanalyse V4 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 4		Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:				35%
	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)					
Energiepreis	124.000 € 60%	166.000 € 80%	207.000 € 100%	249.000 € 120%	290.000 € 140%	
-20%	6 Jahre	8 Jahre	10 Jahre	13 Jahre	15 Jahre	
-10%	6 Jahre	8 Jahre	10 Jahre	12 Jahre	15 Jahre	
0%	5 Jahre	7 Jahre	10 Jahre	12 Jahre	14 Jahre	
10%	5 Jahre	7 Jahre	9 Jahre	11 Jahre	14 Jahre	
20%	5 Jahre	7 Jahre	9 Jahre	11 Jahre	13 Jahre	

Selbst im Fall von sinkenden Energiekosten und steigenden Investitionskosten würde sich Variante 4 noch wirtschaftlich darstellen.

8.6 Variante 5: Installation dezentraler Lüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung (WRG)

In einer weiteren auch als Einzelmaßnahme umsetzbaren Variante wird hier die Ausstattung aller Räume mit dezentrale Lüftungsanlagen mit WRG (75%) zur Sicherstellung einer guten Raumlufthqualität betrachtet.

Aufgrund der hohen Personenzahl besteht in den Klassenräumen und Laboren ein erhöhter Lüftungsbedarf. Durch eine Sanierung der Gebäudehülle wird die Luftdichtheit der Gebäudehülle erhöht, wodurch ein zusätzlicher Lüftungsbedarf entsteht. Natürlich besteht die Möglichkeit in den Klassenzimmern die Fenster von Hand zu lüften. Gerade im Herbst und Winter ist jedoch das regelmäßige, manuelle Lüften mit einem organisatorischen Aufwand verbunden und führt, da es voraussichtlich auch innerhalb der Unterrichtseinheiten erforderlich wird, zu Komforteinschränkungen. Daher wird eine kontrollierte Raumlüftung mit dezentralen Lüftungsgeräten und einer Wärmerückgewinnung empfohlen.

Diese Maßnahme wird hier zunächst ohne vorherige Dämm- bzw. Sanierungsschritte betrachtet.

Es gibt zwei Arten von dezentralen, wärmerückgewinnenden Lüftungssystemen (s. Abbildung 32). Die eine Art hat einen integrierten Kreuzwärmetauscher der gleichzeitiges be- und entlüften ermöglicht. Die Luft strömt durch mehrere kleine und gut wärmeleitende „Röhrchen“ aneinander vorbei Damit wird das Temperaturniveau der Außenluft durch die Wärme der vorbeiströmenden Innenluft angehoben.

Die Alternative sind zwei Lüfter mit keramischen Wärmetauschern, die im Pendelbetrieb arbeiten. Beim Pendelbetrieb wird erst die verbrauchte Luft für ca. 70 Sekunden abgesaugt. Gleichzeitig arbeitet ein weiterer, identischer Lüfter entgegengesetzt und bläst frische Luft in den Raum, um den Luftdruck stabil zu halten. Nach 70 Sekunden wechseln die Lüfter ihre Strömungsrichtung. Der Keramikern hat eine große Oberfläche mit hoher Wärmespeicherfähigkeit. Der Kern erwärmt sich im Abluftbetrieb und gibt die Wärme im Zuluft-Betrieb wieder ab.

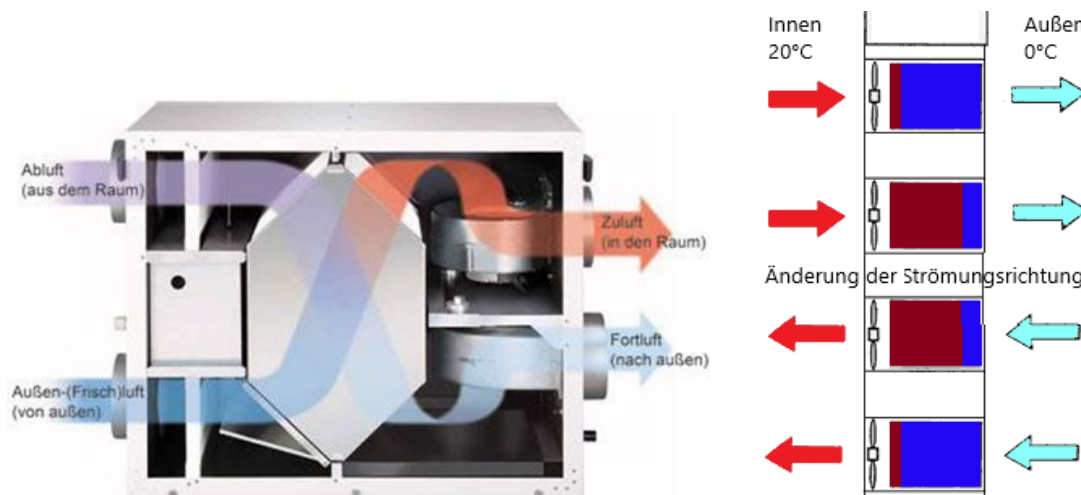


Abbildung 42: Die beiden Prinzipskizzen der beiden Arten von dezentralen Lüftungsgeräten

Zusätzlich soll die Zu- und Abluft der WC-Räume über ein separates Kompaktlüftungsgerät gewährleistet werden.

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises. Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

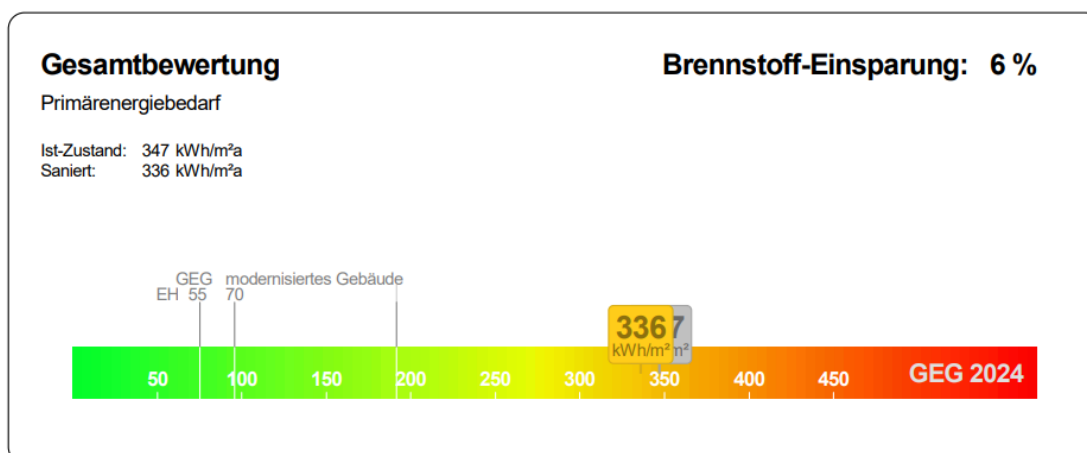


Abbildung 43: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 5

Tabelle 34: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 5

Kostenrahmen der Variante 5	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Lüftungsanlagen für Luftwechsel 1,0 Geb-Volumen	151.375 €	151.375 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	15.138 €	15.138 €
Summe der Kosten netto	166.513 €	166.513 €
19% MwSt.	31.637 €	31.637 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	198.100 €	198.100 €

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich folgendes festhalten:

Tabelle 35: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 5

Kosten	Variante 5
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	198.100 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	198.100 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	29.700 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	168.400 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	204.649 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	-2.970 kg/a -5%
Endenergieeinsparung durch die Variante	7.888 kWh/a 4%
Energiekosteneinsparung	-1.900 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	-1.900 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	-2.300 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-208.726 €
Annuität	-11.940 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 8 ct/kWh)	122 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	-3,24 €/kg
Interne Verzinsung	n.a.
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	66.227 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	25 a

Diese Maßnahme allein ist aufgrund geringer Endenergieeinsparung und erhöhtem Strombedarf und somit steigenden Kosten für die Wärmerückgewinnung nicht wirtschaftlich und kann demnach nur aus Gründen des Komforts bzw. der Raumlufthygiene empfohlen werden.

8.7 Variante 6: Beleuchtung – Leuchtstoffröhren ersetzen mit LED Lampen

Die möglicherweise ohnehin anstehende routinemäßige Erneuerung der Beleuchtung sollte genutzt werden, um die vorhandenen Leuchtmittel, bestehend aus stabförmigen Leuchtstofflampen durch moderne und effiziente LED-Technik zu ersetzen. Diese Maßnahme ist nicht förderfähig, sofern sie sich auf die Leuchtmittel beschränkt. Ein Austausch der kompletten Leuchten ist förderfähig, ggfs. inklusive gleichzeitiger Automatisierung (z.B. Präsenzmelder). Dafür müssen zusätzlich zum Ersatz der Leuchtmittel mindestens Bewegungsmelder installiert werden, um zu gewährleisten, dass die Beleuchtung nur dann im Betrieb ist, wenn diese auch benötigt wird. In den Fluren eignen sich Präsenzmelder für die Wandmontage mit einem Erfassungsbereich von 180°. Da die konkrete energetische Auswirkung einer zusätzlichen Gebäudeautomatisation ohne Fachplanung nicht erfasst werden kann, wird in dieser Variante zunächst nur der Austausch der Lampen bewertet.

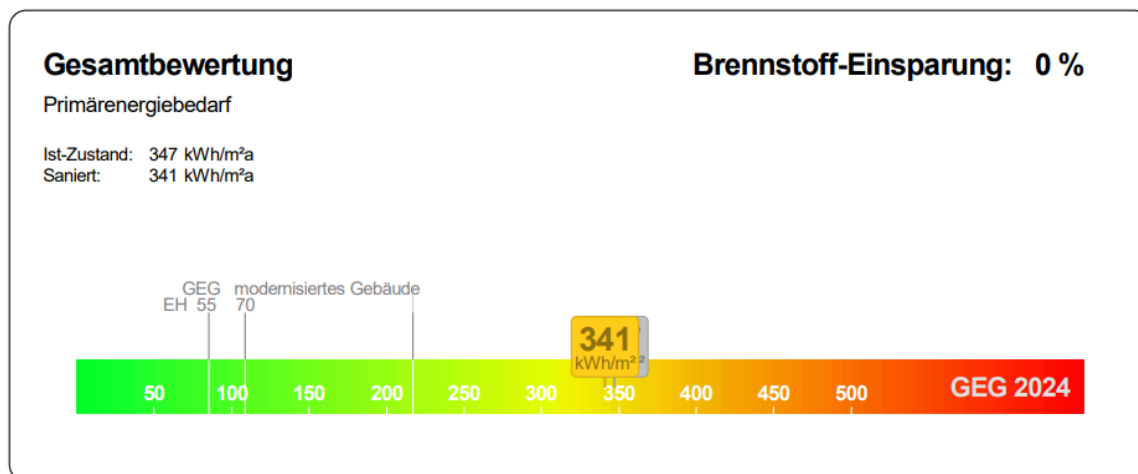


Abbildung 44: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 6

Tabelle 36: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 6

Kostenrahmen der Variante 6	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Beleuchtungsanlagen	57.395 €	11.479 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	5.740 €	1.148 €
Summe der Kosten netto	63.135 €	12.627 €
19% MwSt.	11.996 €	2.399 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	75.100 €	15.000 €

Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich Folgendes festhalten:

Tabelle 37: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 6

Kosten	Variante 6
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	75.100 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	15.000 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	11.300 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	3.800 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	207.730 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	3.080 kg/a
	6%
Endenergieeinsparung durch die Variante	4.808 kWh/a
	2%
Energiekosteneinsparung	1.700 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	1.700 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	2.000 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	8 a
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	2 a
Kapitalwert	30.904 €
Annuität	1.768 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 8 ct/kWh)	5 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,07 €/kg
Interne Verzinsung	52,78%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	10.762 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	25 a

Die schnelle mögliche Amortisation zeigt hier eine wirtschaftliche Einzelmaßnahme und die Ausführung kann unbedingt empfohlen werden. Da für die Werkhalle und die Beleuchtung jedoch keine Verbrauchsdaten vorliegen, und diese Einsparungen deshalb anhand des berechneten Bedarfs bestimmt wurden, kann die tatsächliche Ersparnis niedriger ausfallen. Die Betrachtung zeigt jedoch sicher, dass sich beim routinemäßigen Tausch von Leuchtmitteln gegen LED Ersatz-Leuchtmittel ein deutliches Einsparpotenzial ergibt.

Eine zusätzliche Gebäudeautomatisation zur Steuerung der Beleuchtung muss bezüglich Kosten und Wirtschaftlichkeit durch einen Fachplaner dargestellt werden.

8.8 Variante 7: Maßnahmenkombination aus V2, V3 und V6

Wir gehen im Folgenden davon aus, dass eine zentrale Heizungslösung für die drei Gebäude bestehen bleibt. Darum wird in einer siebten Variante eine Kombination aus den Maßnahmen **V2** – Fenster, Türen und Tore ersetzen, **V3** – Hybridheizung aus Luft-Wasser-Wärmepumpe + Spitzenlastdeckung über den Fernwärmeanschluss + PV-Anlage sowie **V6** – Beleuchtung – Leuchtstoffröhren ersetzen mit LED Lampen und zusätzlich einem sommerlichen Wärmeschutz für alle Fenster mit Südost- und Südwest-Ausrichtung betrachtet.

Die Details zu den drei Maßnahmen sind in den genannten Varianten beschrieben, Hinweise zu Nutzen und Förderung zum sommerlichen Wärmeschutz folgen der Ausführung im Kapitel 6.6 Sommerlicher Wärmeschutz. Technische Abhängigkeiten bestehen in der verringerten Auslegungsgröße des Wärmeerzeugers aufgrund reduzierter Wärmeverluste durch verbesserte Fenster.

Im Folgenden sind die Einflüsse der Maßnahmen an der Gebäudehülle aufgeführt:

- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Tabelle 38: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 7

Konstruktion	Fläche [m ²]	Kostenansatz [€ / m ²]	U-Wert alt W/(m ² K)	U-Wert neu W/(m ² K)
Fenster	270	500	$U_w = 3,2$ W/(m ² K), g = 0,78	$U_w = 0,95$ W/(m ² K), g = 0,50
Türen großflächig verglast	13	1100	$U_w = 2,7$ W/(m ² K), g = 0,78	$U_w = 1,30$ W/(m ² K), g = 0,50
Rolltore	36	1000	$U_w = 3,7$ W/(m ² K)	$U_w = 2,20$ W/(m ² K)

Maßnahmen an der Gebäudetechnik betreffend die Punkte Heizung, Beleuchtung und Eigenstromerzeugung:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe (hier kostenmäßig anteilige Berücksichtigung in Höhe von 16%)
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung (hier kostenmäßig anteilige Berücksichtigung in Höhe von 16%)
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises.

Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

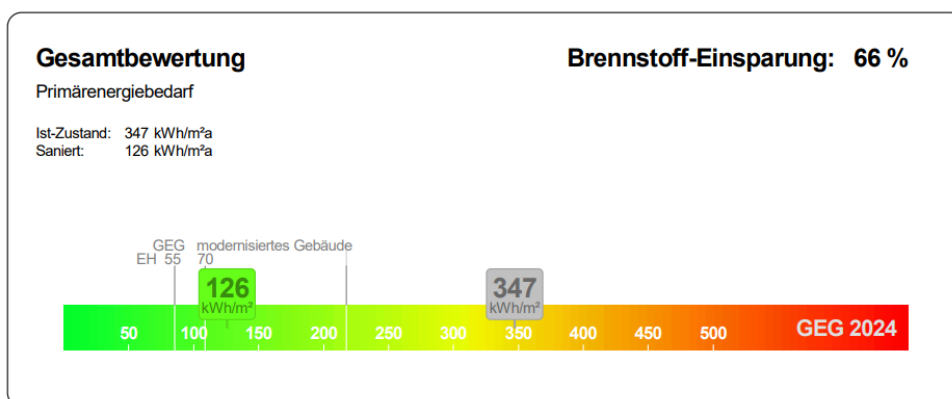


Abbildung 45: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 7

Als Annahme für die Kosten werden die der Einzelmaßnahmen genutzt. Da hier nicht alle Einflussfaktoren aller Gebäude auf eine geringere Auslegung der Wärmeerzeuger betrachtet werden, wird auch diesbezüglich mit den in Variante 3 angenommenen Kosten kalkuliert, obwohl hier angenommen werden kann, dass im Vergleich zu der Einzelvariante die Gesamtsumme etwas niedriger angesetzt werden könnte.

Tabelle 39: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 7

Kostenrahmen der Variante 7	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	358.183 €	98.862 €
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent 150 kW; Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 16 % der Gesamtkosten)	35.440 €	5.316 €
Spitzenlast über Anschluss Fernwärme (300 kW); Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 16 % der Gesamtkosten)	15.800 €	2.370 €
Wärmeverteilnetze (hydr. Abgleich) (ca. 16 % der Gesamtkosten)	14.000 €	1.400 €
Beleuchtungsanlagen	57.395 €	11.479 €
Eigenstromversorgungsanlagen (z.B. PV-Anlage)	91.000 €	91.000 €
Außenliegender sommerlicher Wärmeschutz (SW&SO)	31.100 €	31.100 €
Zu KG:334 lage RWA und Öffnungssteuerung, Wettermodul	6.500 €	6.500 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	84.550 €	22.479 €
Summe der Kosten netto	693.968 €	270.505 €
19% MwSt.	131.854 €	51.396 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	825.800 €	321.900 €

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich das folgende Ergebnis:

Tabelle 40: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 7

Kosten	Variante 7
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	825.800 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	321.900 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	118.900 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	203.000 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	71.577 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	31.728 kg/a 58%
Endenergieeinsparung durch die Variante	140.961 kWh/a 66%
Energiekosteneinsparung	2.900 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	8.400 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	14.100 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	18 a
Kapitalwert	6.695 €
Annuität	258 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 14 ct/kWh)	6 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,25 €/kg
Interne Verzinsung	6,66%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	131.370 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	31 a

Anhand der vorstehenden Daten lässt sich erkennen, dass diese Maßnahme unter Berücksichtigung von Fördergeldern wirtschaftlich umsetzbar ist. Die Endenergieeinsparung von bis zu 66 % birgt ein Kosteneinsparpotenzial von 2.900 € bis 8.400 € pro Jahr. Bezogen auf einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren und den Erneuerungsbedarf der Fenster und des Wärmeerzeugers können sich die energieeffizienzbezogenen Mehrkosten unter Berücksichtigung möglicher Fördergelder nach 18 Jahren amortisieren.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 41 herangezogen werden. Die Sensitivitätsanalyse dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Energiepreis* und *Investitionskosten* auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 41: Sensitivitätsanalyse V7 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 7		Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:				63%
	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)					
Energiepreis	495.000 € 60%	661.000 € 80%	826.000 € 100%	991.000 € 120%	1.156.000 € 140%	
-20%	11 Jahre	15 Jahre	20 Jahre	28 Jahre	unwirtschaftlich	
-10%	10 Jahre	14 Jahre	19 Jahre	26 Jahre	unwirtschaftlich	
0%	10 Jahre	13 Jahre	18 Jahre	24 Jahre	unwirtschaftlich	
10%	9 Jahre	13 Jahre	17 Jahre	23 Jahre	30 Jahre	
20%	9 Jahre	12 Jahre	16 Jahre	22 Jahre	29 Jahre	

8.9 Variante 8: Maßnahmenkombination aus V1, V2, V3 und V6

Ziel dieser achten Variante ist die Beurteilung der Auswirkungen einer Fassadendämmung in Kombination mit den zuvor in Variante 7 bereits beschriebenen Maßnahmen.

Im Fall eines kombinierten Fensteraustauschs und einer Außenwanddämmung ist eine gemeinsame Planung und Umsetzung vorteilhaft. Insbesondere ergeben sich durch nur einmalige Baustelleneinrichtung und Gerüststellung Kosteneinsparungen gegenüber der einzelnen Ausführung. Auch in dieser Variante orientiert sich die Dämmqualität von Fenstern und Türen zunächst am förderfähigen Mindeststandard und wie in Variante 7 wurde beim Austausch der Fenster zusätzlich der Einbau eines außenliegenden Sonnenschutzes mitberücksichtigt.

Weitere Ausführungsdetails sowie Vorteile dieser Maßnahmen wurden bereits in den Varianten 1 und 2 ausführlich dargelegt.

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Dämmung der Außenwände mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ($U_{\text{neu}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_{\text{W}} = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Eingangstüren ($U_{\text{D}} = 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Austausch der Rolltore ($U_{\text{D}} = 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes als sommerlicher Wärmeschutz

Im Folgenden werden die beeinflussten Bauteile nochmals aufgeführt:

Tabelle 42: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 7

Konstruktion	Fläche [m ²]	Kostenansatz [€ / m ²]	U-Wert alt W/(m ² K)	U-Wert neu W/(m ² K)
Dämmen der Außenwände gegen Außenluft (16 cm / WLS035)	407	500	1,16 – 3,20	0,20
Fenster	270	500	UW = 3,2 W/(m ² K), g = 0,78	UW = 0,95 W/(m ² K), g = 0,50
Türen großflächig verglast	13	1100	UW = 2,7 W/(m ² K), g = 0,78	UW = 1,30 W/(m ² K), g = 0,50
Rolltore	36	1000	UW = 3,7 W/(m ² K)	UW = 2,20 W/(m ² K)

Neben den kombinierten Maßnahmen an der Gebäudehülle werden dieselben Verbesserungen an der Gebäudetechnik angenommen wie in Variante 7:

- Austausch des Gaskessels gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss an die bestehende Fernwärmeleitung zur Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung entsprechend Variante 8 in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises.

Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

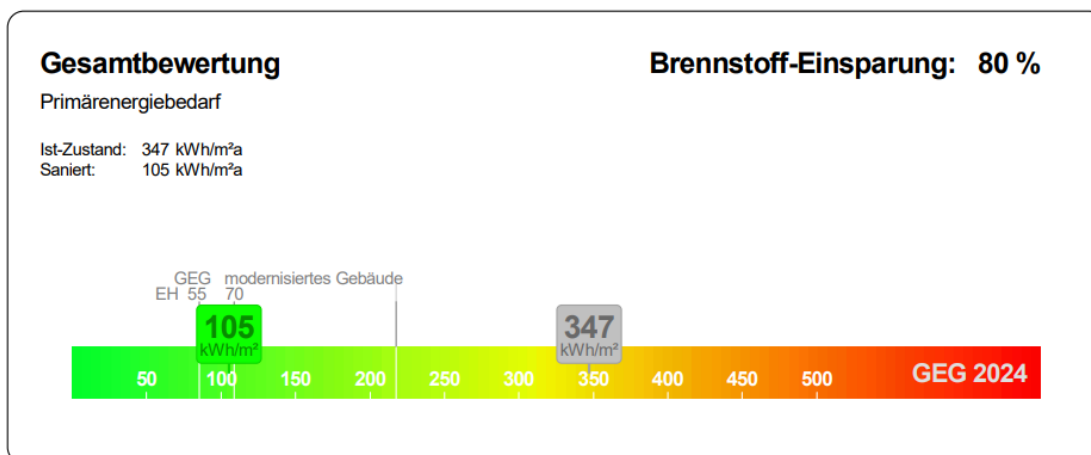


Abbildung 46: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 8

Tabelle 43: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 8

Kostenrahmen der Variante 8	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	358.183 €	98.862 €
Außenwandsanierung	244.681 €	244.681 €
Wärmeerzeuger Kosten gleich Variante 4	35.440 €	5.316 €
Spitzenlast über Anschluss Fernwärme (300 kW); Kosten-ansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 16 % der Gesamt-kosten)	15.800 €	2.370 €
Wärmeverteilstetze (hydr. Abgleich) (ca. 16 % der Gesamtkosten)	14.000 €	1.400 €
Beleuchtungsanlagen	57.395 €	11.479 €
Eigenstromversorgungsanlagen (z.B. PV-Anlage)	91.000 €	91.000 €
Außenliegender sommerlicher Wärmeschutz (SW&SO)	31.100 €	31.100 €
Zu KG:334 lage RWA und Öffnungssteuerung, Wetter-modul	6.500 €	6.500 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	133.486 €	71.415 €
Summe der Kosten netto	987.585 €	564.123 €
19% MwSt.	187.641 €	107.183 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	1.175.200 €	671.300 €

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich das folgende Ergebnis:

Tabelle 44: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 8

Kosten	Variante 8
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	1.175.200 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	671.300 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	118.900 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	552.400 €
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	42.680 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	37.985 kg/a
	69%
Endenergieeinsparung durch die Variante	169.858 kWh/a
	80%
Energiekosteneinsparung	6.600 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO ₂ -Preis	12.800 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	19.400 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-204.224 €
Annuität	-7.885 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 14 ct/kWh)	13 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,56 €/kg
Interne Verzinsung	2,49%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	-
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	161.955 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	37 a

Im Falle, dass diese kombinierte Variante zur Umsetzung kommt, überschreiten die Gesamtkosten die innerhalb von einem Kalenderjahr zu beantragenden förderfähigen Kosten für Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle von 0,55 Mio.€. Darum ist bei der Planung darauf zu achten, dass zum Beispiel der Austausch der Bauteile an Fassaden verschiedener Himmelsausrichtung in unterschiedlichen Jahren geplant und umgesetzt wird. Hier dargestellt ist eine Umsetzung innerhalb eines Jahres, wobei sich die anzusetzende Förderung um 40.000 € reduziert. Betrachtet man den Kapitalwert zeigt sich die Variante unwirtschaftlich.

Für die Fenster wird davon ausgegangen, dass diese sowieso zeitnah ausgetauscht werden müssen und nur noch einen Restwert aufweisen. Bei der Außenwanddämmung hingegen nimmt man an, dass hier zur Bauwerkserhaltung keine Dämmmaßnahme erforderlich ist und die gesamte Außenwanddämmung als energiebedingte Mehrkosten angerechnet werden. Sollte eine Sanierung der Außenwände ohnehin anstehen, so sind als energetische Mehrkosten allein die Kosten für Material und Anbringung des Wärmedämmverbundsystems anzusetzen und die Wirtschaftlichkeit lässt sich gut darstellen.

Hinweis: Wie die Abbildung 47 zeigt, erfüllt diese Variante abgesehen von mittleren U-Wert der opaken Bauteile bereits die Anforderungen an ein Effizienzgebäude 70. Unsere Analyse ergibt, dass diese Qualität erreicht werden kann, indem die energetische Qualität der Fassade sowie des Fußbodens verbessert wird.

BEG-Anforderungen	Gebäudewerte	EH 40	EH 55	EH 70	EH 100	GEG	EH 160
Primärenergiebedarf Qp	105,4 kWh/m²	☐ < 62,1	☐ < 85,4	☑ < 108,7	☑ < 155,3	☑ < 217,4	☑ < 248,5
U_m opake Bauteile	GEG: 0,40 W/m²K BEG: 0,37 W/m²K	☐ < 0,18	☐ < 0,22	☐ < 0,26	☐ < 0,34	☑ < 0,56	
U_m transparente Bauteile	0,95 W/m²K	☑ < 1,0	☑ < 1,2	☑ < 1,4	☑ < 1,8	☑ < 2,7	
U_m Türen/Tore(BEG), Lichtkuppeln, etc.	GEG: 0,00 W/m²K BEG: 2,0 W/m²K	☐ < 1,6	☑ < 2,0	☑ < 2,4	☑ < 3,0	☑ < 4,3	

Abbildung 47: Anforderungen & Einstufung nach BEG – Variante 8

In der Bilanzierung des IST-Zustand muss anhand der vorliegenden Daten davon ausgegangen werden, dass die Bodenplatte einen einheitlichen, baualterstypischen U-Wert von 1,20 W/(m²K) aufweist. Da es in Teilen des Gebäudes bereits einen Fußbodenbelag gibt, dem üblicherweise wenigstens eine geringe Trittschalldämmung untergebaut ist, muss hier z.B. mittels Bauteilöffnung geprüft werden, ob für den Fußboden insgesamt ein mittlerer U-Wert von 0,75 W/(m²K)

angenommen werden darf. In dem Fall kann in der Variante 8 mit einer verbesserten Fassaden-
dämmung mit 24 cm statt 16 cm WLS 035 und der Herstellung eines $U_{\text{neu}} = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ bereits
ein Effizienzgebäude 70 erreicht werden (Abbildung 48).

In dem Fall könnte eine höhere Förderung für Effizienzgebäude 70 in Anspruch genommen
werden – höhere förderfähige Kosten und 25 % statt 15 % Tilgungszuschuss – und ggf. auch
ein günstigerer Kredit für kommunale Bauherrn.

BEG-Anforderungen	Gebäudewerte	EH 40	EH 55	EH 70	EH 100	GEG	EH 160
Primärenergiebedarf Qp	102,8 kWh/m²	☐ < 62,1	☐ < 85,4	☑ < 108,7	☑ < 155,3	☑ < 217,4	☑ < 248,5
U_m opake Bauteile	GEG: 0,29 W/m ² K BEG: 0,26 W/m²K	☐ < 0,18	☐ < 0,22	☑ < 0,26	☑ < 0,34	☑ < 0,56	
U_m transparente Bauteile	0,95 W/m²K	☑ < 1,0	☑ < 1,2	☑ < 1,4	☑ < 1,8	☑ < 2,7	
U_m Türen/Tore(BEG), Lichtkuppeln, etc.	GEG: 0,00 W/m ² K BEG: 2,0 W/m²K	☐ < 1,6	☑ < 2,0	☑ < 2,4	☑ < 3,0	☑ < 4,3	

Abbildung 48: Anforderungen & Einstufung nach BEG – Variante 8 verbesserte Dämmung Fassade & Boden

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann *Tabelle 46* herangezogen
werden. Die Sensitivitätsanalyse dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie
der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung
wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Erneuerungsbedarf* und *Investitionskosten*
auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 45: Sensitivitätsanalyse V8 – Amortisation abhängig von Energiepreis & Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 8		Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:				45%
Energiepreis	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)					
	705.000 € 60%	940.000 € 80%	1.175.000 € 100%	1.410.000 € 120%	1.645.000 € 140%	
-20%	23 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
-10%	21 Jahre	34 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
0%	19 Jahre	31 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
10%	18 Jahre	29 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
20%	17 Jahre	27 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	

Tabelle 46: Sensitivitätsanalyse V8 – Amortisation in abhängig von Erneuerungsbedarf & Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 8		gewichtete mittlere Lebensdauer: 36,8 Jahre				
		gewichtetes Alter (Bestand): 16,7 Jahre				
		Investitionskosten Brutto (Vollkosten)				
Erneuerungs- bedarf	705.000 €	940.000 €	1.175.000 €	1.410.000 €	1.645.000 €	
	60%	80%	100%	120%	140%	
0%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
10%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
20%	36 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
30%	29 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
40%	23 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
50%	17 Jahre	27 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
60%	12 Jahre	19 Jahre	28 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
70%	8 Jahre	13 Jahre	19 Jahre	25 Jahre	33 Jahre	
80%	5 Jahre	7 Jahre	11 Jahre	14 Jahre	18 Jahre	
90%	1 Jahre	3 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	8 Jahre	

Anhand *Tabelle 46* ist ersichtlich, inwiefern die Wirtschaftlichkeit unter Annahme eines bestehenden Erneuerungsbedarf zu bewerten ist. Geht man insbesondere bei der Fassade auch von einem Erneuerungsbedarf von 80% aus so ergibt sich bei sonst gleichen Kosten- und Finanzierungsbedingungen eine mögliche Amortisation von 28 Jahren.

8.10 Variante 9 – Effizienzgebäude 55 EE:

Diese Variante geht über die Maßnahmenkombination aus Variante 7 hinaus, indem sie zum Erreichen der für ein Effizienzgebäude erforderlichen U-Werte eine verbesserte Fassadendämmung sowie eine Dämmung des Fußbodens vorschlägt. Der Q_P -Wert für den Effizienzgebäude Standard 55 kann nur mittels einer monoenergetischen Wärmepumpe erreicht werden. Zudem wird die Installation einer dezentralen Lüftungsanlage vorgesehen, welche zwar nicht notwendig ist, um ein Effizienzgebäude zu erhalten aber in letzter Konsequenz sinnvoll für ein modernisiertes Schulgebäude ist. In dieser Konstellation kann die Erneuerbare-Energien-Klasse (EE) erreicht werden, wofür aktuell eine 5 % höhere Förderung gegenüber der EG 55 beantragt werden kann.

Maßnahmen an der Gebäudehülle

- Dämmung aller Fußböden auf einen mittleren U-Wert = 0,54 W/m²K
- Dämmung der Außenwände mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ($U_{neu} = 0,14$ W/m²K)
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit $U_W = 0,95$ W/m²K
- Austausch der Eingangstüren ($U_D = 1,30$ W/m²K)
- Austausch der Rolltore ($U_D = 2,20$ W/m²K – für EG 55 Standard)
- Zusätzlich: Erneuerung des Sonnenschutzes

Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels gegen eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich des Heizungssystems
- Umstellung der Warmwassererzeugung auf 12 dezentrale WW-Durchlauferhitzer
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Lüftungsanlage für alle Zonen / Räume wie in Variante 5
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf ca. 500 m² Dachfläche (91 kWp)

Da eine nachträgliche Dämmung unterseitig der Bodenplatte nicht möglich ist, kann die Dämmung nur oberhalb der Bodenplatte erfolgen, indem der alte Boden durch einen neuen, mit Dämmung, ersetzt wird. Dabei muss für die Bodenplatte durch die aufzubringende Dämmung der neue mittlere Wert $U_{neu}=0,54$ W/(m²K) oder besser erreicht werden. In der Bilanzierung wird dafür von einer Dämmung des gesamten Gebäudebodens mit mindestens 3,5 cm WLS 035 ausgegangen. In der Planung kann der mittlere U-Wert alternativ auch über eine stärkere Dämmung von Teilbereichen und/oder durch eine Ausführung mit hochwertigeren Dämmmaterialien

realisiert werden. Wählt man den Ansatz alle Bodenflächen zu dämmen muss man zusätzlich die Veränderung der Raumhöhe und der Türanpassungen berücksichtigen. Dabei ist davon auszugehen, dass ein neuer Estrich nach aktueller DIN für eine Werkstatt recht stark ausfällt und somit auch Einfluss auf die Türstockhöhe und somit die Beschaffung neuer Türen zur Folge hat. Die damit verbundenen Kosten sind in der Kostenschätzung nicht berücksichtigt, weshalb eine hochwertigere Dämmung einzelner Bereiche ggf. zu bevorzugen wäre. Somit birgt diese zusätzliche Maßnahme auch bei einem beizeiten ohnehin anstehenden Austausch des Fußbodenbelags einen großen Planungsaufwand und hohe Kosten für Umfeld-Maßnahmen.

Zusätzlich muss die Fassade über die eigentlichen BEG-Anforderungen hinaus etwa 50 % stärker gedämmt werden, um den erforderlichen U-Wert für alle opaken Bauteile zu erreichen (Abbildung 49).

BEG-Anforderungen	Gebäudewerte	EH 40	EH 55	EH 70	EH 100	GEG	EH 160
Primärenergiebedarf Q _p	66,8 kWh/m²	☐ < 55,2	☑ < 75,9	☑ < 96,6	☑ < 138,0	☑ < 193,2	☑ < 220,8
U _m opake Bauteile	GEG: 0,25 W/m ² K BEG: 0,22 W/m²K	☐ < 0,18	☑ < 0,22	☑ < 0,26	☑ < 0,34	☑ < 0,56	
U _m transparente Bauteile	0,95 W/m²K	☑ < 1,0	☑ < 1,2	☑ < 1,4	☑ < 1,8	☑ < 2,7	
U _m Türen/Tore(BEG), Lichtkuppeln, etc.	GEG: 0,00 W/m ² K BEG: 2,0 W/m²K	☐ < 1,6	☑ < 2,0	☑ < 2,4	☑ < 3,0	☑ < 4,3	

Abbildung 49: Einhaltung der BEG-Anforderungen für das Effizienzgebäude 55 - Variante 9

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes nach einer Sanierung zum Effizienzgebäude 55 in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises. Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

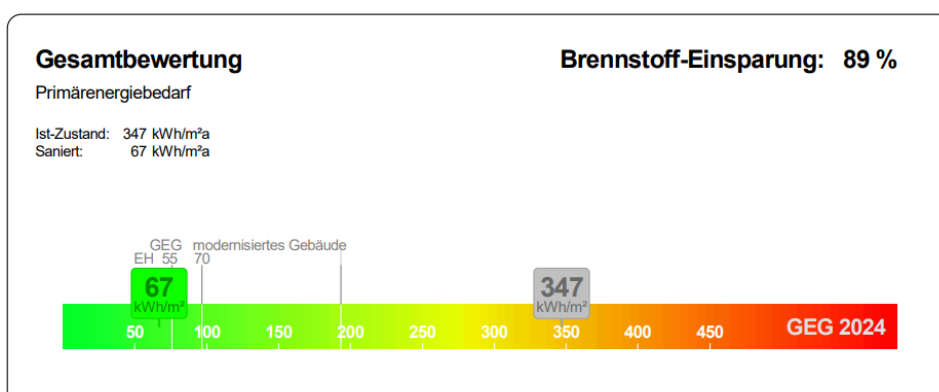


Abbildung 50: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 9

Würden diese Maßnahmen alle gemeinsam geplant und aufeinander abgestimmt, käme es kostenseitig zu Synergieeffekte. So ist zum Beispiel von einer weiteren Verringerung der Heizlast auszugehen, wodurch gemessen an der Investition mit geringen Kostenvorteilen durch die verkleinerte Dimensionierung der Wärmeerzeuger zu rechnen ist.

Tabelle 47: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 9

Kostenrahmen der Variante 9	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	358.183 €	98.862 €
Außenwandsanierung	285.072 €	285.072 €
Bodenplattensanierung	533.280 €	533.280 €
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent 150 kW; Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 16 % der Gesamtkosten)	53.424 €	8.014 €
Wärmeverteilstetze (hydr. Abgleich) (ca. 16 % der Gesamtkosten)	14.000 €	1.400 €
Lüftungsanlagen	151.375 €	151.375 €
Beleuchtungsanlagen	57.395 €	11.479 €
Eigenstromversorgungsanlagen (z.B. PV-Anlage)	91.000 €	91.000 €
Außenliegender sommerlicher Wärmeschutz (SW&SO)	31.100 €	31.100 €
Zu KG:334 lage RWA und Öffnungssteuerung, Wettermodul	6.500 €	6.500 €
Durchlauferhitzer (12 Entnahmestellen)	9.000 €	9.000 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	263.576 €	201.320 €
Summe der Kosten netto	1.853.906 €	1.428.401 €
19% MwSt.	352.242 €	271.396 €
Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.	2.206.100 €	1.699.800 €

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich das folgende Ergebnis:

Tabelle 48: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 9

Kosten	Variante 9
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	2.206.100 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	1.699.800 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	722.800 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten	977.000 €

nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	
Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)	
Endenergiebedarf	25.885 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	40.311 kg/a 73%
Endenergieeinsparung durch die Variante	186.652 kWh/a 88%
Energiekosteneinsparung	8.300 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO2-Preis	15.000 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	22.400 €/a
Wirtschaftlichkeit	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten ohne Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten mit Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-328.300 €
Annuität	-12.675 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 14 ct/kWh)	20 ct/kWh
CO ₂ -Vermeidungskosten	0,94 €/kg
Interne Verzinsung	1,78%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	26.411 €/a
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	300.546 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	40 a

Die Kombination dieser Maßnahmen kann 88 % der Endenergie 73 % der Treibhausgasemissionen einsparen. Dazu zeigt *Tabelle 49: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in abhängig von Erneuerungsbedarf & Vollkosten* hier anschaulich, wie eine ohnehin vorgesehene Sanierung der Fassade und der Böden, und dadurch als geringer anzunehmende energieeffizienzbedingten Mehrkosten, diese Variante wirtschaftlich darstellen lässt. In dem Fall wird empfohlen die Maßnahme umzusetzen. Insbesondere vor dem Hintergrund der derzeit zur Verfügung stehenden Fördermittel der KfW für Effizienzgebäude 55 der EE Klasse.

Tabelle 49: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in abhängig von Erneuerungsbedarf & Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 9		gewichtete mittlere Lebensdauer: 40,2 Jahre				
		gewichtetes Alter (Bestand): 9,2 Jahre				
		Investitionskosten Brutto (Vollkosten)				
Erneuerungsbedarf	1.324.000 €	1.765.000 €	2.206.000 €	2.647.000 €	3.089.000 €	
	60%	80%	100%	120%	140%	
0%	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
10%	29 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
20%	23 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
30%	17 Jahre	21 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
40%	12 Jahre	15 Jahre	17 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
50%	8 Jahre	10 Jahre	11 Jahre	13 Jahre	unwirtschaftlich	
60%	4 Jahre	5 Jahre	6 Jahre	7 Jahre	10 Jahre	
70%	1 Jahre	1 Jahre	1 Jahre	2 Jahre	4 Jahre	
80%	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	
90%	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	sofort wirtschaftlich	

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 50 herangezogen werden. Die Sensitivitätsanalyse dient der Quantifizierung der Unsicherheit eines Modells sowie der Darstellung des Zusammenwirkens einzelner Parameter. Im Rahmen der Untersuchung wird der Einflussbereich von Änderungen der Eingangsvariablen *Energiepreis* und *Investitionskosten* auf den Wert der Ausgangsvariable *Amortisationszeit* analysiert.

Tabelle 50: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

Wirtschaftlichkeit Variante 9		Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:				24%
	Investitionskosten Brutto (Vollkosten)					
Energiepreis	1.324.000 €	1.765.000 €	2.206.000 €	2.647.000 €	3.089.000 €	
	60%	80%	100%	120%	140%	
-20%	22 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
-10%	21 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
0%	20 Jahre	25 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
10%	19 Jahre	24 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	
20%	18 Jahre	23 Jahre	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	unwirtschaftlich	

Das zentrale Ziel der europäischen und deutschen Klimaschutzpolitik, so ist die Minderung der Treibhausgasemissionen. Bis 2030 sollen die nationalen Emissionen in Deutschland um 55% und bis 2050 um 80-95% unter das Niveau von 1990 gesenkt werden. Der im November 2016 beschlossene Klimaschutzplan 2050 ist ein Gesamtkonzept für die nationale Energie- und Klimapolitik. Mit dem im November 2019 beschlossenen Klimaschutzgesetz wurden diese Zielvorgaben nun auch gesetzlich fixiert.

Dem Gebäudesektor kommt eine zentrale Rolle beim Klimaschutz zu, denn er ist für circa ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Der Primärenergiebedarf der Gebäude um 80% gegenüber dem Jahr 2008 sinken. Um dieses sehr ambitionierte Ziel zu erfüllen sind immense Anstrengungen im Gebäudesektor notwendig - insbesondere bei der Sanierung des Gebäudebestandes.

Die aktuelle Sanierungsrate von etwa einem Prozent im Gebäudebestand wird nicht ausreichen, um das Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestandes bis 2050 zu erreichen. Klimaneutral bedeutet, dass der Ausstoß von klimaschädlichen Gasen, wie etwa CO₂, in die Atmosphäre möglichst bei null liegt. Durch den Einsatz besonders ökologischer Baumaterialien, sowie den

ausschließlichen Einsatz von erneuerbaren Energien für Heizung/Kühlung und Strom, kann bei einem Neubau relativ einfach ein klimaneutrales Gebäude entstehen. Bei der Gebäudesanierung ist die Umsetzung deutlich schwieriger und muss längerfristig betrachtet werden. Gebäudealter und Nutzung spielen hierbei eine große Rolle.

Da die Lebensdauer von Maßnahmen an der Anlagentechnik etwa 20 Jahre und für Sanierungen der Gebäudehülle oft über 30 Jahre beträgt, sollten diese Ziele bereits heute berücksichtigt werden. Insbesondere die Gebäudehülle sollte bei einer nun anstehenden Sanierung so konzipiert werden, dass diese bis 2050 nicht nochmal nachgebessert werden muss. Bei der Anlagentechnik wird bis 2050 voraussichtlich noch eine weitere Erneuerung anstehen. Dennoch ist es auch hier sinnvoll, die jetzt zu installierende Technik bereits vorausschauend auf das langfristige Ziel eines klimaneutralen Gebäudebestandes auszulegen.

Die vorgestellten Maßnahmen zeigen den für dieses Gebäude möglichen Beitrag.

8.11 Übersicht der Ergebnisse

Die folgenden Tabellen und Abbildungen stellen eine Übersicht der Energiebedarfswerte aller Varianten im Vergleich dar. Anhand der Ergebnisse wird deutlich, dass signifikante Einsparungspotenziale bei der Werkhalle vorzufinden sind. Die thermische Gebäudehülle, die Heizungsanlage sowie die Beleuchtung entsprechen nicht dem heutigen Stand der Technik und bergen daher ein erhebliches Potenzial zur Senkung des Strom- und Heizwärmebedarfs.

Die folgende Tabelle zeigt die primärenergetischen Energiebedarfswerte der Varianten im Vergleich zu den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG). Die Unterschreitung der GEG-Anforderungen gilt für Neubauten (Primärenergie 45 % unter Referenzgebäude).

Tabelle 51: Übersicht primärenergetischer Energiebedarfswerte

Variante	Primär-energiebedarf nach DIN V 18599	Abweichung von GEG „Neubau-Niveau“
	[kWh/m ² NGF]	[%]
Bestand	347,1	308,4%
Variante 1	266,3	213,3%
Variante 2	298,3	250,9%
Variante 3	181,0	113,0%
Variante 4	150,7	77,2%
Variante 5	335,7	295,0%
Variante 6	341,1	301,3%
Variante 7	127,9	50,5%
Variante 8	90,2	6,1%
Variante 9	67,9	-20,1%

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Anforderungen an den Primärenergiebedarf an einen Neubau von allen Varianten nur in der EG55 Variante unterschritten wird. Demnach ist eine ganzheitliche und umfassende Sanierung erforderlich, um das Niveau unter die derzeitigen gesetzlichen Neubauanforderungen zu senken. Die hohen Energieverluste, die durch die große Bodenplatte verursacht werden, lassen sich nur mit einem sehr hohen Aufwand sanieren. Da sich eine solche Maßnahme jetzt und sehr wahrscheinlich auch in Zukunft wirtschaftlich nicht trägt, ist sie nicht uneingeschränkt zu empfehlen.

Tabelle 52: Übersicht der Anteile für Endenergiebedarfe (verbrauchsabgeglichen)

Endenergie- bedarf - verbrauchs- abgeglichen	Heizung	Warmwas- ser	Beleuch- tung	Belüftung	Kühlung	Erzeugung	Summe
Bestand	199.957	2.046	10.535	0	0	0	212.538
Variante 1	149.704	2.063	10.353	0	0	0	162.120
Variante 2	169.018	2.018	10.670	0	0	0	181.706
Variante 3	90.719	1.230	10.535	0	0	-16.662	85.821
Variante 4	60.903	365	10.535	0	0	-18.862	52.942
Variante 5	177.631	2.068	10.353	14.597	0	0	204.649
Variante 6	201.994	2.033	3.703	0	0	0	207.730
Variante 7	81.659	809	3.765	0	0	-14.656	71.577
Variante 8	49.696	1.243	3.765	0	0	-12.024	42.680
Variante 9	26.485	365	3.765	14.597	0	-19.327	25.885

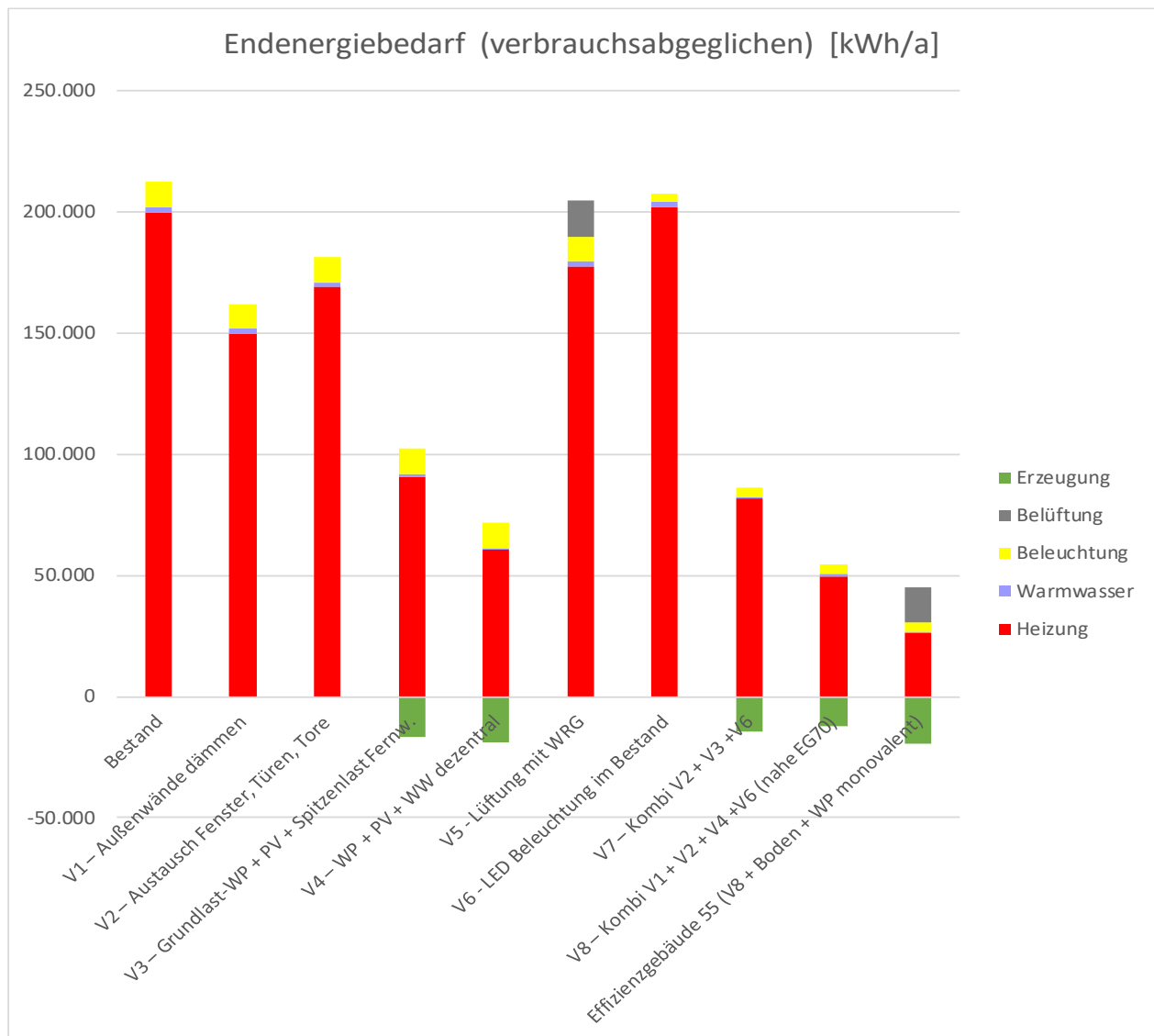


Abbildung 51: Aufteilung des Endenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten

Table 53: Übersicht der Anteile für Primärenergiebedarf (verbrauchsabgeglichen)

Primärenergiebedarf - verbrauchsabgeglichen	Heizung	Warmwasser	Beleuchtung	Belüftung	Kühlung	Erzeugung	Summe
Bestand	199.986	2.047	18.963	0	0	0	220.995
Variante 1	150.935	2.080	18.635	0	0	0	171.650
Variante 2	170.084	2.031	19.206	0	0	0	191.321
Variante 3	124.531	1.688	18.963	0	0	-29.992	115.189
Variante 4	111.277	667	18.963	0	0	-33.952	96.955
Variante 5	178.879	2.083	18.635	26.275	0	0	225.873
Variante 6	203.056	2.044	6.665	0	0	0	211.765
Variante 7	99.300	983	6.777	0	0	-26.380	80.680
Variante 8	70.465	1.762	6.777	0	0	-21.643	57.362
Variante 9	48.641	671	6.777	26.275	0	-34.788	47.576

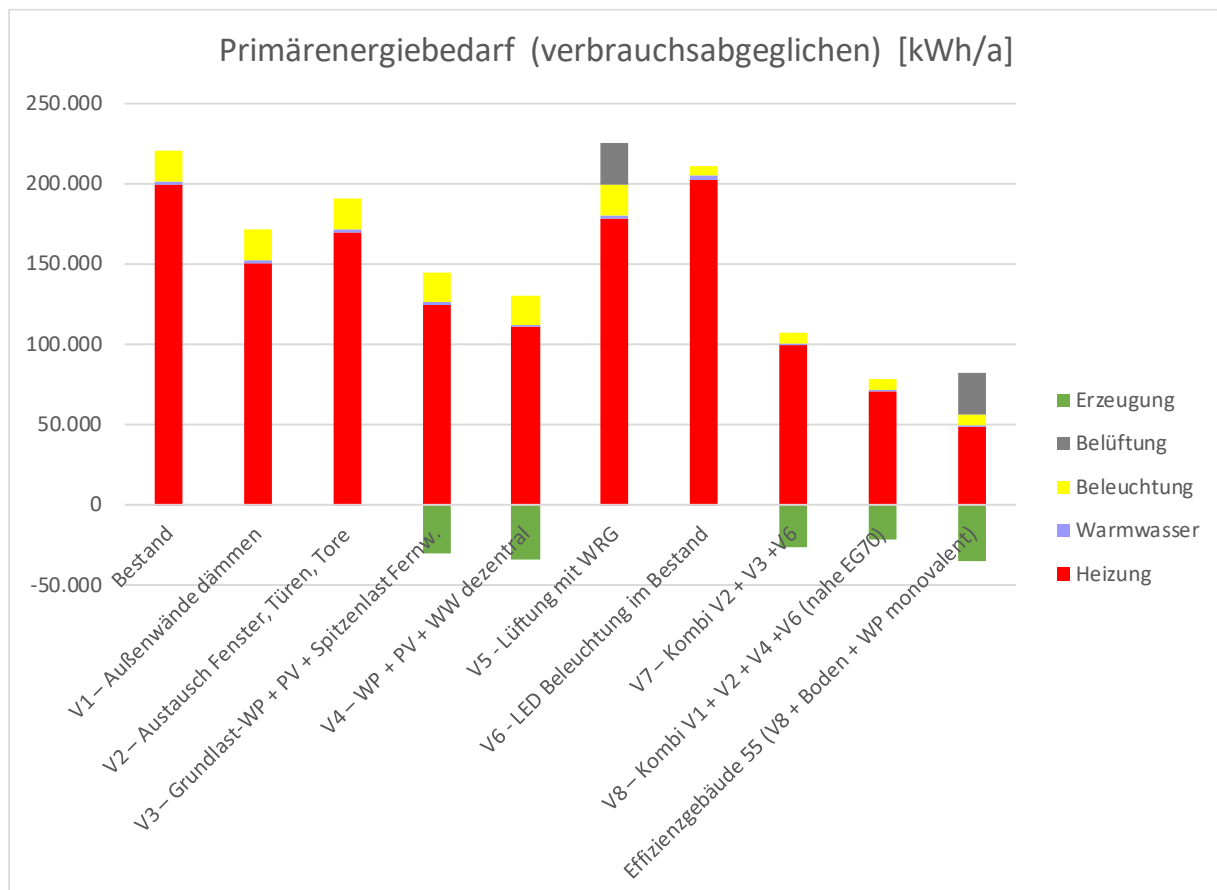


Abbildung 52: Aufteilung des Primärenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten

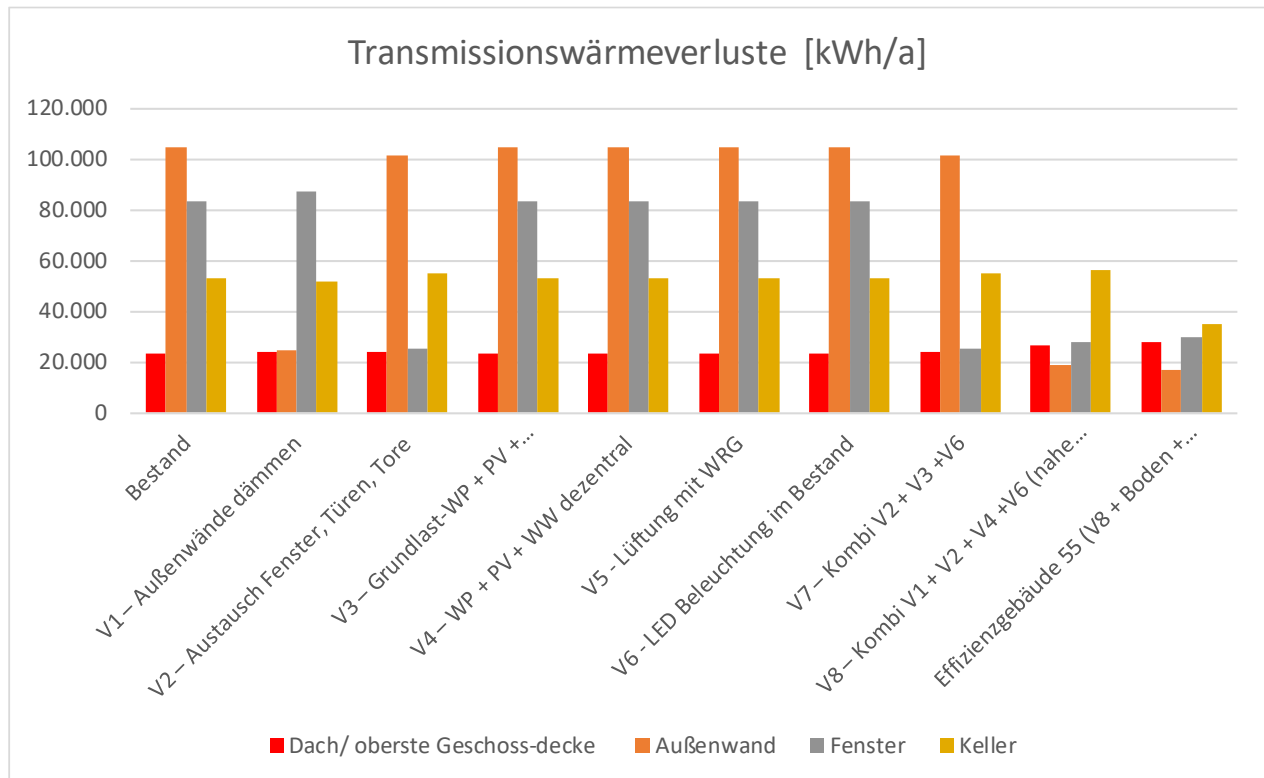


Abbildung 53: Aufteilung des Transmissionswärmeverluste im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten

Tabelle 54: Übersicht der gesamten THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen)

Variante	Summe [kg/a]	THG-Einsparung	
		[kg/a]	[%]
Bestand	55.112	-	-
Variante 1	43.113	11.999	22%
Variante 2	47.917	7.195	13%
Variante 3	34.437	20.675	38%
Variante 4	30.164	24.948	45%
Variante 5	58.082	-2.970	-5%
Variante 6	52.032	3.080	6%
Variante 7	23.383	31.728	58%
Variante 8	17.127	37.985	69%
Variante 9	14.801	40.311	73%

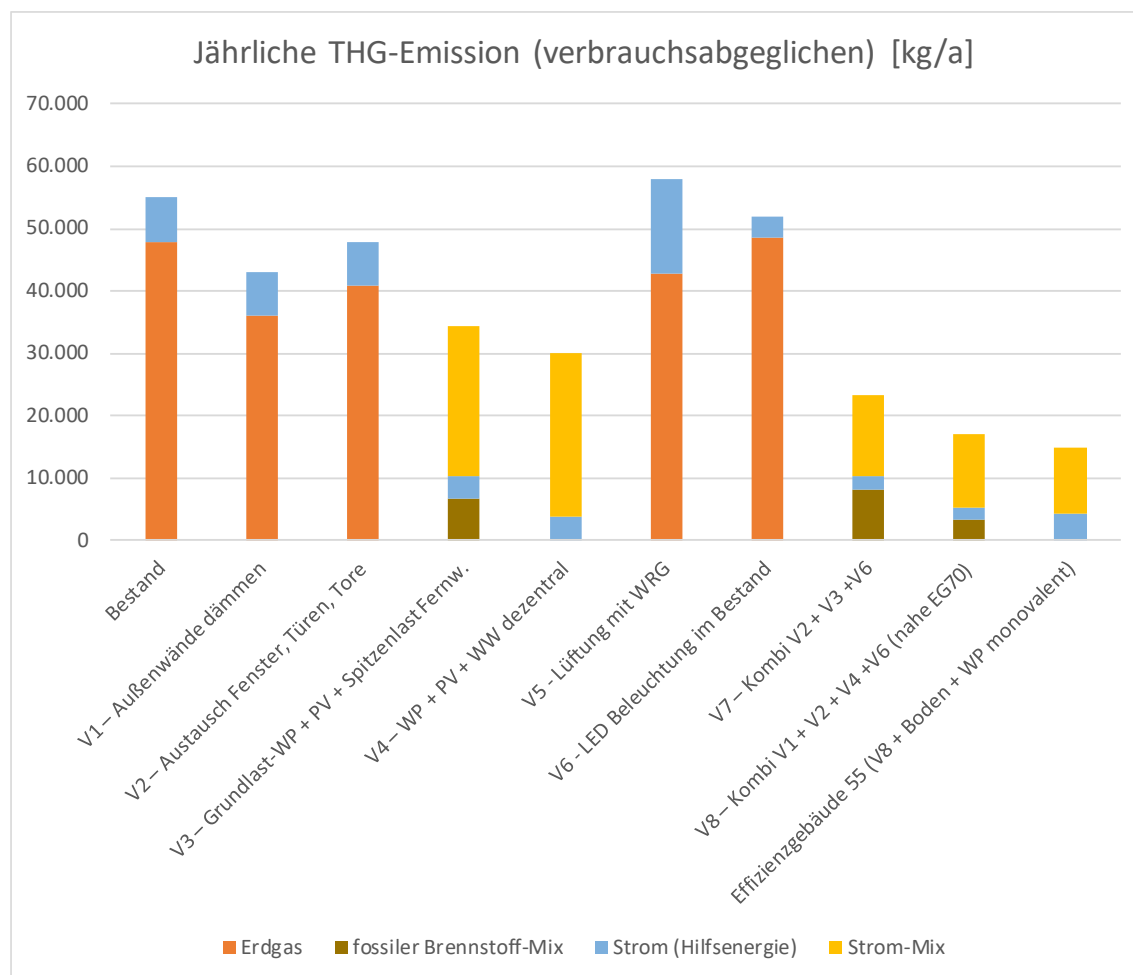


Abbildung 54: Übersicht der Anteile für THG-Emission (verbrauchsabgeglichen)

Tabelle 55: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum

Variante	Summe [€/a]	Kosteneinsparung	
		[€/a]	[%]
Variante 1	22.293	6.500	77%
Variante 2	24.775	4.000	86%
Variante 3	16.969	200	99%
Variante 4	12.806	12.300	51%
Variante 5	19.486	-2.300	113%
Variante 6	16.056	2.000	89%
Variante 7	14.696	14.100	51%
Variante 8	9.349	19.400	32%
Variante 9	6.392	22.400	22%

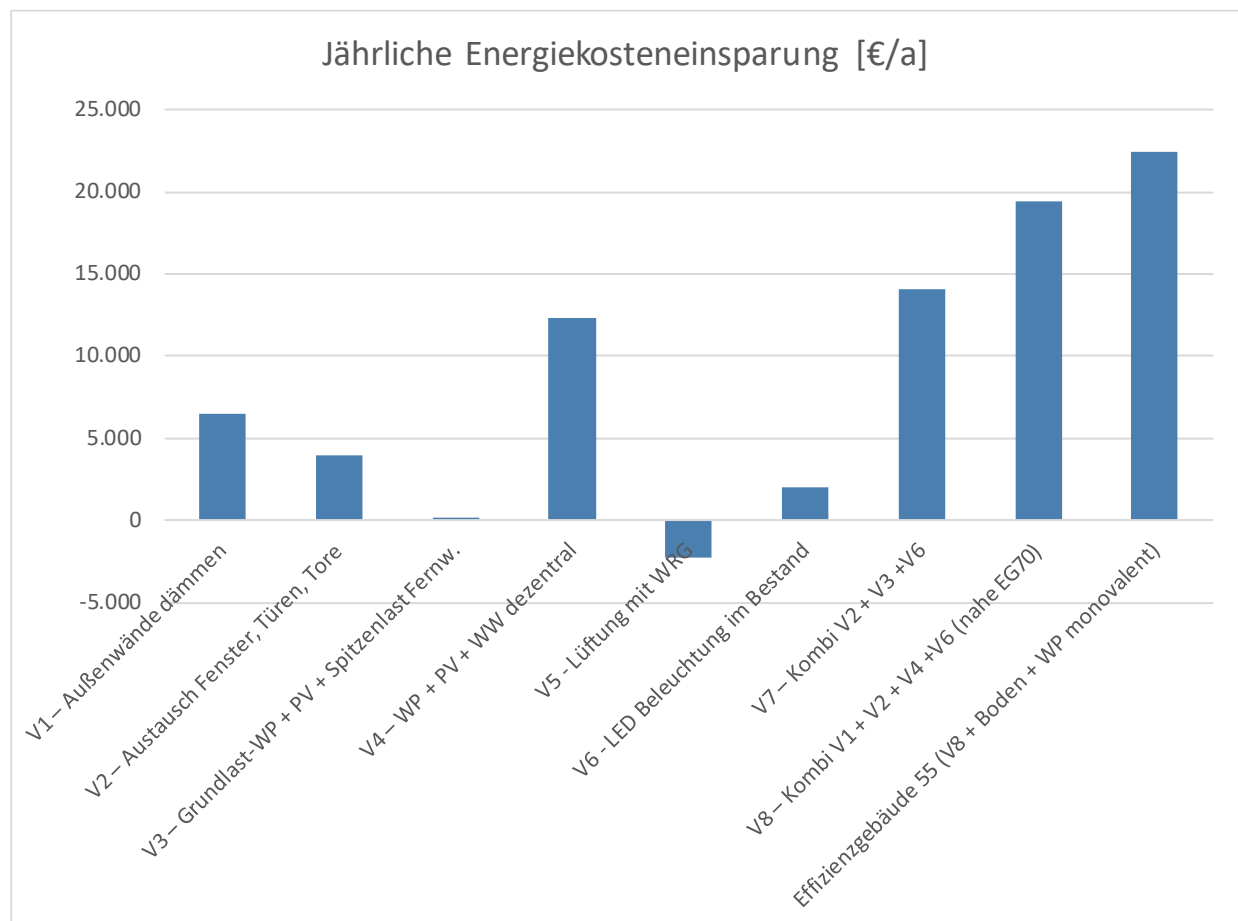


Abbildung 55: Übersicht künftige Energiekosteneinsparung je Variante

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht mit Darstellung des korrigierten Energiebedarfs (verbrauchsorientiert) für Raumheizung, der entsprechenden Heizungskosten sowie der zu erzielenden Einsparungen im Rahmen der vorgeschlagenen Varianten.

Tabelle 56: Variantenübersicht einschl. zugehöriger Kosten und Einsparung (verbrauchsabgeglichen)

Variante	Endenergiebedarf (verbrauchsorientiert)	Endenergieeinsparung		Heutige Energiekosten	Kosteneinsparung	
		[kWh/a]	[%]		[€/a]	[%]
Bestand	212.538	-	-	14.397	-	-
Variante 1	162.120	50.418	24%	11.285	3.111	22%
Variante 2	181.706	30.832	15%	12.459	1.938	13%
Variante 3	85.821	126.717	60%	15.832	-1.435	-10%
Variante 4	52.942	159.596	75%	12.441	1.956	14%
Variante 5	204.649	7.888	4%	16.329	-1.932	-13%
Variante 6	207.730	4.808	2%	12.724	1.672	12%
Variante 7	71.577	140.961	66%	11.503	2.894	20%
Variante 8	42.680	169.858	80%	7.802	6.595	46%
Variante 9	25.885	186.652	88%	6.083	8.314	58%

Es zeigt sich, dass hohe Energiekosteneinsparungen von bis zu 8.300 Euro möglich sind. Insbesondere die Sanierung der Außenwände sowie eine Erneuerung der Anlagentechnik ist an dieser Stelle zu nennen. Wenn man darüber hinaus die künftigen Energiekosten inkl. steigende CO₂ Bepreisung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum mit einbezieht, wird in Tabelle 55: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum deutlich, dass sogar Einsparungen von bis zu 22.400 € pro Jahr mit Variante 9 zu erreichen sind.

Grundsätzlich ist für alle Varianten für die weitere Verfolgung eine vertiefende Planung zu empfehlen. Dabei sollte neben dem Einsatz hocheffizienter Technik und einer intelligenten Steuerung der Konditionierungsbedarf der einzelnen Bereiche optimiert werden. Oft sind durch die Nutzung von Synergieeffekten Kosteneinsparungen möglich.

Die **geschätzten** Investitionskosten, der auf die Investitionskosten entfallende Anteil für die energiebedingten Mehrkosten, sowie die dynamische Amortisationszeit der energiebedingten Mehrkosten durch die Energiekosteneinsparung, sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Die Kosten stellen einen groben Kostenrahmen dar, der anhand von Erfahrungswerten ermittelt wurde. Bitte beachten Sie, dass Abweichungen hiervon möglich sind, da zum Zeitpunkt der Konzepterstellung keine detaillierte Planung vorliegt, die eine genauere Einschätzung der Kosten zulassen würde.

Die energiebedingten Mehrkosten ergeben sich aus dem Restwert der ausgetauschten Bauteile, sofern diese jünger als die mittlere durchschnittliche Nutzungsdauer gemäß BNB [8] oder VDI 2067 [9] sind, sowie den Mehrkosten für eine Qualität der Bauteile, die über den öffentlich-rechtlichen Mindestanforderungen bei einem Austausch ohnehin entstehen.

Tabelle 57: Übersicht der Investitionskosten und Amortisationsdauer

Variante	Energiekosten	Investitionskosten (Vollkosten)	Energiebedingte Mehrkosten	Annuität	Dyn. Amortisation	Äqu. Energiepreis	CO ₂ Vermeidungskosten	Interner Zins
	[€/a]	[€]	[€]	[€/a]	[a]	[ct/kWh]	[€/kg]	[%]
Variante 1	22.293	349.404	349.404	-4.976	unwirtschaftlich	23	0,96	0,35
Variante 2	24.775	519.994	149.683	1.241	21	9	0,38	5,13
Variante 3	16.969	193.689	120.184	-5.007	unwirtschaftlich	4	0,26	-15,68
Variante 4	12.806	207.258	131.322	6.674	10	4	0,23	11,26
Variante 5	19.486	198.150	198.150	-11.940	unwirtschaftlich	122	-3,24	n.a.
Variante 6	16.056	75.130	15.026	1.768	2	5	0,07	52,78
Variante 7	14.696	825.822	321.902	258	18	6	0,25	6,66
Variante 8	9.349	1.175.227	671.306	-7.885	unwirtschaftlich	13	0,56	2,49
Variante 9	6.392	2.206.148	1.699.797	-12.675	unwirtschaftlich	20	0,94	1,78

Der Berechnung der dynamischen Amortisationsdauer liegen Zinssatz und Energiepreissteigerung aus Kapitel 2.5 zugrunde.

Die Kosten für Planungsleistungen sind in den o.g. Kosten pauschal berücksichtigt. **Des Weiteren werden für die Wirtschaftlichkeitsberechnung lediglich die energiebedingten Mehrkosten angerechnet.** Der Restbetrag fällt unter die Instandhaltungskosten, welche kontinuierlich gezahlt werden müssen.

Betrachten wir Kombinationen der Einzelmaßnahmen verändert sich der Betrachtungszeitraum, weil die mittlere Lebensdauer als Mittelwert verschiedenen betrachteten Bauteile und Anlagenteile bestimmt wird. Bitte beachten Sie, dass darum innerhalb des betrachteten Zeitraums ggf. einzelne Komponenten der jeweiligen Maßnahmen nochmals ausgetauscht werden. Die Methodik sieht vor, dass alle Komponenten eine Nutzungsdauer aufweisen müssen, die wenigstens halb so lang ist wie der Betrachtungszeitraum, um einen Kostenfaktor für die Ersatzbeschaffung darzustellen. Entsprechend der Lebensdauer von anlagentechnischen Komponenten (20 Jahre)

wurde beispielhaft genau ein Austausch bei 50 Jahren angesetzt, ohne Bewertung des Restwertes der Neuanschaffung. Die Einsparungen könnten beispielsweise zur Refinanzierung einer weiteren Neuanschaffung verwendet werden.

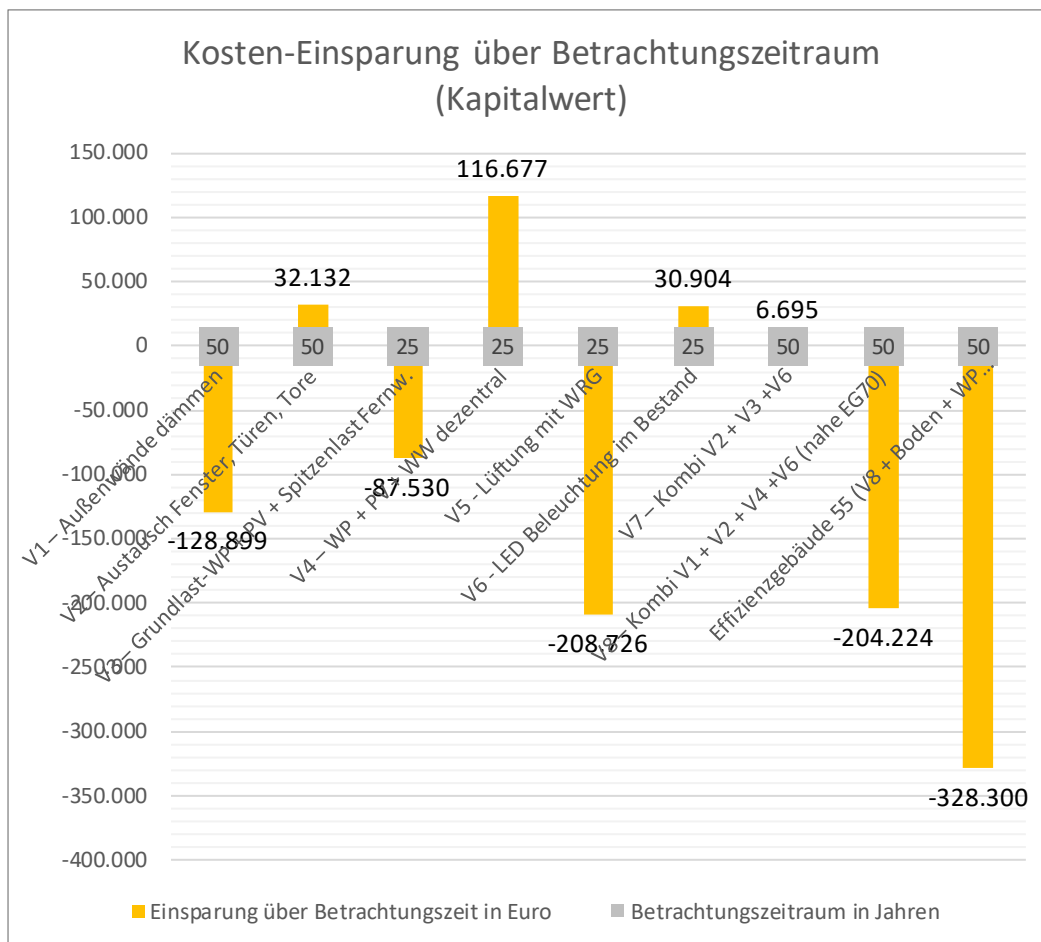


Abbildung 56: Gegenüberstellung der Kosten-Einsparungen nach Abzug der Investitionskosten unter Berücksichtigung der jeweiligen mittleren Lebensdauer einer Variante mittels Kapitalwertmethode

Bei Variante 1, 8 und 9 werden die Kosten für die Außenwandsanierung vollständig als energetische Mehrkosten angesetzt, sodass kein Abzug der Vollkosten erfolgt. Dies führt dazu, dass innerhalb der mittleren Lebensdauer kein monetärer Gewinn erwirtschaftet werden kann. Eine Sanierung als Effizienzmaßnahme ist daher nicht ohne Berücksichtigung weiterer, nicht-energieeffizienzbedingter Kriterien zu empfehlen.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse wird insbesondere die Umsetzung der Variante 7 empfohlen, da die Fenster mittelfristig ihr maximale Lebensdauer erreichen und eine Erneuerung der Heizanlage auch aus technischen Gründen anzunehmen ist. Aus wirtschaftlicher Sicht zeigt

sich die Variante 7 gut darstellbar. Nach Ablauf des Betrachtungszeitraumes von 50 Jahren kann ein positiver Kapitalwert erzielt werden. Des Weiteren lohnt die Betrachtung der noch ökologischeren Variante 8, welche im Falle einer ggf. ohnehin anstehenden Fassadensanierung ebenfalls als wirtschaftlich eingeschätzt wird. In beiden Variantenkombinationen kann vor einer endgültigen Entscheidung für eine bevorzugte Heiztechnik noch einmal die monoenergetische Wärmepumpe der Versorgung durch eine aus Fernwärme und Wärmepumpe kombinierte Heizanlage gegenübergestellt werden, da dies auch Einfluss auf die Einstufung in die EE-Klasse hat.

Mit Variante 7 ist es möglich eine Endenergieeinsparung von bis zu 66 % zu realisieren und es können in dieser Variante 58 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Dadurch kann im Mittel mit einer zukünftigen jährlichen Reduktion der Energiekosten von ca. 12.200 Euro über die mittlere Lebensdauer von 31 Jahren gerechnet werden.

Für Variante 7 können Fördermittel in Höhe von insgesamt ca. 119.000 Euro beantragt werden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit in Anspruch zu nehmen. Bei Inanspruchnahme der Fördermittel ist die Maßnahme empfehlenswert, da sich die energieeffizienzbedingten Mehrkosten der Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen bereits nach 18 Jahren amortisieren können.

Die Einzelmaßnahmen der Variante werden derzeit durch die „Bundesförderung für effiziente Gebäude - NWG“ (BEG NWG) mit einem Förderbetrag von 15 % unterstützt. Die Förderung für die Einzelmaßnahme „Wärmeerzeuger“ beträgt bis zu 35 % der förderfähigen Kosten. Förderfähig sind die im Zusammenhang mit der jeweiligen Maßnahme anfallenden Kosten. Des Weiteren werden auch notwendige Umfeldmaßnahmen gefördert.

Für Gebäude, die den Standard eines Effizienzgebäudes erfüllen, gibt es einen höheren Maßstab. Die Effizienz eines Gebäudes wird durch eine Kennzahl ausgedrückt, wobei ein niedrigerer Wert eine höhere Effizienz und einen geringeren Energieverbrauch bedeutet.

Die Variante 9 zeigt die theoretische Erreichbarkeit eines **Effizienzgebäude 55 EE** (Erneuerbare Energie Klasse). Damit besteht die Möglichkeit, Fördermittel aus dem Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) mit einer erhöhten Förderung von 35 % der förderfähigen Kosten in Anspruch zu nehmen. Trotz der besseren Förderung ist eine Umsetzung dieser Variante unter rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu empfehlen.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen sollte neben der Einsparung an Energiekosten allerdings auch immer der Aspekt des Klimaschutzes sowie die langfristigen klimapolitischen Ziele berücksichtigt werden.

9 Möglichkeiten zur Stromeinsparung

9.1 Maßnahme: Verbesserung der Energieeffizienz von EDV Geräten

Bei der routinemäßigen Erneuerung von EDV-Komponenten (PC, Monitore, Drucker, etc.) sollten mindestens die Vorgaben des „**Energy Star**“-Labels für energieeffiziente EDV-Technik berücksichtigt werden.

Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie in einem Leitfaden der Deutschen Energieagentur zur Beschaffung energiesparender Bürogeräte:

https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/Leitfaden_Energieeffiziente_Bueroeraete_beschaffen.pdf

9.2 Maßnahme: Verbesserung der Energieeffizienz von Beleuchtungsprodukten

Bei der routinemäßigen Erneuerung der Beleuchtung sollten die vorhandenen Leuchtmittel, bestehend aus stabförmigen Leuchtstofflampen und Glühlampen (partiell), durch moderne und effiziente LED-Technik ersetzt werden. In einigen Bereichen ist dies bereits erfolgt. Von einem grundsätzlichen Austausch wird abgeraten.

Zusätzlich können Bewegungsmelder installiert werden, um zu gewährleisten, dass die Beleuchtung nur dann im Betrieb ist, wenn diese auch benötigt wird. In den Fluren eignen sich Präsenzmelder für die Wandmontage mit einem Erfassungsbereich von 180°.

In den Büroräumen würde sich vor allem ein an der Decke montierter Präsenzmelder lohnen. Diese stellen die Anwesenheit von Personen fest, ohne dass diese sich bewegen müssen. An der Decke montiert kann ein Präsenzmelder meist alle im Raum anwesenden Personen erfassen.

10 Weitere Empfehlungen

Im Rahmen der Energieberatung werden Energieeffizienzmaßnahmen zur Verbesserung des **Nutzerverhaltens** genannt sowie allgemeine Informationen zu **Fördermöglichkeiten** und weitergehenden Sanierungsmöglichkeiten im Rahmen des **nachhaltigen Bauens** gegeben.

10.1 Maßnahme: Hinweise zum Nutzerverhalten

Weiterhin ist zu empfehlen, dass jeder Mitarbeiter sein Nutzerverhalten hinsichtlich Energieeinsparung hinterfragt. Vor allem in den Bereichen Heizen, Beleuchtung, EDV / Multimedia und Küchengeräte kann durch einen energieeffizienten und umweltbewussten Umgang sehr viel Energie und somit auch Geld eingespart werden. Nachfolgend werden einige Nutzungshinweise beschrieben:

Heizen:

- Eine Reduzierung der Raumtemperatur um ein Grad spart ca. 6 % an Heizenergie.

Beleuchtung:

- Schalten Sie das Licht erst an, wenn Sie es wirklich benötigen
- Schalten Sie das Licht aus, wenn Sie den Raum verlassen

EDV / Multimedia:

- Drucken Sie möglichst wenig aus
- Wenn Sie etwas drucken, prüfen Sie, ob das Papier zweiseitig bedruckt werden kann
- Stellen Sie an Ihren PC, falls nicht schon geschehen, den Energiesparmodus ein
- Achten Sie darauf, dass Ihr Bildschirm nach spätestens 15 min. ausgeht (PC verbraucht ca. 30 % und Monitor 70 % Energie)
- Wenn Sie den Arbeitsplatz länger verlassen, schalten Sie den Monitor per Hand aus
- Schalten Sie Zusatzgeräte, wie Drucker, Aktenvernichter erst dann ein, wenn Sie genutzt werden
- Benutzen Sie am Ende eines Arbeitstages immer die Steckdosenleiste, um sicherzustellen das alle Geräte ausgeschaltet sind (Der Stand-by-Betrieb eines PCs samt Monitor kostet bei einem günstigen Stromtarif ca. 5 € im Jahr)

10.2 Einsatz von dezentralen Lüftern mit Wärmerückgewinnung

Je besser ein Gebäude wärmegeklämt wird und je geringer die Verluste bei der Wärmeerzeugung werden, desto stärker fallen die Lüftungswärmeverluste ins Gewicht. Frische Luft ist erforderlich, um die von der Atmung verbrauchte, sauerstoffarme Luft zu ersetzen und Schadstoffe sowie Feuchtigkeit abzutransportieren. Während Gebäude früher auch ohne kontrollierte Lüftung funktioniert haben, funktioniert dies im sanierten Zustand oft nicht mehr. Dies hängt damit zusammen, dass zuvor in der Regel undichte Fenster eingebaut waren. Dies bewirkte eine Art Zwangslüftung mit entsprechenden Wärmeverlusten.

Um den Feuchteschutz nach der Sanierung zu gewährleisten, wird daher eine kontrollierte Raumlüftung mit dezentralen Lüftern und einer Wärmerückgewinnung empfohlen. Diese Technik hat den Vorteil, dass sie einfach und unabhängig von anderen Maßnahmen installiert werden kann. Hierzu ist in einigen Räumen ein Durchbruch durch die Wand, z. B. mittels einer Kernbohrung, erforderlich. In diese Öffnung wird das Lüftungsgerät eingesetzt. Zudem ergeben sich eine Reihe von weiteren Vorteilen, wie beispielsweise Lärmschutz, Reduzierung der Verunreinigungen in der Zuluft (durch entsprechende Filterung) bis hin zur Pollenfreiheit.

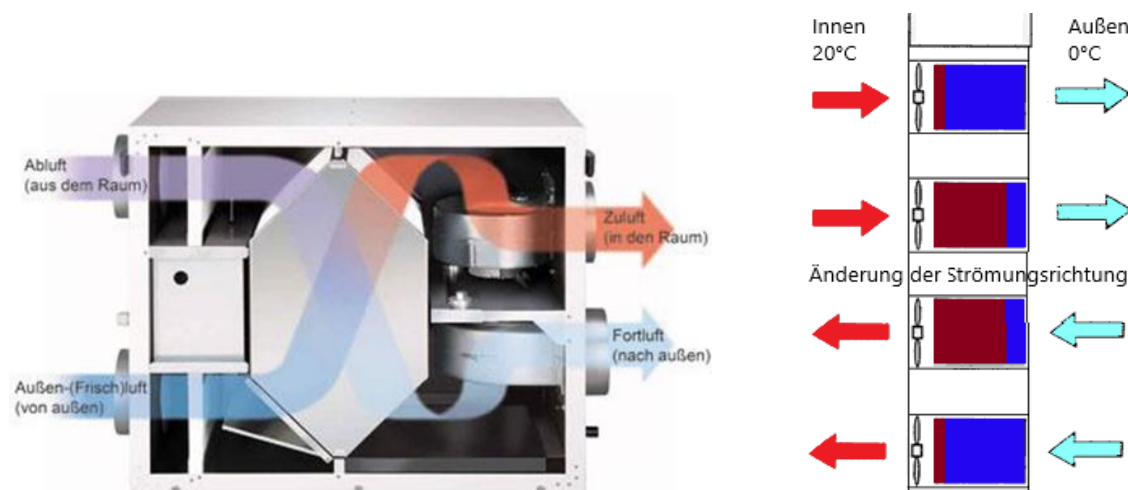


Abbildung 57: Die beiden Prinzipskizzen der beiden Arten von dezentralen Lüftungsgeräten

Es gibt es zwei Arten von dezentralen, wärmerückgewinnenden Lüftungssystemen. Die eine Art hat einen integrierten Kreuzwärmetauscher der gleichzeitiges be- und entlüften ermöglicht. Die Luft strömt durch mehrere kleine und gut wärmeleitende „Röhrchen“ aneinander vorbei. Damit wird das Temperaturniveau der Außenluft durch die Wärme der vorbeiströmenden Innenluft angehoben.

Die Alternative sind zwei Lüfter mit keramischen Wärmetauschern, die im Pendelbetrieb arbeiten. Beim Pendelbetrieb wird erst die verbrauchte Luft für ca. 70 Sekunden abgesaugt. Gleichzeitig arbeitet ein weiterer, identischer Lüfter entgegengesetzt und bläst frische Luft in den Raum, um den Luftdruck stabil zu halten. Nach 70 Sekunden wechseln die Lüfter ihre Strömungsrichtung. Der Keramikern hat eine große Oberfläche mit hoher Wärmespeicherfähigkeit. Der Kern erwärmt sich im Abluftbetrieb und gibt die Wärme im Zuluftbetrieb wieder ab.

Beide Systeme kosten in etwa gleich viel, jedoch besteht bei Systemen mit zwei Lüftern, die Möglichkeit Räume durch Überstromöffnungen zu verbinden und damit eine größere Fläche abzudecken.

10.3 Informationen über anwendbare Zuschüsse und Beihilfen

Zur Verbesserung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energien werden derzeit u.a. die nachfolgend beschriebenen Fördermöglichkeiten angeboten. Diese Auflistung ist nicht abschließend. Da sich Förderprogramme und deren Konditionen häufig ändern, informieren Sie sich bitte immer aktuell mit Hilfe der angegebenen Internetadressen.

Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG)



Abbildung 58: Förderstruktur der BEG

10.3.1 Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen

Der Bund fördert Einzelmaßnahmen zur energetischen Verbesserung bestehender Gebäude mit hohen Förderquoten. Gefördert werden Maßnahmen an der Gebäudehülle, der Einbau erneuerbarer Wärmeerzeuger sowie Maßnahmen an der sonstigen Gebäudetechnik und zur Heizungsoptimierung. Die Förderung erfolgt als prozentualer Investitionszuschuss über das BAFA. Seit dem 01.01.2024 liegt die **Zuständigkeit für die Förderung von Heizungsanlagen** nicht mehr beim BAFA¹⁰, sondern bei der KfW. Zusammen mit der 65%-EE-Pflicht im GEG

¹⁰ Die Förderung der Errichtung, Erweiterung und Optimierung von Gebäudenetzen sowie die Förderung der Heizungsoptimierung verbleibt beim BAFA. Auch die übrigen Effizienzmaßnahmen (Gebäudehülle, sonstige Anlagentechnik) werden weiterhin über das BAFA gefördert.

wurde zum 1.1.2024 eine **neue Förderung für den Austausch von Heizungsanlagen** eingeführt. Die Richtlinien der **systemischen Förderung** (Sanierung zum Effizienzhaus/-gebäude) und der Förderung **Klimafreundlicher Neubau** (KFN) sind unverändert geblieben.

Die **Höchstgrenzen förderfähiger Kosten für Heizungsanlagen** bei Nichtwohngebäuden beträgt **30.000 Euro für Gebäude bis 150 m² Nettogrundfläche (NGF)**. Für Gebäude mit mehr als 150 m² NGF gilt folgende gestaffelte Höchstgrenze der förderfähigen Ausgaben:

- **bis 400 m² NGF - 200 Euro pro m² NGF**
- **400 bis 1.000 m² NGF - zusätzlich 120 Euro pro m² NGF**
- **Ab 1.000 m² NGF - zusätzlich 80 Euro pro m² NGF**

Betrifft die geförderte Maßnahme nicht die gesamte Gebäudefläche (beispielsweise Teilheizung), so wird die Höchstgrenze für den Anteil der betroffenen Nettogrundfläche ermittelt.

Seit dem 1.1.2024 stehen zusätzlich zu den förderfähigen Kosten für den Heizungstausch weitere **förderfähigen Investitionskosten für Effizienzmaßnahmen** (s. Abbildung 60) zur Verfügung. Bei **Nichtwohngebäuden** liegen die förderfähigen Kosten für Effizienzmaßnahmen bei **500 Euro je m² Nettogrundfläche** – ohne Deckelung. Die förderfähigen Kosten für **Effizienzmaßnahmen** können **jedes Kalenderjahr erneut** in Anspruch genommen werden. Die förderfähigen Kosten für den **Heizungstausch** stehen hingegen **je Gebäude nur einmalig** zur Verfügung. Zudem bietet die KfW ab 2024 einen **Ergänzungskredit für Einzelmaßnahmen** an. Damit können für alle Einzelmaßnahmen die nach Abzug der Zuschussförderung verbleibenden Kosten (max. 120.000 Euro/Wohneinheit bzw. für Nichtwohngebäude max. 500 €/m² und max. 5 Mio. € pro Gebäude) finanziert werden.

Grundsätzlich musste bislang immer **erst ein Förderantrag gestellt werden, bevor Leistungen beauftragt werden**. Eine vorherige Beauftragung war nur mit aufhebender oder aufschiebender Bedingung im Vertrag bzw. in der Beauftragung möglich. Nach der neuen Richtlinie kann erst dann ein Antrag gestellt werden können, wenn die geplanten Maßnahmen **bereits beauftragt sind** und die Beauftragung eine **auflösende oder aufschiebende Bedingung** enthält, also an die Zusage der Förderung geknüpft ist. Zudem muss aus der Beauftragung hervorgehen, dass die Maßnahme **innerhalb der Bewilligungsfrist von 36 Monaten umgesetzt** wird.¹¹

¹¹ Abweichend kann für die Wärmeerzeugerförderung (ohne Gebäudenetze) bei Vorhabenbeginn bis zum 31.08.2024 der Förderantrag bis Ende November 2024 nachgeholt werden. Zudem ist es bis Ende 2024 möglich, bei der Förderung von Wärmeerzeugern einen bereits gestellten Antrag nach der alten Richtlinie zurückzuziehen und ohne Sperrfrist direkt einen neuen Antrag nach neuer Richtlinie zu stellen.

Die geförderten Maßnahmen und die jeweiligen Förderquoten sind in den folgenden Abbildungen dargestellt:

Einzelmaßnahmen Wärmeerzeugung	Zuschuss	Klimageschwindigkeits-Bonus für selbstnutzende Wohneigentümer	Einkommens- Bonus
Wärmepumpen ¹	30 % (mit Boni kumulierbar, Zuschuss max. 55 %, für selbstnutzende Eigentümer 70 %)	2024 - 2028: 20 %	30 % (nur für selbstnutzende Wohneigentümer bis 40.000 € zu versteuerndes Haushalts- einkommen)
Biomasseheizungen ²		2029 - 2030: 17 %	
Solarthermische Anlagen		2031 - 2032: 14 %	
Gebäudenetz ¹		2033 - 2034: 11 %	
Errichtung/Umbau/Erweiterung		2035 - 2036: 8 %	
Gebäudenetzanschluss		Ab 2037 entfällt der Bonus.	
Wärmenetzanschluss		(bei Austausch von Öl-, Kohle-, Gasetagen- und Nachtspeicher- heizungen oder mind. 20 Jahre alten Gas- oder Biomasseheizungen)	
Brennstoffzellenheizung			
Wasserstofffähige Heizung (Investitionsmehrausgaben)			
Innovative Heizungstechnik			

¹ zusätzlicher **Effizienz-Bonus von 5 %**, bei Erdreich, Wasser oder Abwasser als Wärmequelle oder Einsatz natürlicher Kältemittel

² zusätzlicher **Emissionsminderungs-Zuschlag von 2.500 €** für Biomasseanlagen mit Staubemissionen $\leq 2,5 \text{ mg/m}^3$

Abbildung 59: Förderübersicht Wärmeerzeuger

Einzelmaßnahmen Gebäudehülle und Anlagentechnik	Zuschuss	iSFP- Bonus ¹
Gebäudehülle	15 %	5 %
Anlagentechnik (außer Heizung)	15 %	5 %
Heizungsoptimierung zur Effizienzverbesserung	15 %	5 %
Heizungsoptimierung zur Emissionsminderung	50 %	-

¹ nur für Wohngebäude, wenn Maßnahmen aus dem „individuellen Sanierungsfahrplan“ umgesetzt werden

Abbildung 60: Förderübersicht Effizienzmaßnahmen

Weitere Informationen finden Sie unter [Bundesförderung für effiziente Gebäude \(BEG\) : Öko-Zentrum NRW](#)

10.3.2 Bundesförderung für effiziente Gebäude - Sanierung zum Effizienzgebäude

Der Bund fördert systemische Sanierungen von Nichtwohngebäuden auf ein Effizienzgebäude-Niveau mit hohen Förderquoten. Gefördert werden alle energetischen Sanierungsmaßnahmen, die zum Erreichen des jeweiligen energetischen Niveaus erforderlich sind. Bei einer überwiegenden Versorgung aus erneuerbaren Energien (EE-Klasse¹²) oder einer Nachhaltigkeitszertifizierung (NH-Klasse) erhöht sich die Förderquote. Die Förderung erfolgt über die KfW als prozentualer Investitionszuschuss oder als Kredit mit Tilgungszuschuss. Die geförderten Effizienzgebäude-Stufen und die jeweiligen Förderquoten sind in der folgenden Abbildung dargestellt:

Förderung als Kredit mit Tilgungszuschuss seit 01.01.2023				
Effizienzgebäude-Standard	Zinsvorteil max.	Tilgungszuschuss	EE-Klasse oder NH-Klasse	WPB-Bonus
Effizienzgebäude Denkmal	15 %	5 %	5 %	-
Effizienzgebäude 70	15 %	10 %	5 %	10 % (nur 70 EE)
Effizienzgebäude 55	15 %	15 %	5 %	10 %
Effizienzgebäude 40	15 %	20 %	5 %	10 %

Zinsvorteil + Tilgungszuschuss = Zuschussförderung für Kommunen

EE- und NH-Klasse nicht kumulierbar. WPB-Bonus kann mit EE- oder NH-Klasse kumuliert werden.
Förderfähige Kosten bis zu 2.000 €/m² NGF, maximal jedoch 10 Mio. € pro Objekt und Kalenderjahr.

Abbildung 61: Förderübersicht BEG-Nichtwohngebäude - Sanierung zum Effizienzgebäude

Alternativ zu einem Kredit können Kommunen auch einen Direktzuschuss beantragen. Dieser setzt sich zusammen aus der Summe des Tilgungszuschusses und dem Zinsvorteil. Für ein Effizienzgebäude 70 entspricht dies einem Direktzuschuss von 25 %.

Weitere Informationen finden Sie unter <https://oekozentrum.nrw/beg>

¹² BEG-Reform 1.1.2023 zur EE-Klasse: Mindestens 65 % des Wärme- und Kälteenergiebedarfs müssen aus erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme gedeckt werden. Voraussetzung für das Erreichen der EE-Klasse ist der Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Ausnahmen bestehen für den Denkmal-Standard sowie bei Nichtwohngebäuden für niedrig beheizte Zonen und für bestimmte Nutzungsprofile. Beim Anschluss an ein Wärmenetz kann für den Nachweis der EE-Klasse immer ein EE-Anteil des Wärmenetzes von 65 % pauschal angesetzt werden.

10.4 Nachhaltiges Bauen

Der vorliegende Energieberatungsbericht sollte als Teil einer umfassenden Bestandsanalyse und Untersuchung von Varianten gesehen werden. Darüber hinaus kann er ein wichtiger Baustein für das nachhaltige Bauen darstellen. Durch eine Verwendung von Baustoffen, die klimaschutzoptimiert sind, lässt sich der benötigte Rohstoffverbrauch um etwa die Hälfte senken. Hier hat die Holzrahmenbauweise im Vergleich zu Gebäuden in Massivbauweise Vorteile. Die dafür erforderlichen Mehrkosten machen einen geringen Teil des Investitionsvolumen aus [10].

Hinweise zur umfassenden Bestandsanalyse

Die Qualität der Bestandsanalyse ist beim Bauen im Bestand von entscheidender Bedeutung für die grundlegende Bauentscheidung und den darauf aufbauenden Planungs- und Bauprozess. Durch die Bestandsanalyse während der Projektvorbereitung können Planungsunsicherheiten sowie die damit einhergehenden Kostenrisiken (z. B. durch eventuelle Schadstoffbelastungen, ungeklärte Feuchteverhältnisse oder unbekannte Konstruktionsteile) wesentlich verringert werden. Eine hochwertige Bestandsanalyse bildet eine optimale Grundlage für eine nachhaltige Projektumsetzung auch im Hinblick auf den Lebenszyklus des Gebäudes.

Aufbauend auf einer umfassenden Bestandsanalyse sollte in der Projektvorbereitung („Leistungsphase 0“) eine Bedarfsaufstellung mit Qualitätszielen erfolgen, in der auch die energetisch relevanten Anforderungen (z. B. Lüftungsraten, Klassifikation des thermischen Komforts, Mess- und Monitoringkonzept) präzisiert werden, die der Energieberatungsbericht nur pauschalisierend berücksichtigen kann. Hierfür empfehlen wir, die Instrumente des Nachhaltigen Bauens aus dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) einzusetzen. Damit können die Interessen von Bauherren, Betreibern und Nutzern strukturiert erfasst und dabei auch politische Rahmenbedingungen wie Klimaschutz, Ressourceneffizienz, Klimafolgenanpassung sowie baukulturelle Aspekte einbezogen werden.

Hinweise zum nachhaltigen Bauen

Neben den im Energieberatungsbericht beschriebenen Maßnahmen können im Rahmen des Nachhaltigen Bauens – ausgehend von der zuvor beschriebenen Projektvorbereitung – weitere Aspekte betrachtet werden. Dies sind beispielsweise die Vermeidung von Schadstoffen bei der Baustoffauswahl, die Berücksichtigung von Reinigungsaufwand und Lebensdauer der Bauteile oder die Verbesserung der Raumakustik.

Zu Projektbeginn werden dazu mit allen Planungsbeteiligten die Ziele für die einzelnen Nachhaltigkeitsaspekte festgelegt. Während der Planung kann durch Konzepte und Variantenuntersuchungen eine möglichst optimale Lösung für das Gebäude ermittelt werden. Bis zur Fertigstellung wird die Erreichung der Ziele regelmäßig überprüft und nachgewiesen. Dafür kann das Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) eingesetzt werden.

Vorteile für Bauherren durch das nachhaltige Bauen sind beispielsweise:

Definition, Abstimmung und laufende Überprüfung differenzierter Planungsziele, Qualitätssicherung des Planungsprozesses, Vermeidung von Risiken, Planung unter Betrachtung des gesamten Lebenszyklus des Gebäudes (Minimierung der Gesamtkosten und der Umweltauswirkungen), Dokumentation der erreichten Nutzungs- und Bauqualität.

10.5 Informationen zum GEIG (Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz)

Das Gesetz soll, so das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), den Ausbau der Leitungs- und Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität im Gebäudebereich beschleunigen, ohne sich negativ auf die Bezahlbarkeit des Bauens und Wohnens auszuwirken. Mit dem Gesetz werden für **Wohn- und Nichtwohngebäude** im Rahmen des Neubaus und größerer Renovierungsarbeiten u. a. folgende Maßnahmen verpflichtend:

- **Neubau Wohngebäude (mit mehr als fünf Stellplätzen):**
Jeder Stellplatz muss mit Schutzrohren für Elektrokabel ausgestattet werden.
- **Neubau Nichtwohngebäude (mit mehr als sechs Stellplätzen):**
Jeder dritte Stellplatz muss mit Schutzrohren für Elektrokabel ausgestattet werden. Zusätzlich muss mindestens ein Ladepunkt errichtet werden.
- **Größere Renovierung Wohngebäude (mit mehr als zehn Stellplätzen):**
Jeder Stellplatz muss mit Schutzrohren für Elektrokabel ausgestattet werden.
- **Größere Renovierung Nichtwohngebäude (mit mehr als zehn Stellplätzen):**
***Jeder fünfte Stellplatz* muss mit Schutzrohren für Elektrokabel ausgestattet werden. Zusätzlich muss mindestens ein Ladepunkt errichtet werden.**

Ab dem **1. Januar 2025** muss jedes Nichtwohngebäude mit mehr als zwanzig Stellplätzen mit mindestens einem Ladepunkt ausgestattet werden. Zusätzlich wurde eine Quartierslösung aufgenommen und es wird die Möglichkeit geschaffen, die Ladepunkt-Verpflichtungen bei Nichtwohngebäuden gebündelt an einem oder mehreren Standorten zu erfüllen.

Auch Ausnahmeregelungen sind vorgesehen, diese betreffen u. a.:

- Nichtwohngebäude, die sich im Eigentum von kleinen und mittelständischen Unternehmen befinden und vorwiegend selbst genutzt werden
- Kosten für die Bereitstellung der geforderten Lade- und Leitungsinfrastruktur, die sieben Prozent der Gesamtkosten einer größeren Renovierung überschreiten

10.6 Hinweis zur Prüfpflicht von Solarenergie nach GEG §4 Absatz 2

Die neue Prüfpflicht für Solarenergie aus §4 Absatz 2 gibt vor, dass bei jedem Neubau und jeder grundlegenden Renovierung (z.B. Austausch des Wärmeerzeugers und/oder Sanierung von > 20% der Gebäudehülle innerhalb von 2 Jahren) eines öffentlichen Gebäudes geprüft werden muss, ob und in welchem Umfang PV oder Solarthermie genutzt werden können.

10.7 Hinweis zur Solarpflicht

Die Bundesregierung hat im Koalitionsvertrag festgelegt, dass eine Solarpflicht für gewerbliche Neubauten eingeführt werden soll. Bei privaten Neubauten soll die Solarenergienutzung „zur Regel“ werden. Beides wird jedoch nicht mit der aktuellen Novelle des GEG zum Anfang 2024 umgesetzt.

In Nordrhein-Westfalen besteht eine Solarpflicht für Parkplätze mit min. 35 Stellplätzen, für die ab dem 01.01.2022 der Bauantrag gestellt wurde. Voraussetzung dafür ist, dass die Stellplätze zu Nichtwohngebäuden gehören. Alternativ ist es möglich, Solarthermie zu installieren. Weitere Solarpflichten gelten zunächst seit dem 1.1.2024 für alle Neubauten von Nichtwohngebäuden, ab 2025 dann auch für den Neubau von Wohngebäuden. Entscheidend ist jeweils das Datum der Bauantragsstellung. Zudem soll ab Januar 2026 eine Solarpflicht für umfassende Dachsanierungen von privaten und gewerblichen Bestandsbauten gelten (bei vollständiger Erneuerung der Dachhaut).

Für Gebäude des Landes oder der Kommunen gilt die Solarpflicht bereits bei Dachsanierungen seit Juli 2024. Ausgenommen von der Solardachpflicht sind Gebäude mit max. 50 m² Nutzfläche, Behelfsbauten, untergeordnete Gebäude und fliegende Bauten. Die Pflicht entfällt, wenn sie anderen öffentlich-rechtlichen Pflichten widerspricht, im Einzelfall technisch unmöglich oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist. Die Größe der geforderten PV-Anlage soll sich nach dem technisch-wirtschaftliche Optimum der Dachflächen bemessen und wird über die Solaranlagenverordnung geregelt.

10.8 Hinweis zur 65-Prozent-Regel des GEG

Seit dem 01.01.2024 ist das neue Gebäudeenergiegesetz in Kraft getreten. Kern ist eine schrittweise Umsetzung der 65-Prozent-Regel für neue Heizungen. Neu eingebaute Heizungen müssen zukünftig zu 65 Prozent mit erneuerbaren Energien betrieben werden.

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) sieht eine Übergangsphase vor – nicht für jede neue Heizung greift die 65-Prozent-Regel ab 2024. Vielmehr gelten je nach Gebäude, Wohngebiet und Stand der Wärmeplanung in der Kommune unterschiedliche Regelungen:

Neubauten in Neubaugebieten

- Die 65-Prozent-Regel muss seit 01.01.2024 erfüllt werden.

Bestand und andere Neubauten

Das Wärmeplanungsgesetz sieht vor, dass flächendeckend alle rund 11.000 Kommunen eine Wärmeplanung erstellen. Sie wird Bürgerinnen und Bürgern dabei helfen, sich für eine Heiztechnologie mit erneuerbaren Energien zu entscheiden. Wann die 65-Prozent-Regel greift:

- Gebiet mit mehr als 100.000 Einwohner und keine Wärmeplanung: ab 30.06.2026
- Gebiet mit 100.000 Einwohner oder weniger und keine Wärmeplanung: ab 30.06.2028

Erstellt eine Kommune die Wärmeplanung schon vor Mitte 2026 bzw. Mitte 2028 und trifft darüber hinaus die Entscheidung, ein Gebiet zum Neu- oder Ausbau für Wärmeplanung auszuweisen, ist der Einbau neuer Heizungen mit 65 Prozent erneuerbaren Energien schon einen Monat nach Bekanntgabe verpflichtend.

Ausnahme von den allgemeinen Fristen

Wenn darüber hinaus in Aussicht steht, dass ein Gasnetz auf Wasserstoff umgestellt wird oder ein Wärmenetzbetreiber innerhalb von zehn Jahren den Anschluss an ein Wärmenetz vornimmt, kann bis dahin noch eine umrüstbare Gasheizung eingebaut werden.

Einbau von Gas- und Ölheizungen ab 2024

In Gebieten, die nach dem 01.01.2024 nicht der 65-Prozent-Regel unterliegen, können noch Öl- und Gasheizungen eingebaut werden. Dann gelten allerdings weitere Anforderungen. Die Heizungen müssen

- ab dem 01.01.2029 mindestens 15 Prozent,
- ab dem 01.01.2035 mindestens 30 Prozent und

- ab dem 01.01.2040 mindestens 60 Prozent der bereitgestellten Wärme aus Biomasse oder grünem oder blauem Wasserstoff oder daraus hergestellten Derivaten erzeugen.

Zudem muss eine Beratung zu Kostenrisiken und möglicher Unwirtschaftlichkeit verpflichtend eingeholt werden. Dies gilt für alle Verbrennungsheizungen.

Übergangsfristen

- Grundsätzlich gilt eine Übergangsfrist von fünf Jahren für die Umsetzung der 65-Prozent-Regel.
- Die 65-Prozent-Regel gilt nicht für Heizungsanlagen, für die vor dem 19.04.2023 ein Lieferungs- oder Leistungsvertrag geschlossen wurde und die bis zum 18.10.2024 eingebaut oder aufgestellt werden.
- Für Etagenheizungen in Mehrfamilienhäusern gelten Übergangsfristen von bis zu 13 Jahren.

10.9 Hinweis zur EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie

Das Europäische Parlament hat am 12.3.2024 die Neufassung der „Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ (EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie) beschlossen.

Für Nichtwohngebäude sind **Sanierungspflichten für die energetisch schlechtesten Nichtwohngebäude** vorgesehen.

Die Mitgliedstaaten legen Mindestvorgaben für die Gesamtenergieeffizienz für Nichtwohngebäude fest, mit denen sichergestellt wird, dass diese Gebäude zu den maximalen Schwellenwert für die Gesamtenergieeffizienz nicht überschreiten. Jeder Mitgliedstaat legt einen maximalen Schwellenwert für die Gesamtenergieeffizienz fest, sodass 16 % und 26 % seines nationalen Nichtwohngebäudebestands über diesem Schwellenwert liegen. Die Mindestvorgaben für die Gesamtenergieeffizienz müssen mindestens gewährleisten, dass alle Nichtwohngebäude a) ab 2030 unterhalb des Schwellenwerts von 16 % liegen; und b) ab 2033 unterhalb des Schwellenwerts von 26 % liegen.

Der "**Ausstieg aus mit fossilen Brennstoffen betriebenen Heizkesseln bis 2040**" wird lediglich als „indikatives Ziel“ beschrieben. Hier haben die Mitgliedsstaaten somit Spielräume zur Erreichung des Gesamtziels eines klimaneutralen Gebäudebestandes bis 2050.

Ein weiterer Aspekt ist die **Verpflichtung zur Berechnung und Darstellung des "Lebenszyklus-Treibhauspotenzials"** für alle Neubauten über 1.000 m² ab 2028 und für alle Neubauten ab 2030. Damit wird die Erstellung einer Ökobilanz bzw. LCA-Berechnung für alle Neubauten obligatorisch.

11 Unterzeichnung

Bitte beachten Sie, dass dieser Bericht keine Ausführungsplanung darstellt. Für die Planung und Umsetzung der Maßnahmen sollten Fachplaner konsultiert werden.

Dieser Bericht darf nur mit schriftlicher Genehmigung des Öko-Zentrums NRW als Ganzes oder auch nur in Teilen veröffentlicht werden.

Der Bericht umfasst 138 Seiten zuzüglich Anlagen.

Hamm, 05.12.2024

Der Bericht wurde erstellt durch:



.....
i.A. Dipl.-Ing. Thomas Orban



.....
i.A. Christiane Berner

Architektin AKNW

sa SV für Schall- und Wärmeschutz;
Energie-Effizienz-Expertin für Förderprogramme des Bundes

Beraternummer EB501414

12 Anhang

12.1 Relevante Normen, Vorschriften und Literatur

Die relevanten Normen, Vorschriften sowie betreffende Literatur, auf denen die Energieberatung aufbaut, sind in Tabelle 55 aufgeführt.

Tabelle 58: Relevante Normen und Vorschriften

Nr./ Standard / Rechtsquelle / Vorschrift	
[1]	Richtlinie „Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme“ (EBN) vom 13. November 2020
[2]	Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand; BMWi ¹³ , Stand 07.04.2015
[3]	U-Werte alter Bauteile. Arbeitsunterlagen zur Rationalisierung wärmeschutztechnischer Berechnungen bei der Modernisierung; Institut für Bauforschung e.V. Hannover
[4]	Leitfaden Energetische Gebäudebilanzierung nach DIN V 18599, Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 1. Auflage, Stand 11-2011
[5]	DIN V 18599 - Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teil 1 bis 10, Ausgabe 2018
[6]	Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand, BMWi ¹⁴ , Stand 15.04.2021
[7]	Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz - GEG), Anlage 7 (zu § 48) Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden, Stand 08.08.2020
[8]	Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen nach Bewertungssystem nachhaltiges Bauen (BNB), Stand 24.02.2017; BBSR
[9]	VDI-Richtlinie 2067 Blatt 1, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung. Verein Deutscher Ingenieure, Ausgabe September 2012
[10]	„Die graue Energie: Der entscheidende Hebel für den Klimaschutz beim Bauen“ – Bauwende e.V. Mai 2020

¹³ BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

12.2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

BHKW	Blockheizkraftwerk
CO₂	Kohlenstoffdioxid
°C	Grad Celsius (Temperatur)
g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad (Energiedurchlässigkeit transparentes Bauteil)
h	Stunde (Zeit)
K	Kelvin (Temperatur)
kW	Kilowatt (Leistung)
kW_P	Kilowatt Peak (Leistung Photovoltaikanlage)
kWh	Kilowattstunden
kWh/a	Kilowattstunden je Jahr
m²	Fläche (Geometrie)
m³	Volumen (Geometrie)
PV	Photovoltaik
THG	Treibhausgase
TWW	Trinkwarmwasser
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
WLG	Wärmeleitgruppe
WP	Wärmepumpe

Amortisation

Zeit, in welcher die eingesetzte Investition wieder zurückgeflossen ist. Eine Maßnahme/ Maßnahmenpaket hat sich amortisiert, wenn die Zeit kleiner als die Nutzungsdauer/ Lebensdauer der sanierten bzw. erneuerten Bauteile ist.

Annuität

Der annuitätische Gewinn ist der in gleich große Jahreswerte umgerechnete Kapitalwert. Er stellt den jährlichen durchschnittlichen Mehr- oder Minderertrag dar, den eine Investition über den Betrachtungszeitraum erbringt. Eine Investition ist dann positiv zu beurteilen, wenn der annuitätische Gewinn größer als Null ist.

Äquivalenter Energiepreis

Die Kosten für die Einsparung einer Kilowattstunde Endenergie werden auch als äquivalenter Energiepreis bezeichnet. Es ergeben sich die Kosten für eine eingesparte Kilowattstunde Endenergie in ct/kWh. Zusätzlich geben die "Kosten für eine eingesparte kWh Endenergie" an, ab welchem Preis für die Endenergie eine Maßnahme als wirtschaftlich betrachtet werden kann. Als Vergleichsgröße wird der künftige finanzielle Aufwand für die Bereitstellung einer Kilowattstunde Endenergie herangezogen.

CO₂-Vermeidungskosten

Sie bezeichnen die effektiven Kosten einer Klimaschutzmaßnahme pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen - also die effektiven Kosten einer Maßnahme pro Tonne vermiedener CO₂-Emissionen. Die Benchmark stellt sich als Frage. Ist es teurer oder billiger, ein kg CO₂-Äquivalent zu vermeiden als mit einer Referenzalternative?

Energiebedingte Mehrkosten

Die energiebedingten Mehrkosten umfassen nur die Kosten, die zusätzlich zur reinen Instandhaltungsmaßnahme entstehen. Dazu gehören zum Beispiel die Kosten für die Wärmedämmung inklusive deren Befestigung, nicht aber die Kosten, die ohnehin entstanden wären, also beispielsweise die Einrüstung des Gebäudes oder ein neuer Anstrich.

Ersatzbeschaffungen und Restwerte

Übersteigt der gewählte Betrachtungszeitraum die Nutzungsdauer einzelner Bauteile, so ist nach VDI 2067 mit Kosten für die Ersatzbeschaffungen und Restwerten dieser Bauteile zu rechnen. Diese werden barwertig zu den Investitionskosten addiert. Für die Annahme einer Ersatzbeschaffung müssen alle Komponenten eine Nutzungsdauer aufweisen, die wenigstens halb so lang ist wie der Betrachtungszeitraum.

Interne Verzinsung

Aus dem Kapitalwert lässt sich auch die interne Rendite (der interne Zinsfuß) berechnen, d.h. der Zins, den die Investition erwirtschaftet. Das Bilanzergebnis ist ein Kalkulationszins, der sich rechnerisch innerhalb des festgelegten Betrachtungszeitraums ergibt. Zur Investitionsentscheidung wird die interne Rendite für jede Maßnahme berechnet. Liegt die Rendite unter dem Anlagezins, sollte nicht investiert, sondern das Geld angelegt werden.

Kapitalwert

Der Kapitalwert ist der Barwert aller mit der Investition verbundenen Ein- und Auszahlungen über den zu erwartenden Nutzungszeitraum der Investition. Die Investition ist wirtschaftlich, wenn dieser Barwert positiv ist.

Vollkosten

Als Vollkosten werden alle Kosten von Sanierungsmaßnahmen an energetisch relevanten Bauteilen und Anlagenbereichen bezeichnet.

12.3 Verzeichnis der verwendeten Abbildungen

Abbildung 1: Gebäudebewertung mit Standardrandbedingungen	6
Abbildung 2: Jährlicher Endenergiebedarf im Vergleich (verbrauchsabgeglichen) [kWh/a].....	12
Abbildung 3: Vergleich der künftigen Energiekosteneinsparung je Sanierungsmaßnahme.....	13
Abbildung 4: Vergleich der jährlichen THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen)	14
Abbildung 5: Bandtacho der Variante 7 mit Standard-Randbedingungen	15
Abbildung 6: Qualitative Entwicklung des Primärenergiebedarfs, FIW München 2017.....	23
Abbildung 7: Lageplan, Quelle: www.tim-online.nrw.de (GeoBasis-DE / BKG 2020, Geobasis NRW)	28
Abbildung 8: Luftbild, Quelle: www.tim-online.nrw.de (GeoBasis-DE / BKG 2020, Geobasis NRW)	29
Abbildung 9: Übersicht Farbskala mit Zuordnung der Zonen gemäß DIN V 18599 Teil 10	31
Abbildung 10: Thermische Hüllfläche im 3D-Gebäudemodell (rot)	31
Abbildung 11: Zonierung 1 Erdgeschoss	32
Abbildung 12: Nordost Ansicht.....	33
Abbildung 13: Südwest Ansicht.....	33
Abbildung 14: Nordwest-Ansicht // Südost Ansicht.....	33
Abbildung 15: Nordwestansicht Werkhalle	34
Abbildung 16: Nordostansicht	34
Abbildung 17: Südostansicht Werkhalle mit Nebengebäuden der Sporthalle (rechts) und mit Sporthalle (Hintergrund)	35
Abbildung 18: Südwestansicht	35
Abbildung 19: Dach Werkhalle nach Sanierung (lt. Kunden-Bericht).....	36
Abbildung 20: Zurückgesetzte Eingangstüren	37
Abbildung 21: Rolltor Innenansicht	38
Abbildung 22: Ventilatoreinrichtung – Fahrzeugtechnik – Innenansicht / Außenansicht.....	39
Abbildung 23: Werkhalle: Freie Heizkörper (links) / Heizrohre im Flur nicht gedämmt (rechts)	43
Abbildung 24: Hydraulisches System – Verteilung in der Werkhalle	44
Abbildung 25: Dach mit Abluft- und Ansaugereinrichtung	46
Abbildung 26: Beispiel: KFZ-Labor (N1) Abgasabsaugung (links) / Zuluft-Einlass (rechts)	46

Abbildung 27: Beispiel: Metall-Labor (N4) Abgasabsaugung Schweißkabine + Esse (Schmiede)	47
Abbildung 28: Übersicht installierte Lampenleistung und Beleuchtungskontrolle je Zone - IST-Zustand (A = Fläche des Bereichs; A_w = Fensterfläche; A_TL Tageslichtabdeckung bei Tag; E_m = benötigte Beleuchtungsstärke; P_el = resultierende elektrische Leistung in W/m²)	48
Abbildung 29: Beleuchtung über Leuchtstoffröhren in Flur / Werkhalle / Laboren	49
Abbildung 30: LED-Beleuchtung in Werkräumen // LED-Beleuchtung Klassenzimmern	49
Abbildung 31: Übersicht Zoneneinteilung des Gebäudes inkl. Nutzfläche (A _{NGF}) nach DIN V 18599 sowie Farbcode für Konditionierung (Grün = Lüftung, Rot = Heizung, Blau = Warmwasser, Gelb = Beleuchtung)	51
Abbildung 32: Anteil der Zonen an der beheizten Bezugsfläche.....	52
Abbildung 33: Aufteilung der absoluten Transmissionswärmeverluste je Bauteilkategorie im IST-Zustand	53
Abbildung 34: Bandtacho Primärenergiebedarf IST-Zustand gemäß Standard-Randbedingungen	54
Abbildung 35: Kostenverständnis bei energetischen Sanierungen (Bildquelle: www.dena.de)	60
Abbildung 36: Genauigkeit der Kostenermittlung im Bauwesen mit fortschreitender Planungstiefe	61
Abbildung 37: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 1	67
Abbildung 38: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 2.....	72
Abbildung 39: Jahresdauerlinie für das Berufskolleg, Sporthalle und Werkhalle Jülich	76
Abbildung 40: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 3.....	77
Abbildung 41: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 4.....	82
Abbildung 42: Die beiden Prinzipskizzen der beiden Arten von dezentralen Lüftungsgeräten	87
Abbildung 43: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 5.....	87
Abbildung 44: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 6.....	90
Abbildung 45: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 7.....	94
Abbildung 46: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 8.....	100
Abbildung 47: Anforderungen & Einstufung nach BEG – Variante 8	102
Abbildung 48: Anforderungen & Einstufung nach BEG – Variante 8 verbesserte Dämmung Fassade & Boden	103

Abbildung 49: Einhaltung der BEG-Anforderungen für das Effizienzgebäude 55 - Variante 9	106
Abbildung 50: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 9.....	107
Abbildung 51: Aufteilung des Endenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten.....	114
Abbildung 52: Aufteilung des Primärenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten.....	115
Abbildung 53: Aufteilung des Transmissionswärmeverluste im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten	116
Abbildung 54: Übersicht der Anteile für THG-Emission (verbrauchsabgeglichen)	117
Abbildung 55: Übersicht künftige Energiekosteneinsparung je Variante	118
Abbildung 56: Gegenüberstellung der Kosten-Einsparungen nach Abzug der Investitionskosten unter Berücksichtigung der jeweiligen mittleren Lebensdauer einer Variante mittels Kapitalwertmethode.....	122
Abbildung 57: Die beiden Prinzipskizzen der beiden Arten von dezentralen Lüftungsgeräten	126
Abbildung 58: Förderstruktur der BEG.....	128
Abbildung 59: Förderübersicht Wärmeerzeuger.....	130
Abbildung 60: Förderübersicht Effizienzmaßnahmen.....	130
Abbildung 61: Förderübersicht BEG-Nichtwohngebäude - Sanierung zum Effizienzgebäude	131

12.4 Verzeichnis der verwendeten Tabellen

Tabelle 1: Übersicht der Energie- und Kosteneinsparungen (verbrauchsabgeglichen)	10
Tabelle 2: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum	11
Tabelle 3: Übersicht und Vergleich der einzelnen Wirtschaftlichkeitskennzahlen je Variante .	17
Tabelle 4: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Fördermaßnahmen.....	18
Tabelle 5: Übersicht verwendeter Energieträger und Verbrauchskosten.....	21
Tabelle 6: Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren	24
Tabelle 7: Klimafolgekosten	25
Tabelle 8: Allgemeine Rahmendaten über das Beratungsobjekt	29
Tabelle 9: Bauteilaufbauten im IST-Zustand.....	40
Tabelle 10: Übersicht U-Werte der opaken und transparenten Bauteile im IST-Zustand mit Vergleich zu Anforderungen nach GEG und BEG-EM	42
Tabelle 11: Übersicht zur Wärmeerzeugung, Verteilung und Übergabe.....	44
Tabelle 12: Zusammenstellung der wärmeübertragenden Gebäudehüllfläche*	52
Tabelle 13: Übersicht Primärenergiebedarf des Gebäudes im IST-Zustand	54
Tabelle 14: Übersicht der Endenergiebedarfe des Gebäudes im IST-Zustand	55
Tabelle 15: Übersicht des Bedarfs aufgeteilt nach Energieträgern, IST-Zustand.....	55
Tabelle 16: Übersicht der THG-Emissionen nach Energieträgern – IST-Zustand.....	56
Tabelle 17: Übersicht der witterungsbereinigten Verbrauchsdaten	56
Tabelle 18: Übersicht Energiebedarf und -verbrauch inkl. Umrechnungsfaktor	57
Tabelle 19: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 1	66
Tabelle 20: Übersicht der Kosten – Variante 1	67
Tabelle 21: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 1	68
Tabelle 22: <i>Sensitivitätsanalyse V1 – Amortisation in Abhängigkeit von Erneuerungsbedarf und Vollkosten</i>	69
Tabelle 23: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 2.....	71
Tabelle 24: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 2	72
Tabelle 25: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 2	73

Tabelle 26: Sensitivitätsanalyse V2 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten	74
Tabelle 27: Übersicht des Endenergiebedarfes für das Berufskolleg, Werkhalle und Sporthalle	75
Tabelle 28: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 3	78
Tabelle 29: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 3	79
Tabelle 30: Sensitivitätsanalyse V3 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten	80
Tabelle 31: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 4	83
Tabelle 32: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 4	84
Tabelle 33: Sensitivitätsanalyse V4 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten	85
Tabelle 34: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 5	88
Tabelle 35: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 5	89
Tabelle 36: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 6	90
Tabelle 37: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 6	91
Tabelle 38: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 7	93
Tabelle 39: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 7	95
Tabelle 40: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 7	96
Tabelle 41: Sensitivitätsanalyse V7 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten	97
Tabelle 42: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 7	99
Tabelle 43: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 8	100
Tabelle 44: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 8	101
<i>Tabelle 45: Sensitivitätsanalyse V8 – Amortisation abhängig von Energiepreis & Vollkosten</i>	<i>103</i>
<i>Tabelle 46: Sensitivitätsanalyse V8 – Amortisation in abhängig von Erneuerungsbedarf & Vollkosten</i>	<i>104</i>
Tabelle 47: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 9	107
Tabelle 48: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 9	107
<i>Tabelle 49: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in abhängig von Erneuerungsbedarf & Vollkosten</i>	<i>109</i>

Tabelle 50: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten	110
Tabelle 51: Übersicht primärenergetischer Energiebedarfswerte	112
Tabelle 52: Übersicht der Anteile für Endenergiebedarfe (verbrauchsabgeglichen)	113
Tabelle 53: Übersicht der Anteile für Primärenergiebedarf (verbrauchsabgeglichen)	115
Tabelle 54: Übersicht der gesamten THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen)	117
Tabelle 55: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum.....	118
Tabelle 56: Variantenübersicht einschl. zugehöriger Kosten und Einsparung (verbrauchsabgeglichen).....	119
Tabelle 57: Übersicht der Investitionskosten und Amortisationsdauer	121
Tabelle 58: Relevante Normen und Vorschriften	139