

# Energieberatungsbericht

## für ein energetisches Sanierungskonzept

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

### Beratungsobjekt:

**EBN 80018490**

Kreissporthalle Jülich  
Bongardstraße 15  
52428 Jülich



### Beratungsempfänger / Auftraggeber (AG):

Kreis Düren  
Bismarckstraße 16  
52351 Düren

### Auftragnehmer (AN):

Öko-Zentrum NRW GmbH  
Sachsenweg 8  
59073 Hamm

### Berater / Nr.:

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

---

Christiane Berner / EB501414  
Hamm, 31. Januar 2025

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Vorbemerkungen</b> .....	<b>23</b>
2.1	Ausgangssituation.....	23
2.2	Berechnungsgrundlagen.....	23
2.3	Energiepreise .....	23
2.4	Betrachtungszeiträume und Lebensdauern .....	24
2.5	Zinssätze und Energiepreissteigerungen .....	25
2.6	Emissionen.....	26
2.7	Berücksichtigung von Klimafolgekosten.....	27
<b>3</b>	<b>Allgemeine Informationen zur energetischen Sanierung</b> .....	<b>30</b>
3.1	Kontext der Energieberatung.....	30
3.2	Definition „Energieberatung“ .....	30
<b>4</b>	<b>Vorstellung Beratungsobjekt:</b> .....	<b>31</b>
4.1	Allgemeine Angaben zum Beratungsobjekt .....	31
4.2	Gebäudebeschreibung .....	33
4.3	Zonierung des Gebäudes .....	33
4.4	3D Ansichten des digitalen Gebäudemodells .....	36
4.5	Ansichten des Bestandsgebäudes .....	38
<b>5</b>	<b>Beschreibung der Gebäudehülle – Bestand</b> .....	<b>39</b>
5.1	Bauteilbeschreibung .....	40
5.2	Bauteilübersicht.....	43
5.3	Einordnung der thermischen Qualität der Gebäudehülle.....	46
<b>6</b>	<b>Technische Gebäudeausrüstung</b> .....	<b>47</b>
6.1	Wärmeerzeugung .....	47
6.2	Brauchwasserbereitung .....	50
6.3	Lüftungstechnik.....	51
6.4	Kühlung .....	53
6.5	Beleuchtung .....	54
6.6	Sommerlicher Wärmeschutz.....	55
<b>7</b>	<b>Darstellung der Energiebilanz des Bestands</b> .....	<b>57</b>
7.1	Zusammenstellung der Zonen, Bauteile, Flächen und U-Werte.....	57
7.2	Ermittelter Energiebedarf des Beratungsobjektes.....	59

7.3	Ermittelte THG-Emissionen des Beratungsobjektes .....	62
7.4	Abgleich mit Verbrauchsdaten.....	63
7.5	Vergleich Energiebedarf und Energieverbrauch .....	64
7.6	Bewertung des Gebäudes im IST-Zustand .....	65
<b>8</b>	<b>Variantenuntersuchung / Ermittlung der Wirtschaftlichkeit .....</b>	<b>65</b>
8.1	Übersicht der Maßnahmen .....	70
8.2	Variante 1: Austausch der Glasbausteine .....	76
8.3	Variante 2: Dämmung Dach inkl. Austausch der Lichtkuppeln.....	81
8.4	Variante 3: Außenwanddämmung .....	85
8.5	Variante 4: Maßnahmenkombination Gebäudehülle.....	89
8.6	Variante 5: Beleuchtung .....	94
8.7	Variante 6: Raumluftechnik – mit Wärmerückgewinnung .....	97
8.8	Variante 7: Maßnahmenkombination TGA.....	101
8.9	Variante 8: Maßnahmenkombination Gebäudehülle + TGA.....	108
8.10	Variante 9: Maßnahmenkombination Effizienzgebäude 55 (EG 55) .....	114
8.11	Variante 10: Nahezu Klimaneutrales Gebäude bis 2050 .....	122
8.12	Übersicht der Ergebnisse .....	124
<b>9</b>	<b>Möglichkeiten zur Stromeinsparung .....</b>	<b>134</b>
9.1	Maßnahme: Verbesserung der Energieeffizienz von EDV Geräten .....	134
9.2	Maßnahme: Verbesserung der Energieeffizienz von Beleuchtungsprodukten .....	134
<b>10</b>	<b>Weitere Empfehlungen.....</b>	<b>135</b>
10.1	Maßnahme: Hinweise zum Nutzerverhalten .....	135
10.2	Einsatz von dezentralen Lüftern mit Wärmerückgewinnung.....	136
10.3	Informationen über anwendbare Zuschüsse und Beihilfen.....	138
10.4	Nachhaltiges Bauen.....	142
10.5	Informationen zum GEIG (Gebäude-Elektromobilitätsinfrastruktur-Gesetz) .....	144
10.6	Hinweis zur Prüfpflicht von Solarenergie nach GEG §4 Absatz 2 .....	145
10.7	Hinweis zur Solarpflicht .....	145
10.8	Hinweis zur 65-Prozent-Regel des GEG.....	146
10.9	Hinweis zur EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie .....	147
<b>11</b>	<b>Unterzeichnung.....</b>	<b>148</b>
<b>12</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>149</b>
12.1	Relevante Normen, Vorschriften und Literatur .....	149
12.2	Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen.....	150

12.3	Verzeichnis der verwendeten Abbildungen .....	152
12.4	Verzeichnis der verwendeten Tabellen .....	155

## 1 Zusammenfassung

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

Die Nutzung der Einrichtung dient als Sporthalle mit Umkleiden und einen öffentlichen Bereich zur Tribüne. Das Gebäude wurde 1974 errichtet. Im Nachgang wurde ein Geräteraum im Südosten neben den Garagen und der Technik sowie Nordwesten ein Lager ergänzt. Die Sporthalle und die Nebenräume wurden mit Ausnahme des zweigeschossigen Eingangsbereiches zur Tribüne im Norden eingeschossig ausgeführt. Das Gebäude ist nicht unterkellert.

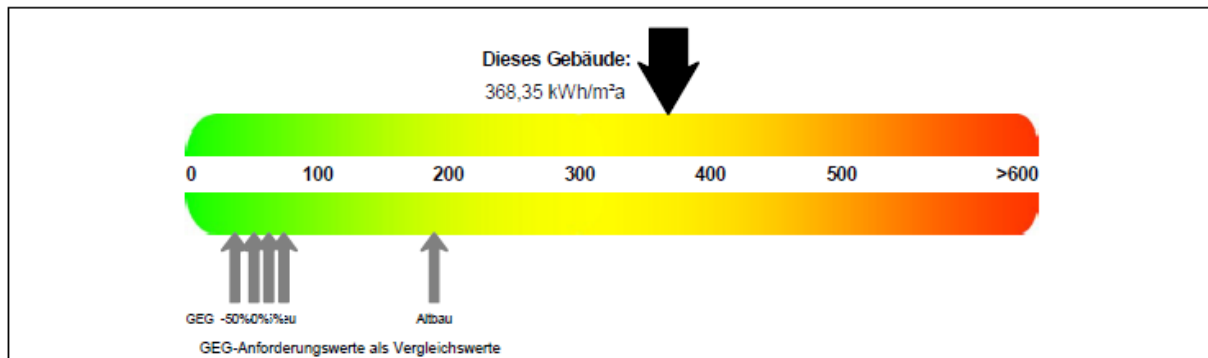
Abgesehen von den 2007 ausgetauschten Fenstern und Außentüren entspricht der energetische Standard der vorhandenen Bauteile dem Jahr ihrer Errichtung. Somit ergeben sich einige Potenziale an der thermischen Gebäudehülle.

Die Wärmeversorgung erfolgt über einen Erdgasbrennwertkessel, welcher im Kellergeschoss des angrenzenden Berufskollegs installiert wurde. Die Wärmeübergabe erfolgt über die Lüftungsanlage (insbesondere für die Sporthalle) und freie Heizflächen (Heizkörper). Über die Heizungsanlage erfolgt die Warmwasserbereitung, welche durch einen Warmwasserspeicher länger zur Verfügung gestellt wird.

Der Brennwertkessel versorgt zudem zwei weitere Gebäude auf dem Grundstück. Bei diesen handelt es sich um das Berufskolleg mit Anbau von 2008 sowie die Werkhalle. Diese beiden Gebäude sind jedoch nicht Bestandteil dieser Untersuchung.

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

- Nutzenergiebedarf von 231,2 kWh/m<sup>2</sup>a
- Endenergiebedarf (Brennwertbezogen) von 275,5 kWh/m<sup>2</sup>a
- Primärenergiebedarf (Heizwertbezogen) von 368,4 kWh/m<sup>2</sup>a



	Ist-Wert	mod. Altbau	GEG-Neubau	GEG - 15%	GEG - 30%	GEG - 50%
Jahres-Primärenergiebedarf $q_p$ [kWh/m²a]	368,35	189,59	74,48	63,31	52,14	37,24
Mittlere U-Werte [W/m²K]						
- Opake Außenbauteile	0,650	0,560	0,280	0,238	0,196	0,140
- Transparente Außenbauteile	2,400	2,660	1,500	1,275	1,050	0,750
- Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	2,700	4,340	2,500	2,125	1,750	1,250

Gebäudeart:		Nicht-Wohngebäude
Gebäudetyp:		Bestandsgebäude
Nettogrundfläche	$A_{\text{NRF}}$ :	2157 m²
Hüllfläche	A:	5869 m²
Volumen	$V_g$ :	14400 m³

Abbildung 1: Gebäudebewertung mit Standardrandbedingungen

Ein Gebäude, das die aktuellen Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes an einen modernisierten Altbau erfüllt, weist einen Primärenergiebedarf von etwa 189 kWh/m²a auf. Der primärenergetische Zustand des bestehenden Gebäudes überschreitet diese Anforderungen um rund 95 %.

Anforderungen GEG und BEG		GEG Übersicht anzeigen						
BEG-Anforderungen	Gebäudewerte	EH 40	EH 55	EH 70	EH 100	GEG	EH 160	WPB
Primärenergiebedarf $Q_p$	368,4 kWh/m²	< 54,2	< 74,5	< 94,8	< 135,4	< 189,6	< 216,7	< 570,0
$U_m$ opake Bauteile	0,65 W/m²K	< 0,18	< 0,22	< 0,26	< 0,34	< 0,56		
$U_m$ transparente Bauteile	2,4 W/m²K	< 1,0	< 1,2	< 1,4	< 1,8	< 2,7		
$U_m$ Türen/Tore(BEG), Lichtkuppeln, etc.	GEG: 2,7 W/m²K BEG: 2,1 W/m²K	< 1,6	< 2,0	< 2,4	< 3,0	< 4,3		

Abbildung 2: Einordnung des Bestands in Effizienzklassen

### ***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 – Austausch der Glasbausteine:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Variante 2 – Dämmung Dach:**

- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Variante 3 – Außenwand:**

- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit ca. 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der verklinderten Nebenräume mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Variante 4 – Maßnahmenkombination Gebäudehülle:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch aller Außentüren ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der verklankerten Nebenräume mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Variante 5 – Beleuchtung:**

- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

#### **Variante 6 – Raumluftechnik mit Wärmerückgewinnung:**

- Erneuerung der zentralen Lüftungsgeräte durch Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) für die Sporthalle
- Erneuerung der dezentralen Lüftungsgeräte durch Zu- und Abluftanlage in den Umkleiden und Nebenräumen mit Wärmerückgewinnung (WRG)

### **Variante 7 – Maßnahmenkombination TGA:**

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

### **Variante 8 – Maßnahmenkombination Gebäudehülle + TGA:**

#### **Maßnahmen Gebäudehülle:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 ( $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Maßnahmen Gebäudetechnik:**

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung

- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

### **Variante 9 – Maßnahmenkombination EG55:**

#### **Maßnahmen Gebäudehülle:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch aller Außentüren ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung der Innenwände aus Kalksandstein zum unbeheizten Bereich mit ca. 12 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Sporthallenbodens mit ca. 12 cm Dämmstoff der WLS 030 ( $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

### Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion (145 kWp)

### Variante 10 – Möglichkeit zur Erreichung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes:

- *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 nahezu klimaneutrales Gebäude zu erhalten, stellt diese Maßnahme eine Orientierung dar für zukünftige Modernisierungen und Instandsetzungen des Gebäudes.*
- Dämmen des Gebäudes entsprechend Passivhausstandard:
  - Alle opaken Bauteile an Außenluft:  $U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Alle Fenster:  $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Alle Türen:  $U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Dämmen der Innenwände gegen unbeheizte Bereiche mit 12 cm der WLS 035 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Vollständige Bodenplattendämmung mit 12 cm der WLS 030 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch des Gaskessels gegen eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile, Dämmung aller Leitungen)
- Warmwasserbereitung über Wärmepumpe
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion mit Speicher maximale Fläche auf dem Dach
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

- Dezentrale Wärmepumpenlösung mit integrierter Lüftungsanlage mit WRG für die Sporthalle
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG

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 Energiepreiserhöhungen sowie zu den CO<sub>2</sub>-Preisen ein (s. 2.3-2.7).

Tabelle 1: Übersicht der Energie- und Kosteneinsparungen (verbrauchsabgeglichen)<sup>1</sup>

Variante	Endenergiebedarf (verbrauchsorientiert)	Endenergieeinsparung		Heutige Energiekosten [€/a]	Kosteneinsparung	
		[kWh/a]	[%]		[€/a]	[%]
Bestand	370.538	-	-	28.924	-	-
Variante 1	367.555	2.983	1%	28.622	302	1%
Variante 2	313.202	57.336	15%	25.488	3.436	12%
Variante 3	329.606	40.931	11%	26.449	2.476	9%
Variante 4	264.811	105.727	29%	22.720	6.205	21%
Variante 5	364.721	5.817	2%	26.049	2.876	10%
Variante 6	331.322	39.216	11%	25.795	3.130	11%
Variante 7	182.452	188.086	51%	31.700	-2.775	-10%
Variante 8	147.659	222.879	60%	25.983	2.941	10%
Variante 9	60.448	310.090	84%	8.887	20.038	69%

<sup>1</sup> 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	46.911	500	99%
Variante 2	34.938	5.100	87%
Variante 3	49.219	5.200	90%
Variante 4	41.179	13.300	76%
Variante 5	31.086	3.400	90%
Variante 6	30.783	3.700	89%
Variante 7	37.042	10.400	78%
Variante 8	30.695	18.200	63%
Variante 9	11.266	37.600	23%

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

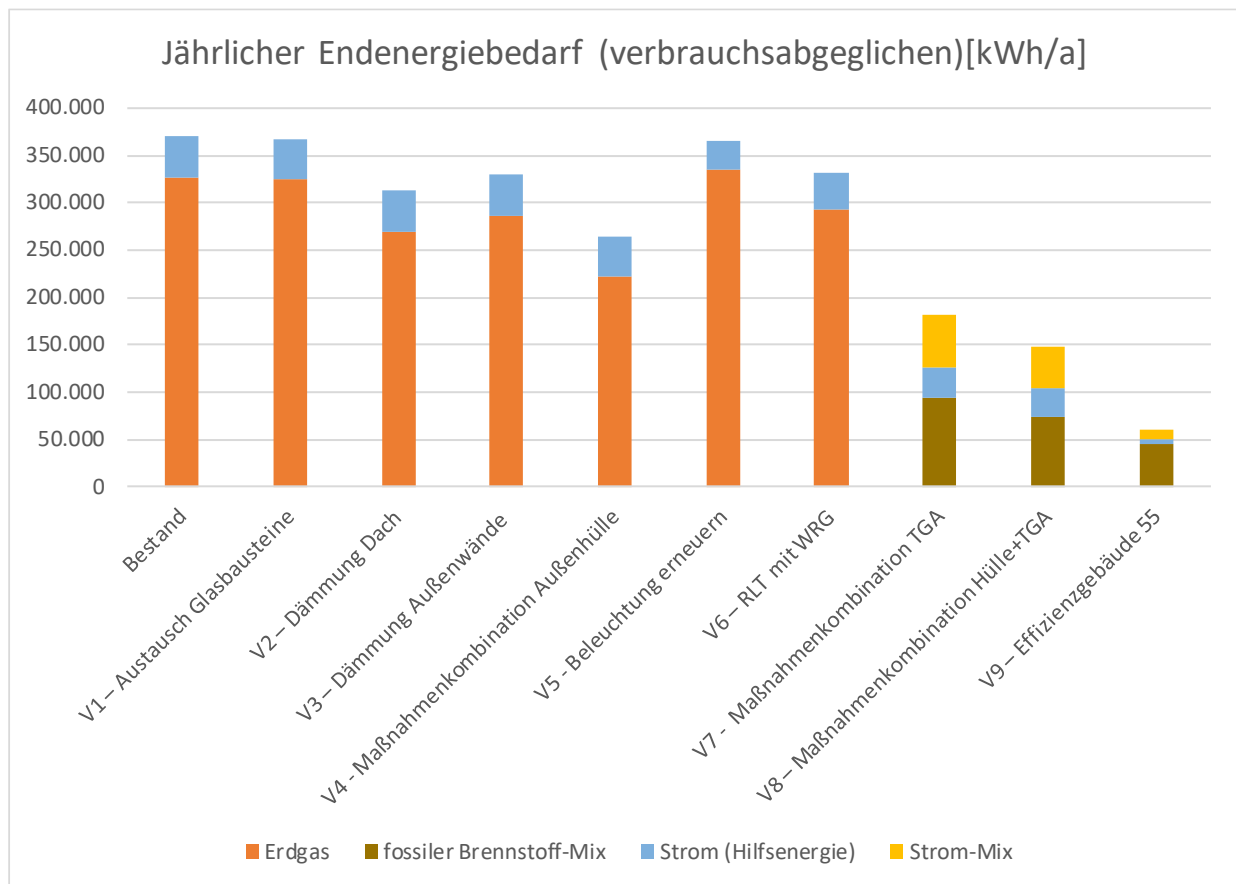


Abbildung 3: Jährlicher Endenergiebedarf im Vergleich (verbrauchsabgeglichen) [kWh/a]

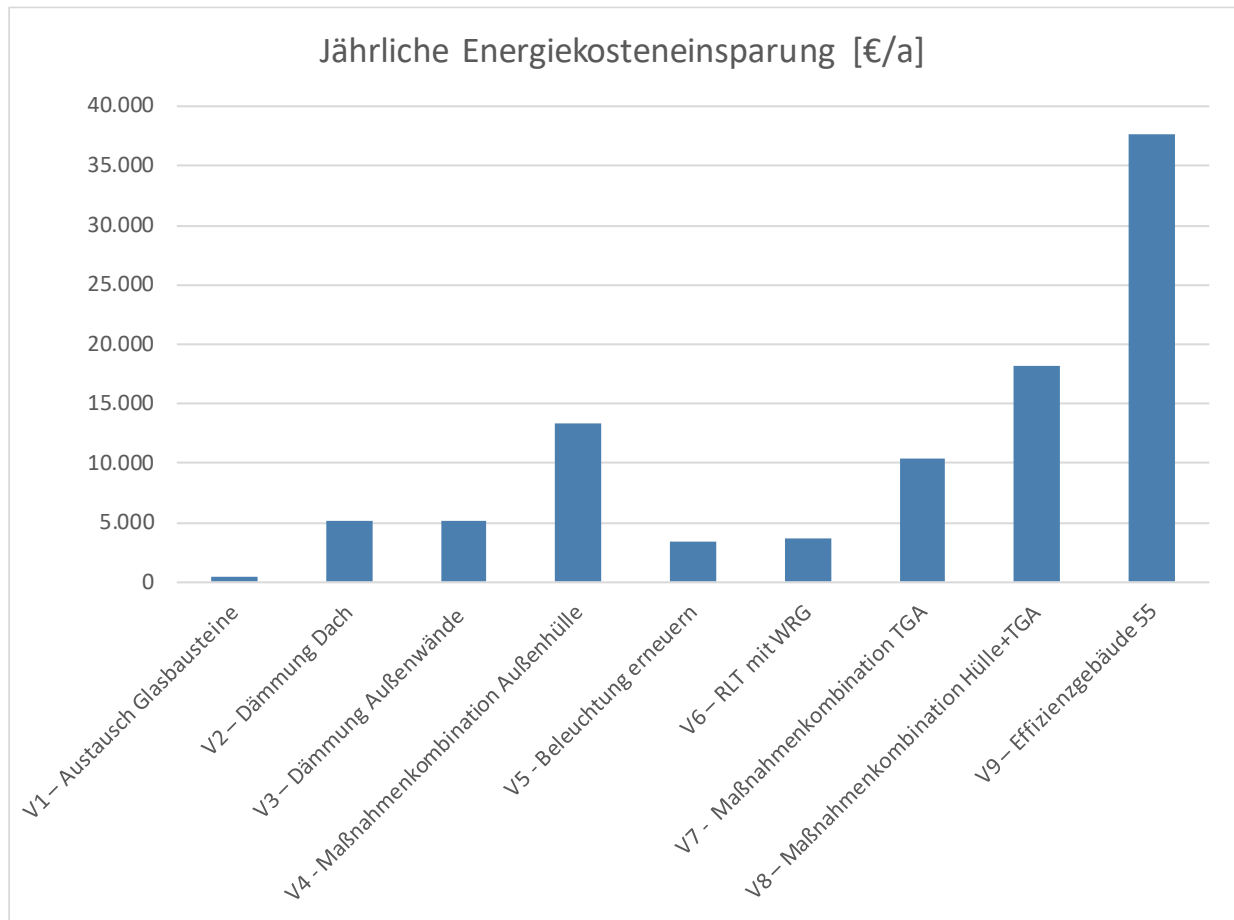


Abbildung 4: Vergleich der künftigen Energiekosteneinsparung je Sanierungsmaßnahme

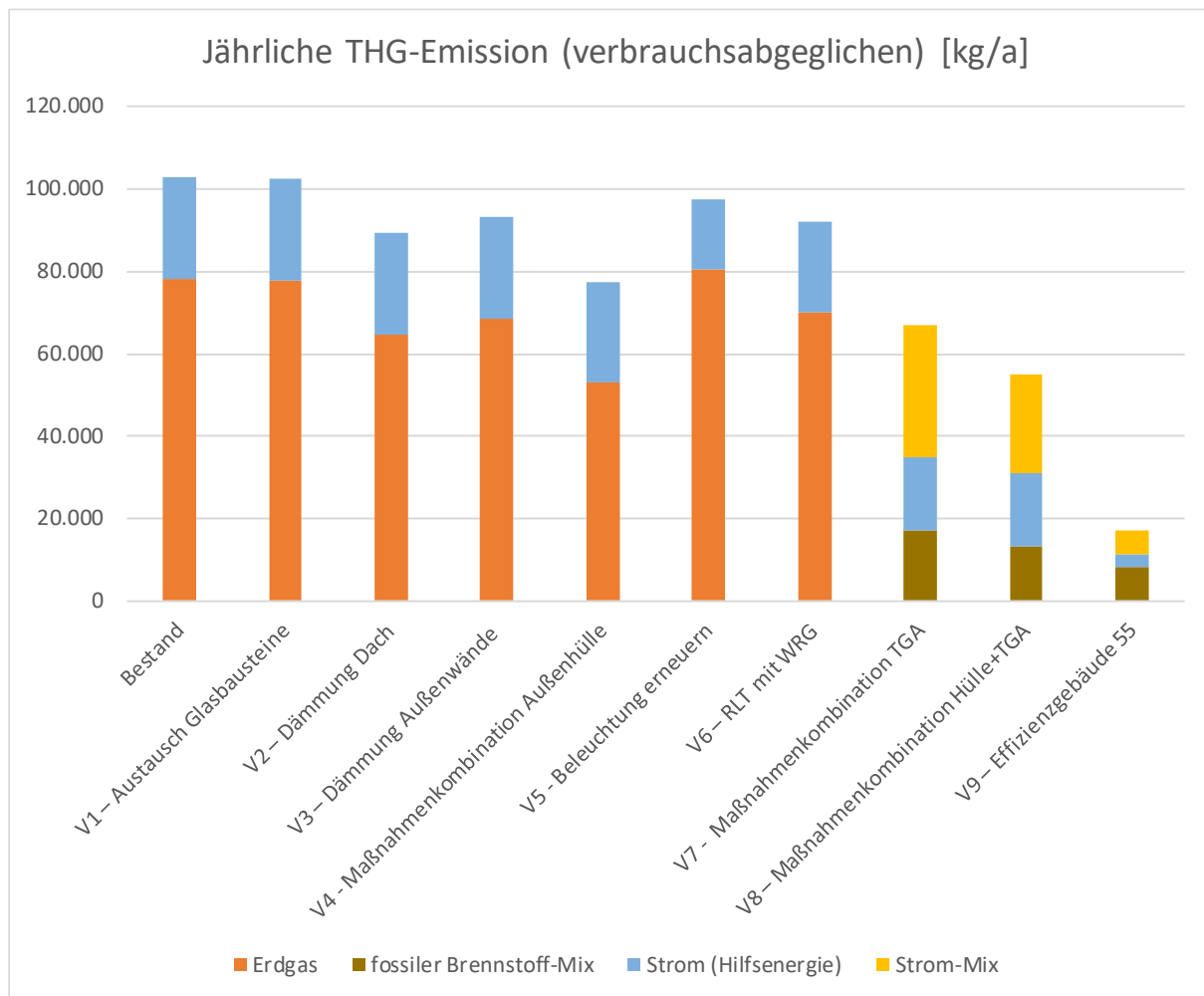


Abbildung 5: Vergleich der jährlichen THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen)

Tabelle 3: Übersicht und Vergleich der einzelnen Wirtschaftlichkeitskennzahlen je Variante

Variante	Energiekosten [€/a]	Investitionskosten (Vollkosten) [€]	Energiebedingte Mehrkosten [€]	Annuität [€/a]	Dyn. Amortisation [a]	Äqu. Energiepreis [ct/kWh]	CO2 Vermeidungskosten [€/kg]	Interner Zins [%]
Variante 1	46.911	96.864	17.647	347	7	4	0,23	14,97
Variante 2	34.938	1.227.088	205.429	3.137	7	4	0,16	14,11
Variante 3	49.219	1.025.901	1.025.901	-28.454	unwirtschaftlich	82	3,48	-4,00
Variante 4	41.179	2.420.996	1.213.544	-26.967	unwirtschaftlich	38	1,59	-1,65
Variante 5	31.086	149.998	15.000	3.861	sofort wirtschaftlich	-7	-0,08	#ZAHL!
Variante 6	30.783	628.320	62.832	9.967	sofort wirtschaftlich	-16	-0,59	#ZAHL!
Variante 7	37.042	1.231.195	149.513	16.210	sofort wirtschaftlich	-3	-0,15	#ZAHL!
Variante 8	30.695	2.648.995	424.280	9.415	11	4	0,19	9,50
Variante 9	11.266	4.486.276	2.197.142	17.769	12	14	0,50	5,84

## ***Bewertung und Empfehlung***

Da mit Ausnahme von den Fenstern der Nebengebäude keine weiteren baulichen Maßnahmen zur energetischen Optimierung des Gebäudes durchgeführt wurden, sind in diesem Bereich einige Einsparpotenziale zu realisieren. Optimierungsbedarf besteht darüber hinaus bei der vorhandenen Anlagentechnik.

Die Einzelmaßnahmen in Variante 1 (Austausch der Glasbausteine) und Variante 2 (Dachsanierung) widmen sich beide Bauteilen mit hohem Sanierungsbedarf und sind mit einer Amortisationszeit von jeweils 7 Jahren als wirtschaftlich zu beurteilen.

Bei den Varianten 3 und 4 wird innerhalb der mittleren Lebensdauer kein monetärer Gewinn erwirtschaftet, da die Energieeinsparung nicht hoch genug ist, um die hohen Investitionskosten „auszugleichen“. In diesen Varianten 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 der Außenwände als Effizienzmaßnahme ist daher nicht zu empfehlen.

Die Einzelmaßnahme in Variante 5: Austausch der Beleuchtung stellt sich als sofort wirtschaftlich dar und sollte – bestenfalls aber in Kombination mit weiteren Maßnahmen – kurzfristig realisiert werden.

In Variante 7 wird eine Maßnahmenkombination vorgestellt, bei der die die technische Gebäudeausstattung vollständig modernisiert wird, wodurch der Endenergiebedarf sogar um über 50% gesenkt werden kann. Hierbei gilt es allerdings zu beachten, dass die überwiegende Einsparung durch die Umstellung auf die Wärmepumpentechnologie und die damit verbundenen Effizienzvorteile entsteht. Zusätzlich ändert sich jedoch auch ein Energieträger von Gas auf Strom, sodass in Variante 7 die Kosteneinsparung geringer ausfällt als in Variante 4. Trotzdem ist Variante 7 wirtschaftlich und kann sich unter Berücksichtigung von Fördergeldern sofort amortisieren.

Um aber auch den Erneuerungsbedarf am Gebäude zu berücksichtigen, wird empfohlen, mindestens Variante 8 – eine Maßnahmenkombination aus Sanierungsmaßnahmen an den Bauteilen mit höherem Sanierungsbedarf und Maßnahmen im Bereich der technischen Gebäudeausstattung, durchzuführen.

Variante 7 und 8 erzielen nach Ablauf des jeweiligen Betrachtungszeitraums positive Kapitalwerte, wobei die Umsetzung von Variante 8 trotz etwas niedrigerem Kapitalwert zu bevorzugen ist, da hier zusätzlich die fälligen Maßnahmen an der Gebäudehülle mit den Maßnahmen an der

technischen Gebäudeausstattung kombiniert werden und so ein niedriger Heizwärmebedarf für das Gebäude besteht.

Für die Durchführung der Varianten 1-8 können Fördermittel aus dem Förderprogramm „Bundesförderung für effiziente Gebäude“ (BEG) in Anspruch genommen werden. Die Förderung für die Einzelmaßnahme „Wärmeerzeuger“ beträgt 30 % der förderfähigen Kosten. Förderfähig sind die im Zusammenhang mit der jeweiligen Maßnahme anfallenden Kosten. Des Weiteren werden auch notwendige Umfeldmaßnahmen gefördert, die für die Umsetzung der Maßnahme erforderlich sind. Die Maßnahmen an der Gebäudehülle, sowie Maßnahmen an der technischen Gebäudeausstattung (außer Heizung) werden durch die „Bundesförderung für effiziente Gebäude - NWG“ (BEG NWG) mit einem Förderbetrag von 15 % unterstützt.

Als wirtschaftlichste Maßnahmenkombination stellt sich Variante 9 dar, die die Sanierung zum Effizienzgebäude 55 beschreibt. Für Kommunen ist für die Sanierung zum Effizienzgebäude die Beantragung hoher Fördergelder möglich. Mit der Sanierung der Sporthalle zu einem Effizienzgebäude 55 kann eine Endenergieeinsparung in Höhe von 84% erreicht werden und eine Senkung des THG-Ausstoßes um 84%. Dies entspricht einer Energiekosteneinsparung von ca. 20.000 € pro Jahr (ohne Berücksichtigung eines CO<sub>2</sub>-Preises) und ca. 29.800 € pro Jahr (mit Berücksichtigung eines CO<sub>2</sub>-Preises). Die mögliche Förderung beträgt hier insgesamt rund 1,3 Euro. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit in Anspruch zu nehmen. Durch Inanspruchnahme der Fördermittel ist die Maßnahme empfehlenswert, da sich die energieeffizienzbedingten Mehrkosten der Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen bereits nach 12 Jahren amortisieren können. Sie erzielt nach einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ein positives Ergebnis mit einem Kapitalwert von über 340.000 Euro. Zusätzlich zu den Vorteilen der Wert- und Komfortsteigerung des Gebäudes stellt dies eine wesentliche Einnahmequelle dar. Dies liegt auch an den derzeit für Kommunen hohen verfügbaren Fördermitteln.

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

Nachstehend werden für die empfohlene Variante 9 - „Effizienzgebäude 55“ die Kosten, die Einsparungen sowie die Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung der aktuellen Förderungen dargestellt:

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei 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.

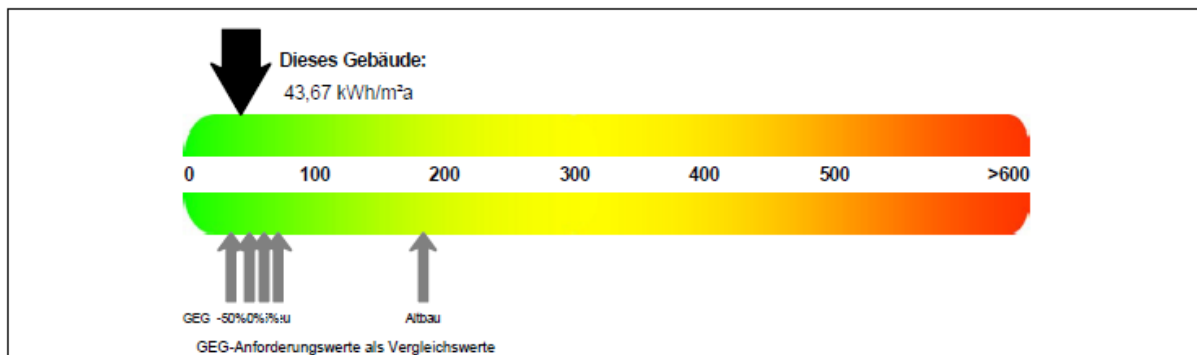


Abbildung 6: Bandtacho der Variante 9 mit Standard-Randbedingungen

Tabelle 4: Effizienzgebäude-Stufen

### Effizienzgebäude-Stufen

Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf $Q_p$	kWh/m <sup>2</sup> a	43,7	✓ 184,2	131,5	✓ 52,6	✓ 72,3	✓ 92,1	✓ 210,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m <sup>2</sup> K	0,22	✓ 0,56		✗ 0,18	✓ 0,22	✓ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m <sup>2</sup> K	0,95	✓ 2,66		✓ 1,00	✓ 1,20	✓ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m <sup>2</sup> K	1,2	✓ 4,3		✓ 1,6	✓ 2,0	✓ 2,4	

### EE-Klasse

Bereitstellung durch erneuerbare Energien	Energie [kWh/a]	Deckungsgrad [%]
PV-Strom	25938	10,8
Wärmepumpen	87978	36,6
Wärme- und Kälterückgewinnung	36950	15,4

- ✗ Anforderung EE-Klasse nicht erfüllt (mindestens 65 % Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Energien).
- ✓ EE-Klasse Zusatzanforderungen

Summe Deckungsgrad: 62,8%

Das Erreichen der EE-Klasse ist nur durch einen höheren Anteil der Wärmepumpe zu erreichen, auf die aber hier keinen Einfluss genommen werden kann, da sich der Wärmeerzeuger im Berufskolleg befindet. Auch durch die Erhöhung der PV-Fläche von 880 m<sup>2</sup> auf 1.200 m<sup>2</sup> (ca. 218 kWp) kann ein Deckungsgrad von 65% erreicht werden.

Tabelle 5: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Fördermaßnahmen für Variante 9

Kosten	Variante 9
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	4.486.300 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	2.197.100 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	1.345.900 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	851.300 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	60.448 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	85.994 kg/a 83%
Endenergieeinsparung durch die Variante	310.090 kWh/a 84%
Energiekosteneinsparung	20.000 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	29.800 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren	37.600 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	12 a
Kapitalwert	349.858 €
Annuität	17.769 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 13 ct/kWh)	14 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	0,50 €/kg
Interne Verzinsung	5,84%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	43.719 €/a
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren nach Sanierung	607.625 €
Betrachtungszeitraum	30 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	32 a

### ***Schritt-für-Schritt-Sanierung (Sanierungsfahrplan)***

1. Die Glasbausteine stellen nicht mehr den aktuellen Stand der Technik dar. Ein Austausch der Fenster und Metalltür zur Fluchttreppe ist unabhängig von anderen Sanierungsmaßnahmen kurzfristig durchführbar. Wenn eine spätere Dämmung der Außenwände geplant ist, muss bei der Wahl der Rahmenbreite eine spätere Leibungsdämmung beachtet werden und ggfs. die Lage der Fenster optimiert werden.
2. Die Dämmung der Außenwände geht idealerweise mit dem Fensteraustausch einher, da Synergieeffekte genutzt werden können, z.B. die Gerüststellung, aber auch Arbeiten an Fensterbänken und Abdichtung der Anschlüsse zwischen Fassade und Fenster.
3. Die Dämmung der Dachflächen kann vollständig von außen und unabhängig von anderen Sanierungsmaßnahmen erfolgen, sollte aber zeitlich vor Installation einer neuen PV-Anlage durchgeführt werden. Bei Dämmarbeiten an den Dächern sollten die Einbauteile wie Lichtkuppeln usw. in einem Zug mitsaniert werden. Bei zeitgleicher Durchführung von Dämmarbeiten an den Außenwänden und Fenstererneuerung besteht ein großer Synergieeffekt, durch die zeitgleiche Nutzung der Gerüstflächen.
4. Im nächsten Schritt sollte die vorhandene Dachfläche genutzt werden, um eine Photovoltaikanlage zu errichten. Bevor sie errichtet wird, muss der Zustand der Dachflächen und die Statik überprüft werden. Dämmarbeiten am Dach oder Änderungen an der Dacheindeckung bzw. -abdichtung müssen vorher erfolgen. Dieser Schritt ist erst nach Ablauf der Vermietung der Dachflächen im Jahr 2028 möglich.
5. Der Austausch der Leuchtmittel stellt sich als sehr wirtschaftliche Variante dar und kann unabhängig von anderen Sanierungsmaßnahmen als Sofortmaßnahme durchgeführt werden. Es empfiehlt sich, einen Fachplaner zur Überprüfung der Beleuchtungsqualität und Einhaltung der Arbeitsstättenrichtlinien zu Rate zu ziehen.
6. Idealerweise wird die derzeit nicht störungsfrei funktionierende Heizungsanlage im Berufskolleg nach Durchführung von Sanierungsarbeiten an allen drei Gebäuden der Liegenschaft ersetzt. Nachdem die Wärmeverluste der angeschlossenen Gebäude maximal gesenkt wurden, kann die Leistung einer (Hybrid-) Wärmepumpenanlage entsprechend niedrig gewählt werden.
7. Sanierungsarbeiten sollten aufeinander aufbauen. Es sollten zuerst Außenarbeiten wie Dacheindeckung, Fassadendämmung oder Fensteraustausch erfolgen. Anschließend gehen die Gewerke für Elektroinstallation, Heizung und Sanitär an die Arbeit, bevor zum Schluss der Innenausbau erfolgt.

8. Um ein nahezu klimaneutrales Gebäude zu erreichen, müssten auch Bauteile, die aufwendig und kostspielig (z.B. Bodenplatte) zu dämmen sind, saniert werden. Die hierdurch zu realisierenden Einsparungen sind derzeit weder monetär noch aus ökologischen Gründen zu empfehlen. Sollten die Bauteile jedoch im Verlauf des Lebenszyklus des Gebäudes sanierungsbedürftig sein, dann sollte eine entsprechende Dämmqualität (s. Variante 11) gewählt werden, 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 die Kreissporthalle 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 Abstimmung mit Herrn Zimmermann für das Berufskolleg Jülich die in

Tabelle 6 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 6: Übersicht verwendeter Energieträger und Verbrauchskosten

Energieträger	Verbrauchskosten <sup>2</sup>
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].

<sup>2</sup> 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 264 für Kommunen ein Effektivzins von 1,13 % (Stand 15.01.2025). Die deutlichen Zinsvergünstigungen der KfW sollen einem Subventionswert von bis zu 1 5 % 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 ergibt sich folglich ein 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 und von 0,25 % für Strom<sup>3</sup> 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.

---

<sup>3</sup> Die zusätzlichen Einnahmen aus der 2021 eingeführten CO<sub>2</sub>-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 (CO<sub>2</sub>) ist mit etwa 50% am sogenannten Treibhauseffekt beteiligt. CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>-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 7: Qualitative Entwicklung des Primärenergiebedarfs, FIW München 2017) Aus diesem Grund wird aktuell über die Aufnahme grauer Energien und Emissionen in das Gebäudeenergiegesetz diskutiert. [10].

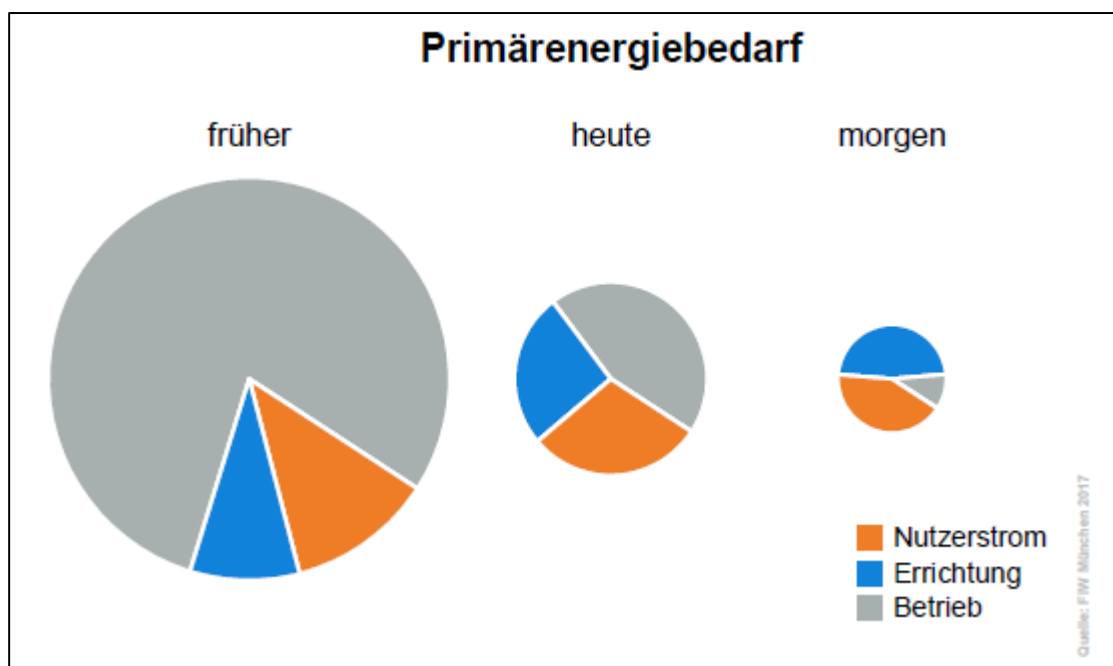


Abbildung 7: Qualitative Entwicklung des Primärenergiebedarfs, FIW München 2017

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 (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) ist der folgenden Tabelle 7 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 7: Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren<sup>4</sup>

CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren	
Energieträger	g CO <sub>2</sub> -Äquivalent/kWh <sub>End</sub>
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

<sup>4</sup> 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 CO<sub>2</sub> und einem Höchstpreis von 65 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> 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 Euro<sub>2022</sub> pro Tonne Kohlendioxid (t CO<sub>2</sub>) zu verwenden (1% Zeitpräferenzrate). Bei einer Gleichgewichtung klimawandelverursachter Wohlfahrtseinbußen heutiger und zukünftiger Generationen (0% Zeitpräferenzrate) ergibt sich ein Kostensatz von 809 Euro<sub>2022</sub> pro Tonne Kohlendioxid. Dabei bezeichnet Euro<sub>2022</sub> jeweils die Kaufkraft des Euro im Jahr 2022.<sup>5</sup>

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 CO<sub>2</sub> wie in anderen Ländern empfohlen.

Aus wirtschaftlicher Perspektive wird ein Modell zur Prognose der zu erwartenden Mehrkosten durch die CO<sub>2</sub>-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 8).

Tabelle 8: Klimafolgekosten

Jahr	Abgabesatz
	(€/t CO <sub>2</sub> )
<b>2024</b>	45
<b>2025</b>	55
<b>2026</b>	55-65
<b>2027</b>	?
<b>2040</b>	265

<sup>5</sup> UBA-Empfehlung zu den Klimakosten: Umweltbundesamt 10.08.2023, Gesellschaftliche Kosten von Umweltbelastungen

Die einzelnen Energieträger werden nach ihrer CO<sub>2</sub>-Intensität unterschieden, um die differenzierte emissionsspezifische Wirkung zu erfassen. Dazu werden die jeweiligen CO<sub>2</sub>-Äquivalente der zu untersuchenden Energieträger als Maßstab herangezogen. (s. Tabelle 7).

Die CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Ausstoß tragen Vermieter bis zu 95 Prozent der CO<sub>2</sub>-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 Kreissporthalle in 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 „Kreissporthalle Jülich“ befindet sich in Jülich im Kreis Düren in Nordrhein-Westfalen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Standort des Gebäudes. Auf der Liegenschaft befinden sich zudem das Berufskolleg und eine Werkhalle. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Standort des Gebäudes.

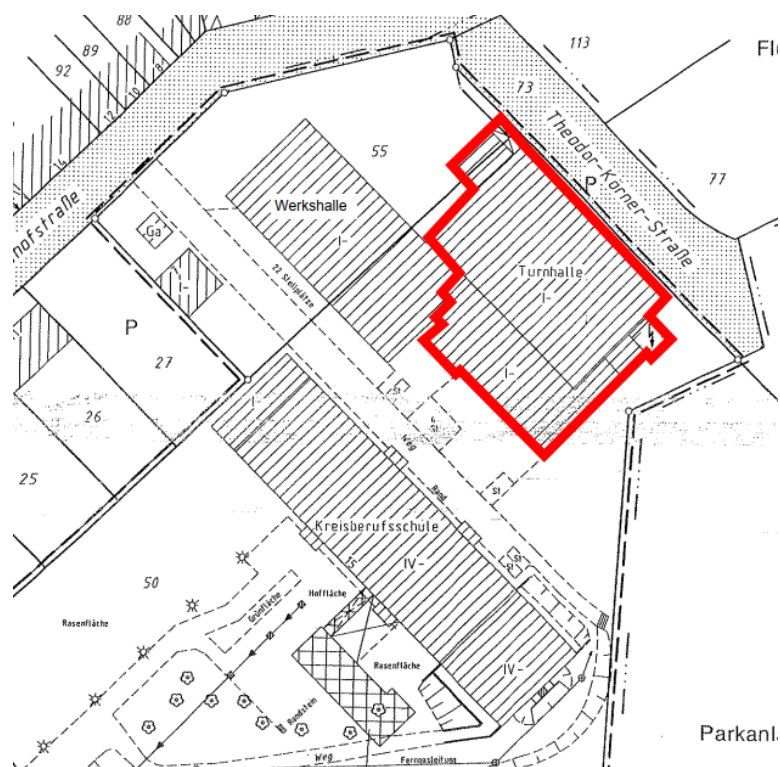


Abbildung 8: Lageplan, Ausschnitt der Planunterlagen der Baugenehmigung zur Errichtung eines Schulerweiterungsgebäudes mit offenem Verbindungsgang von 2007

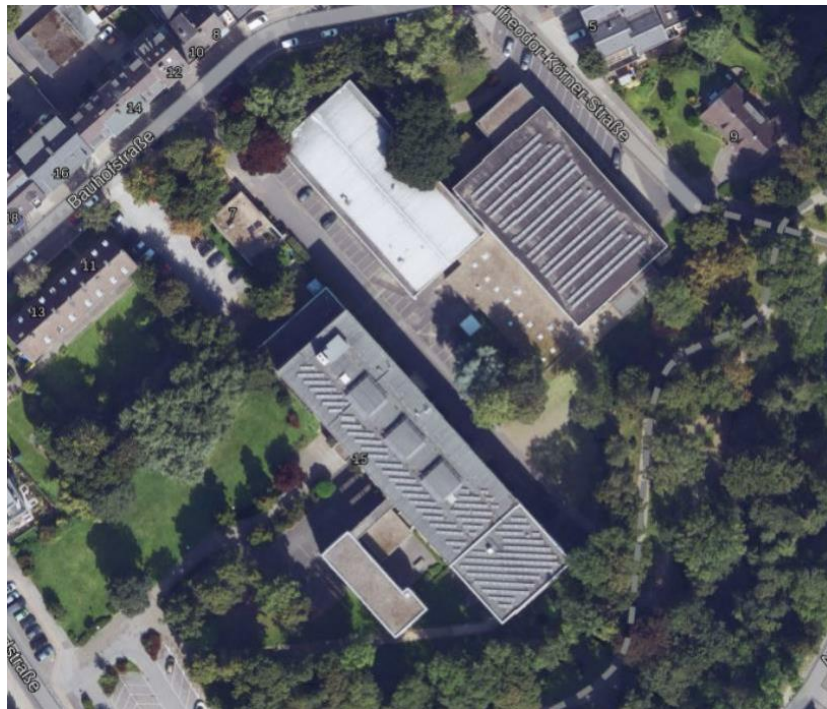


Abbildung 9: Luftbild, Quelle: [www.tim-online.nrw.de](http://www.tim-online.nrw.de) (GeoBasis-DE / BKG 2020, Geobasis NRW)

Tabelle 9: Allgemeine Rahmendaten über das Beratungsobjekt

<b>Gebäude:</b>	Kreissporthalle Jülich
<b>Standort/ Anschrift:</b>	Bongardstraße 15 52428 Jülich
<b>Art der Nutzung</b>	Sporthalle
<b>Baujahr:</b>	Hauptgebäude: 1974 Erweiterungen Geräteraum: 1984
<b>beheizte Fläche des Gebäudes (NGF)</b>	2.157 m <sup>2</sup>
<b>Hüllfläche A</b>	5.869 m <sup>2</sup>
<b>beheiztes Volumen V<sub>e</sub></b>	14.400 m <sup>3</sup>

## 4.2 Gebäudebeschreibung

Das Gebäude wird als Sporthalle genutzt. Es wurde im Jahr 1974 gebaut (Baugenehmigung von 1973) und 1984/85 durch einen Geräteraum ergänzt.

Die Sporthalle ist nicht unterkellert. Die Sporthalle weist eine deutlich höhere Gebäudehöhe als die Nebengebäude auf. Das Nebengebäude im Südwesten mit den Umkleiden und das Stuhllager im Nordwesten wurde eingeschossig ausgeführt. Der Gebäudeteil mit dem Zuschauereingang wurde zweigeschossig ausgeführt, um den Zuschauern den Zugang zur Tribüne der Turnhalle zu gewährleisten.

Abgesehen von dem 2008/2009 durchgeführten Austausch der Fenster und Türen sowie der erneuten Abdichtung des Daches entspricht der energetische Standard der vorhandenen Bauteile dem Jahr ihrer Errichtung. Somit ergeben sich einige Potenziale an der thermischen Gebäudehülle.

## 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
16	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden
16	Duschräume (belüftet)
18	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume
18	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume – Umkleiden (belüftet)
19	Unbeheizte Zone
31	Sporthalle

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

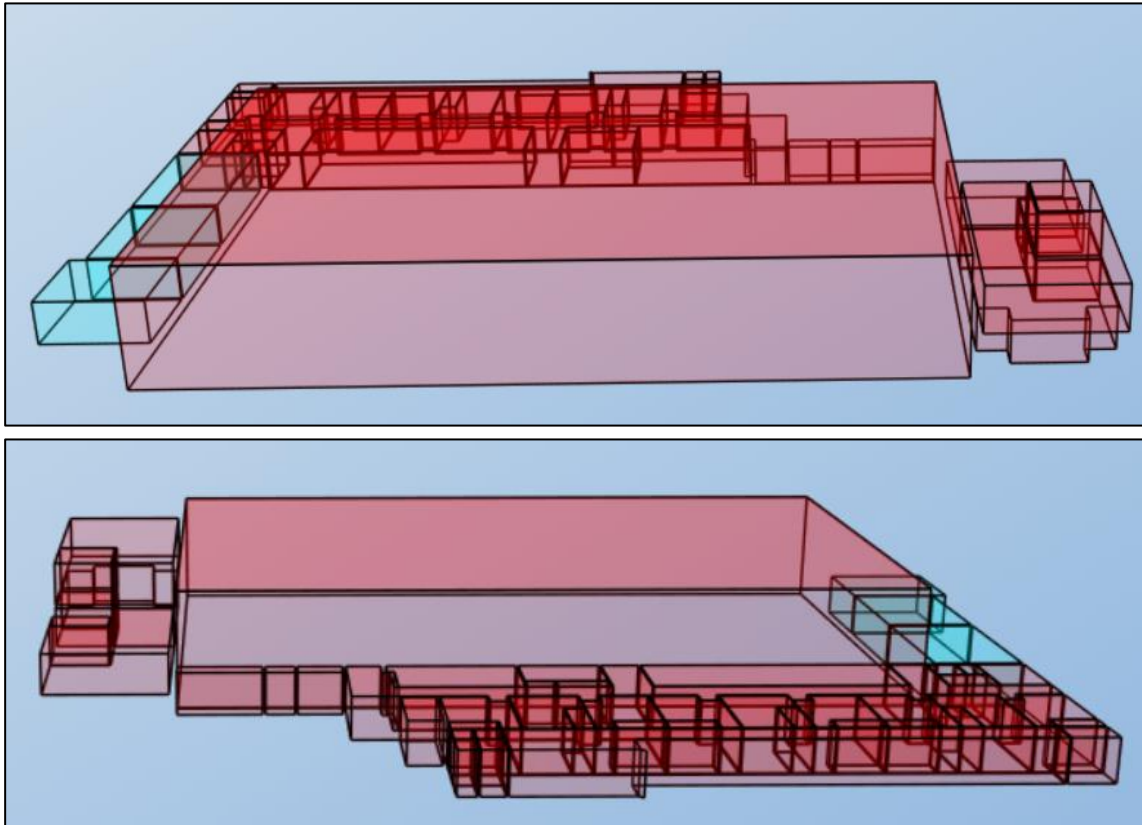


Abbildung 11: Thermische Hüllfläche im 3D-Gebäudemodell (rot)

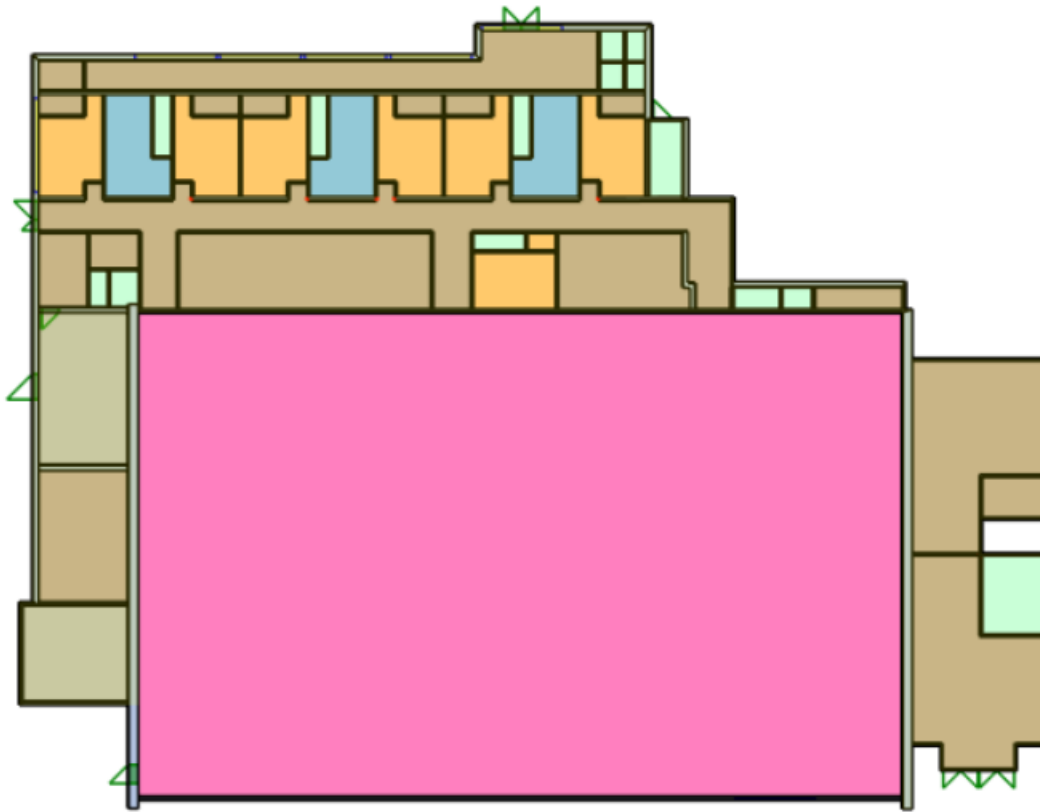


Abbildung 12: Zonierung Erdgeschoss

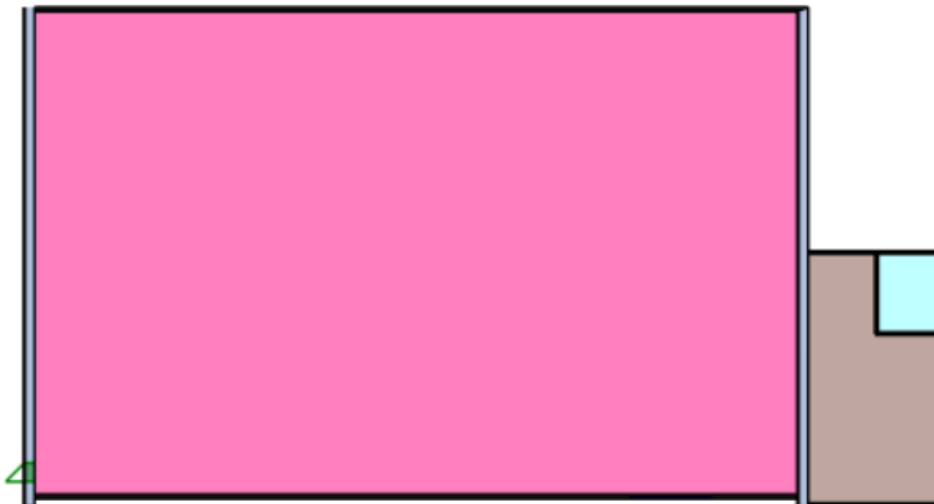


Abbildung 13: Zonierung Obergeschoss

#### 4.4 3D Ansichten des digitalen Gebäudemodells

Nachfolgend sind die dreidimensionalen Ansichten des digitalen Gebäudemodells aufgeführt. Dieses wurde mit dem Programm Energieberater 3D Plus der Firma ETU Software (Hottgenroth) erstellt und diente als Grundlage für die Energiebilanzierung.

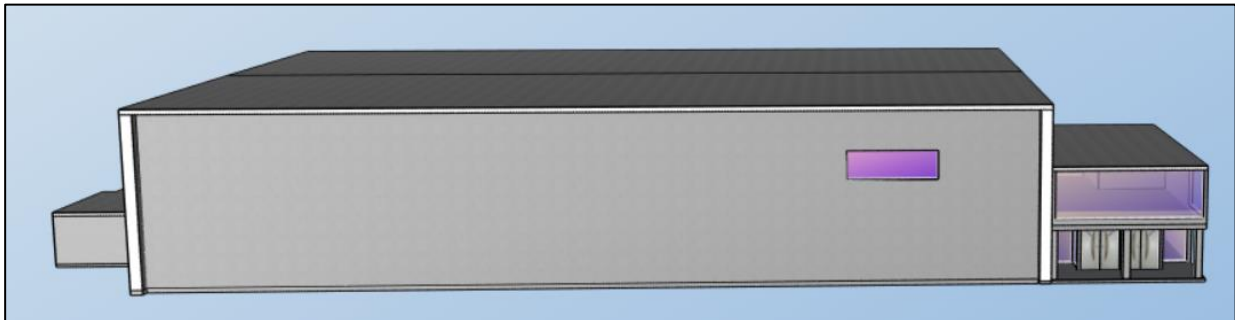


Abbildung 14: Nordost Ansicht



Abbildung 15: Südwest Ansicht

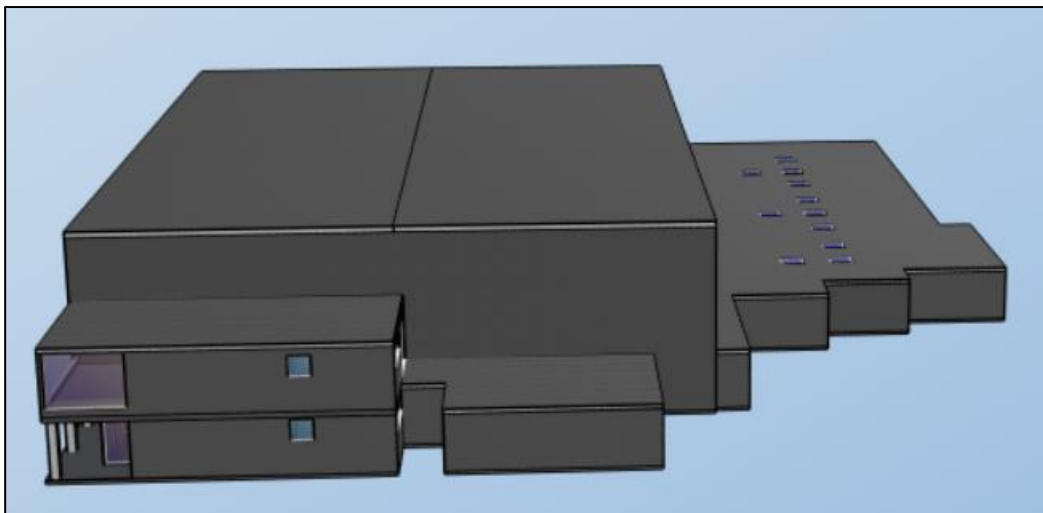


Abbildung 16: Nordwest-Ansicht

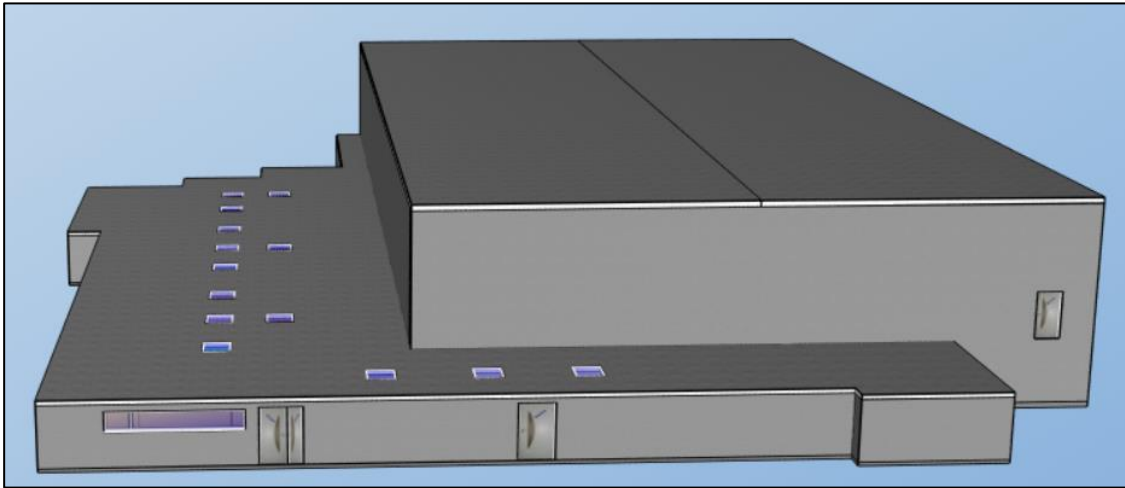


Abbildung 17: Südost Ansicht

## 4.5 Ansichten des Bestandsgebäudes

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



Abbildung 18: Nordostansicht Zuschauereneingang links, Stuhllager rechts

Die Werkhalle grenzt direkt an die Nebenräume der Sporthalle an. Diese ist in der rechten Abbildung zu erkennen.



Abbildung 19: Nordostansicht // Nordostansicht Eingang Zuschauertribüne



Abbildung 20: Südostansicht Geräteraum mit Garagentoren // Südostansicht Nebeneingang Flur



Abbildung 21: Südwestansicht mit Werkshalle im Hintergrund und Berufskolleg links // Südwestansicht Eingang Umkleiden

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

## 5.1 Bauteilbeschreibung

Die Dachkonstruktionen der Sporthalle auf den Stahlbetonbindern mit Trapezblech sind mit einer geringfügigen Dämmung (5 cm) aus XPS und Bitumenabdichtung gemäß der Bauherrenangabe angesetzt worden. Bei den Nebengebäuden wurde eine Bimsbeton-Stegzementdielen, welche auch bei dem Dachaufbau des 1. Bauteils vom Berufskolleg vorgesehen wurden, mit einer 5 cm starken XPS-Dämmung mit Bitumenabdichtung angenommen.

Die Außenwände der Sporthalle unterscheiden sich in verklinkerte (Stirnseiten) und unverklinkerte Fassaden (Längsseiten). Bei dem Aufbau der unverklinkerten Außenwände wurden an den Stahlbetonstützen 20 cm starke, vorgefertigte Gasbetonfertigteile befestigt. Bei den verklinkerten Außenwänden wurde zwischen den Stahlbetonstützen vor den Gasbetonfertigteilen eine Luftschicht von 16 cm und eine Klinkerschicht von 24 cm vorgesehen; die Stützen wurden verkleidet.



Abbildung 22: Außenwand Sporthalle mit Gasbetonfertigteilen // Außenwand verklinkert der Nebengebäude + Sporthalle (Stirnseite)

Die Außenwände der Nebengebäude wurden voraussichtlich mit 24 cm Kalksandstein und 11,5 cm Klinker ausgeführt.



Abbildung 23: Wandaufbau Nebenräume mit Klinker

Im Südwesten grenzt das Gebäude direkt an die Werkhalle (beheizt) an. Die Wände wurden, wie die übrigen Innenwände, aus Kalksandstein ausgeführt.

Für den unteren Gebäudeabschluss der unterschiedlichen Gebäudeteile wird für alle Gebäudeteile des Gebäudes ein geringfügig gedämmter Betonboden mit einem U-Wert von ca.  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gemäß Baualtersklasse „Boden gegen Erdreich, Stahlbeton massiv“ angenommen.

Die Außentüren, Fenster und Lichtkuppeln wurden überwiegend im Jahr 2008 ausgetauscht. Die Außentür von der Tribüne zur Außentreppe sowie die Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne bilden nicht ausgetauschte Bauteile ab. Die Sporthalle verfügt über keine Fenster und somit Sichtverbindung nach außen. In der Außenwand des nördlichen Hallendrittels wurden drei Rauchabzüge vorgesehen (Annahme: Baujahr 2008).

Ein außenliegender Sonnenschutz wurde nicht vorgesehen.

Bei Beantragung einer BEG-Förderung sollten die Aufbauten noch einmal durch z.B. Bauteilöffnungen verifiziert werden.



Abbildung 24: Außentür Haupteingang Umkleiden // Lichtkuppel Umkleide



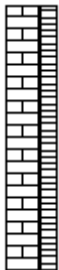


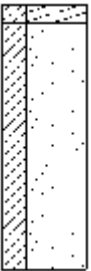
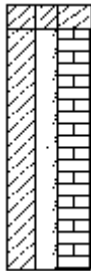

Abbildung 25: Eingang Foyer zur Tribüne // Glasbausteine im Obergeschoss Foyergebäude Tribüne

## 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 bei Beantragung einer BEG-Förderung die Aufbauten noch einmal durch z.B. Bauteilöffnungen geprüft werden sollten.



Tabelle 10: Bauteilaufbauten im IST-Zustand

Kennung	Bauteil		
<i>Dach</i>			
	<b>Dach Stb + 5 cm XPS (BJ 1974)</b> Gesamtdicke: 19,4 cm	<b>U-Wert: 0,654</b> W/(m² K)	
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	<b>d</b> cm	<b>λ</b> W/(m K)
	1 Beton armiert mit 1% Stahl	10,00	2,300
	2 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLS 040)	5,00	0,040
	3 Bitumendachbahn	0,50	0,170
	4 Bitumendachbahn	0,50	0,170
	5 Bitumen (Nafuplast)	0,40	0,170
6 Schiefer	3,00	2,200	
	<b>Dach Stahlbetonbinder + Trapezblech + 5 cm XPS (BJ 1974)</b> Gesamtdicke: 8,4 cm	<b>U-Wert: 0,658</b> W/(m² K)	
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	<b>d</b> cm	<b>λ</b> W/(m K)
	1 Nichtrostender Stahl	1,20	17,000
	2 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLS 040)	5,00	0,040
	3 Bitumendachbahn	0,50	0,170
	4 Bitumendachbahn	0,50	0,170
	5 Bitumen (Nafuplast)	0,40	0,170
6 2- lagige Bitumendachbahn	0,80	0,170	
<i>Wand gegen Außenluft</i>			
	<b>AW Sporthalle (verklindert) - KS + Klinker - Nebengebäude</b> Gesamtdicke: 35,5 cm	<b>U-Wert: 1,002</b> W/(m² K)	
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	<b>d</b> cm	<b>λ</b> W/(m K)
	1 Kalksandstein	24,00	0,350
2 Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker, NM/DM (1800kg/m³)	11,50	0,810	
<i>Wand gegen Außenluft</i>			
	<b>AW Sporthalle (unverklindert) - STB-Stützen + Betonfertigteile</b> Gesamtdicke: 70 cm	<b>U-Wert: 0,762</b> W/(m² K)	

Kennung	Bauteil	d cm	$\lambda$ W/(m K)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	<b>A Beton armiert mit 2% Stahl (7,0 %)</b>		
	1 Porenbeton dampfgehärtet (600 kg/m <sup>3</sup> )	20,00	0,190
	2 Beton armiert mit 2% Stahl (DIN 12524)	50,00	2,500
	<b>B stark belüftete Luftschicht (93,0 %)</b>		
1 Porenbeton dampfgehärtet (600 kg/m <sup>3</sup> )	20,00	0,190	
2 stark belüftete Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke (hinterlüftetes Bauteil)	50,00	---	
	<b>AW Sporthalle Klinker</b> Gesamtdicke: 60 cm		<b>U-Wert: 0,679</b> W/(m <sup>2</sup> K)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	<b>A Beton armiert mit 2% Stahl / Beton armiert mit 2% Stahl (9,0 %)</b>		
	1 Porenbeton dampfgehärtet (600 kg/m <sup>3</sup> )	20,00	0,190
	2 Beton armiert mit 2% Stahl (DIN 12524)	16,00	2,500
3 Beton armiert mit 2% Stahl (DIN 12524)	24,00	2,500	
<b>D schwach belüftete Luftschicht / Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker, NM/DM (91,0 %)</b>			
1 Porenbeton dampfgehärtet (600 kg/m <sup>3</sup> )	20,00	0,190	
2 schwach belüftete Luftschicht (vertikal) bis 300mm Dicke	16,00	1,778	
3 Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker, NM/DM (2200kg/m <sup>3</sup> )	24,00	1,200	
<i>Innenwand gegen beheizten Raum</i>			
	<b>Kalksandstein zur Werkshalle</b> Gesamtdicke: 24 cm		<b>U-Wert: 1,774</b> W/(m <sup>2</sup> K)
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen		
	1 Kalksandstein, NM/DM (1600 kg/m <sup>3</sup> )	24,00	0,790
<i>Fenster (nach außen)</i>			
	<b>Fenster (CLIMAPLUS ULTRA, BJ 2008)</b>		<b>U-Wert: 1,700</b> W/(m <sup>2</sup> K)
	<b>Glasbaustein (BJ 1974)</b>		<b>U-Wert: 3,000</b> W/(m <sup>2</sup> K)
	<b>Lichtkuppel (Baujahr 2008)</b>		<b>U-Wert: 2,700</b> W/(m <sup>2</sup> K)
	<b>Rauchabzüge AW (Baujahr 2008)</b>		<b>U-Wert: 2,700</b> W/(m <sup>2</sup> K)

Kennung	Bauteil	U-Wert:	
<i>Tür (nach außen)</i>			
	<b>Außentür Schüco (BJ 2008)</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>1,700</b>
		W/(m <sup>2</sup> K)	
EnEV 2015	<b>Tür - im Wesentlichen aus Holz, Holzwerkstoffen oder Kunststoffen</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>2,900</b>
		W/(m <sup>2</sup> K)	
EnEV 2015	<b>Tür - im Wesentlichen aus Metall</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>4,000</b>
		W/(m <sup>2</sup> K)	

*Boden gegen Erdreich*

	<b>Boden Nebenräume - Stb + XPS + Estrich + Fliesen</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>1,281</b>
	Gesamtdicke: 24 cm	W/(m <sup>2</sup> K)	
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	<b>d</b> cm	<b>λ</b> W/(m K)
	1 Keramik- / Porzellan-Platten	1,00	1,300
	2 Zement-Estrich	6,00	1,400
	3 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLS 040)	2,00	0,040
	4 Beton armiert mit 2% Stahl	15,00	2,500
	<b>Sporthallenboden - Stb + Gummiboden</b>	<b>U-Wert:</b>	<b>1,010</b>
	Gesamtdicke: 24,3 cm	W/(m <sup>2</sup> K)	
	Bauteilaufbau: Schichtenfolge von innen nach außen	<b>d</b> cm	<b>λ</b> W/(m K)
	1 Linoleum	0,30	0,170
	2 Elastische Zwischenlage	1,00	0,050
	3 Zement-Estrich	6,00	1,400
	4 Polystyrol PS -Extruderschaum (WLS 040)	2,00	0,040
	5 Beton armiert mit 2% Stahl	15,00	2,500

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

Konstruktion		IST	GEG <sup>6</sup>	Förderung <sup>6</sup>
opake Bauteile	Nr.	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand Sporthalle (verklindert mit Luftschicht)	1	0,68	0,24	0,20
Außenwand Sporthalle (unverklindert)	2	0,76	0,24	0,20
Außenwand Nebenräume (verklindert)	3	1,02	0,24	0,20
Innenwand Kalksandstein	4	1,77	0,30	0,25
Flachdach Sporthalle	5	0,66	0,20	0,14
Flachdach Nebenräume	6	0,65	0,20	0,14
Decke über EG / Boden OG Nebengebäude	7	1,28	0,24	0,20
Boden Sporthalle	8	1,01	0,3	0,25
Boden Nebenräume	9	1,28	0,3	0,25
Opake Metallaußentür	10	4,0	1,8	1,3
<b>transparente Bauteile</b>				
Fenster (CLIMAPLUS ULTRA, BJ 2008)	12	1,7	1,3	0,95
Außentür (Schüco BJ 2008)	13	1,7	1,8	1,3
Lichtkuppeln	15	2,7		1,5
Glasbausteine	16	3,0	1,3	0,95

\*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.

<sup>6</sup> nach GEG, Anlage 7 – Werte für normal beheizte Zonen ≥ 19°C

## 6 Technische Gebäudeausrüstung

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

### 6.1 Wärmeerzeugung

Die Wärmeversorgung erfolgt über zwei Erdgas-Brennwertkessel (Vitorond 200 mit 380 kW Nenn-Wärmeleistung und Vitocrossal 300 mit 370 kW Nenn-Wärmeleistung) der Firma Viessmann aus vermutlich dem Jahre 2007 (gemäß Seriennummer). Die Heizzentrale befindet sich im Keller des Hauptgebäudes des Berufskollegs und die Versorgungsleitungen werden über unterirdische bzw. ab der Gebäudegrenze über die Dachfläche der Nebenräume zum Technikraum geführt. Zusätzlich besitzt die Kreissporthalle – wie das Berufskolleg – noch den ursprünglichen Anschluss an die Fernwärme der Stadtwerke Jülich, welche aus wirtschaftlichen Gründen vom Gebäude entkoppelt wurde. Dieser ist somit nicht als Wärmeerzeuger aktiv in den Heizkreislauf integriert. Nach Angaben des Bauherrn bestehen technische Probleme mit den Brennwert-Kessel, wodurch mit einem Austausch des Wärmeerzeugers in den kommenden Jahren zu rechnen ist. Die Platzverhältnisse für die Heizzentrale im Berufskolleg sind für die aktuelle Nutzung als ausreichend einzustufen.

Die Wärmeverteilung erfolgt über einen zentralen Heizungsverteiler (Vorlauf/Rücklauf) in einem Nebenraum der Heizungszentrale im Kellergeschoss. Der Verteiler verfügt über elf Abgänge, von denen einer für die Sporthalle vorgesehen ist. Insgesamt handelt es sich zum Teil bei den Abgängen um „Hochtemperatur“-Abgänge, die eine hohe Vorlauftemperatur benötigen bzw. so eingestellt sind (bis zu 80°C). Der Heizungsverteiler sowie die Leitungen in der Heizzentrale sind vollständig gedämmt und verlaufen in den indirekt beheizten Bereichen des Kellers. Alle Umwälzpumpen wurden in den letzten Jahren durch Hocheffizienzpumpen der Firma Grundfos (u. a. UPC 65-120, Magna 25-100, Magna 65—60 F) ausgetauscht und sind jüngeren Baualters. Die Heizungsbefüllung entspricht den anerkannten Regeln der Technik.

Die Wärme kommt mit einer Vorlauftemperatur von ca. 80 °C (Rücklauf ca. 40 °C) im Technikraum der Kreissporthalle an. In dem Technikraum erfolgt eine erneute Verteilung zu den Lüftungsgeräten beziehungsweise den Heizkörpern in der Kreissporthalle.

Die Heizungsverteilerleitungen bis zum Heizkreisverteiler der Heizkörper sind gedämmt und verlaufen überwiegend in den indirekt beheizten Bereichen der Nebenräume der Kreissporthalle.

Die Wärmeübergabe an die Raumluft erfolgt über die Lüftung (Sporthalle und Duschräume) oder freie Heizflächen (Heizkörper, restliche Räume).



Abbildung 26: Gas-Brennwertkessel Vitorond 200 (links), Vitocrossal 300 (rechts); Standort Kellergeschoss Berufskolleg



Abbildung 27: Hydraulisches System (Vorlauf) im Berufskolleg



Abbildung 28: Hydraulisches System im Technikraum der Kreissporthalle

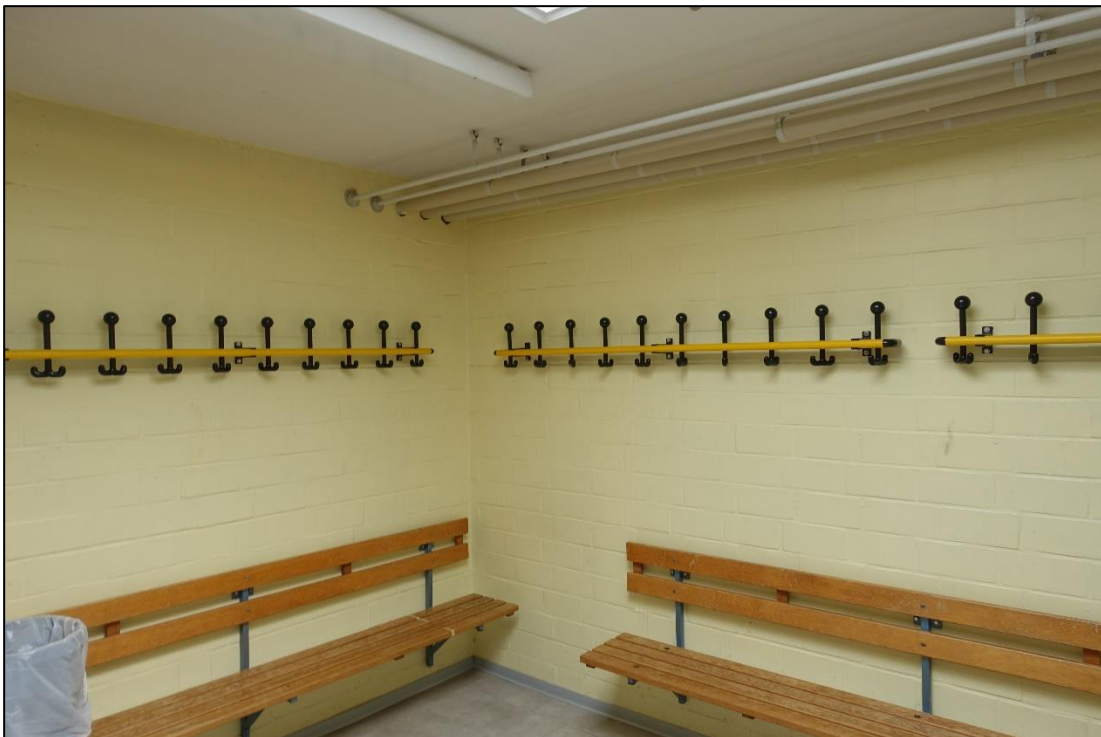


Abbildung 29: gedämmte und ungedämmte Leitungen in den Umkleiden

Tabelle 12: Übersicht zur Wärmeerzeugung, Verteilung und Übergabe

<b>Wärmeerzeuger</b>	Gas-Brennwertkessel; Standort Kellergeschoss Berufskolleg Primärenergiefaktor $f_P = 1,10$
<b>Verteilung</b>	Horizontale Verteilleitungen, wird vom Berufskolleg im Erdreich bzw. über die Dachfläche des Nebengebäudes (Umkleiden) zum Technikraum geführt, anschließend innenliegend; im sichtbaren Bereichen nach Baualtersklasse gedämmt.  Vertikale Strangleitungen durch überwiegende Eingeschossigkeit kaum vorhanden;  Anbindeleitungen innerhalb der beheizten Zonen, überwiegend ungedämmt
<b>Wärmeübergabe und Regelung</b>	freie Heizkörperflächen mit Thermostatventilen (Nebenträume) oder über die Lüftungsanlage (Sporthalle)

## 6.2 Brauchwasserbereitung

Über die Heizungsanlage erfolgt ebenfalls die Warmwasserbereitung für die Sporthalle. Zur Pufferung steht im Technikraum der Sporthalle ein Warmwasserspeicher.



Abbildung 30: Warmwasserspeicher der Turnhalle im Technikraum



Abbildung 31: Wasserversorgung Waschbecken in den Umkleiden // Dezentrale Durchlauferhitzer in den WCs im Nebengebäude (Foyer) zur Tribüne

Die Warmwasserbereitung an vereinzelt Zapfstellen (bspw. WCs im Foyergebäude zur Tribüne) erfolgt über elektrische Untertischgeräte und kann aufgrund eines Verbrauchs von unter 0,2 kWh pro Person und Tag vernachlässigt werden.

### 6.3 Lüftungstechnik

Die Dreifachsporthalle und die Umkleiden mit Duschen werden über Lüftungsanlagen belüftet. Die Lüftungsanlagen sind aus der Errichtungszeit des Gebäudes und somit veraltet. Sie haben keine Wärmerückgewinnung.

Die zentrale Lüftungsanlage für die Dreifachsporthalle befindet sich im südlich angrenzenden Technikraum. Die Leitungen werden an der südlichen Außenwand bis zum Dach der Sporthalle geführt, sodass die Zu- und Abluft über die Abhangdecke ein- bzw. abgeführt werden kann. Über die Lüftungsanlage erfolgt zudem die Beheizung der Sporthalle – es sind keine Flächenheizungen vorhanden.



Abbildung 32: Lüftungsanlage für die Sporthalle im südlichen Technikraum



Abbildung 33: Zu- und Abluft in der Abhangdecke der Sporthalle // Leitungsführung entlang der Außenwände für die Sporthalle



Abbildung 34: Dezentrale Lüftungsgeräte jeweils in den Umkleiden // Zuluftauslässe in den Duschräumen

Die übrigen Räume werden über Fenster manuell und nach Bedarf belüftet.

Auch der Einbau von Anlagen zur effizienten Lüftung gehört zu den förderungswürdigen 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 und damit zu einem 5%-Bonus im Zuge der Effizienzgebäudeförderung.

## 6.4 Kühlung

Das Gebäude wird nicht gekühlt.

## 6.5 Beleuchtung

Die meisten Räume werden über stabförmige Leuchtstofflampen mit scheinbar elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) beleuchtet. In einigen Bereichen kommen bereits LEDs zum Einsatz.

Nr	Zone	Beleuchtungsbereich	A	A_w	A_TL	E_m	Lampe	P_el
1	WC	WC und Sanitärräume in I Beleuchtung 1	78	9,28	200		Leuchtstofflampe - stabförmig, EVG	7,4
2	Nebenflächen ohne Aufer	80% Beleuchtung 1	492	63,99	100		Leuchtstofflampe - stabförmig, EVG	2,7
		20% Beleuchtung LED	123	16,00	100		LEDs in LED-Leuchten	1,3
3	Unbeheizte Zone							
4	Sporthalle	Beleuchtung 1	1.280	-	300		Leuchtstofflampe - stabförmig, EVG	7,5
5	WC	Duschräume belüftet Beleuchtung 1	57	4,32	200		Leuchtstofflampe - stabförmig, EVG	7,4
6	Nebenflächen ohne Aufer	Beleuchtung 1	128	11,00	100		Leuchtstofflampe - stabförmig, EVG	3,6

Abbildung 35: Übersicht installierte Lampenleistung und Beleuchtungskontrolle je Zone - IST-Zustand

Legende: A = Fläche des Bereichs; A\_w = Fensterfläche; A\_TL Tageslichtabdeckung bei Tag; E\_m = benötigte Beleuchtungsstärke; P\_el = resultierende elektrische Leistung in W/m<sup>2</sup>



Abbildung 36: Beleuchtung Sporthalle und Duschen mit Leuchtstoffröhren (Annahme EVG)



Abbildung 37: Beleuchtung Flure mit Leuchtstofflampen (links); Beleuchtung Eingang Tribüne mit LED (rechts)

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 Leuchtentausch (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.

Da die Dreifachturnhalle ohne Fenster und Oberlichter ausgeführt wurde, ist der sommerliche Wärmeschutz tendenziell relativ gut, da keine direkte Sonneneinstrahlung in den Innenraum gelangt. Fenster und Oberlichter sind Schwachstellen, durch die Sonnenwärme in das Gebäude eindringen kann. Da in dieser Turnhalle solche Öffnungen fehlen, wird die Innenraumtemperatur weitgehend durch die thermische Trägheit der Gebäudehülle bestimmt. Massive, gut isolierte Außenwände verhindern weitgehend das Aufheizen des Gebäudes durch Sonneneinstrahlung. Diese Faktoren tragen langfristig zu einem effektiven sommerlichen Wärmeschutz bei und sind bei einer Sanierung zu beachten (Vorhalten von Speichermassen, Dämmung der Außenbauteile, etc.).

Insbesondere das südwestliche Nebengebäude mit den Lichtkuppeln und Fenstern wird als kritischer betrachtet, da diese Wärme in das Gebäude eintragen. Hier ist davon auszugehen, dass insbesondere im Sommer häufiger Überhitzungen auftreten. Jedoch ist zu beachten, dass diese Bereiche nur kurzfristig genutzt werden und der Fokus auf dem sommerlichen Wärmeschutz der Hauptnutzung als Sporthalle liegt.

Positiv zu bewerten ist, dass die meisten Fenster geringe Abmessungen haben und überwiegend eine Brüstung aufweisen. Hierdurch gelangt nur die notwendige Menge an Licht in den Raum und verhindert ein übermäßiges Aufheizen.

Eine aktive (Raum-) Kühlung im Gebäude ist, wie im Kapitel 6.4 bereits beschrieben, aktuell nicht für die Sporthalle vorhanden.

Bei der Inanspruchnahme von Fördermitteln für ein Effizienzgebäude ist die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes nachzuweisen. Daher ist bei einer Sanierung des Gebäudes der sommerliche Wärmeschutz nachzuweisen, wobei darauf zu achten ist, dass Ansätze für die Lüftung auch praktisch im Schulbetrieb umzusetzen sind.

Förderfähig ist der Ersatz oder der erstmalige Einbau von außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen 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:

- 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 38) ergibt, dass die Zonen „Sporthalle“ und „Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume“ flächenmäßig die größten Bereiche im Gebäude darstellen. Als Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume wurden vor allem die Flure, das Foyer zur Tribüne, und die Lagerflächen bewertet.

Nr	Zone	A_NGF
1	WC WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	78
2	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	615
3	Unbeheizte Zone	82
4	Sporthalle	1.280
5	WC Duschräume belüftet	57
6	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume - Umkleiden mit Lüftung	128

Abbildung 38: 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 39 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).

Nr	Zone	Tage	Nutzungsstunden	t_v_op_d	d_op_a
1	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	250	11 (10/1)	13	250
2	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume	250	11 (10/1)	13	250
3	Unbeheizte Zone	250	11 (10/1)	13	250
4	Sporthalle	250	15 (10/5)	17	250
5	Duschräume belüftet	250	11 (10/1)	13	250
6	Nebenflächen ohne Aufenthaltsräume - Umkleiden mit Lüftung	250	11 (10/1)	13	250

Abbildung 39: 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 13: Zusammenstellung der wärmeübertragenden Gebäudehüllfläche\*

Konstruktion	Nr.	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Fläche m <sup>2</sup>
<b>opake Bauteile</b>			
Außenwand Sporthalle (verklindert)	1	<b>0,68</b>	353,7
Außenwand Sporthalle (unverklindert)	2	<b>0,76</b>	706,4
Außenwand Nebenräume (verklindert)	3	<b>1,02</b>	457,8
Innenwand Kalksandstein	4	<b>1,77</b>	79,8
Flachdach Sporthalle	5	<b>0,66</b>	1.333,7
Flachdach Nebenräume	6	<b>0,65</b>	960,8
Decke über EG / Boden OG Nebengebäude	7	<b>1,28</b>	23,2
Boden Sporthalle	8	<b>1,01</b>	1.320,3
Boden Nebenräume	9	<b>1,28</b>	950,2
Opake Metallaußentür	10	<b>4,0</b>	2,3
Opake Rauchabzüge	11	<b>2,7</b>	6,99
<b>transparente Bauteile</b>			
Fenster (CLIMAPLUS ULTRA, BJ 2008)	12	<b>1,7</b>	22,8
Außentür (Schüco BJ 2008)	13	<b>1,7</b>	26,3
Lichtkuppeln	15	<b>2,7</b>	17,3
Glasbausteine	16	<b>3,0</b>	56,1

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

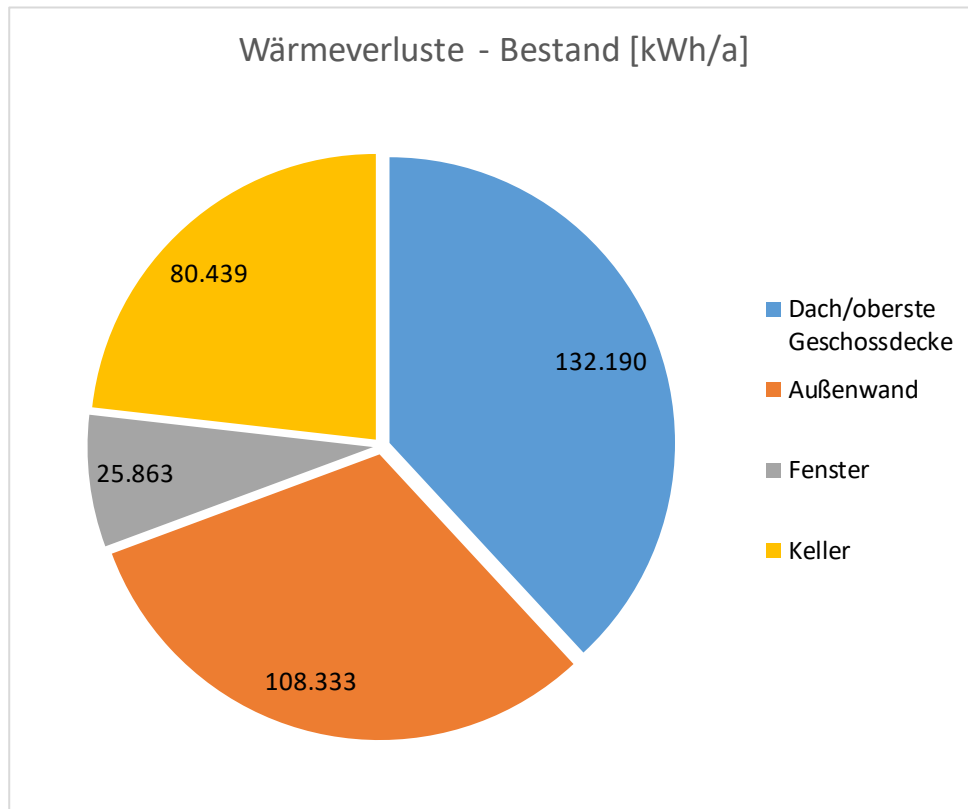


Abbildung 40: Aufteilung der absoluten Transmissionswärmeverluste je Bauteilkategorie im IST-Zustand

Die Darstellung der Transmissionswärmeverluste verdeutlicht, dass die energetische Schwachstelle insbesondere im Bereich der unsanierten Außenwände und Dachflächen 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 bzw. besser sind.

## 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.

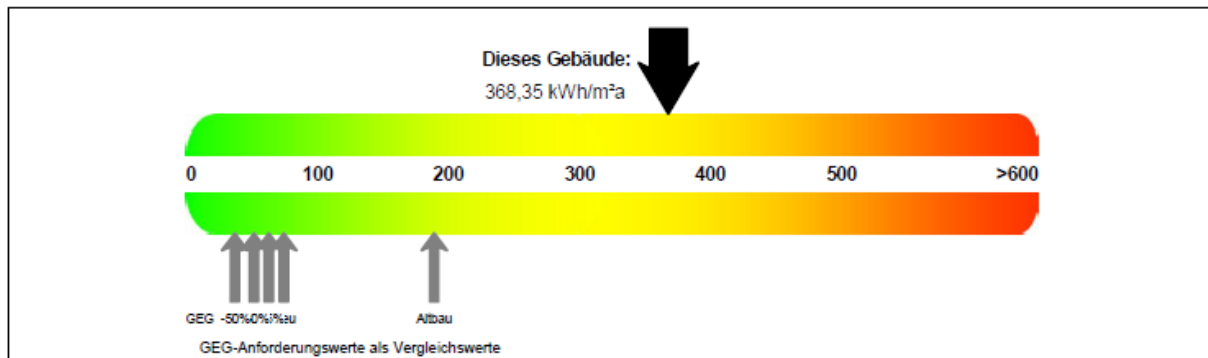


Abbildung 41: Bandtacho Primärenergiebedarf IST-Zustand gemäß Standard-Randbedingungen

Tabelle 14: Übersicht Primärenergiebedarf des Gebäudes im IST-Zustand

Energiebilanz des Gebäudes	absolut [kWh/a]	Anteil [%]	flächenbezogen [kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> a]
<b>Primärenergiebedarf</b>			
Primärenergiebedarf Heizung	592.018 kWh	86%	274
Primärenergiebedarf WW	16.829 kWh	2%	8
Primärenergiebedarf Beleuchtung	48.080 kWh	7%	22
Primärenergiebedarf Belüftung	27.664 kWh	4%	13
Primärenergiebedarf Kühlung	0 kWh	0%	0
Primärenergiebedarf gesamt	684.592 kWh	100%	317

Tabelle 15: Übersicht der Endenergiebedarfe des Gebäudes im IST-Zustand

<b>Energiebilanz des Gebäudes</b>	<b>absolut [kWh/a]</b>	<b>Anteil [%]</b>	<b>flächenbezogen [kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>a]</b>
<b>Endenergiebedarf</b>			
Endenergiebedarf Heizung	537.116 kWh	90%	249
Endenergiebedarf WW	15.190 kWh	3%	7
Endenergiebedarf Beleuchtung	26.711 kWh	4%	12
Endenergiebedarf Belüftung	15.369 kWh	3%	7
Endenergiebedarf Kühlung	0 kWh	0%	0
Endenergiebedarf gesamt	594.386 kWh	100%	276

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 16: Übersicht des Bedarfs aufgeteilt nach Energieträgern, IST-Zustand

<b>Energieträger des Gebäudes</b>	<b>absolut [kWh/a]</b>	<b>Anteil [%]</b>	<b>flächenbezogen [kWh/m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>a]</b>
<b>Energieträger</b>			
Heizöl	0 kWh	0%	0
Erdgas	550.433 kWh	93%	255
Holz (Pellets)	0 kWh	0%	0
Holz (Hackschnitzel)	0 kWh	0%	0
fossiler Brennstoff-Mix	0 kWh	0%	0
erneuerbarer Brennstoff	0 kWh	0%	0
Strom (Hilfsenergie)	43.953 kWh	7%	20
Strom-Mix	0 kWh	0%	0
gesamt	594.386 kWh	100%	276

### 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 17: Übersicht der THG-Emissionen nach Energieträgern – IST-Zustand

THG-Emissionen nach Anteil des jeweiligen Energieträgers	absolut [kg/a]	Anteil [%]	flächenbezogen [kg/m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]
<b>Energieträger</b>			
Heizöl	0 kg/a	0%	0
Erdgas	132.104 kg/a	84%	61
Holz (Pellets)	0 kg/a	0%	0
Holz (Hackschnitzel)	0 kg/a	0%	0
fossiler Brennstoff-Mix	0 kg/a	0%	0
erneuerbarer Brennstoff	0 kg/a	0%	0
Strom (Hilfsenergie)	24.614 kg/a	16%	11
Strom-Mix	0 kg/a	0%	0
gesamt	156.718 kg/a	100%	73

## 7.4 Abgleich mit Verbrauchsdaten

Im Folgenden werden die vorliegenden Verbrauchsdaten dargestellt:

*Tabelle 18: Übersicht der witterungsbereinigten Verbrauchsdaten*

Energieträger	Klimafaktor		Energieverbrauch
	Jahr	[-]	
Wärme	2016	1,25	<b>334.227 kWh</b>
Wärme	2017	1,23	<b>305.280 kWh</b>
Wärme	2018	1,34	<b>340.248 kWh</b>
Strom	2016	-	<b>0 kWh</b>
Strom	2017	-	<b>0 kWh</b>
Strom	2018	-	<b>0 kWh</b>

Die oben genannten Verbrauchsdaten wurden anhand der Angaben des Bauherrn abgeschätzt. Folgende Punkte sind zu beachten:

- Die Daten der Abrechnung von 2021 und 2022 wurden aufgrund der höheren Verbräuche in der Coronazeit, die als nicht repräsentativ eingestuft wurden, nicht in den Verbrauchs-/Bedarfsabgleich einbezogen.
- Die Abrechnung erfolgte für die gesamte Liegenschaft (Berufskolleg mit Neubau, Werkhalle und Sporthalle). Die Verbräuche werden über einen Strom- und einen Gaszähler erfasst. Eine genaue Unterteilung und Zuordnung der Verbräuche zu den jeweiligen Gebäuden sind somit nicht möglich. Die Verbräuche wurden anhand der Bedarfsberechnungen nach DIN 18599 ins Verhältnis gesetzt. Abweichungen zur Realität sind vorbehalten.
- Bei den vorgefundenen Stromverbrauchern in den Gebäuden handelt es sich neben Beleuchtungsanlagen und der Hilfsenergie der Anlagentechnik zusätzlich um Prozessenergie in der Werkhalle für Maschinen u. a. zur Holz- und Metallverarbeitung oder Kühlschränke im Berufskolleg.

## 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.

*Tabelle 19: 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
550.433 kWh	326.585 kWh	0,593

Der berechnete Wärmebedarf liegt etwa 40 % über dem gemessenen Verbrauch. Jedoch ist aufgrund der nicht aussagekräftigen Datengrundlage durch lediglich jeweils einen Zähler für Strom und Gas für die Liegenschaft ein verifizierbarer Verbrauch/Bedarf-Abgleich für die Sporthalle nicht möglich.

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

Das Gebäude weist trotz weniger energetischer Sanierungsmaßnahmen in der jüngeren Vergangenheit insgesamt einen guten baulichen Zustand auf. Dennoch besteht die Möglichkeit, durch nachträgliche Dämmung den energetischen Zustand der ungedämmten Bereiche zu verbessern, insbesondere im Rahmen künftiger Sanierungen.

Im Hinblick auf die anlagentechnischen Gegebenheiten besteht Nachbesserungsbedarf. Die vorhandenen Anlagen zur Wärmebereitung sind zwar funktionstüchtig, jedoch wies die Anlage nach Angaben des Bauherrn in den vergangenen Jahren Ausfälle auf und wird lediglich fossile Energie verbraucht.

Sowohl für die Beleuchtung als auch die Belüftung des Gebäudes wird veraltete Technik verwendet. Im Rahmen der Variantenuntersuchung werden daher anlagentechnische Nachbesserungen sowie alternative Energieversorgungsmöglichkeiten analysiert.

## 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. Dies betrifft insbesondere eine nachträgliche Dämmung der Bodenplatte der Sporthalle (betrachtet, da für Effizienzgebäude notwendig) und der Nebengebäude (nicht betrachtet).

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, bis auf die 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 0 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. Zudem werden 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 42.

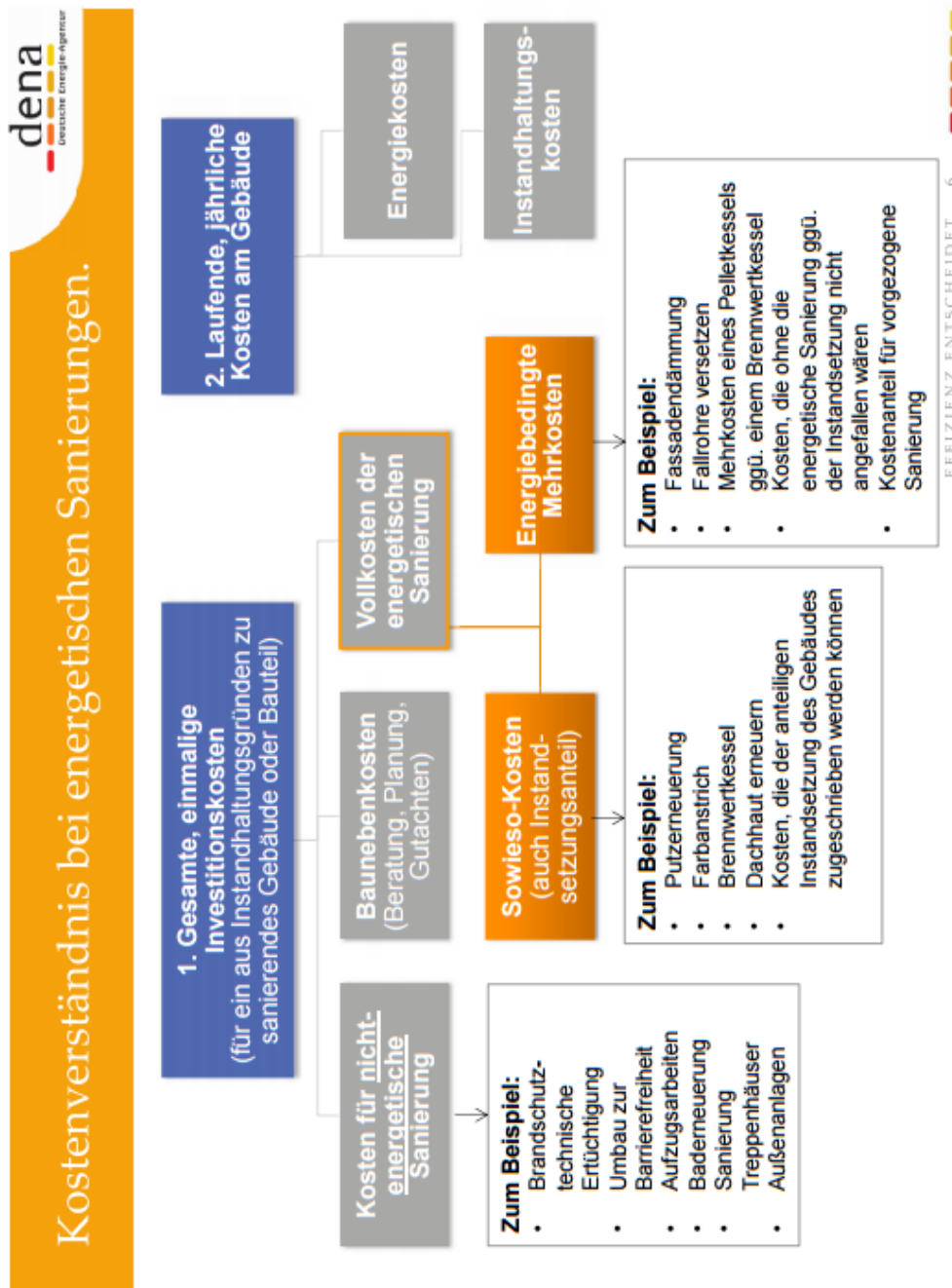


Abbildung 42: Kostenverständnis bei energetischen Sanierungen

(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 43).

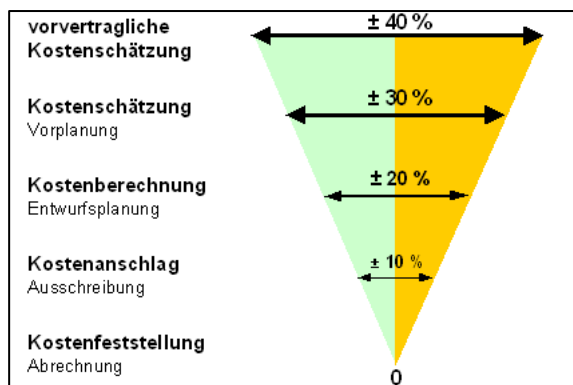


Abbildung 43: Genauigkeit der Kostenermittlung im Bauwesen mit fortschreitender Planungstiefe<sup>7</sup>

Die prozentuale Endenergieeinsparung basiert auf den ermittelten Werten nach DIN V 18599 - auf sogenannte Bedarfswerte. 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).

<sup>7</sup> 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 Energiepreiserhöhungen 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 zu Schadstoffen:

Bei der vorhandenen Dämmung der jeweiligen Bauteile muss gemäß Baualter davon ausgegangen werden, dass es sich um künstliche Mineralfaser (KMF) handelt, die krebserregende 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. EPS Dämmstoff kann das Flammschutzmittel (HBCD) enthalten, was bei der Entsorgung berücksichtigt werden muss.

In allen Gebäuden, die vor dem 31.10.1993 errichtet wurden, muss mit Asbest in den Baustoffen bzw. der Bausubstanz gerechnet werden.

Der Bauherr muss dem beauftragten Unternehmen alle ihm vorliegenden Informationen bezüglich möglicher Schadstoffbelastung zur Verfügung stellen. Ist die Sachlage nicht klar, muss eine Erkundung und Beurteilung im Gebäude durchgeführt werden.

**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 aufgrund des Baualters handelt.**

## 8.1 Übersicht der Maßnahmen

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

### Variante 1 – Austausch der Glasbausteine:

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

### Variante 2 – Dämmung Dach:

- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

### Variante 3 – Außenwand:

- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit ca. 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der verklinkerten Nebenräume mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Variante 4 – Maßnahmenkombination Gebäudehülle:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch aller Außentüren ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der verklankerten Nebenräume mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Variante 5 – Beleuchtung:**

- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

#### **Variante 6 – Raumluftechnik mit Wärmerückgewinnung:**

- Erneuerung der zentralen Lüftungsgeräte durch Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) für die Sporthalle
- Erneuerung der dezentralen Lüftungsgeräte durch Zu- und Abluftanlage in den Umkleiden und Nebenräumen mit Wärmerückgewinnung (WRG)

### **Variante 7 – Maßnahmenkombination TGA:**

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

### **Variante 8 – Maßnahmenkombination Gebäudehülle + TGA:**

#### **Maßnahmen Gebäudehülle:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 ( $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### **Maßnahmen Gebäudetechnik:**

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung

- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

### **Variante 9 – Maßnahmenkombination EG55:**

#### **Maßnahmen Gebäudehülle:**

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch aller Außentüren ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung der Innenwände aus Kalksandstein zum unbeheizten Bereich mit ca. 12 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Sporthallenbodens mit ca. 12 cm Dämmstoff der WLS 030 ( $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

### Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion (145 kWp)

### Variante 10 – Möglichkeit zur Erreichung eines nahezu klimaneutralen Gebäudes:

- *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 nahezu klimaneutrales Gebäude zu erhalten, stellt diese Maßnahme eine Orientierung dar für zukünftige Modernisierungen und Instandsetzungen des Gebäudes.*
- Dämmen des Gebäudes entsprechend Passivhausstandard:
  - Alle opaken Bauteile an Außenluft:  $U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Alle Fenster:  $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Alle Türen:  $U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Dämmen der Innenwände gegen unbeheizte Bereiche mit 12 cm der WLS 035 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Vollständige Bodenplattendämmung mit 12 cm der WLS 030 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch des Gaskessels gegen eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile, Dämmung aller Leitungen)
- Warmwasserbereitung über Wärmepumpe
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion mit Speicher maximale Fläche auf dem Dach
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

- Dezentrale Wärmepumpenlösung mit integrierter Lüftungsanlage mit WRG für die Sporthalle
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG

## 8.2 Variante 1: Austausch der Glasbausteine

Im ersten Schritt erfolgt eine Untersuchung der Auswirkungen eines Austauschs aller Glasbausteine, die sich im nordöstlichen Nebengebäude mit dem Zugang zur Tribüne befinden. Bei den Glasbausteinen kann von einer Nutzungsdauer von 50 Jahren ausgegangen werden. Diese ist jetzt genau erreicht, sodass, weil die Glasbausteine noch funktionstüchtig sind, von einem Erneuerungsbedarf von 90% ausgegangen wird.

Bei dieser Variante wurden die Glasbausteine durch 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 der aktuellen Einzelmaßnahmenförderung der BEG. Aufgrund der Größe der Flächen wird teilweise eine Pfosten-Riegel-Konstruktion notwendig sein. Hier spielen auch gestalterische Entscheidungen im Rahmen einer Planung eine Rolle. Eine Innen- sowie Außenfensterbank ist vorgesehen. Der Einbau kann in gleicher Lage zu den Bestandsfenstern erfolgen.

Neben den Glasbausteinen wird in dieser Variante noch der Austausch der Metalltüre von der Sporthalle zur Außenfluchttreppe von der Tribüne betrachtet. Diese Maßnahme wird vorgesehen, da angenommen wird, dass die Metalltüre im Zuge des Austausches der Fenster und Türen im Jahre 2007 nicht ausgetauscht wurde und der U-Wert die aktuellen gesetzlichen Anforderungen deutlich überschreitet. Nach Austausch sollen die Voraussetzungen der BEG-Einzelmaßnahmenförderung einhalten und die Metalltüre dementsprechend mindestens einen U-Wert von  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  aufweisen.

Bei einem Austausch der Fenster und der Außentüre 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 geringfügig 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 Lösung<sup>8</sup>. 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 mit einer Dämmstoffschicht von 2 bis 4 cm überdeckt.

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

Tabelle 20: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 1

Konstruktion	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert alt W/(m <sup>2</sup> K)	U-Wert neu W/(m <sup>2</sup> K)
Glasbausteine	56,1	U <sub>w</sub> = 3,00 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,78	U <sub>w</sub> = 0,95 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,50
Metalltüre zur Fluchttreppe von der Tribüne	2,3	U = 4,0 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 1,30 W/(m <sup>2</sup> K)

Über den Austausch der Glasbausteine hinaus wurde betrachtet, dass alle Fenster und Türen ausgetauscht und dem aktuellen Stand der Technik angepasst werden. Da die Fenster und Türen im Nebengebäude der Umkleiden ca. im Jahr 2007 ausgetauscht wurden, wurde bei der Berechnung ein U-Wert von 1,70 W/(m<sup>2</sup>K) angesetzt. Eine Verbesserung des U-Wertes hat jedoch nur eine geringfügige Auswirkung auf die Steigerung der Energieeffizienz des Gebäudes. Diese Maßnahme stellt sich aufgrund einer geringen Einsparung und der hohen Investitionskosten (ca. 193.000 €) und geringerem Erneuerungsbedarf (Alter 18 Jahre) nicht wirtschaftlich dar, auf eine Darstellung als Einzelmaßnahme wird hier verzichtet. Die Umsetzung wird im Rahmen einer BEG-Einzelmaßnahme nicht empfohlen.

Für die Einhaltung des Effizienzgebäude-55-Standards (Variante 9) wird der Austausch aller Fenster und Türen zur Verringerung des mittleren U-Wertes für die opaken Bauteile notwendig und somit dort mitbetrachtet.

<sup>8</sup> Eine weiterführende Analyse unter „Variante 3: Außenwanddämmung“

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

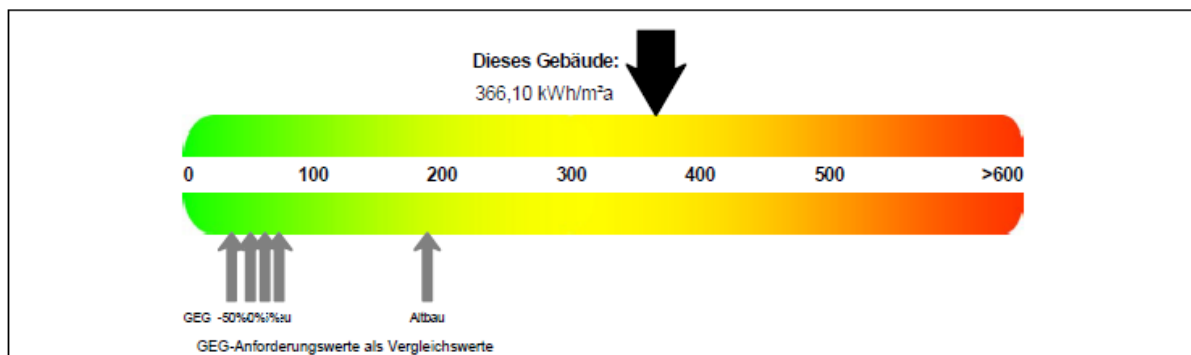


Abbildung 44: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 1

Tabelle 21: Übersicht der Kosten – Variante 1

Kostenrahmen der Variante 1	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Glasbausteine + Tür (Austausch)	67.832 €	12.358 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	13.566 €	2.472 €
Summe der Kosten netto	81.398 €	14.829 €
19% MwSt.	15.466 €	2.818 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>96.900 €</b>	<b>17.600 €</b>

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

Tabelle 22: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 1

Kosten	Variante 1
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	96.900 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	17.600 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	14.500 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	3.100 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	367.555 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	523 kg/a
	1%
Endenergieeinsparung durch die Variante	2.983 kWh/a
	1%
Energiekosteneinsparung	300 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	300 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	500 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	7 a
Kapitalwert	8.983 €
Annuität	347 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 13 ct/kWh)	4 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	0,23 €/kg
Interne Verzinsung	14,97%
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	16.958 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	50 a

Die Umsetzung des Austausches der Glasbausteine führt zu einer Einsparung von 1 % des Endenergieverbrauchs und somit von einer minimalen jährlichen Kosteneinsparung vom ca. 300 €/a bzw. ca. 500 € pro Jahr zuzüglich des CO<sub>2</sub>-Preises unter Ansatz der in Kapitel 2 genannten Randbedingungen. Die geringe Einsparung ist darauf zurückzuführen, dass die Flächenanteile der Glasbausteine relativ gering im Vergleich zu den Außenwänden, Dächern und Bodenplatte sind. Dennoch stellt diese Variante eine lohnende Investition dar, da sich die energieeffizienzbedingten Mehrkosten bei Inanspruchnahme von Fördermitteln für Einzelmaßnahmen bereits nach 7 Jahren amortisieren können.

Folgende Punkte sind zu beachten: Für die Sporthalle liegen die maximal förderfähigen Kosten für Einzelmaßnahmen (ohne Heizungstausch) bei rund 1 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 für die Sporthalle auf ca. 4,3 Mio. Euro. Unabhängig von der Sanierung der Gebäudehülle kann zudem eine Förderung für den Austausch des Wärmeerzeugers der Sporthalle auf eine regenerative Wärmeerzeugerstrategie mit maximal förderfähigen Kosten von ca. 245.000 Euro in Anspruch genommen werden.

### **8.3 Variante 2: Dämmung Dach inkl. Austausch der Lichtkuppeln**

Die Dämmung der Dachflächen der Sporthalle und der Nebengebäude wurde seit dem Baujahr 1974 nicht modernisiert. Angesichts des Alters der bestehenden Dämmung ist eine Anpassung aus mehreren Gründen sinnvoll. Zunächst hat sich die Technik der Dämmmaterialien in den letzten Jahrzehnten erheblich weiterentwickelt, sodass heutige Lösungen deutlich effizienter sind. Eine moderne Dämmung würde den Wärmeverlust im Winter erheblich reduzieren und im Sommer die Aufheizung der Räume minimieren. Dies führt zu einer spürbaren Senkung der Heiz- und Klimatisierungskosten und steigert die Energieeffizienz des gesamten Gebäudes.

Darüber hinaus sorgt eine neue Dämmung für ein deutlich angenehmeres Raumklima. Insbesondere in der Sporthalle ist es wichtig, extreme Temperaturschwankungen zu vermeiden, um den Komfort für die Nutzer zu erhöhen.

Bei den Dächern der Sporthalle und der Nebengebäude besteht noch die ursprüngliche Dämmung. Es wird angenommen, dass die Dachflächen nachträglich lediglich erneut abgedichtet wurden und das Dach der Sporthalle mit Photovoltaikmodulen ausgestattet wurde. Somit wurden die Dächer des Gebäudes vor rund 50 Jahren errichtet und weisen daher nur noch eine begrenzte Restnutzungsdauer auf – insbesondere unter Beachtung der Schäden an den anderen Dachflächen auf dem Gelände des Berufskollegs. Da die Lebensdauer der Abdichtung nahezu abgelaufen ist, die jeweiligen Bauteile jedoch noch funktionsfähig sind, wird ein maximaler Erneuerungsbedarf von 90 % angenommen. Bei der Sanierung wird die bestehende Dachhaut und Dämmung rückgebaut und das anschließende Aufbringen einer Wärmedämmung gemäß dem Zielwert der BEG-Förderung (mindestens 24 cm WLS 035) vorgesehen. 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. Da beim Ersatz einer flächig des Gebäudes wasserdichten Beschichtung durch eine neue Schicht gleicher Funktion ohnehin der U-Wert von  $0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  gemäß GEG einzuhalten ist, werden als energetische Mehrkosten lediglich die Kosten für die Übererfüllung des GEG zuzüglich des Restwertes des Erneuerungsbedarfs berücksichtigt.

Im Zuge der Sanierung sollten die Lichtkuppeln im Nebengebäude der Umkleiden ausgetauscht werden. Der neue U-Wert für die Lichtkuppeln beträgt  $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , höchstens jedoch  $1,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  für die Einhaltung der technischen Mindestbedingungen der BEG-Förderung. Die Förderung der Maßnahme beträgt somit 15 % der förderfähigen Kosten.

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 <sup>2</sup> ]	U-Wert alt W/(m <sup>2</sup> K)	U-Wert neu W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Sporthalle	1.335	U = 0,66 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Nebengebäude	940	U = 0,68 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Austausch Lichtkuppeln	20	U <sub>w</sub> = 3,50 W/(m <sup>2</sup> K)	U <sub>w</sub> = 1,50 W/(m <sup>2</sup> K)

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

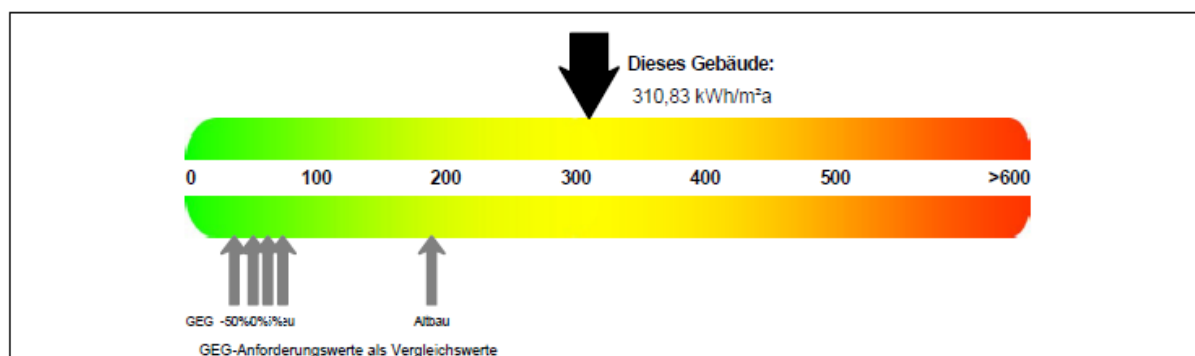


Abbildung 45: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 2

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

Kostenrahmen der Variante 2	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Dachsanierung	860.145 €	143.173 €
Lichtkuppeln Sanierung	35.000 €	6.650 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	136.022 €	22.806 €
Summe der Kosten netto	1.031.167 €	172.629 €
19% MwSt.	195.922 €	32.800 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>1.227.100 €</b>	<b>205.400 €</b>

Zur Wirtschaftlichkeit der Maßnahme kann Folgendes festgestellt werden:

Tabelle 25: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 2

Kosten	Variante 2
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	1.227.100 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	205.400 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	171.800 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	33.700 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	313.202 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	13.707 kg/a
	13%
Endenergieeinsparung durch die Variante	57.336 kWh/a
	15%
Energiekosteneinsparung	3.400 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	4.400 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren	5.100 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	7 a
Kapitalwert	46.828 €
Annuität	3.137 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 11 ct/kWh)	4 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	0,16 €/kg
Interne Verzinsung	14,11%
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 20 Jahren nach Sanierung	48.257 €
Betrachtungszeitraum	20 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	20 a

Die Dämmung der Dachflächen mit Austausch der Lichtkuppeln führt zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen um 13 % und der Endenergie um 15 %. Bei Inanspruchnahme von Fördermitteln für Einzelmaßnahmen (15 % Förderzuschuss) sind die energieeffizienzbedingten Mehrkosten nach 7 Jahren und somit innerhalb der Lebensdauer der neuen Bauteile amortisiert. Wir empfehlen die Umsetzung dieser Maßnahme, davon ausgehend, dass die Dachabdichtung sowieso erneuert werden muss. Ohne Fördermittel amortisiert sich die Maßnahme nicht innerhalb der Lebensdauer und wird als Einzelmaßnahme unwirtschaftlich.

Der Betrachtungszeitraum wurde hier an die Lebensdauer einer Dachabdichtung ohne Kies-schutzschicht angepasst (20 Jahre).

Es muss berücksichtigt werden, dass die Dachflächen der Sporthalle noch bis 2028 für die derzeit aufgestellten PV-Module vermietet sind, sodass hier eine Dachsanierung erst ab 2028 möglich ist.

#### **8.4 Variante 3: Außenwanddämmung**

In der dritten Variante wird die Dämmung der unterschiedlichen Außenwände betrachtet. Die Außenwände wurden während des Lebenszyklus nicht saniert und bieten Optimierungspotential – insbesondere im Hinblick auf die großen Flächen mit einem geringen Anteil an Fenstern und Türen. Hierfür werden unterschiedliche Aufbauten der Außenwände betrachtet.

Bei den Außenwänden der Sporthalle mit einer Verklinkerung wird der ca. 16 cm breite Luftspalt zwischen den Betonfertigteilen und dem Klinker mit einer Einblasdämmung (WLS 035) gefüllt. Zur Erreichung eines U-Wertes von 0,20 W/m<sup>2</sup>K wird zusätzlich eine ca. 6 cm starke Dämmschicht (WLS 035) vorgesehen.

Bei den unverklinkerten Außenwänden der Sporthalle an den Längsseiten sowie bei den Wänden der Nebengebäude (ca. 14 cm, WLS 035) wird eine Dämmung der Außenwand mit einem Wärmedämmverbundsystem beispielhaft dargestellt. Hier ist zu beachten, dass die Stützen der Außenwände der Sporthalle vollflächig gedämmt werden. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Dämmqualität den Anforderungen an die energetische Verbesserung und die Förderrelevanz entspricht. Die Art der Verkleidung spielt dabei zwar eine untergeordnete Rolle, jedoch können je nach Verkleidung die Investitionskosten variieren. Ein Wärmedämmverbundsystem stellt die in der Herstellung kostengünstige Variante dar, welche jedoch aufgrund des Standortes (hohes Risiko für Schäden durch Spechte, etc.) und der dadurch verbundenen Reduzierung der Dämmqualität nicht empfohlen wird. Eine rückbaufreundliche Konstruktion mit einem erhöhten Anteil nachwachsender Rohstoffe, wie beispielsweise großformatigen Faserzementplatten auf einer Metall-Unterkonstruktion könnten alternativ vorgesehen werden. Hier ist im Rahmen der Produktauswahl für die neue Fassade je nach Unterkonstruktion und deren Befestigung ein Korrekturwert auf den U-Wert gem. Herstellerangabe aufzuschlagen und in der Bilanzierung einzukalkulieren.

Im Rahmen der Außenwanddämmung sollte auch der auskragende Boden der Nebenräume über dem Eingangsbereich mit 16 cm Dämmung WLS 035 gedämmt werden.

Bei der Außenwanddämmung wird davon ausgegangen, dass hier zur Bauwerkserhaltung keine Dämmmaßnahme erforderlich ist. Somit werden die gesamten Kosten für die Außenwanddämmung als energiebedingte Mehrkosten angerechnet. Im Vergleich zu den Fenstern führt dieser Ansatz zu einer deutlich längeren Amortisationszeit der Außenwanddämmung. Jedoch entfällt auch ein großer Teil der Transmissionswärmeverluste des Gebäudes auf die Außenwände, was unter anderem mit dem großen Flächenanteil zusammenhängt. Die Einsparmöglichkeiten dieser umfangreichen Variante sind daher deutlich größer.

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

Tabelle 26: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 3

Konstruktion	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert alt W/(m <sup>2</sup> K)	U-Wert neu W/(m <sup>2</sup> K)
Verklinkerten Stirnseiten der Sporthalle	352	0,68	0,20
Unverklinkerten Längsseiten der Sporthalle + Außenwände der Nebengebäude	1.082	0,76	0,20
Dämmung der Decke im Eingangsbereich	24		0,19

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

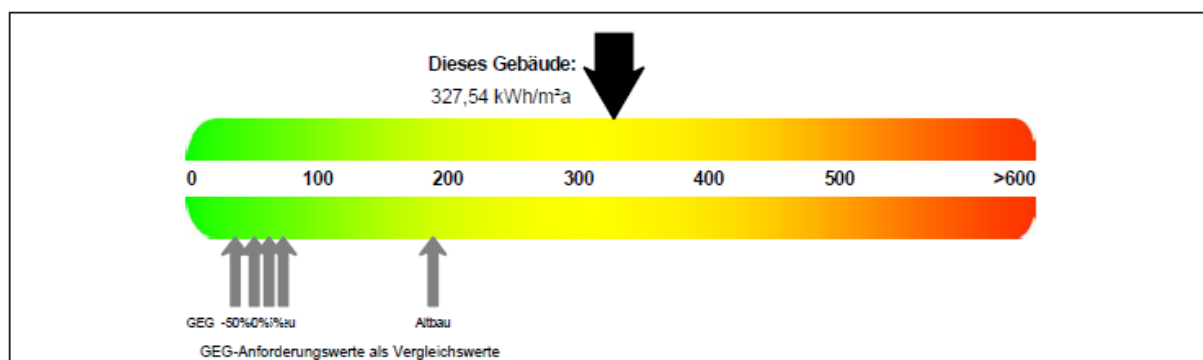


Abbildung 46: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 3

Tabelle 27: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 3

<b>Kostenrahmen der Variante 3</b>	<b>Gesamtkosten</b>	<b>Energiebedingte Mehrkosten</b>
Außenwandsanierung	713.378 €	713.378 €
Dämmung Decke Eingang unterseitig	5.040 €	5.040 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	143.684 €	143.684 €
Summe der Kosten netto	862.102 €	862.102 €
19% MwSt.	163.799 €	163.799 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>1.025.900 €</b>	<b>1.025.900 €</b>

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

Tabelle 28: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 3

Kosten	Variante 3
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	1.025.900 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	1.025.900 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	153.900 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	872.000 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	329.606 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	9.670 kg/a
	9%
Endenergieeinsparung durch die Variante	40.931 kWh/a
	11%
Energiekosteneinsparung	2.500 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	3.800 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	5.200 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-737.001 €
Annuität	-28.454 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 15 ct/kWh)	82 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	3,48 €/kg
Interne Verzinsung	-4,00%
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	89.802 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	50 a

Die Dämmung der Außenwände sowie der Innenwände zu den unbeheizten Bereichen führt zu einer Einsparung von 9 % der Treibhausgasemissionen und 11 % des Endenergieverbrauchs. Daraus resultieren Energiekosteneinsparungen von ca. 2.500 € pro Jahr bzw. 3.800 € pro Jahr zuzüglich des CO<sub>2</sub>-Preises.

Die Außenwanddämmung ist mit hohen Kosten und Aufwand verbunden. Trotz der hohen Energieeinsparung ist die Maßnahme nicht wirtschaftlich, da sich auch bei Inanspruchnahme von Fördermitteln für Einzelmaßnahmen (15 % Tilgungszuschuss) eine Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten nicht innerhalb des Lebenszyklus von 50 Jahren einstellt.

Wir empfehlen, diese Maßnahme als Maßnahme zum Erreichen des Effizienzgebäudes (Variante 9 oder 10) unter Bezug von Fördermitteln umzusetzen. Bei einer Sanierung zu einem Effizienzgebäude können höhere Fördermittel beansprucht werden, was zu einer schnelleren Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten führt.

## 8.5 Variante 4: Maßnahmenkombination Gebäudehülle

Im Rahmen dieser Variante erfolgt eine Betrachtung einer Maßnahmenkombination, welche die Wärmeverluste über die Außenhülle maximal reduziert:

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch aller Außentüren ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der verklinkerten Nebenräume mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

Die Details und Auswirkungen dieser Maßnahmen wurden bereits in den Varianten 1 bis 3 ausführlich dargelegt.

Die Sanierungen dient dazu aufzuzeigen, dass mit der Umsetzung der oben genannten Maßnahmen das Niveau der Gebäudehülle energetisch verbessert wird, jedoch diese nicht zur Erreichung eines Effizienzgebäude-70-Standards oder besser ausreichen – zumindest im Hinblick auf die Transmissionswärmeverluste. Um dies zu erreichen sind weitere Maßnahmen – insbesondere hinsichtlich der opaken Bauteile – vorzunehmen, siehe hierzu Variante 9.

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

Tabelle 29: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 4

Konstruktion	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert alt W/(m <sup>2</sup> K)	U-Wert neu W/(m <sup>2</sup> K)
Glasbausteine	56,1	U <sub>w</sub> = 3,00 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,78	U <sub>w</sub> = 0,95 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,50
Fenster	31,1	U <sub>w</sub> = 1,70 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,78	U <sub>w</sub> = 0,95 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,50
Metalltüre zur Fluchttreppe von der Tribüne	2,3	U = 4,0 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 1,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Austausch aller Außentüren	11 Stk	U = 2,7 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 1,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Sporthalle	1.335	U = 0,66 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Nebengebäude	940	U = 0,68 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Austausch Lichtkuppeln	20	U <sub>w</sub> = 3,50 W/(m <sup>2</sup> K)	U <sub>w</sub> = 1,20 W/(m <sup>2</sup> K)
Verklinkerten Stirnseiten der Sporthalle	352	0,68	0,20

Unverklinkerten Längsseiten der Sporthalle + Außenwände der Nebengebäude	1.082	0,76	0,20
Dämmung der Decke im Eingangsbereich	24		0,19

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.

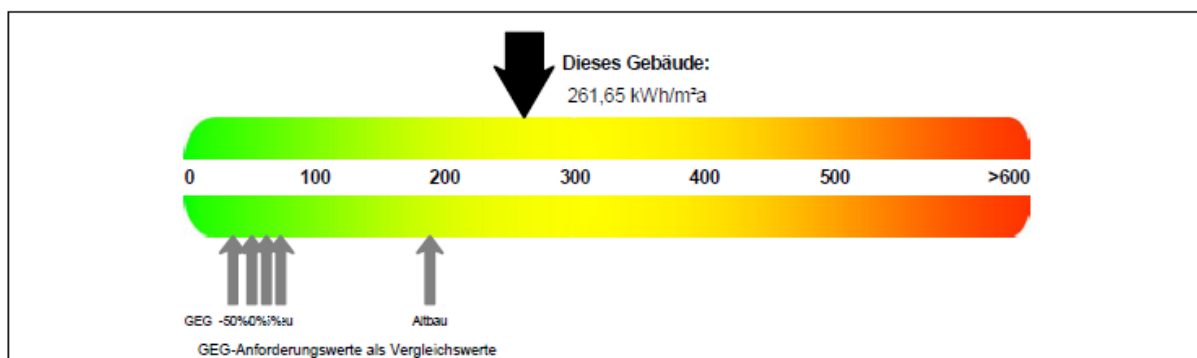


Abbildung 47: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 4

Die opake Bauteile erreichen in dieser Variante das Niveau eines Effizienzgebäudes 100, die transparente Bauteile sogar das eines EH40. Der Primärenergiebedarf kann ohne Maßnahmen an der technischen Gebäudeausrüstung um Umstieg auf einen Wärmeerzeuger auf Basis erneuerbarer Energien nicht ausreichend reduziert werden.

Tabelle 30: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 4

Kostenrahmen der Variante 4	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	186.477 €	39.145 €
Außenwandsanierung	661.046 €	661.046 €
Dämmung Decke Eingang unterseitig	5.040 €	5.040 €
Dachsanierung	807.813 €	137.940 €
Kellerdeckensanierung	0 €	0 €
Lichtkuppeln und Oberlichter Sanierung	35.000 €	6.650 €
Vorhangfassadensanierung	0 €	0 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	339.075 €	169.964 €
Summe der Kosten netto	2.034.450 €	1.019.784 €
19% MwSt.	386.546 €	193.759 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>2.421.000 €</b>	<b>1.213.500 €</b>

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich Folgendes feststellen:

Tabelle 31: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 4

Kosten	Variante 4
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	2.421.000 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	1.213.500 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	171.800 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	1.041.800 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	264.811 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	25.364 kg/a 25%
Endenergieeinsparung durch die Variante	105.727 kWh/a 29%
Energiekosteneinsparung	6.200 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO2-Preis	9.700 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren	13.300 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Kapitalwert	-698.491 €
Annuität	-26.967 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 15 ct/kWh)	38 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	1,59 €/kg
Interne Verzinsung	-1,65%
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren nach Sanierung	226.783 €
Betrachtungszeitraum	50 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	48 a

Die Variante ist aktuell trotz der hohen Energieeinsparung von ca. 29 % unwirtschaftlich, was unter anderem auf den geringen Erneuerungsbedarf der Außenwände und die begrenzten Fördermittel für Einzelmaßnahmen (15 % Tilgungszuschuss) zurückzuführen ist, denn in dieser Variante wird die maximale Förderhöhe pro Jahr für Einzelmaßnahmen voll ausgeschöpft. Die Maßnahmenkombination verdeutlicht das vorhandene Einsparpotential an der Gebäudehülle, sie ist aber ohne Maßnahmen an der technischen Gebäudeausrüstung nicht zur Ausführung empfohlen.

## 8.6 Variante 5: Beleuchtung

In der ersten gebäudetechnischen Variante werden die Auswirkungen der Umstellung der Beleuchtung auf LEDs untersucht. In der Sporthalle sowie in einem Großteil der Nebenräume bestehen weiterhin Leuchtstofflampen mit elektronischen Vorschaltgeräten. Teilweise sind die Vorschaltgeräte auch noch konventionell (KVG). In Teilen des Foyers zur Tribüne wurden bereits LEDs in LED-Leuchten verbaut. Der Erneuerungsbedarf auf beide Gebäude bezogen wird auf 90 % geschätzt.

Es wird empfohlen, den Austausch durch eine Fachplanung begleiten zu lassen und bei Bedarf Verbesserungen an der Beleuchtungssituation vorzunehmen und die Einhaltung der Vorschriften der Arbeitsstättenverordnung zu überprüfen. Teilweise sind bauliche Anpassungen notwendig, wofür in den Kosten eine Pauschale berücksichtigt wurde.

Die Verwendung von Präsenzkontrollen (Bewegungsmelder, Akustikmelder, ...) wird für die Sanitärbereiche, Umkleiden, Lagerräume und die Verkehrsflächen empfohlen und auch kostenmäßig berücksichtigt. Generell empfiehlt es sich, Räume, für die sich niemand persönlich „verantwortlich“ fühlt (Lagerräume, Gerätrräume, andere Nebenräume) mit einer Präsenzkontrolle in Form von Bewegungs- oder Anwesenheitsmeldern auszustatten.

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung entsprechend Variante 6 in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises. Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

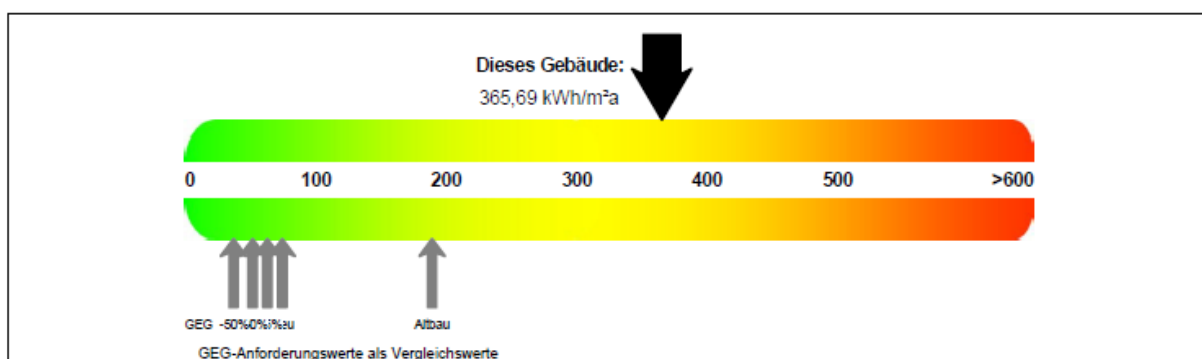


Abbildung 48: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 5

Tabelle 32: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 5

Kostenrahmen der Variante 5	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Beleuchtungsanlagen	114.590 €	11.459 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	11.459 €	1.146 €
Summe der Kosten netto	126.049 €	12.605 €
19% MwSt.	23.949 €	2.395 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>150.000 €</b>	<b>15.000 €</b>

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme lässt sich Folgendes festhalten:

Tabelle 33: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 5

Kosten	Variante 5
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	150.000 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	15.000 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	22.500 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	- 7.500 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	364.721 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	5.549 kg/a 5%
Endenergieeinsparung durch die Variante	5.817 kWh/a 2%
Energiekosteneinsparung	2.900 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO2-Preis	2.900 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	3.400 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	5 a
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	sofort wirtschaftlich
Kapitalwert	67.495 €
Annuität	3.861 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 9 ct/kWh)	-7 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	-0,08 €/kg
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	21.486 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	25 a

Bei flächendeckender Verwendung von LED-Beleuchtung entfallen die Wärmeverluste der Beleuchtung an die Räume, dies muss durch vermehrtes Heizen ausgeglichen werden. Das führt zu einem erhöhten Endenergiebedarf im Bereich der Heizung, die in Variante 5 durch die vorhandenen Gasheizungen erfolgt. Somit liegt die Endenergieeinsparung in dieser Variante zwar nur bei 2%.

Betrachtet man aber den reinen Endenergiebedarf für die Beleuchtung im Bestand, liegt er bei 26.711 kWh/a. Durch den Austausch der Beleuchtung in Variante 5 wird der Endenergiebedarf um 50% reduziert auf 13.126 kWh/a.

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen sollte sich der Betrachtungszeitraum an der technischen oder wirtschaftlichen Lebensdauer der Bauteile und Systeme orientieren. Deshalb wird in dieser Maßnahme die Wirtschaftlichkeit anhand der mittleren Lebensdauer von 25 Jahren für die technische Gebäudeausrüstung beurteilt.

Der Austausch der Beleuchtung kann sich auch ohne Fördermittel innerhalb 5 Jahre amortisieren, unter Berücksichtigung der BEG-Förderung ist die Maßnahme sofort wirtschaftlich und sollte zeitnah ausgeführt werden.

In Kombination mit der weiteren Reduzierung des Endenergiebedarfes durch Minderung der Transmissionswärmeverluste und bei Modernisierung der Heizungstechnik ist der Austausch der Beleuchtung eine sinnvolle, empfehlenswerte Ergänzung.

Darüber hinaus ist die Verwendung von LED-Beleuchtung seit einiger Zeit Stand der Technik (siehe auch Stromspartipps in Kapitel 9.2) und der Komfort für den Nutzer durch eine modernisierte Beleuchtung mit optimierter Steuerung wird deutlich erhöht.

## 8.7 Variante 6: Raumluftechnik – mit Wärmerückgewinnung

In Variante 6 wird der reine Austausch der vorhandenen Lüftungsanlagen durch Anlagen mit Wärmerückgewinnung untersucht.

- Erneuerung der zentralen Lüftungsgeräte durch Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) für die Sporthalle
- Erneuerung der dezentralen Lüftungsgeräte durch Zu- und Abluftanlage in den Umkleiden und Nebenräumen mit Wärmerückgewinnung (WRG)

Für die Sporthalle wird für diese Variante die Beheizung über die Lüftungsanlage beibehalten, obwohl dies nicht mehr den Stand der Technik darstellt. Die Wärme für die Heizung der Luft über die Lüftungsanlage wird über die Heizungsanlage bereitgestellt.

Die vorhandenen Lüftungsanlagen für die Sporthalle und die Umkleiden haben ihre übliche Lebensdauer erreicht. Die Anlagen werden mit der Zeit störanfälliger und können ab einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr repariert werden, somit besteht ein hoher Erneuerungsbedarf von 90%.

Tendenziell sind die Aufstellräume für neue Anlagen zu klein. Bevor mit dem Austausch einzelner Anlagen begonnen wird, ist unbedingt zu empfehlen, mit Hilfe eines Lüftungsfachplaners ein Lüftungskonzept zu entwickeln – dies ist bei einer umfangreichen Sanierung ohnehin erforderlich. Mit dem darin geforderten Lüftungskonzept kann nachgewiesen werden, ob für das gesamte Gebäude eine hygienische Mindestlüftung möglich ist. Das heißt zum Beispiel, ob die noch vorhandenen Undichtheiten in der Gebäudehülle ausreichend vor Feuchte und Schimmel schützen, auch wenn die Räume häufig ungenutzt bleiben und keine Fenster geöffnet werden.

Zunächst sind die grundsätzlichen Anforderungen des Bauherrn an die einzelnen Anlagen zu klären: Anforderungen an Komfort, Bedienung, Temperaturen, Luftwechsel, Klimatisierung, Be- und Entfeuchtung, Betriebszeiten usw. Bei der Priorisierung ist zunächst die Anlage mit der höchsten Betriebszeit auszutauschen, die Übrigen mittelfristig folgend. Die unten genannten Kosten für den Austausch von Lüftungsanlagen wurden grob anhand eines Richtwertes geschätzt. Hierbei ist die Entsorgung der Altanlagen bereits enthalten. Zusätzlich wurden Pauschalen für neue Kanäle, Zuleitungen und weitere Anpassungen einkalkuliert.

Austausch Lüftungsanlage Sporthalle	Anlage nur für den hygienischen Mindestluftwechsel inkl. WRG (ca. 12.000- 15.000 m³/h)
	300.000 €
Austausch Lüftungsanlage Duschen	Anlage nur für den hygienischen Mindestluftwechsel inkl. WRG (ca. 5.000 m³/h)
	100.000 €

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung entsprechend Variante 6: in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises.

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

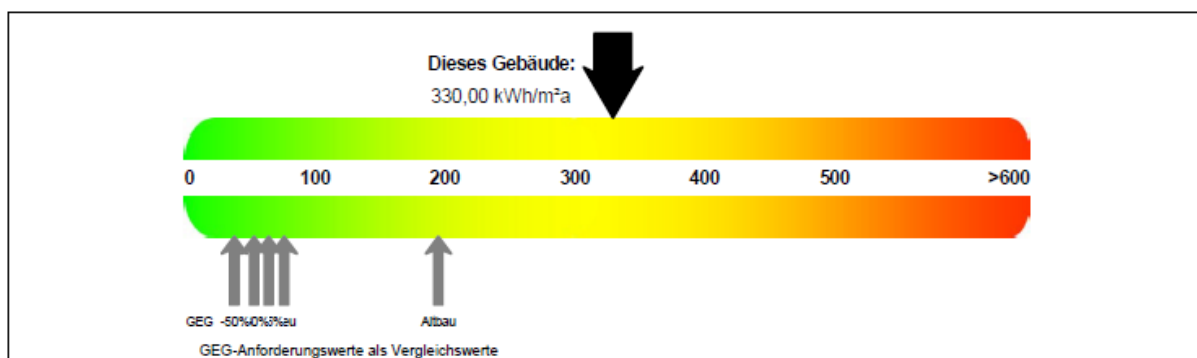


Abbildung 49: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 6

Tabelle 34: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 6

Kostenrahmen der Variante 6	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Lüftungsanlagen	480.000 €	48.000 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	48.000 €	4.800 €
Summe der Kosten netto	528.000 €	52.800 €
19% MwSt.	100.320 €	10.032 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>628.300 €</b>	<b>62.800 €</b>

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

Tabelle 35: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 6

Kosten	Variante 6
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	628.300 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	62.800 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	171.800 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	- 108.900 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	331.322 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	10.648 kg/a
	10%
Endenergieeinsparung durch die Variante	39.216 kWh/a
	11%
Energiekosteneinsparung	3.100 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	3.100 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	3.700 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	20 a
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	sofort wirtschaftlich
Kapitalwert	174.237 €
Annuität	9.967 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 9 ct/kWh)	-16 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	-0,59 €/kg
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	210.000 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	25 a

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen sollte sich der Betrachtungszeitraum an der technischen oder wirtschaftlichen Lebensdauer der Bauteile und Systeme orientieren. Deshalb wird in dieser Maßnahme die Wirtschaftlichkeit anhand der mittleren Lebensdauer von 25 Jahren für die technische Gebäudeausrüstung beurteilt.

Durch den noch immer hohen Gasverbrauch für die Beheizung der Sporthalle liegt die mögliche Endenergieeinsparung für diese Variante bei 11%, ohne Fördergelder kann sich die Maßnahme innerhalb 20 Jahre amortisieren. Mit Berücksichtigung der Fördergelder in Höhe von 15% ist der Austausch zwar sofort wirtschaftlich, trotzdem wird empfohlen, den Austausch nur in Kombination mit Maßnahmen an der Heizungsanlage und Änderung der Wärmeübergabe

in der Sporthalle auszuführen, um die Sporthalle auf den Stand der Technik zu bringen. Wenn die Beheizung der Halle nicht mehr über die Lüftungsanlage erfolgt, kann der Luftwechsel deutlich auf den hygienischen Mindestluftwechsel reduziert werden.

Für die Planung und Auslegung der neuen Lüftungsanlagen muss ein Fachplaner hinzugezogen werden.

## 8.8 Variante 7: Maßnahmenkombination TGA

In dieser Variante wird eine Maßnahmenkombination dargestellt, die lediglich die technische Gebäudeausstattung berücksichtigt, ohne Maßnahmen an der Gebäudehülle:

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung der Lüftungsanlagen für die Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG zur Gewährleistung des hygienischen Luftwechsels
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

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 für die Liegenschaft weiterhin die Versorgung der Sporthalle 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 36* – und daran eine prozentuale Verteilung vorgenommen. Der Endenergiebedarf für das endgültige Gebäudemodell der Sporthalle wird mit 26 % berücksichtigt. Somit wurden die Kosten für die zentrale Heizungsanlage bestehend aus einer Luft-Wasserwärmepumpe mit einer Spitzenlastabdeckung über den Wiederanschluss an die Fernwärme und die Optimierung der Heizungsanlage mit hydraulischem Abgleich entsprechend mit 26% berücksichtigt.

*Tabelle 36: 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 Sporthalle zum Hauptgebäude werden in Verhältnis von 26% / 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 Grundlastzeugung 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.*

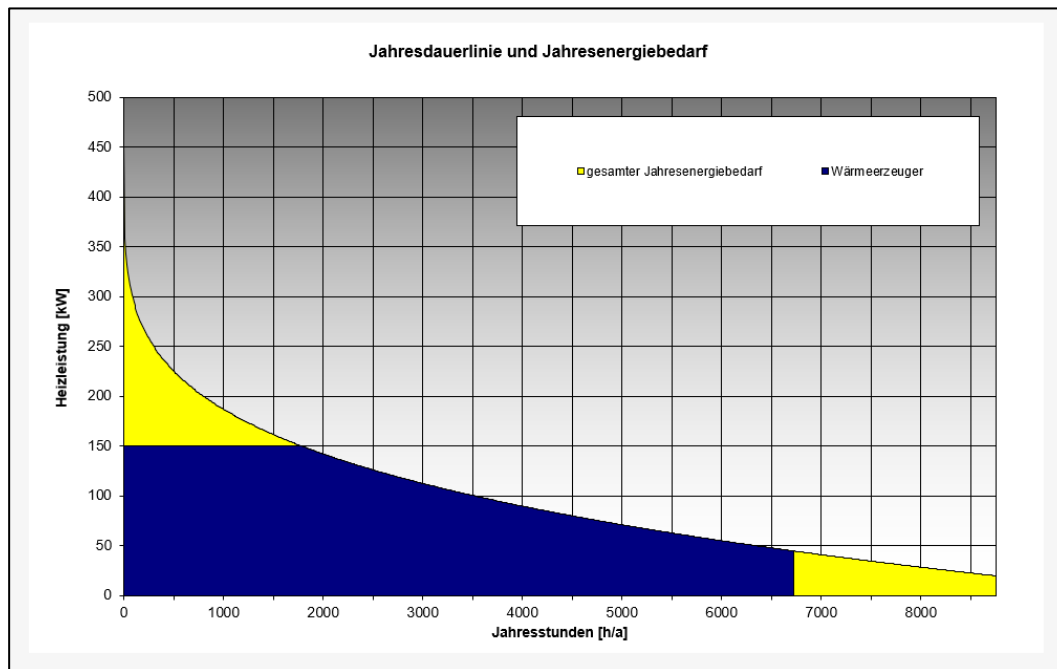


Abbildung 50: Jahresdauerlinie für das Berufskolleg, Sporthalle und Werkhalle Jülich

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.“

Ergänzend wird für diese Maßnahme berücksichtigt, dass das Warmwasser für die Duschen über die Fernwärme bereitgestellt wird, damit die Wärmepumpe im niedrigen Temperaturbereich bis maximal 55°C arbeiten kann.

Außerdem wird die Erneuerung der Lüftungsanlagen berücksichtigt, die aber lediglich als Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung zur Bereitstellung des hygienischen Luftwechsels für die Sporthalle und die Umkleiden bzw. Nebenräume dienen. Die Beheizung der Sporthalle erfolgt über die Heizungsanlage, die Wärmeübergabe über die Installation von Deckenstrahlplatten. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Dimensionierung der Wärmeübergabe sowohl einen großen Einfluss auf die Vorlauftemperaturen hat als auch auf den thermischen Komfort in der Halle.

Durch den Effekt der Strahlungsheizung kann ggfs. die Raumlufttemperatur der Halle gesenkt werden, da Strahlungswärme vom Nutzer im Allgemeinen als angenehmer empfunden wird, da weniger Luftbewegung zur spüren ist als bei einer reinen Luftheizung.

Im Rahmen dieser Maßnahme sollten auch Maßnahmen zur Heizungsoptimierung durchgeführt werden. Dazu gehören unter anderem die Dämmung der Versorgungsleitungen, der

Austausch von nicht variabel regelbaren Heizungspumpen, die Durchführung eines hydraulischen Abgleichs mit dem Ziel, die Vorlauftemperatur zu senken, sowie die Optimierung der Regelbarkeit der Heizkörper durch den Austausch der Thermostatventile. Hierbei wird der Einsatz von Elementen der intelligenten Heizungssteuerung empfohlen.

Eine gleichzeitige Förderung von Heizungstausch (bei KfW) und Heizungsoptimierung (bei BAFA) ist nicht möglich, da die Heizungsoptimierung nur gefördert werden kann, wenn die Heizung mindestens 2 und maximal 20 Jahre alt ist. Außerdem ist die Heizungsoptimierung beim BAFA nur für Gebäude mit max. 5 WE bzw. NWG mit max. 1000 m<sup>2</sup> NGF möglich.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei einer Sanierung entsprechend Variante 7 in der Bandtacho-Darstellung eines Energiebedarfsausweises (ohne Verbrauchsabgleich). Dabei wird der Primärenergiebedarf nicht verbrauchsabgeglichen, sondern entsprechend einer Berechnung nach den Berechnungsregeln des GEG dargestellt.

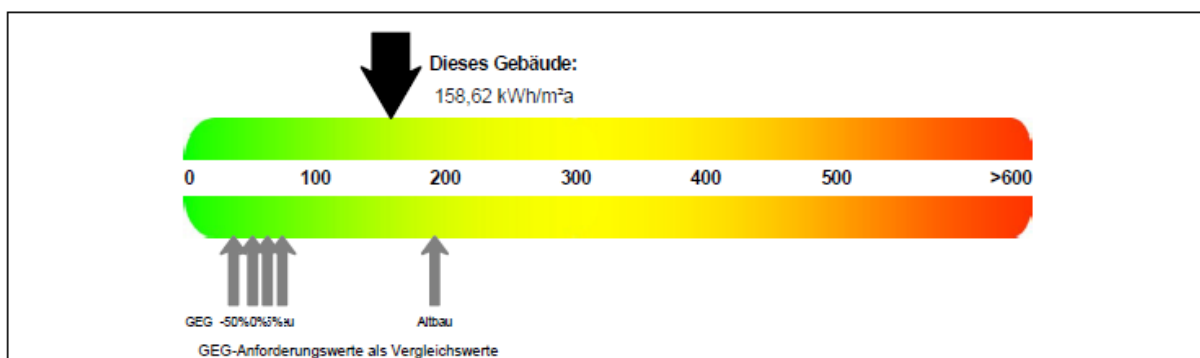


Abbildung 51: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 7

Tabelle 37: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 7

Kostenrahmen der Variante 7	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent 150 kW; Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 26 % der Gesamtkosten) inkl. Hallenstrahlungsheizung	377.590 €	56.639 €
Spitzenlast über Anschluss Fernwärme (300 kW); Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 26 % der Gesamtkosten)	25.675 €	3.851 €
Wärmeverteilnetze (hydr. Abgleich) (ca.26 % der Gesamtkosten)	22.707 €	2.271 €
Lüftungsanlagen	400.000 €	40.000 €
Beleuchtungsanlagen	114.590 €	11.459 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	94.056 €	11.422 €
Summe der Kosten netto	1.034.618 €	125.641 €
19% MwSt.	196.577 €	23.872 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>1.231.200 €</b>	<b>149.500 €</b>

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich das folgende Ergebnis:

Tabelle 38: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 7

Kosten	Variante 7
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	1.231.200 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	149.500 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	245.100 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	- 95.600 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	182.452 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	36.139 kg/a 35%
Endenergieeinsparung durch die Variante	188.086 kWh/a 51%
Energiekosteneinsparung	-2.800 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	5.700 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 25 Jahren	10.400 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	18 a
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	sofort wirtschaftlich
Kapitalwert	283.379 €
Annuität	16.210 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 13 ct/kWh)	-3 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	-0,15 €/kg
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 25 Jahren nach Sanierung	327.683 €
Betrachtungszeitraum	25 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	23 a

Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einzelner Maßnahmen sollte sich der Betrachtungszeitraum an der technischen oder wirtschaftlichen Lebensdauer der Bauteile und Systeme orientieren. Deshalb wird in dieser Maßnahme die Wirtschaftlichkeit anhand der mittleren Lebensdauer von 25 Jahren für die technische Gebäudeausrüstung beurteilt.

Durch die hier untersuchte Kombination von Maßnahmen an der technischen Gebäudeausstattung kann der Endenergiebedarf um 51% reduziert werden, die Treibhausgasemissionen um 35%. Die Maßnahme wäre auch ohne die Berücksichtigung von Fördermitteln wirtschaftlich mit

einer möglichen Amortisationszeit von 18 Jahren. Unter Berücksichtigung der Fördergelder ist eine sofortige Wirtschaftlichkeit möglich. Die Ausführung von Maßnahme 7 ist – auch aufgrund des hohen Erneuerungsbedarfs im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung - empfehlenswert. Durch die Umstellung des Wärmeerzeugers von Gas auf Strom bzw. Fernwärme steigen zunächst die Energiekosten, was aber über die Jahre durch Berücksichtigung des steigenden CO<sub>2</sub> – Preises wieder ausgeglichen wird.

Berücksichtigt wurden hier 15% Zuschuss im Rahmen der BEG - Einzelmaßnahmenförderung für die Optimierung der Heizungsanlage, den Austausch der Lüftungsanlagen und die Erneuerung der Beleuchtung.

Der Austausch der Heizung und der Wiederanschluss an die Fernwärme können mit 30% über die Förderung für den Austausch von Heizungsanlagen über die KfW-Bank gefördert werden. Die Förderung wurde hier auf den Anteil in Höhe von 26% an der zentralen Anlage berechnet und sie ist durch die Höchstfördersumme in Höhe von 73.368 Euro für die Sporthalle gedeckelt.

## 8.9 Variante 8: Maßnahmenkombination Gebäudehülle + TGA

Um auch den Erneuerungsbedarf an der Gebäudehülle zu berücksichtigen, wird die vorher beschriebene Variante 7 durch Maßnahmen an der Gebäudehülle ergänzt, die wirtschaftlich ausführbar sind und dem aktuellen Erneuerungsbedarf entsprechen:

### Maßnahmen Gebäudehülle:

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 ( $U = 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

### Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen

Bei der Dämmung der Außenwände wird hier nur von der Ausführung einer Einblasdämmung in den Wänden der Sporthalle ausgegangen. Diese ist vergleichsweise kostengünstig ausführbar, da die Dämmung lediglich über hergestellte Löcher im Fugenbereich der Klinker

eingebblasen wird. Es muss sichergestellt sein, dass keine Luftbewegung in der Luftschicht erfolgt, indem insbesondere die Anschlussbereiche an Dach und Sockel luftdicht abgedichtet werden. Die Maßnahme ist auch im Rahmen der BEG - Einzelmaßnahmenförderung förderfähig, wenn ein Dämmstoff der WLS 035 verwendet wird. Ein Gerüst ist nicht notwendig, da das Gerüst für die Dacharbeiten genutzt werden kann. Auch für den Austausch der Glasbausteine kann es verwendet werden.

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

Tabelle 39: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 8

Konstruktion	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert alt W/(m <sup>2</sup> K)	U-Wert neu W/(m <sup>2</sup> K)
Glasbausteine	56,1	U <sub>w</sub> = 3,00 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,78	U <sub>w</sub> = 0,95 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,50
Metalltüre zur Fluchttreppe von der Tribüne	2,3	U = 4,0 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 1,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Dämmen der Außenwände der Stirnseiten der Sporthalle mit Klinker mit Einblasdämmung der WLS 035	352	0,68	U = 0,32 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Sporthalle	1.335	U = 0,66 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Nebengebäude	940	U = 0,68 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Austausch Lichtkuppeln	20	U <sub>w</sub> = 3,50 W/(m <sup>2</sup> K)	U <sub>w</sub> = 1,50 W/(m <sup>2</sup> K)

Im Bereich der technischen Gebäudeausstattung entspricht diese Variante der Variante 7.

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.

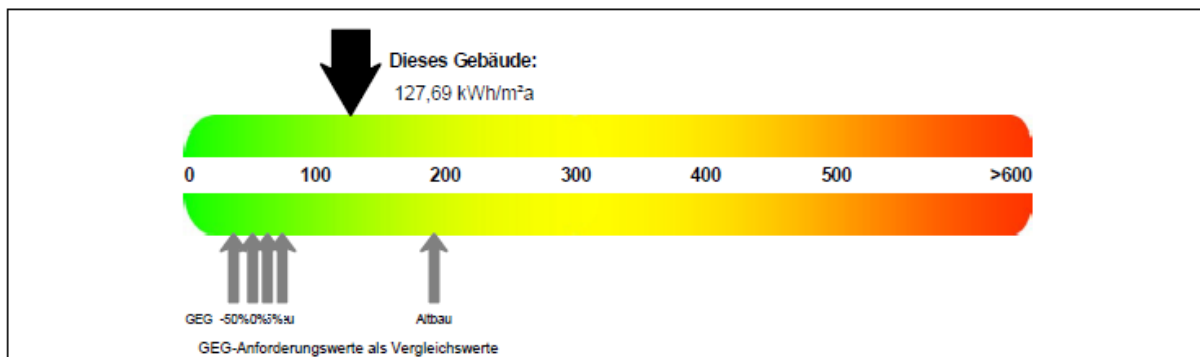


Abbildung 52: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 8

Anforderungen GEG und BEG		GEG Übersicht anzeigen					
BEG-Anforderungen	Gebäudewerte	EH 40	EH 55	EH 70	EH 100	GEG	EH 160
Primärenergiebedarf Q <sub>p</sub>	<b>127,7 kWh/m²</b>	☐ < 54,8	☐ < 75,3	☐ < 95,8	☑ < 136,9	☑ < 191,7	☑ < 219,0
U <sub>m</sub> opake Bauteile	<b>0,44 W/m²K</b>	☐ < 0,18	☐ < 0,22	☐ < 0,26	☐ < 0,34	☑ < 0,56	
U <sub>m</sub> transparente Bauteile	<b>1,3 W/m²K</b>	☐ < 1,0	☐ < 1,2	☑ < 1,4	☑ < 1,8	☑ < 2,7	
U <sub>m</sub> Türen/Tore(BEG), Lichtkuppeln, etc.	GEG: 1,2 W/m²K BEG: <b>1,5 W/m²K</b>	☑ < 1,6	☑ < 2,0	☑ < 2,4	☑ < 3,0	☑ < 4,3	

Abbildung 53: Effizienzgebäude - Stufen

Mit der Durchführung dieses Maßnahmenpaketes entspricht die Gebäudehülle einem Gebäude nach Anforderungen des GEG. Der Primärenergiebedarf entspricht dem eines Effizienzgebäudes 100.

Tabelle 40: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 8

Kostenrahmen der Variante 8	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	67.440 €	12.319 €
Außenwandsanierung	30.272 €	30.272 €
Dachsanierung	860.145 €	143.173 €
Lichtkuppeln und Oberlichter Sanierung	35.000 €	6.650 €
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent 150 kW; Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 26 % der Gesamtkosten) inkl. Hallenstrahlungsheizung	377.590 €	56.639 €
Spitzenlast über Anschluss Fernwärme (300 kW); Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 26 % der Gesamtkosten)	25.675 €	3.851 €
Wärmeverteilnetze (hydr. Abgleich) (ca.26 % der Gesamtkosten)	22.707 €	2.271 €
Lüftungsanlagen	400.000 €	40.000 €
Beleuchtungsanlagen	114.590 €	11.459 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	292.628 €	49.905 €
Summe der Kosten netto	2.226.046 €	356.538 €
19% MwSt.	422.949 €	67.742 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>2.649.000 €</b>	<b>424.300 €</b>

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich das folgende Ergebnis:

Tabelle 41: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 8

Kosten	Variante 8
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	2.649.000 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	424.300 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	245.100 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	179.100 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	147.659 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	47.798 kg/a 46%
Endenergieeinsparung durch die Variante	222.879 kWh/a 60%
Energiekosteneinsparung	2.900 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	11.900 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren	18.200 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	11 a
Kapitalwert	185.372 €
Annuität	9.415 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 13 ct/kWh)	4 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	0,19 €/kg
Interne Verzinsung	9,50%
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren nach Sanierung	396.584 €
Betrachtungszeitraum	30 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	23 a

Durch die hier untersuchte Kombination von Maßnahmen an der Gebäudehülle und an der technischen Gebäudeausstattung kann der Endenergiebedarf um 60% reduziert werden, die Treibhausgasemissionen um 46%. Die Maßnahme wäre ohne die Berücksichtigung von Fördermitteln nicht wirtschaftlich, aber erreicht eine mögliche Amortisationszeit von 11 Jahren mit Fördermitteln. Unter Berücksichtigung des steigenden CO<sub>2</sub> Preises ist eine jährliche Kosteneinsparung in Höhe von 11.900 € möglich.

Der Betrachtungszeitraum wurde hier – zur besseren Vergleichbarkeit mit Variante 9 – auf 30 Jahre festgelegt und orientiert sich an der mittleren Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen.

Die Ausführung von Maßnahme 8 ist – insbesondere, weil sie die Bereiche mit dem höchsten Sanierungsbedarf berücksichtigt - empfehlenswert.

Berücksichtigt wurden hier 15% Zuschuss im Rahmen der BEG - Einzelmaßnahmenförderung für die Optimierung der Heizungsanlage, den Austausch der Lüftungsanlagen und die Erneuerung der Beleuchtung. Die maximale Fördersumme wird mit dieser Maßnahmenkombination erreicht.

Der Austausch der Heizung und der Wiederanschluss an die Fernwärme können mit 30% über die Förderung für den Austausch von Heizungsanlagen über die KfW-Bank gefördert werden. Die Förderung wurde hier auf den Anteil in Höhe von 26% an der zentralen Anlage berechnet und sie ist durch die Höchstfördersumme in Höhe von 73.368 Euro für die Sporthalle gedeckelt.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 42 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 43: Sensitivitätsanalyse V8 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

<b>Wirtschaftlichkeit Variante 8</b>		<b>Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:</b>				<b>88%</b>
	<b>Investitionskosten Brutto (Vollkosten)</b>					
<b>Energiepreis</b>	1.589.000 € 60%	2.119.000 € 80%	<b>2.649.000 €</b> 100%	3.179.000 € 120%	3.709.000 € 140%	
-20%	1 Jahre	6 Jahre	12 Jahre	20 Jahre	unwirtschaftlich	
-10%	1 Jahre	6 Jahre	12 Jahre	19 Jahre	unwirtschaftlich	
0%	1 Jahre	6 Jahre	<b>11 Jahre</b>	18 Jahre	unwirtschaftlich	
10%	1 Jahre	5 Jahre	11 Jahre	17 Jahre	unwirtschaftlich	
20%	1 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	16 Jahre	23 Jahre	

## 8.10 Variante 9: Maßnahmenkombination Effizienzgebäude 55 (EG 55)

In einer neunten Variante wird das Erreichen eines Effizienzgebäude 55-Standards für die Sporthalle angestrebt. Es werden die Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäudehülle aus Variante 4 berücksichtigt. Außerdem wird die Gebäudehülle weiter verbessert durch eine Dämmung der Bodenplatte im Bereich der Sporthalle und die Dämmung von Innenwänden. Die Innenwände, welche an unbeheizte Bereiche (bspw. Garagen, Technik) angrenzen, werden nachträglich mit einer ca. 12 cm starken Dämmschicht (WLS 035) ausgestattet, um einen U-Wert von  $0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  zu erreichen.

Die optimierte Gebäudehülle wird mit den Maßnahmen an der technischen Gebäudeausstattung aus Variante 7 kombiniert. Darüber hinaus wird hier eine Photovoltaikanlage auf dem Dach für die Eigenstromversorgung kalkuliert, um den ökologischen und ökonomischen Betrieb des Gebäudes weiter zu erhöhen. Derzeit ist die Dachfläche noch vermietet, ab 2028 kann über die Dachfläche wieder frei verfügt werden.

Für das Erreichen des Effizienzgebäudestandards sind folgende Maßnahmen notwendig:

### Maßnahmen Gebäudehülle:

- Austausch aller Glasbausteine im Nebengebäude zur Tribüne gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- Austausch aller Fenster gegen Fenster mit  $U_w = 0,95 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- Austausch der Metalltür zur Sporthalle ( $U = 1,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Austausch aller Außentüren ( $U = 1,3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Nebenräume mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Flachdaches der Sporthalle mit 24 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,14 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Austausch der Lichtkuppeln ( $U = 1,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Klinker mit 16 cm Einblasdämmung der WLS 035 und zusätzlich Dämmung mit ca. 6 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Dämmen der Außenwände der Sporthalle mit Betonfertigteilen und Stützen mit 14 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,20 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- Dämmen des auskragenden Bodens (unterseitig) der Nebenräume mit 16 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,19 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ )

- Dämmung der Innenwände aus Kalksandstein zum unbeheizten Bereich mit ca. 12 cm Dämmstoff der WLS 035 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Dämmung des Sporthallenbodens mit ca. 12 cm Dämmstoff der WLS 030 ( $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ )

#### Maßnahmen Gebäudetechnik:

- Austausch des Gaskessels (im Hauptgebäude) gegen eine bivalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Anschluss (im Hauptgebäude) an die bestehende Fernwärmeleitung als Spitzenlastabdeckung
- Deckenstrahlplatten als Wärmeübergabe in der Sporthalle, Zuleitungen gedämmt, Heizkörper in Duschen und Nebenräumen
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile)
- Warmwasserbereitung über Wärmetauscher mit Fernwärme
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion (145 kWp)

Die Details und Auswirkungen dieser Maßnahmen wurden ausführlich in den vorherigen Varianten erläutert.

Bei der Dämmung des Sporthallenbodens wurde von der Ausführung eines Schwingbodens ausgegangen, in den der Dämmstoff integriert werden kann. Neben Einschränkung der Wärmeverluste an das Erdreich führt die Dämmung zur Verbesserung des Nutzerkomforts in der Halle durch höhere Oberflächentemperaturen und bessere Temperaturschichtung im Raum.

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

Tabelle 44: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 9

Konstruktion	Fläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert alt W/(m <sup>2</sup> K)	U-Wert neu W/(m <sup>2</sup> K)
Glasbausteine	56,1	U <sub>w</sub> = 3,00 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,78	U <sub>w</sub> = 0,95 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,50
Fenster	31,1	U <sub>w</sub> = 1,70 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,78	U <sub>w</sub> = 0,95 W/(m <sup>2</sup> K), g = 0,50
Metalltüre zur Fluchttreppe von der Tribüne	2,3	U = 4,0 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 1,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Sporthalle	1.335	U = 0,66 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Nebengebäude	940	U = 0,68 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,14 W/(m <sup>2</sup> K)
Austausch Lichtkuppeln	20	U <sub>w</sub> = 3,50 W/(m <sup>2</sup> K)	U <sub>w</sub> = 1,50 W/(m <sup>2</sup> K)
Verklinkerten Stirnseiten der Sporthalle	352	U = 0,68 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,20 W/(m <sup>2</sup> K)
Unverklinkerten Längsseiten der Sporthalle + Außenwände der Nebengebäude	1.082	U = 0,76 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,20 W/(m <sup>2</sup> K)
Innenwände zu unbeheizten Bereichen	44	U = 0,68 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,20 W/(m <sup>2</sup> K)
Bodenplatte Sporthalle	1.320	U = 1,00 W/(m <sup>2</sup> K)	U = 0,22 W/(m <sup>2</sup> K)

Die nachstehende Abbildung zeigt den Primärenergiebedarf des Gebäudes bei 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.

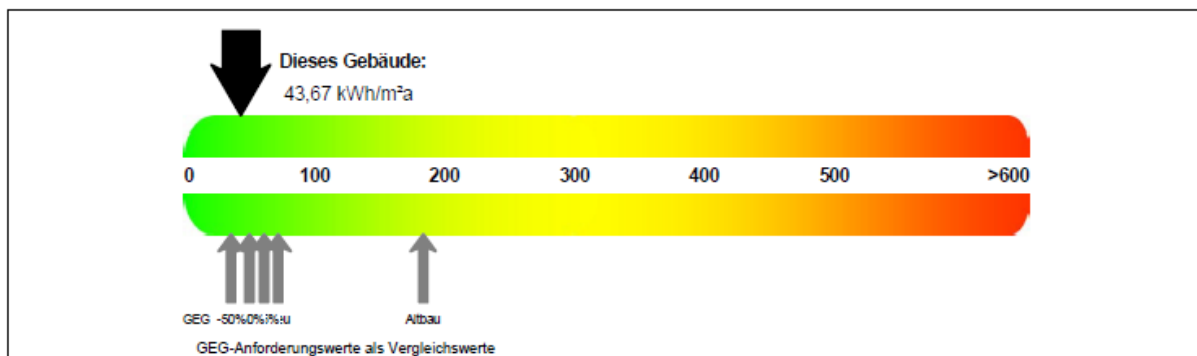


Abbildung 54: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 9

Effizienzgebäude-Stufen								
Ergebnis			Anforderungen NWG					
			GEG		BEG-Effizienzhaus			
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EG 40	EG 55	EG 70	Denkmal
Primärenergiebedarf $Q_p$	kWh/m²a	43,7	✓ 184,2	131,5	✓ 52,6	✓ 72,3	✓ 92,1	✓ 210,5
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m²K	0,22	✓ 0,56		✗ 0,18	✓ 0,22	✓ 0,26	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m²K	0,95	✓ 2,66		✓ 1,00	✓ 1,20	✓ 1,40	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m²K	1,2	✓ 4,3		✓ 1,6	✓ 2,0	✓ 2,4	

EE-Klasse		
Bereitstellung durch erneuerbare Energien	Energie [kWh/a]	Deckungsgrad [%]
PV-Strom	25938	10,8
Wärmepumpen	87978	36,6
Wärme- und Kälterückgewinnung	36950	15,4

Anforderung EE-Klasse nicht erfüllt (mindestens 65 % Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Energien).  
 EE-Klasse Zusatzanforderungen

Summe Deckungsgrad: 62,8%

Abbildung 55: Effizienzgebäude - Stufen und EE - Klasse

Mit der vorgestellten Maßnahmenkombination werden die Anforderungen an ein Effizienzgebäude erreicht, im Bereich des Primärenergiebedarfs sogar die Anforderungen an ein Effizienzgebäude 40. Um auch die EE – Klasse zu erreichen, müssen 65% der Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Energien stammen. Mit dieser Variante wird ein Deckungsgrad von 62,8% erreicht. Um 65% zu erreichen, müsste z.B. eine größere PV-Anlage installiert werden. Dies bedeutet Investitionsmehrkosten in Höhe von ca. 100.000 Euro, während aber der Eigenstrombedarf nicht steigt und somit die produzierte Energie nur in geringem Maße verbraucht werden kann. Beim Erreichen der EE – Klasse kann ein um 5% höherer Förderzuschuss im Programm Nr. 464 Kommunen – Zuschuss im Rahmen der BEG gewährt werden.

Erneuerbare Energie GEG	$Q_{f,PV}$	<b>42.270 kWh</b>
Erneuerbare Energie BEG	$Q_{f,PV}$	<b>25.999 kWh</b>
Abzugswert für $Q_p$	$Q_{p,PV}$	<b>76.086 kWh</b>
	$CO_{2,PV}$	<b>23.671 kg</b>

Abbildung 56: Ergebnisse einer PV-Anlage mit 800 m<sup>2</sup> Fläche und ca. 145 kWp (Variante 9)

Erneuerbare Energie GEG	$Q_{f,PV}$	<b>47.849 kWh</b>
Erneuerbare Energie BEG	$Q_{f,PV}$	<b>31.578 kWh</b>
Abzugswert für $Q_p$	$Q_{p,PV}$	<b>86.128 kWh</b>
	$CO_{2,PV}$	<b>26.795 kg</b>

Abbildung 57: Ergebnisse einer PV-Anlage mit 1.200 m<sup>2</sup> Fläche und ca. 220 kWp

Tabelle 45: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 9

Kostenrahmen der Variante 9	Gesamtkosten	Energiebedingte Mehrkosten
Fenster und Türen (Austausch)	186.477 €	39.145 €
Außenwandsanierung	661.046 €	661.046 €
Dämmung Decke Eingang unterseitig	5.040 €	5.040 €
Dachsanierung	807.813 €	137.940 €
Bodendämmung	406.760 €	406.760 €
Innenwandsanierung	4.000 €	4.000 €
Lichtkuppeln und Oberlichter Sanierung	35.000 €	6.650 €
Vorhangfassadensanierung	0 €	0 €
Luft-Wasser-Wärmepumpe bivalent 150 kW; Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 26 % der Gesamtkosten) inkl. Hallenstrahlungsheizung	377.590 €	56.639 €
Spitzenlast über Anschluss Fernwärme (300 kW); Kostenansatz anteilig für das Berufskolleg (ca. 26 % der Gesamtkosten)	25.675 €	3.851 €
Wärmeverteilnetze (hydr. Abgleich) (ca.26 % der Gesamtkosten)	22.707 €	2.271 €
Lüftungsanlagen	400.000 €	40.000 €
Beleuchtungsanlagen	114.590 €	11.459 €
Eigenstromversorgungsanlagen (z.B. PV-Anlage)	208.000 €	208.000 €
Architekten- und Ingenieurleistungen	515.283 €	263.538 €
Summe der Kosten netto	3.769.980 €	1.846.338 €
19% MwSt.	716.296 €	350.804 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planungskosten und MwSt.</b>	<b>4.486.300 €</b>	<b>2.197.100 €</b>

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ergibt sich das folgende Ergebnis:

Tabelle 46: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 9

Kosten	Variante 9
Investitionskosten Brutto (Vollkosten)	4.486.300 €
davon energieeffizienzbedingte Mehrkosten	2.197.100 €
Förderung/ Tilgungszuschuss	1.345.900 €
Energieeffizienzbedingte Mehrkosten nach Abzug Förderung/ Tilgungszuschuss	851.300 €
<b>Energieeinsparung (verbrauchsorientiert)</b>	
Endenergiebedarf	60.448 kWh/a
THG-Einsparung durch die Variante	85.994 kg/a 83%
Endenergieeinsparung durch die Variante	310.090 kWh/a 84%
Energiekosteneinsparung	20.000 €/a
Energiekosteneinsparung zzgl. CO <sub>2</sub> -Preis	29.800 €/a
mittlere künftige Energiekosteneinsparung im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren	37.600 €/a
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>ohne</b> Förderung.	unwirtschaftlich
Dynamische Amortisation der energieeffizienzbedingten Mehrkosten <b>mit</b> Förderung.	12 a
Kapitalwert	349.858 €
Annuität	17.769 €/a
Äquivalenter Energiepreis (Benchmark < 13 ct/kWh)	14 ct/kWh
CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten	0,50 €/kg
Interne Verzinsung	5,84%
Zinswerter Vorteil durch Fördergeber	43.719 €/a
Einsparung der laufenden Wartungskosten über den Betrachtungszeitraum von 30 Jahren nach Sanierung	607.625 €
Betrachtungszeitraum	30 a
mittlere Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen	32 a

Durch Kombination der vorgestellten Maßnahmen werden in dieser Variante 83 % der Treibhausgasemissionen und 84 % der Endenergie eingespart. Dadurch kann mit einer jährlichen Reduktion der Energiekosten von über 20.000 € gerechnet werden. Ohne Förderungsmittel ist die Maßnahme aufgrund der hohen Investitionskosten über einen Betrachtungszeitraum von 30 Jahren unwirtschaftlich, da sich über diesen Zeitraum die energieeffizienzbedingten Mehrkosten nicht amortisieren.

Mit den vorgesehenen Maßnahmen wird ein Effizienzgebäude-55-Standard erreicht. Dadurch können 30 % der Investitionskosten als Förderzuschuss im BEG - Förderprogramm Nr. 464 für Kommunen beansprucht werden, die maximale Fördersumme beträgt 3 Mio Euro.

Durch Inanspruchnahme der Fördermittel ist die Maßnahme empfehlenswert, da sich die energieeffizienzbedingten Mehrkosten innerhalb der Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen nach 12 Jahren amortisieren.

Der Betrachtungszeitraum wurde hier – zur besseren Vergleichbarkeit mit Variante 8 – auf 30 Jahre festgelegt und orientiert sich an der mittleren Lebensdauer der Sanierungsmaßnahmen.

Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 47 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 47: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten

<b>Wirtschaftlichkeit Variante 9</b>		<b>Erneuerungsbedarf bzgl. Bauteilalter:</b>				<b>54%</b>
	<b>Investitionskosten Brutto (Vollkosten)</b>					
<b>Energiepreis</b>	2.692.000 € 60%	3.589.000 € 80%	<b>4.486.000 €</b> 100%	5.384.000 € 120%	6.281.000 € 140%	
-20%	10 Jahre	12 Jahre	13 Jahre	14 Jahre	15 Jahre	
-10%	9 Jahre	11 Jahre	12 Jahre	14 Jahre	15 Jahre	
0%	9 Jahre	11 Jahre	<b>12 Jahre</b>	13 Jahre	14 Jahre	
10%	9 Jahre	10 Jahre	12 Jahre	13 Jahre	14 Jahre	
20%	8 Jahre	10 Jahre	11 Jahre	12 Jahre	13 Jahre	

## 8.11 Variante 10: Nahezu Klimaneutrales Gebäude bis 2050

*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 nahezu klimaneutrales Gebäude zu erhalten, stellt diese Maßnahme eine Orientierung dar für zukünftige Modernisierungen und Instandsetzungen des Gebäudes.*

Das zentrale Ziel der europäischen und deutschen Klimaschutzpolitik 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 CO<sub>2</sub>, 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.

In den von uns untersuchten Sanierungsvarianten wurde das Hauptaugenmerk auf die effizienteste Lösung für Ihr Gebäude gelegt, um das energetische Potential des Beratungsobjektes

wirtschaftlich und ökologisch zu verbessern. Um ein nahezu klimaneutrales Gebäude zu erreichen, sind jedoch noch weitere Sanierungsmaßnahmen erforderlich, die sich derzeit noch nicht wirtschaftlich darstellen lassen. Diese müssen dann erfolgen, wenn Bauteile ohnehin aus Gründen der Instandsetzung saniert werden müssen.

Nachfolgend wird aufgezeigt, welche weiteren Sanierungsmaßnahmen notwendig wären um bei dem Beratungsobjekt ein nahezu klimaneutrales Gebäude zu erreichen:

- Dämmen des Gebäudes entsprechend Passivhausstandard:
  - Alle opaken Bauteile an Außenluft:  $U=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Alle Fenster:  $U_w = 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Alle Türen:  $U = 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Dämmen der Innenwände gegen unbeheizte Bereiche mit 12 cm der WLS 035 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Vollständige Bodenplattendämmung mit 12 cm der WLS 030 ( $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ )
- Austausch des Gaskessels gegen eine monovalente Luft-Wasser-Wärmepumpe
- Hydraulischer Abgleich und Optimierung des Heizungssystems (Pumpen, Ventile, Thermostatventile, Dämmung aller Leitungen)
- Warmwasserbereitung über Wärmepumpe
- Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion mit Speicher maximale Fläche auf dem Dach
- Austausch der Beleuchtung auf LED-Lampen
- Dezentrale Wärmepumpenlösung mit integrierter Lüftungsanlage mit WRG für die Sporthalle
- Erneuerung Lüftungsanlagen Duschen, Nebenräume und Sporthalle (ohne Heizfunktion) mit WRG

## 8.12 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 Sporthalle vorzufinden sind. Die thermische Gebäudehülle, die Heizungsanlage, die Lüftungsanlagen 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 48: Übersicht primärenergetischer Energiebedarfswerte*

Variante	Primär- energiebe- darf nach DIN V 18599	Abweichung von GEG „Neubau-Ni- veau“
	[kWh/m <sup>2</sup> NGF]	[%]
Bestand	289,6	288,7%
Variante 1	287,9	286,4%
Variante 2	245,6	229,8%
Variante 3	258,4	246,9%
Variante 4	208,1	179,4%
Variante 5	284,8	282,4%
Variante 6	259,5	248,3%
Variante 7	158,7	113,0%
Variante 8	127,7	71,4%
Variante 9	43,7	-41,4%

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Anforderungen an den Primärenergiebedarf an einen Neubau von den Varianten 1-8 noch überschritten werden. Eine ganzheitliche und umfassende Sanierung gemäß Variante 9 ist erforderlich, um das Niveau unter die derzeitigen gesetzlichen Neubauanforderungen zu senken. Die Energieverluste, die durch die Bodenplatte verursacht werden, lassen sich nur mit einem hohen Aufwand sanieren.

Tabelle 49: Übersicht der Anteile für Endenergiebedarfe (verbrauchsabgeglichen)

Endenergiebedarf - verbrauchsabgeglichen	Heizung	Warmwas- ser	Beleuch- tung	Belüftung	Kühlung	Erzeugung	Summe
Bestand	319.375	9.083	26.711	15.369	0	0	370.538
Variante 1	316.458	9.013	26.715	15.369	0	0	367.555
Variante 2	262.110	9.012	26.711	15.369	0	0	313.202
Variante 3	278.514	9.013	26.711	15.369	0	0	329.606
Variante 4	213.715	9.012	26.715	15.369	0	0	264.811
Variante 5	327.214	9.012	13.126	15.369	0	0	364.721
Variante 6	284.375	9.013	26.711	11.224	0	0	331.322
Variante 7	146.529	7.449	13.105	15.369	0	0	182.452
Variante 8	111.733	7.449	13.108	15.369	0	0	147.659
Variante 9	62.503	7.448	13.128	10.199	0	-32.830	60.448

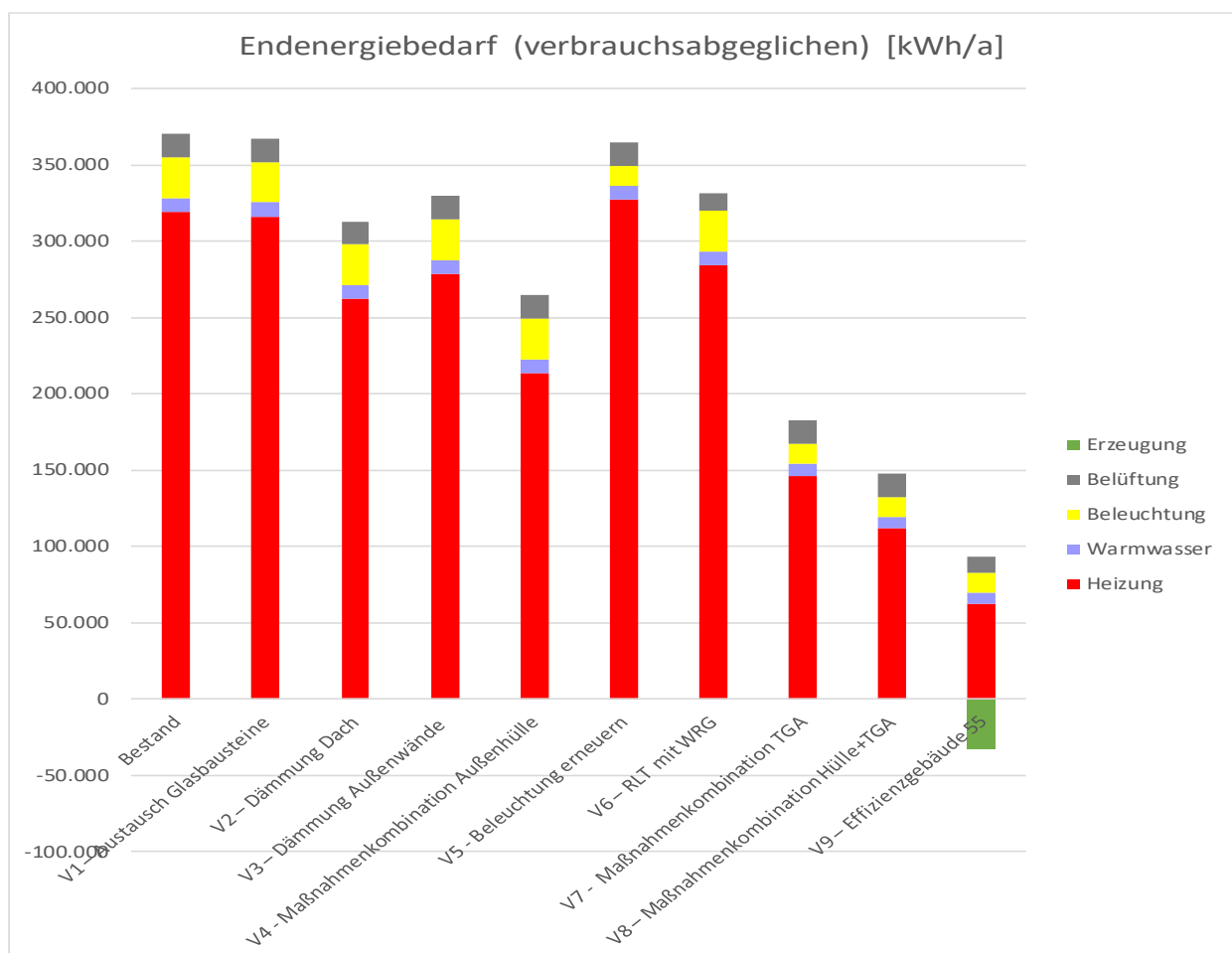


Abbildung 58: Aufteilung des Endenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten

Tabelle 50: Übersicht der Anteile für Primärenergiebedarf (verbrauchsabgeglichen)

Primärenergiebedarf verbrauchsabgeglichen	Heizung	Warmwas- ser	Beleuch- tung	Belüftung	Kühlung	Erzeugung	Summe
Bestand	317.874	9.140	48.080	27.664	0	0	402.758
Variante 1	315.694	9.140	48.087	27.664	0	0	400.585
Variante 2	261.434	9.139	48.080	27.664	0	0	346.317
Variante 3	277.983	9.140	48.080	27.664	0	0	362.867
Variante 4	213.348	9.139	48.087	27.664	0	0	298.239
Variante 5	326.362	9.139	23.627	27.664	0	0	386.792
Variante 6	283.605	9.140	48.080	20.203	0	0	361.028
Variante 7	169.885	5.293	23.589	27.664	0	0	226.431
Variante 8	129.860	5.293	23.594	27.664	0	0	186.412
Variante 9	71.959	5.293	23.630	18.358	0	-59.094	60.146

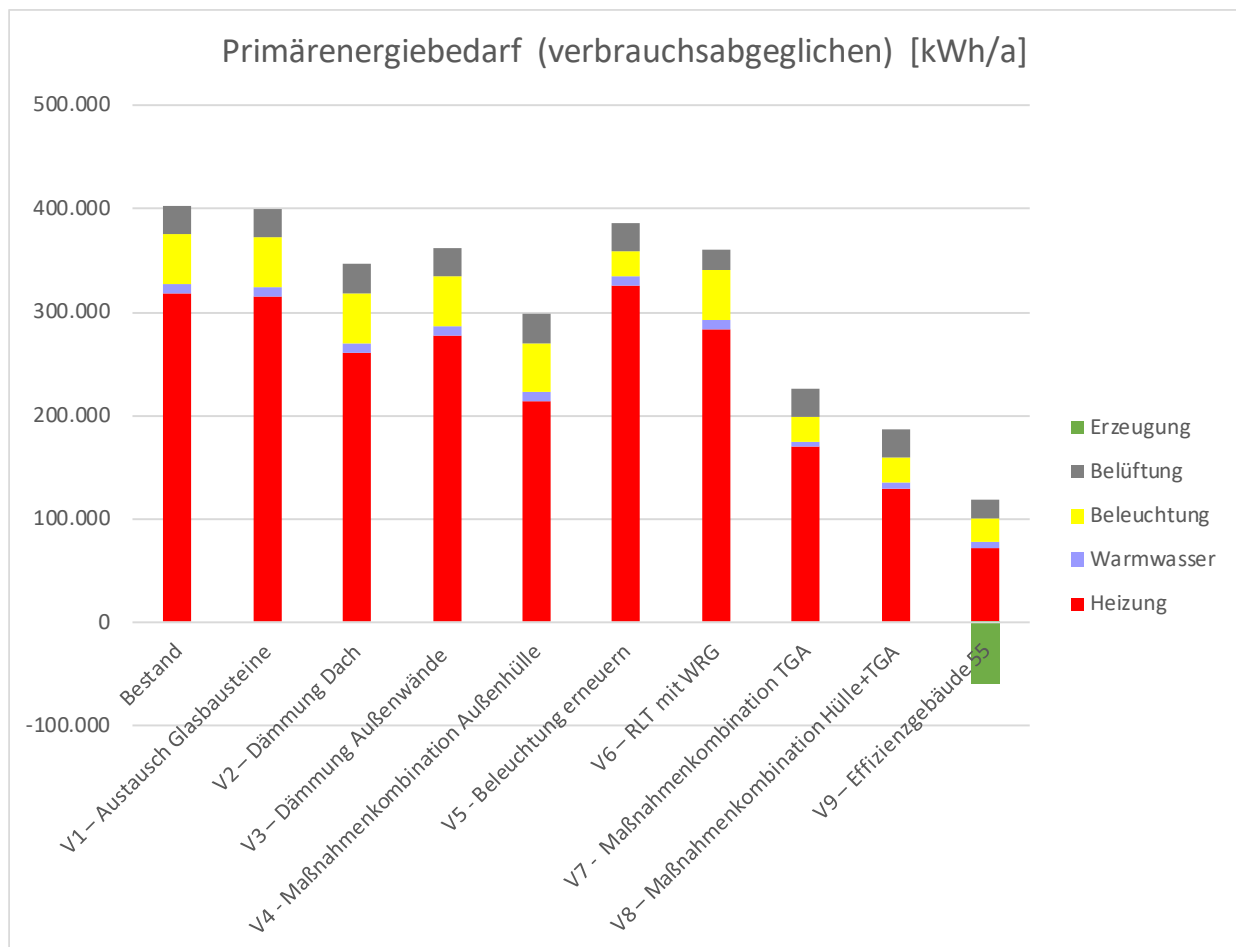


Abbildung 59: Aufteilung des Primärenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten

Tabelle 51: Übersicht der gesamten THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen)

Variante	Summe [kg/a]	THG-Einsparung	
		[kg/a]	[%]
Bestand	102.994	-	-
Variante 1	102.471	523	1%
Variante 2	89.287	13.707	13%
Variante 3	93.325	9.670	9%
Variante 4	77.630	25.364	25%
Variante 5	97.445	5.549	5%
Variante 6	92.346	10.648	10%
Variante 7	66.855	36.139	35%
Variante 8	55.196	47.798	46%
Variante 9	17.000	85.994	83%

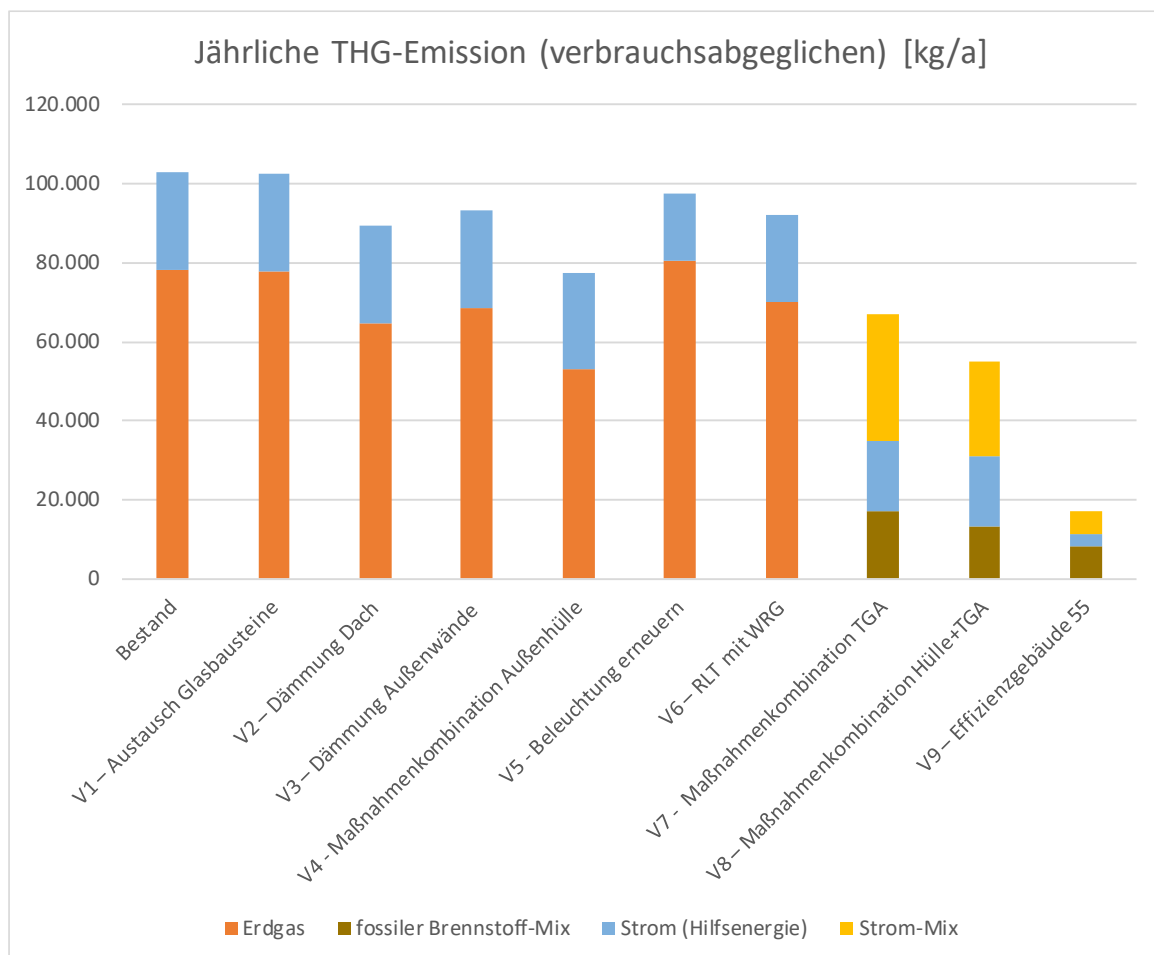


Abbildung 60: Übersicht der Anteile für THG-Emission (verbrauchsabgeglichen)

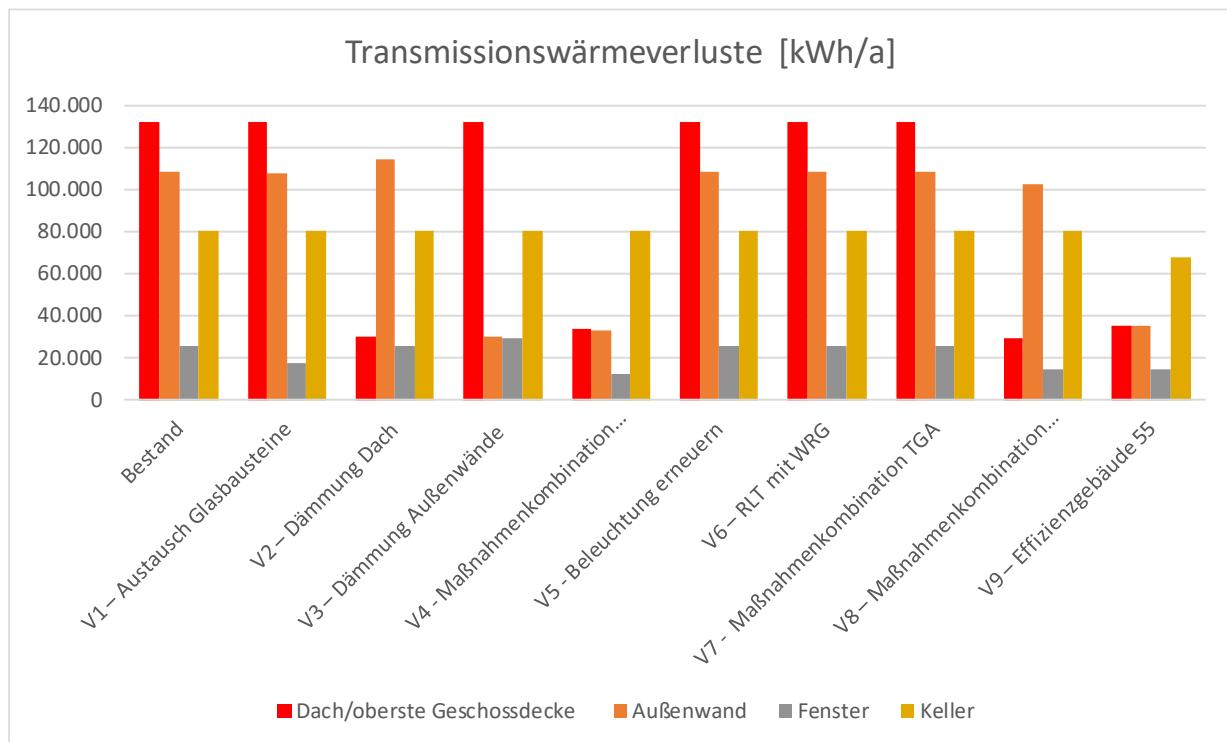


Abbildung 61: Aufteilung des Transmissionswärmeverluste im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten

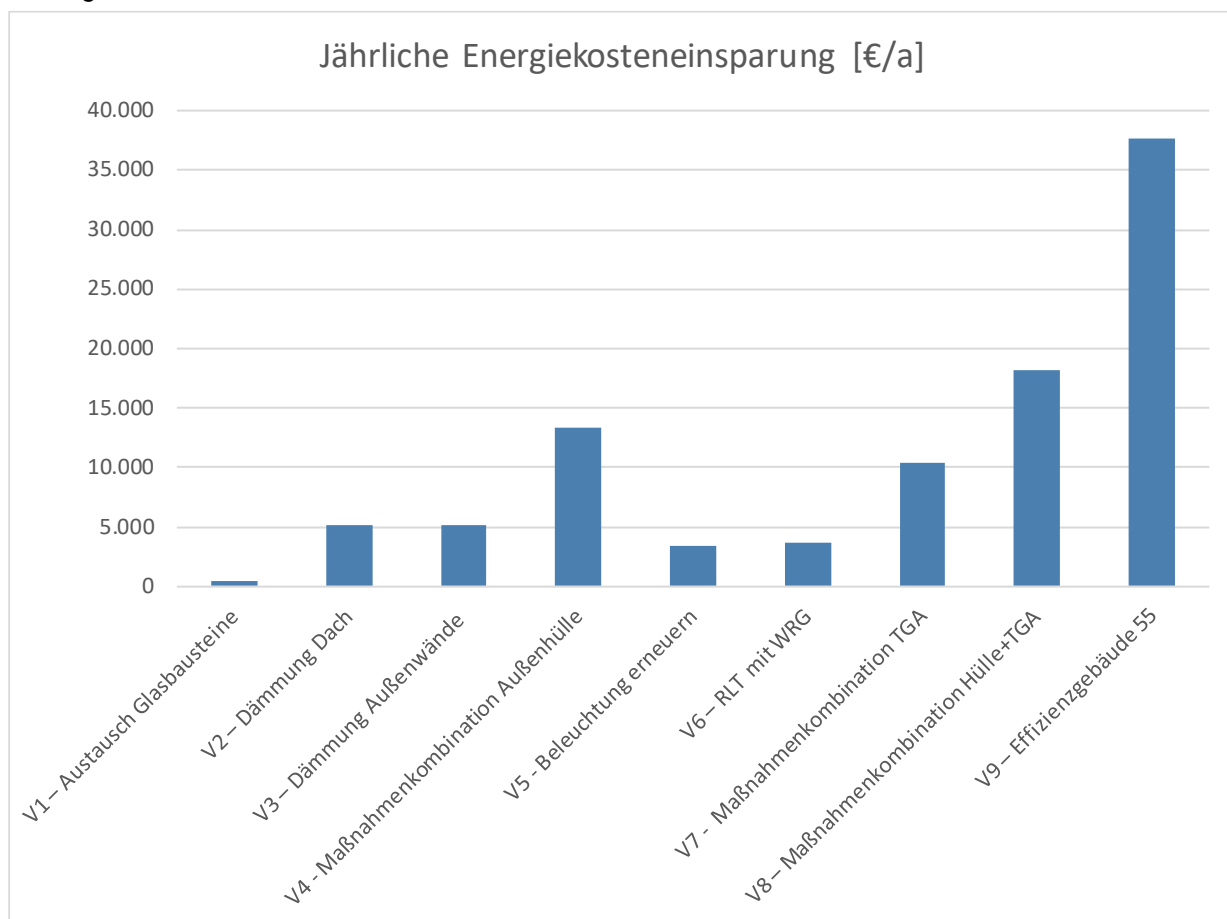


Abbildung 62: Übersicht künftige Energiekosteneinsparung je Variante

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 52: Variantenübersicht einschl. zugehöriger Kosten und Einsparung (verbrauchsabgeglichen)

Variante	Endenergiebedarf (verbrauchsorientiert)	Endenergieeinsparung		Heutige Energiekosten [€/a]	Kosteneinsparung	
		[kWh/a]	[%]		[€/a]	[%]
Bestand	370.538	-	-	28.924	-	-
Variante 1	367.555	2.983	1%	28.622	302	1%
Variante 2	313.202	57.336	15%	25.488	3.436	12%
Variante 3	329.606	40.931	11%	26.449	2.476	9%
Variante 4	264.811	105.727	29%	22.720	6.205	21%
Variante 5	364.721	5.817	2%	26.049	2.876	10%
Variante 6	331.322	39.216	11%	25.795	3.130	11%
Variante 7	182.452	188.086	51%	31.700	-2.775	-10%
Variante 8	147.659	222.879	60%	25.983	2.941	10%
Variante 9	60.448	310.090	84%	8.887	20.038	69%

Es zeigt sich, dass hohe Energiekosteneinsparungen von bis zu 20.000 Euro möglich sind. Insbesondere die Optimierung der gesamten Gebäudehülle sowie die Sanierung zum Effizienzgebäude sind an dieser Stelle zu nennen. Insbesondere wenn man aber die künftigen Energiekosten über den jeweiligen Betrachtungszeitraum vergleicht, wird in Tabelle 53: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum deutlich, dass sogar bis Einsparungen von über 37.000 € pro Jahr mit Variante 9 zu erreichen sind.

Tabelle 53: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum

Variante	Summe [€/a]	Kosteneinsparung	
		[€/a]	[%]
Variante 1	46.911	500	99%
Variante 2	34.938	5.100	87%
Variante 3	49.219	5.200	90%
Variante 4	41.179	13.300	76%
Variante 5	31.086	3.400	90%
Variante 6	30.783	3.700	89%
Variante 7	37.042	10.400	78%
Variante 8	30.695	18.200	63%
Variante 9	11.266	37.600	23%

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 angepasst 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 54: Übersicht der Investitionskosten und Amortisationsdauer

Variante	Energiekosten	Investitionskosten (Vollkosten)	Energiebedingte Mehrkosten	Annuität	Dyn. Amortisation	Äqu. Energiepreis	CO2 Vermeidungskosten	Interner Zins
	[€/a]	[€]	[€]	[€/a]	[a]	[ct/kWh]	[€/kg]	[%]
Variante 1	46.911	96.864	17.647	347	7	4	0,23	14,97
Variante 2	34.938	1.227.088	205.429	3.137	7	4	0,16	14,11
Variante 3	49.219	1.025.901	1.025.901	-28.454	unwirtschaftlich	82	3,48	-4,00
Variante 4	41.179	2.420.996	1.213.544	-26.967	unwirtschaftlich	38	1,59	-1,65
Variante 5	31.086	149.998	15.000	3.861	sofort wirtschaftlich	-7	-0,08	#ZAHL!
Variante 6	30.783	628.320	62.832	9.967	sofort wirtschaftlich	-16	-0,59	#ZAHL!
Variante 7	37.042	1.231.195	149.513	16.210	sofort wirtschaftlich	-3	-0,15	#ZAHL!
Variante 8	30.695	2.648.995	424.280	9.415	11	4	0,19	9,50
Variante 9	11.266	4.486.276	2.197.142	17.769	12	14	0,50	5,84

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.

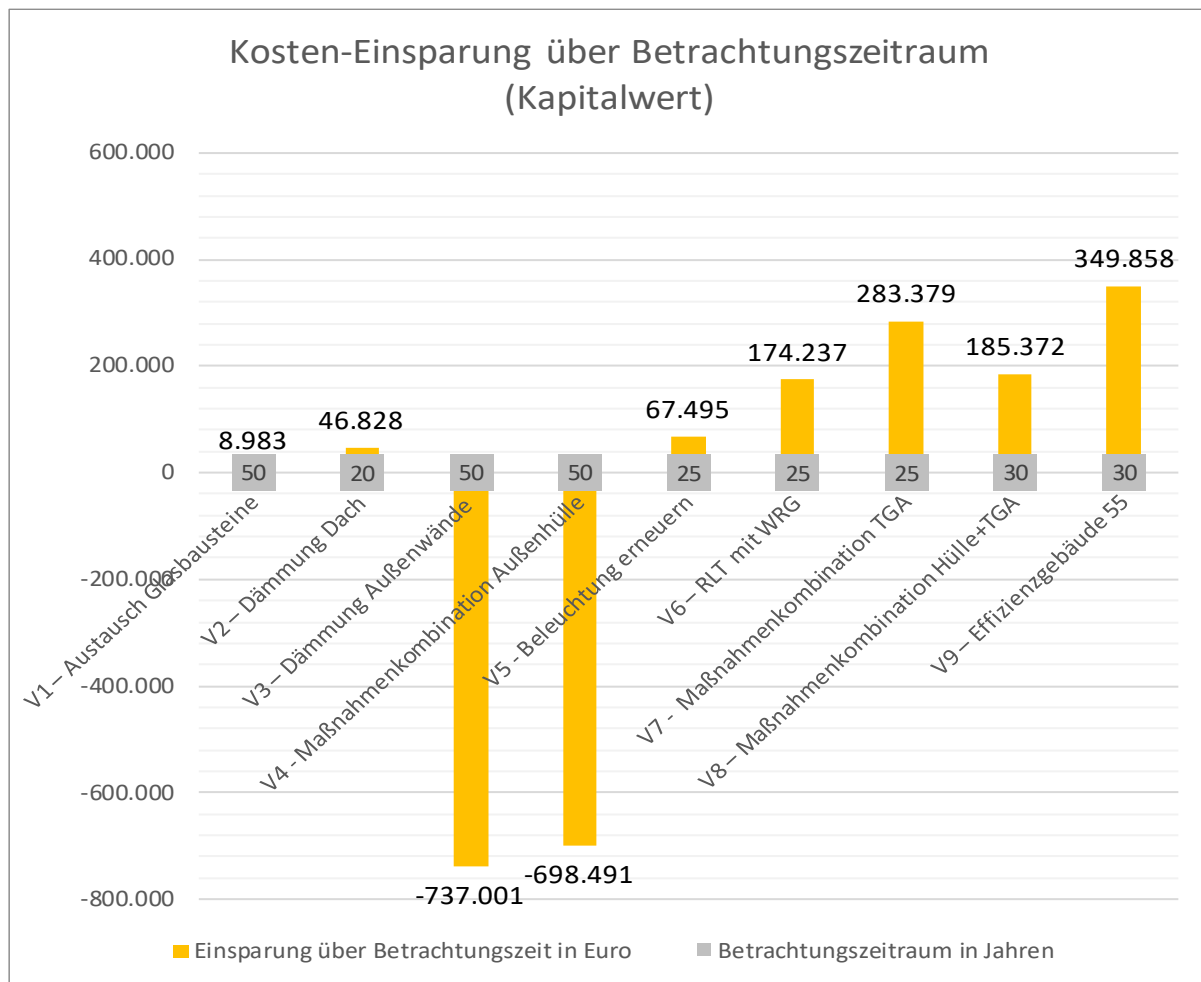


Abbildung 63: Gegenüberstellung der Kosten-Einsparungen nach Abzug der Investitionskosten unter Berücksichtigung der jeweiligen mittleren Lebensdauer einer Variante mittels Kapitalwertmethode

Die Kombination der Einzelmaßnahmen hat eine Veränderung der mittleren Lebensdauer zur Folge. Die resultierende Lebensdauer kann größer oder kleiner als die Summe der Einzelmaßnahmen sein. Bitte beachten Sie, dass innerhalb des betrachteten Zeitraums Komponenten der jeweiligen Maßnahmen ausgetauscht werden könnten. 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.

Bei den Varianten 3 und 4 wird innerhalb der mittleren Lebensdauer kein monetärer Gewinn erwirtschaftet, da die Energieeinsparung nicht hoch genug ist, um die hohen Investitionskosten „auszugleichen“. In diesen Varianten 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 der Außenwände als Effizienzmaßnahme ist daher nicht zu empfehlen.

Auf Basis der dargestellten Ergebnisse wird insbesondere die Umsetzung der Variante 9 – die Umsetzung der Sanierung zum Effizienzgebäude 55 empfohlen. Aus wirtschaftlicher Sicht erzielt sie nach einem Betrachtungszeitraum von 30 Jahren ein positives Ergebnis mit einem Kapitalwert von über 340.000 Euro. Zusätzlich zu den Vorteilen der Wert- und Komfortsteigerung des Gebäudes stellt dies eine wesentliche Einnahmequelle dar. Dies liegt auch an den derzeit für Kommunen hohen verfügbaren Fördermitteln. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, einige Instandhaltungsmaßnahmen, die innerhalb der nächsten Jahre ohnehin anfallen, vorzuziehen. Dadurch lässt sich ein möglicher Sanierungsstau mit Einnahmeausfällen aus Mieterträgen vermeiden. Des Weiteren hat sich Variante 9 als die ökologischste und zugleich umsetzbare Variante erwiesen.

Auch Variante 7 und 8 erzielen nach Ablauf des jeweiligen Betrachtungszeitraums positive Kapitalwerte, wobei die Umsetzung von Variante 8 trotz etwas niedrigerem Kapitalwert zu bevorzugen ist, da hier zusätzlich die fälligen Maßnahmen an der Gebäudehülle mit den Maßnahmen an der technischen Gebäudeausstattung kombiniert werden und so ein niedriger Heizwärmebedarf für das Gebäude besteht. Die Investitionsvollkosten liegen bei Variante 8 deutlich unter den Kosten für Variante 9.

## 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](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.

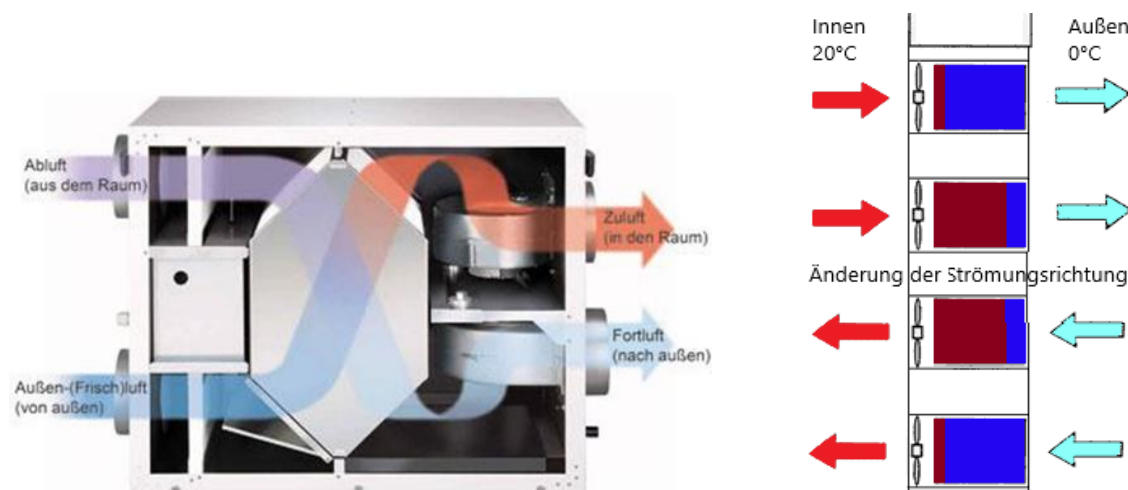


Abbildung 64: Die beiden Prinzipskizzen der beiden Arten von dezentralen Lüftungsgeräten

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.

### Bundeshförderung für effiziente Gebäude (BEG)



Abbildung 65: 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 BAFA<sup>9</sup>, sondern bei der KfW. Zusammen mit der 65%-EE-Pflicht im GEG wurde zum 1.1.2024 eine **neue Förderung für den Austausch von Heizungsanlagen** eingeführt.

<sup>9</sup> 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.

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 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche (NGF)**. Für Gebäude mit mehr als 150 m<sup>2</sup> NGF gilt folgende gestaffelte Höchstgrenze der förderfähigen Ausgaben:

- **bis 400 m<sup>2</sup> NGF - 200 Euro pro m<sup>2</sup> NGF**
- **400 bis 1.000 m<sup>2</sup> NGF - zusätzlich 120 Euro pro m<sup>2</sup> NGF**
- **Ab 1.000 m<sup>2</sup> NGF - zusätzlich 80 Euro pro m<sup>2</sup> 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 67) zur Verfügung. Bei **Nichtwohngebäuden** liegen die förderfähigen Kosten für Effizienzmaßnahmen bei **500 Euro je m<sup>2</sup> 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 €/m<sup>2</sup> und max. 5 Mio. € pro Gebäude) finanziert werden.

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.<sup>10</sup>

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

---

<sup>10</sup> 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.

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

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

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

Abbildung 66: Förderübersicht Wärmeerzeuger

Einzelmaßnahmen Gebäudehülle und Anlagentechnik	Zuschuss	iSFP- Bonus <sup>1</sup>
<b>Gebäudehülle</b> Dämmung von Außenwänden, Dach, Geschossdecken und Bodenflächen, Austausch von Fenstern und Außentüren; sommerlicher Wärmeschutz	15 %	5 %
<b>Anlagentechnik (außer Heizung)</b> Einbau/ Austausch/Optimierung von Lüftungsanlagen; WG: Einbau "Efficiency Smart Home"; NWG: Einbau MSR-Technik, Raumkühlung und Beleuchtungssysteme	15 %	5 %
<b>Heizungsoptimierung zur Effizienzverbesserung</b> Hydraulischer Abgleich; Dämmung von Rohrleitungen; Pumpentausch	15 %	5 %
<b>Heizungsoptimierung zur Emissionsminderung</b> Reduzierung der Staubemissionen von Biomasseanlagen	50 %	-

<sup>1</sup> nur für Wohngebäude, wenn Maßnahmen aus dem „individuellen Sanierungsfahrplan“ umgesetzt werden

Abbildung 67: 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-Klasse<sup>11</sup>) 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 €/m<sup>2</sup> NGF, maximal jedoch 10 Mio. € pro Objekt und Kalenderjahr.

Abbildung 68: 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>

<sup>11</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 m<sup>2</sup> 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 148 Seiten zuzüglich Anlagen.

Hamm, 31.01.2025

Der Bericht wurde erstellt durch:

Jana Rudnik

.....

i.A. Jana Rudnik



.....

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 55: 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 <sup>12</sup> , 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 <sup>14</sup> , 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

<sup>12</sup> BMWi: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

## 12.2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>°C</b>	Grad Celsius (Temperatur)
<b>g-Wert</b>	Gesamtenergiedurchlassgrad (Energiedurchlässigkeit transparentes Bauteil)
<b>h</b>	Stunde (Zeit)
<b>K</b>	Kelvin (Temperatur)
<b>kW</b>	Kilowatt (Leistung)
<b>kW<sub>P</sub></b>	Kilowatt Peak (Leistung Photovoltaikanlage)
<b>kWh</b>	Kilowattstunden
<b>kWh/a</b>	Kilowattstunden je Jahr
<b>m<sup>2</sup></b>	Fläche (Geometrie)
<b>m<sup>3</sup></b>	Volumen (Geometrie)
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>THG</b>	Treibhausgase
<b>TWW</b>	Trinkwarmwasser
<b>U-Wert</b>	Wärmedurchgangskoeffizient
<b>WLS</b>	Wärmeleitgruppe
<b>WP</b>	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.

### **CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten**

Sie bezeichnen die effektiven Kosten einer Klimaschutzmaßnahme pro Tonne vermiedener CO<sub>2</sub>-Emissionen - also die effektiven Kosten einer Maßnahme pro Tonne vermiedener CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Benchmark stellt sich als Frage. Ist es teurer oder billiger, ein kg CO<sub>2</sub>-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: Einordnung des Bestands in Effizienzklassen.....	6
Abbildung 3: Jährlicher Endenergiebedarf im Vergleich (verbrauchsabgeglichen) [kWh/a].....	14
Abbildung 4: Vergleich der künftigen Energiekosteneinsparung je Sanierungsmaßnahme.....	15
Abbildung 5: Vergleich der jährlichen THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen) .....	16
Abbildung 6: Bandtacho der Variante 9 mit Standard-Randbedingungen .....	19
Abbildung 7: Qualitative Entwicklung des Primärenergiebedarfs, FIW München 2017.....	26
Abbildung 8: Lageplan, Ausschnitt der Planunterlagen der Baugenehmigung zur Errichtung eines.....	31
Abbildung 9: Luftbild, Quelle: www.tim-online.nrw.de (GeoBasis-DE / BKG 2020, Geobasis NRW) .....	32
Abbildung 10: Übersicht Farbskala mit Zuordnung der Zonen gemäß DIN V 18599 Teil 10 ...	33
Abbildung 11: Thermische Hüllfläche im 3D-Gebäudemodell (rot) .....	34
Abbildung 12: Zonierung Erdgeschoss .....	35
Abbildung 13: Zonierung Obergeschoss.....	35
Abbildung 14: Nordost Ansicht.....	36
Abbildung 15: Südwest Ansicht.....	36
Abbildung 16: Nordwest-Ansicht .....	36
Abbildung 17: Südost Ansicht .....	37
Abbildung 18: Nordostansicht Zuschauereingang links, Stuhllager rechts .....	38
Abbildung 19: Nordostansicht // Nordostansicht Eingang Zuschauertribüne .....	38
Abbildung 20: Südostansicht Geräteraum mit Garagentoren // Südostansicht Nebeneingang Flur.....	39
Abbildung 21: Südwestansicht mit Werkshalle im Hintergrund und Berufskolleg links // Südwestansicht Eingang Umkleiden.....	39
Abbildung 22: Außenwand Sporthalle mit Gasbetonfertigteilen // Außenwand verklindert der Nebengebäude + Sporthalle (Stirnseite).....	40
Abbildung 23: Wandaufbau Nebenräume mit Klinker.....	41
Abbildung 24: Außentür Haupteingang Umkleiden // Lichtkuppel Umkleide.....	42

Abbildung 25: Eingang Foyer zur Tribüne // Glasbausteine im Obergeschoss Foyergebäude Tribüne.....	42
Abbildung 26: Gas-Brennwertkessel Vitorond 200 (links), Vitocrossal 300 (rechts); Standort Kellergeschoss Berufskolleg .....	48
Abbildung 27: Hydraulisches System (Vorlauf) im Berufskolleg .....	48
Abbildung 28: Hydraulisches System im Technikraum der Kreissporthalle .....	49
Abbildung 29: gedämmte und ungedämmte Leitungen in den Umkleiden .....	49
Abbildung 30: Warmwasserspeicher der Turnhalle im Technikraum.....	50
Abbildung 31: Wasserversorgung Waschbecken in den Umkleiden // Dezentrale Durchlauferhitzer in den WCs im Nebengebäude (Foyer) zur Tribüne .....	51
Abbildung 32: Lüftungsanlage für die Sporthalle im südlichen Technikraum .....	52
Abbildung 33: Zu- und Abluft in der Abhangdecke der Sporthalle // Leitungsführung entlang der Außenwände für die Sporthalle.....	52
Abbildung 34: Dezentrale Lüftungsgeräte jeweils in den Umkleiden // Zuluftauslässe in den Duschräumen .....	53
Abbildung 35: Übersicht installierte Lampenleistung und Beleuchtungskontrolle je Zone - IST- Zustand .....	54
Abbildung 36: Beleuchtung Sporthalle und Duschen mit Leuchtstoffröhren (Annahme EVG). 54	
Abbildung 37: Beleuchtung Flure mit Leuchtstofflampen (links); Beleuchtung Eingang Tribüne mit LED (rechts).....	54
Abbildung 38: Übersicht Zoneneinteilung des Gebäudes inkl. Nutzfläche ( $A_{NGF}$ ) nach DIN V 18599 sowie Farbcode für Konditionierung (Grün = Lüftung, Rot = Heizung, Blau = Warmwasser, Gelb = Beleuchtung) .....	57
Abbildung 39: Anteil der Zonen an der beheizten Bezugsfläche.....	58
Abbildung 40: Aufteilung der absoluten Transmissionswärmeverluste je Bauteilkategorie im IST-Zustand.....	59
Abbildung 41: Bandtacho Primärenergiebedarf IST-Zustand gemäß Standard- Randbedingungen .....	60
Abbildung 42: Kostenverständnis bei energetischen Sanierungen.....	67
Abbildung 43: Genauigkeit der Kostenermittlung im Bauwesen mit fortschreitender Planungstiefe .....	68
Abbildung 44: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 1.....	78

Abbildung 45: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 2.....	82
Abbildung 46: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 3.....	86
Abbildung 47: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 4.....	91
Abbildung 48: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 5.....	94
Abbildung 49: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 6.....	98
Abbildung 50: Jahresdauerlinie für das Berufskolleg, Sporthalle und Werkhalle Jülich .....	103
Abbildung 51: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 7.....	104
Abbildung 52: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 8.....	110
Abbildung 53: Effizienzgebäude - Stufen.....	110
Abbildung 54: Bandtacho Primärenergiebedarf nach GEG-Berechnung - Variante 9.....	117
Abbildung 55: Effizienzgebäude - Stufen und EE - Klasse.....	117
Abbildung 56: Ergebnisse einer PV-Anlage mit 800 m <sup>2</sup> Fläche und ca. 145 kWp (Variante 9) .....	118
Abbildung 57: Ergebnisse einer PV-Anlage mit 1.200 m <sup>2</sup> Fläche und ca. 220 kWp.....	118
Abbildung 58: Aufteilung des Endenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten.....	125
Abbildung 59: Aufteilung des Primärenergiebedarfs im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten.....	126
Abbildung 60: Übersicht der Anteile für THG-Emission (verbrauchsabgeglichen) .....	127
Abbildung 61: Aufteilung des Transmissionswärmeverluste im Vergleich zwischen Bestand und den Sanierungsvarianten .....	128
Abbildung 62: Übersicht künftige Energiekosteneinsparung je Variante .....	129
Abbildung 63: Gegenüberstellung der Kosten-Einsparungen nach Abzug der Investitionskosten unter Berücksichtigung der jeweiligen mittleren Lebensdauer einer Variante mittels Kapitalwertmethode .....	132
Abbildung 64: Die beiden Prinzipskizzen der beiden Arten von dezentralen Lüftungsgeräten .....	136
Abbildung 65: Förderstruktur der BEG.....	138
Abbildung 66: Förderübersicht Wärmeerzeuger .....	140
Abbildung 67: Förderübersicht Effizienzmaßnahmen.....	140

Abbildung 68: Förderübersicht BEG-Nichtwohngebäude - Sanierung zum Effizienzgebäude .....	141
--	-----

## 12.4 Verzeichnis der verwendeten Tabellen

Tabelle 1: Übersicht der Energie- und Kosteneinsparungen (verbrauchsabgeglichen) .....	12
Tabelle 2: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum.....	13
Tabelle 3: Übersicht und Vergleich der einzelnen Wirtschaftlichkeitskennzahlen je Variante .	16
Tabelle 4: Effizienzgebäude-Stufen .....	19
Tabelle 5: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung mit Fördermaßnahmen für Variante 9 .....	20
Tabelle 6: Übersicht verwendeter Energieträger und Verbrauchskosten.....	24
Tabelle 7: Brennstoffbezogene Emissionsfaktoren .....	27
Tabelle 8: Klimafolgekosten .....	28
Tabelle 9: Allgemeine Rahmendaten über das Beratungsobjekt .....	32
Tabelle 10: Bauteilaufbauten im IST-Zustand .....	43
Tabelle 11: Übersicht U-Werte der opaken und transparenten Bauteile im IST-Zustand mit Vergleich zu Anforderungen nach GEG und BEG-EM.....	46
Tabelle 12: Übersicht zur Wärmeerzeugung, Verteilung und Übergabe.....	50
Tabelle 13: Zusammenstellung der wärmeübertragenden Gebäudehüllfläche* .....	58
Tabelle 14: Übersicht Primärenergiebedarf des Gebäudes im IST-Zustand .....	60
Tabelle 15: Übersicht der Endenergiebedarfe des Gebäudes im IST-Zustand .....	61
Tabelle 16: Übersicht des Bedarfs aufgeteilt nach Energieträgern, IST-Zustand.....	61
Tabelle 17: Übersicht der THG-Emissionen nach Energieträgern – IST-Zustand.....	62
Tabelle 18: Übersicht der witterungsbereinigten Verbrauchsdaten .....	63
Tabelle 19: Übersicht Energiebedarf und -verbrauch inkl. Umrechnungsfaktor .....	64
Tabelle 20: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 1 .....	77
Tabelle 21: Übersicht der Kosten – Variante 1 .....	78
Tabelle 22: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 1 .....	79
Tabelle 23: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 2.....	82

Tabelle 24: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 2 .....	82
Tabelle 25: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 2 .....	83
Tabelle 26: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 3 .....	86
Tabelle 27: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 3 .....	87
Tabelle 28: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 3 .....	88
Tabelle 29: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 4 .....	90
Tabelle 30: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 4 .....	92
Tabelle 31: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 4 .....	93
Tabelle 32: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 5 .....	95
Tabelle 33: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 5 .....	95
Tabelle 34: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 6 .....	98
Tabelle 35: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 6 .....	99
Tabelle 36: Übersicht des Endenergiebedarfes für das Berufskolleg, Werkhalle und Sporthalle .....	101
Tabelle 37: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 7 .....	105
Tabelle 38: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 7 .....	106
Tabelle 39: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 8 .....	109
Tabelle 40: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 8 .....	111
Tabelle 41: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 8 .....	112
Zur zusätzlichen Risikobewertung und als Entscheidungsvorlage kann Tabelle 42 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 <i>Energiepreis</i> und <i>Investitionskosten</i> auf den Wert der Ausgangsvariable <i>Amortisationszeit</i> analysiert.....	113
Tabelle 43: Sensitivitätsanalyse V8 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten .....	113
Tabelle 44: Gegenüberstellung U-Werte aller betroffenen Bauteile Variante 9 .....	116
Tabelle 45: Übersicht der Kosten zur jeweiligen Maßnahme – Variante 9 .....	119
Tabelle 46: Kenngrößen der Wirtschaftlichkeitsberechnung – Variante 9 .....	120

Tabelle 47: Sensitivitätsanalyse V9 – Amortisation in Abhängigkeit von Energiepreis und Vollkosten .....	121
Tabelle 48: Übersicht primärenergetischer Energiebedarfswerte .....	124
Tabelle 49: Übersicht der Anteile für Endenergiebedarfe (verbrauchsabgeglichen) .....	125
Tabelle 50: Übersicht der Anteile für Primärenergiebedarf (verbrauchsabgeglichen) .....	125
Tabelle 51: Übersicht der gesamten THG-Emissionen (verbrauchsabgeglichen) .....	126
Tabelle 52: Variantenübersicht einschl. zugehöriger Kosten und Einsparung (verbrauchsabgeglichen) .....	129
Tabelle 53: Übersicht der künftigen Kosteneinsparung über den jeweiligen Betrachtungszeitraum.....	130
Tabelle 54: Übersicht der Investitionskosten und Amortisationsdauer .....	131
Tabelle 55: Relevante Normen und Vorschriften .....	149