

**Pilotprojekt**

**Schaffung eines Referenzobjektes  
„Klimaneutrales öffentliche  
Liegenschaften im Bezirk Mitte“**

15.06.2021



## PROJEKTPARTNER

### *Auftraggeber*

Bezirksamt Mitte von Berlin  
Abteilung Schule, Sport und Facility Management  
Serviceeinheit Facility Management  
Kapweg 3-5  
13405 Berlin  
Ansprechpartnerin: Frau Lisa Unterberg  
Tel.: +49 30 9018 -34655  
lisa.unterberg@ba-mitte.berlin.de

### *Auftragnehmer*

energielenker projects GmbH  
Ella-Barowsky-Straße 44  
10829 Berlin  
Ansprechpartnerin: Frau Azhar Soboh  
Tel.: +49 303 0874 4612  
soboh@energielenker.de

# Inhalt

Inhalt .....	2
1 Einleitung.....	10
2 Ausgangssituation .....	11
2.1 Versorgungssituation.....	12
2.1.1 Fernwärme.....	13
2.2 Verbrauchserfassung .....	13
2.3 Analyse des Energieverbrauches.....	13
2.3.1 Verbrauchskennwerte.....	15
2.3.2 Emissionen .....	20
2.3.3 Energiekosten.....	20
2.4 Preisermittlung für die Sanierungskosten.....	21
3 Sanierungsvarianten .....	22
3.1 Erfüllung der GEG Anforderungen .....	24
3.2 KfW-Anforderungen .....	26
4 Gebäudeautomation und Energiemanagement .....	27
4.1 Gebäudeautomation .....	27
4.2 Energiemanagement .....	29
5 Bauwerksbegrünung .....	31
5.1 Fassadenbegrünung.....	31
5.2 Dachbegrünung .....	34
6 Ökobilanz verschiedener energetischer Standards .....	37
6.1 Schule 027-01.....	41
6.2 Schule 028-01.....	41
6.3 Sporthalle 027-02 .....	42
6.4 Sporthalle 028-02 .....	42
6.5 Gesamte Liegenschaft.....	43
7 Photovoltaikanlage .....	44
7.1 Ökonomische und ökologische Betrachtungen .....	46
7.2 Unsanierte Gebäude .....	48
7.3 Ökologisch sanierte Gebäude .....	49
7.4 Energetisch sanierte Gebäude (Passivhaus) .....	50
8 Klimaschadenskosten .....	51
8.1 Schule 027-01.....	52
8.2 Schule 028-01.....	53
8.3 Sporthalle 027-02 .....	54
8.4 Sporthalle 028-02 .....	55
9 Energetische Gesamtbilanz nach GEG § 50 .....	56
9.1 Investitionskosten .....	56
9.2 Primärenergiebedarf.....	57

9.3	Endenergiebedarf .....	58
9.4	CO <sub>2</sub> Emissionen .....	59
9.5	Energiekosten.....	60
10	Fazit.....	61
10.1	Berliner Energiewendegesetz.....	63
10.2	Übertragbarkeit.....	65
11	Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Schulgebäude (027-01) .....	66
11.1	Ausgangssituation .....	66
11.1.1	Beschreibung des untersuchten Objekts.....	66
11.1.2	Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude ....	70
11.1.3	Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle .....	72
11.1.4	Anlagentechnik .....	74
11.2	Gebäudebetrachtung.....	82
11.2.1	Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes .....	82
11.3	Tabellarische Gesamtübersicht.....	83
11.4	Endenergie- und Kosteneinsparung.....	85
11.5	Gesamteffizienz und Klimaschutz .....	86
11.6	Sanierungsvarianten – Schule 027-01 .....	88
11.6.1	V1- GEG .....	89
11.6.2	V2- KfW 40 .....	92
11.6.3	V3- Ökologische und nachhaltige Variante .....	95
11.6.4	V4- Regenerative Versorgung .....	98
11.6.5	V5- Passivhaus.....	101
11.6.6	V6- Denkmal – GEG .....	104
11.6.7	V7- Denkmal – ökologische und nachhaltige Variante.....	107
11.6.8	V8- Denkmal – regenerative Versorgung .....	110
11.6.9	V9- Denkmal – KfW 55 .....	113
12	Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Schulgebäude (028-01) .....	116
12.1	Ausgangssituation .....	116
12.1.1	Beschreibung des untersuchten Objekts.....	116
12.1.2	Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude ..	121
12.1.3	Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle .....	123
12.1.4	Anlagentechnik .....	125
12.2	Gebäudebetrachtung.....	133
12.2.1	Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes .....	133
12.3	Tabellarische Gesamtübersicht.....	134
12.4	Endenergie- und Kosteneinsparung.....	136
12.5	Gesamteffizienz und Klimaschutz .....	137
12.6	Sanierungsvarianten – Schule 028-01 .....	138
12.6.1	V1- GEG .....	139
12.6.2	V2- KfW 55 .....	142

12.6.3	V3- Ökologische und nachhaltige Variante .....	145
12.6.4	V4- Regenerative Versorgung .....	148
12.6.5	V5- Passivhaus .....	151
12.6.6	V6- Denkmal – GEG .....	154
12.6.7	V7- Denkmal – ökologische und nachhaltige Variante .....	157
12.6.8	V8- Denkmal – regenerative Versorgung .....	160
12.6.9	V9- Denkmal – KfW 55 .....	163
13	Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Sporthalle (027-02) .....	166
13.1	Ausgangssituation .....	166
13.1.1	Beschreibung des untersuchten Objekts .....	166
13.1.2	Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude ..	169
13.1.3	Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle .....	171
13.1.4	Anlagentechnik .....	172
13.2	Gebäudebetrachtung .....	178
13.2.1	Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes .....	178
13.3	Tabellarische Gesamtübersicht .....	179
13.4	Endenergie- und Kosteneinsparung .....	181
13.5	Gesamteffizienz und Klimaschutz .....	182
13.6	Sanierungsvarianten – Sporthalle 027-02 .....	183
13.6.1	V1- GEG .....	184
13.6.2	V2- KfW 40 .....	187
13.6.3	V3- Ökologische und nachhaltige Variante .....	190
13.6.4	V4- Regenerative Versorgung .....	193
13.6.5	V5- Passivhaus .....	196
13.6.6	V6- Denkmal – GEG .....	199
13.6.7	V7- Denkmal – KfW 55 .....	202
13.6.8	V8- Denkmal – regenerative Versorgung .....	205
14	Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Sporthalle (028-02) .....	208
14.1	Ausgangssituation .....	208
14.1.1	Beschreibung des untersuchten Objekts .....	208
14.1.2	Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude ..	211
14.1.3	Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle .....	213
14.1.4	Anlagentechnik .....	214
14.2	Gebäudebetrachtung .....	218
14.2.1	Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes .....	218
14.3	Tabellarische Gesamtübersicht .....	219
14.4	Endenergie- und Kosteneinsparung .....	221
14.5	Gesamteffizienz und Klimaschutz .....	222
14.6	Sanierungsvarianten – Sporthalle 028-02 .....	223
14.6.1	V1- GEG .....	224
14.6.2	V2- KfW 55 .....	227

14.6.3	V3- Ökologische und nachhaltige Variante .....	230
14.6.4	V4- Regenerative Versorgung .....	233
14.6.5	V5- Passivhaus .....	236
14.6.6	V6- Denkmal – GEG .....	239
14.6.7	V7- Denkmal – ökologische und nachhaltige Variante .....	242
14.6.8	V8- Denkmal – regenerative Versorgung .....	245
14.6.9	V9- Denkmal – KfW 55 .....	248
15	Fördermittel .....	251
15.1	Kommunalrichtlinie 2020 (01.08.2020-31.12.2022) .....	251
15.1.1	Energiemanagementsysteme (2.2) .....	251
15.1.2	Beleuchtungssanierungen (2.9).....	251
15.1.3	Raumlufttechnische Anlagen (2.10) .....	252
15.1.4	Förderrichtlinie „Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen“ .....	253
15.1.5	BMU – Energiesparmodelle (2.4) .....	254
15.1.6	BMU – weitere investive Maßnahmen.....	255
15.2	Gebäudehülle .....	256
15.2.1	KfW: IKK– KfW-Effizienzgebäude – (bis 30.06.2021) .....	256
15.2.2	KfW: Sanierung zum Effizienzgebäude (ab 01.07.2021) .....	256
15.2.3	KfW: IKK – Einzelmaßnahme- (bis 30.06.2021).....	257
15.2.4	KfW: Einzelmaßnahmen Nichtwohngebäude (ab 01.07.2021) .....	257
15.2.5	KfW: IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren (219/220) – (bis 30.06.2021) .....	258
15.2.6	IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW Nr. 201) .....	260
15.2.7	IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW Nr. 202) .....	260
15.2.8	KfW - Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager (KfW Nr. 432) .....	261
15.2.9	KfW – Energieeffizient Sanieren - Baubegleitung (KfW Nr. 431) .....	261
15.3	Anlagentechnik .....	262
15.3.1	BEG EM – Heizungsoptimierung (NEU).....	262
15.3.2	BAFA – Kleinserien Klimaschutzkonzepte: Modul 1 Kleinstwasserkraftanlage .....	263
15.3.3	BAFA - Kleinserien Klimaschutzkonzepte: Modul 2 Sauerstoffproduktion .....	263
15.3.4	BAFA - Kleinserien Klimaschutzkonzepte: Modul 3 Wärmerückgewinnung .....	263
15.3.5	BEG EM - Anlagen zur Wärmezeugung (NEU) .....	264
15.3.6	BEG EM- Anlagentechnik (außer Heizung) (NEU).....	265
15.3.7	Bundesförderung Corona gerechte Um- und Aufrüstung von raumluftechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden und Versammlungsstätten .....	266
15.3.8	BMU - Kälte und Klimaanlage .....	266
15.3.9	BAFA – Förderung von Kälte- und Klimaanlage .....	266
15.3.10	Erneuerbaren Energien - Standard (KfW Nr. 270) .....	267
15.3.11	Erneuerbaren Energien - Premium (KfW Nr. 271/281, 272/282) .....	268
15.3.12	Brennstoffzellenheizung (KfW) – Zuschuss .....	268
15.3.13	Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0 (BAFA) - Zuschuss .....	268

15.4	Beratung .....	269
15.4.1	BMW - Beratungsprogramm Energiespar-Contracting .....	269
15.4.2	EBN – Energieberatung Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme .....	269
16	Anhang .....	270
16.1	Erläuterung von Fachbegriffen .....	270
16.2	Bauteilkonstruktion für die Ökobilanz .....	272
16.2.1	Schule 027-01 .....	272
16.2.2	Schule 028-01 .....	275
16.2.3	Sporthalle 027-02 .....	280
16.2.4	Sporthalle 028-02 .....	282
16.3	PV-Berechnung .....	288
16.3.1	Unsanierete Gebäude .....	288
16.3.2	Ökologisch sanierte Gebäude .....	290
16.3.3	Energetisch sanierte Gebäude (Passivhaus) .....	292
16.3.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen .....	294
16.3.5	CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	296
16.4	Datensätze für die ökologische Bewertung der Dämmstoffe .....	297
16.4.1	EPS-Hartschaum .....	297
16.4.2	Holzfaserdämmplatten .....	298
16.4.3	Mineralwolle (Steinwolle) .....	299
16.4.4	Extrudiertes Polystyrol (XPS) .....	300
16.4.5	Zellulosedämmung (Thermofloc) .....	301
16.4.6	Schaumglas .....	302

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lageplan der Liegenschaft .....	11
Abbildung 2:	Versorgungssituation in der Liegenschaft (schematisch) .....	12
Abbildung 3:	Grafische Entwicklung des Energieverbrauchs der Liegenschaft .....	14
Abbildung 4:	Energieverbrauchskennwerte für Strom, Wärme und Wasser .....	15
Abbildung 5:	Vergleich mit den Kennwerten auf Basis der realen Verbrauchsangaben der gesamten Liegenschaft .....	20
Abbildung 6:	Sanierungsvorschläge pro Gebäude .....	22
Abbildung 7:	Schematische Darstellung der berücksichtigten Fassadenbegrünung .....	31
Abbildung 8:	Schematischer Schnitt durch ein auflastgehaltenes Solar-Gründach .....	35
Abbildung 9:	Treibhauspotential der Dämmstoffe, um einen U-Wert von 0,2 bei einer Außenwand zu erreichen .....	39
Abbildung 10:	Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Schule 027-01) .....	41
Abbildung 11:	Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Schule 028-01) .....	41
Abbildung 12:	Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Sporthalle 027-02) .....	42
Abbildung 13:	Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Sporthalle 028-02) .....	42



Abbildung 14: Treibhausgaspotenzial für die gesamte Liegenschaft.....	43
Abbildung 15: Dachbelegung mit 100 kW <sub>p</sub> .....	45
Abbildung 16: berechnete Ertragsminderung durch Verschattung (Sporthalle 027-02) .....	45
Abbildung 17:PV-Belegung mit 123,4 kW <sub>p</sub> installierter Leistung.....	46
Abbildung 18: Erzeugung, Einspeisung, solarer Deckungsanteil und Eigenverbrauchsanteil der untersuchten Varianten .....	47
Abbildung 19: Investitionen in den untersuchten Varianten .....	47
Abbildung 20: Annuitäten der untersuchten Varianten der unsanierten Gebäude.....	48
Abbildung 21: CO <sub>2</sub> -Emissionen im Betrieb der unsanierten Gebäude.....	48
Abbildung 22: Annuitäten der untersuchten Varianten der sanierten Gebäude (Ökologisch) .....	49
Abbildung 23: CO <sub>2</sub> -Emissionen im Betrieb der sanierten Gebäude (ökologisch) .....	49
Abbildung 24: Annuitäten der untersuchten Varianten der sanierten Gebäude (Passivhaus).....	50
Abbildung 25: CO <sub>2</sub> -Emissionen im Betrieb der sanierten Gebäude (Passivhaus).....	50
Abbildung 26: Investitionskosten zur Umsetzung der Varianten in der gesamten Liegenschaft .....	56
Abbildung 27: Investitionskosten zur Umsetzung der Varianten in den einzelnen Gebäuden .....	56
Abbildung 28: Primärenergiebedarf der Varianten in der gesamten Liegenschaft .....	57
Abbildung 29: Primärenergiebedarf der Varianten in den einzelnen Gebäuden.....	57
Abbildung 30: Endenergiebedarf der Varianten in der gesamten Liegenschaft.....	58
Abbildung 31: Endenergiebedarf der Varianten in den einzelnen Gebäuden.....	58
Abbildung 32: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Varianten in der gesamten Liegenschaft.....	59
Abbildung 33: CO <sub>2</sub> -Emissionen der Varianten in den einzelnen Gebäuden .....	59
Abbildung 34: jährliche Energiekosten der Varianten in der gesamten Liegenschaft.....	60
Abbildung 35: jährliche Energiekosten der Varianten in den einzelnen Gebäuden .....	60
Abbildung 36: KEV der lokalen Strombereitstellung in Deutschland .....	64
Abbildung 37: Schulgebäude 027-01 - Ansicht vom Schulhof .....	66
Abbildung 38: Rohre teilweise nicht gedämmt und stark korrodiert.....	75
Abbildung 39: Schulgebäude 028-01 - Ansicht vom Sportplatz .....	116
Abbildung 40: Feuchtigkeitsschäden durch Undichtigkeiten im Blumenbeet.....	119
Abbildung 41: Sporthalle 027-02 - Ansicht vom Schulhof .....	166
Abbildung 42: Sporthalle 028-02 - Ansicht vom Sportplatz.....	208

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gebäude der Liegenschaft .....	11
Tabelle 2: Vorhandene Zähler in den Gebäuden .....	13
Tabelle 3: Verbrauchsdaten der gesamten Liegenschaft in den letzten drei Jahren .....	14
Tabelle 4: Kennwerte auf Basis der realen Verbrauchs- und Flächenangaben bezogen auf die gesamte Liegenschaft .....	15
Tabelle 5: Teilenergiekennwerte (TEK) nach der Bekanntmachung vom 15. April 2021 .....	16
Tabelle 6: Flächenteilung nach Nutzung .....	17
Tabelle 7: Teilenergiekennwerte für die Schulnutzung in der Liegenschaft.....	18
Tabelle 8: Teilenergiekennwerte für die Sporthallennutzung in der Liegenschaft .....	19

Tabelle 9: Vergleich mit den Kennwerten auf Basis der realen Verbrauchsangaben der gesamten Liegenschaft .....	19
Tabelle 10: Jährliche durchschnittliche CO <sub>2</sub> -Emissionen der gesamten Liegenschaft .....	20
Tabelle 11: Bezugskosten nach Energieträger .....	21
Tabelle 12: Globale Daten zur Ökonomie .....	21
Tabelle 13: untersuchte Sanierungsvarianten.....	23
Tabelle 14: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7 .....	24
Tabelle 15: Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (Nichtwohngebäude) .....	25
Tabelle 16: KfW-Effizienzhaus-Standards.....	26
Tabelle 17: Annahmen für die spezifischen Kosten je Datenpunkt.....	28
Tabelle 18: Vorschlag zur Erweiterung des Zählerkonzepts .....	30
Tabelle 19: Fassadenbegrünung - Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen .....	32
Tabelle 20: Kostenschätzung Fassadenbegrünung .....	33
Tabelle 21: Dachbegrünungsarten .....	34
Tabelle 22: Lebenszyklusphasen .....	38
Tabelle 23: Treibhauspotential der Dämmstoffe, um einen U-Wert von 0,2 bei einer Außenwand zu erreichen.....	39
Tabelle 24: Übersicht über die untersuchten Versorgungsvarianten und Energiebezugsquellen .....	44
Tabelle 25: Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	47
Tabelle 26: Einspeisevergütung für PV-Strom nach EEG (April 2021) .....	47
Tabelle 27: UBA-Empfehlung zu den Klimakosten in € <sub>2016</sub> / t CO <sub>2</sub> äq .....	51
Tabelle 28: Umweltkosten der Stromerzeugung in Deutschland einschließlich Vorketten .....	51
Tabelle 29: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Schule 027-01 .....	52
Tabelle 30: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Schule 028-01 .....	53
Tabelle 31: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Sporthalle 027-02 .....	54
Tabelle 32: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Sporthalle 028-02 .....	55
Tabelle 33: Vergleich der Varianten V2, V3, V4 und V5 .....	62
Tabelle 34: Zielerreichung des Endenergiebedarfes im Jahr 2030 .....	63
Tabelle 35: Zielerreichung des Primärenergiebedarfes im Jahr 2050 .....	64
Tabelle 36: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01 .....	70
Tabelle 37: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01 .....	70
Tabelle 38: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01.....	71
Tabelle 39: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01.....	71
Tabelle 40: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01 .....	121
Tabelle 41: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01 .....	121
Tabelle 42: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01.....	122
Tabelle 43: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01.....	122
Tabelle 44: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02.....	169

Tabelle 45: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02.....	169
Tabelle 46: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02 .....	170
Tabelle 47: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02...	170
Tabelle 48: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02.....	211
Tabelle 49: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02.....	211
Tabelle 50: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02 .....	212
Tabelle 51: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02...	212
Tabelle 52: Anlagenkonfiguration in den untersuchten Varianten unsaniert.....	289
Tabelle 53: Anlagenkonfiguration in den untersuchten Varianten Passivhaus .....	291
Tabelle 54: Anlagenkonfiguration in den untersuchten Varianten Passivhaus .....	293
Tabelle 55: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten (I).....	294
Tabelle 56: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten (II).....	295
Tabelle 57: Emissionen der untersuchten Varianten (I) .....	296
Tabelle 58: Emissionen der untersuchten Varianten (II) .....	296

# 1 Einleitung

Der Bezirk Mitte von Berlin hat den Klimanotstand anerkannt und ausgerufen. Um diesen Umstand Rechnung zu tragen, soll ein Pilotprojekt, möglichst eine Schule, im kommunalen Gebäudebestand ausgewählt und ein ganzheitlicher Sanierungsfahrplan zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen erstellt werden.

Die Erstellung des Konzepts zur energischen Gebäudesanierung umfasst eine ganzheitliche Betrachtung der unterschiedlichen Problemstellungen, welche bei der Sanierung und dem Betrieb von Gebäuden auftreten (Denkmalschutz, Klimaschutz, Nutzung, Nachhaltigkeit, CO<sub>2</sub>-Einsparung usw.). Es ist sowohl die Gebäudehülle als auch Anlagentechnik zu betrachten.

Ziel ist es, für eine Musterliegenschaft Sanierungsvarianten vorzuschlagen. Bei dem ausgewählten Referenzobjekt handelt es sich um das Diesterweg-Gymnasium in der Böttgerstr. 2 + 6 in 13357 Berlin.

Hierzu erfolgte eine Datenerhebung vor Ort und nach Plan. Die Berechnung wurde nach dem Gebäudeenergiegesetz - GEG und der DIN-Norm V 18599: 2018-09 vorgenommen.

Auf Basis dieser Analyse der Ist-Situation wurden energetische Sanierungsvarianten unter dem Fokus Ökologie und Ökonomie entwickelt. Die einzelnen Varianten werden dabei hinsichtlich der Energiekosteneinsparung, Energieverbrauchs- und Emissionsreduzierung sowie der Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit beschrieben.

Im Folgenden werden die Berechnungsergebnisse der energetischen Gebäudesimulation detailliert aufgeführt. Die Ergebnisse sind nach Varianten aufgeteilt und umfassen energetische wie auch wirtschaftliche Parameter. Die Investitionssumme stellt die Gesamtkosten zum Zeitpunkt der Investition dar und umfasst nicht mögliche Ersatzinvestitionen nach Ablauf der jeweiligen Nutzungsdauer. Die Nutzungsdauer wird aus dem Katalog des Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)<sup>1</sup> bestimmt. Für die Berechnung der Amortisationszeit wird ein Betrachtungszeitraum von maximal 50 Jahren angesetzt. In die Bestimmung der Amortisationszeit werden Ersatzinvestitionen miteinbezogen. Daher kann es sein, dass sich Maßnahmen nach Ablauf der Nutzungsdauer und einer anschließenden Reinvestition amortisieren.

Dieser Beratungsbericht wurde nach bestem Wissen sowie anhand der verfügbaren Daten erstellt. Die Durchführung und der Erfolg einzelner Maßnahmen bleiben in der Verantwortung der Durchführungsbeteiligten. Die Kostenangaben sind Schätzwerte, daher ist es empfehlenswert, bei geplanten Investitionen immer mehrere Vergleichsangebote einzuholen. Zudem sollten die Verfügbarkeit und die Rahmenbedingungen für eine vorgeschlagene Förderung rechtzeitig mit der Vergabestelle abgestimmt werden.

## **Hinweis:**

Die Berechnungen in diesem Bericht beziehen sich auf die energetischen Sanierungsmaßnahmen. Es handelt sich um einen energetischen Beratungsbericht mit Handlungsempfehlung und stellt keine Planungsleistung dar. Bei der Umsetzung der Maßnahmen müssen Fachplaner sowie statische Gutachter und erfahrene Bauphysiker miteinbezogen werden.

---

<sup>1</sup> Der Katalog ist zu finden unter <https://www.nachhaltigesbauen.de/austausch/nutzungsdauern-von-bauteilen/>

## 2 Ausgangssituation

Die Liegenschaft besteht aus zwei Schulgebäuden und zwei Sporthallen und ein Wohndienstgebäude, wobei das Wohngebäude nicht mitbetrachtet wird.

Gebäudebezeichnung	Conject-Nr.	BGF m <sup>2</sup>	NGF m <sup>2</sup>
Diesterweg Gymnasium	027-01-Schule	6815,94	5463,27
Sporthalle Gymnasium	027-02-Sporthalle	908,6	734,78
Diesterweg Oberschule	028-01-Schule	5540,7	4557,01
Sporthalle Oberschule	028-02-Sporthalle	770,93	691,28
Wohndienstgebäude	Wohndienstgebäude, Böttgerstr. 4	1102,4	830,73

Tabelle 1: Gebäude der Liegenschaft

Quelle: Bezirksamt Mitte von Berlin

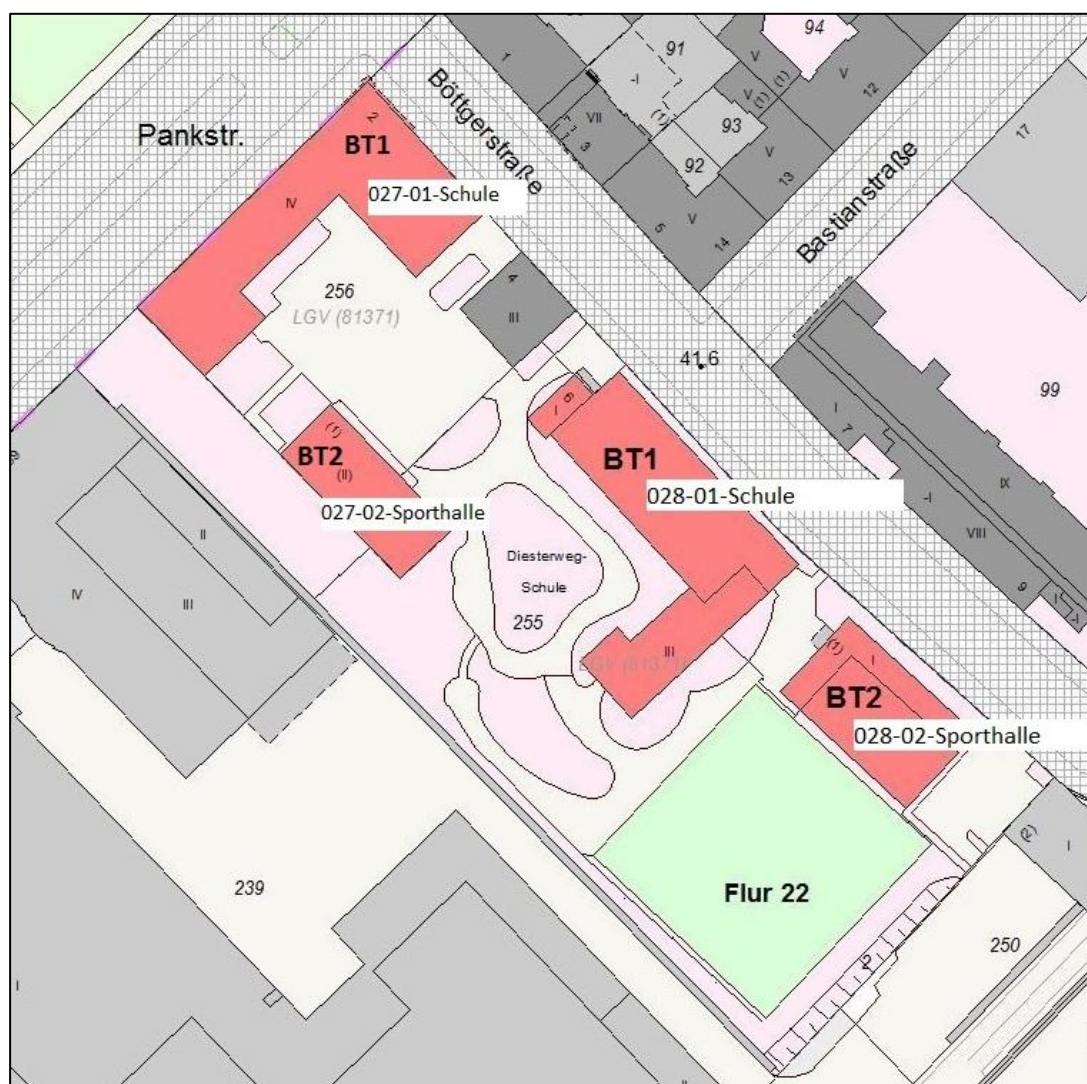


Abbildung 1: Lageplan der Liegenschaft

Quelle: Bezirksamt Mitte von Berlin



Die Gebäude 027-01-Schule, 027-02-Sporthalle und 028-01-Schule wurden Mitte der 1950er Jahre gebaut. Das Gebäude 028-02-Sporthalle ist wahrscheinlich ein 1960er Jahre Bau.

## 2.1 Versorgungssituation

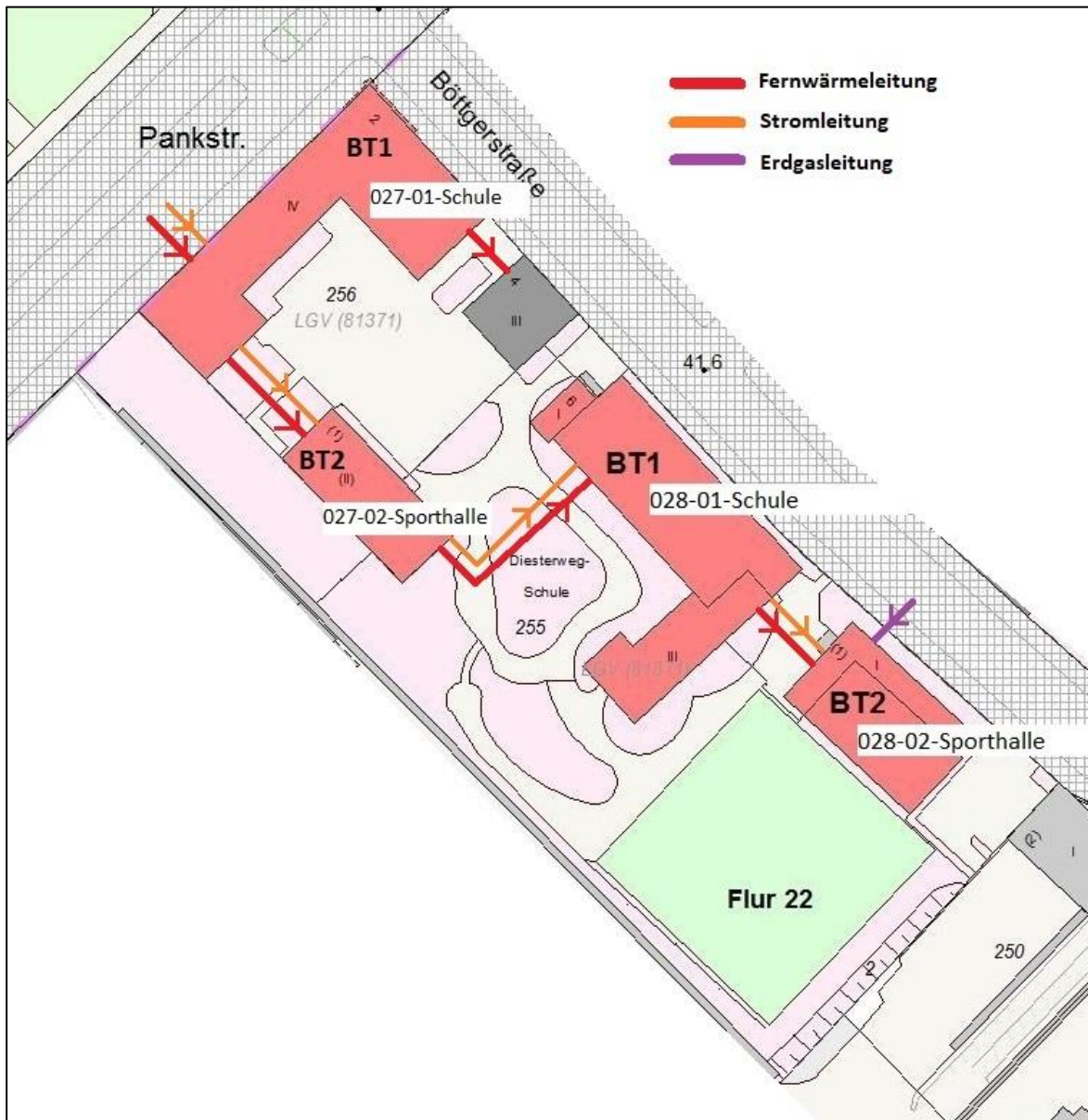


Abbildung 2: Versorgungssituation in der Liegenschaft (schematisch)

Quelle: Bezirksamt Mitte von Berlin

Die Hauptanschlüsse für Fernwärme, Strom und Wasser befinden sich im Schulgebäude 027-01 und versorgen die restlichen Gebäude. Die Sporthalle 028-02 verfügt zusätzlich über einen Erdgasanschluss für die Warmwasserbereitung.

Das Dienstgebäude wird nur mit Fernwärme mitversorgt. Ein Wärmemengenzähler ist vorhanden. Das Gebäude verfügt über einen eigenen Strom- und Trinkwasseranschluss.

## 2.1.1 Fernwärme

Der Fernwärme Anbieter für Berlin ist Vattenfall. Vattenfall will innerhalb einer Generation ein Leben ohne fossile Brennstoffe ermöglichen. Ein Schritt auf diesem Weg ist der stufenweise Verzicht auf fossile Brennstoffe für die Wärme- und Stromerzeugung. Ein wesentlicher Meilenstein dahin wird der Kohleausstieg sein.

Der Ausstieg aus der Braunkohlenutzung wurde durch die Umstellung des Heizkraftwerks Klingenberg auf Gas bereits 2017 vollzogen. Vattenfall hat erklärt, in Berlin bis spätestens 2030 auch aus der Steinkohle und damit komplett aus der Nutzung von Kohle auszusteigen.

Das Zentrale Fernwärmeverbundnetz Berlin der Vattenfall Europe Wärme AG Berlin wurde nach AGFW Arbeitsblatt FW 309 - Teil 1 durch das Institut für Energietechnik der TU Dresden, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, geprüft und mit einem Primärenergiefaktor des Fernwärmeversorgungssystems von 0,45 bewertet.

Dadurch ist die Fernwärme als Energieträger weiterzuempfehlen bzw. beizubehalten.

## 2.2 Verbrauchserfassung

Die Fernwärmeversorgung erfolgt über zwei Verträge (für Raumheizung und Trinkwarmwasser). Dementsprechend wird auch der Verbrauch erfasst. In den einzelnen Gebäuden befinden sich keine Wärmemengenzähler oder Stromunterzähler. Eine Verbrauchserfassung jedes einzelnen Gebäudes ist in der aktuellen Situation nicht möglich.

Gebäude	Warmwasser	Zähler / Unterzähler
027-01-Schule	kein Warmwasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wärmemengenzähler (Hauptzähler für Heizung)</li> <li>– Wärmemengenzähler (für Warmwasser in der Sporthalle 027-02)</li> <li>– Strom (Hauptzähler)</li> <li>– Wasserzähler</li> </ul>
027-02-Sporthalle	zentral über Fernwärme	– keine Unterzähler
028-01-Schule	dezentral über Durchlauferhitzer (Strom)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wasserzähler</li> <li>– Gaszähler (Labore)</li> </ul>
028-02-Sporthalle	zentral über Erdgas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Wasserzähler</li> <li>– Gaszähler</li> </ul>

*Tabelle 2: Vorhandene Zähler in den Gebäuden*

## 2.3 Analyse des Energieverbrauches

Die Energieverbräuche (Wärme, Strom) einschließlich Wasserverbrauch der Liegenschaft beinhalten alle auf der Liegenschaft befindlichen Gebäude, soweit deren Medienverbräuche nicht separat gezählt bzw. ermittelt werden.

Somit besteht der direkte Sachzusammenhang zu den in den nachfolgenden Kapiteln aufgeführten Sanierungsmaßnahmen darin, dass das in diesem Bericht behandelte Gebäude Teil der Liegenschaft ist und die ingenieurtechnischen Berechnungen den Teilverbrauch des betrachteten Gebäudes annähernd abbildet und entsprechende Sanierungsmaßnahmen hiervon abgeleitet werden.

Der Energieverbrauch wird entscheidend durch das Nutzerverhalten bestimmt. Die wesentlichen Einflussfaktoren dabei sind:

- das Lüftungsverhalten
- die Raumlufttemperatur
- die tägliche Betriebsdauer der Heizung
- interne Wärmequellen (Licht, Elektrogeräte, Personenanzahl, ...)
- der Warmwasserverbrauch

Die Verbrauchswerte der letzten drei Jahre wurden von der Arbeitsgruppe Energie und Ressourcenmanagement zur Verfügung gestellt und wurden als Vergleichsgrundlage für die Energiebedarfsberechnung herangezogen.

Jahr	Heizung Fernwärme	Klimafaktor	klimabereinigter Heizverbrauch Fernwärme	Warmwasser Fernwärme	Warmwasser Erdgas	Gesamt Wärmeverbrauch	Strom	Gesamtenergieverbrauch	Wasser
	[kWh/a]	[-]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[m³/a]
<b>2017</b>	1.332.494	1,14	1.519.043	659	13.822	1.533.524	132.398	1.665.922	2.009
<b>2018</b>	1.178.186	1,19	1.402.041	38	3.904	1.405.983	135.326	1.541.309	3.322
<b>2019</b>	1.343.543	1,22	1.639.122	14.437	7.543	1.661.102	130.417	1.791.519	2.308
<b>Mittelwert</b>	<b>1.284.741</b>	--	<b>1.520.069</b>	<b>5.045</b>	<b>8.423</b>	<b>1.533.537</b>	<b>132.714</b>	<b>1.666.250</b>	<b>2.546</b>

Tabelle 3: Verbrauchsdaten der gesamten Liegenschaft in den letzten drei Jahren

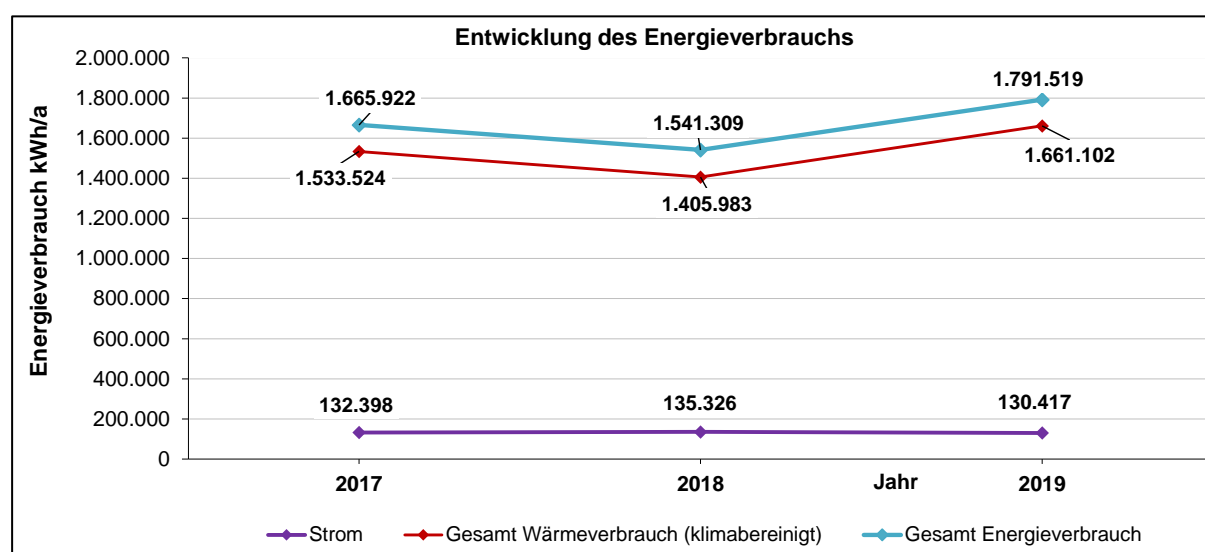


Abbildung 3: Grafische Entwicklung des Energieverbrauchs der Liegenschaft



## 2.3.1 Verbrauchskennwerte

Energieverbrauchswerte ohne Bezug auf die Rahmenbedingungen, wie z. B. die Zeiteinheit, die Raumfläche oder die äußeren Witterungsverhältnisse sind wenig aussagekräftig. Die gemessenen Verbrauchswerte müssen daher nach einheitlichen Gesichtspunkten auf entsprechende Bezugswerte umgerechnet werden. Die so ermittelten Energieverbrauchskennwerte für Strom, Wärme und Wasser werden nachfolgend abgebildet.<sup>2</sup>

Schulen mit Turnhalle	Energieverbrauchskennwerte		
	in [kWh/m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ] bzw. [dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]		
Energieträger	Zielwert	Ist-Kennwert	Grenzwert
Strom	5	12	11
Wärme	62	134	99
Wasser	70	222	140

Tabelle 4: Kennwerte auf Basis der realen Verbrauchs- und Flächenangaben bezogen auf die gesamte Liegenschaft

Als Orientierung zur Einstufung von Verbrauchswerten in den verschiedenen Medienbereichen (Strom, Wärme, Wasser) werden zunächst statistische Erhebungen über Energieverbräuche und Energiekosten herangezogen. Nachfolgende Grafik stellt die Bildung der Energieverbrauchskennwerte für Strom, Wärme und Wasser dar.

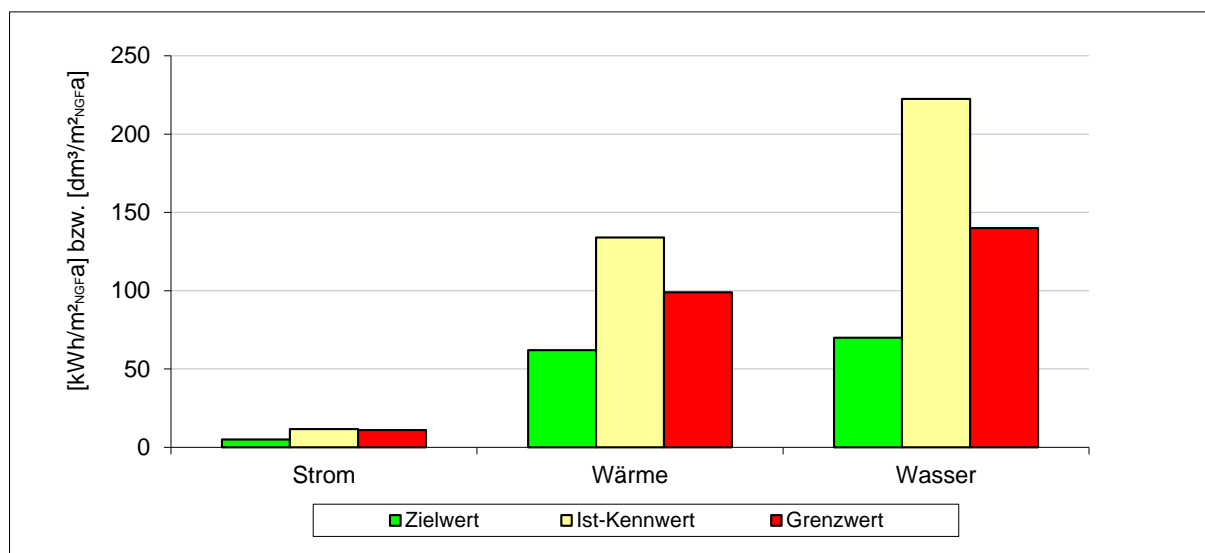


Abbildung 4: Energieverbrauchskennwerte für Strom, Wärme und Wasser

<sup>2</sup> Ziel- und Grenzwerte sind ermittelte Kennwerte der ages Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse mbH, Münster (Werte von 2005)

Zielwert: Unterer Quartilsmittelwert (arithmetisches Mittel der unteren 25 % aller Verbrauchsdaten (Gebäuden mit niedrigstem Energieverbrauch)

Grenzwert: Arithmetisches Mittel (Summe aller Einzelwerte geteilt durch die Summe aller Flächen)

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat hat am 15. April 2021 eine Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand veröffentlicht. Die Bekanntmachung enthält Regeln zur vereinfachten Ermittlung von Energieverbrauchswerten (Wärme und Strom) und zur Witterungsbereinigung im Nichtwohngebäudebestand.

Die Bekanntmachung findet Anwendung, wenn der witterungsbereinigte Endenergie- und Primärenergieverbrauch zu ermitteln sind, um Energieausweise für bestehende Nichtwohngebäude auf der Grundlage des erfassten Energieverbrauchs auszustellen.

Die Vergleichswerte für Wärme und Strom sind nach dieser Bekanntmachung unter Nutzung der Teilenergiekennwerte Heizung, Warmwasser, Lüftung, Beleuchtung, Kühlung und gegebenenfalls Sonstiges unter Berücksichtigung der jeweiligen Gebäudekategorie für das Gebäude individuell zu ermitteln.

Diese Systematik der Teilenergiekennwerte ermöglicht es, die Energieanteile, die sich aufgrund unterschiedlicher Energieträger und der anlagentechnischen Ausstattung beim individuellen Gebäude ergeben, gezielt auf die Vergleichswerte Wärme und Strom aufzuteilen, und dadurch eine möglichst gute Vergleichbarkeit zu erreichen.

Die angegebenen Teilenergiekennwerte für Heizung bilden einen energetischen Standard ab, der im Grundsatz einer für einen Altbau guten Energieaufwandsklasse entspricht.

Die Bereitstellung von Teilenergiekennwerten für sonstige Stromverbräuche („Sonstiges“) wird nur für Fälle angeboten, in denen der gemessene Stromverbrauch auch Energieanteile enthält, die nicht zur Energiebilanz des GEG gehören und unter der Voraussetzung, dass diese Stromanteile nicht separat erfasst werden können. Mit der Bereitstellung der Teilenergiekennwerte für sonstige Stromverbräuche soll auch unter den vorgenannten Umständen eine möglichst gute Vergleichbarkeit von Gebäuden erreicht werden.

Die Teilenergiekennwerte (TEK) für Schulen und Sporthallen werden nach der Bekanntmachung wie folgend ausgeschlüsselt:

Gebäudekategorie	TEK Heizung	TEK Warmwasser	TEK Lüftung	TEK eingebaute Beleuchtung	Kühlung			TEK Sonstiges
					TEK Kälte	TEK Hilfsenergie für Kälte	TEK Be- und Entfeuchtung	
kWh/(m <sup>2</sup> .a)								
Schulen	49,3	22,4	3,9	5,5	0,3	0,2	0,0	0,6
Sporthallen	68,6	22,0	4,6	14,3	0,2	0,2	0,0	0,1

Tabelle 5: Teilenergiekennwerte (TEK) nach der Bekanntmachung vom 15. April 2021

Die in der Tabelle 5 angegebenen Werte für Heizung beziehen sich auf eine Nettogrundfläche von 5000 m<sup>2</sup> und sind auf die tatsächliche Energiebezugsfläche des jeweiligen Gebäudes umzurechnen und dazu mit Umrechnungsfaktoren zu multiplizieren, bevor sie dem Vergleichswert Wärme zugerechnet werden.

Die Umrechnungsfaktoren werden wie folgen ermittelt:

$A_{NFG}$ bis 500 m <sup>2</sup>	$f = 1,46$
$A_{NFG}$ von 500 bis 50.000 m <sup>2</sup>	$f = 4,53 * A_{NFG}^{-0,215} + 0,27$
$A_{NFG}$ ab 50.000 m <sup>2</sup>	$f = 0,71$

Für eine Liegenschaft mit gemeinsamer Verbrauchsermittlung, in dem sich mehrere unterschiedliche Hauptnutzungen finden, wird der Vergleichswert Wärme  $e_{Vergl,h}$  wie folgend ermittelt:

$$e_{Vergl,h} = \frac{\sum_{i=1}^n e_{Vergl,h,i} * A_{NGF,i}}{A_{NGF}} \quad \text{Formel 1}$$

mit:

- $e_{Vergl,h,i}$  Vergleichswert Wärme für die Gebäudekategorie i in kWh/(m<sup>2</sup>·a);
- $A_{NGF,i}$  Anteil der Energiebezugsfläche, der der Gebäudekategorie i zuzuteilen ist, in m<sup>2</sup>;
- $A_{NGF}$  gesamte Energiebezugsfläche des Gebäudes (hier die Liegenschaft) in m<sup>2</sup>.

Der Vergleichswert Strom wird entsprechend ermittelt.

Um diese Formel anwenden zu können, muss der jeweilige Flächenanteil dabei mindestens 20 % der Energiebezugsfläche des Gebäudes (hier die Liegenschaft) betragen.

In den einzelnen Gebäuden befinden sich keine Wärmemengenzähler oder Stromuntermähler. Eine Verbrauchserfassung jedes einzelnen Gebäudes ist in der aktuellen Situation nicht möglich. Die Flächennutzung in der Liegenschaft wird in der folgenden Tabelle verdeutlicht:

Kategorie	Conject-Nr.	NGF m <sup>2</sup>	Anteil	Anteil nach Nutzung
Schulen	027-01-Schule	5463,27	48%	88%
	028-01-Schule	4557,01	40%	
Sporthallen	027-02-Sporthalle	734,78	6%	12%
	028-02-Sporthalle	691,28	6%	
Summe		11.446,34	100%	100%

Tabelle 6: Flächenteilung nach Nutzung

Der Flächenanteil für die Nutzung als Sporthalle ist kleiner als 20% der gesamten Nettogrundfläche. Demzufolge kann der Vergleichswert für Wärme nicht nach der Formel 1 berechnet werden.

Um den Vergleich trotzdem zu ermöglichen, werden die Vergleichswerte für die gesamte Liegenschaft nach der Formel 1 berechnet.

Da nur in dem Schulgebäude 028-01 (45% Flächenanteil der Schulnutzung) Warmwasser dezentral über elektrischen Durchlauferhitzer bereitgestellt wird, wurde mit der Formel 1 der TEK Vergleichswert für Warmwasser für die Schulnutzung ermittelt. Der TEK Vergleichswert für Warmwasser 10,2 kWh/(m<sup>2</sup>.a)

Für die Schulnutzung mit 10.020,28 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche ergeben sich nach den Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand folgende Vergleichswerte:

Gebäudekategorie: Schulen	TEK aus Tabelle 5 kWh/(m <sup>2</sup> .a)	Umrechnungsfaktor f soweit erforderlich	Ergebnis TEK für das Gebäude kWh/(m <sup>2</sup> .a)	TEK zugerechnet zu Wärme oder Strom
TEK Heizung	49,3	f= 0,89 für A <sub>NGF</sub> von 500 bis 50.000 m <sup>2</sup>	44,1	Wärme
TEK Warmwasser	10,2	f=0,9 für dezentrales WW	9,2	Strom
TEK Lüftung	3,9		nicht vorhanden	Strom
TEK eingebaute Beleuchtung	5,5		5,5	Strom
TEK Kälte	0,3		nicht vorhanden	Strom
TEK Sonstiges	0,6	+ 2,0 für Aufzug	2,6	Strom
Vergleichswert Wärme	Summe aus TEK Heizung, Kälte und Be- und Entfeuchtung			44,1
Vergleichswert Strom	Summe aus TEK Warmwasser, Lüftung, eingebaute Beleuchtung, Sonstiges			17,3

*Tabelle 7: Teilenergiekennwerte für die Schulnutzung in der Liegenschaft*

Für die Sporthallennutzung mit 1.426,06 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche ergeben sich nach den Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte im Nichtwohngebäudebestand folgende Vergleichswerte:

Gebäudekategorie: Sporthallen	TEK aus Tabelle 5 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	Umrechnungsfaktor f soweit erforderlich	Ergebnis TEK für das Gebäude kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	TEK zugerechnet zu Wärme oder Strom
TEK Heizung	68,6	f= 1,22 für A <sub>NGF</sub> von 500 bis 50.000 m <sup>2</sup>	83,7	Wärme
TEK Warmwasser	22,0		nicht vorhanden	Strom
TEK Lüftung	4,6		4,6	Strom
TEK eingebaute Beleuchtung	14,3		14,3	Strom
TEK Kälte	0,2		nicht vorhanden	Strom
TEK Sonstiges	0,1		0,1	Strom
Vergleichswert Wärme	Summe aus TEK Heizung, Kälte und Be- und Entfeuchtung			83,7
Vergleichswert Strom	Summe aus TEK Warmwasser, Lüftung, eingebaute Beleuchtung, Sonstiges			19

Tabelle 8: Teilenergiekennwerte für die Sporthallennutzung in der Liegenschaft

**Hinweis:**

Die Berechnung der Vergleichswerten nach Formel 1 ist für die Liegenschaft nicht anwendbar und dient nur als Orientierung. Für die gesamte Liegenschaft ergeben sich somit folgende Vergleichswerte:

Vergleichswert Wärme: 49,1 kWh/(m<sup>2</sup>·a)

Vergleichswert Strom: 17,5 kWh/(m<sup>2</sup>·a)

In der folgenden Tabelle wird der Vergleich deutlich:

Gesamte Liegenschaft	Energieverbrauchskennwerte	
	kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	
Energieträger	Ist-Kennwert	Vergleichswert
Strom	12	17,5
Wärme	134	49,1

Tabelle 9: Vergleich mit den Kennwerten auf Basis der realen Verbrauchsangaben der gesamten Liegenschaft



Abbildung 5: Vergleich mit den Kennwerten auf Basis der realen Verbrauchsangaben der gesamten Liegenschaft

### 2.3.2 Emissionen

Für die emissionstechnische Bewertung der Energieverbräuche des Gebäudes werden die CO<sub>2</sub>-Faktoren nach GEG verwendet. Es wurden die Emissionen zu dem durchschnittlichen Energieverbrauch errechnet.

Energieträger	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor [g/kWh]	Energie-verbrauch [kWh/a]	CO <sub>2</sub> -Emissionen [kg/a]
Erdgas	240	8.423	2.022
Fernwärme	300	1.289.786	386.936
Strom	560	132.714	74.320
<b>Summe:</b>	--	<b>1.430.922</b>	<b>463.277</b>

Tabelle 10: Jährliche durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionen der gesamten Liegenschaft

### 2.3.3 Energiekosten

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden gemäß den Angaben in den Verbrauchsdaten und Lieferverträgen die nachfolgenden (brutto) Energiemischpreise (Zusammensetzung aus Grund- und Verbrauchspreis) je Energieträger angesetzt. Der Preis wurde wie folgend berechnet:

$$\text{Energiemischpreis} = \frac{\text{Gesamtkosten [€]}}{\text{Gesamtverbrauch [kWh]}} \quad \text{Formel 2}$$

Die Tabelle beinhaltet zusätzliche Energieträger, die in den Sanierungsvarianten mit neuen Wärmeerzeugern vorgeschlagen werden. Alle Kostenangaben sind Brutto-Angaben und der Preis ist ein Mischpreis aus Grund- und Arbeitspreis.

Bezeichnung	Einheit	Preis [€/Einheit]	jährl. Preissteigerung inflationsbereinigt [%]	CO <sub>2</sub> [g/Einheit]
Fernwärme	kWh	0,073	2,00	300,0
Strom Inland	kWh	0,200	2,00	560,0
Erdgas	kWh	0,058	2,00	240,0
Biomethan	kWh	0,120	2,00	140,0
Holzpellets	kg	0,260	2,00	20,0

*Tabelle 11: Bezugskosten nach Energieträger*

Für die Berechnung der dynamischen Amortisation wurden folgende Parameter, in Absprache mit dem Bezirksamt Mitte von Berlin verwendet:

kalkulatorischer Zinssatz [%]	0,01
jährliche Preissteigerung (Inflation) [%]	2,00
Steuerersparnis durch Abschreibung berücksichtigt	nein

*Tabelle 12: Globale Daten zur Ökonomie*

## 2.4 Preisermittlung für die Sanierungskosten

Sämtliche Preise für Baustoffe und Bauleistungen sind Richtpreise und wurden als Kennwerte (z. B. BKI-Tabellen 2019, Baukosten 2018, 23. Auflage), Erfahrungswerte sowie Angebotsanfragen vergleichbarer Sanierungsobjekte ermittelt. Kosten für Nebenleistungen (wie z. B. Planungsleistungen) wurden pauschal mit 15 % beaufschlagt.

### 3 Sanierungsvarianten

Für die Liegenschaft sollen Sanierungsvarianten vorgeschlagen werden. Dabei sind zwei Fälle zu betrachten: Denkmalschutz/ kein Denkmalschutz. Als Basisvariante **Worst Case** soll eine Sanierungsvariante nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) dienen.

Weiterhin ist für beide Fälle (Denkmalschutz/ kein Denkmalschutz) die **Best Case** Variante (klimaneutral und nachhaltig) zu untersuchen. Für jeden der zwei Fälle sind außerdem zwei weitere Sanierungsvorschläge zu untersuchen. So sind insgesamt 8 Sanierungsvarianten (V1- V8) zu untersuchen:

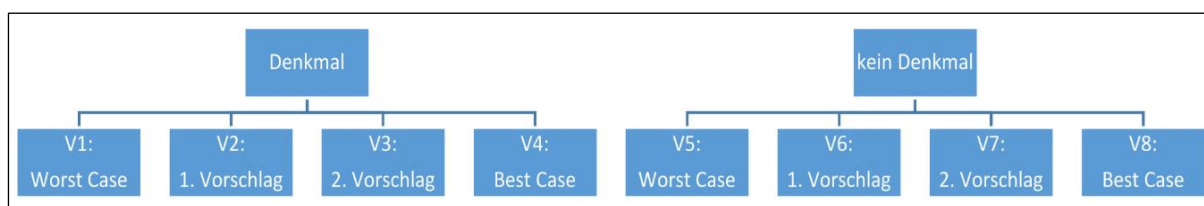


Abbildung 6: Sanierungsvorschläge pro Gebäude

Quelle: Bezirksamt Mitte von Berlin

Es sollen mindestens folgende Inhalte in dem Variantenvergleich erarbeitet werden:

- Ermittlung des Potenzials zur Installation von Photovoltaik- oder Solarthermieranlagen,
- Umstellung der Heizungsanlage auf erneuerbare Energien,
- Maßnahmen zum Erreichen des Passivhausstandards,
- extensive (Retention) und vertikale Begrünung des Daches und der Fassaden,
- Maßnahmen zur Regenwasserbewirtschaftung,
- Installation von Stromspeichersystemen,
- Nutzung nachhaltiger Dämmstoffe,
- Weitere innovative Lösungen,
- Einführung eines Umwelt- und Energiemanagementsystems.



Für die Gebäude der Liegenschaft wurden folgende Sanierungsvarianten untersucht:

Gebäude	Schule 028-01	Schule 027-01	Sporthalle 028-02	Sporthalle 027-02
Kein Denkmal	V1- GEG (worst case)	V1- GEG	V1- GEG	V1- GEG
	V2* - KfW 55	V2- KfW 40	V2- KfW 55	V2- KfW 40
	V3- Ökologisch und nachhaltig (best case)	V3- Öko.	V3- Öko.	V3- Öko.
	V4- Regenerative Versorgung	V4- Reg. Vers.	V4- Reg. Vers.	V4- Reg. Vers.
	V5- Passivhaus	V5- Passivhaus	V5- Passivhaus	V5- Passivhaus
Denkmal	V6- GEG (worst case)	V6- GEG	V6- GEG	V6- GEG
	V7- Ökologisch und nachhaltig (best case)	V7- Öko.	V7- Öko.	V7- KfW 55
	V8- Regenerative Versorgung	V8- Reg. Vers.	V8- Reg. Vers.	V8- Reg. Vers.
	V9- KfW 55	V9- KfW 55	V9- KfW 55	**

Tabelle 13: untersuchte Sanierungsvarianten

\* In der Variante V2 wird das Ziel verfolgt, mit möglichst wenig Aufwand einen KfW-Effizienzstandard, aber mindestens KfW 55, zu erreichen. In den Gebäuden, wo energetische Sanierungsmaßnahmen bereits umgesetzt wurden, konnte KfW 40 erreicht werden.

\*\* Die Sporthalle wurde bereits energetisch saniert, dabei wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Dämmung der Außenwand
- Dämmung der Kellerdecke
- Dämmung der obersten Geschossdecke
- Austausch der Fenster

Die Sporthalle 027-02 erfüllt bereits in der Ausgangssituation die Anforderungen des GEGs. Trotzdem wurde eine GEG-Variante untersucht, da die Wärmeversorgung in dem Gebäude nach der Sanierung nicht angepasst wurde. Es wurde kein hydraulischer Abgleich durchgeführt und einige Thermostatventile sind defekt und müssen ausgetauscht werden.

Da bereits Dämmung an der Gebäudehülle angebracht wurde, bezieht sich die (*best case*) Variante auf die Optimierung der Anlagentechnik, Gebäudeautomation und Bauwerksbegrünung.

In dem Denkmalszenario sind diese Maßnahmen (außer Bauwerksbegrünung) in der KfW 55 Variante bereits erhalten. Somit hat das Gebäude nur 8 Sanierungsvarianten.

### 3.1 Erfüllung der GEG Anforderungen

Laut GEG § 48 Anforderungen an ein bestehendes Gebäude bei Änderung:

„Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen eines Gebäudes Außenbauteile im Sinne der Anlage 7 erneuert, ersetzt oder erstmalig eingebaut werden, sind diese Maßnahmen so auszuführen, dass die betroffenen Flächen des Außenbauteils die Wärmedurchgangskoeffizienten der Anlage 7 nicht überschreiten.“

Ausgewählte Bauteile mit den Anforderungen sind in der folgenden Tabelle aufgelistet:

Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenbauteilen	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur $\geq 19\text{ °C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Raum-Solltemperatur von $12\text{ bis } < 19\text{ °C}$
	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\max}$	
Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich abgrenzen	0,30	Keine Anforderung
Decken, die beheizte Räume nach unten zu unbeheizten Räumen abgrenzen	0,30	Keine Anforderung
Wände, die an Erdreich abgrenzen	0,30	Keine Anforderung
Außenwände	0,24	0,35
Wände, die an unbeheizte Räume grenzen	0,30	Keine Anforderung
Wände und Abseiten gegen unbeheizten Dachraum	0,24	0,35
Decke nach unten gegen Außenluft	0,24	0,35
Oberste Geschossdecken	0,24	0,35
Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben	0,24	0,35
Gegen Außenluft abgrenzende Fenster und Fenstertüren	1,3 <sup>3</sup>	1,9 <sup>3</sup>

Tabelle 14: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Gebäuden nach GEG Anlage 7

<sup>3</sup> Die angegebenen Anforderungswerte des GEG beziehen sich auf den Ersatz oder erstmaligen Einbau des gesamten Fensters. Für Dachflächenfenster, Glasdächer, Vorhangfassaden, Fenstertüren und Außentüren gelten andere Grenzwerte. Wird lediglich die Verglasung getauscht sind ebenfalls andere Anforderungen einzuhalten.

Die Anforderungen des § 48 gelten bei dem geänderten Nichtwohngebäude insgesamt als erfüllt, wenn:

- den Jahres-Primärenergiebedarf den auf die Nettogrundfläche bezogenen Wert des Jahres-Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes<sup>4</sup>, um nicht mehr als 40 Prozent überschreitet und
- dass auf eine Nachkommastelle gerundete 1,25fache der Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche gemäß der Anlage 3 um nicht mehr als 40 Prozent überschreitet.

Die Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (Nichtwohngebäude) nach Anlage 3, für Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall  $\geq 19$  °C, sind wie folgend:

<b>Bauteile</b>	<b>Höchstwerte der Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach GEG Anlage 3</b>	<b>Soll-Wert zur Erfüllung der Anforderungen GEG § 48 und § 50 (1,25Fach + 40%)</b>
Opake Außenbauteile	$\bar{U} = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Transparente Außenbauteile	$\bar{U} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Vorhangfassade	$\bar{U} = 1,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 2,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	$\bar{U} = 2,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\bar{U} = 4,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Tabelle 15: Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten (Nichtwohngebäude)

<sup>4</sup> Das Referenzgebäude hat die gleiche Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung, einschließlich der Anordnung der Nutzungseinheiten, wie das geänderte Gebäude aufweist und der technischen Referenzausführung der Anlage 2 (GEG) entspricht

## 3.2 KfW-Anforderungen

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“.

Bei der Sanierung von Nichtwohngebäuden gelten folgende energetische Standards:

Energetischer Standard	Jahresprimärenergiebedarf ( $Q_P$ ) in % des Referenzgebäudes nach GEG	Ü-Werte in $W/m^2K$ (normal beheizte Zonen $\geq 19^\circ C$ )		
		opake Bauteile	transparente Bauteile/ Vorhangfassaden	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln
Effizienzgebäude Denkmal	160%	-	-	-
Effizienzgebäude 100	100%	0,34	1,8	3,0
Effizienzgebäude 70	70%	0,26	1,4	2,4
Effizienzgebäude 55	55%	0,22	1,2	2,0
Effizienzgebäude 40	40%	0,18	1,0	1,6

*Tabelle 16: KfW-Effizienzhaus-Standards*

Durch Erreichung einen energetischen Standard, können Zuschüsse oder Kredit-Angebote der KfW in Anspruch genommen werden.

Wie hoch der Zuschuss ist, hängt davon ab, wie energieeffizient das Gebäude ist und wie hoch die förderfähigen Kosten sind (siehe 15.2.2).

## 4 Gebäudeautomation und Energiemanagement

### 4.1 Gebäudeautomation

Für die Gebäudeautomation wurden für die Berechnung zwei Szenarien berücksichtigt:

**a. Szenario: Wärmeübergabe über Heizkörper in Kombination mit Fensterlüftung**

Hier wird vor allem die Heizung automatisiert. So werden die Fenster und die Thermostatventile mit Datenpunkte bzw. Sensoren ausgestattet. Die Thermostatventile werden durch digitale Thermostatventile mit Optimierungsfunktion ersetzt. Die Automation hat das Ziel, die Raumtemperatur innerhalb der Nutzungszeiten zu regulieren und außerhalb der Nutzungszeiten automatisch zu senken. Durch die Sensoren an den Fenstern sollen die Thermostatventile automatisch schließen, wenn die Fenster offen sind.

Dieses Szenario wird in den folgenden Varianten (Denkmal und kein Denkmal) mitberücksichtigt:

- V1- GEG (*worst case*)
- V2- KfW 55 bzw. KfW 40
- V3- Ökologisch und nachhaltig (*best case*)
- V4- Regenerative Versorgung

**b. Szenario: Wärmeübergabe über Heizdecken in Kombination mit zentraler mechanischer Lüftung mit Wärmerückgewinnung**

Hier werden die Heizung und die zentrale Lüftung automatisiert. So werden die Fenster und die Regelung für die Deckenheizung mit Datenpunkte bzw. Sensoren ausgestattet. Sensoren für Lufttemperatur und CO<sub>2</sub> Gehalt werden an den Lufteinlässe und Luftauslässe angebracht.

Die Automation hat das Ziel, die Raumtemperatur und Luftqualität innerhalb der Nutzungszeiten zu regulieren.

Dieses Szenario wird in der V5- Passivhaus Variante (kein Denkmal) mitberücksichtigt.

Für die Schätzung der Investitionskosten wurden die *„Hinweise für Planung, Ausführung und Betrieb der Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden - Gebäudeautomation 2019“* vom Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat und AMEV (Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik staatlicher und kommunaler Verwaltungen) und der *„Leitfaden zur Gebäudeautomation in öffentlichen Gebäuden zur energetischen Optimierung und Effizienzsteigerung gebäudetechnischer Anlagen“* von der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (SenStadtWohn) und der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW Berlin) berücksichtigt.

Die grobe Kostenprognosen wurden anhand von Kennwerten durchgeführt. Die nachstehende Tabelle enthält die Kostenannahmen für die Berechnung. Die Annahmen basieren auf Erfahrungswerte für die spezifischen Kosten je Datenpunkt für die wichtigsten Gebäudeautomation-Bestandteile. Die Kennwerte enthalten die benötigte Hardware, Software/Lizenzen, Dienstleistungen (z. B. Generierung, Parametrierung der Datenpunkte durch Gebäudeautomation-Firma) und Nebenleistungen nach

VOB/C DIN 18386. Die Baunebenkosten nach DIN 276 Kostengruppe 700 mit den Honoraren für Ingenieurleistungen der Gebäudeautomation-Planer und Gewerkeplaner sind nicht enthalten.

<b>A.</b>	<b>Komplette GA-Systeme</b>	<b>Brutto-Einheitspreise [€] je Hardwaredatenpunkt</b>
A.1	Hardware, Software/Lizenzen, Dienstleistungen, besondere Leistungen	330
<b>B.</b>	<b>Management/Bedienung</b>	
B.1	Server, Bedienplatz, Drucker, Software/Lizenzen, Datenpunkte generieren/ parametrieren, Grafikbilder, Inbetriebnahme, Funktionsprüfung	60
<b>C.</b>	<b>Automation (Hardware, Software/Lizenzen, Dienstleistungen, besondere Leistungen mit zugehörigen Feldgeräten, Schaltschränken und Anbindungen)</b>	
C.1	Automationsstation für Anlagenautomation	250
C.2	Automationsstation für Raumautomation	300
<b>D.</b>	<b>Übertragungsnetze</b>	
D.1	Installation neuer Übertragungsnetze in mittelgroßen Gebäuden	15
D.2	Aufschaltung auf vorhandene, gebäudeübergreifende Übertragungsnetze innerhalb von Liegenschaften	30
<b>E.</b>	<b>Aufschaltung von Systemen mit anderen Protokollen (Hardware, Software, Lizenzen, Dienstleistungen, besondere Leistungen)</b>	
E.1	Aufschaltung	20

Tabelle 17: Annahmen für die spezifischen Kosten je Datenpunkt

## 4.2 Energiemanagement

Im Rahmen des Projekts soll die Einführung eines Umwelt- und Energiemanagementsystems betrachtet werden. Dabei soll das aktuelle Zählerkonzept erweitert werden.

Im Bestand sind vor allem Analogzähler verbaut. Die schon installierten Analogzähler ohne Impulsaufsatz sollten um diesen erweitert werden, um Verbräuche ohne händische Ablesung zu digitalisieren.

Für jedes Gebäude (sofern dies aufgrund der Art der Nutzung und Größe zielführend ist) und jede Nutzungsart sollten die Verbräuche separat erfasst werden. Damit werden hinreichend viele Zähler installiert, um die großen Verbräuche zuzuordnen, ohne dabei in zu viele Zähler investieren zu müssen. Dort wo noch keine Zähler verbaut sind, erscheint der Einsatz von elektronischen Zähleinrichtungen auf Impulsebene oder auf Bus-Ebene als standardisiertes Protokoll sinnvoll.

Die einzelnen Energieträger können mit folgenden elektronischen Zähleinrichtungen erfasst werden:

- Stromverbrauch über REG-Elektrozähler (REG = Reiheneinbaugerät) auf Hutschiene mit Unterstützung von Stromwandlern, die in der Elektroversorgung ab der Niederspannungshauptverteilung (NSHV) in jede nachfolgende Unterverteilung integriert werden.
- Fernwärme über Wärmemengenzähler (WMZ), die hydraulisch in die einzelnen Heizkreise der Wärmeversorgung eingebunden werden.
- Wasserverbrauch über Wasserzähler mit Impulsausgang als Signalgröße.

Mithilfe von Schnittstellen zur Gebäudeleittechnik sowie sämtlichen Verbrauchern und Erzeugern, können Energieströme erfasst, aufbereitet und ausgewertet werden. Zudem sollte ein prozessorientierter Ansatz gelten, d. h. stetig zu hinterfragen und zu verbessern.

Die Preise für die Anschaffung und Installation der Verbrauchszähler zur Erfassung der Wärme-, Strom- und Wasserverbräuche variieren je nach Größe der Rohrdimensionen bzw. Gebäudegrößen zwischen 500 und 3.000 Euro (Brutto) plus Einbaukosten.

Mithilfe von einem Datenmanagementsystem können Energieströme erfasst, aufbereitet und ausgewertet werden. Die Kostenschätzung für das Energiemanagementsystem berücksichtigt die Messpunkte, Einrichtung und Lizenzgebühr für ein Jahr.

Die Anschaffungskosten für die Erweiterung des Zählerkonzeptes und die Anbindung an einem Energiemanagementsystem (Hard- und Software sowie der Installation) werden mit ca. 14.000 Euro (Brutto) geschätzt.

Die nachstehende Tabelle zeigt welche Unterzähler notwendig sind, um die Verbräuche gebäudescharf auszuwerten.

Gebäude	Medium	Strom		Wärme		Wasser		Gas	
	Zählerart	Bestand	Neu	Bestand	Neu	Bestand	Neu	Bestand	Neu
Schule 027-01	Hauptzähler (vom Versorger)	1		2		1			
	Untierzähler						1		
Schule 028-01	Hauptzähler (vom Versorger)					1		1	
	Untierzähler		1		1				
Sporthalle 027-02	Hauptzähler (vom Versorger)								
	Untierzähler		1		1				
Sporthalle 028-02	Hauptzähler (vom Versorger)					1		1	
	Untierzähler		1		1				
<b>Summe neuen Zähler</b>			<b>3</b>		<b>3</b>		<b>1</b>		

Tabelle 18: Vorschlag zur Erweiterung des Zählerkonzepts

Das Energiemanagementsystem umfasst die gesamte Liegenschaft. Für die Berechnung werden pauschal pro Gebäude 7.000 Euro (Brutto) Investitionskosten für das Energiemanagement beaufschlagt.



## 5 Bauwerksbegrünung

### 5.1 Fassadenbegrünung

Die Fassadenbegrünung dient der Verbesserung des Mikroklimas durch Beschattung, Wasserrückhalt, Verdunstung und Bindung und Filterung von Staub und Luftschadstoffen.

Werden immergrüne Pflanzen ausgewählt, hat die Fassadenbegrünung im Winter eine dämmende Funktion.

Im Sommer schützt die Begrünung die Fassade vor intensiver Sonneneinstrahlung und hat dadurch einen angenehmen Kühleffekt.

Der Schutz gegen UV-Strahlen, Hagel, starke Temperaturschwankungen, Schadstoffe und Schmutz trägt zur Gebäudeerhaltung bei.

Die Begrünung wertet das Gebäude optisch auf und ermöglicht eine ästhetische Gestaltung einer sonst unscheinbaren Fassade.

Für die Liegenschaft wurde eine bodengebundene Fassadenbegrünung (Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen) mit Kletter-/ Rankhilfe als Seil-/ Stabkonstruktion aus Stahl berücksichtigt.

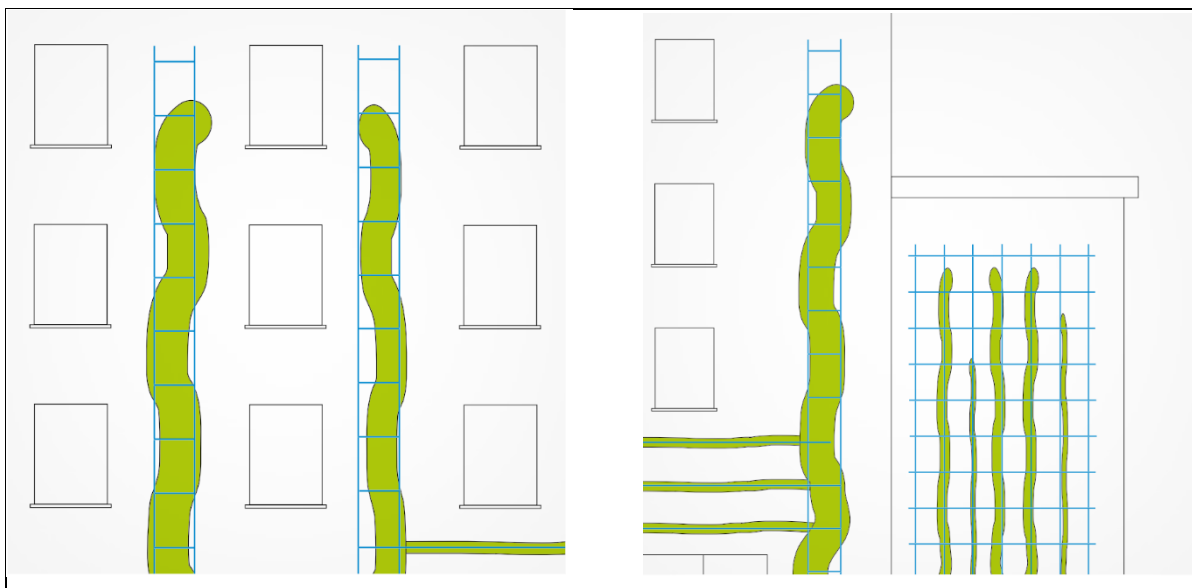


Abbildung 7: Schematische Darstellung der berücksichtigten Fassadenbegrünung

Quelle: Begrünung Greenery, Carl Stahl Architektur

Die nachstehende Tabelle fasst die Anforderungen bzw. Eigenschaften der berücksichtigten Fassadenbegrünung zusammen.

<b>Bodengebundene Begrünung</b> <b>Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen (entspr. Kletterstrategie)</b>	
Konstruktive und vegetationstechnische Entscheidungsparameter	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Ranker, Schlinger, Spreizklimmer, spalierbare Gehölze</li> <li>– Kletterhilfe/Spalier erforderlich (Stäbe, Seile, Gitter, Netze)</li> <li>– Verwurzelung in Bodenfläche/ Mit Oberboden- und Bodenwasseranschluss</li> <li>– Flächenwirkung in 3-12 Jahren</li> <li>– Gestaltungsspielraum</li> </ul>
Bautechnische Anforderungen	Wasserversorgungsanlage standortbezogen, bei Bedarf
Eignung für folgende Wandausbildungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Massive einschalige Konstruktionen</li> <li>– Holzkonstruktionen vollflächig bekleidet oder ausgefacht, bedingt</li> <li>– Metallkonstruktionen freistehend oder ausgefacht</li> <li>– Vorsatzschalen, bedingt</li> <li>– Vorgehängte hinterlüftete Fassade (VHF), bedingt</li> <li>– Wärmedämm-Verbundsysteme (WDVS)</li> <li>– Luftkollektor-Fassaden</li> </ul>
Wirtschaftliche Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Investitionsaufwand gering bis hoch</li> <li>– Pflegeaufwand mittel, zunehmend</li> <li>– Wartungs- und Instandhaltungsaufwand gering</li> </ul>
Ökologische Potenziale	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Verschattung - Ganzjährige energetische</li> <li>– Mögliche Artenvielfalt am Standort – gering</li> <li>– Mikroklimatische Relevanz ab 3 Jahren</li> </ul>

*Tabelle 19: Fassadenbegrünung - Leitbarer Bewuchs mit Gerüstkletterpflanzen*

*Quelle: Grüne Innovation Fassadenbegrünung, Fachverband Bauwerksbegrünung e.V. (FBB)*

Bei der Auswahl der geeigneten Fassadenflächen wurden die straßengewandten Fassaden nicht berücksichtigt. Da die vorgeschlagene Bepflanzung Verwurzelung in Bodenfläche (Beet artig) und einen Oberboden- und Bodenwasseranschluss braucht, würde bei einer Begrünung der straßengewandten Fassaden in die öffentliche Fläche (hier der Fußweg) angegriffen werden müssen.

Die Fassadenbegrünung wurde in dem (kein Denkmal-Szenario) bei der Variante V3- ökologisch und nachhaltig (best case) berücksichtigt.

Die nachstehende Tabelle zeigt die ausgesuchten Flächen für die Begrünung pro Gebäude.

<b>Gebäude</b>	<b>Ausrichtung</b>	<b>Fläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Kosten [€] Brutto</b>
Schule 027-01	Südost	340,0	17.795
	Südwest	150,0	
Schule 028-01	Südost	108,4	27.430
	Südwest	209,5	
Sporthalle 027-02	Südwest	143,0	10.550
	Nordwest	45,5	
Sporthalle 028-02	Südost	102,6	5.745
<b>Summe</b>			<b>61.520</b>

*Tabelle 20: Kostenschätzung Fassadenbegrünung*

## 5.2 Dachbegrünung

Dachbegrünungen sind in Abhängigkeit von der Nutzung, den bautechnischen Gegebenheiten und der Bauweise in drei Begrünungsarten zu unterscheiden. Die Art bestimmt jeweils die entsprechende Pflanzenauswahl und das Erscheinungsbild:

Begrünungsart	Intensivbegrünungen	Einfache Intensivbegrünungen	Extensivbegrünungen
<b>Bepflanzung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stauden</li> <li>– Gräsern</li> <li>– Blumenzwiebeln</li> <li>– Sommerblumen</li> <li>– Gehölzen</li> <li>– Rasenflächen</li> <li>– Bäumen (im Einzelfall)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Gräsern</li> <li>– Stauden</li> <li>– Gehölzen</li> </ul>	Pflanzen mit besonderer Anpassungsfähigkeit an die extremen Standortbedingungen und hoher Regenerationsfähigkeit
<b>Ausbildung</b>	– Flächig, höhendifferenziert oder punktuell	– bodendeckende Begrünungen	– bodendeckende Begrünungen
<b>Möglichkeiten der Nutzungs- und Gestaltungsvielfalt</b>	– vergleichbar mit bodengebundenen Freiräumen (bei entsprechender Ausstattung)	– im Vergleich eingeschränkt	– naturnah gestaltete Vegetationsformen
<b>Herstellungsaufwand</b>	– hoch	– niedriger	– am geringsten (im Vergleich)
<b>Pflege</b>	– nur durch eine intensive Pflege, vor allem eine regelmäßige Wasser- und Nährstoffversorgung, dauerhaft zu erhalten	– geringere Ansprüche an den Schichtaufbau sowie an die Wasser- und Nährstoffversorgung Pflegemaßnahmen sind in reduziertem Umfang erforderlich	– weitgehend sich selbst erhaltende und weiterentwickelnde Vegetationsformen

Tabelle 21: Dachbegrünungsarten

Quelle: Hamburgs Gründächer- eine Ökonomische Bewertung, Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Umwelt und Energie (BUE) 2017

Für die Sanierungsvarianten soll eine extensive (Retention) Dachbegrünung untersucht werden. Mit einem Retentions-Gründach wird, ganz im Sinne des erweiterten Hochwasserschutzes, zuerst ein großer Teil des Niederschlags auf der Dachfläche zurückgehalten und dann in einem definierten Zeitraum an die Kanalisation abgegeben. Dabei bleiben alle für das Funktionieren der Dachbegrünung

wichtigen Aspekte (Wasserspeicherung für die Pflanzen, Luft-Wasser-Haushalt im Wurzelraum etc.) erhalten.

Grundsätzlich erzielt jeder Dachbegrünungsaufbau eine Abflussverzögerung. Dabei wird, zumindest temporär, Wasser zurückgehalten. Abflussspitzen, wie sie für die Kanalisation kritisch sein können, werden wirkungsvoll gekappt. Eine Erhöhung der Wasserspeicherung im Begrünungsaufbau kann allerdings nicht beliebig gesteigert werden, da mehr Wasser auch mehr Wuchsintensität bedeutet und zu einer Vegetationsumbildung führen kann, die u. a. auch mehr Pflege verursacht.

Für die Berechnung wurde eine extensive Dachbegrünung mit Solarmodul als Systemlösung untersucht. Die geeignete Fläche für die Begrünung beträgt ca. 2.241 m<sup>2</sup>. Die Flächengewichte der Aufbauten bei Sedum-Kraut Begrünungen mit mindestens 8 cm Wurzelraum beginnen bei etwa 90 bis 130 kg/m<sup>2</sup>.



Abbildung 8: Schematischer Schnitt durch ein auflastgehaltenes Solar-Gründach

Quelle: <https://www.gebaeudegruen.info>

Bei der extensiven Dachbegrünung mit Solarmodul als Systemlösung ist die Aufständigung teurer, dafür bietet die Kombination folgende Vorteile<sup>5</sup>:

- bessere Leistung der PV-Anlage und längere Lebensdauer der Solarzellen
- 4% weniger Leistungsabfall, was eine Steigerung des Ertrags bedeutet
- Pflanzungen verursachen Verdunstungskühlung
- die Auflast der Dachbegrünung fixiert die Solarmodule
- keine Durchdringung der Dachhaut notwendig
- weniger Folgeschäden der Dachhaut
- Minderung bei den Entwässerungskosten

Die PV Module ohne Dachdurchdringung haben ein Flächengewicht von ca. 25 kg/m<sup>2</sup> ohne Ballast (ohne Wind- und Schneelasten).

Der Flächengewicht der PV Module beträgt eventuell 75 bis 80 kg/m<sup>2</sup> (mit pauschaler Berücksichtigung der Wind- und Schneelasten).

Die Kombination von Gründach und PV Modulen hat dementsprechend ein Flächengewicht von ca. 165 bis 210 kg/m<sup>2</sup> (mit pauschaler Berücksichtigung der Wind- und Schneelasten bei den PV Modulen).

Der ökonomische Wert zu der Verbesserung des Gebäudeumfeldes, der Aufwertung der Gebäudearchitektur, des Mikroklimas, der Luftschalldämmung, der Filterung von Luftschadstoffen, der Artenvielfalt und der Energieeinsparung ist schwer zu ermitteln und kann nicht pauschal berücksichtigt werden.

---

<sup>5</sup> DACHBEGRÜNUNGEN - KOSTEN UND PFLEGE, Blaurock Landschaftsarchitektur, BuGG-Gründach-Forum 19.11.2018

## 6 Ökobilanz verschiedener energetischer Standards

Für die Erstellung einer Ökobilanz für ein Gebäude werden verschiedene Parameter der einzelnen Baustoffe untersucht:

- Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP)
- Ozonbildungspotential, auch als Sommersmog bekannt (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP)
- Ozonabbaupotential (Ozone Depletion Potential, ODP)
- Überdüngungspotential (Eutrophication Potential, EP)
- Versauerungspotential (Acidification Potential, AP)
- Primärenergie erneuerbar
- Primärenergie nicht erneuerbar

Für die Bewertung müssen umfangreiche Materialdaten analysiert werden um Berechnungen zur Herstellung der gesamten Gebäudestruktur entsprechend durchzuführen. Jedes Bauteil hat unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt. Dafür wird für die Ermittlung der Daten, die Datenbank der Ökobau.dat genutzt. Die Berechnung der Ökobilanz erfolgt mit dem Online Bilanzierungstool eLCA ([www.bauteileditor.de](http://www.bauteileditor.de))

Mit der Plattform ÖKOBAUDAT stellt das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) allen Akteuren eine vereinheitlichte Datenbasis für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung.

Im Zentrum der Plattform steht die Online-Datenbank mit Ökobilanz-Datensätzen zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen. Mit Hilfe von Ökobilanzierungstools, wie dem vom BBSR bereitgestellten eLCA, kann mit der ÖKOBAUDAT\_2016-I Datenbank der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerks zusammengesetzt werden.

Für die Bilanzierung wurden Baumaterialien für die Konstruktionen ausgesucht, die möglichst identisch mit den Baukonstruktionen der energetischen Sanierungsmaßnahmen sind.

Es gibt Abweichungen, die vor allem die Bestandsbaumaterialien betreffen. Da aber die Bauteile im Bestand in der Bilanzierung nicht berücksichtigt wurden, sind die Abweichungen unrelevant.

Für den Variantenvergleich wird das Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP) als Kriterium und Vergleichsparameter bewertet. Das Treibhauspotenzial eines Gebäudes ist dessen potenzieller Beitrag zur Erwärmung der bodennahen Luftschichten, d. h. zum so genannten Treibhauseffekt. Es beschreibt in der Regel die durch Produktions- und Transportprozesse verursachte Freisetzung klimarelevanter Gase infolge von Herstellung, Errichtung und Nutzung eines Gebäudes.

Der Umweltbeitrag eines Gebäudes setzt sich dabei aus den Teilbeiträgen zusammen, die durch Energie- und Stoffströmen während der Herstellung einzelner Bauprodukte, der Summe dieser aggregiert zum Bauwerk, der Gebäudenutzung sowie des Rückbaus, der Entsorgung und dem Recycling von Baustoffen entstehen.

Die klimarelevanten Gase tragen in unterschiedlichem Maße zum Treibhauseffekt bei, so dass deren Wirkungen daher relativ bezogen auf das Treibhauspotenzial des Stoffes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), als CO<sub>2</sub>-Äquivalent angegeben werden. Je niedriger der Wert des CO<sub>2</sub>-Äquivalents ist, umso niedriger ist die

potenzielle Wirkung auf die globale Erwärmung und die damit verbundenen unerwünschten Umweltschäden.

Die quantitative Bewertung des Treibhauspotenzials wird als GWP in  $[\text{kgCO}_2\text{-Äqu.}/(\text{m}^2_{\text{NGFa}} \cdot \text{a})]$  angegeben.

Bewertet wird über den gesamten Lebenszyklus (50 Jahre) nur die Baukostengruppe KG300 und nur die Bauteile, die von den Sanierungsmaßnahmen betroffen sind.

Das Treibhauspotenzial über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt die Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung der Baustoffe (KG 300). Die Bauteile im Bestand wurden nicht berücksichtigt. Die folgende Tabelle zeigt die Lebenszyklusphasen:

Lebenszyklusphasen			Module gemäß DIN EN 15978
A1-A3	Herstellungsphase	Rohstoffbeschaffung	A1
		Transport	A2
		Produktion	A3
A4-A5	Errichtungsphase	Transport	A4
		Errichtung/Einbau	A5
B1-B7	Nutzungsphase	Nutzung	B1
		Instandhaltung	B2
		Instandsetzung	B3
		Austausch	B4
		Modernisierung	B5
		Energieverbrauch im Betrieb	B6
		Wasserverbrauch im Betrieb	B7
C1-C4	Ende des Lebenszyklus	Rückbau / Abriss	C1
		Transport	C2
		Abfallverwertung	C3
		Entsorgung	C4
D	Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenze	Potenzial für Wiederverwendung	D
		Rückgewinnung und Recycling	

Tabelle 22: Lebenszyklusphasen

Der Vergleich basiert allein auf den Ökobilanz-Daten und berücksichtigt weder Schadstoff- und Umweltbelastungen etwa durch Mikroplastik noch materialtypische Unterschiede wie Brennbarkeit, Feuchteresistenz oder Belastbarkeit.

Die Maßnahmen zur Bauwerksbegrünung (Dach- und Fassadenbegrünung) wurden bei der Bilanzierung nicht berücksichtigt, da nur die Baumaterialien aber nicht die Auswirkung durch die Bepflanzung bilanziert werden.

Für die ökologische und nachhaltige Variante (*best case*) wurden möglichst Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen oder aus recycelten Materialien verwendet. Die folgende Tabelle zeigt das Treibhauspotential verschiedener Dämmstoffe. Detaillierte Angaben zu den Baustoffen und deren Datensätze in der Datenbank (ÖKOBAUDAT\_2016-I) sind im Anhang unter 16.4 zu finden.

Da die Dämmstoffe unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit haben, wird für eine 100 m<sup>2</sup> Außenwand aus Mauerziegel mit einer Stärke von 60 cm und einem U-Wert von 1,05  $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$  das Treibhauspotential



verschiedenen Dämmstoffen, um den U-Wert von 0,2 [W/(m<sup>2</sup>K)] zu erreichen, verglichen. Die folgende Tabelle zeigt das Treibhauspotential der verschiedenen Dämmstoffe für einen Bilanzierungszeitraum von 50 Jahren. Die Berechnung basiert auf die Angaben der (ÖKOBAUDAT\_2016-I) Datenbank.

Material	Nutzungsdauer nach BNB [a]	Indikator	Einheit	Herstellung [m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]	Entsorgung [m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]	Instandhaltung [m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]	Gesamt [m <sup>2</sup> <sub>NGFA</sub> ]
EPS Hartschaum 14 cm	40	Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	0,01666	0,02106	0,03772	0,07543
Holzfaserdämmplatten 16 cm	40			-0,05248	0,08675	0,03427	0,06854
Mineralwolle 14 cm <i>Steinwolle im mittleren Rohdichtebereich</i>	50			0,02314	0,00207	0,00000	0,02521
XPS-Dämmstoff 14 cm	40			0,02713	0,03023	0,05737	0,11473
Zellulosefaserplatten 17 cm	40			0,00245	0,00047	0,00170	0,00340
Schaumglasplatten 15 cm	50			0,03780	0,00041	0,00000	0,03821

Tabelle 23: Treibhauspotential der Dämmstoffe, um einen U-Wert von 0,2 bei einer Außenwand zu erreichen

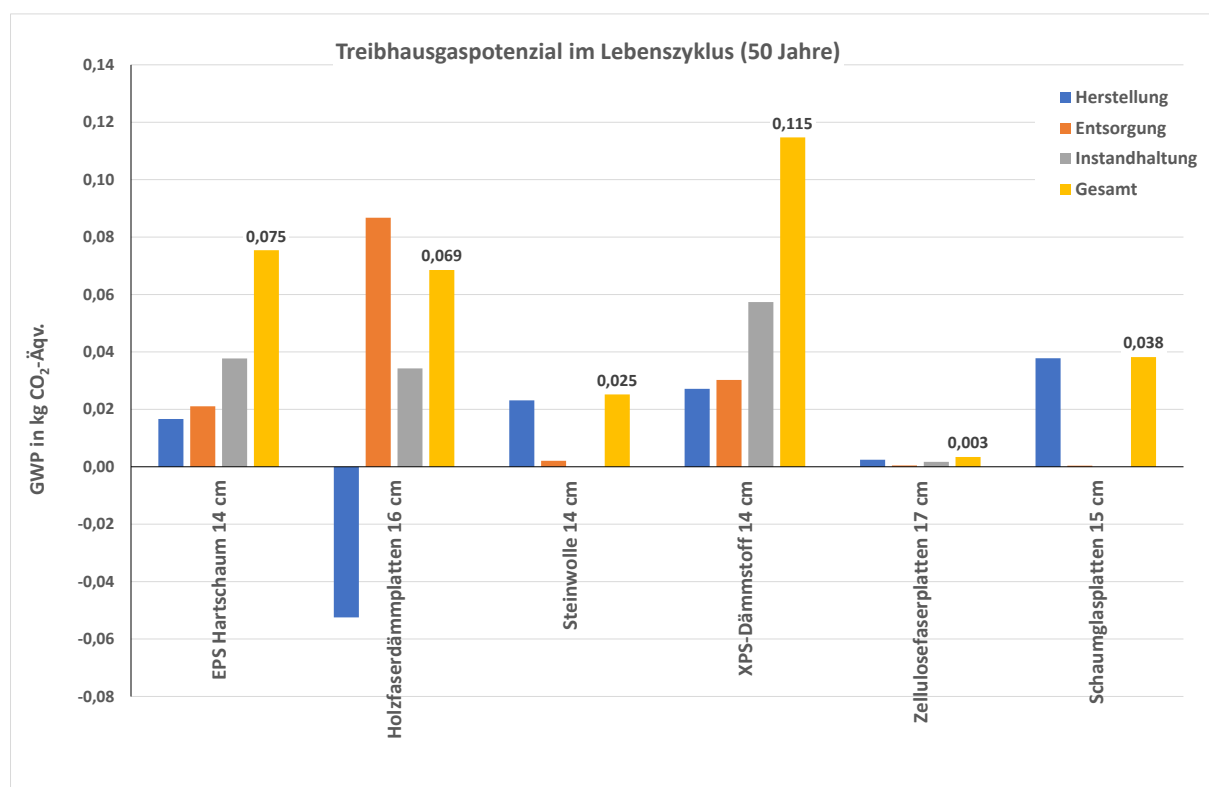


Abbildung 9: Treibhauspotential der Dämmstoffe, um einen U-Wert von 0,2 bei einer Außenwand zu erreichen

Für die (best case) Variante werden Zellulosefaserplatten (Thermofloc – Zellulosedämmung boratfrei) für die Dämmung verwendet.

Für die erdberührten Bauteile werden Schaumglasplatten für die Dämmung verwendet. FOAMGLAS® ist ein Wärmedämmstoff aus aufgeschäumtem Glas für den Hochbau sowie für betriebstechnische Anlagen. Aus ihm werden maßhaltige Platten, Boards, Rohrschalen, Segmente und andere Spezialelemente gefertigt. Die Platten bzw. Elemente werden vorwiegend aus hochwertigem Recyclingglas (z.B. Windschutzscheiben) sowie mineralischen Grundstoffen, wie Sand, ohne Einsatz von Bindemitteln hergestellt.

Bei der Auswahl der Materialien wird u.a. nicht nur auf die Qualität (Zustand) und Herkunft, sondern insbesondere auf die Rückführbarkeit (Möglichkeit zur Wiederverwendung, Recyclingfähigkeit) geachtet.

Bei der (best case) Variante werden Baukonstruktionen vorgeschlagen, die nach Ende der Nutzungsdauer, ähnlich wie im zirkulären Bau, eine sortenreine Trennung der Baustoffe ermöglicht.

Im zirkulären Bau wird angestrebt, dass so wenig wie möglich Umweltbelastung mit der Herstellung eines Gebäudes verbunden ist und darüber hinaus, dass in der Zukunft, wenn das Gebäude nicht mehr genutzt wird, Baustoffe für ein weiteres Projekt zur Verfügung stehen.

#### **Hinweis:**

Die Ökobilanz ist **rein informativ** und bezieht sich nur auf die Baukostengruppe KG300 und nur die Bauteile, die von den Sanierungsmaßnahmen betroffen sind.

Die berechneten Treibhauspotenziale werden weder in der energetischen Bilanzierung noch bei der Berechnung der Klimaschadenkosten berücksichtigt.

## 6.1 Schule 027-01

Die verwendeten Baumaterialien sowie die Baukonstruktionen sind im Anhang unter 16.2.1 *Schule 027-01* zu finden.

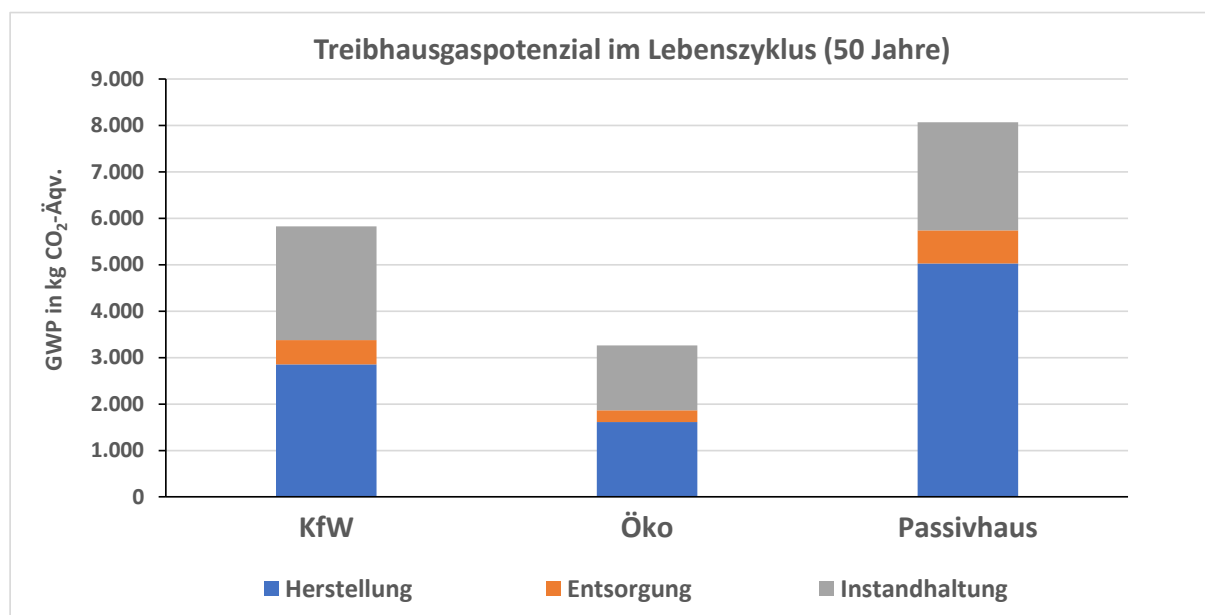


Abbildung 10: Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Schule 027-01)

## 6.2 Schule 028-01

Die verwendeten Baumaterialien sowie die Baukonstruktionen sind im Anhang unter 16.2.2 *Schule 028-01* zu finden.

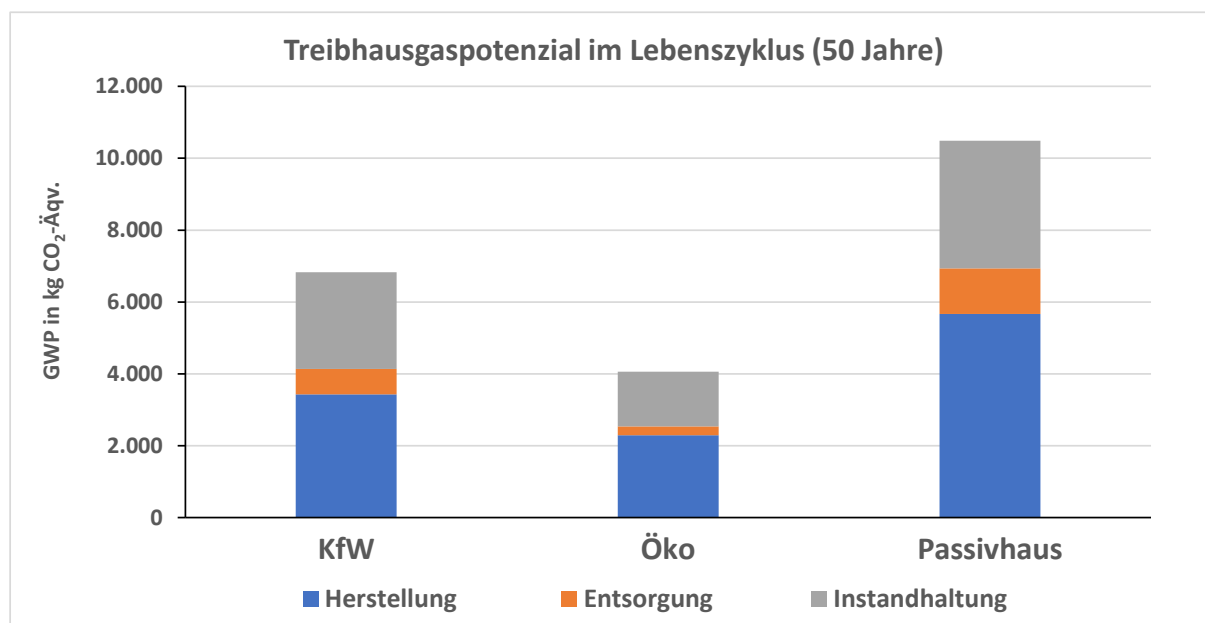


Abbildung 11: Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Schule 028-01)

### 6.3 Sporthalle 027-02

Die verwendeten Baumaterialien sowie die Baukonstruktionen sind im Anhang unter 16.2.3 *Sporthalle 027-02* zu finden.

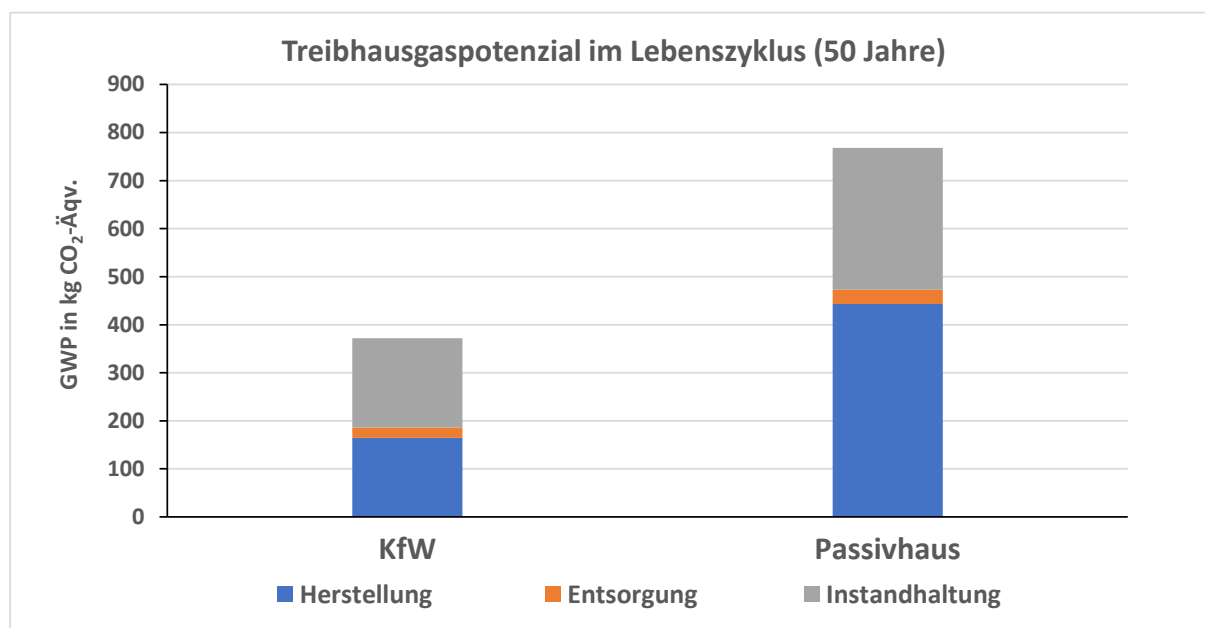


Abbildung 12: Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Sporthalle 027-02)

### 6.4 Sporthalle 028-02

Die verwendeten Baumaterialien sowie die Baukonstruktionen sind im Anhang unter 16.2.4 *Sporthalle 028-02* zu finden.

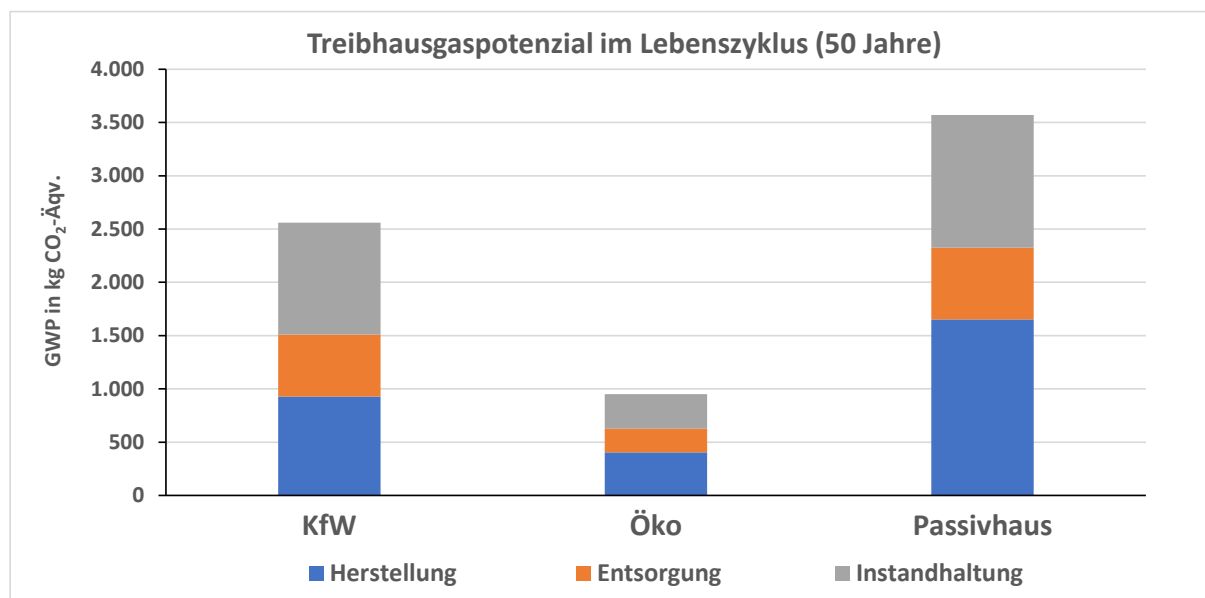


Abbildung 13: Treibhausgaspotenzial ausgewählten Varianten (Sporthalle 028-02)

## 6.5 Gesamte Liegenschaft

Wenn für die gesamte Liegenschaft die gleiche Variante umgesetzt würde, ergibt sich für die gesamte Liegenschaft über den Lebenszyklus (50 Jahre) für die Baukostengruppe KG300 folgendes Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP).

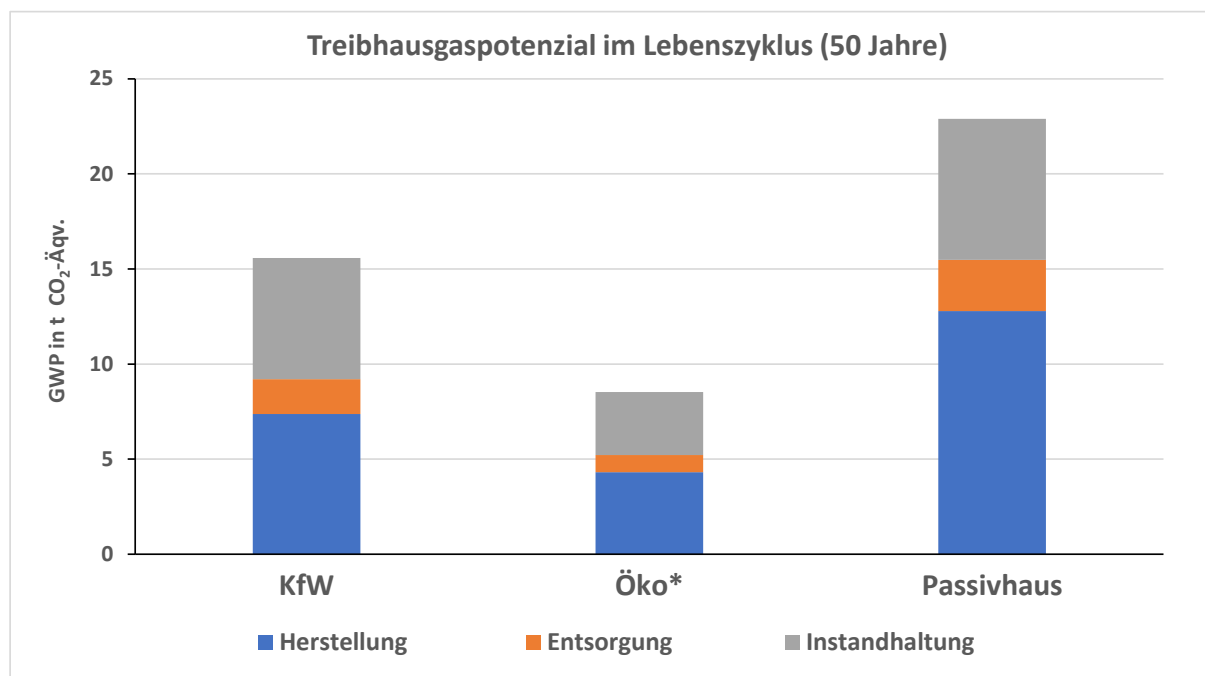


Abbildung 14: Treibhausgaspotenzial für die gesamte Liegenschaft

\* In der Öko-Variante ist die Sporthalle 027-02 nicht enthalten, da die Sporthalle bereits energetisch saniert wurde.

Die ökologische Variante (*best case*) ist hier deutlich die beste Variante über den Lebenszyklus von 50 Jahren.

## 7 Photovoltaikanlage

Die Liegenschaft soll auf die Eignung für die Nutzung einer Photovoltaik-Anlage auf den Dachflächen untersucht werden. Betrachtet werden die Gebäude im derzeitigen Zustand und in den möglichen Sanierungsvarianten ökologische Sanierung sowie im Passivhaus-Standard. Die Verbrauchsdaten des Gebäudekomplexes im Ist-Zustand sind den Verbrauchsabrechnungen von 2017 – 2019 entnommen, die Verbrauchsdaten für die Sanierungsvarianten sind berechnet.

In

Tabelle 24 sind die untersuchten Varianten und die Verteilung der Versorgung auf die jeweiligen Energieträger dargestellt. Im unsanierten Zustand sowie in den Varianten ökologischer Sanierung erfolgt die Wärmeversorgung der Gebäude über Fernwärme. Nach angenommener energetischer Sanierung der Schulgebäude gemäß Passiv-Haus-Standard erfolgt die Wärmeversorgung durch elektrische Luft-Wärmepumpen und Solarthermie. Für die Stromversorgung wird eine Kombination aus Netzbezug und PV-Erzeugung am Standort sowie elektrischer Batteriespeicher untersucht.

Technologiematrix		Wärme			Strom			
Nr.	Varianten	Fernwärme	Wärmepumpe	Sol. Thermie	PV	Netzbezug		
V0	Istzustand	1.268 MWh/a	100%	-	-	133 MWh/a	-	100%
V1.1	unsaniert FW + PV100		100%	-	-		33%	67%
V1.2	unsaniert FW + PV100 + Batterie		100%	-	-		40%	60%
V1.3	unsaniert FW + PV123		100%	-	-		36%	64%
V1.4	unsaniert FW + PV123 + Batterie		100%	-	-		43%	57%
V5.1	Passiv WP + PV100 + Sol. Thermie	225 MWh/a	-	89%	11%	189 MWh/a	17%	83%
V5.2	Passiv WP + PV100 + Sol. Thermie		-	89%	11%		17%	83%
V5.3	Passiv WP + PV100 + Sol. Thermie + Batterie		-	89%	11%		22%	78%
V5.4	Passiv WP + PV123 + Sol. Thermie		-	89%	11%		19%	81%
V4.4	Passiv WP + PV123 + Sol. Thermie + Batterie		-	89%	11%		24%	76%
V3	Öko FW	692 MWh/a	96%	-	4%	74 MWh/a	-	100%
V3.1	Öko FW + PV100		96%	-	4%		40%	60%
V3.2	Öko FW + PV100 + Batterie		96%	-	4%		40%	60%
V3.3	Öko FW + PV123		96%	-	4%		36%	64%
V3.4	Öko FW + PV123 + Batterie		96%	-	4%		43%	57%

Tabelle 24: Übersicht über die untersuchten Versorgungsvarianten und Energiebezugsquellen

In allen Sanierungs-Varianten werden PV-Anlagen mit 99,9 kW<sub>p</sub> und 123,4 kW<sub>p</sub> (Maximalbelegung der Dachflächen) sowohl mit als auch ohne elektrischen Batteriespeicher miteinander verglichen.

Die Verteilung der PV-Module auf die Gebäudedächer ist nicht gleichmäßig erfolgt (Abbildung 15). Wegen der hohen zu erwartenden Verschattungsverluste sind auf dem Dach der Sporthalle 027-02 keine PV-Module vorgesehen (Abbildung 16). Um die Einflüsse der Verschattungsverluste zu

verdeutlichen, ist in Variante V3.2 auch das Dach der Sporthalle 027-02 mit PV-Modulen belegt. Für die Installation der Solarthermie-Module sind Flächen auf den Dächern der Sporthallen vorgesehen. Damit eine fixe Einspeisevergütung des nicht am Erzeugungsort genutzten Stroms aus der PV-Anlage über das EEG erlangt werden kann, wird von einer installierten Leistung von unter 100 kW<sub>P</sub> ausgegangen. Die Überschusseinspeisung größerer Anlagen wird über eine direkte Vermarktung abgerechnet. Für die Untersuchung werden Module mit einer Leistung von 340 W<sub>P</sub> angenommen. Die Auslegung einer PV-Anlage kann unterschiedlichen Kriterien entsprechen, sodass die optimale Anlagengröße ja nach Vorgaben variiert.

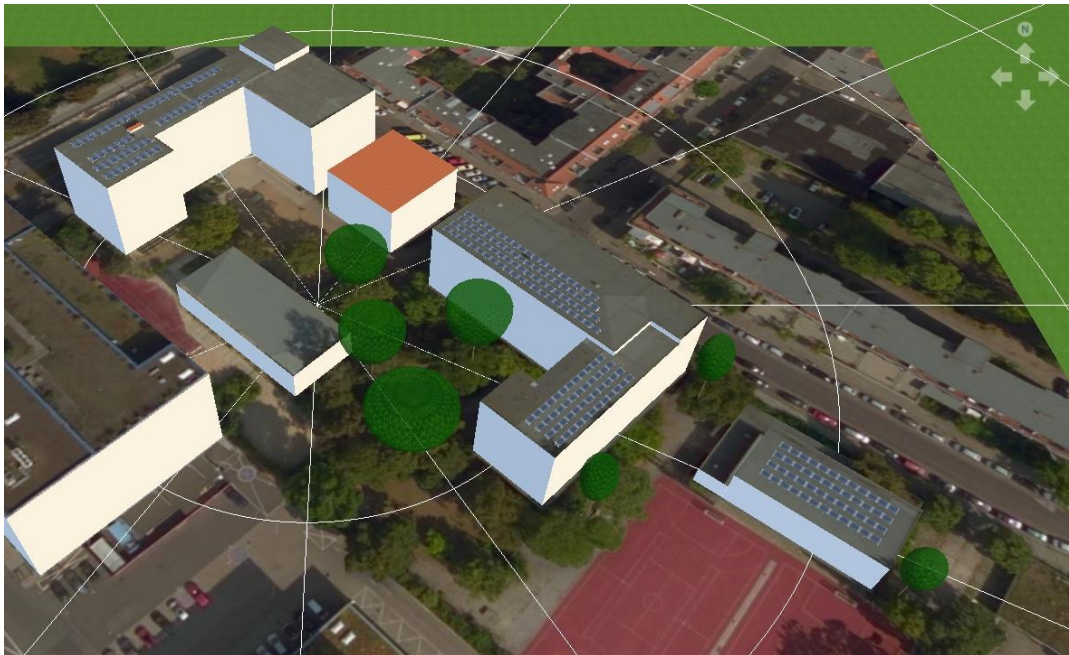


Abbildung 15: Dachbelegung mit 100 kW<sub>P</sub>

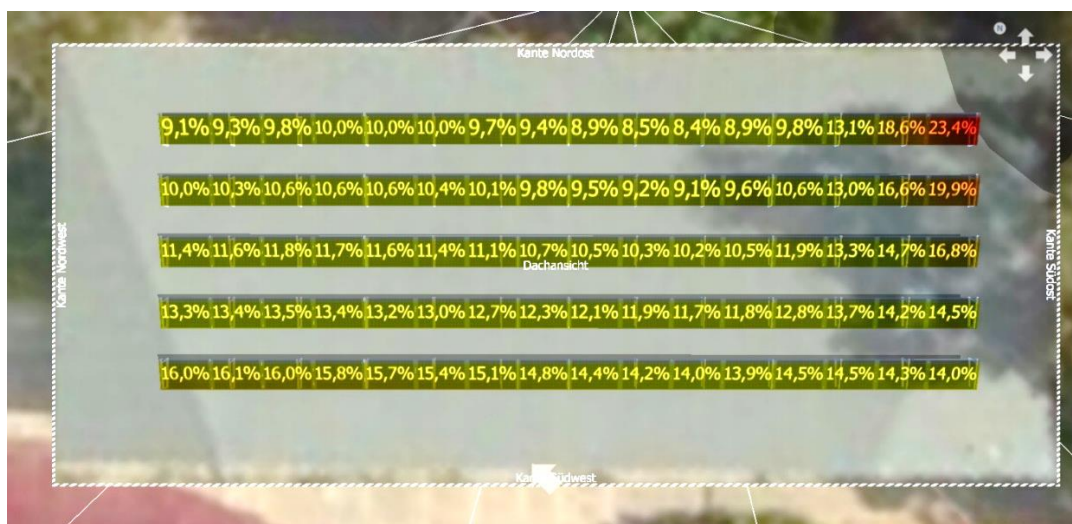


Abbildung 16: berechnete Ertragsminderung durch Verschattung (Sporthalle 027-02)

In Abbildung 17 ist die Belegung der Gebäudedächer mit 123,4 kW<sub>P</sub> installierter Leistung dargestellt. Die Solarthermie-Anlage ist in der Visualisierung nicht enthalten.



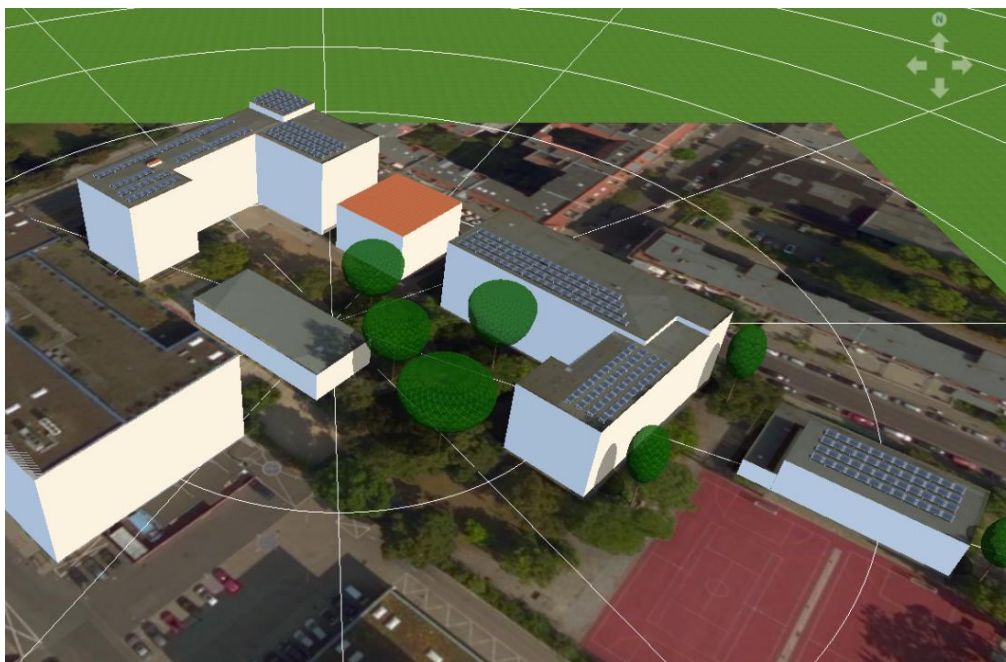


Abbildung 17: PV-Belegung mit 123,4 kW<sub>p</sub> installierter Leistung

## 7.1 Ökonomische und ökologische Betrachtungen

Für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der untersuchten Versorgungsvarianten erfolgt nach VDI 2067. Es werden ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren und eine jährliche Preissteigerung von 1,57 % angenommen. CO<sub>2</sub>-Emissionen des Brennstoffbezugs werden gemäß BEHG berücksichtigt.

Ab 2027 wird ein durchschnittlicher Preis von 100 €/t angenommen. Die Emissionsfaktoren für Strombezug (560 g/kWh) und -verdrängung (860 g/kWh) sind dem GEG entnommen.

Die Investitionen werden ohne öffentliche Förderung und Kreditaufnahme getätigt. Die verwendeten Parameter sind in

Tabelle 25 und

Tabelle 26 dargestellt. Investitionen in die energetische Gebäudesanierung werden nicht berücksichtigt.

EEG-Umlage	[€/kWh]	0,0650
Prozentsatz EEG-Umlage-Pflicht Eigenverbrauch	[-]	40%
anteilige EEG-Umlage für Eigenverbrauch		0,026
spez. Investition PV (netto)	[€/kW <sub>p</sub> ]	1.260
spez. Investition Batteriespeicher (netto)	[€/kW <sub>p</sub> ]	800
Planungskosten und sonstige Ausgaben	[-]	20 %
Vergütung Direktvermarktung	[€/kWh]	0,0550
Vergütung Direktvermarktung	[€/kWh]	0,02657
Verluste elektrischer Speicher	[-]	3,0%
spezifischer Strompreis jetzt	[€/kWh]	0,1790
spezifischer Strompreis gemittelt 20 Jahre	[€/kWh]	0,2225
spezifischer Ertrag Solarthermie	[kWh/m <sup>2</sup> ]	500
spezifischer Wärmepreis Fernwärme	[€/kWh]	0,0613
Betrachtungszeitraum	[a]	20
Preissteigerung pro Jahr	[-]	2,0%



Tabelle 25: Parameter der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Anteil von [kW <sub>p</sub> ]	bis [kW <sub>p</sub> ]	Einspeisevergütung [€/kWh]
0	9,9	0,0781
10	39,9	0,0759
40	99,9	0,0595
100		0

Tabelle 26: Einspeisevergütung für PV-Strom nach EEG (April 2021)

Mit steigender installierter Leistung steigt auch der solare Ertrag der PV-Anlage. Durch die Nutzung von elektrischen Batteriespeichern erhöhen sich solarer Deckungsanteil und Eigenstromverbrauch (Abbildung 18). Die Nutzung eines Batteriespeichers erhöht sowohl Investitionen (Abbildung 19) als auch die Annuitäten (Abbildung 20, Abbildung 21) und ist unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich nicht vorteilhaft.

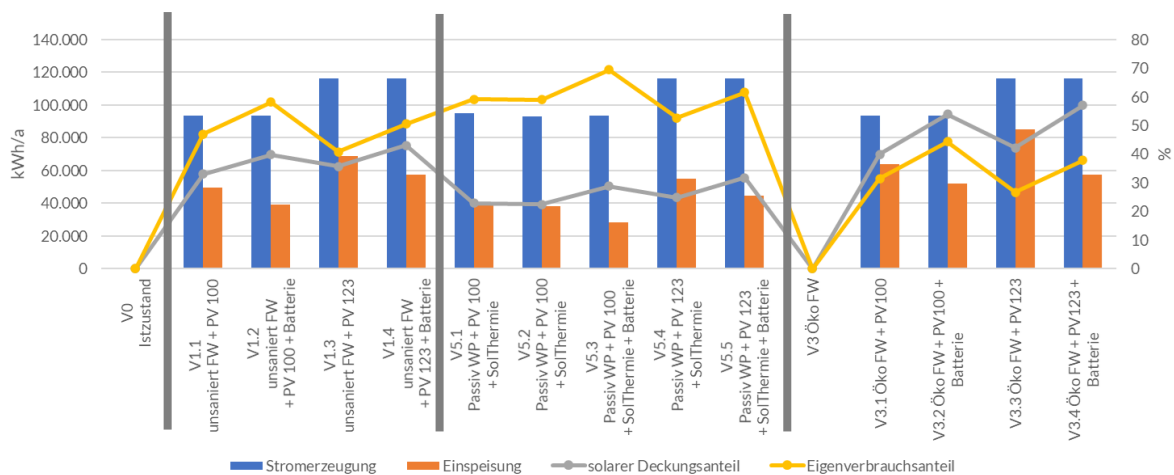


Abbildung 18: Erzeugung, Einspeisung, solarer Deckungsanteil und Eigenverbrauchsanteil der untersuchten Varianten

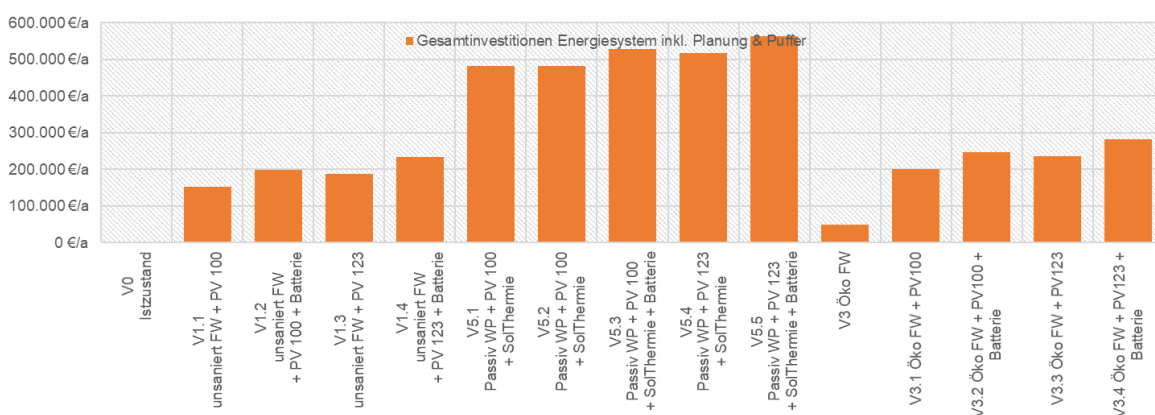


Abbildung 19: Investitionen in den untersuchten Varianten

## 7.2 Unsanierte Gebäude

Die Annuitäten der Versorgungsvarianten mit einer PV-Anlage liegen unter der des Ist-Zustandes. Die Investition in einen elektrischen Batteriespeicher sowie der Betrieb einer PV-Anlage ohne feste Einspeisevergütung nach dem EEG sind wirtschaftlich nicht vorteilhaft (Abbildung 20). Die Werte sind im Anhang unter 16.3.4 *Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen* zusammengefasst.

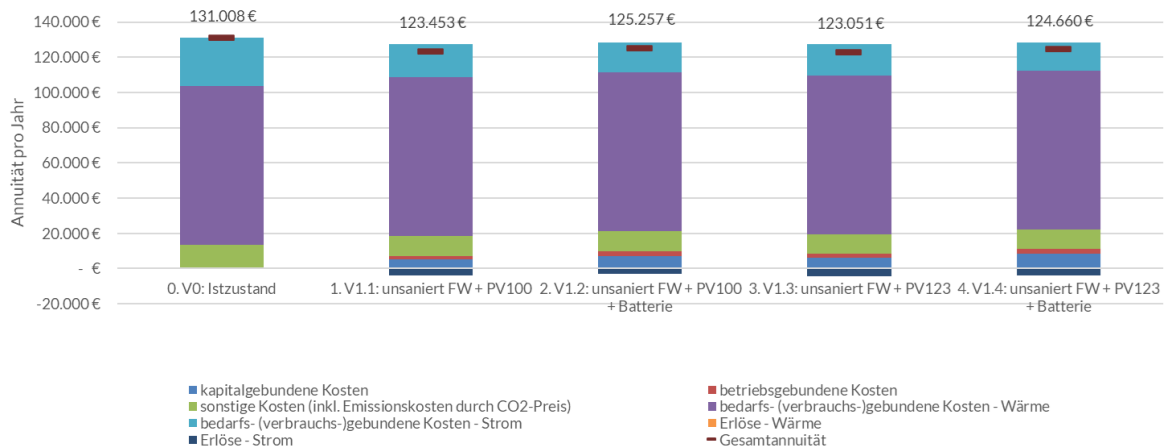


Abbildung 20: Annuitäten der untersuchten Varianten der unsanierten Gebäude

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb sinken durch den Betrieb einer PV-Anlage um jährlich ca. 67 t (ca. 15%) (Abbildung 21). Ein Batteriespeicher wirkt sich positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus, wenn die Vorketten der Herstellung nicht berücksichtigt werden. Die Werte zur CO<sub>2</sub>-Bilanz der Gebäude im Betrieb sind im Anhang unter 16.3.5 *CO<sub>2</sub>-Emissionen* zusammengefasst.

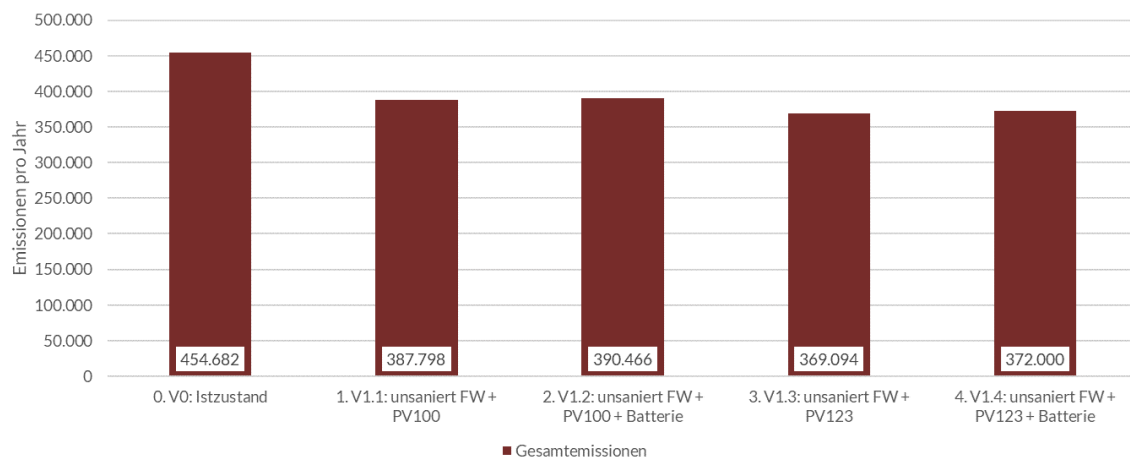


Abbildung 21: CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb der unsanierten Gebäude

## 7.3 Ökologisch sanierte Gebäude

Die Investition in einen elektrischen Batteriespeicher sowie der Betrieb einer PV-Anlage ohne feste Einspeisevergütung nach dem EEG ist wirtschaftlich nicht vorteilhaft (Abbildung 22). Die Mehrkosten für den elektrischen Batteriespeicher können bei dem angenommenen Nutzungsprofil im Betrachtungszeitraum im Betrieb nicht ausgeglichen werden. Die Werte sind im Anhang unter 16.3.4 *Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen* zusammengefasst.

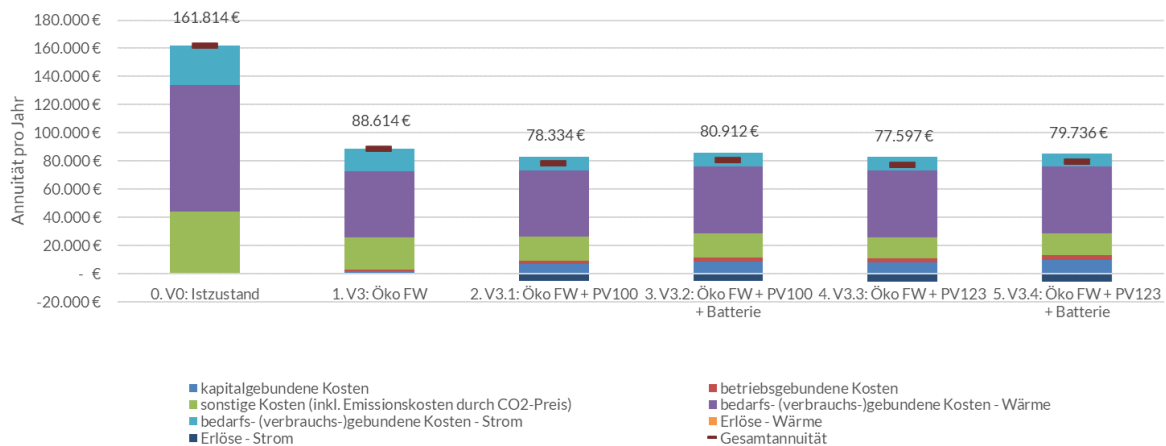


Abbildung 22: Annuitäten der untersuchten Varianten der sanierten Gebäude (Ökologisch)

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb sinken in der ökologischen Sanierungsvariante durch den Betrieb einer PV-Anlage um jährlich ca. 70 t (ca. 29 %) (Abbildung 23). Gegenüber der Ausgangssituation werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehr als 60 % reduziert. Die Werte zur CO<sub>2</sub>-Bilanz der Gebäude im Betrieb sind im Anhang unter 16.3.5 *CO<sub>2</sub>-Emissionen* zusammengefasst.

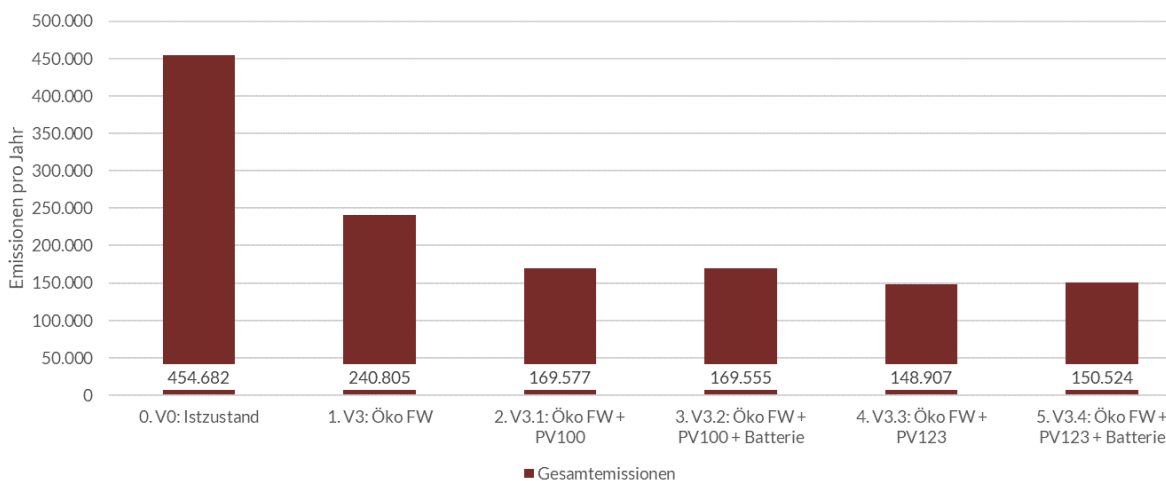


Abbildung 23: CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb der sanierten Gebäude (ökologisch)

## 7.4 Energetisch sanierte Gebäude (Passivhaus)

Die Annuitäten der Versorgungsvarianten mit einer PV-Anlage liegen unter der des Ist-Zustandes. Die Investition in einen elektrischen Batteriespeicher sowie der Betrieb einer PV-Anlage ohne feste Einspeisevergütung nach dem EEG sind wirtschaftlich nur vorteilhaft, wenn die Einspeisevergütung aus Direktvermarktung oder Marktprämienmodell in ähnlicher Höhe sind, wie die fixe EEG-Einspeisevergütung (Abbildung 22). Die Werte sind im Anhang unter 16.3.4 *Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen* zusammengefasst.

Wegen der geringeren Erträge auf dem Dach der Sporthalle 027-02 steigen die Annuitäten in V5.2 gegenüber V5.1 an.

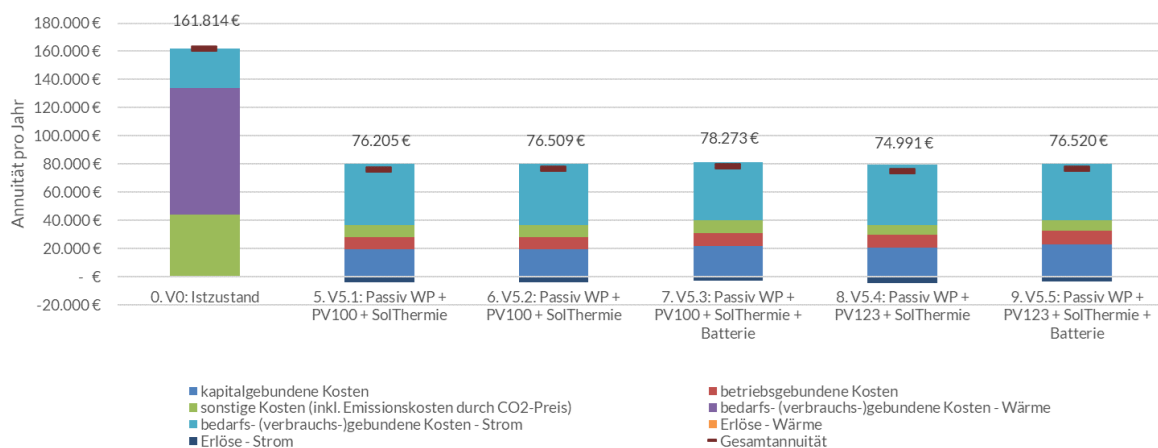


Abbildung 24: Annuitäten der untersuchten Varianten der sanierten Gebäude (Passivhaus)

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb sinken durch die energetische Sanierung im Passivhaus-Standard in Verbindung mit dem Betrieb einer PV-Anlage um jährlich ca. 380 t bzw. mehr als 80 % (Abbildung 25). Die Werte zur CO<sub>2</sub>-Bilanz der Gebäude im Betrieb sind im Anhang unter 16.3.5 *CO<sub>2</sub>-Emissionen* zusammengefasst.

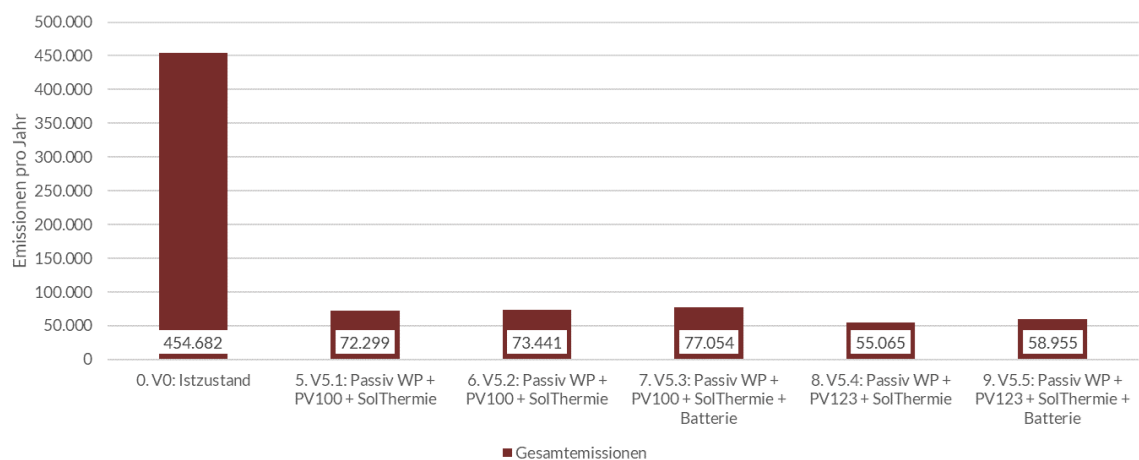


Abbildung 25: CO<sub>2</sub>-Emissionen im Betrieb der sanierten Gebäude (Passivhaus)

## 8 Klimaschadenskosten

Nach dem Berliner Energiewendegesetz sollen vermiedene Klimaschadenskosten bei der Berechnung berücksichtigt werden. Dabei ist die Methodenkonvention des Umweltbundesamtes zur Ermittlung von Umweltkosten als Berechnungsgrundlage herzustellen.

	Klimakosten in € <sub>2016</sub> / t CO <sub>2</sub> äq		
	2016	2030	2050
1% reine Zeitpräferenzrate	180	205	240
0% reine Zeitpräferenzrate	640	670	730

Tabelle 27: UBA-Empfehlung zu den Klimakosten in €<sub>2016</sub> / t CO<sub>2</sub> äq

Quelle: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Für die Verwendung von Kostensätzen für Jahre, für die in Tabelle 27 keine Werte angegeben sind, wird empfohlen, zwischen den angegebenen Kostensätzen linear zu interpolieren. Somit ergibt sich für das Start-Jahr 2021 einen Zuschlag von 189 [€] für jede Tonne CO<sub>2</sub>.

Die Betrachtungszeit für die Varianten beträgt 50 Jahren. Es wurde für die Jahren nach 2050 die Annahme getroffen, dass Umweltkosten in [€/t CO<sub>2</sub> äq] konstant bleibt.

Zur Berechnung der vermiedenen Klimaschadenskosten wurden die CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch die Sanierungsmaßnahmen pro Variante berücksichtigt.

Auch die vermiedene Umweltkosten durch die Stromerzeugung mit Photovoltaik einschließlich Vorketten in €-Cent<sub>2016</sub> / kWh<sub>el</sub> werden nach der folgenden Tabelle berücksichtigt.

Stromerzeugung durch	Luftschadstoffe	Treibhausgase (180 €/tCO <sub>2</sub> äq)	Umweltkosten gesamt (180€/tCO <sub>2</sub> äq)	Umweltkosten gesamt (Sensitivitätsrechnung mit 640 €/tCO <sub>2</sub> äq)
<b>Fossile Energien</b>				
Braunkohle	1,95	18,86	20,81	69,01
Steinkohle	1,60	17,19	18,79	62,72
Erdgas	0,83	7,77	8,59	28,44
Öl	4,92	15,13	20,06	58,73
<b>Erneuerbare Energien</b>				
Wasserkraft	0,06	0,24	0,30	0,91
Windenergie*	0,10	0,18	0,28	0,65
Photovoltaik	0,41	1,23	1,64	4,78
Biomasse**	3,74	4,42	7,71	19,46

\* Nach Erzeugungsanteilen gewichteter Durchschnittswert aus onshore und offshore Windenergie;

\*\*Nach Erzeugungsanteilen gewichteter Durchschnittswert für Biomasse gasförmig, flüssig und fest.

Tabelle 28: Umweltkosten der Stromerzeugung in Deutschland einschließlich Vorketten

Quelle: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Die Berechnung erfolgt pro Gebäude und Variante. Die Umweltkosten werden dabei aus der CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Sanierung und der vermiedenen Umweltkosten durch die PV-Stromerzeugung zusammengesetzt.

Beispielhaft werden hier für die jedes Gebäude die Varianten V1-GEG, V2-KfW, V3-Öko, V4-Reg. Versorgung und V5-Passivhaus, für die Jahren 2021, 2030 und 2050, detaillierter erläutert. Die komplette Berechnung für alle Varianten über die gesamte Lebensdauer ist in der Excel-Datei (BA-M-Klimaschadenskosten) zu finden.

Da die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung der Sanierungsvarianten nach GEG erfolgt, wird die CO<sub>2</sub>-Einsparung durch PV-Eigenstromnutzung auch nach GEG berechnet.

Um die gesamte vermiedene Umweltkosten zu ermitteln, wird zuerst die jährliche CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die Gebäudesanierung mit den Umweltkosten in [€/t CO<sub>2</sub> äq] für das jeweilige Jahr multipliziert. Zusätzlich werden die Vermiedene Umweltkosten durch den PV-Ertrag für das Jahr berücksichtigt.

Die Betrachtungszeit beträgt 50 Jahren, während die meisten Anlagentechnikkomponenten eine rechnerische Nutzungsdauer von 20 Jahren haben. Alle Komponente, auch die PV-Anlage, werden in der Betrachtungszeit nach Ende ihrer Nutzungsdauer erneuert. Der Ertragsminderung durch die Module-Degradation wurde bei der Berechnung mitberücksichtigt.

## 8.1 Schule 027-01

Die Zahlen in der folgenden Tabelle wurden auf ganze Zahlen gerundet.

		Jahr	2021	2030	2050
Umweltkosten	[€/t CO <sub>2</sub> äq]		189	205	240
Vermiedene Umweltkosten durch Photovoltaik	[ct/kWh]		14,94	16,21	18,98
Ertrag PV 9,8 kW <sub>P</sub>	[kWh]		9.967	9.745	9.745
Vermiedene Umweltkosten	[€]		1.489	1.580	1.849
Ertrag PV 23 kW <sub>P</sub>	[kWh]		23.391	22.870	22.870
Vermiedene Umweltkosten	[€]		3.494	3.707	4.340
V1- GEG (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		83	83	83
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>17.174</b>	<b>18.599</b>	<b>21.775</b>
V2- KfW 55 (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		94	94	94
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>19.274</b>	<b>20.877</b>	<b>24.442</b>
V3- Ökologisch (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		97	97	97
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>19.764</b>	<b>21.410</b>	<b>25.065</b>
V4- Reg. Versorgung (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		149	149	149
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>29.636</b>	<b>32.121</b>	<b>37.606</b>
V5- Passivhaus (PV 23 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		151	151	151
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>32.016</b>	<b>34.655</b>	<b>40.572</b>

Tabelle 29: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Schule 027-01

## 8.2 Schule 028-01

Die Zahlen in der folgenden Tabelle wurden auf ganze Zahlen gerundet.

		Jahr	2021	2030	2050
Umweltkosten	[€/t CO <sub>2</sub> äq]		189	205	240
Vermiedene Umweltkosten durch Photovoltaik	[ct/kWh]		14,94	16,21	18,98
Ertrag PV 9,8 kW <sub>P</sub>	[kWh]		10.398	10.166	10.166
Vermiedene Umweltkosten	[€]		1.553	1.648	1.929
Ertrag PV 23 kW <sub>P</sub>	[kWh]		24.403	23.859	23.859
Vermiedene Umweltkosten	[€]		3.645	3.867	4.528
V1- GEG (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		92	92	92
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>18.951</b>	<b>20.562</b>	<b>24.030</b>
V2- KfW 55 (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		127	127	127
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>25.462</b>	<b>27.590</b>	<b>32.301</b>
V3- Ökologisch (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		128	128	128
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>25.734</b>	<b>27.886</b>	<b>32.647</b>
V4- Reg. Versorgung (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		180	180	180
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>35.515</b>	<b>38.499</b>	<b>45.072</b>
V5- Passivhaus (PV 23 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		197	197	197
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>40.905</b>	<b>44.296</b>	<b>51.859</b>

Tabelle 30: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Schule 028-01

## 8.3 Sporthalle 027-02

Die Zahlen in der folgenden Tabelle wurden auf ganze Zahlen gerundet.

		Jahr	2021	2030	2050
Umweltkosten	[€/t CO <sub>2</sub> äq]		189	205	240
Vermiedene Umweltkosten durch Photovoltaik	[ct/kWh]		14,94	16,21	18,98
Ertrag PV 9,8 kW <sub>P</sub>	[kWh]		9.967	9.745	9.745
Vermiedene Umweltkosten	[€]		1.489	1.580	1.849
Ertrag PV 23 kW <sub>P</sub>	[kWh]		23.391	22.870	22.870
Vermiedene Umweltkosten	[€]		3.494	3.707	4.340
V1- GEG (keine PV-Anlage)	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		1,8	1,8	1,8
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>344</b>	<b>373</b>	<b>437</b>
V2- KfW 55 (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		8,8	8,8	8,8
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>3.146</b>	<b>3.378</b>	<b>3.954</b>
V3- Ökologisch (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		7,2	7,2	7,2
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>2.844</b>	<b>3.050</b>	<b>3.571</b>
V4- Reg. Versorgung (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		27,5	27,5	27,5
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>6.691</b>	<b>7.225</b>	<b>8.458</b>
V5- Passivhaus (PV 23 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		20,7	20,7	20,7
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>7.397</b>	<b>7.942</b>	<b>9.298</b>

Tabelle 31: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Sporthalle 027-02



## 8.4 Sporthalle 028-02

Die Zahlen in der folgenden Tabelle wurden auf ganze Zahlen gerundet.

		Jahr	2021	2030	2050
Umweltkosten	[€/t CO <sub>2</sub> äq]		189	205	240
Vermiedene Umweltkosten durch Photovoltaik	[ct/kWh]		14,94	16,21	18,98
Ertrag PV 9,8 kW <sub>P</sub>	[kWh]		9.967	9.745	9.745
Vermiedene Umweltkosten	[€]		1.489	1.580	1.849
Ertrag PV 23 kW <sub>P</sub>	[kWh]		23.391	22.870	22.870
Vermiedene Umweltkosten	[€]		3.494	3.707	4.340
V1- GEG (keine PV-Anlage)	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		33	33	33
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>6.190</b>	<b>6.717</b>	<b>7.864</b>
V2- KfW 55 (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		45	45	45
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>10.083</b>	<b>10.904</b>	<b>12.766</b>
V3- Ökologisch (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		42	42	42
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>9.484</b>	<b>10.255</b>	<b>12.006</b>
V4- Reg. Versorgung (PV 9,8 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		77	77	77
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>16.015</b>	<b>17.342</b>	<b>20.302</b>
V5- Passivhaus (PV 23 kW <sub>P</sub> )	CO <sub>2</sub> Einsparung durch Sanierung [t]		71	71	71
	gesamte verm. Umweltkosten[€]		<b>16.886</b>	<b>18.237</b>	<b>21.351</b>

Tabelle 32: Auszug aus der Berechnung der Klimaschadenskosten Sporthalle 028-02

## 9 Energetische Gesamtbilanz nach GEG § 50

Die einzelnen Gebäude der Liegenschaft wurden mithilfe der Software ZUB Helena energetisch simuliert. Für die verschiedenen Sanierungsvarianten wurde eine Gesamtbilanz nach GEG § 50 (Nichtwohngebäude nach DIN V 18599) erstellt. Zusätzlich wurde untersucht, im Rahmen der Bilanzierung, welchen Effizienzhausstandard „KfW-Effizienzhaus“ die jeweilige Sanierungsvariante erreicht.

Für das Gesamtergebnis wird die gesamte Liegenschaft, mit den zwei Szenarien (Denkmal und kein Denkmal), betrachtet.

Hier wird angenommen, dass eine Variante (z. B. Passivhaus Variante) in allen 4 Gebäuden umgesetzt wurde. Die folgenden Abbildungen stellen die Ergebnisse für die gesamte Liegenschaft dar.

### 9.1 Investitionskosten

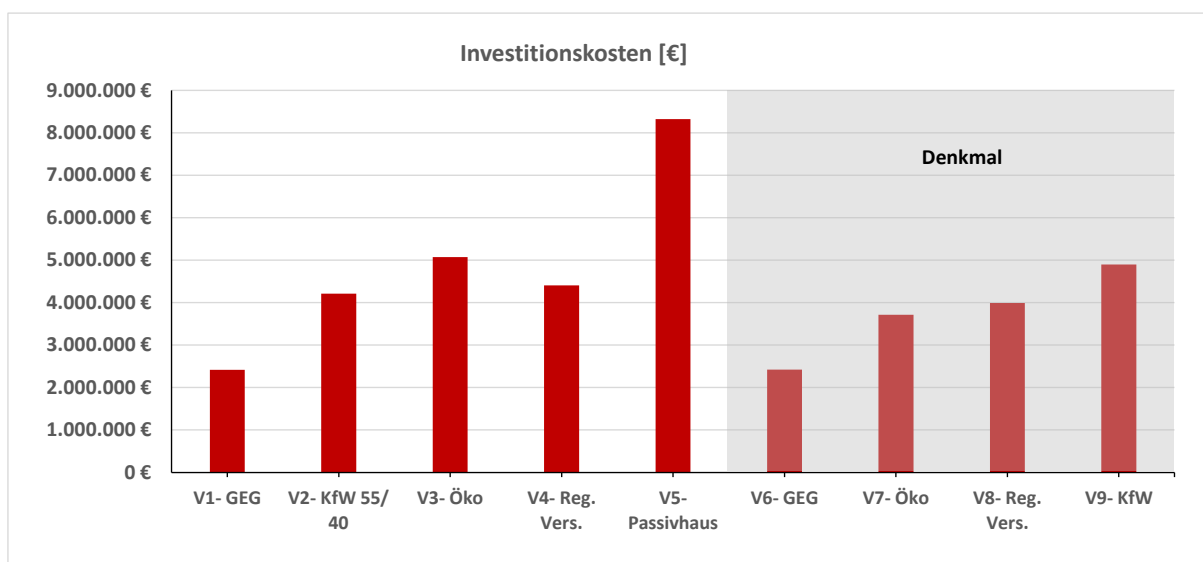


Abbildung 26: Investitionskosten zur Umsetzung der Varianten in der gesamten Liegenschaft

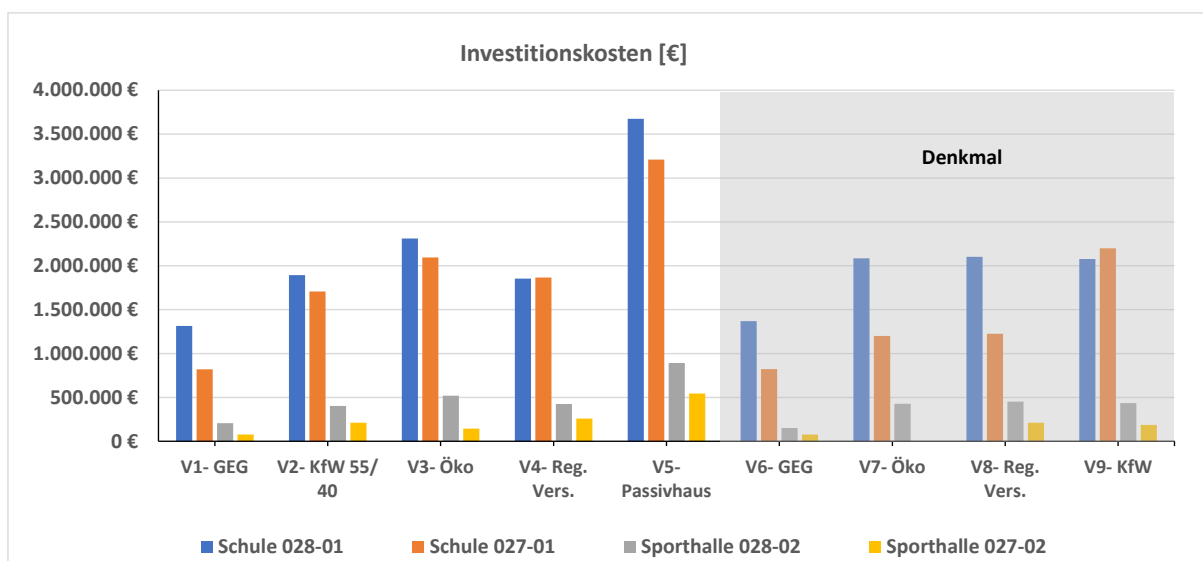


Abbildung 27: Investitionskosten zur Umsetzung der Varianten in den einzelnen Gebäuden

## 9.2 Primärenergiebedarf

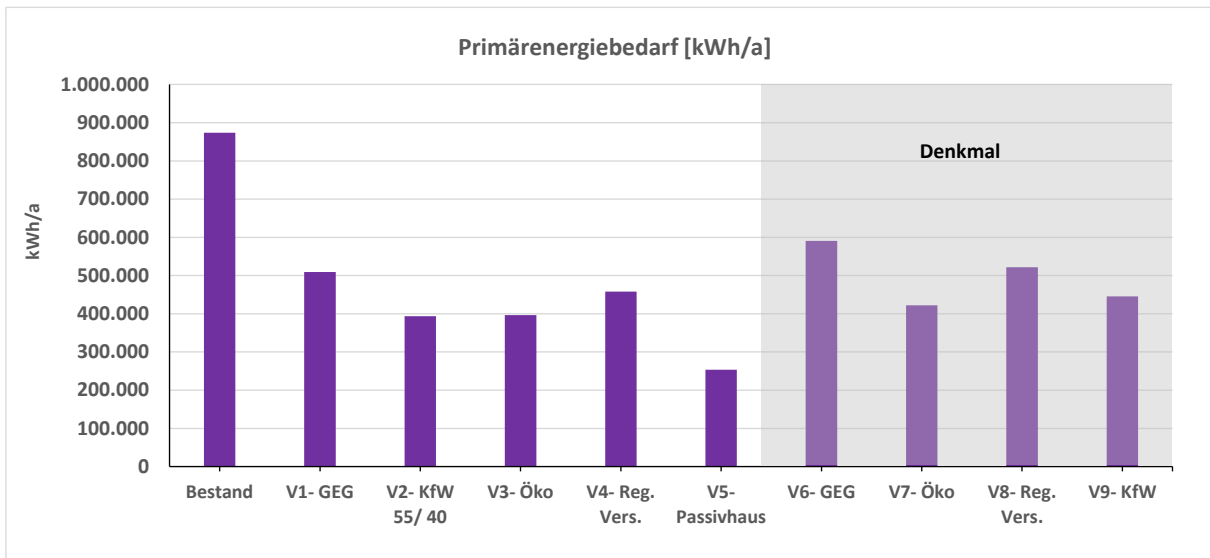


Abbildung 28: Primärenergiebedarf der Varianten in der gesamten Liegenschaft

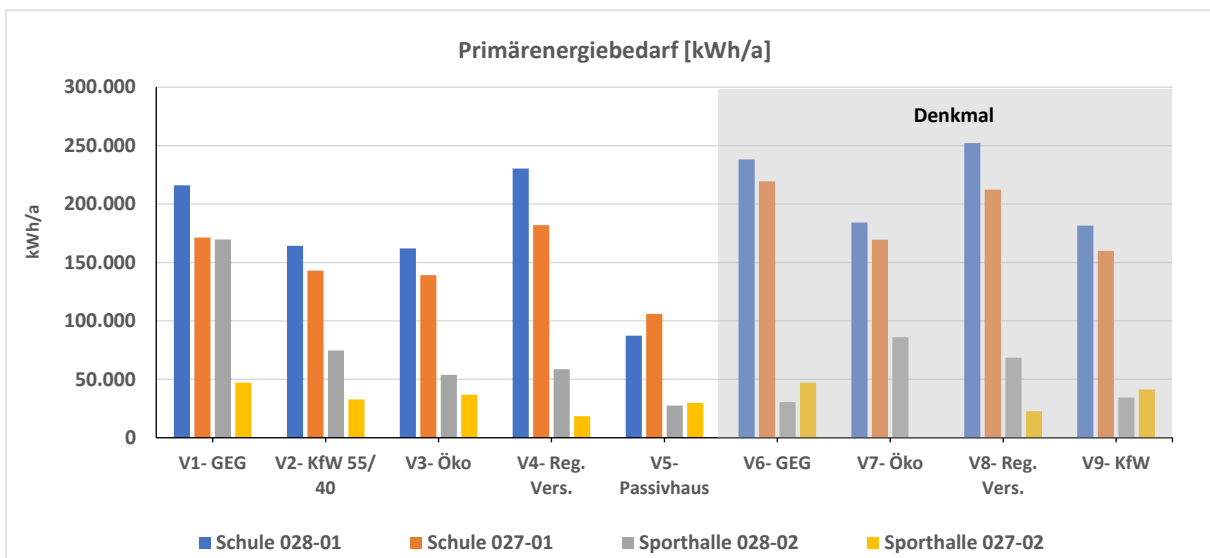


Abbildung 29: Primärenergiebedarf der Varianten in den einzelnen Gebäuden

### 9.3 Endenergiebedarf

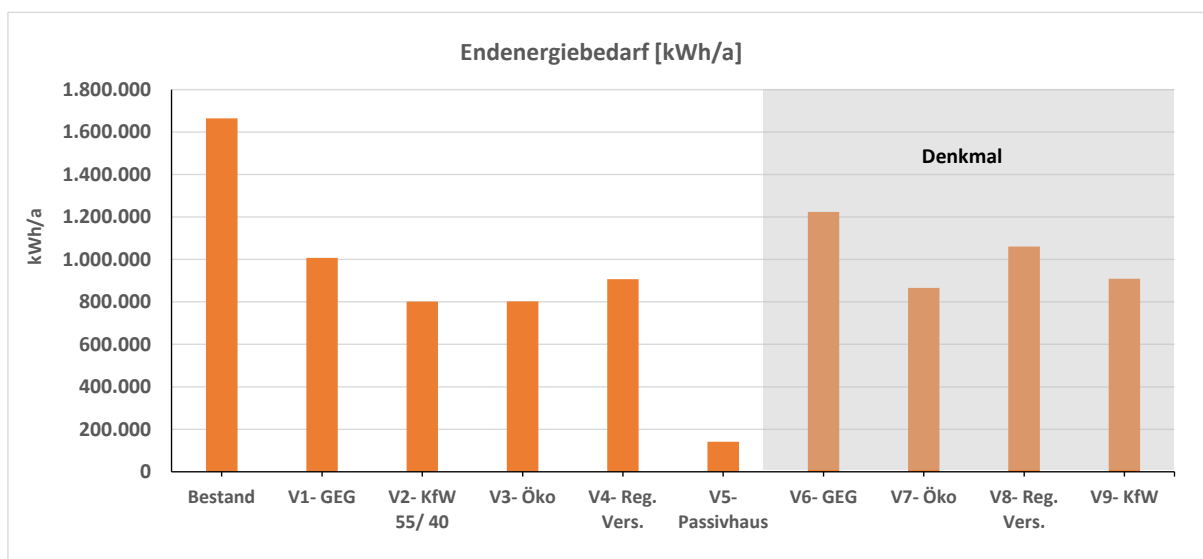


Abbildung 30: Endenergiebedarf der Varianten in der gesamten Liegenschaft

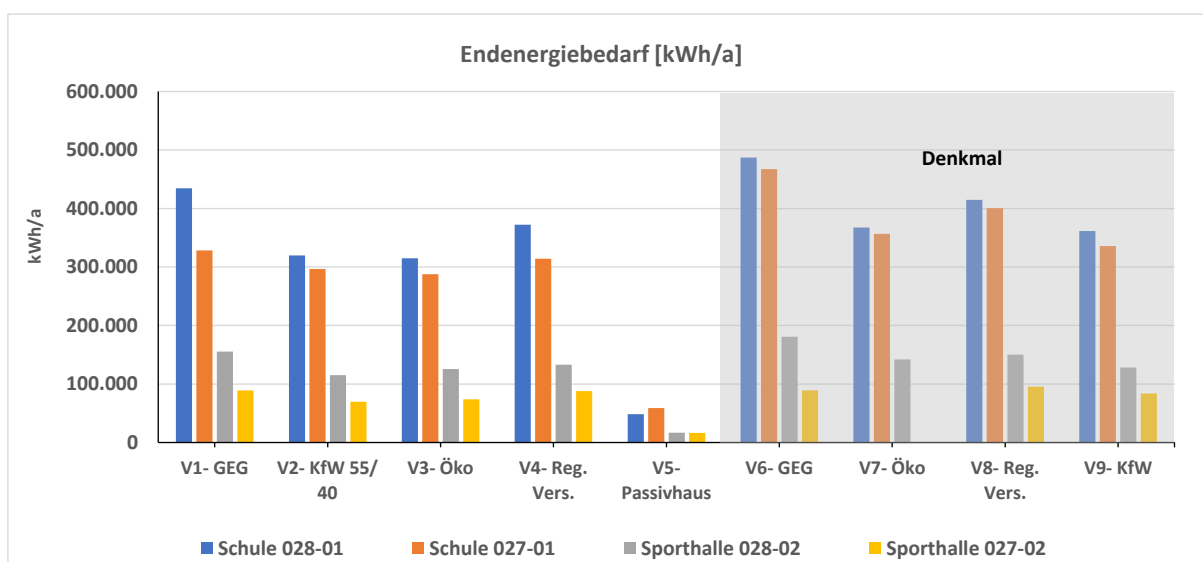


Abbildung 31: Endenergiebedarf der Varianten in den einzelnen Gebäuden

## 9.4 CO<sub>2</sub> Emissionen

Die CO<sub>2</sub> Emissionen beziehen sich auf den Endenergiebedarf (Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, etc.) der jeweiligen Variante und wurden nach GEG ermittelt.

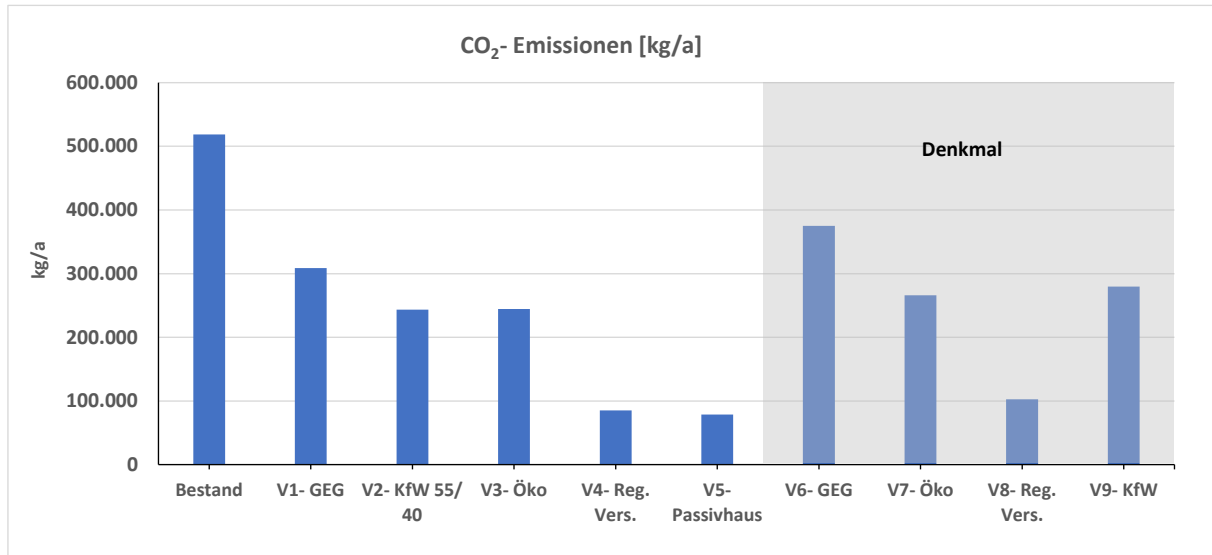


Abbildung 32: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten in der gesamten Liegenschaft

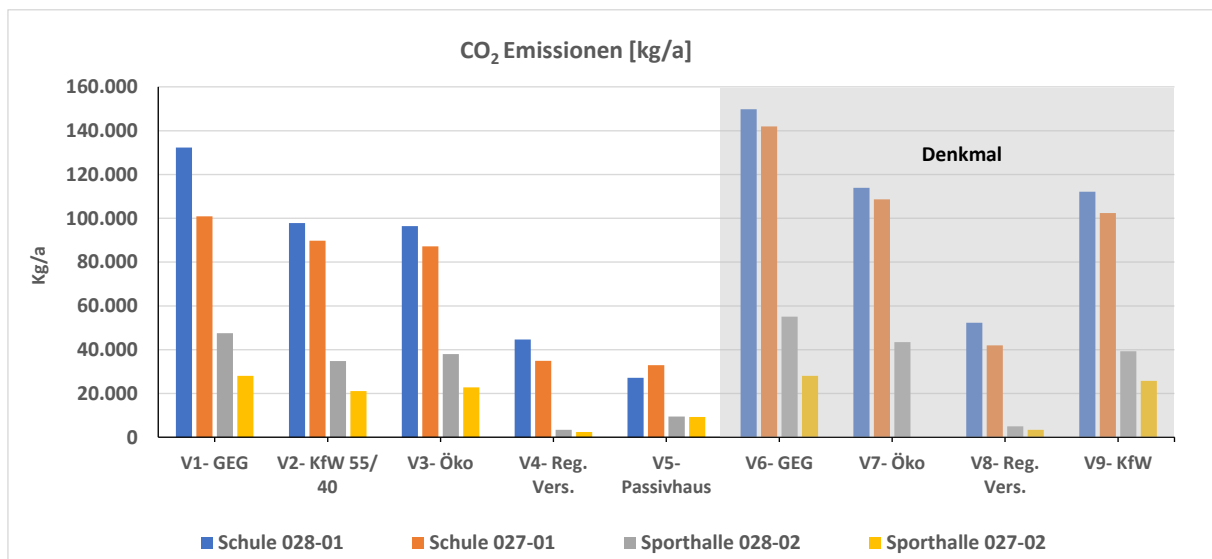


Abbildung 33: CO<sub>2</sub>-Emissionen der Varianten in den einzelnen Gebäuden

## 9.5 Energiekosten

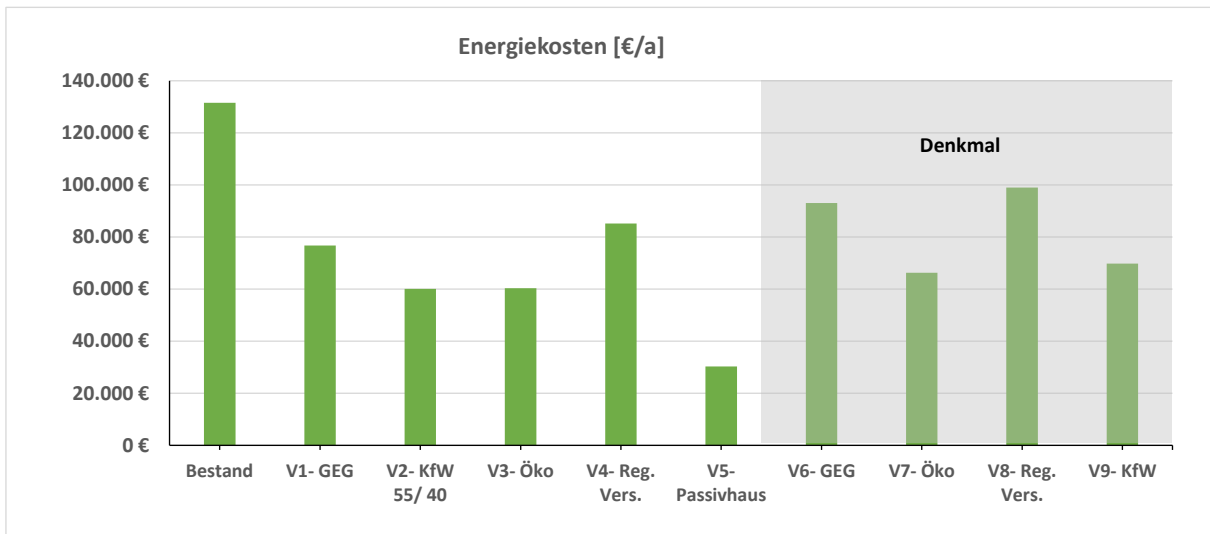


Abbildung 34: jährliche Energiekosten der Varianten in der gesamten Liegenschaft

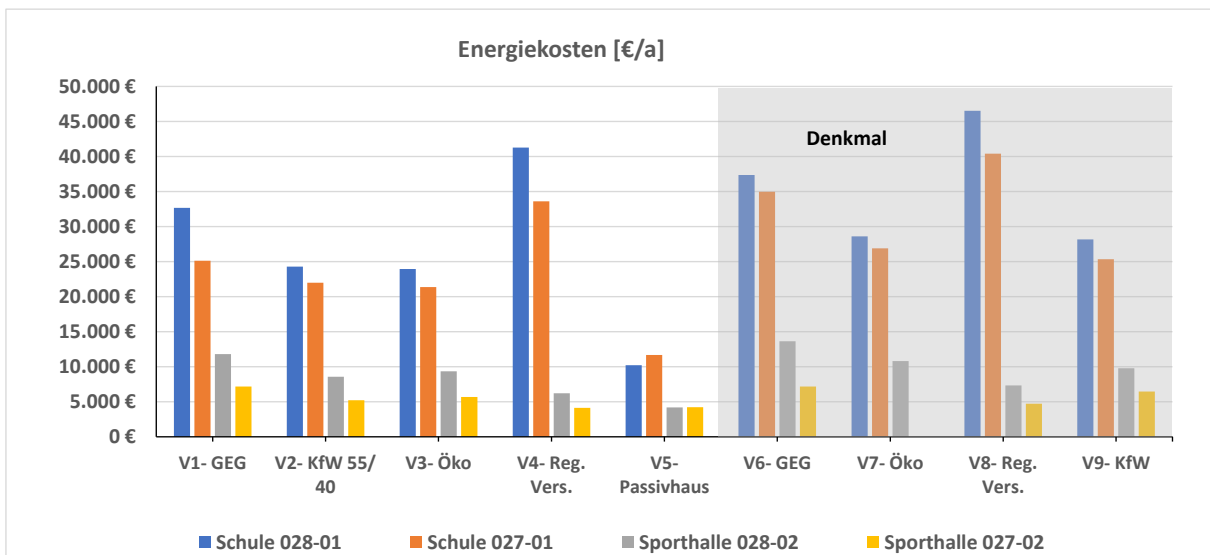


Abbildung 35: jährliche Energiekosten der Varianten in den einzelnen Gebäuden

## 10 Fazit

Für die gesamte Liegenschaft wird die Umsetzung der V3-ökologischen Variante (*best case*) Variante empfohlen.

Die Investitionskosten der Variante V5 (Passivhaus) sind um 1,6 Fach höher als bei der ökologischen Variante. Die Wartungskosten sind in der Passivhaus-Variante am höchsten und werden für die gesamte Liegenschaft mit ca. 11.160 € jährlich geschätzt. Die Passivhaus-Variante hat das höchste Treibhausgaspotential bei den Baumaßnahmen (KG 300) im Lebenszyklus (196% höher als bei der ökologischen Variante).

Die Variante V4 (regenerative Versorgung) hat im Vergleich zu der ökologischen Variante 41% höhere jährliche Energiekosten und ca. 16% mehr Endenergiebedarf. Die Anlagentechnik sind in der Variante V4 wartungsintensiver als in der ökologischen Variante oder der KfW-Variante. Zusätzlich ist die Nachrüstung von Schornsteinen für die Verbrennungsabgase erforderlich.

Außerdem ist die Wirtschaftlichkeit dieser Variante von der Preisentwicklung von Holzpellets und Biomethan sehr abhängig.

Am 13. April 2021 hat der Senat den Entwurf einer zweiten Novelle des EWG Bln beschlossen. Darin ist in §10 Absatz 2 folgendes *„bei größeren Renovierungen öffentlicher Gebäude ist der KfW-Effizienzhaus 55-Standard einzuhalten, soweit nicht öffentlich-rechtliche Vorschriften entgegenstehen“*.

Die Variante V2 (KfW) erfüllt diese Anforderungen. Betrachtet man die Variante ganzheitlich bis zum Ende der Lebensdauer, liegt die Variante V3 (ökologische Variante) im Vorteil.

Die vorgeschlagenen Baukonstruktionen in der Variante V3 ermöglichen eine sortenreine Trennung der Baustoffe am Ende der Lebensdauer, so können die Baustoffe wiederverwendet bzw. zurückgewonnen werden.

Die ökologische Variante hat bei gleicher energetischer Qualität wie die KfW Variante nur geringe Mehrkosten bei der Investition, dafür nur halbes Treibhausgaspotential bei den Baumaßnahmen (KG 300) im Lebenszyklus.

Die Variante (V3 Ökologische Variante) liegt im Vorteil im Hinblick auf ihre Auswirkung auf das Mikroklima der einzelnen Gebäude sowie ihre Widerstandsfähigkeit gegen extreme Wetterereignisse.

Außerdem wird bei der Umsetzung der Variante V3 in allen Gebäuden, mit Ausnahme von der Sporthalle 027-02, den KfW- Effizienzhaus 55 bzw. 40 erreicht.

Die Sporthalle 027-02 wurde bereits 2011 baulich saniert und erreicht den KfW-Effizienzhaus 70.

Folgende Tabelle verdeutlicht die Unterschiede zwischen den Varianten (kein Denkmal-Szenario) in der gesamten Liegenschaft:

Parameter	V2- KfW Variante	V3- Öko. Variante	V4- Rev. Vers.	V5- Passivhaus
Investitionskosten [€]	4.210.749	5.070.732 +20,4%	4.403.889 +4,6%	8.320.262 +97,6%
Zusätzliche Wartungskosten der Anlagentechnik [€/a]	nein	nein	3.000	11.160
Energiekosten [€/a]	60.038	60.293 +0,4%	85.218 +41,9%	30.280 -49,6%
Primärenergiebedarf [kWh/a]	393.741	396.498 +0,7%	458.182 +16,4%	253.361 -35,7%
Endenergiebedarf [kWh/a]	801.020	802.303 +0,2%	907.426 +13,3%	140.756 -82,4%
CO <sub>2</sub> Emissionen [kg/a] <i>Die CO<sub>2</sub> Emissionen beziehen sich auf den Endenergiebedarf (Heizung, Warmwasser, Beleuchtung, etc.) der Variante</i>	243.599	244.324 +0,3%	85.369 -65,0%	78.824 -67,6%
Treibhausgaspotenzial der Baumaßnahmen (KG 300) im Lebenszyklus (50 Jahre) [kg CO <sub>2</sub> -Äqv] <i>Die durch Produktions- und Transportprozesse verursachte Freisetzung klimarelevanter Gase infolge von Herstellung, Errichtung und Nutzung</i>	15.584	7.724 -50%	15.584 0,0%	22.896 +47%
Sortenreine Trennung von Baustoffen am Ende der Lebensdauer möglich <i>Die Baustoffe können mit geringem Aufwand wiederverwendet bzw. zurückgewonnen werden</i>	nein	ja	nein	nein
Fassadenbegrünung <i>Schutz gegen Überhitzung, besseres Mikroklima, besserer Schallschutz, Filterung von Luftschadstoffen</i>	nein	ja	nein	nein
Dachbegrünung - extensive (Retention) <i>Minderung der Entwässerungskosten, Schutz gegen Starkregen</i>	nein	ja	nein	ja

Tabelle 33: Vergleich der Varianten V2, V3, V4 und V5



## 10.1 Berliner Energiewendegesetz

Das Land Berlin sterbt eine umfassende energetische Sanierung der öffentlichen Gebäude bis zum Jahr 2050 an. Für Gebäude mit mehr als 250 m<sup>2</sup><sub>NGF</sub> ist Ziel der Sanierung eine Senkung des Endenergieverbrauches um mind. 20% bis zum Jahr 2030 und des Primärenergieverbrauches um mind. 80% bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 2010 zu erreichen.

Das Ziel zur Senkung des Endenergieverbrauches um mind. 20% bis zum Jahr 2030 im Vergleich zum Jahr 2010 wird erreicht.

Gebäude	Endenergiebedarf 2030 [kWh/a]		
	V2- KfW	V3- Öko	V5- Passivhaus
Schule 028-01	319.632	314.856	48.502
Schule 027-01	296.566	287.910	58.827
Sporthalle 028-02	115.101	125.644	16.889
Sporthalle 028-02	69.722	73.914	16.538
<b>Summe (im Jahr 2030)</b>	<b>801.020</b>	<b>802.324</b>	<b>140.756</b>
Endenergiebedarf der Liegenschaft im Jahr 2010	1.665.330	1.665.330	1.665.330
<b>Einsparung im Vergleich zu 2010</b>	<b>52%</b>	<b>52%</b>	<b>92%</b>

*Tabelle 34: Zielerreichung des Endenergiebedarfes im Jahr 2030*

Aktuell liegt der Primärenergiefaktor für Strom nach GEG bei 1,8. Der KEV (kumulierter Energieverbrauch) repräsentiert die Summe aller Primärenergieinputs, inklusive solcher zur Materialherstellung, klammert aber den Energieinhalt von Brennstoffen aus, die stofflich genutzt werden (z.B. Bauholz).

Der KEV dient auch als Brücke zu den sogenannten Primärenergiefaktoren (PEF). Deren nichterneuerbarer Anteil (PEF<sub>ne</sub>) wird im neuen Gebäudeenergiegesetz (GEG) für die energetische Bilanzierung herangezogen.

Die folgende Abbildung zeigt die Prognose zur Entwicklung des kumulierten Energieverbrauches der lokalen Strombereitstellung in Deutschland bis 2050.

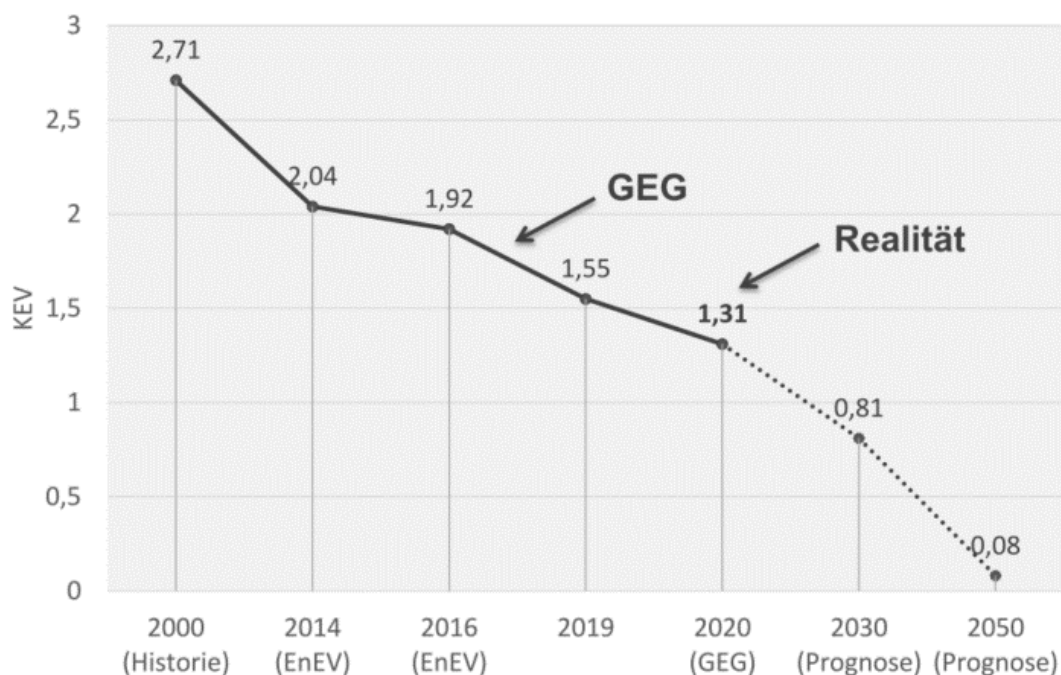


Abbildung 36: KEV der lokalen Strombereitstellung in Deutschland

Quelle: IINAS 2020. Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch und THG-Emissionen des deutschen Strommix im Jahr 2019 sowie Ausblicke auf 2020 und 2050 mit Zusammenstellung der politisch relevanten Jahre.

Das Ziel zur Senkung des Primärenergieverbrauches um mind. 80% bis zum Jahr 2050 im Vergleich zum Jahr 2010 wird, wenn die Primärenergiefaktoren (Prognose!) für Strom auf 0,08 und für Fernwärme auf mind. 0,23 gesenkt werden, erreicht.

Gebäude	Primärenergiebedarf 2050 [kWh/a]		
	V2- KfW	V3- Öko	V5- Passivhaus
Schule 028-01	72.399	71.298	3.880
Schule 027-01	67.800	65.810	4.706
Sporthalle 028-02	26.288	28.711	1.351
Sporthalle 028-02	15.902	16.676	1.323
<b>Summe (im Jahr 2030)</b>	<b>182.389</b>	<b>182.494</b>	<b>11.260</b>
Endenergiebedarf der Liegenschaft im Jahr 2010	922.967	922.967	922.967
<b>Einsparung im Vergleich zu 2010</b>	<b>80%</b>	<b>80%</b>	<b>99%</b>

Tabelle 35: Zielerreichung des Primärenergiebedarfes im Jahr 2050

## 10.2 Übertragbarkeit

Die Berechnung erfolgt als Bedarfsberechnung nach DIN 18955 und GEG Rahmenbedingungen mit Standardnutzungsprofile.

Für Gebäude mit ähnlichen Bausubstanz und gleicher Nutzung können die Ergebnisse aus dieser Untersuchung übertragen werden.

## 11 Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Schulgebäude (027-01)

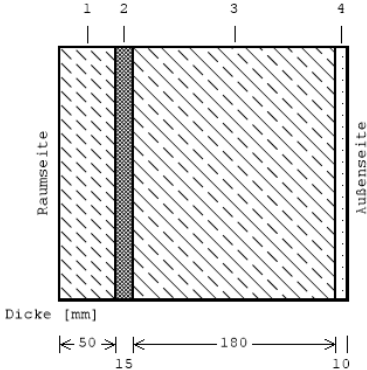
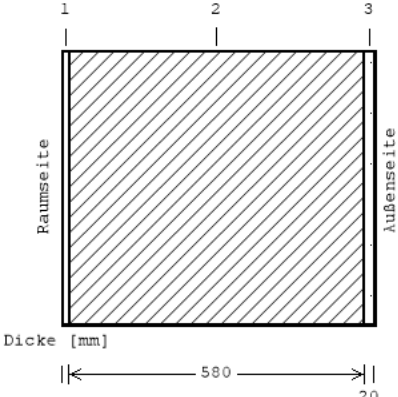
### 11.1 Ausgangssituation

#### 11.1.1 Beschreibung des untersuchten Objekts



Abbildung 37: Schulgebäude 027-01 - Ansicht vom Schulhof

Grunddaten	
Gebäudetyp	Schulgebäude
Baujahr	1955
Baujahr des Wärmeerzeugers	2010
Gebäudevolumen netto [m <sup>3</sup> ]	14.404,8
Gebäudenutzfläche [A <sub>NGF</sub> ] [m <sup>2</sup> ]	3.684,2
Wärme übertragende Hüllfläche [A] [m <sup>2</sup> ]	5.721,1
Anzahl der Geschosse	4
<b>Anmerkung:</b> Flächen- und Volumenangaben beziehen sich lediglich auf thermisch konditionierte Zonen.	

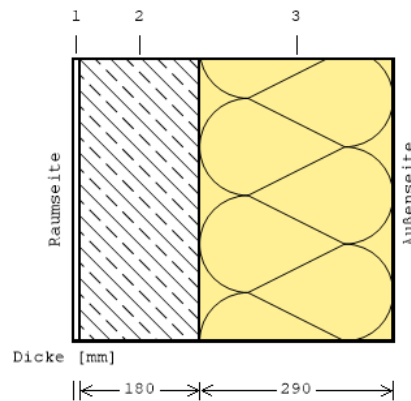
Konstruktionsart (nach Bauphysik)																									
Kellerdecke	<p>Betondecke (1949-1968 Betondecke 1,5cm Trittschall)                      U-Wert= 1,19 [W/m<sup>2</sup>K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich</td> <td>50</td> <td>1,400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039</td> <td>15</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300</td> <td>180</td> <td>2,300</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>10</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>255</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400	2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040	3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300	4	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700	<b>gesamt</b>		<b>255</b>	
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																						
1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400																						
2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040																						
3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300																						
4	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700																						
<b>gesamt</b>		<b>255</b>																							
Dach	<p>Flachdach mit Bitumendachbahn (Kaldach)  <i>Außerhalb der thermischen Hülle (Bauteil irrelevant)</i></p>																								
Fenster	<p>Holzfenster (Baujahr 2010)                      U<sub>w</sub>-Wert= 1,3 [W/m<sup>2</sup>K]</p>																								
Außenwand	<p>1949-1968 leichtes Mauerwerk Hohlblock                      U-Wert= 0,91 [W/m<sup>2</sup>K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>10</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM</td> <td>580</td> <td>0,650</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</td> <td>20</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>610</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700	2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	580	0,650	3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000	<b>gesamt</b>		<b>610</b>					
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																						
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700																						
2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	580	0,650																						
3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000																						
<b>gesamt</b>		<b>610</b>																							

oberste  
Geschossdecke

Betondecke (1949-1968 Betondecke) mit Mineralwolle

U-Wert= 0,11 [W/m²K]

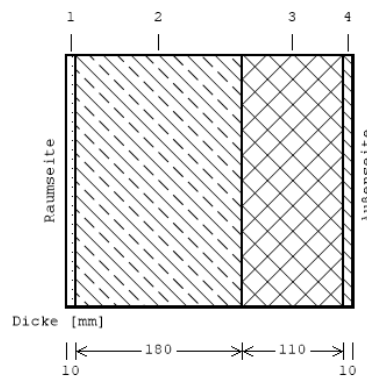
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700
2	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	180	0,620
3	DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	290	0,035
	<b>gesamt</b>	<b>480</b>	



Betondecke (1949-1968 Betondecke) Expandierte Polystyrolschaum (XPS)  
Dämmung

U-Wert= 0,27 [W/m²K]

Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700
2	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	180	0,620
3	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,034	110	0,035
4	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	10	0,130
	<b>gesamt</b>	<b>310</b>	



Für die Berechnung des Energiebedarfs in Anlehnung an die DIN 18599 wurde das Gebäude in die folgenden Zonen unterteilt.

<b>Zone</b>	<b>Nutzungsprofil</b>	<b>Netto- grundfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Flächen- anteil [%]</b>
1-Unterricht	8. Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)	1.812,1	49,2
2-Verkehrsflächen	19. Verkehrsflächen	1.334,7	36,2
3-Sanitärräume	16. WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	126,3	3,4
4-Lager/Technik	20. Lager, Technik, Archiv	135,8	3,7
5-Sonstige Aufenthaltsräume	17. Sonstige Aufenthaltsräume	275,3	7,5

Die Nutzungsprofile nach DIN 18599 legen die Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude z.B. Nutzungszeiten, tägliche Betriebsstunden der Heizung, Beleuchtungsstärke oder Raumbelegung fest. Die tatsächliche Nutzung des Gebäudes sowie das Nutzerverhalten kann von diesen nach Norm festgelegten Bedingungen abweichen.

## 11.1.2 Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude

Die Bedarfe für Nutz-, End- und Primärenergie ergeben sich aus der energetischen Gebäudesimulation und stellen den simulierten Ist-Zustand des Gebäudes dar.

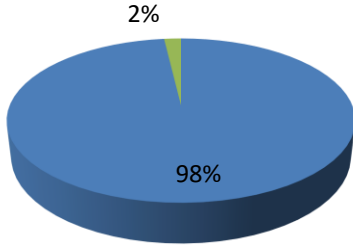
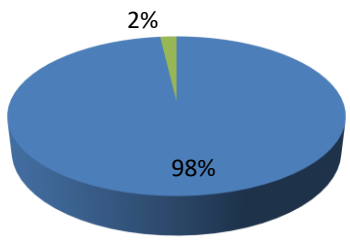
Jährlicher Nutzenergiebedarf	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	126,25	465.115,30	70,78	260.756,39
Beleuchtung	2,41	8.866,10	1,35	4.956,89
<b>Gesamt</b>	<b>128,65</b>	<b>473.981,40</b>	<b>72,12</b>	<b>265.713,28</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 36: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01

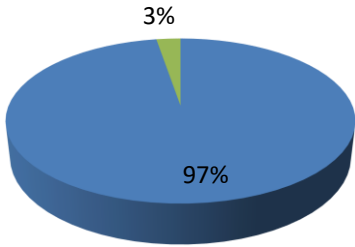
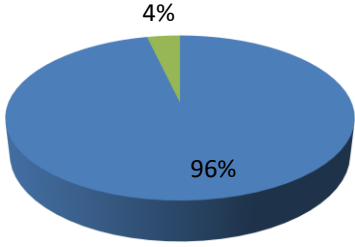
Jährlicher Endenergiebedarf (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	158,21	582.875,10	93,88	345.884,09
Beleuchtung	4,33	15.944,40	3,56	13.104,11
<b>Gesamt</b>	<b>162,54</b>	<b>598.819,50</b>	<b>97,44</b>	<b>358.988,20</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 37: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01



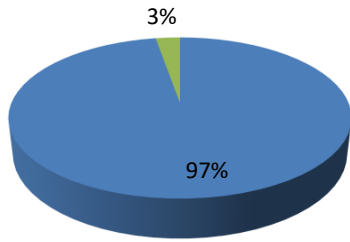
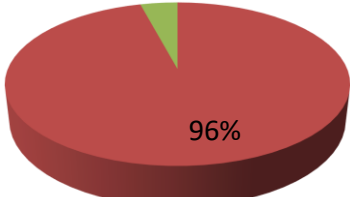
Endenergiebedarf nach Energieträgern (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	absolut [kWh/a]
Fernwärme aus Heizwerk (fossiler Brennstoff)	158,09	582.425,1	--	--
Erdgas	--	--	94,38	347.724,6
Strom-Mix	4,45	16.394,4	4,10	15.104,2
<b>Gesamt</b>	<b>162,54</b>	<b>598.819,5</b>	<b>98,48</b>	<b>362.828,8</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Fernwärme</li> <li><span style="color: green;">■</span> Strom-Mix</li> <li><span style="color: red;">■</span> Erdgas</li> </ul>				

Tabelle 38: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01

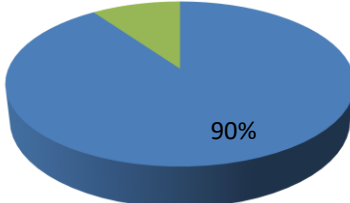
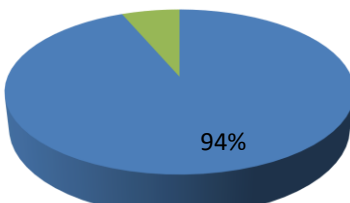
Jährlicher Primärenergiebedarf (heizwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	71,36	262.901,30	93,47	344.373,56
Beleuchtung	7,79	28.699,90	6,40	23.587,39
<b>Gesamt</b>	<b>79,15</b>	<b>291.601,20</b>	<b>99,87</b>	<b>367.960,95</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 39: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 027-01

Das Referenzgebäude beschreibt den zu erwartenden Energiebedarf, wenn das Gebäude mit dem aktuellen Stand der Technik belegt wird. Die technische Ausführung des Referenzgebäudes (Nichtwohngebäude) ist nach GEG festgelegt und ist in der Anlage 2 (zu § 18 Absatz 1) zu finden. Demzufolge wird das Referenzgebäude (als identische Kopie des betrachteten Gebäudes) mit Erdgaskessel beheizt. Erdgas hat einen Primärenergiefaktor von 1,1.

Das betrachtete Gebäude wird in Wirklichkeit über Fernwärme mit Wärme versorgt. Der Primärenergiefaktor für die Fernwärme beträgt 0,45 (siehe 2.1.1). Entsprechend hat das Gebäude im Bestand einen kleineren Primärenergiebedarf als das Referenzgebäude.

### 11.1.3 Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle

Das untersuchte Gebäude weist die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesenen Werte auf.

Die Flächen der Außenbauteile wurden anhand der vorhandenen Pläne ermittelt. Darüber hinaus basieren die U-Werte auf der Vor-Ort-Aufnahme, sowie getroffenen Annahmen von vorhandenen Informationen bzw. Angaben zu den Bauteilen. Alle in den Unterlagen nicht aufgeführten Konstruktionen (Schichtaufbauten), wurden mittels Literaturangaben<sup>6</sup> und / oder nach eigenen Erfahrungswerten angenommen.

#### Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG

##### 1-Unterricht

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Oberste Geschossdecke (OGD)	655,13	655,13	0,11	0,24	0,80
Außenwand (AW) NO	225,76	104,76	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		68,44	1,3	1,30	--
Fenster		52,55	1,3	1,30	--
AW SO	307,77	213,72	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		94,05	1,3	1,30	--
AW SW	352,05	232,40	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		68,44	1,3	1,30	--
Fenster		51,21	1,3	1,30	--
AW NW	639,44	320,45	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		178,20	1,3	1,30	--
Fenster		140,79	1,3	1,30	--
Kellerdecke	210,51	210,51	1,19	0,30	0,60
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>2.390,64</b>			

##### 2-Verkehrsflächen

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	409,63	409,63	0,27	0,24	0,80
AW NO	225,00	197,98	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		5,60	1,3	1,30	--
Fenster TRH		17,09	1,3	1,30	--
Tür Eingang		4,32	1,3	1,30	--
AW SO	492,46	366,50	0,91	0,24	(1,00)
Fenster Flur		106,40	1,3	1,30	--
Fenster TRH		12,92	1,3	1,30	--
Tür Eingang Lehrer		2,00	1,3	1,30	--
Tür Eingang Hof		4,64	1,3	1,30	--
AW SO- Fahrstuhl	38,06	31,46	0,84	0,30	0,80
Fahrstuhl Tür		6,60	2,5	1,80	0,80
AW SW	113,57	82,25	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		10,78	1,3	1,30	--
Fenster		16,61	1,3	1,30	--
Tür Eingang		3,93	1,3	1,30	--
AW NW	227,07	201,41	0,91	0,24	(1,00)

<sup>6</sup>„U-Werte alter Bauteile“, der von der deutschen Energie Agentur (dena) herausgegebenen Typologie.

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
<b>Fenster</b>		<b>3,00</b>	<b>1,3</b>	<b>1,30</b>	--
Fenster		11,75	1,3	1,30	--
Fenster		10,92	1,3	1,30	--
Kellerdecke	454,56	454,56	1,19	0,30	0,60
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>1.960,34</b>			

### 3-Sanitarräume

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	48,72	48,72	0,11	0,24	0,80
AW NO	54,31	54,31	0,91	0,24	(1,00)
AW SO	122,83	106,03	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		16,80	1,3	1,30	--
AW SW	122,83	100,69	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		22,14	1,3	1,30	--
AW NW	57,09	57,09	0,91	0,24	(1,00)
Kellerdecke	50,47	50,47	1,19	0,30	0,75
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>456,25</b>			

### 4-Lager/Technik/Archiv

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	32,75	32,75	0,11	0,24	0,80
AW NO	126,85	93,89	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		17,11	1,3	1,30	--
Fenster		11,20	1,3	1,30	--
Fenster		4,66	1,3	1,30	--
AW SO	42,64	42,64	0,91	0,24	(1,00)
AW SW	15,30	7,99	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		7,32	1,3	1,30	--
AW NW	18,48	11,06	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		7,43	1,3	1,30	--
Kellerdecke	90,93	90,93	1,19	0,30	0,60
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>326,95</b>			

### 5-Sonstige Aufenthaltsräume

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
AW NO	38,28	21,17	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		17,11	1,3	1,30	--
AW SO	31,24	31,24	0,91	0,24	(1,00)
AW SW	77,88	43,66	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		34,22	1,3	1,30	--
AW NW	96,36	59,24	0,91	0,24	(1,00)
Fenster		37,13	1,3	1,30	--
Kellerdecke	343,17	343,17	1,19	0,30	0,60
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>586,93</b>			

Die Tabelle listet die Bauteile des Gebäudes mit den relevanten Bestandsdaten auf. Für die energetische Bewertung der Konstruktionen sind zum Vergleich die zulässigen Höchstwerte nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) mit angegeben<sup>7</sup>.

## 11.1.4 Anlagentechnik

### Beheizung

In dem betrachteten Gebäude befindet sich die Fernwärmestation, welche im Technikraum des unbeheizten Kellers untergebracht ist. Die Fernwärmestation versorgt die gesamte Liegenschaft mit Wärme. Aufgrund der großen Dimensionen der Zuleitungen ist der Keller sehr warm.

#### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Heizung

##### Fernwärme

Anzahl Erzeuger	1
Art des Systems	indirekt
Geometrie	wird vom Gebäude übernommen

#### 1. Nah-/Fernwärme

Erzeuger	Nah-/Fernwärme
Baujahr	2010
Art des Erzeugers	Wasser - niedrige Temperatur
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Energieträger	Nah/Fernwärme aus Heizwerken

#### Details

Vor-/Rücklauftemperatur [°C]	80,0/60,0
Betriebsweise bei mehreren Prozessbereichen	Vorrangbetrieb
Dämmklasse Sekundär-/Primärseite	Sekundär 4, Primär 5
Regelung innerhalb der Station	nein
Nennleistung Fernwärmehausstation [kW]	322,12 (Standardwert)

Die Umwälzpumpen innerhalb der Heizungsanlage sind geregelt. Die vorhandene Regelungstechnik entspricht nicht dem heutigen Stand der Technik.

Für die Heizung läuft ein Wochenprogramm mit fest eingestellten Zeiten, das nur im Heizungsraum geändert werden kann. Eine Temperaturabsenkung in der Nacht und am Wochenende ist eingerichtet.

Die Verteilungsrohre sind teilweise nicht gedämmt und stark korrodiert. Einige Absperrventile sind ohne Dämmkappen.

<sup>7</sup> Die zulässigen U-Werte beziehen sich gemäß GEG Anlage 7 auf die Begrenzung des Wärmedurchgangs beim erstmaligen Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen.

Bei Fensterbauteilen handelt es sich um den gemittelten  $U_w$ -Wert für Rahmen und Verglasung



Abbildung 38: Rohre teilweise nicht gedämmt und stark korrodiert

Ein hydraulischer Abgleich ist nicht durchgeführt worden und die Heizkörper werden aufgrund der hohen Zulauf-Temperaturen, sehr warm. Aufgrund des Alters der Heizungsanlage ist eine Optimierung bzw. Neuplanung der wärmeerzeugenden Anlage sinnvoll. Dies ist einerseits, um einem möglichen Anlagenversagen vorzubeugen, andererseits auch vor dem Hintergrund ökologischer Optimierungen, durchaus zu empfehlen.

## Warmwasserbereitung

### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Trinkwarmwasser

Die Warmwasserbereitung des Diesterweg-Gymnasiums Schulgebäude-027-01 erfolgte in der Vergangenheit zentral über die Fernwärme. Die zentrale Warmwasserversorgung wurde im Laufe der Jahre abgestellt.

Aus hygienischen Gründen ist es zu empfehlen, die Warmwasserversorgung in den Sanitarräumen über dezentral angeordnete elektrische 5,0 l-Untertischgeräte wieder herzustellen.

## Lüftung

Eine Lüftung findet in jedem Gebäude zum einen kontrolliert, zum anderen auch unkontrolliert statt. Unkontrollierte Lüftungswärmeverluste erfolgen im Wesentlichen über Fenster- und Türfugen. Aber auch Mauerwerksfugen, Maueranschlüsse, Trockenbaufugen etc. können zu hohen Lüftungswärmeverlusten führen.

Ein Mindestluftwechsel ist hygienisch und bauphysikalisch notwendig. Ebenfalls müssen CO<sub>2</sub> und Feuchtigkeit, die beim Prozess des Ausatmens entstehen, abgeführt werden. Eine Lüftung ist auch nötig, um Schimmelbildung durch erhöhte Feuchtigkeit vorzubeugen und vermehrt austretende Schadstoffe aus modernen Baustoffen, Kunststoffen oder Belägen zu entfernen.

In den untersuchten Gebäuden erfolgt die Be- und Entlüftung ausschließlich über die vorhandenen Fenster und Türen.

## Beleuchtung

In den betrachteten Gebäuden befinden sich ein- bzw. mehrflammige Leuchtentypen als Ein- und Anbauleuchte mit einer Leistung  $P_{\text{Lampe}}$  bis zu 58W sowie mit konventionellen Vorschaltgeräten [KVG].

In den Verkehrsflächen und einigen Unterrichtsräumen wurde die Beleuchtung bereits erneuert und auf stabförmige Leuchtstofflampen mit elektrischen Vorschaltgeräten [EVG] umgerüstet.

**Mit Ermittlung der elektr. Leistung und der jährlichen Nutzungsdauer der bestehenden Beleuchtungsanlage wird der jährliche Energieeinsatz pro Gebäude bzw. Beleuchtungszone bestimmt.**

**Die Ermittlung der elektr. Leistung wurde über das Tabellenverfahren nach DIN V 18599-Teil 4 bestimmt.**

### Beleuchtungsbereich 1: Unterricht KVG

Fläche [m <sup>2</sup> ]	1.729,24 (95,4 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{\text{TL}}$ [m <sup>2</sup> ]	1.602,95
Fläche ohne Tageslicht $A_{\text{kTL}}$ [m <sup>2</sup> ]	126,29
lichte Raumhöhe [m]	4,13 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{\text{TL,Vers}}$ [-]	0,886
Höhe der Nutzebene $h_{\text{Ne}}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{\text{Tag}}$ [h]	1400,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{\text{Nacht}}$ [h]	0,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	0,97 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,25 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{\text{AL}}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{\text{RL}}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	0,9 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW SO (9mal)
Fenster – AW NO (8mal)

Fenster – AW NO (7mal)
Fenster – AW SW (8mal)
Fenster – AW SW (7mal)
Fenster – AW NW (24mal)
Fenster – AW NW (19mal)

### Beleuchtungsbereich 2: Unterricht EVG

Fläche [m <sup>2</sup> ]	82,82 (4,6 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	61,99
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,83
lichte Raumhöhe [m]	4,13 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,860
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	1400,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	0,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	0,97 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,25 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	2,0 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	2,0 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	0,9 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW SO (3mal)
------------------------

### Beleuchtungsbereich 3: Verkehrsflächen

Fläche [m <sup>2</sup> ]	1.334,72 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	699,94
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	634,78
lichte Raumhöhe [m]	4,13 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20



vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,831
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	0,20 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Automatisch
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW NO
Fenster TRH – AW NO (3mal)
Tür Eingang – AW NO
Fenster Flur – AW SO (20mal)
Fenster TRH – AW SO (3mal)
Tür Eingang Lehrer – AW SO
Tür Eingang Hof – AW SO
Fenster – AW SW (2mal)
Fenster – AW SW (3mal)
Tür Eingang – AW SW
Fenster – AW NW (2mal)
Fenster – AW NW (3mal)
Fenster – AW NW (3mal)

### Beleuchtungsbereich 4: Sanitärräume

Fläche [m <sup>2</sup> ]	126,30 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	126,30
Fläche ohne Tageslicht $A_{kTL}$ [m <sup>2</sup> ]	0,00
lichte Raumhöhe [m]	4,13 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,833



Höhe der Nutzenebene $h_{Ne}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	200,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW SO (4mal)
Fenster – AW SW (4mal)

### Beleuchtungsbereich 5: Lager/Technik

Fläche [m <sup>2</sup> ]	135,81 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	121,34
Fläche ohne Tageslicht $A_{KTL}$ [m <sup>2</sup> ]	14,47
lichte Raumhöhe [m]	4,13 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,880
Höhe der Nutzenebene $h_{Ne}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,98 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	1,5 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	1,5 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt

Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG
-----------	-------------------------------------

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW NO (2mal)
Fenster – AW NO (2mal)
Fenster – AW NO
Fenster – AW SW
Fenster – AW NW

### Beleuchtungsbereich 6: Sonstige Aufenthaltsräume

Fläche [m <sup>2</sup> ]	275,33 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	254,57
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	20,76
lichte Raumhöhe [m]	4,13 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,857
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	0,93 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,5 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	1,25 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	1,25 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW NO (2mal)
Fenster – AW SW (4mal)
Fenster – AW NW (5mal)

## Einstufung von Solar und Photovoltaik

### **Nutzung einer Solaranlage für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung**

Die Installation einer Solaranlage zur Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung bringt eine zusätzliche Einsparung an fossiler Energie und dient einer Reduktion von Emissionen.

Bei der thermischen Nutzung von Sonnenenergie mittels Sonnenkollektoren, wird Sonnenlicht für die Erwärmung des Heiz- und Warmwasserbedarfs genutzt. Dieses kann zum Duschen, Händewaschen oder wenn ein Warmwasseranschluss an Geräten wie Geschirrspülmaschine und Waschmaschine vorhanden ist, für deren Reduktion des Energieverbrauches eingesetzt werden. Besonders sinnvoll ist die Kombination von Heizkessel und Warmwasserbereiter, wenn das Warmwasser im Sommer vollständig durch die Solaranlage geliefert und der Kessel abgeschaltet werden kann. Unter allgemein guten Bedingungen lassen sich mit einer solchen Anlage jährlich bis zu 50 bis 60% des Warmwasserbedarfes decken. In den Übergangsmonaten, wie Frühjahr und Herbst, kann die solare Heizungsunterstützung bis zu ca. 15 % an Heizenergie einsparen.

Als Kollektortypen stehen Flach-Kollektoren und Vakuum-Röhren-Kollektoren zur Auswahl. Die in den Kollektoren gewonnene Solarenergie wird über ein Wärmeträgermedium in einen sogenannten bivalenten Warmwasserspeicher geleitet. Bivalent deshalb, weil dieser Speicher von zwei Wärmequellen (Solarkollektor, Heizkessel) versorgt wird. Vorrangig ist dabei die Nutzung der Solarenergie. Reicht diese nicht aus, bringt der Heizkessel das Warmwasser auf das gewünschte Temperaturniveau.

Eine Nutzung von Solarenergie für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung ist möglich. Aufgrund des geringen bzw. fehlenden Warmwasserbedarfs ist eine Solarthermie-Anlage für das Schulgebäude nicht sinnvoll.

### **Nutzung von Solarstrom zur Eigenstromversorgung**

Die regenerative Stromerzeugung führt mittlerweile zu einer erheblichen Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Belastung der Umwelt. Unter Berücksichtigung der Vorgaben nach dem aktuellen EEG sowie den steigenden Strompreisen, wird die Eigennutzung des eigen erzeugten Solarstroms unter wirtschaftlichen Aspekten attraktiver und sollte zukünftig in die Überlegungen für die Bewirtschaftung eines Gebäudes mit einbezogen werden. Bedingt durch die stufenweise bzw. kontinuierliche Verminderung der Einspeisevergütung für die regenerative, bzw. solare Stromerzeugung wird die reine wirtschaftliche Betreibung einer Photovoltaikanlage zusehends schwieriger.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Photovoltaikanlage wird als erster Schritt der Strombedarf für das Gebäude ermittelt. Dieses lässt sich durch eine elektrische Wirkleistungsmessung feststellen. Danach sollte ein möglichst hoher, aber realistischer, Eigennutzungsanteil des Solarstroms festgelegt werden. Um diese Vorgaben umzusetzen, muss gleichzeitig überprüft werden, ob die vorhandenen Dachflächen für die Installation der Paneele groß genug sind. Bei Schrägdächern ist eine geeignete Ausrichtung erforderlich. Flachdächer stellen bezüglich der Ausrichtung kein Problem dar. Sofern die vorgesehene Dachkonstruktion zusätzliche Lasten aufnehmen kann (Prüfung durch Statiker erforderlich) wird auf der vorgesehenen Dachfläche eine entsprechend große Photovoltaikanlage

installiert. Die wirtschaftliche Größe der Anlage sollte durch eine Simulation, unter Berücksichtigung der Vorgaben nach dem aktuellen EEG, ermittelt werden.

Eine Nutzung von Solarenergie durch eine Photovoltaikanlage ist möglich. In der energetischen Gebäudesimulation des Gebäudes (Einzelbetrachtung jedes Gebäudes) werden zwei Anlagen nach GEG genauer untersucht. Eine Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub> (bei den Varianten V1, V2, V3 und V4) und eine Anlage mit einer 23 kW<sub>Peak</sub> bei der Passivhausvariante V5.

## 11.2 Gebäudebetrachtung

### 11.2.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes

Energiebedarfskennwerte <sup>8</sup> der bewerteten Gebäude in [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)]	
spez. Endenergiebedarf Heizung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>158,21</b>
spez. Endenergiebedarf Trinkwarmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>0,00</b>
spez. Endenergiebedarf Lüftung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>0,00</b>
<b>Beleuchtungsstrom</b>	<b>4,33</b>
<b>Wärmeenergie (Heizung + Warmwasser)</b>	<b>158</b>

*Kennwerte auf Basis der durchgeführten Berechnung des Gebäudes*

Wo die ermittelten Energieverbrauchskennzahlen den tatsächlichen Verbrauch an Strom und Wärme der Liegenschaft, auf der sich das untersuchte Gebäude befindet, abbilden und bewertbar machen, erfolgt die ingenieurstechnische Berechnung und Analyse des Gebäudes und die Erarbeitung von Sanierungsmaßnahmen und deren Effekte auf Basis einer theoretischen Berechnung auf Grundlage der DIN 18599.

Da diese sich jedoch u. a. auf eine genormte Nutzung des Gebäudes stützt, sind die errechneten Werte mit den Energieverbräuchen nicht identisch. Aufgrund der Rechenmethodik sind Abweichungen von bis zu 20 % durchaus möglich und sind bei der Bewertung der Sanierungsmaßnahmen, unbedingt zu berücksichtigen.

→ **Alle nachfolgenden Berechnungen und Aussagen basieren auf der Bedarfsberechnung des untersuchten Gebäudes**

<sup>8</sup> Vom Berechnungsprogramm rechnerisch ermittelter Verbrauchswert mit der Einheit [kWh/m<sup>2</sup>a]

## 11.3 Tabellarische Gesamtübersicht

Parameter	Ausgangsfall	V1- GEG	V2- KfW 40	V3- Öko	V4- Reg. Vers.	V5- Passivhaus
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	494.300	1.499.080	1.965.435	1.698.310	3.222.561
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	429.826	1.303.548	1.709.074	1.476.791	2.802.227
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>9)</sup>	--	9	19	22	21	24
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,03	0,09	0,11	0,10	0,10
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>10)</sup>	45.796	25.130	21.997	21.364	33.598	11.683
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	20.666	23.799	24.432	12.197	34.113
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	45,1	52,0	53,3	26,6	74,5
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	598.820	328.386	296.566	287.910	314.233	58.827
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	270.433	302.253	310.910	284.587	539.992
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	45,2	50,5	51,9	47,5	90,2
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	291.601	171.312	142.934	139.032	181.909	105.889
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	120.289	148.668	152.570	109.693	185.712
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	41,3	51,0	52,3	37,6	63,7
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	183.908	100.886	89.774	87.175	34.923	32.943
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	83.023	94.135	96.733	148.985	150.965
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	45,1	51,2	52,6	81,0	82,1

\* siehe Definition von energetisch bedingten Investitionskosten (energiebedingte Mehrkosten) unter 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>9)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

<sup>10)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

Parameter	Ausgangsfall	V6- DK-GEG	V7- DK-Öko	V8- DK-Reg.	V9- DK-KfW 55
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	434.043	816.144	851.227	1.826.899
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	377.428	709.690	740.197	1.588.608
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>11)</sup>	--	15	15	16	24
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,06	0,06	0,07	0,12
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>12)</sup>	45.796	34.962	26.875	40.409	25.349
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	10.834	18.921	5.387	20.447
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	23,7	41,3	11,8	44,6
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	598.820	467.217	356.538	400.594	335.658
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	131.603	242.282	198.225	263.161
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	22,0	40,5	33,1	43,9
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	291.601	219.341	169.450	212.412	160.038
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	72.261	122.152	79.189	131.563
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	24,8	41,9	27,2	45,1
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	183.908	141.916	108.696	41.949	102.429
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	41.992	75.212	141.959	81.479
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	22,8	40,9	77,2	44,3

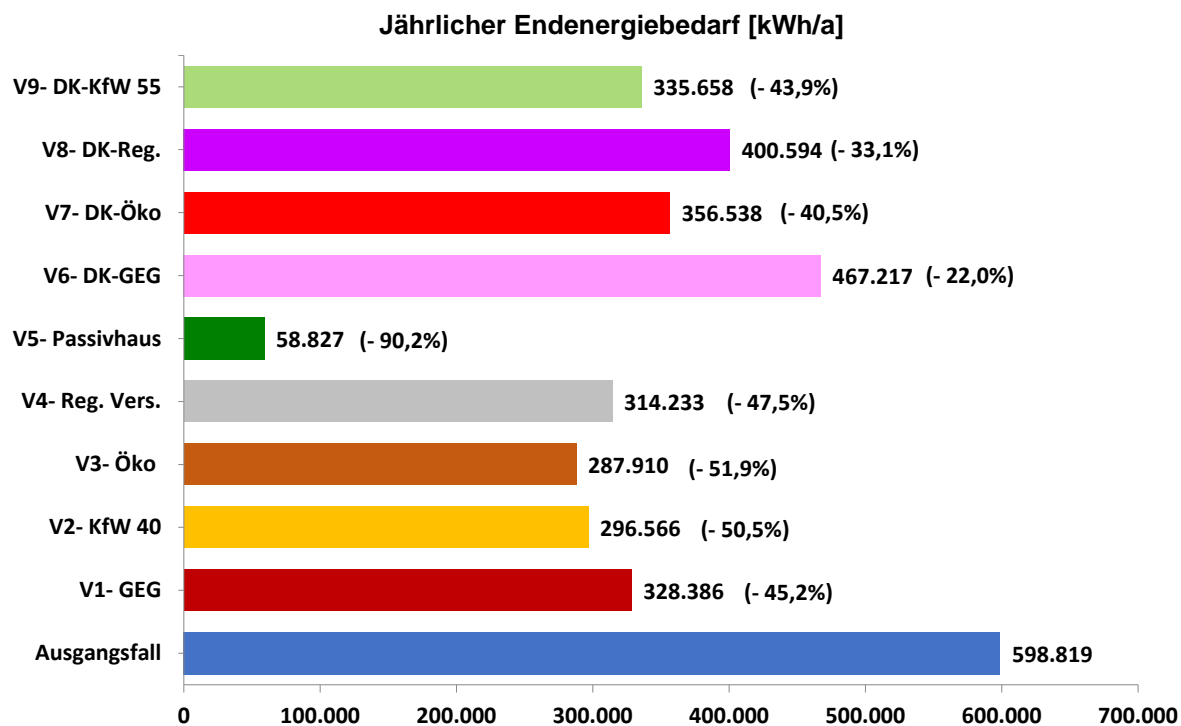
\* siehe 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>11)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

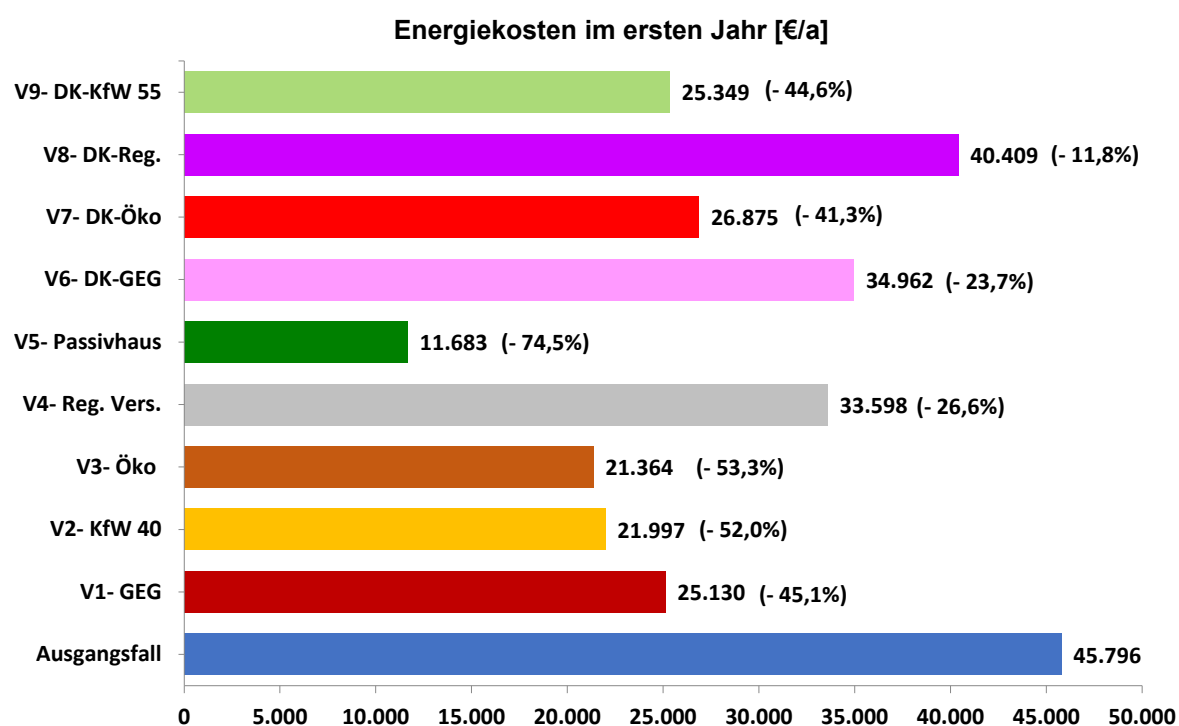
<sup>12)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

## 11.4 Endenergie- und Kosteneinsparung

Nachfolgend ist der Endenergiebedarf mit der prozentualen Einsparung pro Variante nach Maßnahmenumsetzung aufgeführt:



Hier wird die Auswirkung der energetischen Sanierung auf die Energiekosten pro Variante verdeutlicht:

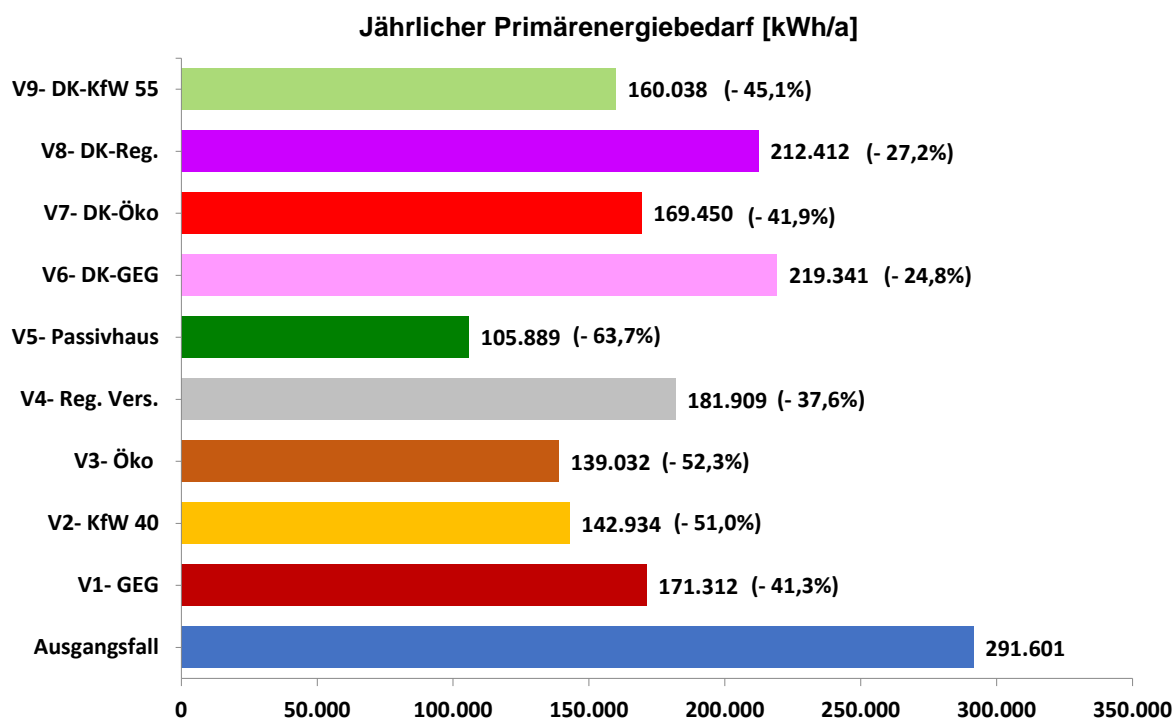


## 11.5 Gesamteffizienz und Klimaschutz

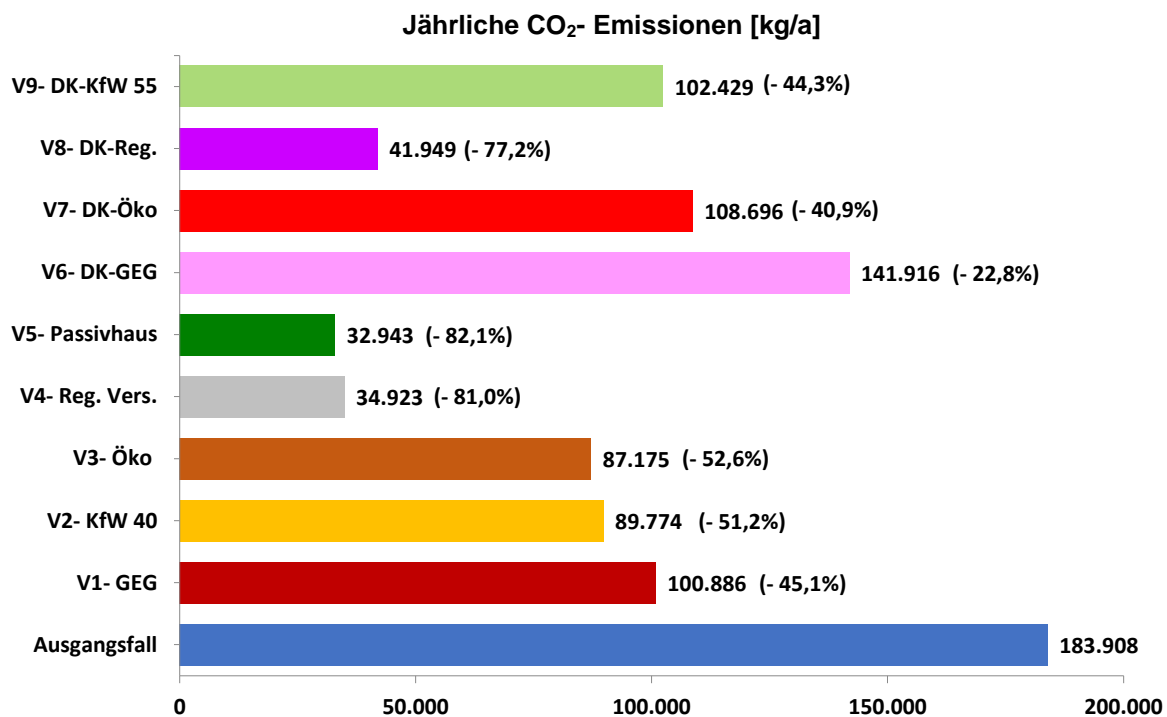
Wie in der Einleitung dieses Berichtes bereits umrissen wurde, sollen die geplanten Maßnahmen einen wirksamen Klimaschutzeffekt erreichen. Kennzeichen hierfür sind die Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Ausstoß und Primärenergie.

Maßnahmen wirken sich dann besonders positiv aus, wenn möglichst viele fossile Energieträger eingespart werden. Dies führt zu einem geringen Primärenergiebedarf und gleichzeitig zu einem geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Neben der CO<sub>2</sub>-Einsparung wird die Umwelt durch weniger NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> und Staub belastet.

In folgendem Diagramm werden die Klimaschutzaspekte der einzelnen Varianten anhand des Primärenergiebedarfes und der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmen dargestellt.







## 11.6 Sanierungsvarianten – Schule 027-01

Nachfolgend erfolgt die Darstellung und Zusammenstellung der Sanierungsvarianten (SV):

### **Untersuchte Sanierungsvarianten:**

V1- GEG (worst case)

V2- KfW 40

V3- Ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V4- Regenerative Versorgung

V5- Passivhaus

V6- Denkmal – GEG (worst case)

V7- Denkmal - ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V8- Denkmal – regenerative Versorgung

V9- Denkmal – KfW 55

## 11.6.1 V1- GEG

Ziel dieser Variante ist, die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu erfüllen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (14 cm Mineralwolle WDVS): für die Ausführung werden folgende Arbeiten berücksichtigt. Die freigelegten Wandflächen werden für das Anbringen der Wärmedämmung gesäubert und vorbereitet. Die Dämmschicht wird vollflächig angebracht und verdübelt. Die Gestaltung der äußeren Schicht kann individuell durch z. B. Putz erfolgen. Auf die wärmebrückenfreie Einbindung der Fenster ist zu achten. Somit kann ein U-Wert von 0,20 [W/(m<sup>2</sup>K)] erreicht werden. Dadurch kann die Maßnahme im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle): somit kann ein U-Wert von 0,23 [W/(m<sup>2</sup>K)] erreicht werden. Dadurch kann die Maßnahme im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich: für das Gebäude wird eine Heizlast- und Volumenstromberechnung durchgeführt. Die vorhandenen Heizpumpen werden gegen Hocheffizienzpumpen ausgetauscht. Den korrodierten Rohren werden ausgetauscht und allen Rohren bzw. Absperrventile werden entsprechend der Anforderungen des GEGs gedämmt. Danach wird die Heizungsanlage entsprechend der Volumenstromberechnung hydraulisch abgeglichen. Die Maßnahme kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Gebäudeautomation: hier wird eine bedarfsabhängige Regelung des Heizungssystems installiert. Die Maßnahme kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- PV-Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub>. die Einspeisevergütung wurde in der Wirtschaftlichkeitsberechnung mitberücksichtigt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 8 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 70 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 35 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V1- GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	494.300	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	429.826	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	25.130	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	20.666	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	45,1	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	328.386	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	89,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	270.433	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	45,2	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	100.886	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	83.023	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	45,1	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	9	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,03	€/kWh

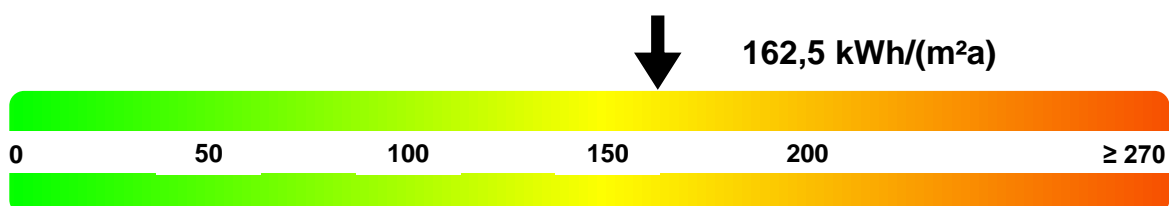
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

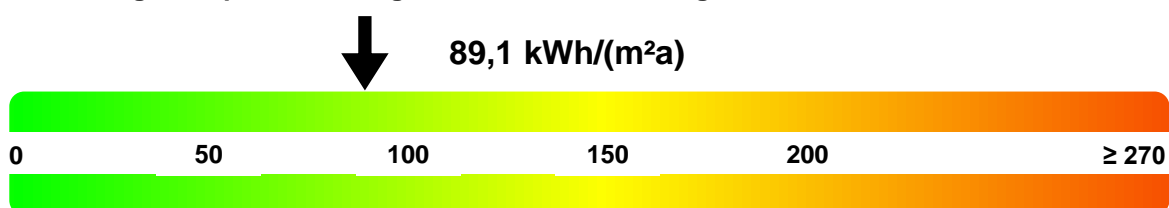
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



### GEG-Ergebnisse der Variante (V1-GEG) nach § 50 GEG

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	46,50	141,28	32,9 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m²K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,170	0,5	30,4 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	1,300	2,6	48,9 %

### KfW-Ergebnisse der Variante (V1-GEG)

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“. Die Anforderungen der verschiedenen KfW-Effizienzhaus-Standards wurden unter 3.2 KfW-Anforderungen erläutert.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	46,5	100,9	46%	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	171.312,3	371.779,5	46%	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,172	0,26	66%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	1,300	1,40	93%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzgebäude 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten Variante betragen 92.635 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 335.446 kWh/a.

### Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von -38.435 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -63.325 kWh/Jahr (+23 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von 68.551 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **263.373 kWh/Jahr (-44%)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 11.6.2 V2- KfW 40

Ziel dieser Variante ist, den KfW 40 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (14 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub>.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Kunststofffenster mit einem U<sub>w</sub>-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Dadurch kann die Maßnahme im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 17 Jahren.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 40	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.499.080	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.303.548	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	21.997	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	23.799	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	52,0	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	296.566	kWh/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 40	
	Wert	Einheit
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	80,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	302.253	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	50,5	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	89.774	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	94.135	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	51,2	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	19	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,09	€/kWh

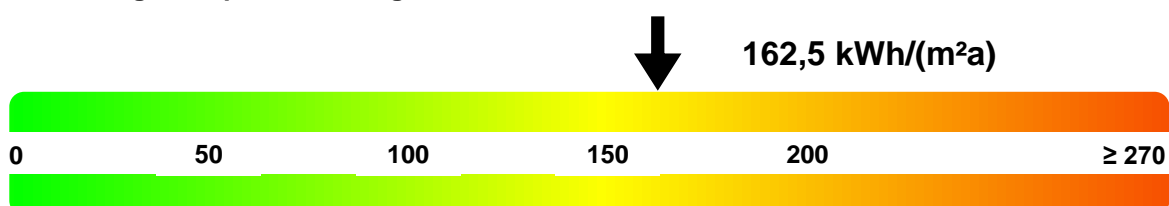
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

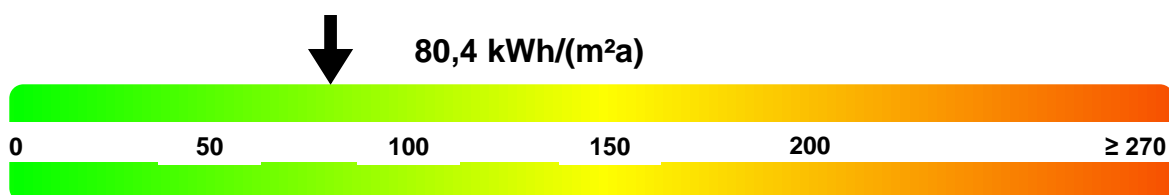
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



### KfW-Ergebnisse der Variante (V2-KfW 40)

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	38,8	100,9	38%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	142.933,7	371.779,5	38%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,172	0,18	96%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,900	1,00	90%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten Variante betragen 80.424 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 300.601 kWh/a.

### Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von -26.224 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -28.479 kWh/Jahr (+10 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von 80.762 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **298.219 kWh/Jahr (-50%)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.



### 11.6.3 V3- Ökologische und nachhaltige Variante

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (vorgehängte, hinterlüftete Fassade VHF): die freigelegten Wandflächen werden für das Anbringen der Wärmedämmung gesäubert und vorbereitet. Zwischen der Unterkonstruktion wird die Dämmschicht vollflächig angebracht und verdübelt. Hier kommt 15 cm Zellulosedämmplatten in einer Unterkonstruktion zum Einsatz. Die Verkleidung der äußeren Fläche erfolgt durch Holzplatten (Massivholz oder zementgebundene Spanplatten). Somit kann ein U-Wert von 0,20 [W/(m<sup>2</sup>K)] erreicht werden. Dadurch kann die Maßnahme im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Dämmung der Kellerdecke (16 cm Zellulosedämmplatten): somit kann ein U-Wert von 0,22 [W/(m<sup>2</sup>K)] erreicht werden. Dadurch kann die Maßnahme im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub>.
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen
- Fassadenbegrünung an der Südost- und Südwestseite mit einer gesamten Fläche von 490 m<sup>2</sup>.
- LED Beleuchtung
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem U<sub>w</sub>-Wert von 0,8 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Dadurch kann die Maßnahme im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 20 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

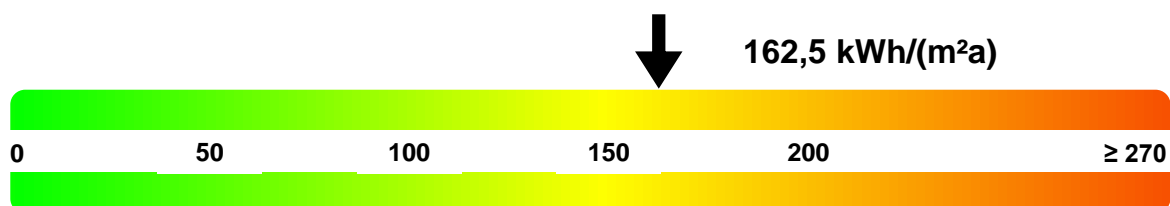
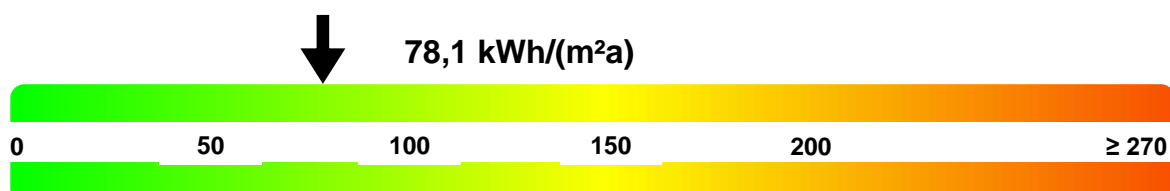
Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V3- Öko	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.965.435	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.709.074	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	21.364	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	24.432	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	53,3	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	287.910	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	78,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	310.910	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	51,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	87.175	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	96.733	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	52,6	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	22	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,11	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V3-Öko)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	37,7	100,9	<b>37%</b>	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	139.031,6	371.779,5	<b>37%</b>	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,171	0,18	<b>95%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,00	<b>80%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 78.171 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 291.944 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -23.971 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -19.823 kWh/Jahr (+7 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 83.014 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **306.875 kWh/Jahr (-51%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 11.6.4 V4- Regenerative Versorgung

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (18 cm Mineralwolle WDVS)
- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle)
- Austausch der Fenster (Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von 0,8 W/m<sup>2</sup>K).
- LED Beleuchtung
- PV-Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub>.
- Heizungsanlage mit Gasbrennwertkessel und Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Gasbrennwertkessel als Führungskessel (mit 100% Biomethan) und Biomassekessel (Pelletkessel) als Folgekessel eingebaut. Der Gasanschluss muss dafür errichtet werden. Die Infrastruktur ist in der Liegenschaft vorhanden. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden. Diese Heizungsanlage zählt als Gashybrid-Heizung und kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 30% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 19 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V4- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.698.310	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.476.791	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	33.598	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	12.197	€/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V4- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	26,6	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	314.233	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	85,2	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	284.587	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	47,5	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	34.923	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	148.985	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	81,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	21	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,10	€/kWh

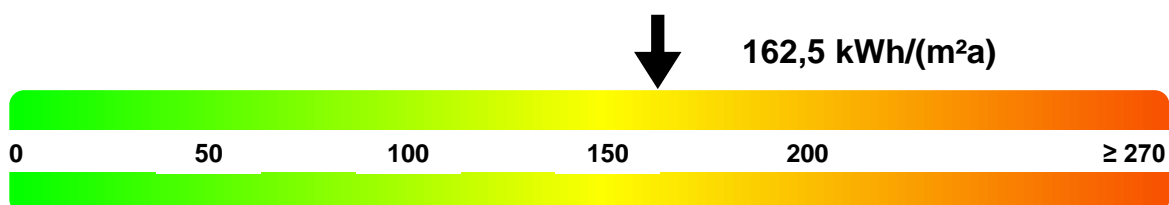
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

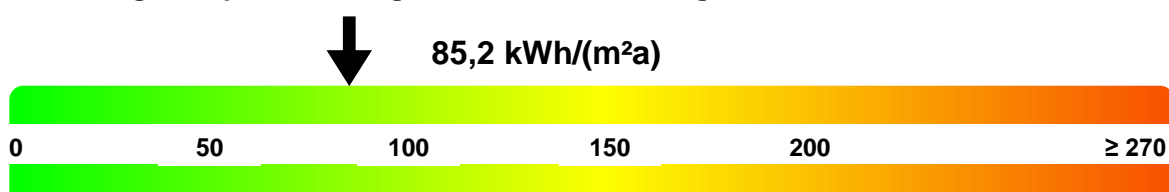
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V4-Reg. Vers.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	49,4	100,9	49%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	181.908,8	371.779,5	49%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,152	0,22	69%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,20	67%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).  
Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 4.456 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 318.267 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 49.744 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -46.145 kWh/Jahr (+17 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 156.729 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **280.552 kWh/Jahr (-47%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 11.6.5 V5- Passivhaus

Ziel dieser Variante ist, ein Passivhaus Standard zu erreichen.

„Um die Handhabung im täglichen Planungsgeschehen zu vereinfachen, wurden aus dem grundlegenden Ansatz (Passivhaus Definition) die bekannten Passivhaus-Kriterien für Gebäude in kühlgemäßem Klima (z.B. Mitteleuropa) abgeleitet.

Passivhauskriterien:

- Der Heizwärmebedarf liegt im Passivhaus unter  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  (bezogen auf die Wohnfläche) - oder die Heizlast liegt unter  $10 \text{ W}/\text{m}^2$
- Der Primärenergiebedarf überschreitet  $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  nicht.
- Die Luftdichtheit erreicht mindestens  $n_{50} = 0,6/\text{h}$ .
- Die Übertemperaturhäufigkeit im Sommer sollte unter 10 % liegen.“<sup>13</sup>

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (30 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der Kellerdecke (30 cm Mineralwolle).
- Austausch der Fenster (Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,7 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ ).
- zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit 10 cm Mineralwolle Dämmung (39 cm insgesamt).
- zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit 24 cm Expandierter Polystyrolschaum Dämmung (35 cm insgesamt).
- LED Beleuchtung.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $23 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen
- zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung: die RLT-Anlage soll mit Filtertechnik mit Virenschutzfunktion (HEPA) ausgestattet sein und die Steuerung soll über Gassensoren (z.B.  $\text{CO}_2$ ) erfolgen. So kann ein optimaler Betrieb gesichert werden. Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann der Einbau, Austausch oder Optimierung raumluftechnischer Anlagen inklusive Wärme-/ Kälterückgewinnung als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 20% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- zur Wärmeversorgung werden zwei strombetriebene Luft-Wasser-Wärmepumpen (je  $42 \text{ kW}$ ) mit integriertem Heizstab für die Beheizung der Schule genutzt. Die Quelle bzw. Senke wird über die Außenluft realisiert. Die Wärmepumpen sind auf niedrige Systemtemperaturen ausgelegt. Je niedriger die Vorlauftemperatur ist, desto effizienter und sparsamer kann das Heizsystem arbeiten. Um das zu ermöglichen, wird Deckenheizung in allen beheizten Räumen verlegt. Diese Heizungsanlage kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 35% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.

---

<sup>13</sup> [https://passipedia.de/grundlagen/was\\_ist\\_ein\\_passivhaus](https://passipedia.de/grundlagen/was_ist_ein_passivhaus)

- Gebäudeautomation – Heizungs- und Lüftungssystem.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker und Passivhaus-Planer geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 21 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V5- Passivhaus	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	3.222.561	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	2.802.227	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	11.683	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	34.113	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	74,5	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> NGF*a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	58.827	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	15,9	kWh/(m <sup>2</sup> NGF*a)
jährliche Endenergieeinsparung	539.992	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	90,2	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	32.943	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	150.965	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	82,1	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	24	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,10	€/kWh

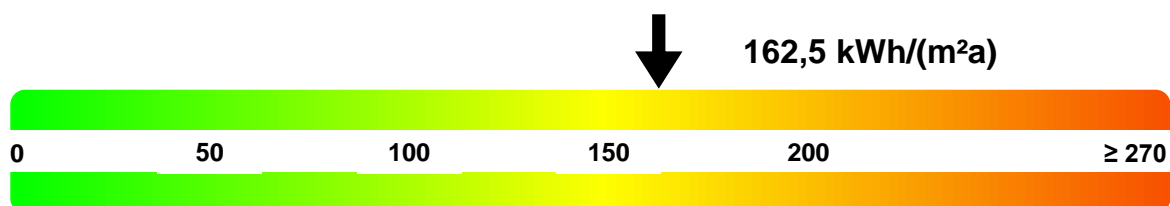
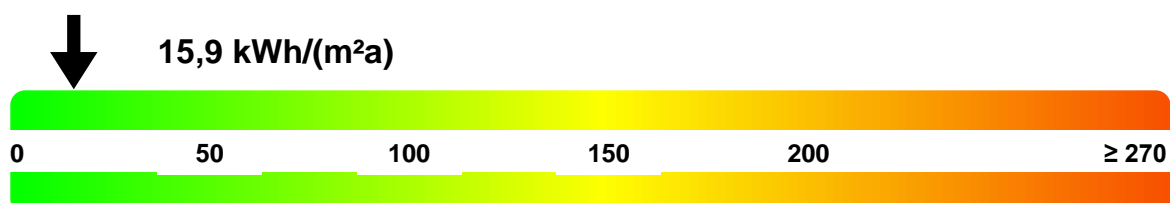
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.



**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V5-Passivhaus)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	28,7	100,9	28%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	105.889,1	371.779,5	28%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,084	0,18	47%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,700	1,00	70%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).  
Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 42.118 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 58.827 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 31.719 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von 225.501 kWh/Jahr (-79 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 119.067 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **539.992 kWh/Jahr (-90%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

**Regenerativ erzeugter Strom**

- Gesamter Strombedarf: 70.787 kWh/a
- Gesamte Eigennutzung regenerativ erzeugten Stromes: 11.960 kWh/a
- Deckungsanteil am Strombedarf: 16,9 %
- Berechnung des PV-Ertrags nach DIN EN 15316-4-6: ja

## 11.6.6 V6- Denkmal – GEG

In dieser Variante wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet. Ziel der Variante ist, die Anforderungen des GEGs zu erfüllen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 15 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude Denkmal erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 25 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK-GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	434.043	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	377.428	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	34.962	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	10.834	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	23,7	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	467.217	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	126,8	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	131.603	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	22,0	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	141.916	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	41.992	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	22,8	%
Nutzungsdauer	50	a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK-GEG	
	Wert	Einheit
dynamische Amortisation	15	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,06	€/kWh

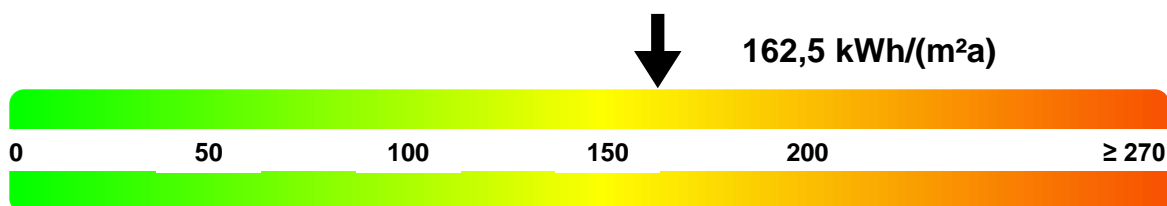
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

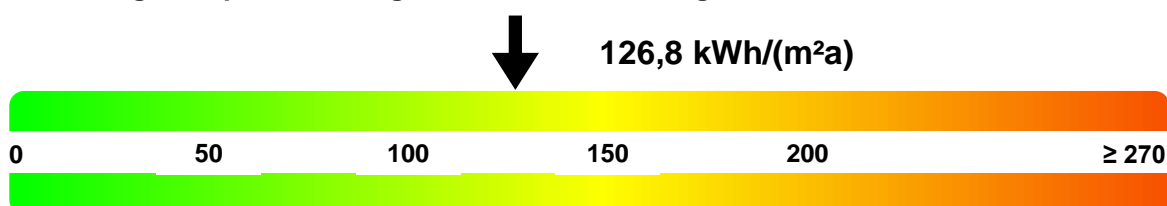
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



#### GEG-Ergebnisse der Variante (V6-DK GEG) nach § 50 GEG

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	59,54	141,28	42,1 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,530	0,5	94,6 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	1,300	2,6	48,9 %

#### KfW-Ergebnisse der Variante

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus Denkmal
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	59,5	100,9	<b>59%</b>	160 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	219.340,8	371.779,5	<b>59%</b>	160 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,530	0,61	<b>87%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus Denkmal (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 123.733 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 467.217 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -69.533 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -195.095 kWh/Jahr (+72 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 37.452 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **131.603 kWh/Jahr (-22%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 11.6.7 V7- Denkmal – ökologische und nachhaltige Variante

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (15 cm Zellulosedämmplatten).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 15 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 70 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 35 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V7- DK-Öko	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	816.144	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	709.690	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	26.875	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	18.921	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	41,3	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	356.538	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	96,7	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	242.282	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	40,5	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	108.696	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	75.212	kg/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V7- DK-Öko	
	Wert	Einheit
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	40,9	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	15	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,06	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

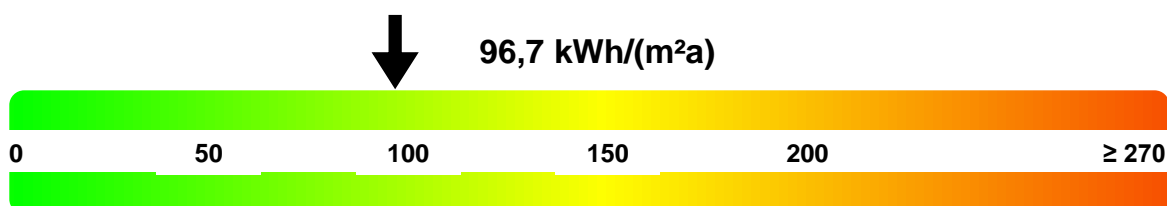
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



#### KfW-Ergebnisse der Variante (V7-DK Öko)

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	46,0	100,9	<b>46%</b>	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	169.449,6	371.779,5	<b>46%</b>	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,236	0,26	<b>91%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,300	1,40	<b>93%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzgebäude 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 94.935 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 356.538 kWh/a.

#### Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -40.735 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -84.418 kWh/Jahr (+13 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 66.250 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **242.282 kWh/Jahr (-40%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 11.6.8 V8- Denkmal – regenerative Versorgung

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Heizungsanlage mit Gasbrennwertkessel und Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Gasbrennwertkessel als Führungskessel (mit 100% Biomethan) und Biomassekessel (Pelletkessel) als Folgekessel eingebaut. Der Gasanschluss muss dafür errichtet werden. Die Infrastruktur ist in der Liegenschaft vorhanden. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden. Diese Heizungsanlage zählt als Gashybrid-Heizung und kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 30% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 16 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 70 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 35 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V8- DK-Reg.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	851.227	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	740.197	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	40.409	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	5.387	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	11,8	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a



Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V8- DK-Reg.	
	Wert	Einheit
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	400.594	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	108,7	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	198.225	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	33,1	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	41.949	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	141.959	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	77,2	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	16	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

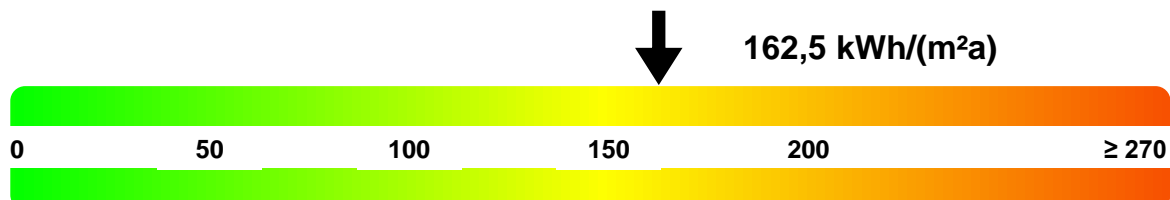
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

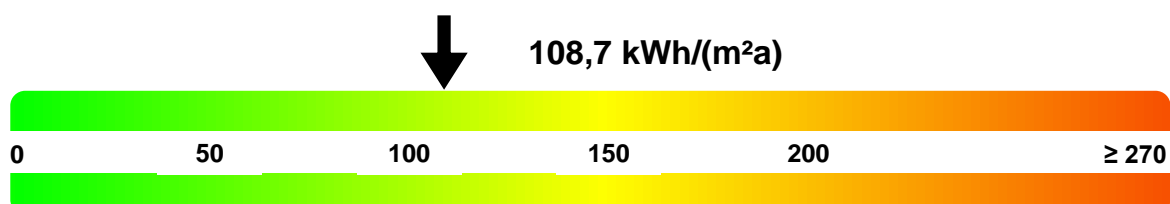
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V8-DK Reg.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	57,7	100,9	57%	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	212.412,3	371.779,5	57%	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,238	0,26	92%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,300	1,40	93%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzgebäude 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 4.475 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 400.594 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 49.725 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -128.473 kWh/Jahr (+47 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 156.710 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **198.225 kWh/Jahr (-33%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 11.6.9 V9- Denkmal – KfW 55

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, den KfW 55 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit 10 cm Mineralwolle Dämmung (39 cm insgesamt).
- zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit 19 cm Expandierter Polystyrolschaum Dämmung (30 cm insgesamt).
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Kunststofffenster mit einem  $U_w$ -Wert von 1,1 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 24 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V9- DK-KfW 55	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.826.899	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.588.608	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	45.796	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	25.349	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	20.447	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	44,6	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	598.820	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	162,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	335.658	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	91,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V9- DK-KfW 55	
	Wert	Einheit
jährliche Endenergieeinsparung	263.161	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	43,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	183.908	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	102.429	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	81.479	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	44,3	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	24	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,12	€/kWh

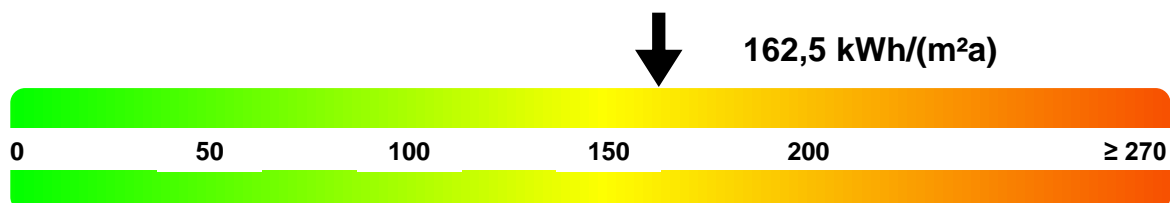
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

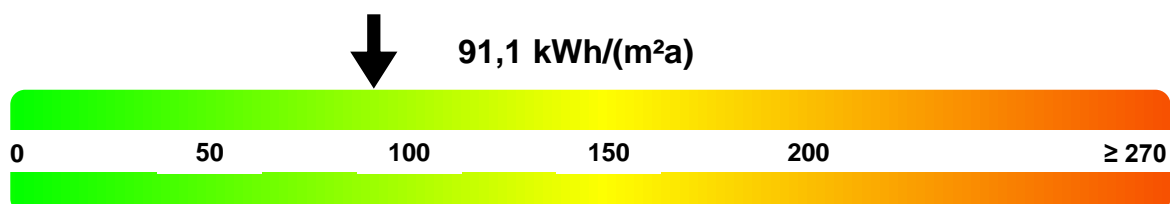
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V9- DK KfW 55)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	43,4	100,9	43%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	160.038,4	371.779,5	43%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,220	0,22	100%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,100	1,20	92%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 89.503 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 335.658 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -35.303 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -63.537 kWh/Jahr (+23 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 71.683 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **263.161 kWh/Jahr (-44%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 12 Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Schulgebäude (028-01)

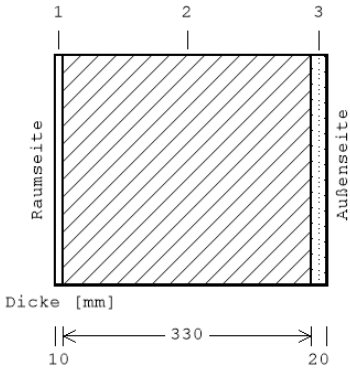
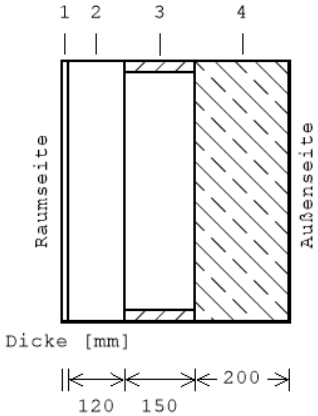
### 12.1 Ausgangssituation

#### 12.1.1 Beschreibung des untersuchten Objekts



Abbildung 39: Schulgebäude 028-01 - Ansicht vom Sportplatz

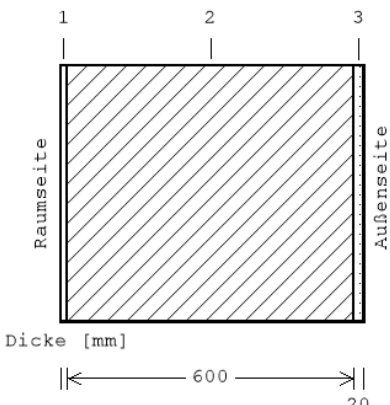
Grunddaten	
Gebäudetyp	Schulgebäude
Baujahr	1955
Baujahr des Wärmeerzeugers	2010
Gebäudevolumen netto [m <sup>3</sup> ]	13.456,3
Gebäudenutzfläche [A <sub>NGF</sub> ] [m <sup>2</sup> ]	4.251,4
Wärme übertragende Hüllfläche [A] [m <sup>2</sup> ]	5.841,3
Anzahl der Geschosse	4
<b>Anmerkung:</b> Flächen- und Volumenangaben beziehen sich lediglich auf thermisch konditionierte Zonen.	

Konstruktionsart																																				
Kellerdecke	<p>Decke aus Beton und Hohlblock (1949-1968)</p> <p>U-Wert= 1,13 [W/m<sup>2</sup>K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>10</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM</td> <td>330</td> <td>0,650</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</td> <td>20</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>360</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700	2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	330	0,650	3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000	<b>gesamt</b>		<b>360</b>																
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																																	
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700																																	
2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	330	0,650																																	
3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000																																	
<b>gesamt</b>		<b>360</b>																																		
Oberste Geschossdecke	<p>Kassettendecke (Stahlbeton)</p> <p>U-Wert= 1,01 [W/m<sup>2</sup>K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> <th>Breite [mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900</td> <td>9,5</td> <td>0,250</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN EN ISO 6946 Luftschicht 100mm (R=0,16 m<sup>2</sup>K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)</td> <td>120</td> <td>0,625</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2</td> <td>150</td> <td>0,620</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td></td> <td>DIN EN ISO 6946 Luftschicht 100mm (R=0,16 m<sup>2</sup>K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)</td> <td>150</td> <td>0,625</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2</td> <td>200</td> <td>0,620</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>479,5</b></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	Breite [mm]	1	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	9,5	0,250		2	DIN EN ISO 6946 Luftschicht 100mm (R=0,16 m <sup>2</sup> K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	120	0,625		3	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	150	0,620	50		DIN EN ISO 6946 Luftschicht 100mm (R=0,16 m <sup>2</sup> K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	150	0,625	500	4	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	200	0,620		<b>gesamt</b>		<b>479,5</b>		
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	Breite [mm]																																
1	DIN EN ISO 10456 Gipskartonplatten 900	9,5	0,250																																	
2	DIN EN ISO 6946 Luftschicht 100mm (R=0,16 m <sup>2</sup> K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	120	0,625																																	
3	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	150	0,620	50																																
	DIN EN ISO 6946 Luftschicht 100mm (R=0,16 m <sup>2</sup> K/W Wärmestrom aufwärts - nicht belüftet)	150	0,625	500																																
4	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	200	0,620																																	
<b>gesamt</b>		<b>479,5</b>																																		

Dach	Flachdach mit Bitumendachbahn (Kaltdach) <i>Außerhalb der thermischen Hülle (Bauteil irrelevant)</i>
Fenster	Kunststofffenster – Baualtersklasse ab 1995, $U_w$ -Wert= 1,8 [W/m <sup>2</sup> K] Verbund-Holzfenster – Baualtersklasse 1979-1983, $U_w$ -Wert= 2,7 [W/m <sup>2</sup> K] Holzfenster – Baualtersklasse 1984-1994, $U_w$ -Wert= 2,7 [W/m <sup>2</sup> K] Alufenster – Baualtersklasse bis 1978, $U_w$ -Wert= 4,3 [W/m <sup>2</sup> K] Alufenster – Baualtersklasse 1984-1994, $U_w$ -Wert= 3,2 [W/m <sup>2</sup> K] Alufenster (Baujahr 2010), $U_w$ -Wert= 1,3 [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	1949-1968 leichtes Mauerwerk Hohlblock $U$ -Wert= 0,89 [W/m <sup>2</sup> K]

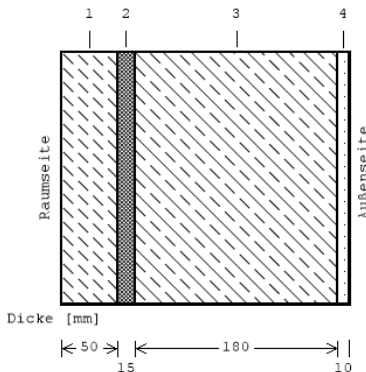
  

Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700
2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	600	0,650
3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000
<b>gesamt</b>		<b>630</b>	



Bodenplatte	1949-1968 Betondecke 1,5 cm Trittschall			
	U-Wert= 1,49 [W/m²K]			
	<b>Schicht</b>	<b>Material</b>	<b>Dicke [mm]</b>	<b><math>\lambda</math> [W/mK]</b>
	1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400
	2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040
	3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300
	4	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700
		<b>gesamt</b>	<b>255</b>	

Aufgrund von Undichtigkeiten im Blumenbeet (Flurbereich) sind Feuchtigkeitsschäden und sichtbarer Schimmelbefall an der Decke unterhalb zu sehen.



Abbildung 40: Feuchtigkeitsschäden durch Undichtigkeiten im Blumenbeet

Für die Berechnung des Energiebedarfs in Anlehnung an die DIN 18599 wurde das Gebäude in die folgenden Zonen unterteilt.

<b>Zone</b>	<b>Nutzungsprofil</b>	<b>Netto- grundfläche [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Flächen- anteil [%]</b>
1-Unterricht	8. Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)	1.649,2	38,8
2-Verkehrsflächen	19. Verkehrsflächen	1.451,1	34,1
3-Sanitarräume	16. WC und Sanitarräume in Nichtwohngebäuden	137,7	3,2
4-Lager/Technik	20. Lager, Technik, Archiv	419,3	9,9
5-Sonstige Aufenthaltsräume	17. Sonstige Aufenthaltsräume	594,1	14,0

Die Nutzungsprofile nach DIN 18599 legen die Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude z.B. Nutzungszeiten, tägliche Betriebsstunden der Heizung, Beleuchtungsstärke oder Raumbelastung fest. Die tatsächliche Nutzung des Gebäudes sowie das Nutzerverhalten kann von diesen nach Norm festgelegten Bedingungen abweichen.

## 12.1.2 Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude

Die Bedarfe für Nutz-, End- und Primärenergie ergeben sich aus der energetischen Gebäudesimulation und stellen den simulierten Ist-Zustand des Gebäudes dar.

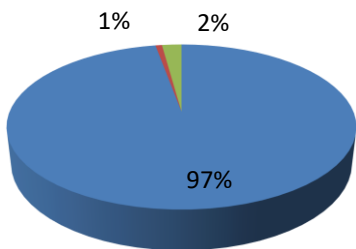
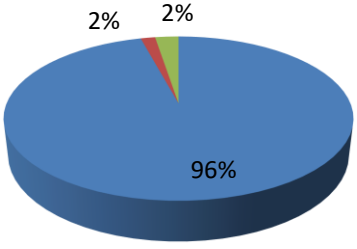
Jährlicher Nutzenergiebedarf	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	130,96	556.799,30	62,08	263.954,16
Trinkwarmwasser	0,96	4.084,10	1,03	4.389,65
Beleuchtung	2,91	12.381,70	1,67	7.092,77
<b>Gesamt</b>	<b>134,84</b>	<b>573.265,10</b>	<b>64,79</b>	<b>275.436,58</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 40: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01

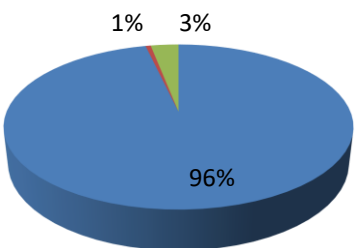
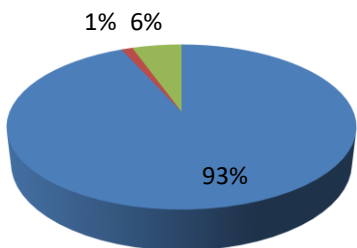
Jährlicher Endenergiebedarf (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	164,21	698.161,70	81,40	346.057,59
Trinkwarmwasser	0,96	4.102,40	1,07	4.542,86
Beleuchtung	5,23	22.232,50	4,75	20.208,69
<b>Gesamt</b>	<b>170,41</b>	<b>724.496,60</b>	<b>87,22</b>	<b>370.809,14</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 41: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01

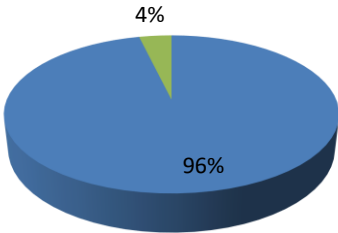
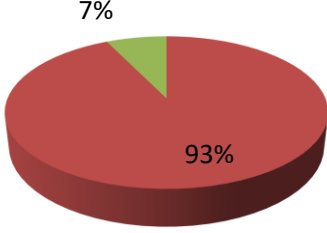
Endenergiebedarf nach Energieträgern (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Fernwärme aus Heizwerk (fossiler Brennstoff)	164,06	697.476,4	--	--
Erdgas	--	--	80,93	344.044,2
Strom-Mix	6,36	27.020,2	6,30	26.764,9
<b>Gesamt</b>	<b>170,42</b>	<b>724.496,6</b>	<b>87,23</b>	<b>370.809,1</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Fernwärme</li> <li><span style="color: green;">■</span> Strom-Mix</li> <li><span style="color: red;">■</span> Erdgas</li> </ul>				

Tabelle 42: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01

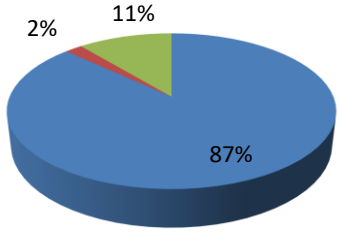
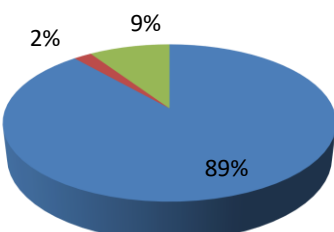
Jährlicher Primärenergiebedarf (heizwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	74,11	315.097,80	81,05	344.568,81
Trinkwarmwasser	1,74	7.384,40	1,92	8.177,15
Beleuchtung	9,41	40.018,50	8,56	36.375,63
<b>Gesamt</b>	<b>85,26</b>	<b>362.500,70</b>	<b>91,53</b>	<b>389.121,59</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 43: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Schule 028-01

Das Referenzgebäude beschreibt den zu erwartenden Energiebedarf, wenn das Gebäude mit dem aktuellen Stand der Technik belegt wird. Die technische Ausführung des Referenzgebäudes (Nichtwohngebäude) ist nach GEG festgelegt und ist in der Anlage 2 (zu § 18 Absatz 1) zu finden. Demzufolge wird das Referenzgebäude (als identische Kopie des betrachteten Gebäudes) mit Erdgaskessel beheizt. Erdgas hat einen Primärenergiefaktor von 1,1.

Das betrachtete Gebäude wird in Wirklichkeit über Fernwärme mit Wärme versorgt. Der Primärenergiefaktor für die Fernwärme beträgt 0,45 (siehe 2.1.1). Entsprechend hat das Gebäude im Bestand einen kleineren Primärenergiebedarf als das Referenzgebäude.

## 12.1.3 Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle

Das untersuchte Gebäude weist die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesenen Werte auf.

Die Flächen der Außenbauteile wurden anhand der vorhandenen Pläne ermittelt. Darüber hinaus basieren die U-Werte auf der Vor-Ort-Aufnahme, sowie getroffenen Annahmen von vorhandenen Informationen bzw. Angaben zu den Bauteilen. Alle in den Unterlagen nicht aufgeführten Konstruktionen (Schichtaufbauten), wurden mittels Literaturangaben<sup>14</sup> und / oder nach eigenen Erfahrungswerten angenommen.

### Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG

#### 1-Unterricht

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Oberste Geschossdecke (OGD)	596,13	596,13	1,01	0,24	0,80
Außenwand (AW) NO	263,07	135,04	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		128,03	3,2	1,30	--
AW SO	262,15	147,91	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		63,84	3,2	1,30	--
Fenster 2		50,40	3,2	1,30	--
AW SW	404,14	279,20	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		121,63	3,2	1,30	--
Fenster 2		3,31	1,3	1,30	--
AW SW - Fahrstuhl	7,48	5,28	0,82	0,30	0,80
Fahrstuhl		2,20	2,5	1,80	0,80
KW SO	58,48	52,79	0,83	0,30	--
Fenster 1		3,24	4,3	1,30	--
Fenster 2		2,45	1,8	1,30	--
KW SW	88,80	81,73	0,83	0,30	--
Fenster 1		7,07	4,3	1,30	--
Kellerdecke (KD)	39,51	39,51	1,13	0,30	0,50
Bodenplatte (BP)	265,78	265,78	1,49	0,30	--
Innenwand (IW) zum unbeheizten Keller	23,13	23,13	0,85	0,30	0,75
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>2.008,67</b>			

#### 2-Verkehrsflächen

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	379,59	379,59	1,01	0,24	0,80
AW NO	168,20	159,06	0,89	0,24	(1,00)
Eingang NO		9,14	1,3	1,3	--
AW SO	115,24	63,93	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		16,73	1,3	1,30	--
Fenster 2		11,16	1,3	1,30	--
Fenster 3		16,62	1,3	1,30	--
Eingang SO		6,80	1,3	1,30	--
AW SW	184,60	137,01	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		25,61	1,3	1,30	--
Fenster 2		18,60	1,3	1,30	--

<sup>14</sup>„U-Werte alter Bauteile“, der von der deutschen Energie Agentur (dena) herausgegebenen Typologie.

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Eingang SW		3,38	1,3	1,30	--
AW NW	294,84	210,84	0,89	0,24	(1,00)
Fenster Verbund		26,73	2,7	1,30	--
Fenster Verbund		13,37	2,7	1,30	--
Fenster Eingang		37,73	1,3	1,30	--
Fenster Verbund		4,11	2,7	1,30	--
Fenster Verbund		2,05	2,7	1,30	--
AW NW - Fahrstuhl	31,79	25,19	0,82	0,30	0,80
Fahrstuhl		6,60	2,5	1,80	0,80
KD	51,40	51,40	1,13	0,30	0,50
BP	383,85	383,85	1,49	0,30	--
Kellerwand (KW)	128,87	123,80	0,83	0,30	--
Fenster 1		2,08	4,3	1,30	--
Fenster 2		1,77	4,3	1,30	--
Keller Eingang		1,22	1,8	1,80	--
IW zum unbeheizten Keller	216,78	216,78	0,85	0,30	0,75
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>1.955,14</b>			

### 3-Sanitärräume

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	65,44	65,44	1,01	0,24	0,80
AW NO	82,24	82,24	0,89	0,24	(1,00)
AW SW	42,41	42,41	0,89	0,24	(1,00)
AW NW	180,20	134,49	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		31,85	2,7	1,30	--
Fenster 2		7,77	2,7	1,30	--
Fenster 4		6,08	2,7	1,30	--
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>370,29</b>			

### 4-Lager/Technik

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	83,58	83,58	1,01	0,24	0,80
AW NO	78,33	46,33	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		32,01	3,2	1,30	--
AW SO	42,97	25,84	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		15,96	3,2	1,30	--
Fenster 2		1,17	3,2	1,30	--
AW SW	24,27	24,27	0,89	0,24	(1,00)
KW	201,73	194,85	0,83	0,30	--
Fenster 1		4,32	4,3	1,30	--
Fenster 2		0,68	4,3	1,30	--
Fenster 3		0,12	4,3	1,30	--
Fenster 4		1,77	4,3	1,30	--
BP	279,58	279,58	1,49	0,30	--
IW zum unbeheizten Keller	52,57	52,57	0,85	0,30	0,75
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>763,03</b>			

## 5-Sonstige Aufenthaltsräume

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	36,04	36,04	1,01	0,24	0,80
AW NO	170,62	106,60	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		64,01	3,2	1,30	--
AW SO	92,55	28,71	0,89	0,24	(1,00)
Fenster 1		47,88	3,2	1,30	--
Fenster + SSV		15,96	3,2	1,30	--
AW SW	112,23	90,33	0,89	0,24	(1,00)
Fenster HM		2,38	2,7	1,30	--
Fenster Lift		4,47	1,3	1,30	--
Fenster Lift		4,24	1,3	1,30	--
Fenster Lift		4,40	1,3	1,30	--
Fenster Büro		6,40	3,2	1,30	--
AW SW - Fahrstuhl	24,31	19,91	0,82	0,30	0,80
Fahrstuhl		4,40	2,5	1,80	0,80
AW NW	51,48	41,42	0,89	0,24	(1,00)
Fenster HM		4,43	2,7	1,30	--
Fenster		5,62	2,7	1,30	--
KD	208,53	208,53	1,13	0,30	0,50
KW	29,21	28,69	0,83	0,30	--
Fenster 1		0,52	4,3	1,30	--
BP	19,26	19,26	1,49	0,30	--
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>744,21</b>			

## 12.1.4 Anlagentechnik

### Beheizung

Das betrachtete Gebäude wird mit Fernwärme über den Anschluss im Gebäude 027-01 versorgt, wobei einige Armaturen ungedämmt sind.

#### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Heizung

##### Wärmeerzeugereinheit

Anzahl Erzeuger	1
Art des Systems	indirekt
Geometrie	wird vom Gebäude übernommen

##### 1. Nah-/Fernwärme

Erzeuger	Nah-/Fernwärme
Baujahr	2010
Art des Erzeugers	Wasser - niedrige Temperatur
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Energieträger	Nah/Fernwärme aus Heizwerken

##### Details

Vor-/Rücklauftemperatur [°C]	80,0/60,0
Betriebsweise bei mehreren Prozessbereichen	Vorrangbetrieb
Dämmklasse Sekundär-/Primärseite	Sekundär 4, Primär 5
Regelung innerhalb der Station	nein

Nennleistung Fernwärmehausstation [kW]	380,35 (Standardwert)
--	-----------------------

Ein hydraulischer Abgleich ist nicht durchgeführt worden und die Heizkörper werden aufgrund der hohen Zulauf-Temperaturen, sehr warm. Aufgrund des Alters der Heizungsanlage ist eine Optimierung bzw. Neuplanung der wärmeerzeugenden Anlage sinnvoll. Dies ist einerseits, um einem möglichen Anlagenversagen vorzubeugen, andererseits auch vor dem Hintergrund ökologischer Optimierungen, durchaus zu empfehlen.

## Warmwasserbereitung

### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Trinkwarmwasser

#### Durchlauferhitzer

Anzahl Erzeuger	1
Geometrie	wird vom Gebäude übernommen

#### 1. Elektrowärmeerzeuger

Erzeuger	elektrisch beheizter Wärmeerzeuger
Baujahr	2010
Art des Erzeugers	dezentral
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Energieträger	Strom-Mix

#### Details

Steuerung Elektro-Durchlauferhitzer	Elektronische Steuerung
-------------------------------------	-------------------------

Die Warmwasserbereitung des Diesterweg-Gymnasium Schule 028-01 erfolgt über dezentral angeordnete elektrische 5,0 l-Untertischgeräte.

## Lüftung

Eine Lüftung findet in jedem Gebäude zum einen kontrolliert, zum anderen auch unkontrolliert statt. Unkontrollierte Lüftungswärmeverluste erfolgen im Wesentlichen über Fenster- und Türfugen. Aber auch Mauerwerksfugen, Maueranschlüsse, Trockenbaufugen etc. können zu hohen Lüftungswärmeverlusten führen.

In dem untersuchten Gebäude erfolgt die Be- und Entlüftung ausschließlich über die vorhandenen Fenster und Türen.

## Beleuchtung

In den betrachteten Gebäuden befinden sich ein- bzw. mehrflammige Leuchtentypen als Ein- und Anbauleuchte mit einer Leistung  $P_{Lampe}$  bis zu 58W sowie mit konventionellen Vorschaltgeräten [KVG]. In einigen Bereichen wurde die Beleuchtung bereits erneuert und auf stabförmige Leuchtstofflampen mit elektrischen Vorschaltgeräten [EVG] umgerüstet.

**Mit Ermittlung der elektr. Leistung und der jährlichen Nutzungsdauer der bestehenden Beleuchtungsanlage wird der jährliche Energieeinsatz pro Gebäude bzw. Beleuchtungszone bestimmt.**

**Die Ermittlung der elektr. Leistung wurde über das Tabellenverfahren nach DIN V 18599-Teil 4 bestimmt.**



**Beleuchtungsbereich 1: Unterricht**

Fläche [m <sup>2</sup> ]	1.516,58 (92,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	898,14
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	618,44
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,863
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	1400,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	0,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	0,97 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,25 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	2,0 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	2,0 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	0,9 (Standardwert)

**Kunstlicht**

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

**Beleuchtungskontrolle**

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

**Fenster**

Fenster 1 – AW NO (14mal)
Fenster 1 – AW SO (8mal)
Fenster 2 – AW SO (8mal)
Fenster 1 – AW SW (19mal)
Fenster 2 – AW SW
Fenster 1 – KW SO (6mal)
Fenster 2 – KW SO (2mal)
Fenster 1 – KW SW (4mal)

**Beleuchtungsbereich 2: Naturwissenschaftsräume**

Fläche [m <sup>2</sup> ]	132,58 (8,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	98,14
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	34,44
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20

vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,882
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	1400,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	0,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	0,97 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,25 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	0,9 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW NO (6mal)
--------------------------

### Beleuchtungsbereich 3: Flur/Treppenhaus

Fläche [m <sup>2</sup> ]	1.352,46 (93,2 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	624,27
Fläche ohne Tageslicht $A_{kTL}$ [m <sup>2</sup> ]	728,19
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,788
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	0,20 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
----------------	--------------------------------------

Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Automatisch
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW SO (3mal)
Fenster 2 – AW SO (2mal)
Fenster 3 – AW SO
Eingang SO – AW SO (2mal)
Fenster 1 – AW SW (4mal)
Fenster 2 – AW SW (2mal)
Eingang SW – AW SW
Fenster Verbund – AW NW (6mal)
Fenster Verbund – AW NW (3mal)
Fenster Eingang – AW NW (3mal)
Fenster Verbund – AW NW (2mal)
Fenster Verbund – AW NW
Fenster 1 – KW (4mal)
Fenster 2 – KW
Eingang NO – AW NO

### Beleuchtungsbereich 4: Flur 2.OG

Fläche [m <sup>2</sup> ]	98,66 (6,8 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	22,16
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	76,50
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,912
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,20 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt

Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG
-----------	-------------------------------------

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Automatisch
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster Eingang – AW NW
-------------------------

### Beleuchtungsbereich 5: Sanitärräume

Fläche [m <sup>2</sup> ]	137,71 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	137,71
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	0,00
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,833
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	200,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW NW (12mal)
Fenster 2 – AW NW (6mal)
Fenster 4 – AW NW (3mal)

### Beleuchtungsbereich 6: Lager/Technik

Fläche [m <sup>2</sup> ]	419,31 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	183,88
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	235,43
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,798
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,98 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	1,5 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	1,5 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW NO (5mal)
Fenster 1 – AW SO (2mal)
Fenster 2 – AW SO
Fenster 1 – KW (8mal)
Fenster 2 – KW
Fenster 3 – KW (2mal)
Fenster 4 – KW

### Beleuchtungsbereich 7: Sonstige Aufenthaltsräume

Fläche [m <sup>2</sup> ]	594,05 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	417,64
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	176,41
lichte Raumhöhe [m]	3,42 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20

vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,900
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	0,93 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,5 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	1,25 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	1,25 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW NO (10mal)
Fenster 1 – AW SO (6mal)
Fenster HM – AW SW
Fenster Lift – AW SW
Fenster Lift – AW SW
Fenster Lift – AW SW
Fenster Büro – AW SW
Fenster HM – AW NW (3mal)
Fenster – AW NW
Fenster 1 – KW
Fenster + SSV – AW SO (2mal)

## Einstufung von Solar und Photovoltaik

### Nutzung einer Solaranlage für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Eine Nutzung von Solarenergie für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung ist möglich. Aufgrund des geringen bzw. fehlenden Warmwasserbedarfs ist eine Solarthermie-Anlage für das Schulgebäude nicht sinnvoll.

### Nutzung von Solarstrom zur Eigenstromversorgung

Eine Nutzung von Solarenergie durch eine Photovoltaikanlage ist möglich. In der energetischen Gebäudesimulation des Gebäudes (Einzelbetrachtung jedes Gebäudes) werden zwei Anlagen nach

GEG genauer untersucht. Eine Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub> (bei den Varianten V1, V2, V3 und V4) und eine Anlage mit einer 23 kW<sub>Peak</sub> bei der Passivhausvariante V5.

## 12.2 Gebäudebetrachtung

### 12.2.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes

<b>Energiebedarfskennwerte<sup>15</sup> der bewerteten Gebäude</b>	
<b>in [kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>*a)]</b>	
spez. Endenergiebedarf Heizung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>164,2</b>
spez. Endenergiebedarf Trinkwarmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>1,0</b>
spez. Endenergiebedarf Lüftung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>0,00</b>
<b>Beleuchtungsstrom</b>	<b>5,2</b>
<b>Wärmeenergie (Heizung + Warmwasser)</b>	<b>165</b>

*Kennwerte auf Basis der durchgeführten Berechnung des Gebäudes*

Wo die ermittelten Energieverbrauchskennzahlen den tatsächlichen Verbrauch an Strom und Wärme der Liegenschaft, auf der sich das untersuchte Gebäude befindet, abbilden und bewertbar machen, erfolgt die ingenieurtechnische Berechnung und Analyse des Gebäudes und die Erarbeitung von Sanierungsmaßnahmen und deren Effekte auf Basis einer theoretischen Berechnung auf Grundlage der DIN 18599.

Da diese sich jedoch u. a. auf eine genormte Nutzung des Gebäudes stützt, sind die errechneten Werte mit den Energieverbräuchen nicht identisch. Aufgrund der Rechenmethodik sind Abweichungen von bis zu 20 % durchaus möglich und sind bei der Bewertung der Sanierungsmaßnahmen, unbedingt zu berücksichtigen.

- ➔ **Alle nachfolgenden Berechnungen und Aussagen basieren auf der Bedarfsberechnung des untersuchten Gebäudes**

<sup>15</sup> Vom Berechnungsprogramm rechnerisch ermittelter Verbrauchswert mit der Einheit [kWh/m<sup>2</sup>a]

## 12.3 Tabellarische Gesamtübersicht

Parameter	Ausgangsfall	V1- GEG	V2- KfW 55	V3- Öko	V4- Reg. Vers.	V5- Passivhaus
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	916.801	1.596.217	1.967.836	1.559.221	3.657.381
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	797.218	1.388.015	1.711.161	1.355.844	3.180.331
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>16)</sup>	--	14	16	18	18	21
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,05	0,07	0,08	0,08	0,09
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>17)</sup>	56.320	32.667	24.279	23.928	41.267	10.198
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	23.653	32.041	32.392	15.053	46.121
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	42,0	56,9	57,5	26,7	81,9
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	724.497	434.462	319.632	314.835	372.169	48.502
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	290.034	404.865	409.662	352.328	675.995
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	40,0	55,9	56,5	48,6	93,3
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	362.501	215.971	164.239	162.072	230.389	87.304
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	146.530	198.262	200.429	132.111	275.197
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	40,4	54,7	55,3	36,4	75,9
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	224.374	132.286	97.825	96.385	44.613	27.161
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	92.089	126.549	127.990	179.761	197.213
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	41,0	56,4	57,0	80,1	87,9

\* siehe Definition von energetisch bedingten Investitionskosten (energiebedingte Mehrkosten) unter 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>16)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

<sup>17)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft



Parameter	Ausgangsfall	V6- DK- GEG	V7- DK- Öko	V8- DK- Reg. Vers.	V9- DK- KfW 55
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	911.673	1.627.437	1.684.528	1.644.034
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	792.760	1.415.163	1.464.807	1.429.595
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>18)</sup>	--	16	18	21	18
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,07	0,08	0,09	0,08
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>19)</sup>	56.320	37.341	28.601	46.524	28.176
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	18.979	27.719	9.796	28.144
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	33,7	49,2	17,4	50,0
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	724.497	487.007	367.505	414.892	361.695
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	237.490	356.992	309.604	362.802
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	32,8	49,3	42,7	50,1
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	362.501	238.173	184.226	252.269	181.601
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	124.328	178.275	110.232	180.900
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	34,3	49,2	30,4	49,9
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	224.374	149.765	113.882	52.267	112.137
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	74.609	110.493	172.107	112.238
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	33,3	49,2	76,7	50,0

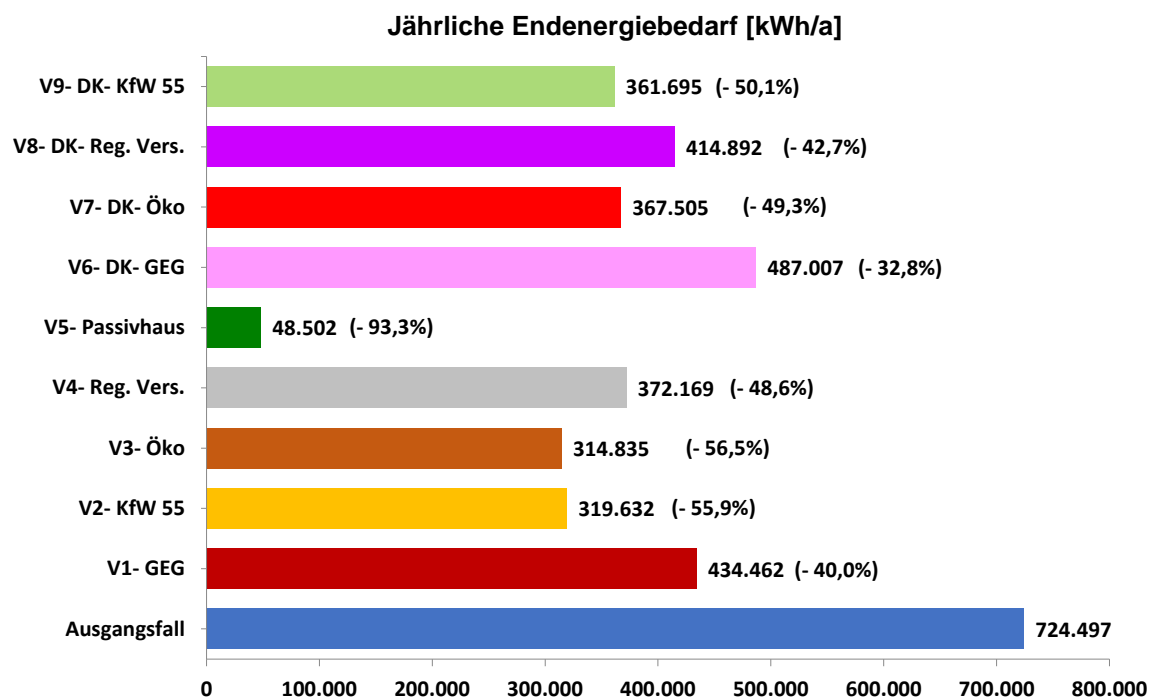
\* siehe 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>18)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

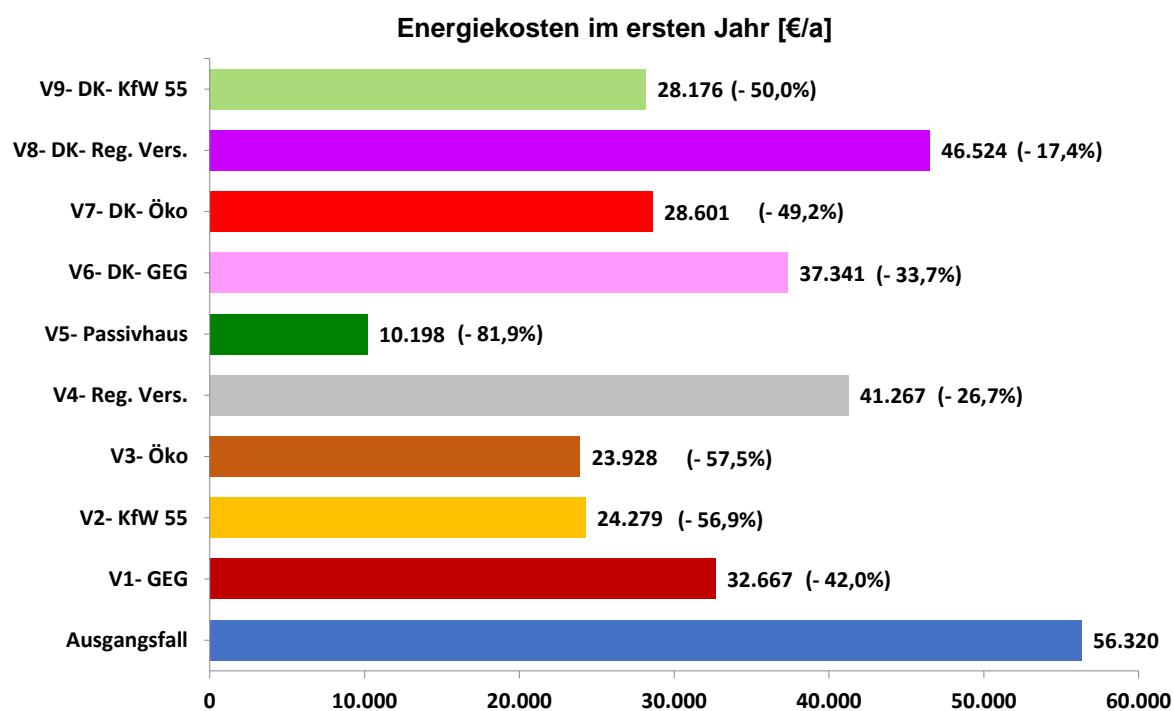
<sup>19)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

## 12.4 Endenergie- und Kosteneinsparung

Nachfolgend ist der Endenergiebedarf mit der prozentualen Einsparung pro Variante nach Maßnahmenumsetzung aufgeführt:

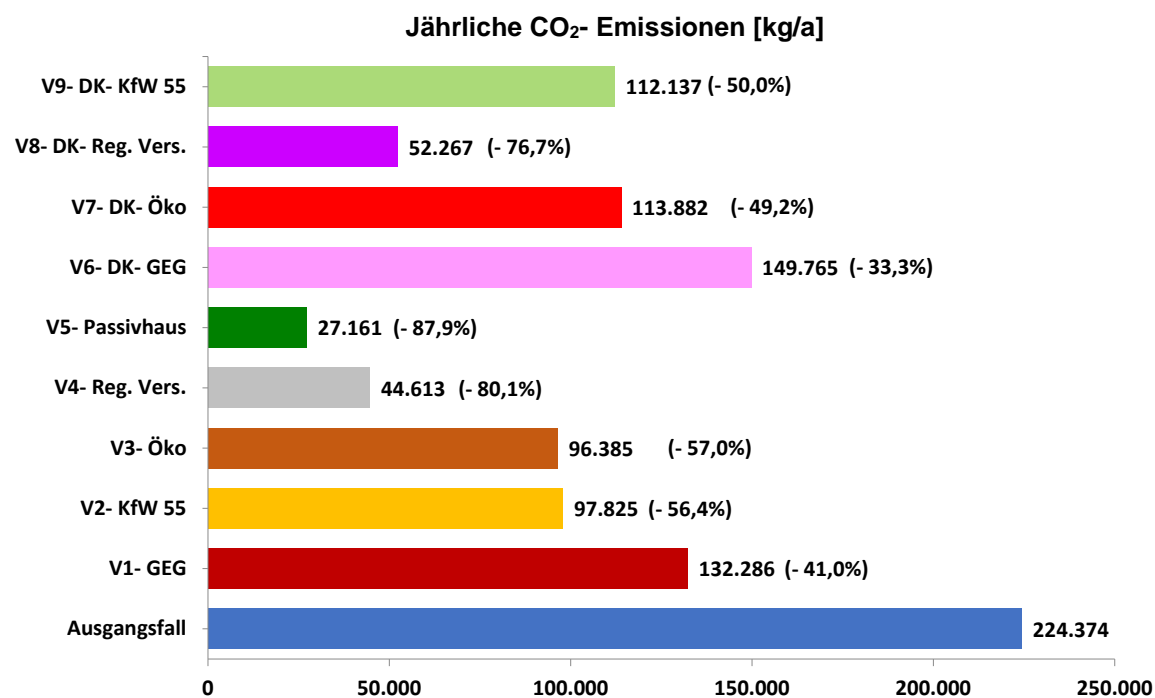
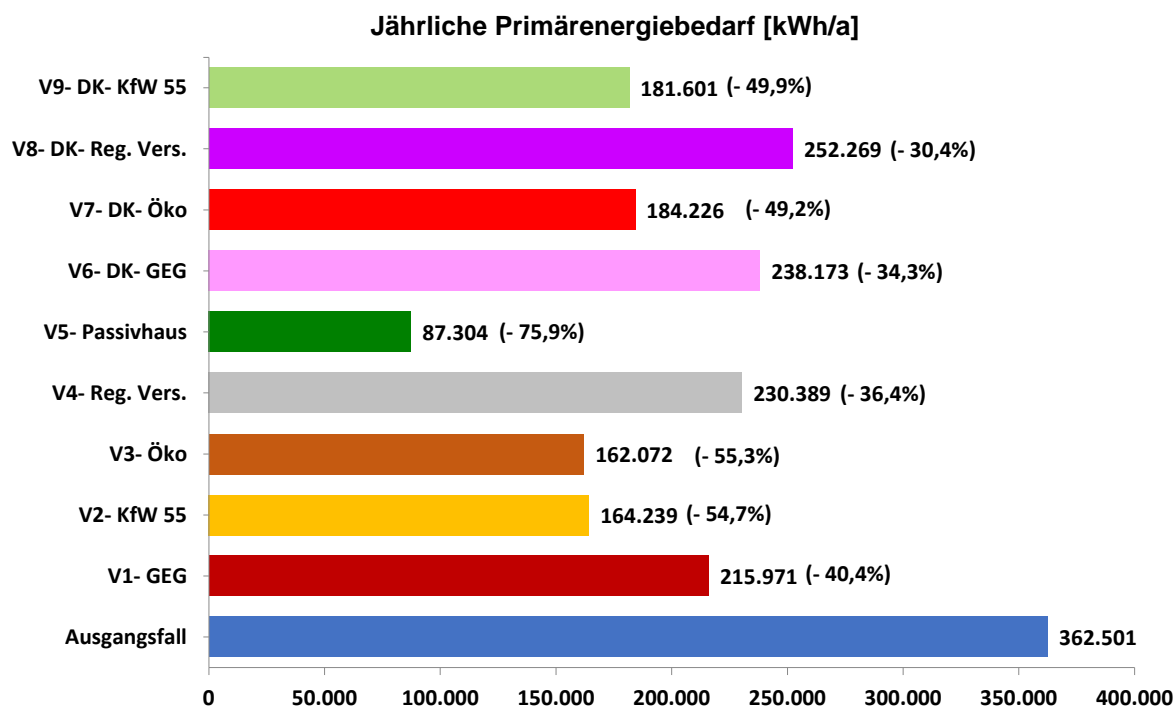


Hier wird die Auswirkung der energetischen Sanierung auf die Energiekosten pro Variante verdeutlicht:



## 12.5 Gesamteffizienz und Klimaschutz

In folgendem Diagramm werden die Klimaschutzaspekte der einzelnen Varianten anhand des Primärenergiebedarfes und der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmen dargestellt.



## 12.6 Sanierungsvarianten – Schule 028-01

Nachfolgend erfolgt die Darstellung und Zusammenstellung der Sanierungsvarianten (SV):

### **Untersuchte Sanierungsvarianten:**

V1- GEG (worst case)

V2- KfW 55

V3- Ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V4- Regenerative Versorgung

V5- Passivhaus

V6- Denkmal – GEG (worst case)

V7- Denkmal - ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V8- Denkmal – regenerative Versorgung

V9- Denkmal – KfW 55

## 12.6.1 V1- GEG

Ziel dieser Variante ist, die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu erfüllen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (14 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (25 cm Mineralwolle)
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub>.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Kunststofffenster mit einem U<sub>w</sub>-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 12 Jahren.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V1- GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	916.801	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	797.218	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	32.667	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	23.653	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	42,0	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	434.462	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	102,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	290.034	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	40,0	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	132.286	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	92.089	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	41,0	%

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V1- GEG	
	Wert	Einheit
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	14	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,05	€/kWh

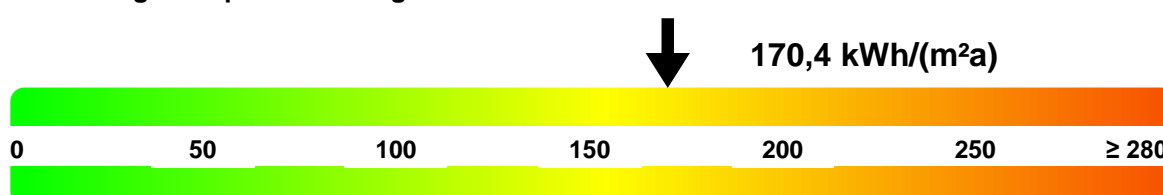
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

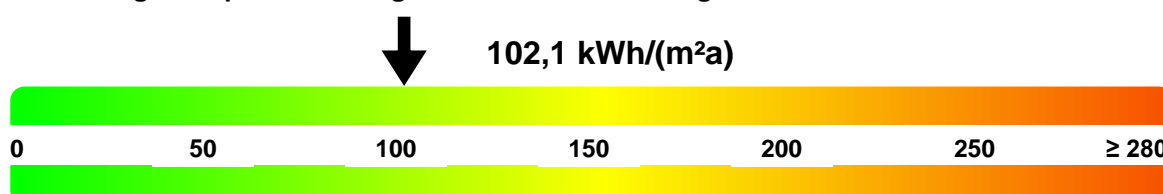
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**GEG-Ergebnisse der Variante (V1-GEG) nach § 50 GEG**

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	50,80	128,14	39,6 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,320	0,5	57,1 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	2,500	2,6	94,0 %

**KfW-Ergebnisse der Variante (V1-GEG)**

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“. Die Anforderungen der verschiedenen KfW-Effizienzhaus-Standards wurden unter 3.2 KfW-Anforderungen erläutert.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 100
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	50,8	91,5	56%	100 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	215.970,7	389.121,6	56%	100 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,315	0,34	93%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	2,482	1,80	138%	100 %

Der Effizienzhausstandard „**KfW-Effizienzhaus 100 (EnEV 2014)**“ (Sanierung Nichtwohngebäude) wurde **nicht** erreicht.

## 12.6.2 V2- KfW 55

Ziel dieser Variante ist, den KfW 55 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Außenwand (14 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (25 cm Mineralwolle).
- Bodendämmung im Kellerbereich: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 6 cm Extrudierter Polystyrolschaum XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (12 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (12 cm XPS)
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Kunststofffenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 15 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ € pro m}^2 \text{ NGF}$  (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 55	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.596.217	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.388.015	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	24.279	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	32.041	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	56,9	%



Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 55	
	Wert	Einheit
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	319.632	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	75,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	404.865	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	55,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	97.825	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	126.549	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	56,4	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	16	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

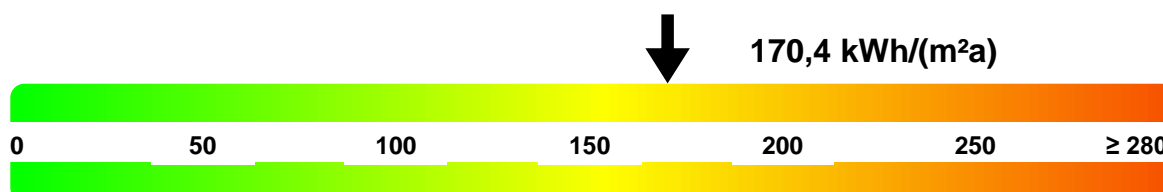
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

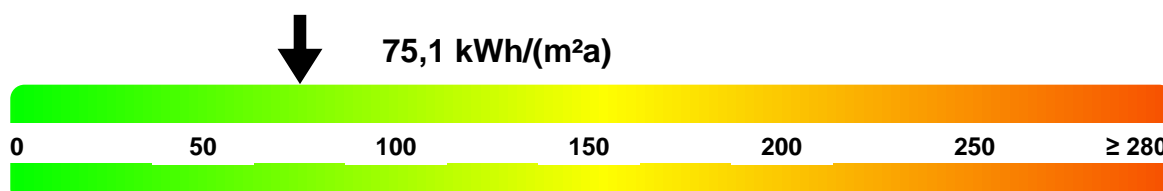
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



### KfW-Ergebnisse der Variante (V2-KfW)

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	38,6	91,5	42%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	164.239,0	389.121,6	42%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,174	0,22	79%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,900	1,20	75%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 89.508 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 326.203 kWh/a.

### Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -30.520 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -47.640 kWh/Jahr (+17 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 107.913 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **398.294 kWh/Jahr (-55%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 12.6.3 V3- Ökologische und nachhaltige Variante

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (vorgehängte, hinterlüftete Fassade VHF) mit 16 cm Zellulosedämmplatten.
- Dämmung der Kellerdecke (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (20 cm Zellulosedämmung).
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Zellulosedämmplatten).
- Bodendämmung im Kellerbereich: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 6 cm Schaumglasplatten Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (12 cm Schaumglasplatten)
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen
- Fassadenbegrünung an der Südost- und Südwestseite mit einer gesamten Fläche von  $318 \text{ m}^2$ .
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 17 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ € pro m}^2 \text{ NGF}$  (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

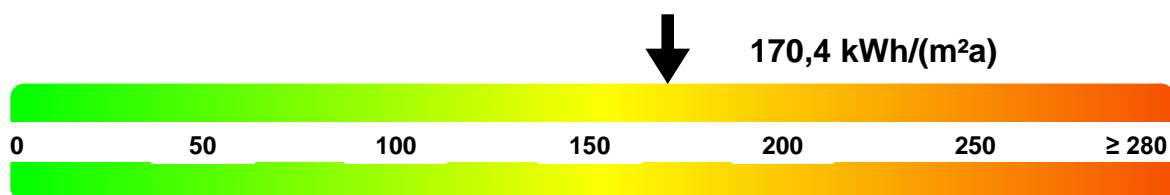
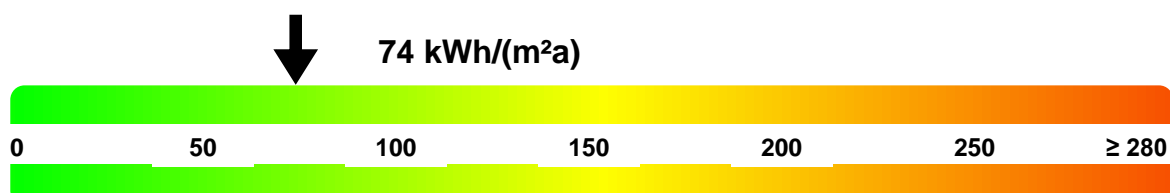
Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V3- Öko	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.967.836	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.711.161	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	23.928	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	32.392	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	57,5	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	314.835	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	74,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	409.662	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	56,5	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	96.385	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	127.990	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	57,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	18	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,08	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V3-Öko)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	38,1	91,5	42%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	162.072,1	389.121,6	42%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,184	0,22	84%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,800	1,20	67%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 88.259 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 321.406 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -29.274 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -42.861 kWh/Jahr (+15 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 109.162 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **403.090 kWh/Jahr (-56%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 12.6.4 V4- Regenerative Versorgung

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (14 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (25 cm Mineralwolle).
- Bodendämmung im Kellerbereich: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 6 cm Extrudierter Polystyrolschaum XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (12 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (12 cm XPS)
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Kunststofffenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- Heizungsanlage mit Gasbrennwertkessel und Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Gasbrennwertkessel als Führungskessel (mit 100% Biomethan) und Biomassekessel (Pelletkessel) als Folgekessel eingebaut. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 16 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 70 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ € pro m}^2 \text{ NGF}$  (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 35 % finanziert werden.

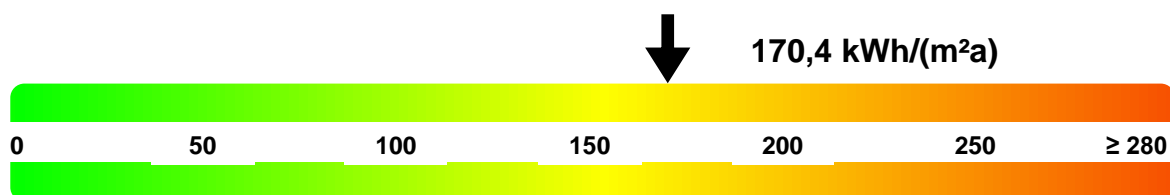
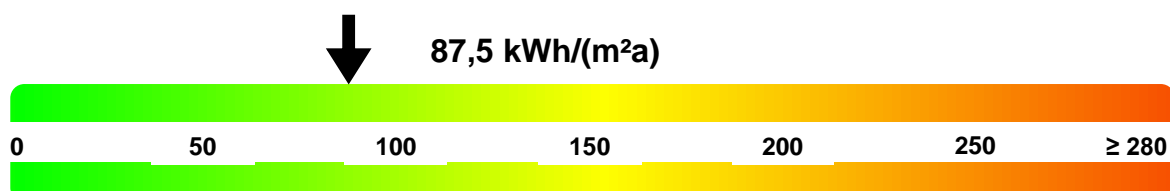
Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V4- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.559.221	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.355.844	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	41.267	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	15.053	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	26,7	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	372.169	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	87,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	352.328	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	48,6	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	44.613	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	179.761	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	80,1	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	18	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,08	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V4-Reg. Vers.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	54,2	91,5	59%	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	230.389,3	389.121,6	59%	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,174	0,26	67%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,977	1,40	70%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 8.696 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 378.450 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 50.274 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -100.046 kWh/Jahr (+36 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 188.883 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **346.615 kWh/Jahr (-48%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.



## 12.6.5 V5- Passivhaus

Ziel dieser Variante ist, ein Passivhaus Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (30 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der Kellerdecke (30 cm Mineralwolle).
- Austausch der Fenster (Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
- Dämmung der obersten Geschossdecke mit 30 cm Mineralwolle Dämmung.
- Betonsohle erneuern und dämmen: die alte Bodenplatte wird entfernt und durch eine neue Betonsohle ersetzt. Hier kommen 25 cm XPS Perimeterdämmung und 8 cm XPS unter dem Estrich zum Einsatz.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (30 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (30 cm XPS)
- LED Beleuchtung.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $23 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen
- zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung: die RLT-Anlage soll mit Filtertechnik mit Virenschutzfunktion (HEPA) ausgestattet sein und die Steuerung soll über Gassensoren (z.B.  $\text{CO}_2$ ) erfolgen.
- zur Wärmeversorgung werden zwei strombetriebene Luft-Wasser-Wärmepumpen (je  $42 \text{ kW}$ ) mit integriertem Heizstab für die Beheizung der Schule genutzt. Die Quelle bzw. Senke wird über die Außenluft realisiert. Die Wärmepumpen sind auf niedrige Systemtemperaturen ausgelegt. Je niedriger die Vorlauftemperatur ist, desto effizienter und sparsamer kann das Heizsystem arbeiten. Um das zu ermöglichen, wird Deckenheizung in allen beheizten Räumen verlegt.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungs- und Lüftungssystem.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker und Passivhaus-Planer geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 19 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ € pro m}^2 \text{ NGF}$  (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

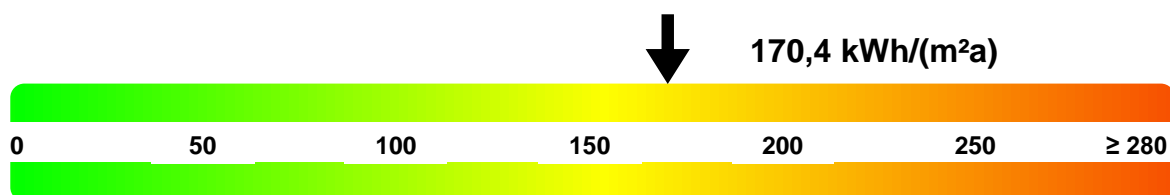
Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V5- Passivhaus	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	3.657.381	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	3.180.331	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	10.198	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	46.121	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	81,9	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	48.502	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	11,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	675.995	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	93,3	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	27.161	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	197.213	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	87,9	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	21	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,09	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V5-Passivhaus)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	20,5	91,5	22%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	87.303,5	389.121,6	22%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,080	0,18	44%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,700	1,00	70%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 37.394 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 48.467 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 29.903 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von 166.343 kWh/Jahr (-77 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 160.185 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **676.598 kWh/Jahr (-93%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

**Regenerativ erzeugter Strom**

- Gesamter Strombedarf: 62.847 kWh/a
- Gesamte Eigennutzung regenerativ erzeugten Stromes: 14.380 kWh/a
- Deckungsanteil am Strombedarf: 22,9 %

Berechnung des PV-Ertrags nach DIN EN 15316-4-6: ja

## 12.6.6 V6- Denkmal – GEG

In dieser Variante wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet. Ziel der Variante ist, die Anforderungen des GEGs zu erfüllen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (4 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (25 cm Mineralwolle).
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 16 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude Denkmal erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro  $\text{m}^2$  NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 25 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK- GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	911.673	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	792.760	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	37.341	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	18.979	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	33,7	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	487.007	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	114,5	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
jährliche Endenergieeinsparung	237.490	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	32,8	%

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK- GEG	
	Wert	Einheit
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	149.765	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	74.609	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	33,3	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	16	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

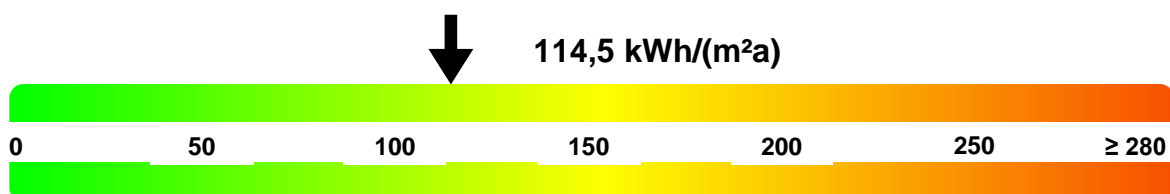
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



#### GEG-Ergebnisse der Variante (V6-DK-GEG)

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	56,02	128,14	43,7 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,420	0,5	75,0 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	2,500	2,6	94,0 %

**KfW-Ergebnisse der Variante (V6-DK-GEG)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus Denkmal
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	56,0	91,5	61%	160 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	238.173,2	389.121,6	61%	160 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,415	0,61	68%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus Denkmal (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten Variante betragen 131.361 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 487.061 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von -72.477 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -209.114 kWh/Jahr (+75 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von 66.219 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **238.004 kWh/Jahr (-33%)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 12.6.7 V7- Denkmal – ökologische und nachhaltige Variante

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (20 cm Zellulosedämmung).
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Zellulosedämmplatten).
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Ebenfalls werden die vorhandenen Alufenster durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- Bodendämmung im Kellerbereich: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 6 cm Schaumglasplatten Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (12 cm Schaumglasplatten)
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 18 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude Denkmal erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro  $\text{m}^2$  NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 25 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V7- DK- Öko	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.627.437	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.415.163	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	28.601	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	27.719	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	49,2	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	367.505	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	86,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	356.992	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	49,3	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	113.882	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	110.493	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	49,2	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	18	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,08	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

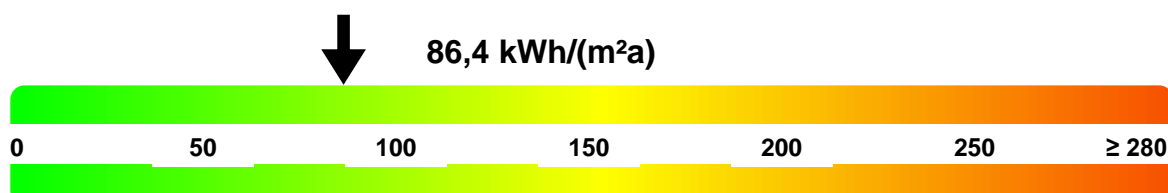
<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.



**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V7-DK-Öko)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m²a)]	43,3	91,5	<b>47%</b>	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	184.226,0	389.121,6	<b>49%</b>	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	0,234	0,26	<b>90%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m²K)]	1,141	1,40	<b>82%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten Variante betragen 100.229 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 367.505 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von -41.244 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -88.959 kWh/Jahr (+32 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von 97.192 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **356.992 kWh/Jahr (-49%)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 12.6.8 V8- Denkmal – regenerative Versorgung

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (12 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (25 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (12 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (12 cm XPS)
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Ebenfalls werden die vorhandenen Alufenster durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- Bodendämmung im Kellerbereich: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 6 cm Schaumglasplatten Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Heizungsanlage mit Gasbrennwertkessel und Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Gasbrennwertkessel als Führungskessel (mit 100% Biomethan) und Biomassekessel (Pelletkessel) als Folgekessel eingebaut. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 20 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 100 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro  $\text{m}^2$  NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 27,5 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V8- DK- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.684.528	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.464.807	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	46.524	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	9.796	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	17,4	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	414.892	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	97,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	309.604	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	42,7	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	52.267	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	172.107	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	76,7	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	21	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,09	€/kWh

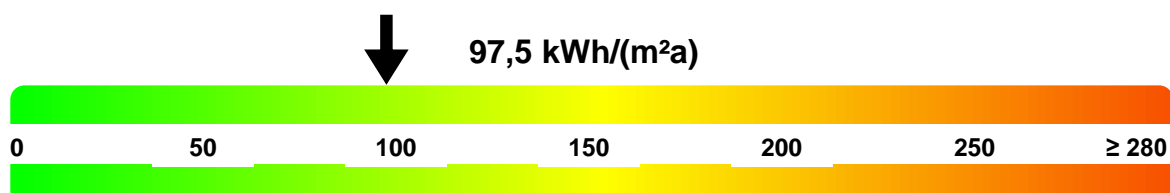
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**KfW-Ergebnisse der Variante (V8-DK-Reg. Vers.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	59,3	91,5	65%	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	252.268,5	389.121,6	65%	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,223	0,26	86%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1.141	1,4	82%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 8.659 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 414.892 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 50.327 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -136.341 kWh/Jahr (+49 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 188.762 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **309.604 kWh/Jahr (-43%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 12.6.9 V9- Denkmal – KfW 55

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, den KfW 55 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (15 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung der obersten Geschossdecke (25 cm Mineralwolle).
- Bodendämmung im Kellerbereich: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 6 cm Extrudierter Polystyrolschaum XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kellerwände gegen das Erdreich (12 cm XPS)
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von 1,1 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Ebenfalls werden die vorhandenen Alufenster durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von 1,1 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 18 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante	V9- DK- KfW 55	
	Wert	Einheit
<b>Wirtschaftlichkeit</b>		
<b>Kenndaten</b>		
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	1.644.034	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	1.429.595	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	56.320	€/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V9- DK- KfW 55	
	Wert	Einheit
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	28.176	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	28.144	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	50,0	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	724.497	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	170,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	361.695	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	85,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	362.802	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	50,1	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	224.374	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	112.137	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	112.238	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	50,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	18	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,08	€/kWh

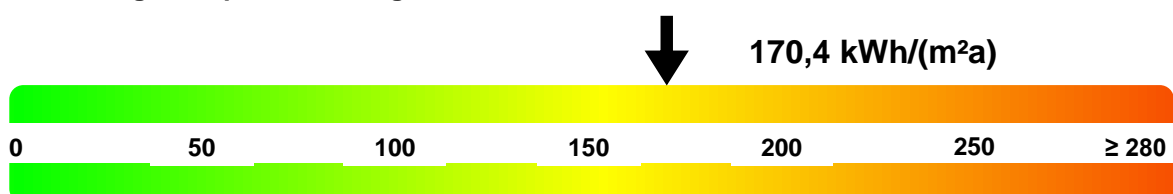
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

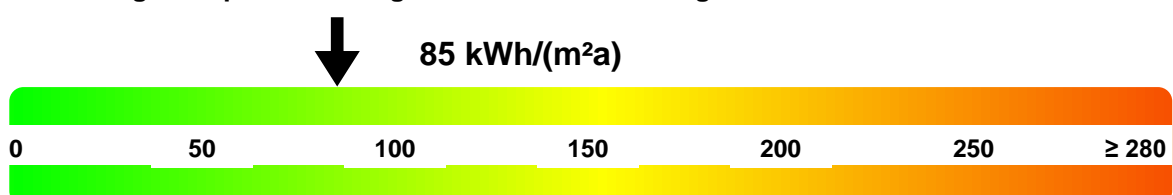
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V9-DK-KfW)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	42,7	91,5	47%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	181.600,7	389.121,6	47%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,217	0,22	99%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,139	1,20	95%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 98.691 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 361.583 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -39.720 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -83.172 kWh/Jahr (+30 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 98.888 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **363.483 kWh/Jahr (-50%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.



## 13 Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Sporthalle (027-02)

### 13.1 Ausgangssituation

#### 13.1.1 Beschreibung des untersuchten Objekts



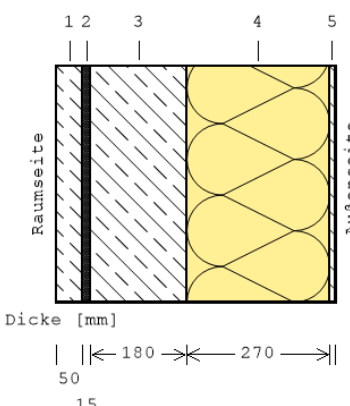
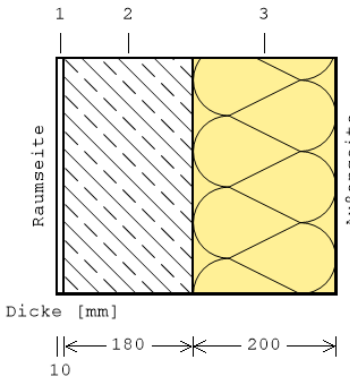
Abbildung 41: Sporthalle 027-02 - Ansicht vom Schulhof

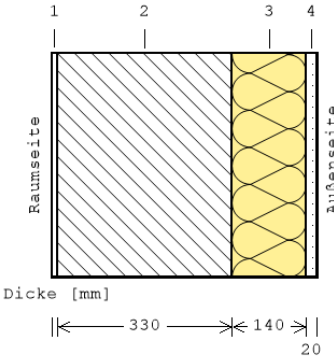
Grunddaten	
Gebäudetyp	Sporthalle
Baujahr	1955
Baujahr des Wärmeerzeugers	2010
Gebäudevolumen netto [m <sup>3</sup> ]	2.262,4
Gebäudenutzfläche [A <sub>NGF</sub> ] [m <sup>2</sup> ]	444,3
Wärme übertragende Hüllfläche [A] [m <sup>2</sup> ]	1.449,4
Anzahl der Geschosse	2
<b>Anmerkung:</b> Flächen- und Volumenangaben beziehen sich lediglich auf thermisch konditionierte Zonen.	

Die Sporthalle wurde 2011 bereits energetisch saniert, dabei wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Dämmung der Außenwand
- Dämmung der Kellerdecke
- Dämmung der obersten Geschossdecke
- Austausch der Fenster



Konstruktionsart																													
Kellerdecke	<p>Betondecke (1949-1968 Betondecke 1,5cm Trittschall) und 27 cm Mineralwolle U-Wert= 0,12 [W/m<sup>2</sup>K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich</td> <td>50</td> <td>1,400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039</td> <td>15</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300</td> <td>180</td> <td>2,300</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034</td> <td>270</td> <td>0,035</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten</td> <td>10</td> <td>0,130</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>525</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400	2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040	3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300	4	DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	270	0,035	5	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	10	0,130	<b>gesamt</b>		<b>525</b>	
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																										
1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400																										
2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040																										
3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300																										
4	DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	270	0,035																										
5	DIN EN ISO 10456 Holzwerkstoffe OSB-Platten	10	0,130																										
<b>gesamt</b>		<b>525</b>																											
oberste Geschossdecke	<p>Betondecke (1949-1968 Betondecke) mit 20 cm Mineralwolle U-Wert= 0,16 [W/m<sup>2</sup>K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>10</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2</td> <td>180</td> <td>0,620</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034</td> <td>200</td> <td>0,035</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>390</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700	2	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	180	0,620	3	DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	200	0,035	<b>gesamt</b>		<b>390</b>									
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																										
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700																										
2	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	180	0,620																										
3	DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	200	0,035																										
<b>gesamt</b>		<b>390</b>																											

Außenwand	1949-1968 leichtes Mauerwerk (Hohlblock) mit ca. 14 cm Außendämmung U-Wert= 0,21 [W/m²K]		
	<b>Schicht</b>	<b>Material</b>	<b>Dicke [mm]</b> <b>λ [W/mK]</b>
	1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10    0,700
	2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	330    0,650
	3	DIN 4108 5.1 Mineralwolle nach DIN EN 13162 NW 0,034	140    0,035
4	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20    1,000	
	<b>gesamt</b>	<b>500</b>	
			
Dach	Flachdach mit Bitumendachbahn (Kaldach) <i>Außerhalb der thermischen Hülle (Bauteil irrelevant)</i>		
Fenster	Holzfenster (Baujahr 2013), U <sub>w</sub> -Wert= 1,3 [W/m²K] Alufenster im Sportraum (Baujahr 2013), U <sub>w</sub> -Wert= 1,3 [W/m²K]		

Für die Berechnung des Energiebedarfs in Anlehnung an die DIN 18599 wurde das Gebäude in die folgenden Zonen unterteilt.

Zone	Nutzungsprofil	Netto- grundfläche [m²]	Flächen- anteil [%]
1-Sporthalle	13.Turnhalle (ohne Zuschauerbereich)	288,6	64,9
2-Sanitärräume	16.WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden	21,3	4,8
3-Nebenflächen	18. Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)	134,5	30,3

Die Nutzungsprofile nach DIN 18599 legen die Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude z.B. Nutzungszeiten, tägliche Betriebsstunden der Heizung, Beleuchtungsstärke oder Raumbelastung fest. Die tatsächliche Nutzung des Gebäudes sowie das Nutzerverhalten kann von diesen nach Norm festgelegten Bedingungen abweichen.

## 13.1.2 Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude

Die Bedarfe für Nutz-, End- und Primärenergie ergeben sich aus der energetischen Gebäudesimulation und stellen den simulierten Ist-Zustand des Gebäudes dar.

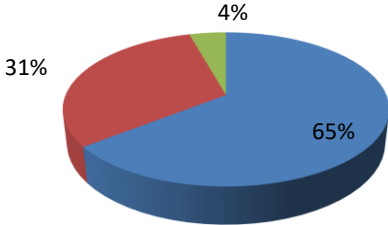
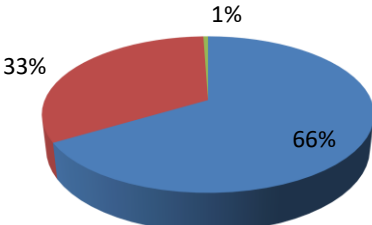
Jährlicher Nutzenergiebedarf	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	104,56	46.457,30	101,90	45.275,25
Trinkwarmwasser	50,64	22.500,00	50,64	22.500,00
Beleuchtung	7,03	3.122,00	0,83	368,79
<b>Gesamt</b>	<b>162,22</b>	<b>72.079,30</b>	<b>153,37</b>	<b>68.144,04</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 44: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02

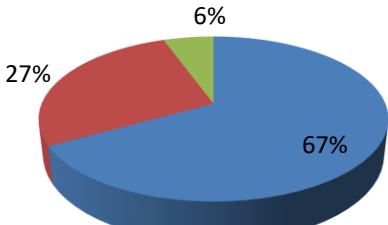
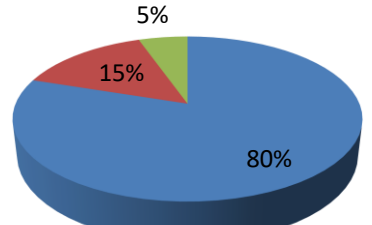
Jährlicher Endenergiebedarf (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	143,18	63.619,30	148,68	66.062,52
Trinkwarmwasser	58,85	26.148,20	27,04	12.015,77
Beleuchtung	11,84	5.260,70	10,06	4.468,62
<b>Gesamt</b>	<b>213,87</b>	<b>95.028,20</b>	<b>185,78</b>	<b>82.546,91</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 45: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02

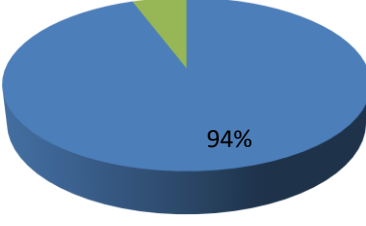
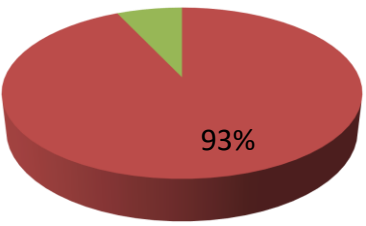
Endenergiebedarf nach Energieträgern (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Fernwärme aus Heizwerk (fossiler Brennstoff)	201,66	89.600,6	--	--
Erdgas	--	--	172,74	76.750,1
Strom-Mix	12,22	5.427,7	13,05	5.796,9
<b>Gesamt</b>	<b>213,88</b>	<b>95.028,3</b>	<b>185,79</b>	<b>82.547,0</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Fernwärme</li> <li><span style="color: green;">■</span> Strom-Mix</li> <li><span style="color: red;">■</span> Erdgas</li> </ul>				

Tabelle 46: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02

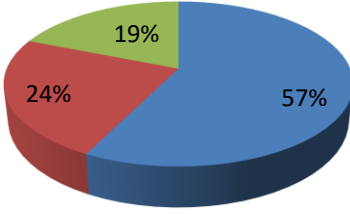
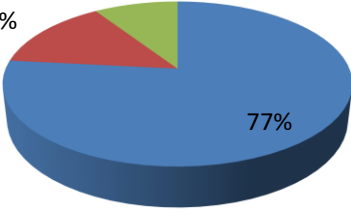
Jährlicher Primärenergiebedarf (heizwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	64,78	28.783,10	148,92	66.167,24
Trinkwarmwasser	26,64	11.837,70	27,64	12.282,21
Beleuchtung	21,31	9.469,30	18,10	8.043,52
<b>Gesamt</b>	<b>112,73</b>	<b>50.090,10</b>	<b>194,66</b>	<b>86.492,97</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 47: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 027-02

### 13.1.3 Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle

Das untersuchte Gebäude weist die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesenen Werte auf.

Die Flächen der Außenbauteile wurden anhand der vorhandenen Pläne ermittelt. Darüber hinaus basieren die U-Werte auf der Vor-Ort-Aufnahme, sowie getroffenen Annahmen von vorhandenen Informationen bzw. Angaben zu den Bauteilen. Alle in den Unterlagen nicht aufgeführten Konstruktionen (Schichtaufbauten), wurden mittels Literaturangaben<sup>20</sup> und / oder nach eigenen Erfahrungswerten angenommen.

#### Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG

##### 1-Sporthalle

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Oberste Geschossdeck (OGD)	330,61	330,61	0,16	0,24	0,80
Außenwand (AW) SW	162,50	153,22	0,21	0,24	(1,00)
Fenster		9,28	1,3	1,30	--
AW SO	86,13	83,86	0,21	0,24	(1,00)
Tür Notausgang		2,27	1,8	1,80	--
AW NO	161,85	82,71	0,21	0,24	(1,00)
Fenster		79,14	1,3	1,30	--
Kellerdecke (KD)	330,16	330,16	0,12	0,30	0,85
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>1.071,25</b>			

##### 2-Sanitarräume

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	30,46	30,46	0,16	0,24	0,80
AW NO	12,28	12,28	0,21	0,24	(1,00)
AW SW	12,28	12,28	0,21	0,24	(1,00)
AW SO	29,64	23,64	0,21	0,24	(1,00)
Fenster 2		5,99	1,3	1,30	--
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>84,66</b>			

##### 3-Nebenflächen

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
OGD	66,56	66,56	0,16	0,24	0,80
AW SW	33,75	25,79	0,21	0,24	(1,00)
Fenster 1		1,74	1,3	1,30	--
Fenster 2		3,21	1,3	1,30	--
Fenster 3		3,00	1,3	1,30	--
AW NO	34,15	27,52	0,21	0,24	(1,00)
Fenster 1		0,61	1,3	1,30	--
Fenster 2		3,00	1,3	1,30	--
Tür Eingang		3,02	1,3	1,30	--
AW SO	53,81	42,34	0,21	0,24	(1,00)
Fenster 1		4,49	1,3	1,30	--

<sup>20</sup> „U-Werte alter Bauteile“, der von der Deutschen Energie Agentur (Dena) herausgegebenen Typologie.

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Fenster 2		6,98	1,3	1,30	--
KD	105,22	105,22	0,12	0,30	0,85
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>293,49</b>			

Die Tabelle listet die Bauteile des Gebäudes mit den relevanten Bestandsdaten auf. Für die energetische Bewertung der Konstruktionen sind zum Vergleich die zulässigen Höchstwerte nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) mit angegeben<sup>21</sup>.

## 13.1.4 Anlagentechnik

### Beheizung

Das betrachtete Gebäude wird mit Fernwärme über den Anschluss im Gebäude 027-01 versorgt. Die Verteilungsrohren sind gedämmt.

#### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Heizung

##### Fernwärme

Anzahl Erzeuger	1
Art des Systems	indirekt
Geometrie	wird vom Gebäude übernommen

##### 1. Nah-/Fernwärme

Erzeuger	Nah-/Fernwärme
Baujahr	2010
Art des Erzeugers	Wasser - niedrige Temperatur
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Energieträger	Nah/Fernwärme aus Heizwerken

##### Details

Vor-/Rücklauftemperatur [°C]	80,0/60,0
Betriebsweise bei mehreren Prozessbereichen	Vorrangbetrieb
Dämmklasse Sekundär-/Primärseite	Sekundär 4, Primär 5
Regelung innerhalb der Station	nein
Nennleistung Fernwärmehausstation [kW]	34,78 (Standardwert)

Die Umwälzpumpen innerhalb der Heizungsanlage sind geregelt. Die vorhandene Regelungstechnik entspricht nicht dem heutigen Stand der Technik.

Für die Heizung läuft ein Wochenprogramm mit fest eingestellten Zeiten, das nur im Heizungsraum geändert werden kann. Eine Temperaturabsenkung in der Nacht und am Wochenende ist eingerichtet.

Ein hydraulischer Abgleich ist nicht durchgeführt worden. Einige Thermostatventile in den Umkleideräumen sind defekt und regeln den Heizwasserfluss nicht mehr. Folglich heizen sich die

<sup>21</sup> Die zulässigen U-Werte beziehen sich gemäß GEG Anlage 7 auf die Begrenzung des Wärmedurchgangs beim erstmaligen Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen.

Bei Fensterbauteilen handelt es sich um den gemittelten U<sub>w</sub>-Wert für Rahmen und Verglasung

Räume stark an. Da bereits Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle umgesetzt wurden, ist eine neue Heizlastberechnung gefolgt von dem hydraulischen Abgleich dringend empfohlen.

## Warmwasserbereitung

### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Trinkwarmwasser

#### Warmwasser für Duschen

Anzahl Erzeuger	1
Anzahl Speicher	1
Geometrie	wird vom Gebäude übernommen

#### 1. Nah-/Fernwärme

Erzeuger	Nah-/Fernwärme
Baujahr	2010
Art des Erzeugers	Wasser - niedrige Temperatur
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Energieträger	Nah/Fernwärme aus Heizwerken

#### 2. Speicher

Baujahr	2010
Art des Trinkwarmwasserspeichers	indirekt beheizter Trinkwarmwasserspeicher
Aufstellung des Speichers	stehend
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Speicher-Nenninhalt [l]	750,0
Bereitschafts-Wärmeverlust [kWh/d]	4,07 (Standardwert)
Nennleistungsaufnahme der Pumpe [W]	108,6 (Standardwert)

Speicher und Wärmeerzeuger befinden sich im selben Raum

### Die Warmwasserbereitung der Sporthalle des Diesterweg-Gymnasiums - Sporthalle-027-02 erfolgt zentral über die Fernwärme.

Der Warmwasserspeicher befindet sich im Keller des Schulgebäudes 027-01.

## Lüftung

Eine Lüftung findet in jedem Gebäude zum einen kontrolliert, zum anderen auch unkontrolliert statt. Unkontrollierte Lüftungswärmeverluste erfolgen im Wesentlichen über Fenster- und Türfugen. Aber auch Mauerwerksfugen, Maueranschlüsse, Trockenbaufugen etc. können zu hohen Lüftungswärmeverlusten führen.

**In dem untersuchten Gebäude erfolgt die Be- und Entlüftung über die vorhandenen Fenster und Türen. In den Duschräumen wird die Lüftung mit zwei Abluftanlagen unterstützt.**

### Anlagentechnik: Lüftung

#### 1-Abluft-Duschen Herren

Betriebsweise	Einfaches Lüftungssystem
---------------	--------------------------

## 2-Abluft-Duschen Damen

Betriebsweise	Einfaches Lüftungssystem
---------------	--------------------------

### Beleuchtung

In dem betrachteten Gebäude befinden sich ein- bzw. mehrflammige Leuchtentypen als Ein- und Anbauleuchte mit einer Leistung  $P_{Lampe}$  bis zu 58W sowie mit konventionellen Vorschaltgeräten [KVG]. In den meisten Bereichen wurde die Beleuchtung bereits erneuert und auf stabförmige Leuchtstofflampen mit elektrischen Vorschaltgeräten [EVG] umgerüstet.

**Mit Ermittlung der elektr. Leistung und der jährlichen Nutzungsdauer der bestehenden Beleuchtungsanlage wird der jährliche Energieeinsatz pro Gebäude bzw. Beleuchtungszone bestimmt.**

**Die Ermittlung der elektr. Leistung wurde über das Tabellenverfahren nach DIN V 18599-Teil 4 bestimmt.**

#### Beleuchtungsbereich 1: Sporthalle

Fläche [m <sup>2</sup> ]	288,56 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	259,78
Fläche ohne Tageslicht $A_{kTL}$ [m <sup>2</sup> ]	28,78
lichte Raumhöhe [m]	6,30 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,827
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	1,00 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2509,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	1241,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,3 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

#### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

#### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

#### Fenster

Fenster – AW SW (2mal)
------------------------



Fenster – AW NO (6mal)
------------------------

### Beleuchtungsbereich 2: Duschen

Fläche [m <sup>2</sup> ]	21,31 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	16,05
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	5,26
lichte Raumhöhe [m]	3,30 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,859
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	200,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 2 – AW SO (4mal)
--------------------------

### Beleuchtungsbereich 3: Nebenflächen KVG

Fläche [m <sup>2</sup> ]	128,34 (95,5 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	60,03
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	68,31
lichte Raumhöhe [m]	3,05 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,868
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)

jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{\text{Tag}}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{\text{Nacht}}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	1,5 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	1,5 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW SW
Fenster 2 – AW SW (2mal)
Fenster 3 – AW SW (2mal)
Fenster 1 – AW NO
Fenster 2 – AW NO (2mal)
Fenster 1 – AW SO (3mal)
Tür Eingang – AW NO
Fenster 2 – AW SO (3mal)

### Beleuchtungsbereich 4: Nebenflächen EVG

Fläche [m <sup>2</sup> ]	6,11 (4,5 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	4,68
Fläche ohne Tageslicht $A_{kTL}$ [m <sup>2</sup> ]	1,43
lichte Raumhöhe [m]	3,05 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,859
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{\text{Tag}}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{\text{Nacht}}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	1,5 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	1,5 (Standardwert)

Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)
--	--------------------

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit EVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 2 – AW SO
-------------------

## Einstufung von Solar und Photovoltaik

### Nutzung einer Solaranlage für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Eine Nutzung von Solarenergie für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung ist möglich. Eine Solarthermie-Anlage für Warmwasserbereitung wird in den Varianten genauer untersucht.

### Nutzung von Solarstrom zur Eigenstromversorgung

Eine Nutzung von Solarenergie durch eine Photovoltaikanlage ist möglich. In der energetischen Gebäudesimulation des Gebäudes (Einzelbetrachtung jedes Gebäudes) werden zwei Anlagen nach GEG genauer untersucht. Eine Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$  (bei den Varianten V1, V2, V3 und V4) und eine Anlage mit einer  $23 \text{ kW}_{\text{Peak}}$  bei der Passivhausvariante V5.

## 13.2 Gebäudebetrachtung

### 13.2.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes

<b>Energiebedarfskennwerte<sup>22</sup> der bewerteten Gebäude</b>	
<b>in [kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>*a)]</b>	
spez. Endenergiebedarf Heizung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>143,18</b>
spez. Endenergiebedarf Trinkwarmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>58,85</b>
spez. Endenergiebedarf Lüftung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>0,00</b>
<b>Beleuchtungsstrom</b>	<b>11,84</b>
<b>Wärmeenergie (Heizung + Warmwasser)</b>	<b>202</b>

*Kennwerte auf Basis der durchgeführten Berechnung des Gebäudes*

Wo die ermittelten Energieverbrauchskennzahlen den tatsächlichen Verbrauch an Strom und Wärme der Liegenschaft, auf der sich das untersuchte Gebäude befindet, abbilden und bewertbar machen, erfolgt die ingenieurstechnische Berechnung und Analyse des Gebäudes und die Erarbeitung von Sanierungsmaßnahmen und deren Effekte auf Basis einer theoretischen Berechnung auf Grundlage der DIN 18599.

Da diese sich jedoch u. a. auf eine genormte Nutzung des Gebäudes stützt, sind die errechneten Werte mit den Energieverbräuchen nicht identisch. Aufgrund der Rechenmethodik sind Abweichungen von bis zu 20 % durchaus möglich und sind bei der Bewertung der Sanierungsmaßnahmen, unbedingt zu berücksichtigen.

- ➔ **Alle nachfolgenden Berechnungen und Aussagen basieren auf der Bedarfsberechnung des untersuchten Gebäudes**

<sup>22</sup> Vom Berechnungsprogramm rechnerisch ermittelter Verbrauchswert mit der Einheit [kWh/m<sup>2</sup>a]

### 13.3 Tabellarische Gesamtübersicht

Parameter	Ausgangsfall	V1- GEG	V2- KfW 40	V3- Öko	V4- Reg. Vers.
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	21.275	176.605	61.112	209.591
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	18.500	153.570	53.141	182.253
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>23)</sup>	--	20	17	17	14
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,06	0,12	0,05	0,52
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>24)</sup>	7.626	7.168	5.203	5.670	4.138
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	459	2.423	1.956	3.488
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	6,0	31,8	25,6	45,7
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	95.028	89.175	69.722	73.914	87.967
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	5.853	25.306	21.114	7.061
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	6,2	26,6	22,2	7,4
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	50.090	47.123	32.734	36.807	18.342
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	2.968	17.356	13.283	31.748
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	5,9	34,6	26,5	63,4
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	29.920	28.100	21.149	22.747	2.383
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	1.820	8.771	7.173	27.537
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	6,1	29,3	24,0	92,0

\* siehe Definition von energetisch bedingten Investitionskosten (energiebedingte Mehrkosten) unter 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>23)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

<sup>24)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

Parameter	Ausgangsfall	V5-Passivhaus	V6-DK-GEG	V7-DK-KfW 55	V8-DK-Reg
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	494.439	21.275	150.622	184.087
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	429.947	18.500	130.976	160.076
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>25)</sup>	--	28	20	32	16
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,11	0,06	0,23	-12,80
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>26)</sup>	7.626	4.226	7.168	6.453	4.725
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	3.401	459	1.173	2.901
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	44,6	6,0	15,4	38,0
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	95.028	16.538	89.175	83.746	95.278
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	78.491	5.853	11.283	-250
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	82,6	6,2	11,9	-0,3
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	50.090	29.768	47.123	41.296	22.605
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	20.322	2.968	8.795	27.485
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	40,6	5,9	17,6	54,9
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	29.920	9.261	28.100	25.819	3.428
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	20.659	1.820	4.101	26.492
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	69,0	6,1	13,7	88,5

\* siehe 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

### Anmerkung:

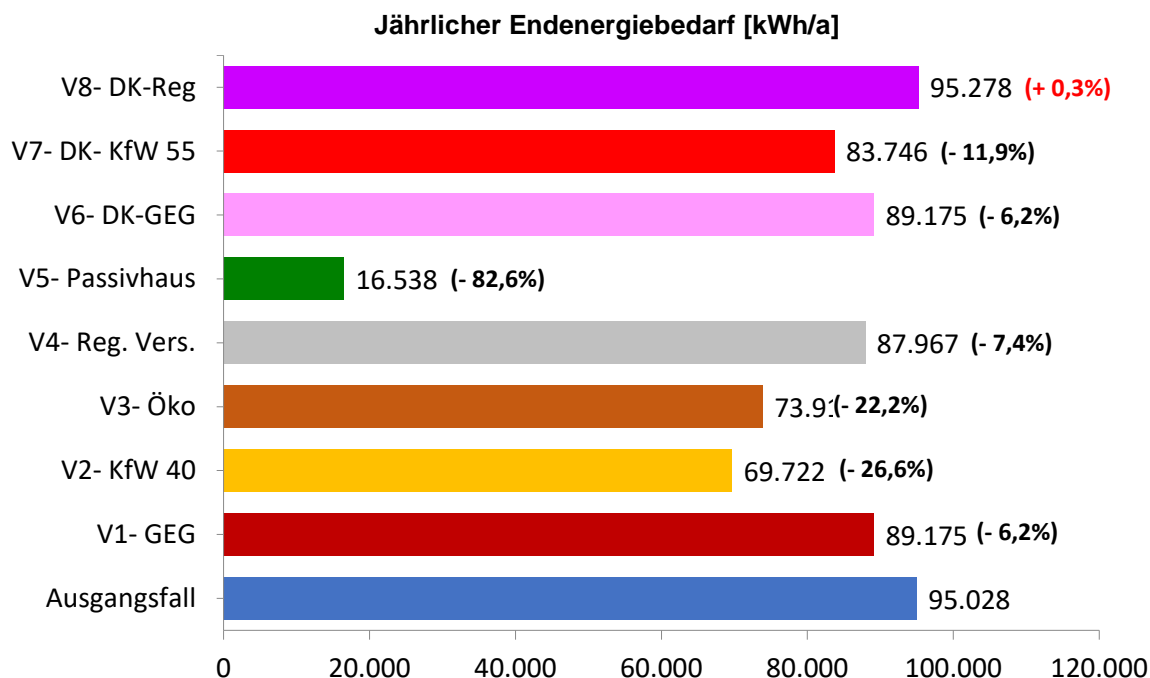
Die Umstellung auf Pelletkessel in den Sanierungsvarianten V4 und V8 verursacht mehr Endenergiebedarf, um die Verluste durch Erzeugung und Speicherung zu kompensieren. In der Variante 4 wird der zusätzliche Endenergiebedarf durch die Solarthermie-Anlage und die PV-Anlage abgedeckt bzw. abgeglichen. In dem Denkmal-Szenario dagegen wird keine Solarthermie-Anlage bzw. PV-Anlage vorgeschlagen. Somit weist die Variante eine negative Bilanz.

<sup>25)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

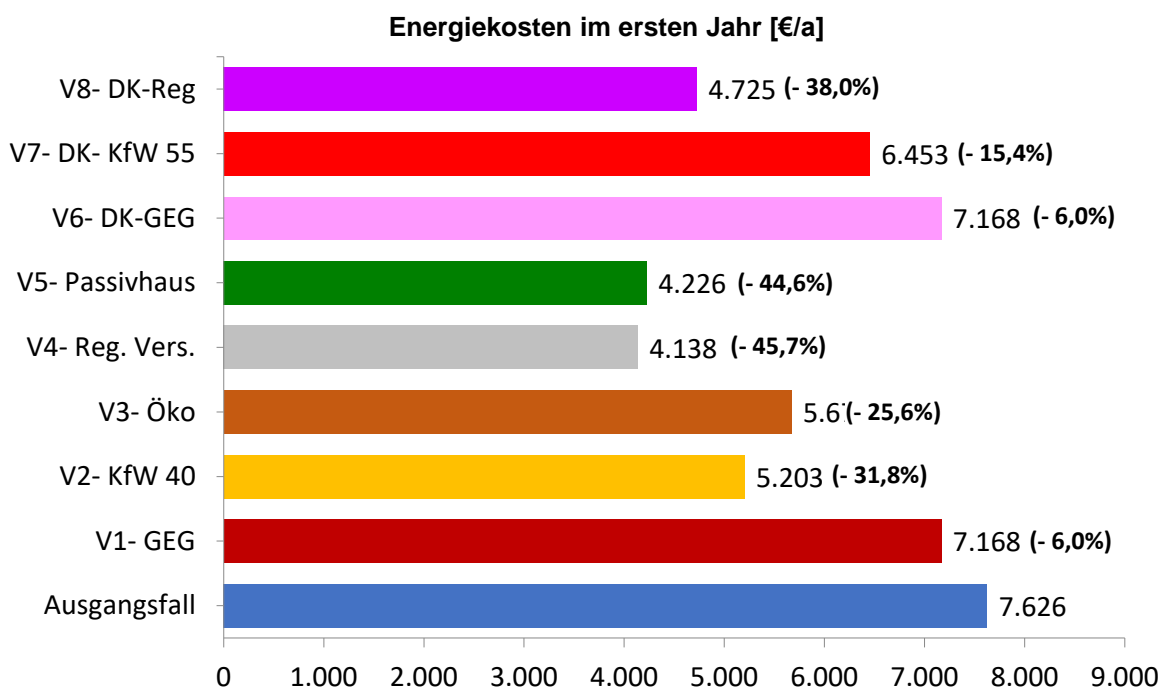
<sup>26)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

## 13.4 Endenergie- und Kosteneinsparung

Nachfolgend ist der Endenergiebedarf mit der prozentualen Einsparung pro Variante nach Maßnahmenumsetzung aufgeführt:

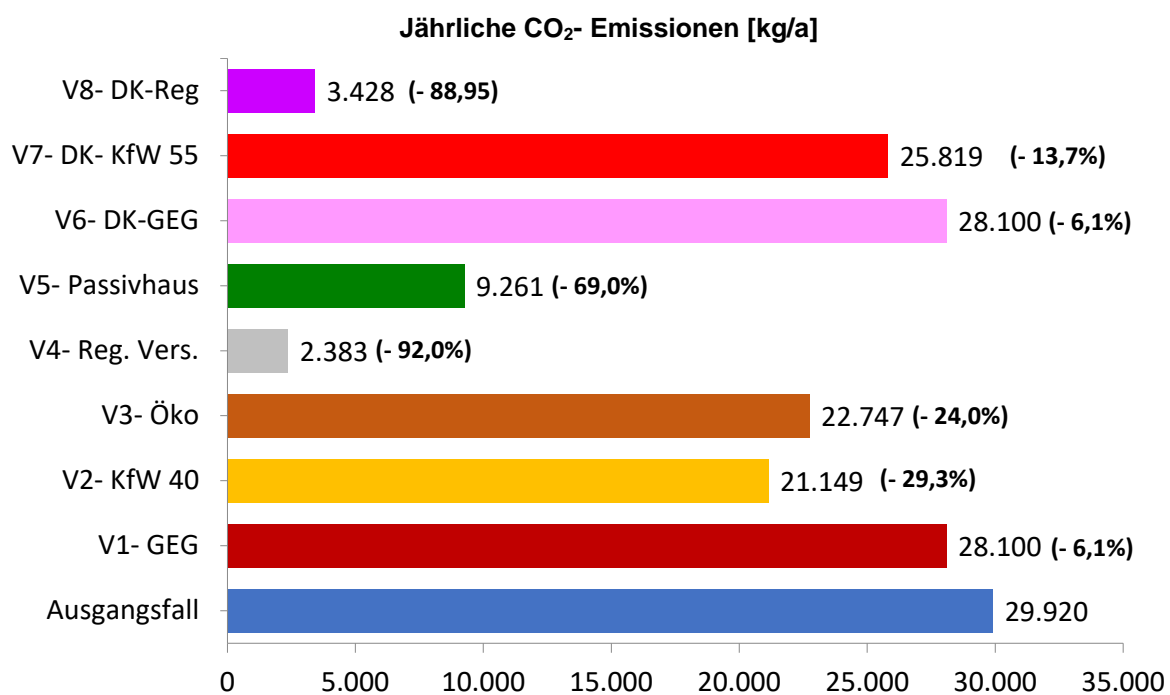
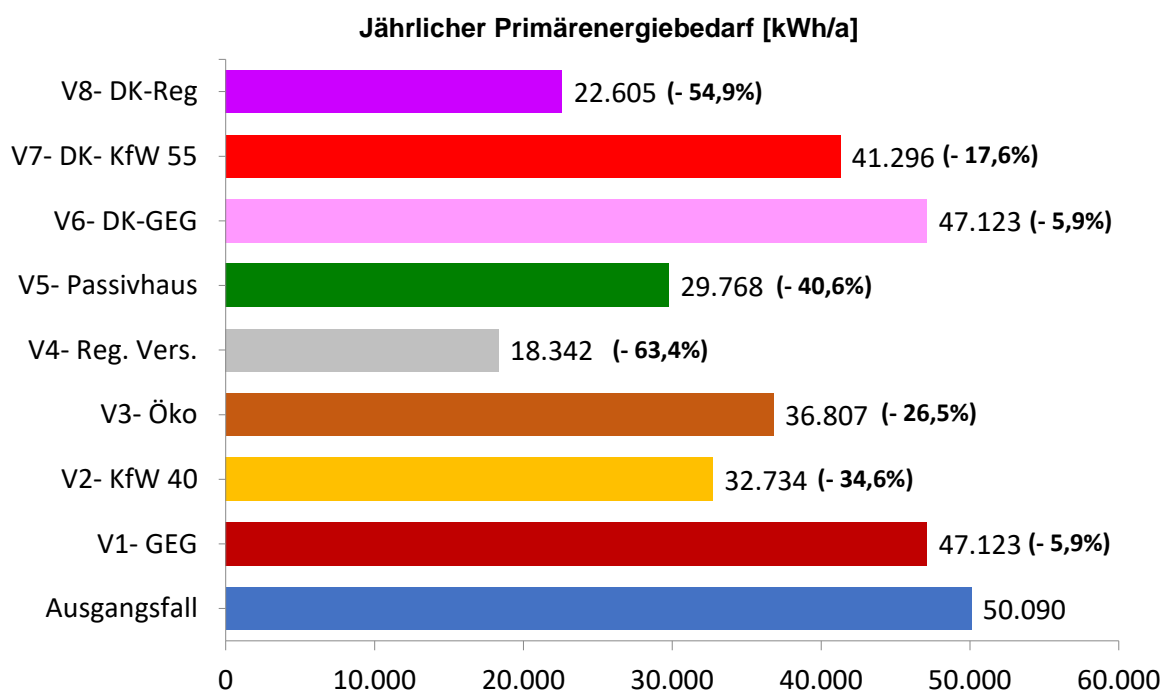


Hier wird die Auswirkung der energetischen Sanierung auf die Energiekosten pro Variante verdeutlicht:



## 13.5 Gesamteffizienz und Klimaschutz

In folgendem Diagramm werden die Klimaschutzaspekte der einzelnen Varianten anhand des Primärenergiebedarfes und der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmen dargestellt.





## 13.6 Sanierungsvarianten – Sporthalle 027-02

Nachfolgend erfolgt die Darstellung und Zusammenstellung der Sanierungsvarianten (SV):

### **Untersuchte Sanierungsvarianten:**

V1- GEG (worst case)

V2- KfW 40

V3- Ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V4- Regenerative Versorgung

V5- Passivhaus

V6- Denkmal – GEG (worst case)

V7- Denkmal – KfW 55

V8- Denkmal – regenerative Versorgung

### 13.6.1 V1- GEG

Da die Sporthalle bereits energetisch saniert wurde, erfüllt das Gebäude die Anforderungen des GEGs.

Für die Optimierung der Gebäudebetrieb werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die restliche alte Beleuchtung (Duschen und zum Teil in den Nebenflächen) komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Das Gebäude erfüllt im Bestand die Anforderungen für ein KfW-Standard Effizienzgebäude 70.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 19 Jahren.

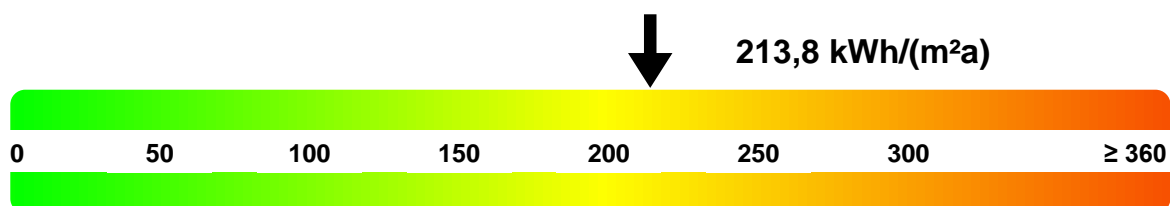
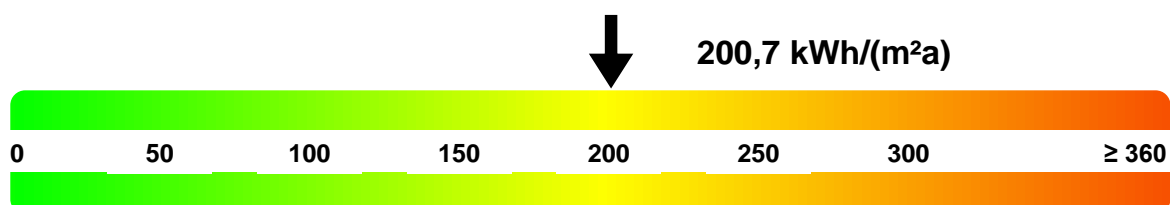
Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V1- GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	21.275	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	18.500	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	7.168	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	459	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	6,0	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	89.175	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	200,7	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	5.853	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	6,2	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	28.100	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	1.820	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	6,1	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	20	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,06	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**GEG-Ergebnisse der Variante (V1-GEG) nach § 50 GEG**

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	106,06	272,53	38,9 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,150	0,5	26,8 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	1,300	2,6	48,9 %

**KfW-Ergebnisse der Variante (V1-GEG)**

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“. Die Anforderungen der verschiedenen KfW-Effizienzhaus-Standards wurden unter 3.2 KfW-Anforderungen erläutert.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	106,1	194,7	<b>54%</b>	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	47.122,6	86.493,0	<b>54%</b>	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,26	<b>57%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,300	1,40	<b>93%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzgebäude 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 24.921 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 89.175 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -11.859 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -27.265 kWh/Jahr (+44 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 1.605 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **5.853 kWh/Jahr (-6%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 13.6.2 V2- KfW 40

Ziel dieser Variante ist, den KfW 40 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca.  $27 \text{ m}^2$  Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen. Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Solarthermieanlage mit einem Zuschuss von 30% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden. Vorausgesetzt, dass die Solarkollektoren der unabhängigen Prüfung / Zertifizierung nach Solar-Keymark eines nach ISO 17025 akkreditierten Prüfinstituts erfüllen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 16 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ €}$  pro  $\text{m}^2$  NGF (max.  $30 \text{ Mio.€}$ ) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 40	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	176.605	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	153.570	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	5.203	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	2.423	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	31,8	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	69.722	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	156,9	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
jährliche Endenergieeinsparung	25.306	kWh/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 40	
	Wert	Einheit
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	26,6	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	21.149	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	8.771	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	29,3	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	17	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,12	€/kWh

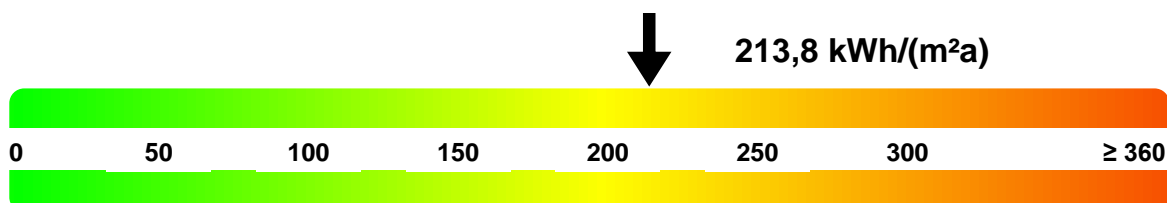
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

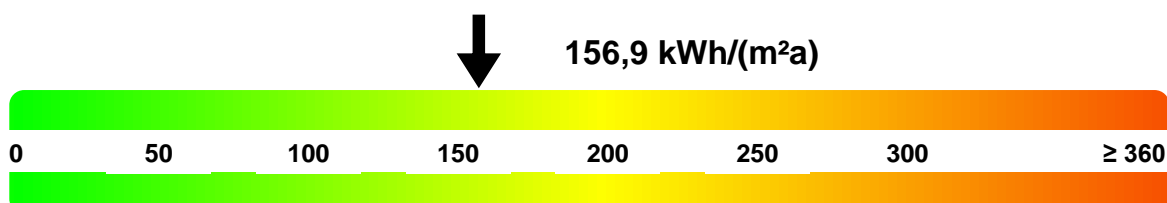
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



#### KfW-Ergebnisse der Variante (V2-KfW)

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	73,7	194,7	<b>38%</b>	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	32.736,3	86.493,0	<b>38%</b>	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,18	<b>82%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,00	<b>80%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 19.647 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 71.775 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -6.585 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -9.864 kWh/Jahr (+16 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 6.879 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **23.254 kWh/Jahr (-24%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 13.6.3 V3- Ökologische und nachhaltige Variante

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca. 27 m<sup>2</sup> Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die restliche alte Beleuchtung (Duschen und zum Teil in den Nebenflächen) komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- PV-Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub>.
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen und die Solarkollektoren.
- Fassadenbegrünung an der Nordwest- und Südwestseite mit einer gesamten Fläche von 189 m<sup>2</sup>.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 15 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V3- Öko	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	61.112	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	53.141	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	5.670	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	1.956	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	25,6	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	73.914	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	166,3	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	21.114	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	22,2	%



Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V3- Öko	
	Wert	Einheit
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	22.747	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	7.173	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	24,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	17	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,05	€/kWh

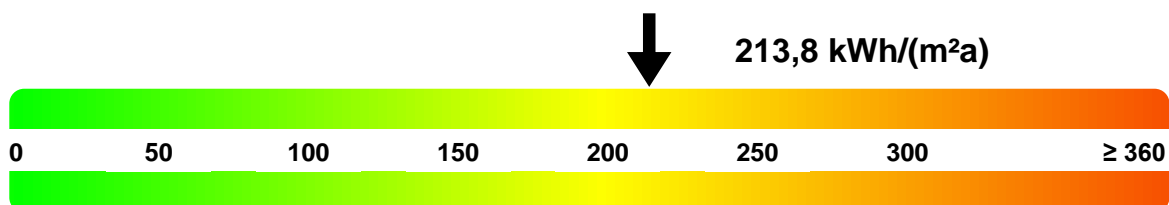
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

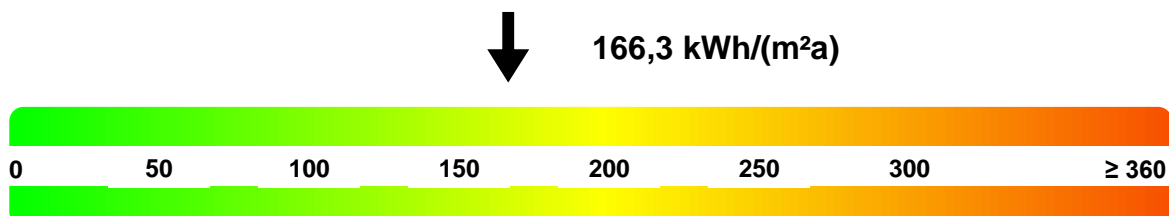
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



#### KfW-Ergebnisse der Variante (V3-Öko)

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	82,8	194,7	<b>43%</b>	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	36.807,0	86.493,0	<b>43%</b>	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,26	<b>57%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,30	1,40	<b>93%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 21.897 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 77.200 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -8.835 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -15.290 kWh/Jahr (+25 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 4.629 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **17.828 kWh/Jahr (-19%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 13.6.4 V4- Regenerative Versorgung

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Heizungsanlage mit Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Biomassekessel (Pelletkessel) eingebaut. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden. Diese Heizungsanlage kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 35% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca.  $27 \text{ m}^2$  Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 12 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ € pro m}^2 \text{ NGF}$  (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V4- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	209.591	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	182.253	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	4.138	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	3.488	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	45,7	%

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V4- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	87.967	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	197,9	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	7.061	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	7,4	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	2.383	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	27.537	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	92,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	14	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,52	€/kWh

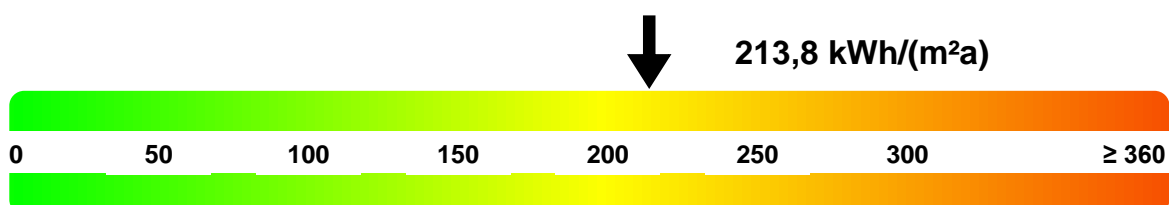
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

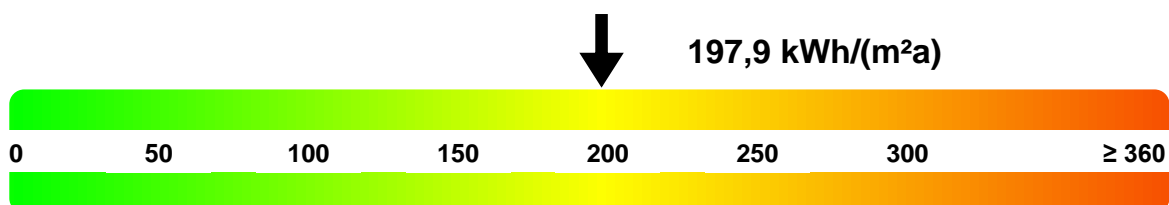
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V4-Reg. Vers.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	41,3	194,7	21%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	18.342,3	86.493,0	21%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,18	82%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,00	80%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 2.047 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 90.016 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 11.015 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -28.105 kWh/Jahr (+45 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 24.478 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **5.013 kWh/Jahr (-5 %)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 13.6.5 V5- Passivhaus

Ziel dieser Variante ist, ein Passivhaus Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Aufdopplung der Dämmung an der Außenwand (zusätzlich 14 cm Mineralwolle).
- zusätzliche Dämmung der obersten Geschossdecke mit 8 cm Mineralwolle Dämmung (28 cm insgesamt).
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- LED Beleuchtung: hier wird die komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca.  $27 \text{ m}^2$  Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut.
- Zur Warmwasserbereitung wird zusätzlich ein elektrisch beheizter Wärmeerzeuger installiert.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $23 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen und Solarkollektoren.
- Fassadenbegrünung an der Südost- und Südwestseite mit einer gesamten Fläche von  $102 \text{ m}^2$ .
- zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung: die RLT-Anlage soll mit Filtertechnik mit Virenschutzfunktion (HEPA) ausgestattet sein und die Steuerung soll über Gassensoren (z.B.  $\text{CO}_2$ ) erfolgen.
- zur Wärmeversorgung wird eine strombetriebene Luft-Wasser-Wärmepumpe ( $15 \text{ kW}$ ) mit integriertem Heizstab für die Beheizung der Sporthalle genutzt. Die Quelle bzw. Senke wird über die Außenluft realisiert. Die Wärmepumpe ist auf niedrige Systemtemperaturen ausgelegt. Je niedriger die Vorlauftemperatur ist, desto effizienter und sparsamer kann das Heizsystem arbeiten. Um das zu ermöglichen, wird Deckenheizung in allen beheizten Räumen verlegt.
- Gebäudeautomation – Heizungs- und Lüftungssystem.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker und Passivhaus-Planer geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 25 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von  $2.000 \text{ € pro m}^2 \text{ NGF}$  (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V5- Passivhaus	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	494.439	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	429.947	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	4.226	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	3.401	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	44,6	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	16.538	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	37,2	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	78.491	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	82,6	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1)2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	9.261	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	20.659	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	69,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	28	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,11	€/kWh

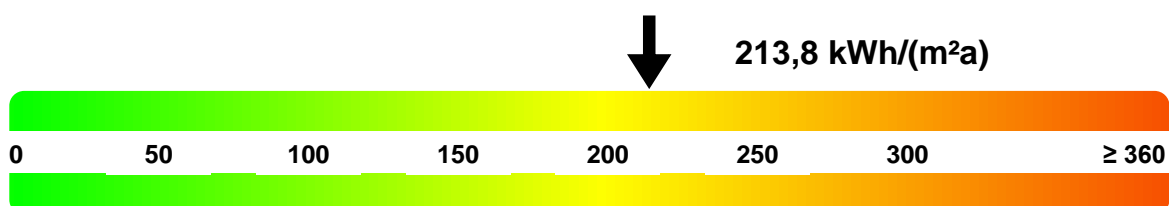
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

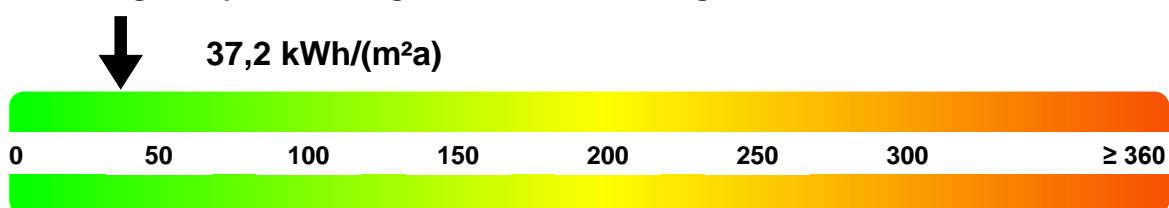
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



### KfW-Ergebnisse der Variante (V5-Passivhaus)

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	67,0	194,7	34%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	29.767,8	86.493,0	34%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,100	0,18	55%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,00	80%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 17.175 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 16.538 kWh/a.

#### Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -2.238/ kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von 44.454 kWh/Jahr** (-73 %).

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 9.351 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **78.491 kWh/Jahr** (-83%)

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

#### Regenerativ erzeugter Strom

- Gesamter Strombedarf: 28.865 kWh/a
- Gesamte Eigennutzung regenerativ erzeugten Stromes: 12.327 kWh/a
- Deckungsanteil am Strombedarf: 42,7 %

Berechnung des PV-Ertrags nach DIN EN 15316-4-6: ja



### 13.6.6 V6- Denkmal – GEG

In dieser Variante wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Da die Sporthalle bereits energetisch saniert wurde, erfüllt das Gebäude die Anforderungen des GEGs.

Für die Optimierung der Gebäudebetrieb werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die restliche alte Beleuchtung (Duschen und zum Teil in den Nebenflächen) komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Das Gebäude erfüllt im Bestand die Anforderungen für ein KfW-Standard Effizienzgebäude 70.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 19 Jahren.

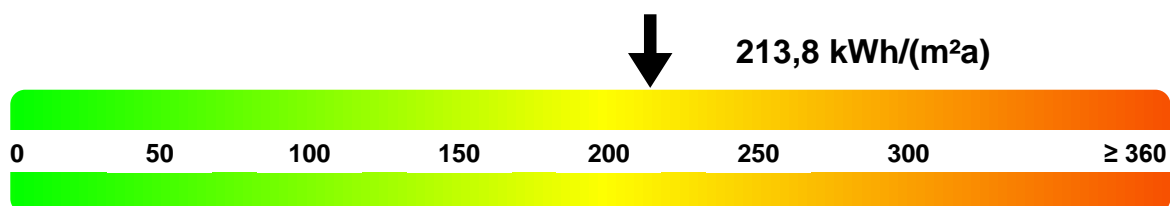
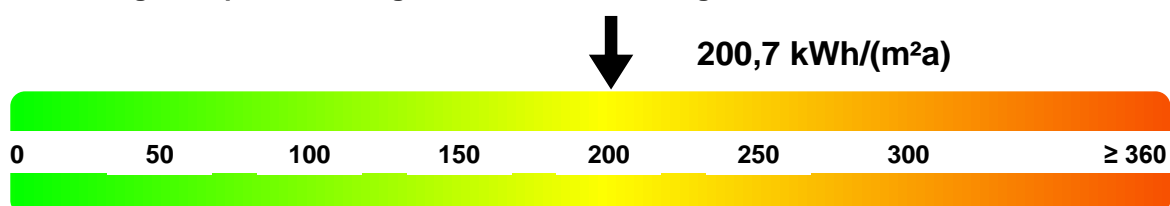
Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK-GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	21.275	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	18.500	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	7.168	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	459	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	6,0	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	89.175	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	200,7	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	5.853	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	6,2	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	28.100	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	1.820	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	6,1	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	20	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,06	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

**GEG-Ergebnisse der Variante (V6-DK-GEG)**

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	106,06	272,53	38,9 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,150	0,5	26,8 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	1,300	2,6	48,9 %

**KfW-Ergebnisse der Variante (V6-DK-GEG)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	106,1	194,7	<b>54%</b>	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	47.122,6	86.493,0	<b>54%</b>	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,26	<b>57%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,300	1,40	<b>93%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzgebäude 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 24.921 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 89.175 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -11.859 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -27.265 kWh/Jahr (+44 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 1.605 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **5.853 kWh/Jahr (-6%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 13.6.7 V7- Denkmal – KfW 55

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, den KfW 55 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 28 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro  $\text{m}^2$  NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V7- DK- KfW 55	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	150.622	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	130.976	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	6.453	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	1.173	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	15,4	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	83.746	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	188,4	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
jährliche Endenergieeinsparung	11.283	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	11,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	25.819	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	4.101	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	13,7	%
Nutzungsdauer	50	a

<b>Sanierungsvariante</b>	<b>V7- DK- KfW 55</b>	
<b>Wirtschaftlichkeit</b>		
<b>Kenndaten</b>	<b>Wert</b>	<b>Einheit</b>
dynamische Amortisation	32	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,23	€/kWh

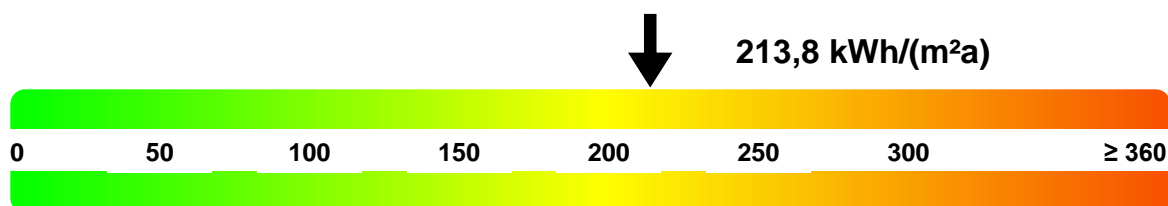
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

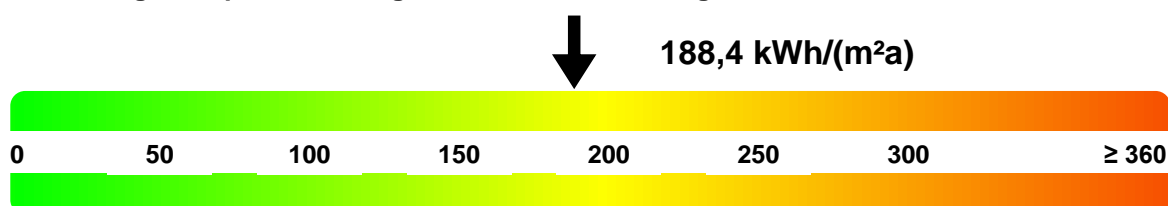
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



#### KfW-Ergebnisse der Variante (V7-DK-KfW 55)

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	92,9	194,7	<b>48%</b>	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	41.295,5	86.493,0	<b>48%</b>	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,22	<b>67%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,20	<b>67%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 22.670 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 83.746 kWh/a.

#### Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -9.608 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -21.836 kWh/Jahr (+35 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 3.856 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **11.283 kWh/Jahr** (-12%)

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 13.6.8 V8- Denkmal – regenerative Versorgung

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen Fenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Heizungsanlage mit Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Biomassekessel (Pelletkessel) eingebaut. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 13 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro  $\text{m}^2$  NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V8- DK-Reg	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	184.087	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	160.076	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	7.626	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	4.725	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	2.901	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	38,0	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	95.028	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	213,8	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	95.278	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	214,4	kWh/( $\text{m}^2_{\text{NGF}} \cdot \text{a}$ )
jährliche Endenergieeinsparung	-250	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	-0,3	%

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V8- DK-Reg	
	Wert	Einheit
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	29.920	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	3.428	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	26.492	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	88,5	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	16	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	-12,80	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

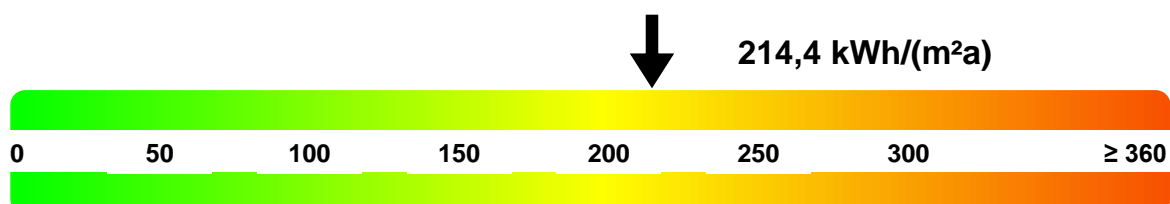
### Anmerkung:

Die Umstellung auf Pelletkessel in der Sanierungsvariante V8 verursacht mehr Endenergiebedarf, um die Verluste durch Erzeugung und Speicherung zu kompensieren. Somit weist die Variante eine negative Bilanz.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala





**KfW-Ergebnisse der Variante (V8-DK-Reg.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	50,9	194,7	26%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	22.604,9	86.493,0	26%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,147	0,18	57%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,00	57%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 1.828 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 95.278 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 11.234 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -33.368 kWh/Jahr (+54 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 24.698 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **-250 kWh/Jahr (+0 %)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 14 Gesamtbilanz nach GEG § 50 - Sporthalle (028-02)

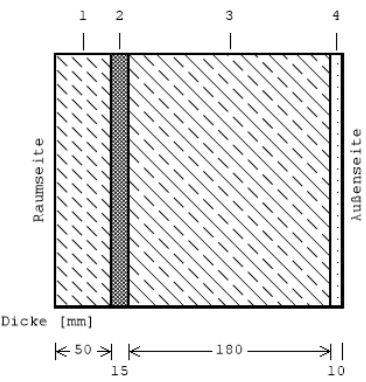
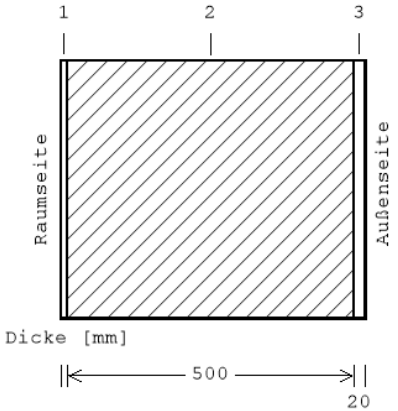
### 14.1 Ausgangssituation

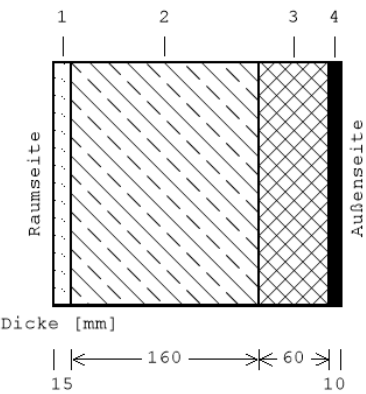
#### 14.1.1 Beschreibung des untersuchten Objekts



Abbildung 42: Sporthalle 028-02 - Ansicht vom Sportplatz

Grunddaten	
Gebäudetyp	Sporthalle
Baujahr	1965
Baujahr des Wärmeerzeugers	2010
Gebäudevolumen netto [m <sup>3</sup> ]	2.417,6
Gebäudenutzfläche [A <sub>NGF</sub> ] [m <sup>2</sup> ]	570,7
Wärme übertragende Hüllfläche [A] [m <sup>2</sup> ]	2.058,2
Anzahl der Geschosse	1
<b>Anmerkung:</b> Flächen- und Volumenangaben beziehen sich lediglich auf thermisch konditionierte Zonen.	

Konstruktionsart																									
Kellerdecke	<p>Betondecke (1949-1968 Betondecke 1,5cm Trittschall) U-Wert= 1,19 [W/m²K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich</td> <td>50</td> <td>1,400</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039</td> <td>15</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300</td> <td>180</td> <td>2,300</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>10</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>255</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400	2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040	3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300	4	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700	<b>gesamt</b>		<b>255</b>	
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																						
1	DIN 4108 1.3.2 Zement-Estrich	50	1,400																						
2	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,039	15	0,040																						
3	DIN EN ISO 10456 Beton armiert (mit 1% Stahl) 2300	180	2,300																						
4	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700																						
<b>gesamt</b>		<b>255</b>																							
Außenwand	<p>1949-1968 leichtes Mauerwerk Hohlblock U-Wert= 1,03 [W/m²K]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>10</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM</td> <td>500</td> <td>0,650</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk</td> <td>20</td> <td>1,000</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>530</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700	2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	500	0,650	3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000	<b>gesamt</b>		<b>530</b>					
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																						
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	10	0,700																						
2	DIN 4108 4.4.1 Hohlblöcke Gruppe 1 1400 NM	500	0,650																						
3	DIN 4108 1.1.1 Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	20	1,000																						
<b>gesamt</b>		<b>530</b>																							

Dach	1969-1978 Flachdach mit Bitumendachbahn U-Wert= 0,51 [W/m <sup>2</sup> K]																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Schicht</th> <th>Material</th> <th>Dicke [mm]</th> <th><math>\lambda</math> [W/mK]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel</td> <td>15</td> <td>0,700</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2</td> <td>160</td> <td>0,620</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,034</td> <td>60</td> <td>0,040</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn</td> <td>10</td> <td>0,230</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>gesamt</b></td> <td><b>245</b></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> 	Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]	1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	15	0,700	2	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	160	0,620	3	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,034	60	0,040	4	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	10	0,230	<b>gesamt</b>		<b>245</b>
Schicht	Material	Dicke [mm]	$\lambda$ [W/mK]																					
1	DIN 4108 1.1.2 Gipsputzmörtel	15	0,700																					
2	DIN 4108 2.2 Leichtbeton und Stahlleichtbeton (1200), DIN EN 206 und DIN 1045-2	160	0,620																					
3	DIN 4108 5.2 Expandierter Polystyrolschaum NW 0,034	60	0,040																					
4	DIN EN ISO 10456 Bitumen Membran/Bahn	10	0,230																					
<b>gesamt</b>		<b>245</b>																						
Boden	Betondecke, U-Wert= 1,49 [W/m <sup>2</sup> K]																							
Hallenboden	Betondecke ohne Dämmung, U-Wert= 1,49 [W/m <sup>2</sup> K]																							
Fenster	Holzfenster (Baualtersklasse 1984-1994), U <sub>w</sub> -Wert= 2,7 [W/m <sup>2</sup> K] Alufenster im Sportraum (Baujahr 2010), U <sub>w</sub> -Wert= 1,3 [W/m <sup>2</sup> K]																							

Für die Berechnung des Energiebedarfs in Anlehnung an die DIN 18599 wurde das Gebäude in die folgenden Zonen unterteilt.

Zone	Nutzungsprofil	Netto- grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Flächen- anteil [%]
1-Sporthalle	13.Turnhalle (ohne Zuschauerbereich)	341,7	59,9
2-Sanitarräume	16.WC und Sanitarräume in Nichtwohngebäuden	38,2	6,7
3-Nebenflächen	18. Nebenflächen (ohne Aufenthaltsräume)	190,8	33,4

Die Nutzungsprofile nach DIN 18599 legen die Nutzungsrandbedingungen für Nichtwohngebäude z.B. Nutzungszeiten, tägliche Betriebsstunden der Heizung, Beleuchtungsstärke oder Raumbelegung fest. Die tatsächliche Nutzung des Gebäudes sowie das Nutzerverhalten kann von diesen nach Norm festgelegten Bedingungen abweichen.

## 14.1.2 Rechnerische Ermittlung des Energiebedarfs und Vergleich mit Referenzgebäude

Die Bedarfe für Nutz-, End- und Primärenergie ergeben sich aus der energetischen Gebäudesimulation und stellen den simulierten Ist-Zustand des Gebäudes dar.

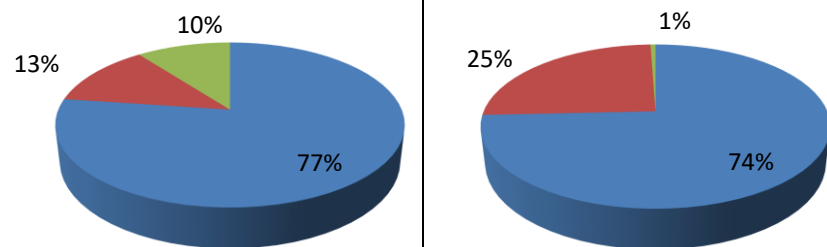
Jährlicher Nutzenergiebedarf	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	245,02	139.827,80	116,43	66.447,45
Trinkwarmwasser	39,43	22.500,00	39,43	22.500,00
Beleuchtung	33,05	18.858,50	0,87	496,14
<b>Gesamt</b>	<b>317,49</b>	<b>181.186,30</b>	<b>156,73</b>	<b>89.443,59</b>
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;"> <span style="color: blue;">■</span> Heizung  <span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser  <span style="color: green;">■</span> Beleuchtung                 </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>				

Tabelle 48: Vergleich des Nutzenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02

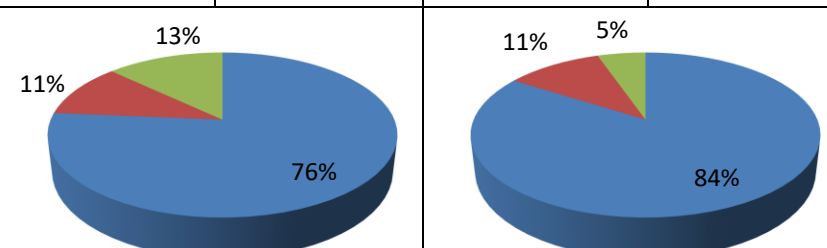
Jährlicher Endenergiebedarf (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	329,10	187.812,50	160,68	91.699,17
Trinkwarmwasser	45,97	26.234,90	20,32	11.598,51
Beleuchtung	55,96	31.938,20	10,17	5.803,00
<b>Gesamt</b>	<b>431,03</b>	<b>245.985,60</b>	<b>191,17</b>	<b>109.100,68</b>
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="margin-right: 10px;"> <span style="color: blue;">■</span> Heizung  <span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser  <span style="color: green;">■</span> Beleuchtung                 </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>				

Tabelle 49: Vergleich des Endenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02

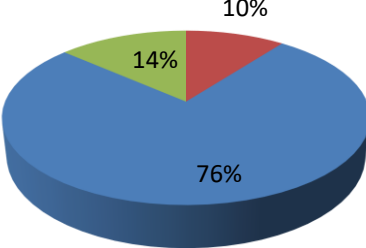
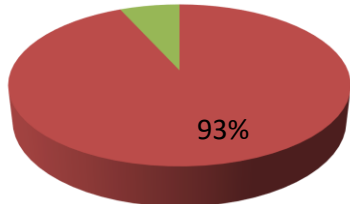
Endenergiebedarf nach Energieträgern (brennwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Fernwärme aus Heizwerk (fossiler Brennstoff)	327,48	186.888,6	--	--
Erdgas	44,97	25.664,8	178,25	101.722,8
Strom-Mix	58,58	33.432,3	12,93	7.377,9
<b>Gesamt</b>	<b>431,03</b>	<b>245.985,7</b>	<b>191,18</b>	<b>109.100,7</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Fernwärme</li> <li><span style="color: green;">■</span> Strom-Mix</li> <li><span style="color: red;">■</span> Erdgas</li> </ul>				

Tabelle 50: Vergleich des Endenergiebedarfes nach Energieträgern mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02

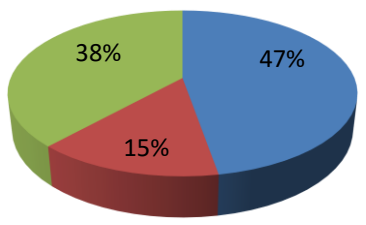
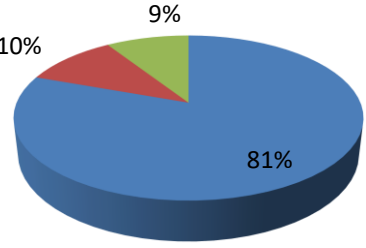
Jährlicher Primärenergiebedarf (heizwertbezogen)	Ist-Gebäude		Referenzgebäude	
	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]	spezifisch [kWh/(m²a)]	absolut [kWh/a]
Heizung	150,71	86.008,80	160,88	91.813,99
Trinkwarmwasser	46,36	26.459,70	20,72	11.827,20
Beleuchtung	121,92	69.581,20	18,30	10.445,39
<b>Gesamt</b>	<b>319,00</b>	<b>182.049,70</b>	<b>199,91</b>	<b>114.086,58</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">■</span> Heizung</li> <li><span style="color: red;">■</span> Trinkwarmwasser</li> <li><span style="color: green;">■</span> Beleuchtung</li> </ul>				

Tabelle 51: Vergleich des Primärenergiebedarfes mit dem Referenzgebäude - Sporthalle 028-02

### 14.1.3 Wärmetechnische Einstufung der Gebäudehülle

Das untersuchte Gebäude weist die in der nachfolgenden Tabelle ausgewiesenen Werte auf.

Die Flächen der Außenbauteile wurden anhand der vorhandenen Pläne ermittelt. Darüber hinaus basieren die U-Werte auf der Vor-Ort-Aufnahme, sowie getroffenen Annahmen von vorhandenen Informationen bzw. Angaben zu den Bauteilen. Alle in den Unterlagen nicht aufgeführten Konstruktionen (Schichtaufbauten), wurden mittels Literaturangaben<sup>27</sup> und / oder nach eigenen Erfahrungswerten angenommen.

#### Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG

##### Sporthalle

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Flachdach	365,46	365,46	0,51	0,20	(1,00)
Außenwand (AW) SO	79,12	79,12	1,03	0,24	(1,00)
AW SW	151,79	74,67	1,03	0,24	(1,00)
Fenster 1		19,52	1,3	1,30	--
Fenster 2		57,60	1,3	1,30	--
Boden	365,46	365,46	1,49	0,30	--
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>961,83</b>			

##### Sanitärräume

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Flachdach	45,78	45,78	0,51	0,20	(1,00)
AW NO	12,51	9,73	1,03	0,24	(1,00)
Fenster		2,78	2,7	1,30	--
AW SW	16,41	16,41	1,03	0,24	(1,00)
AW NW	13,57	10,79	1,03	0,24	(1,00)
Fenster		2,79	2,7	1,30	--
Kellerdecke (KD)	21,79	21,79	1,19	0,30	0,75
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>110,06</b>			

##### Nebenflächen

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Flachdach	382,34	381,80	0,51	0,20	(1,00)
Dachfenster		0,54	3,5	1,40	--
AW NO	83,88	74,96	1,03	0,24	(1,00)
Fenster 1		1,36	2,7	1,30	--
Fenster 2		4,16	2,7	1,30	--
Fenster 3		1,33	2,7	1,30	--
Fenster 4		1,38	2,7	1,30	--
Fenster 5		0,69	2,7	1,30	--
AW SO	15,68	15,68	1,03	0,24	(1,00)
AW NW	42,73	29,32	1,03	0,24	(1,00)
Fenster 1		3,44	2,7	1,30	--

<sup>27</sup> „U-Werte alter Bauteile“, der von der Deutschen Energie Agentur (Dena) herausgegebenen Typologie.

Bezeichnung	Fläche [m <sup>2</sup> ]	Nettofläche [m <sup>2</sup> ]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	zul. U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fx-Wert [-]
Fenster 2		4,17	2,7	1,30	--
Eingang		3,78	2,7	1,30	--
Fenster 3		1,31	2,7	1,30	--
Fenster 4		0,70	2,7	1,30	--
KD	381,80	381,80	1,19	0,30	0,75
KW	24,46	24,46	1,49	0,30	--
Kelleraußenwand (K-AW)	12,23	10,92	1,40	0,24	(1,00)
Kellertür		1,31	2,8	1,80	--
Kellerboden	30,99	30,99	1,49	0,30	--
Innenwand (IW) zum unbeheizten Keller	12,23	12,23	1,25	0,30	0,75
Boden	73,76	73,76	1,49	0,30	--
<b>Thermische Hüllfläche</b>		<b>1.060,10</b>			

Die Tabelle listet die Bauteile des Gebäudes mit den relevanten Bestandsdaten auf. Für die energetische Bewertung der Konstruktionen sind zum Vergleich die zulässigen Höchstwerte nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) mit angegeben<sup>28</sup>.

## 14.1.4 Anlagentechnik

### Beheizung

Das betrachtete Gebäude wird mit Fernwärme über den Anschluss im Gebäude 027-01 versorgt.

#### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Heizung

##### Fernwärme

Anzahl Erzeuger	1
Art des Systems	indirekt
Geometrie	wird vom Gebäude übernommen

##### 1. Nah-/Fernwärme

Erzeuger	Nah-/Fernwärme
Baujahr	2010
Art des Erzeugers	Wasser - niedrige Temperatur
Umgebung	Standardrandbedingungen unbeheizt
Umgebungstemperatur (Jahresdurchschnitt) [°C]	13,0
Energieträger	Nah/Fernwärme aus Heizwerken

##### Details

Vor-/Rücklauftemperatur [°C]	80,0/60,0
Betriebsweise bei mehreren Prozessbereichen	Vorrangbetrieb
Dämmklasse Sekundär-/Primärseite	Sekundär 4, Primär 5
Regelung innerhalb der Station	nein
Nennleistung Fernwärmehausstation [kW]	96,88 (Standardwert)

Die Umwälzpumpen innerhalb der Heizungsanlage sind geregelt. Die vorhandene Regelungstechnik entspricht nicht dem heutigen Stand der Technik.

<sup>28</sup> Die zulässigen U-Werte beziehen sich gemäß GEG Anlage 7 auf die Begrenzung des Wärmedurchgangs beim erstmaligen Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen.

Bei Fensterbauteilen handelt es sich um den gemittelten U<sub>w</sub>-Wert für Rahmen und Verglasung



Für die Heizung läuft ein Wochenprogramm mit fest eingestellten Zeiten, das nur im Heizungsraum geändert werden kann. Eine Temperaturabsenkung in der Nacht und am Wochenende ist eingerichtet.

Ein hydraulischer Abgleich ist nicht durchgeführt worden.

## Warmwasserbereitung

### Anlagentechnik: Erzeugungseinheiten Trinkwarmwasser

Die Warmwasserbereitung der Sporthalle des Diesterweg-Gymnasiums - Sporthalle-028-02 erfolgt über Gasdurchlauferhitzer aus dem Jahr 1992 (5 Geräte insgesamt, 1 davon defekt).

## Lüftung

Eine Lüftung findet in jedem Gebäude zum einen kontrolliert, zum anderen auch unkontrolliert statt. Unkontrollierte Lüftungswärmeverluste erfolgen im Wesentlichen über Fenster- und Türfugen. Aber auch Mauerwerksfugen, Maueranschlüsse, Trockenbaufugen etc. können zu hohen Lüftungswärmeverlusten führen.

In dem untersuchten Gebäude erfolgt die Be- und Entlüftung über die vorhandenen Fenster und Türen. In den Duschräumen und in der Sporthalle wird die Lüftung mit einer Abluftanlage unterstützt.

### Anlagentechnik: Lüftung

#### Abluft

Betriebsweise	Einfaches Lüftungssystem
---------------	--------------------------

## Beleuchtung

In den betrachteten Gebäuden befinden sich ein- bzw. mehrflämmige Leuchtentypen als Ein- und Anbauleuchte mit einer Leistung  $P_{Lampe}$  bis zu 58W sowie mit konventionellen Vorschaltgeräten [KVG].

**Mit Ermittlung der elektr. Leistung und der jährlichen Nutzungsdauer der bestehenden Beleuchtungsanlage wird der jährliche Energieeinsatz pro Gebäude bzw. Beleuchtungszone bestimmt.**

**Die Ermittlung der elektr. Leistung wurde über das Tabellenverfahren nach DIN V 18599-Teil 4 bestimmt.**

### Beleuchtungsbereich 1: Sporthalle

Fläche [m <sup>2</sup> ]	341,70 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	265,1
Fläche ohne Tageslicht $A_{kTL}$ [m <sup>2</sup> ]	76,6
lichte Raumhöhe [m]	5,50 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,831
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	1,00 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2509,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	1241,0 (Standardwert)

Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	300,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,3 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	2,0 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Halogenleuchte

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster 1 – AW SW (2mal)
Fenster 2 – AW SW (4mal)

### Beleuchtungsbereich 2: Sanitärräume

Fläche [m <sup>2</sup> ]	38,17 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht $A_{TL}$ [m <sup>2</sup> ]	38,17
Fläche ohne Tageslicht $A_{kTL}$ [m <sup>2</sup> ]	0,00
lichte Raumhöhe [m]	2,80 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor $C_{TL,Vers}$ [-]	0,639
Höhe der Nutzebene $h_{Ne}$ [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden $t_{Tag}$ [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden $t_{Nacht}$ [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke $E_m$ [lx]	200,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe $k_A$ [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit $C_A$ [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht $k_{AL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter $k_{RL}$ [-]	0,8 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung $F_t$ [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Fenster – AW NO
Fenster – AW NW

### Beleuchtungsbereich 3: Nebenflächen

Fläche [m <sup>2</sup> ]	190,82 (100,0 % der Zonenfläche)
Tageslichtversorgung: Berechnungsverfahren	vereinfachtes Verfahren nach DIN V 18599-1:2018-09, Anhang D
Fläche mit Tageslicht A <sub>TL</sub> [m <sup>2</sup> ]	160,41
Fläche ohne Tageslicht A <sub>kTL</sub> [m <sup>2</sup> ]	30,41
lichte Raumhöhe [m]	2,80 (Standardwert)
Deckenhöhe [m]	0,20
vollständige Tageslichtversorgung durch gleichmäßig verteilte Dachoberlichter	nein
Tageslichtversorgungsfaktor C <sub>TL,Vers</sub> [-]	0,560
Höhe der Nutzebene h <sub>Ne</sub> [m]	0,80 (Standardwert)
jährliche Tagesbetriebsstunden t <sub>Tag</sub> [h]	2543,0 (Standardwert)
jährliche Nachtbetriebsstunden t <sub>Nacht</sub> [h]	207,0 (Standardwert)
Wartungswert der Beleuchtungsstärke E <sub>m</sub> [lx]	100,0 (Standardwert)
Minderungsfaktor Bereich Sehaufgabe k <sub>A</sub> [-]	1,00 (Standardwert)
relative Abwesenheit C <sub>A</sub> [-]	0,9 (Standardwert)
Raumindex für Kunstlicht k <sub>AL</sub> [-]	1,5 (Standardwert)
Raumindex für Dachoberlichter k <sub>RL</sub> [-]	1,5 (Standardwert)
Teilbetriebsfaktor der Gebäudebetriebszeit für Beleuchtung F <sub>t</sub> [-]	1,0 (Standardwert)

### Kunstlicht

Berechnungsart	Tabellenverfahren nach DIN V 18599-4
Beleuchtungsart	Direkt
Lampenart	Leuchtstofflampe stabförmig mit KVG

### Beleuchtungskontrolle

Präsenzerfassung	Manuell
Art des tageslichtabhängigen Kontrollsystems	Manuell
Konstantlichtregelung vorhanden	nein

### Fenster

Dachfenster – Flachdach
Fenster 1 – AW NO
Fenster 2 – AW NO
Fenster 1 – AW NW
Fenster 2 – AW NW
Eingang – AW NW
Fenster 3 – AW NO

Fenster 4 – AW NO
Fenster 5 – AW NO
Fenster 3 – AW NW
Fenster 4 – AW NW

## Einstufung von Solar und Photovoltaik

### Nutzung einer Solaranlage für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung

Eine Nutzung von Solarenergie für die Heizungs- und Warmwasserunterstützung ist möglich. Eine Solarthermie-Anlage für Warmwasserbereitung wird in den Varianten genauer untersucht.

### Nutzung von Solarstrom zur Eigenstromversorgung

Eine Nutzung von Solarenergie durch eine Photovoltaikanlage ist möglich. In der energetischen Gebäudesimulation des Gebäudes (Einzelbetrachtung jedes Gebäudes) werden zwei Anlagen nach GEG genauer untersucht. Eine Anlage mit einer Leistung von 9,8 kW<sub>Peak</sub> (bei den Varianten V2, V3 und V4) und eine Anlage mit einer 23 kW<sub>Peak</sub> bei der Passivhausvariante V5.

## 14.2 Gebäudebetrachtung

### 14.2.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes

Energiebedarfskennwerte <sup>29</sup> der bewerteten Gebäude	
in [kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)]	
spez. Endenergiebedarf Heizung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>329,10</b>
spez. Endenergiebedarf Trinkwarmwasser [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>45,97</b>
spez. Endenergiebedarf Lüftung [kWh/m <sup>2</sup> a]	<b>0,00</b>
<b>Beleuchtungsstrom</b>	<b>55,96</b>
<b>Wärmeenergie (Heizung + Warmwasser)</b>	<b>375</b>

*Kennwerte auf Basis der durchgeführten Berechnung des Gebäudes*

Wo die ermittelten Energieverbrauchskennzahlen den tatsächlichen Verbrauch an Strom und Wärme der Liegenschaft, auf der sich das untersuchte Gebäude befindet, abbilden und bewertbar machen, erfolgt die ingenieurtechnische Berechnung und Analyse des Gebäudes und die Erarbeitung von Sanierungsmaßnahmen und deren Effekte auf Basis einer theoretischen Berechnung auf Grundlage der DIN 18599.

Da diese sich jedoch u. a. auf eine genormte Nutzung des Gebäudes stützt, sind die errechneten Werte mit den Energieverbräuchen nicht identisch. Aufgrund der Rechenmethodik sind Abweichungen von bis zu 20 % durchaus möglich und sind bei der Bewertung der Sanierungsmaßnahmen, unbedingt zu berücksichtigen.

→ **Alle nachfolgenden Berechnungen und Aussagen basieren auf der Bedarfsberechnung des untersuchten Gebäudes**

<sup>29</sup> Vom Berechnungsprogramm rechnerisch ermittelter Verbrauchswert mit der Einheit [kWh/m<sup>2</sup>a]

## 14.3 Tabellarische Gesamtübersicht

Parameter	Ausgangsfall	V1- GEG	V2- KfW 55	V3- Öko	V4- Reg. Vers.	V5- Passivhaus
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	207.503	409.601	494.096	444.676	962.005
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	180.437	356.175	429.649	386.675	836.526
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>30)</sup>	--	9	12	14	10	17
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,04	0,05	0,07	0,07	0,07
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>31)</sup>	21.819	11.794	8.559	9.331	6.215	4.173
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	10.025	13.260	12.489	15.605	17.646
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	45,9	60,8	57,2	71,5	80,9
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	245.986	155.608	115.100	125.644	133.057	16.889
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	90.378	130.885	120.342	112.929	229.096
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	36,7	53,2	48,9	45,9	93,1
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	169.712	74.645	53.834	58.588	27.542	30.401
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	95.066	115.877	111.124	142.170	139.311
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	56,0	68,3	65,5	83,8	82,1
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	80.338	47.573	34.851	38.018	3.450	9.458
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	32.765	45.487	42.320	76.888	70.880
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	40,8	56,6	52,7	95,7	88,2

\* siehe Definition von energetisch bedingten Investitionskosten (energiebedingte Mehrkosten) unter 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>30)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

<sup>31)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

Parameter	Ausgangsfall	V6- DK-GEG	V7- DK- Öko	V8- DK- Reg. Vers.	V9- DK- KfW 55
Investition inkl. 15 % NK [€]	--	141.905	410.560	464.499	437.215
Energetisch bedingte Mehrkosten * [€]	--	123.396	357.008	403.913	380.187
Nutzungsdauer [a]	--	50	50	50	50
dynamische Amortisation [a] <sup>32)</sup>	--	8	14	11	14
Kosten/Nutzen-Faktor [€/kWh]	--	0,04	0,07	0,08	0,06
Energiekosten im ersten Jahr [€/a] <sup>33)</sup>	21.819	13.627	10.789	7.334	9.789
Energiekostensparnis im ersten Jahr [€/a]	--	8.193	11.031	14.485	12.030
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr [%]	--	37,5	50,6	66,4	55,1
jährlicher Endenergiebedarf [kWh/a]	245.986	180.669	141.868	150.337	128.154
jährliche Endenergieeinsparung [kWh/a]	--	65.316	104.117	95.648	117.831
prozentuale Endenergieeinsparung [%]	--	26,6	42,3	38,9	47,9
jährlicher Primärenergiebedarf [kWh/a]	169.712	85.956	68.435	34.407	62.283
jährliche Primärenergieeinsparung [kWh/a]	--	83.755	101.276	135.305	107.428
prozentuale Primärenergieeinsparung [%]	--	49,4	59,7	79,7	63,3
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen [kg/a]	80.338	55.097	43.445	4.986	39.335
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [kg/a]	--	25.240	36.892	75.352	41.003
prozentuale CO <sub>2e</sub> -Vermeidung [%]	--	31,4	45,9	93,8	51,0

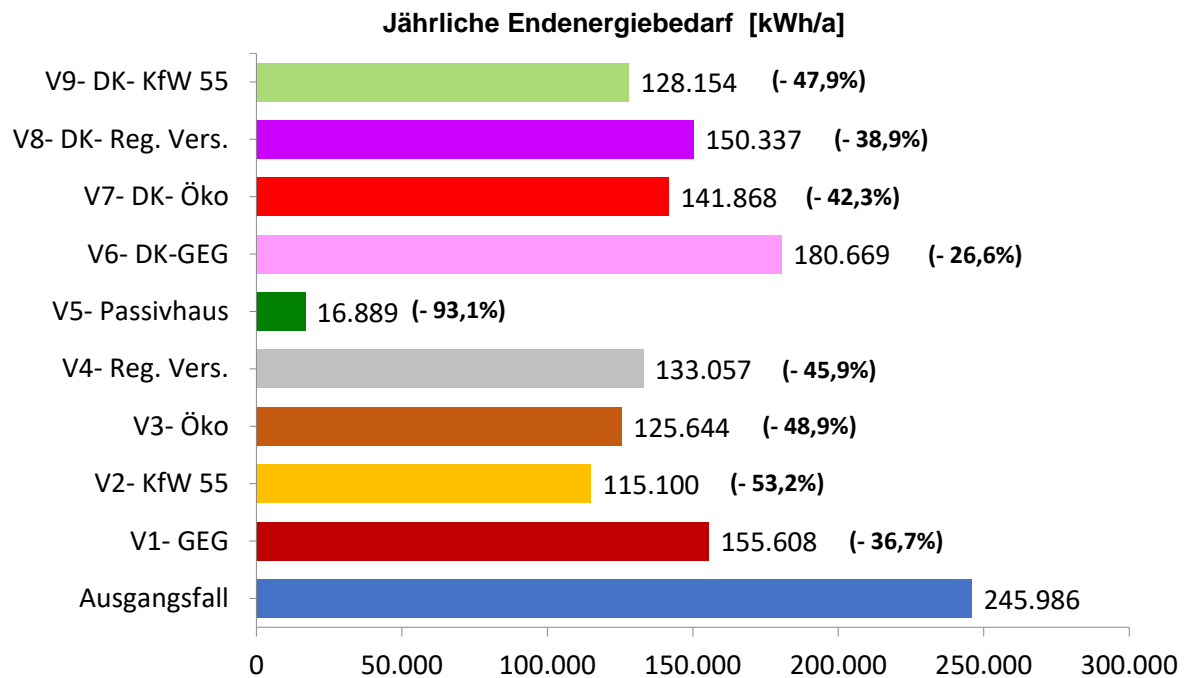
\* siehe 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

<sup>32)</sup> Bezogen auf die energetisch bedingten Mehrkosten

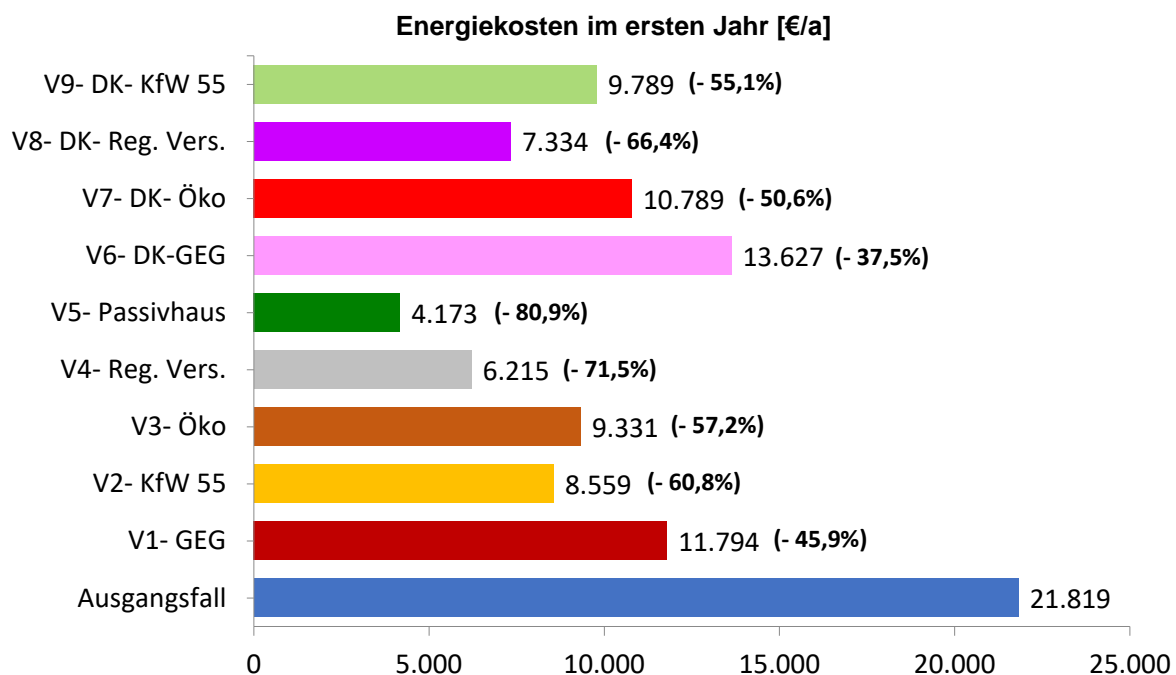
<sup>33)</sup> Bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile) der Liegenschaft

## 14.4 Endenergie- und Kosteneinsparung

Nachfolgend ist der Endenergiebedarf mit der prozentualen Einsparung pro Variante nach Maßnahmenumsetzung aufgeführt:

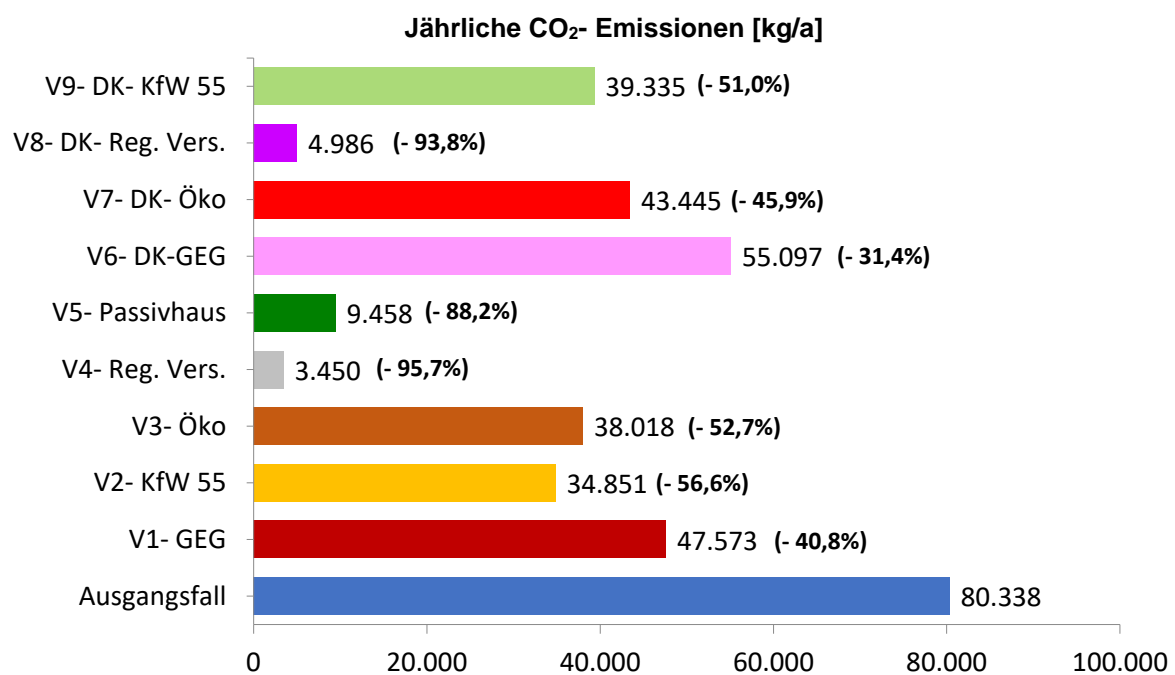
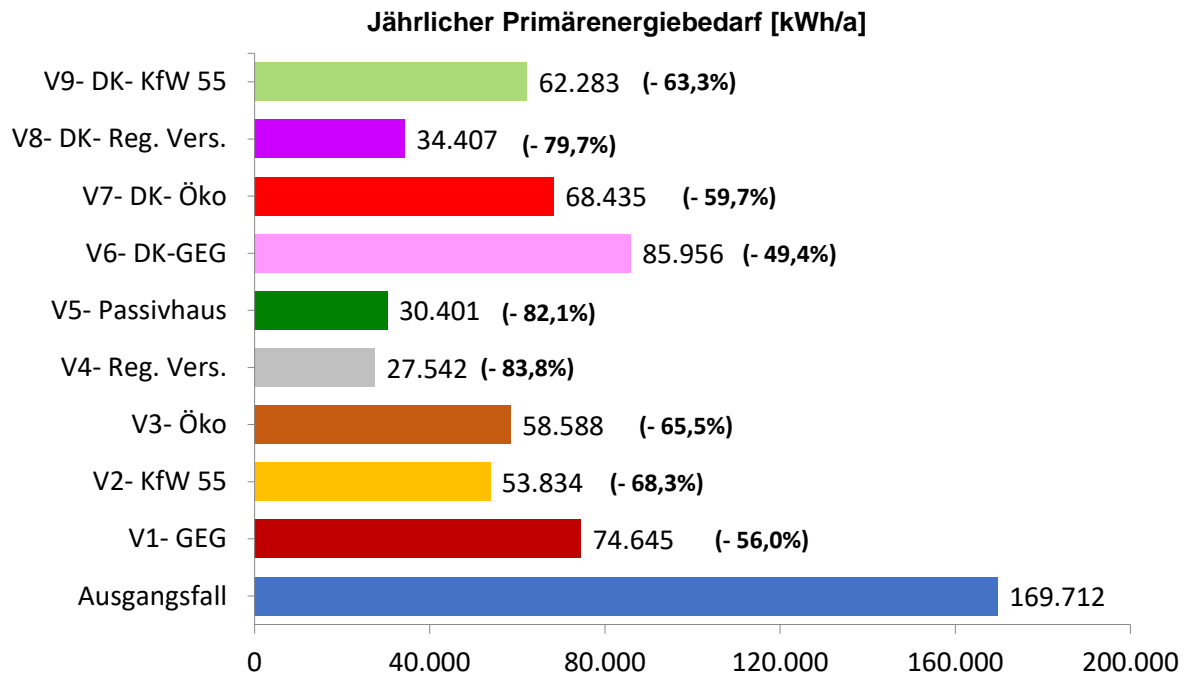


Hier wird die Auswirkung der energetischen Sanierung auf die Energiekosten pro Variante verdeutlicht:



## 14.5 Gesamteffizienz und Klimaschutz

In folgendem Diagramm werden die Klimaschutzaspekte der einzelnen Varianten anhand des Primärenergiebedarfes und der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmen dargestellt.





## 14.6 Sanierungsvarianten – Sporthalle 028-02

Nachfolgend erfolgt die Darstellung und Zusammenstellung der Sanierungsvarianten (SV):

### **Untersuchte Sanierungsvarianten:**

V1- GEG (worst case)

V2- KfW 55

V3- Ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V4- Regenerative Versorgung

V5- Passivhaus

V6- Denkmal – GEG (worst case)

V7- Denkmal - ökologische und nachhaltige Variante (best case)

V8- Denkmal – regenerative Versorgung

V9- Denkmal – KfW 55

## 14.6.1 V1- GEG

Ziel dieser Variante ist, die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu erfüllen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Außenwand (15 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung der Kellerdecke (14 cm Mineralwolle).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm Extrudierter Polystyrolschaum XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen alten Holzfenster werden durch Kunststofffenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt. Um Schimmelbildung im Bereich der Fensterlaibung zu vermeiden, ist darauf zu achten, dass der U-Wert der einzelnen Fenster nicht besser ist als das jeweilige Mauerwerk.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über die Fernwärme mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung, mit Berücksichtigung des Warmwasserbedarfs, durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt. Im Rahmen der Förderinitiative Projektträger Jülich (PtJ) kann hocheffiziente Innen- und Hallenbeleuchtung mit einem Zuschuss von 35% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden. Vorausgesetzt, dass eine  $\text{CO}_2$  -Reduzierung um 50 % erzielt wird und der Einbau hocheffizienter Beleuchtung (Leuchte, Leuchtmittel, Reflektor/Optik und Abdeckung) in Verbindung mit einer nutzungsgerechten Steuer- und Regelungstechnik bei der Sanierung von Innen- und Hallenbeleuchtungsanlagen erfolgt. Die Lichtplanung muss nach DIN EN 12464-1:2011-08 bzw. bei Sportstätten nach DIN EN 12193 durch einen qualifizierten Planer durchgeführt werden.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 7 Jahren.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V1- GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	207.503	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	180.437	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	11.794	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	10.025	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	45,9	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	155.608	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	272,6	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	90.378	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	36,7	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	47.573	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	32.765	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	40,8	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	9	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,04	€/kWh

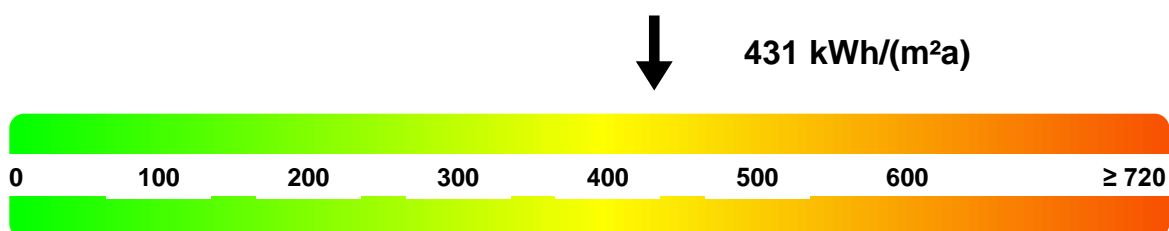
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

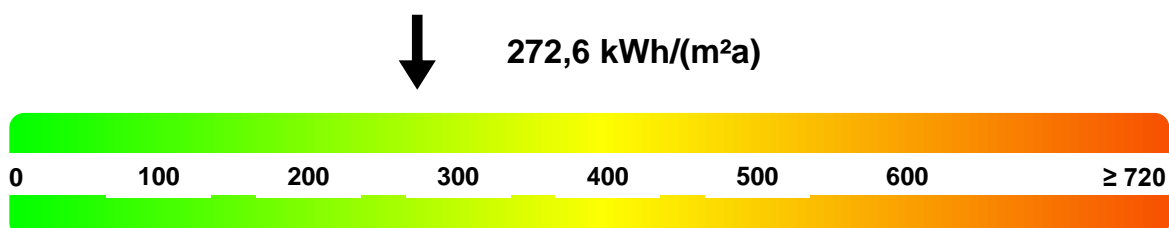
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**GEG-Ergebnisse der Variante (V1-GEG) nach § 50 GEG**

GEG-Werte	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
spez. Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	130,80	280,06	46,7 % (zulässig)

Mittlere U-Werte [W/(m <sup>2</sup> K)]	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert
Opake Außenbauteile (>= 19 °C)	0,320	0,5	57,1 %
Transparente Außenbauteile (>= 19 °C)	1,200	2,6	45,1 %
Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln (>= 19 °C)	3,500	4,3	80,6 %

**KfW-Ergebnisse der Variante (V1-GEG)**

Bei der Berechnung des erreichten KfW-Effizienzhaus-Standards wird das Berechnungsverfahren automatisch auf EnEV 2014 (mit Anforderungsniveau 2016) umgestellt. Bis zur Umstellung der Förderungen durch die KfW auf das neue GEG gilt weiterhin die EnEV als Anforderungsgrundlage der technischen Mindestanforderungen für die Produkte „Energieeffizient Bauen und Sanieren“. Die Anforderungen der verschiedenen KfW-Effizienzhaus-Standards wurden unter 3.2 KfW-Anforderungen erläutert.

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 100
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	130,8	199,9	65%	100 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	74.645,3	114.086,6	65%	100 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,318	0,34	94%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,194	1,80	66%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	3,500	3,00	117%	100 %

Der Effizienzhausstandard „KfW-Effizienzhaus 100 (EnEV 2014)“ (Sanierung Nichtwohngebäude) wurde **nicht** erreicht.

## 14.6.2 V2- KfW 55

Ziel dieser Variante ist, den KfW 55 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (14 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Außenwand (15 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung des Flachdaches (18 cm XPS).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Bodendämmung im Kellerbereich (Technikraum) mit 8 cm XPS.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kelleraußenwände (Technikraum) mit 15 cm XPS.
- Austausch der Fenster: die gesamten vorhandenen Fenster werden durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über die Fernwärme mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca.  $27 \text{ m}^2$  Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen. Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Solarthermieanlage mit einem Zuschuss von 30% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden. Vorausgesetzt, dass die Solarkollektoren der unabhängigen Prüfung / Zertifizierung nach Solar-Keymark eines nach ISO 17025 akkreditierten Prüfinstituts erfüllen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 10 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V2- KfW 55	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	409.601	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	356.175	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	8.559	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	13.260	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	60,8	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	115.100	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	201,6	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	130.885	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	53,2	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	34.851	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	45.487	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	56,6	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	12	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,05	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

↓ **431 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

↓ **201,6 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**KfW-Ergebnisse**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	94,3	199,9	47%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	53.834,2	114.086,6	47%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,171	0,22	77%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1.167	1,20	97%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,500	2,0	75%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten Variante betragen 31.806 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 117.565 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von -14.580 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -35.423 kWh/Jahr (+43 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub>-Einsparung von 41.348 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **128.421 kWh/Jahr (-52%)**

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

### 14.6.3 V3- Ökologische und nachhaltige Variante

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung der Außenwand (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung des Flachdaches (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm Zellulosedämmplatten Dämmschicht einschließlich Estrichbelag.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Austausch der Fenster: die alten vorhandenen Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über die Fernwärme mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca.  $27 \text{ m}^2$  Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen und Solarkollektoren.
- Fassadenbegrünung an der Südostseite mit einer gesamten Fläche von  $103 \text{ m}^2$ .
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 13 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden.



Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V3- Öko	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	494.096	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	429.649	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	9.331	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	12.489	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	57,2	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	125.644	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	220,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	120.342	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	48,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	38.018	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	42.320	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	52,7	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	14	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

↓ **431 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

↓ **220,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**KfW-Ergebnisse der Variante (V3-Öko)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	102,7	199,9	51%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	58.587,7	114.086,6	51%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,212	0,22	96%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1.167	1,20	97%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,500	2,0	75%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 34.552 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 128.108 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -17.354 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -46.196 kWh/Jahr (+56 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 38.602 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **117.878 kWh/Jahr (-48%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 14.6.4 V4- Regenerative Versorgung

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (14 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Außenwand (15 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung des Flachdaches (18 cm XPS).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Bodendämmung im Kellerbereich (Technikraum) mit 8 cm XPS.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kelleraußenwände (Technikraum) mit 15 cm XPS.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen alten Holzfenster werden durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von  $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  ersetzt.
- Heizungsanlage mit Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Biomassekessel (Pelletkessel) eingebaut. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden. Diese Heizungsanlage kann im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) als Einzelmaßnahme mit einem Zuschuss von 35% der förderfähigen Investitionskosten gefördert werden.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über den Pelletkessel mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung, mit Berücksichtigung des Warmwasserbedarfs, durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca.  $27 \text{ m}^2$  Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.
- PV-Anlage mit einer Leistung von  $9,8 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ .

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 9 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V4- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	444.676	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	386.675	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	6.215	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	15.605	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	71,5	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	133.057	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	233,1	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	112.929	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	45,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	3.450	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	76.888	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	95,7	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	10	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala

↓ **431 kWh/(m<sup>2</sup>a)**



Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala

↓ **233,1 kWh/(m<sup>2</sup>a)**



**KfW-Ergebnisse der Variante (V4-Reg. Vers.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	48,3	199,9	24%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	27.541,7	114.086,6	24%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,171	0,22	78%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1.167	1,2	97%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,500	2,0	75%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 2.549 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 135.521 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 14.677 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -53.380 kWh/Jahr (+65 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 70.605 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **110.464 kWh/Jahr (-45%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 14.6.5 V5- Passivhaus

Ziel dieser Variante ist, ein Passivhaus Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (20 cm Expandierter Polystyrolschaum EPS).
- Dämmung der Außenwand (25 cm Mineralwolle WDVS).
- Dämmung des Flachdaches (25 cm Mineralwolle).
- Betonsohle erneuern und dämmen: die alte Bodenplatte (incl. der Technikraum im Keller) wird entfernt und durch eine neue Betonsohle ersetzt. Hier kommen 20 cm XPS Perimeterdämmung und 8 cm XPS unter dem Estrich zum Einsatz.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (25 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kelleraußenwände (Technikraum) mit 25 cm XPS.
- Austausch der Fenster: die gesamten vorhandenen Fenster werden durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von 0,8 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Solarthermie-Anlage: in dieser Maßnahme wird eine Solaranlage (ca. 27 m<sup>2</sup> Kollektorfläche) für die Unterstützung der Warmwassererzeugung eingebaut. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Zur Warmwasserbereitung wird zusätzlich ein elektrisch beheizter Wärmeerzeuger installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- PV-Anlage mit einer Leistung von 23 kW<sub>Peak</sub>.
- Dachbegrünung - extensive (Retention) Dachbegrünung - als Systemlösung mit den PV-Modulen und Solarkollektoren.
- zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung: die RLT-Anlage soll mit Filtertechnik mit Virenschutzfunktion (HEPA) ausgestattet sein und die Steuerung soll über Gassensoren (z.B. CO<sub>2</sub>) erfolgen.
- zur Wärmeversorgung wird eine strombetriebene Luft-Wasser-Wärmepumpe (15 kW) mit integriertem Heizstab für die Beheizung der Sporthalle genutzt. Die Quelle bzw. Senke wird über die Außenluft realisiert. Die Wärmepumpe ist auf niedrige Systemtemperaturen ausgelegt. Je niedriger die Vorlauftemperatur ist, desto effizienter und sparsamer kann das Heizsystem arbeiten. Um das zu ermöglichen, wird Deckenheizung in allen beheizten Räumen verlegt.
- Gebäudeautomation – Heizungs- und Lüftungssystem.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker und Passivhaus-Planer geprüft und begleitet werden.

Die Tragfähigkeit des Daches muss vorher durch einen Sachverständigen geprüft werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 15 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 40 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 45 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V5- Passivhaus	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	962.005	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	836.526	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	4.173	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	17.646	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	80,9	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	16.889	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	29,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	229.096	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	93,1	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	9.458	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	70.880	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	88,2	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	17	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

↓ **431 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

↓ **29,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**KfW-Ergebnisse der Variante (V5-Passivhaus)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 40
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	53,3	199,9	27%	40 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	30.400,9	114.086,6	24%	40 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,094	0,18	52%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,800	1,0	80%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,900	1,6	56%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 40 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 17.309 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 16.889 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 1.496 kg/Jahr**. Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von 62.529kWh/Jahr** (-93 %).

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 55.845 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht. Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **229.096 kWh/Jahr** (-93%). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt „Technische Mindestanforderungen“ ermittelt.

**Regenerativ erzeugter Strom**

- Gesamter Strombedarf: 29.090 kWh/a
- Gesamte Eigennutzung regenerativ erzeugten Stromes: 12.201 kWh/a
- Deckungsanteil am Strombedarf: 41,9 %

Berechnung des PV-Ertrags nach DIN EN 15316-4-6: ja



## 14.6.6 V6- Denkmal – GEG

In dieser Variante wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu erfüllen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (14 cm Mineralwolle).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm Extrudierter Polystyrolschaum XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über die Fernwärme mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung, mit Berücksichtigung des Warmwasserbedarfs, durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 6 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude Denkmal erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 25 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK-GEG	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	141.905	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	123.396	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	13.627	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	8.193	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	37,5	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V6- DK-GEG	
	Wert	Einheit
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	180.669	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	316,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	65.316	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	26,6	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	55.097	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	25.240	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	31,4	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	8	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,04	€/kWh

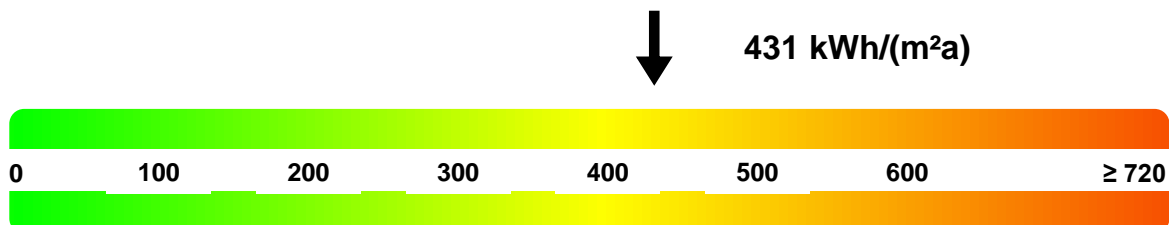
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

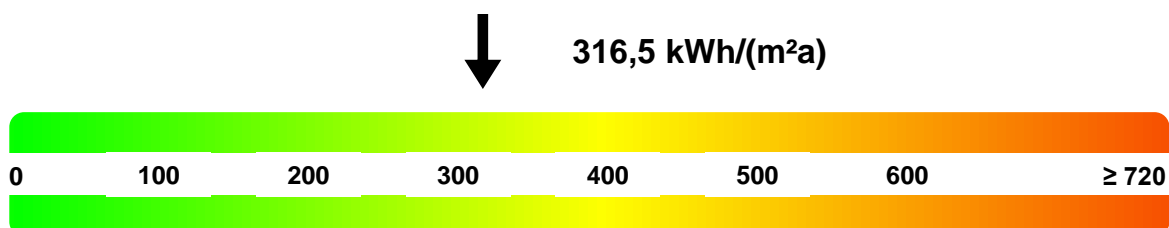
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V6-DK GEG)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus Denkmal
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	150,6	199,9	75%	160 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	85.956,3	114.086,6	75%	160 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,447	0,61	73%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus Denkmal (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 48.129 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 180.669 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -30.946 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -98.776 kWh/Jahr (+121 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 25.025 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **65.316 kWh/Jahr (-27%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 14.6.7 V7- Denkmal – ökologische und nachhaltige Variante

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

In dieser Variante werden Baumaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Auch der Rückbau und das Recycling am Ende der Nutzungsdauer wurde bei den baulichen Maßnahmen berücksichtigt.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung des Flachdaches (16 cm Zellulosedämmplatten).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm Zellulosedämmplatten Dämmschicht einschließlich Estrichbelag.
- Austausch der Fenster: die alten vorhandenen Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von 1,1 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von 1,5 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über die Fernwärme mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung, mit Berücksichtigung des Warmwasserbedarfs, durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 14 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 70 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 35 % finanziert werden.

Sanierungsvariante	V7- DK- Öko	
	Wert	Einheit
<b>Wirtschaftlichkeit</b>		
<b>Kenndaten</b>		
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	410.560	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	357.008	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V7- DK- Öko	
	Wert	Einheit
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	10.789	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	11.031	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	50,6	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	141.868	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	248,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	104.117	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	42,3	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	43.445	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	36.892	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	45,9	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	14	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,07	€/kWh

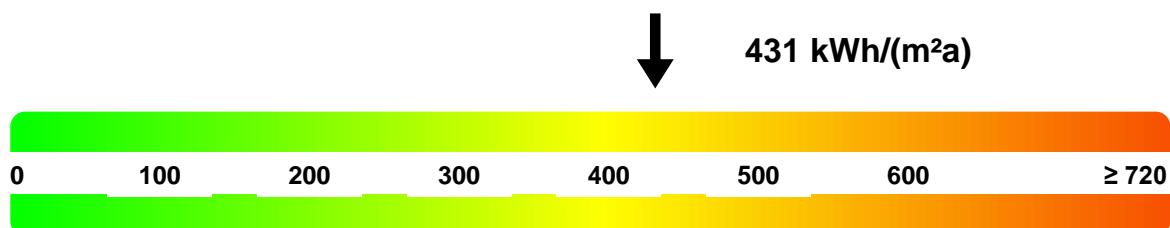
<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

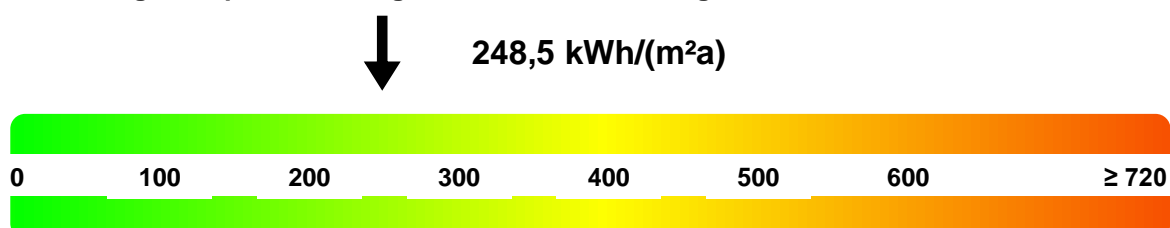
<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala



#### Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala



**KfW-Ergebnisse der Variante (V7-DK Öko)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzgebäude 70
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	119,9	199,9	60%	70 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	68.435,2	114.086,6	60%	70 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,238	0,26	92%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,247	1,40	89%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,500	2,4	63 %	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzgebäude 70 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude).

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 38.026 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 141.868 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -20.843 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -59.981 kWh/Jahr (+73 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 35.128 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **104.117 kWh/Jahr (-42%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 14.6.8 V8- Denkmal – regenerative Versorgung

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, die Energieversorgung des Gebäudes auch regenerativen Energieträger umzustellen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (14 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung des Flachdaches (18 cm XPS).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kelleraußenwände (Technikraum) mit 15 cm XPS.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen alten Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von 1,1 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Die Fenster der Halle werden auch durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von 0,8 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von 1,5 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Heizungsanlage mit Pelletkessel: anlagentechnisch wird für die Grundlast der Wärmeversorgung ein Biomassekessel (Pelletkessel) eingebaut. Für den Pelletkessel muss zusätzlich ein Pufferspeicher eingebaut werden. Für die Bevorratung des Brennmaterials (Pellets) muss ein geeigneter Lagerplatz/Bunker errichtet werden. Zusätzlich muss ein Schornstein gebaut werden.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über den Pelletkessel mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt. Des Weiteren wird für das Gebäude eine Heizlast- und Volumenstromberechnung, mit Berücksichtigung des Warmwasserbedarfs, durchgeführt und die Anlage hydraulisch abgeglichen.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 10 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden.

Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V8- DK- Reg. Vers.	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	464.499	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	403.913	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	7.334	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	14.485	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	66,4	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	150.337	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	263,4	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	95.648	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	38,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	4.986	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	75.352	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	93,8	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	11	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,08	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.



**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala**

↓ **431 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala**

↓ **263,4 kWh/(m<sup>2</sup>a)**


**KfW-Ergebnisse der Variante (V8-DK-Reg. Vers.)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	60,3	199,9	30%	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	34.406,5	114.086,6	30%	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,204	0,22	93%	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,880	1,2	73%	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,500	2,0	75%	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 2.419 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 150.337 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 14.802 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -68.235 kWh/Jahr (+83 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 70.734 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **95.648 kWh/Jahr (-39%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 14.6.9 V9- Denkmal – KfW 55

Hier wird das Gebäude als denkmalgeschütztes Gebäude betrachtet.

Ziel dieser Variante ist, den KfW 55 Standard zu erreichen.

In dieser Variante werden folgende Sanierungsmaßnahmen vorgeschlagen:

- Dämmung der Kellerdecke (14 cm Mineralwolle).
- Innendämmung der Außenwand (8 cm Zellulosedämmplatten).
- Dämmung des Flachdaches (18 cm XPS).
- Bodendämmung: die Bodenfläche erhält nachträglich eine Dämmschicht. Hierfür wird der vorhandene Verbundestrich entfernt und die Betonfläche gesäubert. Die Fläche erhält eine 10 cm XPS Dämmschicht einschließlich Estrichbelag. Alternativ könnte ein sogenannter Trockenestrich einschl. Dämmung eingebaut werden. Die vorhandenen Innentüren müssen entsprechend angepasst werden.
- Bodendämmung im Kellerbereich (Technikraum) mit 8 cm XPS.
- Dämmung der Innenwände zum unbeheizten Keller (15 cm Mineralwolle).
- Dämmung der Kelleraußenwände (Technikraum) mit 15 cm XPS.
- Austausch der Fenster: die vorhandenen alten Holzfenster werden durch Holzfenster mit einem  $U_w$ -Wert von 1,1 W/m<sup>2</sup>K ersetzt. Die Fenster der Halle werden auch durch Alufenster mit einem  $U_w$ -Wert von 0,8 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Die Lichtkuppel im Regieraum wird durch eine 4-schalige Lichtkuppel mit einem U-Wert von 1,5 W/m<sup>2</sup>K ersetzt.
- Zur Warmwasserbereitung wird eine Warmwasserstation über die Fernwärme mit einem Warmwasserspeicher in dem Technikraum im Keller installiert. Die alten Gasdurchlauferhitzer werden entsorgt.
- Heizungsoptimierung inkl. hydraulischer Abgleich.
- Gebäudeautomation – Heizungssystem.
- LED Beleuchtung: hier wird die alte Beleuchtung komplett durch eine LED- Beleuchtung mit Präsenzmeldung ersetzt.

Die Umsetzbarkeit der Maßnahmen sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Unter Berücksichtigung der Förderung und den vermiedenen Klimaschadenskosten amortisiert sich die Variante in 13 Jahren.

Durch die Umsetzung der Maßnahmen wird der KfW-Standard Effizienzgebäude 55 erreicht werden. Alternativ zur Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) kann die Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude mit einem KfW-Kredit in der Höhe von 2.000 € pro m<sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€) und einem Tilgungszuschuss von 40 % finanziert werden.

Sanierungsvariante Wirtschaftlichkeit Kenndaten	V9- DK- KfW 55	
	Wert	Einheit
Investitionskosten inkl. 15 % NK [€]	437.215	€
Energetisch bedingte Mehrkosten [€]	380.187	€
Energiekosten in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	21.819	€/a
Energiekosten im ersten Jahr nach Umsetzung der Sanierungsvariante	9.789	€/a
Energiekostensparnis im ersten Jahr	12.030	€/a
prozentuale Energiekostensparnis im ersten Jahr	55,1	%
Endenergiebedarf in der Ausgangssituation <sup>1)</sup>	245.986	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf in der Ausgangssituation	431,0	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	128.154	kWh/a
spezifischer Endenergiebedarf nach Umsetzung der Sanierungsvariante	224,5	kWh/(m <sup>2</sup> <sub>NGF</sub> *a)
jährliche Endenergieeinsparung	117.831	kWh/a
prozentuale jährliche Endenergieeinsparung	47,9	%
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen in der Ausgangssituation <sup>1) 2)</sup>	80.338	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Emissionen nach Umsetzung der Sanierungsvariante <sup>2)</sup>	39.335	kg/a
jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	41.003	kg/a
prozentuale jährliche CO <sub>2e</sub> -Vermeidung <sup>2)</sup>	51,0	%
Nutzungsdauer	50	a
dynamische Amortisation	14	a
Kosten/Nutzen-Faktor <sup>3)</sup>	0,06	€/kWh

<sup>1)</sup> bezogen auf den errechneten Energiebedarf für alle betrachteten Gebäude(teile)

<sup>2)</sup> Emissionsfaktoren nach (GEG)

<sup>3)</sup> (energetisch bedingte Kosten / Nutzungsdauer) / Endenergieeinsparung

Alle Kostenangaben sind brutto. Die dynamische Amortisation bezieht sich auf die energetisch bedingten Mehrkosten und mit Berücksichtigung der vermiedenen Klimaschadenskosten.

Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Ist-Variante auf der Farbskala

↓ **431 kWh/(m<sup>2</sup>a)**



Einstufung des spez. Endenergiebedarfs der Sanierungsvariante auf der Farbskala

↓ **224,5 kWh/(m<sup>2</sup>a)**



**KfW-Ergebnisse der Variante (V9-DK-KfW 55)**

Ergebnisse	Ist-Wert	Soll-Wert	% vom Soll-Wert	Soll-Wert für KfW-Effizienzhaus 55
spezifischer Primärenergiebedarf [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	109,1	199,9	<b>54%</b>	55 %
Primärenergiebedarf [kWh/a]	62.283,2	114.086,6	<b>54%</b>	55 %
mittl. U-Wert Opake Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,195	0,22	<b>89%</b>	100 %
mittl. U-Wert Transparente Außenbauteile (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	0,880	1,2	<b>73%</b>	100 %
mittl. U-Wert Oberlichter (>= 19 °C) [W/(m <sup>2</sup> K)]	1,500	2,0	<b>75%</b>	100 %

Erreichter Effizienzhausstandard: **KfW-Effizienzhaus 55 (EnEV 2014)** (Sanierung Nichtwohngebäude). Die CO<sub>2</sub> -Emissionen der betrachteten Variante betragen 34.465 kg/Jahr, der Endenergiebedarf ist 128.154 kWh/a.

**Energie- und CO<sub>2</sub> -Einsparung (gemäß Technische FAQ der KfW, Nr. 7.06)**

Bezüglich des gesetzlichen Anforderungsniveaus (Referenzgebäude x 0,75) ergibt sich eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von -17.253 kg/Jahr**.

Des Weiteren ergibt sich eine **Endenergieeinsparung von -46.037 kWh/Jahr (+56 %)**.

Mit den durchgeführten Maßnahmen wird eine **CO<sub>2</sub> -Einsparung von 38.689 kg/Jahr** gegenüber der Bezugsvariante erreicht.

Die **Endenergieeinsparung** gegenüber dem Ausgangsfall ist **117.831 kWh/Jahr (-48%)**

Die CO<sub>2</sub> -Emissionen wurden mit Hilfe der brennstoffbezogenen Emissionsfaktoren gemäß der Anlage zum Merkblatt "Technische Mindestanforderungen" ermittelt.

## 15 Fördermittel

### 15.1 Kommunalrichtlinie 2020 (01.08.2020-31.12.2022)

#### 15.1.1 Energiemanagementsysteme (2.2)

Energiemanagementsysteme (2.2)	
<b>Info</b>	Gefördert werden innerhalb der Kommunalrichtlinie im strategischen Förderschwerpunkt 2.2 "Energiemanagementsysteme" die Beratung bei der Einführung eines Energiemanagementsystems (EMS) durch fachkundige, externe Dienstleister.
<b>Förderanteil</b>	Gefördert wird durch einen Zuschuss in Höhe von 50 % der zuwendungsfähigen Ausgaben. Finanzschwache Kommunen können vorbehaltlich der beihilferechtlichen Zulässigkeit eine erhöhte Förderquote von 75 % erhalten.
<b>Fördersumme</b>	Die Mindestzuwendung beträgt 5.000 €.
<b>Antragsberechtigt</b>	Kommunen und deren Zusammenschlüsse Betriebe, Unternehmen u. sonst. Organisationen mit mind. 25 % kommunaler Beteiligung öffentl., gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen Religionsgemeinschaften mit Körperschaftsstatus sowie deren Stiftungen Jugendwerkstätten und Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe (nach SGB VIII anerkannt) kulturelle Einrichtungen in gemeinnütziger Trägerschaft Sportvereine mit Gemeinnützigkeitsstatus, die im Vereinsregister eingetragen sind Werkstätten für behinderte Menschen und deren Träger
<b>Fristen</b>	01.01.2019 bis zum 31.12.2022

#### 15.1.2 Beleuchtungssanierungen (2.9)

Beleuchtungssanierung (2.9)	
<b>Info</b>	Gefördert wird innerhalb der Kommunalrichtlinie in den investiven Förderschwerpunkten 2.9 "Hocheffiziente Innen- und Hallenbeleuchtung" der Einbau hocheffizienter Beleuchtungstechnik einschließlich der Steuer- und Regelungstechnik bei der Sanierung bei Innen- und Hallenbeleuchtungsanlagen.
<b>Förderanteil</b>	35 % bei Innen- und Hallenbeleuchtungen Mindestzuwendung i.H.v. 5000 €
<b>Fördersumme</b>	Finanzschwache Kommunen können vorbehaltlich der beihilferechtlichen Zulässigkeit eine um 5 % erhöhte Förderquote erhalten. Bei Maßnahmen in Kindertagesstätten, Schulen, Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe, Jugendwerkstätten und Sportstätten (inkl. Freibäder und Schwimmhallen) ist eine um 5 % erhöhte Förderquote möglich.
<b>Antragsberechtigt</b>	Kommunen und deren Zusammenschlüsse Betriebe, Unternehmen u. sonst. Organisationen mit mind. 25 % kommunaler Beteiligung öffentl., gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen Religionsgemeinschaften mit Körperschaftsstatus sowie deren Stiftungen Jugendwerkstätten und Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe (nach SGB VIII anerkannt) kulturelle Einrichtungen in gemeinnütziger Trägerschaft

	Sportvereine mit Gemeinnützigkeitsstatus, die im Vereinsregister eingetragen sind Werkstätten für behinderte Menschen und deren Träger
<b>Fristen</b>	Kommunalrichtlinie gilt von 01.01.2019 bis zum 31.12.2022

### 15.1.3 Raumluftechnische Anlagen (2.10)

<b>Raumluftechnische Anlagen (2.10)</b>	
<b>Info</b>	Gefördert werden innerhalb der Kommunalrichtlinie im investiven Förderschwerpunkt 2.10 "Raumluftechnische Anlagen" die Sanierung von raumluftechnischen Anlagen und deren Komponenten in Nichtwohngebäuden sowie die Nachrüstung von raumluftechnischen Anlagen in Schulen und Kindertagesstätten im Rahmen einer Grundsanierung.
<b>Förderanteil</b>	Gefördert wird durch einen Zuschuss in Höhe von 35 % Mindestzuwendung i.H.v. 5000 €
<b>Fördersumme</b>	Finanzschwache Kommunen können vorbehaltlich der beihilferechtlichen Zulässigkeit eine um 5 % erhöhte Förderquote erhalten. Bei Maßnahmen in Kindertagesstätten, Schulen, Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe, Jugendwerkstätten und Sportstätten (incl. Freibäder und Schwimmhallen) ist eine um 5 % erhöhte Förderquote möglich.
<b>Antragsberechtigt</b>	Kommunen und deren Zusammenschlüsse Betriebe, Unternehmen u. sonst. Organisationen mit mind. 25 % kommunaler Beteiligung öffentl., gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen Religionsgemeinschaften mit Körperschaftsstatus sowie deren Stiftungen Jugendwerkstätten und Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe (nach SGB VIII anerkannt) kulturelle Einrichtungen in gemeinnütziger Trägerschaft Sportvereine mit Gemeinnützigkeitsstatus, die im Vereinsregister eingetragen sind Werkstätten für behinderte Menschen und deren Träger
<b>Fristen</b>	Kommunalrichtlinie gilt vom 01.01.2019 bis zum 31.12.2022

## 15.1.4 Förderrichtlinie „Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen“

Z.U.G - Klimaanpassung in sozialen Einrichtungen	
<b>Info</b>	<p>Gefördert werden von Fachleuten zu erbringende Beratungsleistungen zur Identifikation und Planung geeigneter Anpassungsmaßnahmen sowie deren investive Umsetzung.</p> <p>Ebenso können Bildungsangebote und Informationskampagnen zur Anpassung an den Klimawandel in sozialen Einrichtungen gefördert werden. Für die Einstiegs- und Orientierungsberatung ist ein Zeitrahmen von in der Regel 3, maximal jedoch 6 Monaten vorgesehen.</p>
<p><b>Förderschwerpunkte</b></p> <p>Beratung und Erstellung von Konzepten zur Anpassung an den Klimawandel in sozialen Einrichtungen (Anpassungskonzepte)</p> <p>Investive Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel in sozialen Einrichtungen (energetische, nachhaltige Maßnahmen, die keine öffentlich-rechtliche Genehmigung erfordern und eine Laufzeit von voraussichtlich maximal sechs Monaten haben)</p> <p>Kommunale Leuchtturmvorhaben sowie Aufbau von lokalen und regionalen Kooperationen</p>	<p><u>Maßnahmen am Gebäude:</u></p> <p>Maßnahmen zur Verschattung am Gebäude, beispielsweise durch Installation von Jalousien, Markisen, Roll- und Fensterläden sowie statischem Sonnenschutz (Gebäude muss vor 2007 errichtet worden sein).</p> <p>Einbau von Fenstern mit Sonnen- und Wärmeschutzverglasung sowie isolierender Mehrfachverglasung.</p> <p>Hitzereduzierung durch bauliche Veränderungen unter besonderer Berücksichtigung innovativer Baumaterialien (z. B. Schaffung heller Oberflächen zur Reflexion kurzwelliger Einstrahlung, Nutzung des Albedo-Effekts), Erhöhen der Bauteilmasse (z. B. Leichtbauwände mit Phasenwechsellmaterialien), Wärmedämmung und /oder Freilegen von massiven Bauteilen (etwa Entfernen abgehängter Decken oder aufgeständerter Böden),</p> <p>Beschaffung und Installation von Befeuchtungsanlagen zur adiabatischen Kühlung von Außenanlagen,</p> <p>Maßnahmen zur Dach- und Fassadenbegrünung am Gebäude.</p> <p><u>Maßnahmen im Gebäude:</u></p> <p>Anlagen zur passiven Raumkühlung,</p> <p>Anlagen zur Belüftung oder Raumlufthereinigung in medizinischen Einrichtungen, insbesondere, wenn sie durch eine Filterfunktion zur Steigerung der Raumlufqualität beitragen,</p> <p>Errichtung von Cooling Centres für vulnerable Personengruppen, sofern möglich in Kellerräumen beziehungsweise auf Basis klimaschonender passiver Kühlung,</p> <p>Nachrüstung einer Wärmerückgewinnung in bestehende raumluftechnische Anlagen,</p> <p>Beschaffung von Kühlwesten und energieeffizienten Ventilatoren,</p> <p>Installation von leitungsgebundenen Trinkwasserspendern.</p> <p><u>Maßnahmen im Umfeld des Gebäudes</u></p> <p>Maßnahmen zur Verschattung von Aufenthaltsbereichen, beispielsweise durch Pavillons, Sonnensegel, Pergolen,</p> <p>Maßnahmen zur Straßen- und Hofbegrünung, beispielsweise durch Neupflanzung klimaangepasster, trockenresistenter, einheimischer Laubbaum- und Pflanzenarten, die besonders zur Kühlung und Verschattung geeignet sind,</p> <p>Umsetzung landschaftsarchitektonischer Maßnahmen zur Klimawandelanpassung,</p> <p>(Teil-)Entsiegelung von Flächen, um die natürliche Kühlfunktion und Wasseraufnahme- und -speicherkapazität des Bodens zu nutzen,</p> <p>Schaffung von Verdunstungsflächen, beispielsweise durch Anlage von Wasserflächen,</p> <p>Schaffung klimaangepasster Multifunktionsflächen, beispielsweise durch Anlage von Wasserspielplätzen,</p>

	Schaffung von Schutzbarrieren, beispielsweise durch Aufkantungungen, Schwellen, Dammbalkensysteme oder Rinnen/Gräben zum Schutz vor eindringendem Wasser bei Starkregen, Maßnahmen zur Verhinderung von Rückstau aus dem Kanalnetz, beispielsweise Abwasserhebeanlagen, Rückstauverschlüsse, Schaffung dezentraler Auffangmöglichkeiten zur Zwischenspeicherung von Regenwasser, beispielsweise durch unterirdische Speicherbecken, Regenwasserzisternen, sowie von Versickerungsgruben und Rigolen unter Berücksichtigung der Vermeidung von Brutstätten von Stechmücken.
<b>Förderanteil</b>	bis zu 80 Prozent; bis zu 90 Prozent für Förderschwerpunkt 1 (Anpassungskonzept)
<b>Antragssteller</b>	Unternehmen Kommune Gemeinnützige Organisation
<b>Fristen</b>	Geförderte Vorhaben müssen bis 01.07.2023 abgeschlossen sein

Einen Antrag auf Förderung können Bildungsträger wie zum Beispiel Hochschulen, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen, Kommunen, Unternehmen, Verbände, Vereine, Stiftungen und vergleichbare Einrichtungen mit Sitz oder Niederlassung und Schwerpunktaktivitäten in Deutschland stellen

### 15.1.5 BMU – Energiesparmodelle (2.4)

<b>Energiesparmodelle (2.4)</b>	
<b>Info</b>	<p>Einführung von Energiesparmaßnahmen in Schulen und KiTas, die zur aktiven Mitarbeit im Klimaschutz motiviert. Gefördert werden innerhalb der Kommunalrichtlinie im strategischen Förderschwerpunkt 2.4 „Energiesparmodelle“ sowohl die Einführung der Energiesparmodelle als auch das zugehörige Starterpaket für Sachausgaben und geringinvestive Maßnahmen.</p> <p>2.4.1 Einführung von Energiesparmodellen Im Rahmen eines Energiesparmodells werden Maßnahmen zur Einsparung von Energie, Wasser und Abfall gemeinsam mit den Kindern und Jugendlichen sowie den Trägern der Einrichtungen umgesetzt.</p> <p>2.4.2 Starterpaket für Energiesparmodelle Im Rahmen der Umsetzung von Energiesparmodellen kann innerhalb der ersten 18 Monate nach Beginn des Bewilligungszeitraums einmalig die Förderung für ein Starterpaket beantragt werden.</p> <p>Umsetzung des Starterpakets muss innerhalb des Bewilligungszeitraums des Energiesparmodells erfolgen.</p>
<b>Förderhöhe</b>	<p>Für 2.4.1: Zuschuss in Höhe von 65% der zuwendungsfähigen Ausgaben Mindestzuwendung 10.000€ Finanzschwache Kommunen können eine erhöhte Förderquote von 90% erhalten</p> <p>Für 2.4.2: Zuschuss in Höhe von 50% der zuwendungsfähigen Ausgaben Mindestzuwendung 5.000€ Finanzschwache Kommunen können eine erhöhte Förderquote von 65% erhalten Ab 1.8.2020 bis 31.12.2021 um 10% höhere Fördersätze</p>
<b>Antragsberechtigt</b>	Kommunen und deren Zusammenschlüsse



	<p>Betriebe, Unternehmen u. sonst. Organisationen mit mind. 25 % kommunaler Beteiligung          öffentl., gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen          Religionsgemeinschaften mit Körperschaftsstatus sowie deren Stiftungen          Jugendwerkstätten und Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe (nach SGB VIII anerkannt)</p>
<b>Fristen</b>	01.01.2019 bis zum 31.12.2022

## 15.1.6 BMU – weitere investive Maßnahmen

<b>Investive Maßnahmen (2.16)</b>	
<b>Info</b>	<p>Gefördert werden innerhalb der Kommunalrichtlinie im investiven Förderschwerpunkt 2.16 "Weitere Investive Maßnahmen für den Klimaschutz" Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in Gebäuden.</p> <p>Gefördert werden:          Rückbau ineffizienter zentraler Warmwasserbereitungssysteme mit hohen Verlusten kombiniert mit dem Einsatz dezentraler Warmwasserbereiter an einigen wenigen Verbrauchsschwerpunkten. Zudem wird die Sanierung und Anpassung ineffizienter zentraler Warmwasserbereitungsanlagen an den tatsächlichen Warmwasserbedarf gefördert,          Austausch nicht regelbarer Pumpen gegen regelbare Hocheffizienzpumpen für das Beckenwasser in Schwimmbädern,          Einbau von Komponenten der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik in Verbindung mit einer Gebäudeleittechnik zur Gebäudeautomation,          Einbau außenliegender Verschattungsvorrichtungen mit Tageslichtnutzung (nur wenn eine aktive Kühlung bereits vorhanden ist oder durch die Maßnahme ein nachweislich notwendiger Einbau einer aktiven Kühlung vermieden werden kann),          Austausch von Elektrogeräten zur Erwärmung, Kühlung und Reinigung in Schul- und Lehrküchen, Fach- und Technikräumen (z. B. Bio- oder Chemieraum) sowie in Kindertagesstätten durch Geräte der höchsten Effizienzklasse.</p>
<b>Förderanteil</b>	<p>Zuschuss in Höhe von 40%          Finanzschwache Kommunen 50%          Bei Maßnahmen in Kindertagesstätten, Schulen, Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe, Jugendwerkstätten und Sportstätten (inkl. Freibäder und Schwimmhallen) ist eine um 5 % erhöhte Förderquote möglich.</p>
<b>Förderhöhe</b>	Mindestzuwendung 5.000€
<b>Antragsberechtigt</b>	<p>Kommunen und deren Zusammenschlüsse          Betriebe, Unternehmen u. sonst. Organisationen mit mind. 25 % kommunaler Beteiligung          öffentl., gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Kindertagesstätten, Schulen und Hochschulen          Religionsgemeinschaften mit Körperschaftsstatus sowie deren Stiftungen          Jugendwerkstätten und Einrichtungen der Kinder- und Jugendhilfe (nach SGB VIII anerkannt)          Unternehmen, die einen kommunalen Entsorgungsauftrag übernommen haben          kulturelle Einrichtungen in gemeinnütziger Trägerschaft          Sportvereine mit Gemeinnützigkeitsstatus, die im Vereinsregister eingetragen sind          Werkstätten für behinderte Menschen und deren Träger</p>
<b>Fristen</b>	Kommunalrichtlinie gilt vom 01.01.2019 bis zum 21.12.2022

## 15.2 Gebäudehülle

### 15.2.1 KfW: IKK– KfW-Effizienzgebäude – (bis 30.06.2021)

IKK – Energieeffizient Bauen und Sanieren (Sanierung) (KfW Nr. 218) IKK –Energieeffizient Bauen und Sanieren (Neubau) (KfW Nr. 217)			
<b>Info</b>	Förderung von Neubau und Sanierung von Nichtwohngebäuden. Energieeffizientes Bauen und Sanieren von Nichtwohngebäuden inkl. Denkmäler.		
<b>Förderanteil</b>	<b>Maßnahme (Sanierung)</b> KfW-Effizienzgebäude 70 KfW-Effizienzgebäude 100 KfW-Effizienzgebäude Denkmal	<b>Tilgungszuschuss (%)</b> 27,5 % 20 % 17,5 %	<b>max. Tilgungszuschuss</b> 275 €/m <sup>2</sup> 200 €/m <sup>2</sup> 175 €/m <sup>2</sup>
	<b>Maßnahme (Neubau)</b> KfW-Effizienzgebäude 55 KfW-Effizienzgebäude 70	<b>Tilgungszuschuss (%)</b> 5,0% des Zusagebetrages Kein Zuschuss	<b>max. Tilgungszuschuss</b> 50€/m <sup>2</sup>
<b>Fördersumme</b>	Kredithöhe i. d. R. max. 25 Mio. € der förderfähigen Kosten.		
<b>Antragssteller</b>	Träger von Investitionsmaßnahmen an Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur Kommunale Gebietskörperschaften deren rechtlich unselbständige Eigenbetriebe Gemeindeverbände, die wie kommunale Gebietskörperschaften (Zweckverbände) behandelt werden		

### 15.2.2 KfW: Sanierung zum Effizienzgebäude (ab 01.07.2021)

Sanierung von bestehenden Immobilien zum Effizienzgebäude (Nichtwohngebäude)		
<b>Info</b>	Förderung von Sanierung von Nichtwohngebäuden zum Effizienzgebäude oder der Kauf von frisch saniertes Effizienzgebäude	
<b>Förderanteil</b>	<b>Maßnahme (Sanierung)</b> Effizienzgebäude 40 Effizienzgebäude 40 Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	<b>Tilgungszuschuss (%)</b> 45 % 50 %
	Effizienzgebäude 55 Effizienzgebäude 55 Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	40 % 45 %
	Effizienzgebäude 70 Effizienzgebäude 70 Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	35 % 40%
	Effizienzgebäude 100 Effizienzgebäude 100 Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	27,5 % 32,5 %
	Effizienzgebäude Denkmal Effizienzgebäude Denkmal Erneuerbare-Energien-Klasse oder Nachhaltigkeits-Klasse	25 % 30 %
	<b>Fördersumme</b>	Kredithöhe 2.000 € pro m <sup>2</sup> NGF (max. 30 Mio.€)

<b>Antragssteller</b>	Träger von Investitionsmaßnahmen an Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur Kommunale Gebietskörperschaften deren rechtlich unselbständige Eigenbetriebe Gemeindeverbände, die wie kommunale Gebietskörperschaften (Zweckverbände) behandelt werden
-----------------------	--

### 15.2.3 KfW: IKK – Einzelmaßnahme- (bis 30.06.2021)

<b>IKK-Energetische Stadtsanierung – Energieeffizient Bauen und Sanieren (KfW Nr. 218)</b>			
<b>Info</b>	Bei energetischen Einzelmaßnahmen, die keinen KfW-Effizienzhaus-Standard anstreben. Förderfähige Einzelmaßnahmen sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmedämmung</li> <li>• Fenster, Vorhangfassaden, Außentüren und Tore</li> <li>• Sommerlicher Wärmeschutz</li> <li>• Lüftung und Klima inkl. Wärme- und Kälterückgewinnung, Abwärmenutzung</li> <li>• Wärme- und Kälteerzeugung, -verteilung und -speicherung, Kraft-Wärme- bzw. KWKK anlagen</li> <li>• Beleuchtung</li> <li>• Mess-, Steuer- und Regelungstechnik, Gebäudeautomation</li> </ul>		
<b>Förderanteil</b>	<b>Maßnahme (Sanierung)</b> Einzelmaßnahme	<b>Tilgungszuschuss (%)</b> 20%	<b>max. Tilgungszuschuss</b> 200 €/m <sup>2</sup>
<b>Fördersumme</b>	Kredithöhe i. d. R. max. 25 Mio. € der förderfähigen Kosten.		
<b>Antragssteller</b>	Träger von Investitionsmaßnahmen an Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur Kommunale Gebietskörperschaften deren rechtlich unselbständige Eigenbetriebe Gemeindeverbände, die wie kommunale Gebietskörperschaften (Zweckverbände) behandelt werden		

### 15.2.4 KfW: Einzelmaßnahmen Nichtwohngebäude (ab 01.07.2021)

<b>Einzelmaßnahmen Nichtwohngebäude</b>	
<b>Info</b>	Gefördert werden Einzelmaßnahmen an Bestandsgebäuden  Geförderte Maßnahmen sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wände, Dachflächen, Keller- und Geschossdecken dämmen</li> <li>- Fenster, Vorhang-fassaden, Außen-türen und Tore erneuern</li> <li>- Sommerlichen Wärmeschutz einbauen oder erneuern</li> <li>- Klima- und Lüftungs-anlagen mit Wärme- oder Kälterückgewinnung einbauen, erneuern oder optimieren</li> <li>- Mess-, Steuer- und Regelungs-technik einbauen, um einen Gebäudeautomatisierungsgrad zu realisieren</li> <li>- Energieeffiziente Beleuchtungs-systeme einbauen</li> <li>- Kältetechnik zur Raumkühlung installieren</li> </ul>
<b>Förderanteil</b>	20% Tilgungszuschuss
<b>Fördersumme</b>	Kredithöhe 1.000 € pro m <sup>2</sup> NGF (max. 15 Mio.€)

<b>Antragsteller</b>	Träger von Investitionsmaßnahmen an Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur Kommunale Gebietskörperschaften deren rechtlich unselbständige Eigenbetriebe Gemeindeverbände, die wie kommunale Gebietskörperschaften (Zweckverbände) behandelt werden
----------------------	--

## 15.2.5 KfW: IKU – Energieeffizient Bauen und Sanieren (219/220) – (bis 30.06.2021)

IKU– Energieeffizient Bauen und Sanieren (KfW Nr. 219/220)	
<b>Info</b>	<p>Finanzierung des Neubaus, des Ersterwerbs und Sanierung von Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur einschließlich Umsetzung von Einzelmaßnahmen und/oder Kombinationen von Einzelmaßnahmen</p> <p>Was wird gefördert?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Neubau - Pr.-Nr.: 217</u></li> </ul> <p>Neubau oder Ersterwerb Ausbau von bislang nicht unter EnEV fallende Nichtwohngebäude Erweiterung bestehender Nichtwohngebäude (um min. 50 m2 Nettogrundfläche) geförderte Effizienzhausstandards: KfW-Effizienzhaus 55 KfW-Effizienzhaus 70 Ausnahme: denkmalgeschützte Nichtwohngebäude (bisher nicht unter EnEV fallend) Sanierung zum Effizienzgebäude förderfähig (Pr.-Nr.: 218)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Sanierung zum Effizienzgebäude - Pr.-Nr.: 218</u></li> </ul> <p>geförderte Effizienzhausstandards: KfW-Effizienzhaus 70 KfW-Effizienzhaus 100 KfW-Effizienzhaus Denkmal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Sanierung mit Einzelmaßnahmen (auch Kombinationen) - Pr.-Nr.: 218</u></li> </ul> <p>Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle und/oder technischen Gebäudeausrüstung geförderte Einzelmaßnahmen: Wärmedämmung: Wände Dachflächen Geschossdecken Bodenflächen Erneuerung und Aufbereitung: von Fenstern Vorhangfassaden Außentüren Toren Maßnahmen, die den sommerlichen Wärmeschutz verbessern Einbau, Austausch oder Optimierung raumluft- und klimatechnische Anlagen inklusive Wärme-/Kälterückgewinnung und Abwärmenutzung Erstanschluss an Nah- oder Fernwärme Erneuerung und/oder Optimierung: Wärme-/Kälteverteilung und –speicherung Wärme-/Kälteerzeugung durch Strahlungsheizungen, Warmluft-Erzeuger und wärmegeführten Kraft-Wärme- bzw. Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlagen KWK-Anlagen nur für den Eigenverbrauch (keine Einspeisung) Austausch und/oder Optimierung der Beleuchtung</p>

	<p>Einbau oder Optimierung der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik sowie Gebäudeautomation</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <u>Sonstige Maßnahmen:</u> die zur Vorbereitung, Realisierung und Inbetriebnahme der Maßnahmen gehörenden Nebenarbeiten z. B. Ausbau / Entsorgung von Altanlagen, Fensterbänke erneuern, Luftdichtigkeit prüfen Planungskosten Einregulierungsarbeiten inkl. hydraulischen Abgleich Energiemanagementsystem</li> </ul>
<b>Förderanteil</b>	Tilgungszuschuss zwischen 5% (max. 50€/m <sup>2</sup> ) und 27,5% (max. 275€/m <sup>2</sup> )
<b>Fördersumme</b>	Kredithöhe max. 25 Mio. € pro Vorhaben
<b>Antragssteller</b>	<p>Kommunale Unternehmen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– + 50 % kommunaler Gesellschafterhintergrund</li> <li>– unmittelbare oder mittelbare Beteiligung einer oder mehrerer kommunaler Gebietskörperschaften</li> <li>– Bundesländer mit min. 50 % bei kommunalen Mindestbeteiligung von 25 % gemeinnützige Organisationen</li> <li>– Bescheinigung über die Freistellung von der Körperschaftssteuer durch das Finanzamt</li> </ul> <p>Kirchen Körperschaften des öffentlichen Rechts Anstalten des öffentlichen Rechts - (mehrheitlich kommunalen Hintergrund) Stiftungen des öffentlichen Rechts - (mehrheitlich kommunalen Hintergrund) Unternehmen sowie natürliche Personen Investor-Betreiber-Modelle</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Öffentliche-Private Partnerschaften</li> <li>– Contracting</li> <li>– sonstige Investor-Betreiber-Modelle</li> </ul> <p>Kommunale Infrastruktur in Deutschland:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Allgemeine Verwaltung</li> <li>– Öffentliche Sicherheit und Ordnung</li> <li>– Wissenschaft, Technik und Kulturpflege</li> <li>– Stadt- und Dorfentwicklung (touristische Infrastruktur)</li> <li>– Informations- und Kommunikationsinfrastruktur (z. B. Breitband)</li> <li>– Ver- und Entsorgung</li> <li>– Verkehrsinfrastruktur inkl. ÖPNV</li> <li>– Energieeinsparung und Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger</li> <li>– Erschließungsmaßnahmen einschließlich Aufwendungen für Grunderwerb, die dauerhaft von kommunalen Unternehmen zu tragen und nicht umlagefähig sind</li> </ul> <p>Soziale Infrastruktur in Deutschland</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Krankenhäuser</li> <li>– Altenpflegeeinrichtungen</li> <li>– Betreutes Wohnen</li> <li>– Ambulante Pflegeeinrichtungen</li> <li>– Behindertenwerkstätten</li> <li>– Kindergärten und Schulen</li> <li>– Sportanlagen</li> <li>– Kulturelle Einrichtungen</li> </ul>

## 15.2.6 IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW Nr. 201)

IKK – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW Nr. 201)	
<b>Info</b>	Das Förderprogramm dient der langfristigen und zinsgünstigen Finanzierung von energieeffizienten Investitionen in die quartiersbezogene Wärme- und Kälteversorgung sowie Wasserversorgung und Abwasserentsorgung.
<b>Förderanteil</b>	maximal 10 % Tilgungszuschuss des Zusagebetrages 100 % Finanzierung der förderfähigen Investitionskosten 10 Jahre Zinsbindung und bis zu 30 Jahre Laufzeit
<b>Fördersumme</b>	Kredit ohne Höchstbetrag
<b>Antragssteller</b>	Träger von Investitionsmaßnahmen an Nichtwohngebäuden der kommunalen und sozialen Infrastruktur Kommunale Gebietskörperschaften deren rechtlich unselbständige Eigenbetriebe Gemeindeverbände, die wie kommunale Gebietskörperschaften (Zweckverbände) behandelt werden

## 15.2.7 IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW Nr. 202)

IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung (KfW Nr. 202)	
<b>Info</b>	Mit dem Förderprodukt IKU – Energetische Stadtsanierung – Quartiersversorgung finanziert die KfW nachhaltige Investitionen in die Energieeffizienz kommunaler Wärme-, Kälte-, Wasser- und Abwassersysteme im Quartier innerhalb Deutschlands. Förderfähig sind Beratungs- Planungs- und Baubegleitungsleistungen sowie Kosten notwendiger Nebenarbeiten.
<b>Förderanteil</b>	maximal 10 % Tilgungszuschuss des Zusagebetrages bis zu 100 % Finanzierung Ihrer förderfähigen Kosten
<b>Fördersumme</b>	Förderkredit ab 1,00% eff. Jahreszins
<b>Antragsteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unternehmen mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>- 50 % kommunaler Gesellschafterhintergrund</li> <li>- unmittelbare oder mittelbare Beteiligung einer oder mehrerer kommunaler Gebietskörperschaften</li> <li>- Bundesländer mit min. 50 %, bei kommunalen Mindestbeteiligung von 25 %</li> </ul> </li> <li>- gemeinnützige Organisationen (Freistellung von der Körperschaftssteuer durch das Finanzamt)</li> <li>- Kirchen</li> <li>- Körperschaften des öffentlichen Rechts (keine Antragsberechtigung für kommunale Direktkredite)</li> <li>- Anstalten des öffentlichen Rechts (mehrheitlich kommunalen Hintergrund)</li> <li>- Stiftungen des öffentlichen Rechts (mehrheitlich kommunalen Hintergrund)</li> <li>- Unternehmen sowie natürliche Personen</li> <li>- Investor-Betreiber-Modelle <ul style="list-style-type: none"> <li>- Öffentliche-Private-Partnerschaften</li> <li>- Contracting</li> <li>- sonstige Investor-Betreiber-Modelle</li> <li>- zusätzliche Anforderungen an das Nutzerprofil der zu finanzierenden Investitionsgüter</li> </ul> </li> </ul>

## 15.2.8 KfW - Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager (KfW Nr. 432)

<b>KfW - Energetische Stadtsanierung – Zuschüsse für integrierte Quartierskonzepte und Sanierungsmanager (KfW Nr. 432)</b>	
<b>Info</b>	Eine Möglichkeit zur Erschließung weiterer Energieeffizienzpotenziale bietet sich durch gebäudeübergreifende Lösungen der Wärmeversorgung an, zum Beispiel unter Einsatz erneuerbarer Energien im Quartier.
<b>Förderanteil</b>	65 % der förderfähigen Kosten entsprechend den Komponenten A (Erstellung von integrierten Konzepten) und B (Sanierungsmanager)
<b>Fördersumme</b>	insgesamt bis zu 150.000 Euro je Quartier. Bei einer Verlängerung kann der Höchstbetrag um bis zu 100.000 Euro auf insgesamt bis zu 250.000 Euro für maximal 5 Jahre aufgestockt werden.
<b>Antragsteller</b>	kommunale Gebietskörperschaften deren rechtlich unselbständige Eigenbetriebe Landkreise und andere Gemeindeverbände können Zuschüsse beantragen, um diese an ihre Kommunen weiterzuleiten Zuschüsse können an privatwirtschaftliche oder gemeinnützige Akteure weitergegeben werden, z. B.: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unternehmen mit mehrheitlich kommunalen Gesellschafterhintergrund z. B. Stadtwerke</li> <li>- Wohnungsunternehmen</li> <li>- Wohnungsgenossenschaften</li> <li>- Wohneigentümergeinschaften</li> <li>- Eigentümer selbst genutzter oder vermieteter Wohngebäude, Eigentümerstandortgemein-schaften (min. 5 natürliche Personen, organisiert als e. V. oder GbR)</li> </ul>

## 15.2.9 KfW – Energieeffizient Sanieren - Baubegleitung (KfW Nr. 431)

<b>KfW-Programm - Energieeffizient Sanieren (431) – Baubegleitung</b>	
<b>Info</b>	Fachplanung und qualifizierte Baubegleitung durch einen externen, unabhängigen Experten für Energieeffizienz. Der Umfang umfasst: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Energetische Fachplanung</li> <li>• Energetische Baubegleitung</li> <li>• Dokumentation</li> <li>• Nachhaltigkeitszertifizierung</li> </ul>
<b>Förderanteil</b>	max. 4.000€ Tilgungszuschuss
<b>Fördersumme</b>	Übernahme von 50% der Kosten eines Experten für Energieeffizienz
<b>Antragsteller</b>	Privatperson Unternehmen Kommune Gemeinnützige Organisation Jeder Investor (Bauherr), der energetische Fachplanungs- und Baubegleitungsleistungen für Wohngebäude durch einen unabhängigen Experten in Anspruch nimmt. Die Investitionsmaßnahme muss in den KfW-Produkten "Energieeffizient Bauen und Sanieren" (Produktnummer 151/152, 153, 430) oder in einem von der KfW aus diesen Mitteln refinanzierten Programm eines Landesförderinstitutes gefördert werden



## 15.3 Anlagentechnik

### 15.3.1 BEG EM – Heizungsoptimierung (NEU)

Heizungsoptimierung (BAFA) – Zuschuss	
<b>Info</b>	<p>Gefördert werden sämtliche Maßnahmen zur Optimierung des Heizungsverteilsystems</p> <p>Gefördert wird:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- der hydraulische Abgleich der Heizungsanlage inklusive der Einstellung der Heizkurve</li> <li>- der Austausch von Heizungspumpen sowie der Anpassung der Vorlauftemperatur und der Pumpenleistung, Maßnahmen zur Absenkung der Rücklauftemperatur bei Gebäudenetzen im Sinne der Richtlinien</li> <li>- im Falle einer Wärmepumpe auch die Optimierung der Wärmepumpe</li> <li>- die Dämmung von Rohrleitungen</li> <li>- der Einbau von Flächenheizungen, von Niedertemperaturheizkörpern und von Wärmespeichern im Gebäude oder gebäudenah (auf dem Gebäudegrundstück)</li> <li>- die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik</li> </ul> <p>Voraussetzung für alle Maßnahmen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- hydr. Abgleich</li> </ul>
<b>Förderquote</b>	20 %
<b>Fördersumme</b>	Mindestinvestitionsvolumen 300€ (Brutto) Förderfähige Ausgaben für energetische Sanierungsmaßnahmen gedeckelt auf 1.000€ pro m <sup>2</sup>
<b>Antragsteller</b>	<p>Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften freiberuflich Tätige Kommunale Gebietskörperschaften, kommunale Gemeinde- und Zweckverbände, sowie rechtlich unselbständige Eigenbetriebe von kommunalen Gebietskörperschaften, sofern diese zu Zwecken der Daseinsvorsorge handeln Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts, zum Beispiel Kammern oder Verbände gemeinnützige Organisationen einschließlich Kirchen Unternehmen, einschließlich Einzelunternehmer und kommunale Unternehmen sonstige juristische Personen des Privatrechts, einschließlich Wohnungsbaugenossenschaften</p>



### 15.3.2 BAFA – Kleinserien Klimaschutzkonzepte: Modul 1 Kleinstwasserkraftanlage

Modul 1 Kleinstwasserkraftanlage	
<b>Info</b>	Gefördert werden Ausgaben für die Anschaffung und die Installation der Kleinstwasserkraftanlagen mit einer maximalen elektrischen Leistung von 30 kW.
<b>Förderanteil</b>	Maximal 30% der förderfähigen Investitionskosten
<b>Fördersumme</b>	Der Förderbetrag richtet sich nach der elektrischen Leistung der Kleinstwasserkraftanlage und wird anhand der installierten Leistungseinheiten ( $kW_{el}$ ) ermittelt:
<b>Antragsteller</b>	<p>Antragsberechtigt sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- private Unternehmen unabhängig von ihrer Rechtsform (einschließlich Genossenschaften) und der Art ihrer Tätigkeit (einschließlich freiberuflich Tätige),</li> <li>- Unternehmen mit kommunaler Beteiligung</li> <li>- Kommunen (Städte, Gemeinden, Landkreise) und Zusammenschlüsse, an denen ausschließlich Kommunen beteiligt sind</li> </ul> <p>Der Antragsteller ist entweder</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigentümer</li> <li>- Pächter</li> <li>- Mieter</li> </ul>

### 15.3.3 BAFA - Kleinserien Klimaschutzkonzepte: Modul 2 Sauerstoffproduktion

Modul 2 Sauerstoffproduktion	
<b>Info</b>	Treibhausgaseinsparungen durch dezentrale Sauerstoffproduktion, bedingt durch den geringeren Strombedarf und durch den Verzicht auf Flaschentransporte
<b>Fördersumme</b>	Der Förderbetrag wird anhand der förderfähigen Investitionskosten und dem spezifischen elektrischen Strombedarf der Sauerstoffproduktionsanlage ermittelt: <ul style="list-style-type: none"> <li>• spezifischer Strombedarf &lt; 0,5 kWh/Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>: 20 %</li> <li>• spezifischer Strombedarf &lt; 0,3 kWh/Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>: 30 %</li> </ul>
<b>Antragsteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- private Unternehmen unabhängig von ihrer Rechtsform (einschließlich Genossenschaften) und der Art ihrer Tätigkeit (einschließlich freiberuflich Tätige),</li> <li>- Unternehmen mit kommunaler Beteiligung</li> <li>- Öffentliche, gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Hochschulen (nicht umfasst: Volkshochschulen), Forschungseinrichtungen und Krankenhäuser bzw. deren Träger</li> </ul>

### 15.3.4 BAFA - Kleinserien Klimaschutzkonzepte: Modul 3 Wärmerückgewinnung

Modul 3 Wärmerückgewinnung	
<b>Info</b>	Gefördert werden Ausgaben für die Anschaffung und die Installation der Wärmeübertrager bzw. Anlagen zur Wärmerückgewinnung.
<b>Fördersumme</b>	Der Förderbetrag wird anhand der förderfähigen Investitionskosten und der Anzahl der beantragten Wärmeübertrager Einheiten (bei Duschrinnen, Duschtassen und Duschröhren mit Wärmeübertrager) oder Anzahl der an die Wärmerückgewinnungsanlage für das im gesamten Gebäude anfallende

	<p>Grauwasser angeschlossene Einheiten (Duschen) sowie der Notwendigkeit eines zweiten Leitungsnetzes, ermittelt.</p>
<b>Antragsteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- private Unternehmen unabhängig von ihrer Rechtsform (einschließlich Genossenschaften) und der Art ihrer Tätigkeit (einschließlich freiberuflich Tätige),</li> <li>- Unternehmen mit kommunaler Beteiligung sowie</li> <li>- Öffentliche, gemeinnützige und religionsgemeinschaftliche Hochschulen (nicht umfasst: Volkshochschulen), Forschungseinrichtungen und Krankenhäuser bzw. deren Träger</li> <li>- juristische Personen des Privatrechts (die in dieser Liste nicht explizit aufgeführt sind)</li> <li>- Kommunen (Städte, Gemeinden, Landkreise)</li> <li>- Privatpersonen</li> </ul> <p>Der Antragsteller ist entweder</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigentümer,</li> <li>- Pächter oder</li> <li>- Mieter</li> </ul>

### 15.3.5 BEG EM - Anlagen zur Wärmeerzeugung (NEU)

<b>Anlagen zur Wärmeerzeugung</b>	
<b>Info</b>	<p>Gefördert werden der Einbau von effizienten Wärmeerzeugern, von Anlagen zur Heizungsunterstützung und der Anschluss an ein Gebäude- oder Wärmenetz, das erneuerbare Energien für die Wärmeerzeugung mit einem Anteil von mindestens 25 Prozent einbindet</p> <p>Gefördert wird</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gas-Brennwertheizung (Renewable Ready)</li> <li>- Gas-Hybridheizungen</li> <li>- Solarkollektoranlagen</li> <li>- Biomasseheizungen</li> <li>- Wärmepumpen</li> <li>- Innovative Heiztechnik auf Basis erneuerbaren Energien</li> <li>- Erneuerbare Energien-Hybridheizungen (EE-Hybride)</li> <li>- Gebäudenetze und Anschluss an eine Gebäude- oder Wärmenetz</li> <li>- Maßnahmen zur Visualisierung des Ertrags Erneuerbarer Energien</li> </ul> <p>Nicht gefördert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigenbauanlagen und Anlagen, die in weniger als vier Exemplaren betrieben werden oder betrieben worden sind (Prototypen)</li> <li>- gebrauchte Anlagen und Anlagen mit wesentlich gebraucht erworbenen Anlagenteilen</li> <li>- Energieerzeugungsanlagen, für die eine Förderung nach dem Gesetz für den Ausbau Erneuerbarer Energien (EEG) oder nach dem Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG, KWKAusVO) in Anspruch genommen wird. Von dieser Regel ausgenommen sind Biomasseanlagen zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung</li> </ul>
<b>Förderquote</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Renewable Ready: 20%</li> <li>- Gas-Hybridanlage: 30%</li> <li>- Solarthermie: 30%</li> <li>- Wärmepumpe: 35%</li> <li>- Biomasseheizung: 35% - 40%</li> <li>- Innovative Heizanlagen: 35%</li> <li>- EE- Hybridheizungen: 35% - 40%</li> <li>- Wärmenetz mind. 25% EE: 30%</li> <li>- Wärmenetz mind. 55% EE: 35%</li> </ul>

<b>Förderhöhe</b>	Mindestinvestition 2.000€ (Brutto) Max. 1.000€ pro m <sup>2</sup> NGF (max. 15 Mio.€)
<b>Antragsteller</b>	<p>Antragsberechtigt sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften</li> <li>- freiberuflich Tätige</li> <li>- Kommunale Gebietskörperschaften, kommunale Gemeinde- und Zweckverbände, sowie rechtlich unselbständige Eigenbetriebe von kommunalen Gebietskörperschaften, sofern diese zu Zwecken der Daseinsvorsorge handeln</li> <li>- Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts, zum Beispiel Kammern oder Verbände</li> <li>- gemeinnützige Organisationen einschließlich Kirchen</li> <li>- Unternehmen, einschließlich Einzelunternehmer und kommunale Unternehmen</li> <li>- sonstige juristische Personen des Privatrechts, einschließlich Wohnungsbaugenossenschaften</li> </ul> <p>Die Antragsberechtigung gilt für Eigentümer, Pächter oder Mieter des Grundstücks, Grundstücksteils, Gebäudes oder Gebäudeteils, auf oder in dem die Maßnahme umgesetzt werden soll, sowie für Contractoren.</p>

### 15.3.6 BEG EM- Anlagentechnik (außer Heizung) (NEU)

<b>Anlagentechnik (außer Heizung)</b>	
<b>Info</b>	<p>Gefördert wird der Einbau von Anlagentechnik in Bestandsgebäuden zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudes (RLT- Anlagen)</p> <p>Gefördert wird:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einbau, Austausch oder Optimierung raumluftechnischer Anlagen inklusive Wärme-/ Kälterückgewinnung;</li> <li>- Einbau digitaler Systeme zur energetischen Betriebs- und Verbrauchsoptimierung bzw. zur Verbesserung der Netzdienlichkeit der technischen Anlagen des Gebäudes („Efficiency Smart Home“) oder des angeschlossenen (förderfähigen) Gebäudenetzes;</li> </ul> <p>Nicht gefördert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigenbauanlagen und Anlagen, die in weniger als vier Exemplaren betrieben werden oder betrieben worden sind (Prototypen)</li> <li>- gebrauchte Anlagen und Anlagen mit wesentlich gebraucht erworbenen Anlagenteilen</li> </ul>
<b>Förderquote</b>	20%
<b>Förderhöhe</b>	Bruttoinvestition 2.000€ (Brutto) Max. 1.000€ pro m <sup>2</sup> NGF (max. 15 Mio.€)
<b>Antragsteller</b>	<p>Antragsberechtigt sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Privatpersonen und Wohnungseigentümergeinschaften</li> <li>- freiberuflich Tätige</li> <li>- Kommunale Gebietskörperschaften, kommunale Gemeinde- und Zweckverbände, sowie rechtlich unselbständige Eigenbetriebe von kommunalen Gebietskörperschaften, sofern diese zu Zwecken der Daseinsvorsorge handeln</li> <li>- Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts, zum Beispiel Kammern oder Verbände</li> <li>- gemeinnützige Organisationen einschließlich Kirchen</li> <li>- Unternehmen, einschließlich Einzelunternehmer und kommunale Unternehmen</li> <li>- sonstige juristische Personen des Privatrechts, einschließlich Wohnungsbaugenossenschaften</li> </ul> <p>Die Antragsberechtigung gilt für Eigentümer, Pächter oder Mieter des Grundstücks, Grundstücksteils, Gebäudes oder Gebäudeteils, auf oder in dem die Maßnahme umgesetzt werden soll, sowie für Contractoren.</p>

### 15.3.7 Bundesförderung Corona gerechte Um- und Aufrüstung von raumluftechnischen Anlagen in öffentlichen Gebäuden und Versammlungsstätten

<b>BAFA – Raumluftechnische Anlagen in öffentlichen Gebäuden und Versammlungsstätten zur Eindämmung des Corona-Virus</b>	
<b>Info</b>	Beim Besuch von öffentlichen Gebäuden und Versammlungsorten müssen die Menschen besonders vor Infektionen mit dem Coronavirus geschützt sein. Mit der neuen Förderung können <b>bestehende</b> RLT Anlagen um- oder aufrüstet werden und somit ein Baustein für wirksamen Infektionsschutz sein. Gewährt werden finanzielle Zuschüsse für die entsprechende Um- und Aufrüstung von stationären RLT-Anlagen.
<b>Förderanteil</b>	40 % der förderfähigen Ausgaben
<b>Fördersumme</b>	höchstens 100.000,- EUR je Maßnahme.
<b>Antragsteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Länder</li> <li>- Kommunen</li> <li>- Unternehmen*</li> <li>- Universität/ Hochschule*</li> <li>- Träger öffentlicher Einrichtungen*</li> <li>- institutioneller Zuwendungsempfänger*</li> </ul> <p>*: Eine Antragsberechtigung besteht, sofern die Finanzierung durch Beteiligung oder sonstige Weise zu mindestens 50% durch den Bund, die Länder oder Kommunen erfolgt</p>
<b>First</b>	Anträge bis zum 21.12.2021

### 15.3.8 BMU - Kälte und Klimaanlage

<b>BMU – Kälte und Klimaanlage</b>	
<b>Info</b>	Um die Potentiale zur Minderung der Treibhausgasemissionen in der Kälte- und Klimatechnik in Deutschland zu heben, fördert das Bundesumweltministerium die Errichtung neuer oder die Sanierung bestehender Kälte- oder Klimaanlage mit nicht rückzahlbaren Zuschüssen.
<b>Förderanteil</b>	max. 50 % der förderfähigen Ausgaben
<b>Fördersumme</b>	höchstens 150.000,- EUR je Maßnahme.

### 15.3.9 BAFA – Förderung von Kälte- und Klimaanlage

<b>BAFA: Förderung von Kälte- und Klimaanlage</b>	
<b>Info</b>	Maßnahmen zur Energieeffizienz an Kälte- und Klimaanlage für Neuanlage. Gefördert werden stationäre Kälte- und Klimaanlage, die mit nicht-halogenierten Kältemitteln (GWP gleich Null) betrieben werden, wenn diese neu errichtet bzw. neu installiert werden, oder die Kälteerzeugungseinheit neu erstellt wird, jedoch das Kühlmittelsystem (Wasser-, Sole-, Luftverteilsystem) bestehen bleibt.
<b>Fördersumme</b>	Die Förderhöchstgrenze für die Summe aller Fördertatbestand beträgt 150.000 €.
<b>Antragsteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigentümer, Pächter oder Mieter des Grundstückes, auf dem die Anlage steht</li> <li>- Oder ein von diesem beauftragtes Energiedienstleistungsunternehmen</li> </ul>

	<b>Antragsberechtigt:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Unternehmen</li> <li>- Gemeinnützige Organisationen</li> <li>- Kommunen</li> <li>- Kommunale Gebietskörperschaften</li> <li>- Zweckverbände</li> <li>- Eigenbetriebe</li> <li>- Hochschulen und Schulen</li> <li>- Krankenhäuser</li> <li>- Kirchliche Einrichtungen</li> </ul>
--	--

### 15.3.10 Erneuerbaren Energien - Standard (KfW Nr. 270)

<b>KfW - Erneuerbare Energien – Standard (KfW Nr. 270)</b>	
<b>Info</b>	Das KfW-Programm Erneuerbare Energien "Standard" ermöglicht eine zinsgünstige Finanzierung von Vorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) sowie von Maßnahmen zur Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem.
<b>Förderanteil</b>	Mit dem Förderprogramm können bis zu 100 % der förderfähigen Nettoinvestitionskosten finanziert werden
<b>Fördersumme</b>	maximal 50 Mio. Euro pro Vorhaben
<b>Antragsteller</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In- und ausländische private und öffentliche Unternehmen – unabhängig von der Größe</li> <li>- Körperschaften und Anstalten des öffentlichen Rechts, kommunale Zweckverbände</li> <li>- Privatpersonen und gemeinnützige Antragsteller Sie müssen zumindest einen Teil des erzeugten Stroms oder der erzeugten Wärme einspeisen.</li> <li>- Genossenschaften, Stiftungen und Vereine</li> <li>- Freiberufler</li> <li>- Landwirte</li> </ul> <p>Nicht gefördert werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bund, Bundesländer und deren Einrichtungen</li> <li>- Kommunen, kommunale Gebietskörperschaften und kommunale unselbständige Eigenbetriebe</li> </ul>

### 15.3.11 Erneuerbaren Energien - Premium (KfW Nr. 271/281, 272/282)

KfW - Erneuerbare Energien "Premium" (KfW Nr. 271/281, 272/282)	
<b>Info</b>	Das KfW-Programm Erneuerbare Energien "Standard" ermöglicht eine zinsgünstige Finanzierung von Vorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung, zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) sowie von Maßnahmen zur Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem.
<b>Förderanteil</b>	Die Höhe des Tilgungszuschusses variiert je nach Maßnahme. Für einige Maßnahmen im Zusammenhang mit der Modernisierung von Heizungsanlagen stehen um 20 % erhöhte Tilgungszuschüsse bereit
<b>Fördersumme</b>	Kredit bis zu 25 Mio. Euro pro Vorhaben mit attraktivem Tilgungszuschuss (variiert je nach Maßnahme)

### 15.3.12 Brennstoffzellenheizung (KfW) – Zuschuss

Brennstoffzellenheizung (KfW) – Zuschuss	
<b>Info</b>	Brennstoffzellensysteme, die in die Wärme- und Stromversorgung des Gebäudes eingebunden sind (0,25–5 kW)
<b>Förderanteil</b>	max. 40 % der Kosten
<b>Fördersumme</b>	max. 28.200 € pro Brennstoffzelle (5.700 € Grundbetrag + 450 € je 100 Watt Leistung)

### 15.3.13 Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0 (BAFA) - Zuschuss

Modellvorhaben Wärmenetzsysteme 4.0 (BAFA) – Zuschuss	
<b>Info</b>	Wärmenetzsysteme der 4. Generation (Temperaturniveau 20–95 °C, Anteil erneuerbarer Energien und Abwärme min. 50 %), die Wärme und/oder Kälte kostengünstig bereitstellen können; gefördert werden Gesamtsysteme (Erzeuger, leitungsgebundene Wärme- oder Kälteinfrastruktur, saisonaler Großwärmespeicher)
<b>Förderanteil</b>	max. 50 % der Vorhabenkosten
<b>Fördersumme</b>	max. 15. Mio. €

## 15.4 Beratung

### 15.4.1 BMWi - Beratungsprogramm Energiespar-Contracting

Beratungsprogramm Energiespar-Contracting	
<b>Info</b>	Maßgeschneidertes energetisches Sanierungskonzept für Nichtwohngebäude, Orientierungsberatung für Energiespar-Contracting
<b>Förderanteil</b>	max. 80 % der Beratungskosten
<b>Fördersumme</b>	<p>Orientierungs- und Ausschreibungsberatung: Der Zuschuss beträgt 80 % der förderfähigen Beratungsausgaben, max. 2.000,- EUR.</p> <p>Umsetzungsberatung: Kommunen, Unternehmen und Einrichtungen, die sich mehrheitlich in kommunalem Eigentum befinden, sowie gemeinnützige Organisationen und Religionsgemeinschaften erhalten einen Zuschuss von 50 % der förderfähigen Beratungsausgaben, max. 12.500,- EUR</p>

### 15.4.2 EBN – Energieberatung Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme

Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme DIN V 18599	
<b>Info</b>	<p>Gefördert werden Energieberatungen für Nichtwohngebäude im Bestand und im Neubau, die es ermöglichen, Energieeffizienz und erneuerbare Energien in den Planungs- und Entscheidungsprozess einzubeziehen und damit die Effizienzpotentiale zum individuell günstigsten Zeitpunkt auszuschöpfen</p> <p>Sanierungskonzepte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schritt für Schritt Sanierung</li> <li>- Sanierung in einem Zug, um den Standard eines KfW-Effizienzgebäudes zu erreichen</li> <li>- Neubauberatung für Nichtwohngebäude</li> <li>-</li> </ul>
<b>Förderanteil</b>	max. 80 % des Beratungshonorars, maximal 8.000€ Höhe hängt von der Nettogrundfläche ab
<b>Fördersumme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettogrundfläche unter 200 m<sup>2</sup>: Zuschuss maximal 1.700 Euro;</li> <li>- Nettogrundfläche zwischen 200 m<sup>2</sup> und 500 m<sup>2</sup>: Zuschuss maximal 5.000 Euro;</li> <li>- Nettogrundfläche mehr als 500 m<sup>2</sup>: Zuschuss maximal 8.000 Euro.</li> </ul>

## 16 Anhang

### 16.1 Erläuterung von Fachbegriffen

Für eine eindeutige Beschreibung des energetischen Zustandes eines Gebäudes, werden im Folgenden die Begrifflichkeiten klar abgegrenzt. Die hierfür notwendigen, wesentlichen Begriffe werden nachstehend erläutert.

#### Heizwärmebedarf

Unter Heizwärmebedarf  $Q_H$  wird die Energiemenge verstanden, die (unter Normbedingungen) zur Aufrechterhaltung der benötigten Raumtemperatur erforderlich ist. Angaben zum Heizwärmebedarf werden i.d.R. auf ein Jahr bezogen und in kWh ausgedrückt. Die Größe wird durch Bilanzierung von Wärmeverlusten (Transmissionswärmeverluste  $H_T$  und Lüftungswärmeverluste  $H_V$ ) mit den Wärmegewinnen (Solare Einstrahlung  $Q_S$  und Interne Wärmequellen  $Q_I$ ) ermittelt. Der Heizwärmebedarf kennzeichnet somit die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle.

#### Heizenergiebedarf

Energiemenge, die für die Gebäudeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizsystems aufgebracht werden muss. Die Verluste des Heizsystems treten bei der Wärmeübergabe, -verteilung, -speicherung und -erzeugung auf und werden in einer Anlagenaufwandszahl zusammengefasst. Eine kleine Anlagenaufwandszahl kennzeichnet ein energetisch günstiges Heizsystem.

#### Endenergiebedarf

Energiemenge, die für die Gebäudeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizsystems sowie des Warmwasserbedarfs und der Verluste des Warmwasserbereitungssystems aufgebracht werden muss. Die Endenergie bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung usw.) benötigte Hilfsenergie mit ein.

Die Endenergie wird an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die vom Verbraucher bezahlt werden muss.

#### Primärenergiebedarf

Energiemenge, die zur Deckung des Energiebedarfs benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze Gebäude bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

Die Primärenergie kann als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z.B. CO<sub>2</sub>-Emission, herangezogen werden, da der gesamte Energieaufwand für die Gebäudebeheizung einbezogen wird.

#### Referenzgebäude

Die energetische Bewertung von Gebäuden erfolgt seit der EnEV 2009 anhand eines „Referenzgebäudes“. Das Referenzgebäude ist hinsichtlich Größe, Form und Nutzung ein Spiegelbild des zu bewertenden Gebäudes, allerdings werden alle dafür vorgesehenen Bauteile und Anlagen gegen „Referenztechnik“ ausgetauscht. Das Referenzgebäude beschreibt den zu erwartenden Energiebedarf,



wenn das Gebäude mit dem aktuellen Stand der Technik belegt wird. Die technische Ausführung des Referenzgebäudes (Nichtwohngebäude) nach GEG ist in der Anlage 2 (zu § 18 Absatz 1) zu finden.

### Energetisch bedingte Investitionskosten (energiebedingte Mehrkosten)

Die energiebedingten Mehrkosten der Maßnahmenpakete sind im Vergleich zu den Vollkosten deutlich geringer. Die energiebedingten Mehrkosten unterscheiden sich per Definition von den „Vollkosten“ insoweit, dass nicht sämtliche Instandsetzungskosten sowie eventuell zusätzlich erforderlicher baulicher Aufwand (z.B. brandschutztechnische Ertüchtigung), zusätzlicher Planungsaufwand (z.B. detaillierte Betrachtung der Wärmebrücken), Baunebenkosten (z.B. Beratung, Gutachten) und sogenannte „Sowieso-Kosten“ (z.B. Farbanstrich) enthalten sind. Folgendes Schaubild bietet eine gute Übersicht der Einordnung der Investitionskosten in die Kostenstruktur.

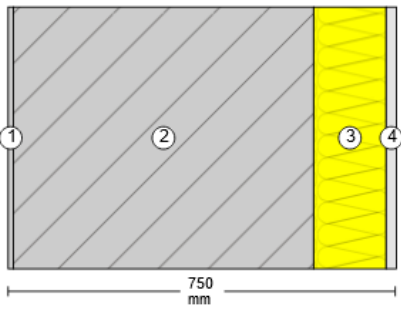
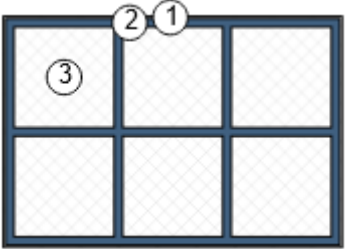
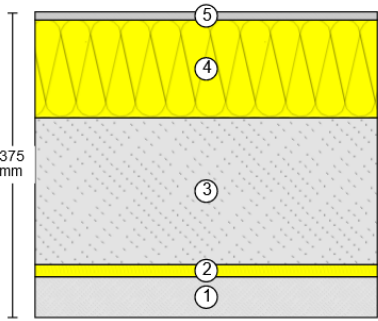


## 16.2 Bauteilkonstruktion für die Ökobilanz

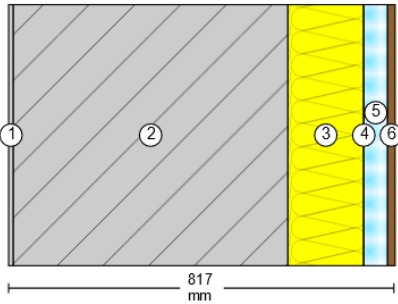
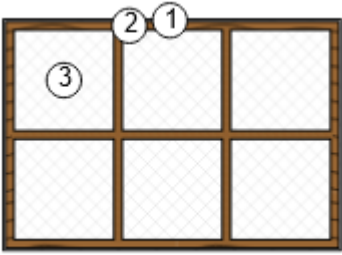
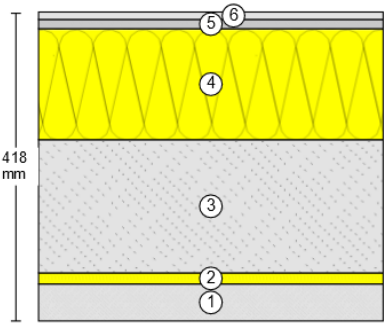
### 16.2.1 Schule 027-01

Bilanzierungszeitraum: 50 Jahre

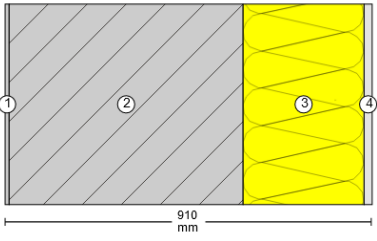
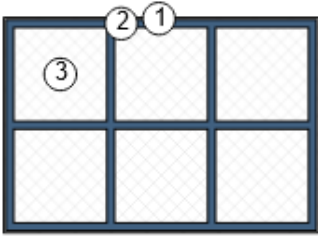
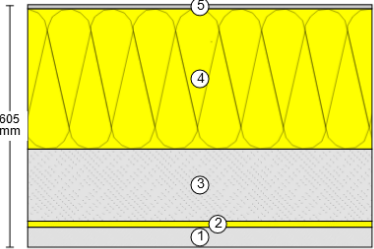
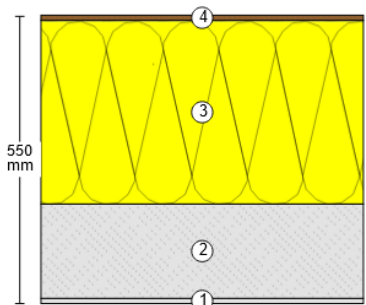
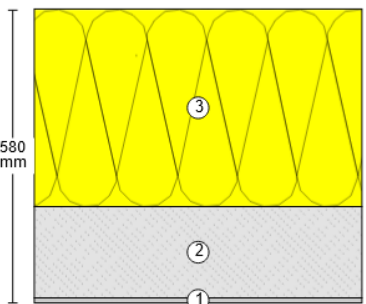
Bezugsfläche (NGF): 6.815,94 m<sup>2</sup>

KfW Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Tragende Außenwände Menge: 2.379,91 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 580,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 140,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>
Außenfenster Menge: 1.038,73 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Blendrahmen PVC-U</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
Kellerdecke Menge: 1.149,64 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040, 15,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. Mineralwolle (Steinwolle), 120,00mm</li> <li>5. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> </ol>

Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

Öko Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Tragende Außenwände Menge: 2.379,91 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 580,00mm</li> <li>3. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>4. Unterspannbahn PUR auf PET-Vlies, 0,50mm</li> <li>5. eLCA Luftschicht, 50,00mm</li> <li>6. Faserzementplatte, 11,00mm</li> </ol>
Außenfenster Menge: 1.038,73 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Holz-Blendrahmen</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
Kellerdecke Menge: 1.149,64 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040, 15,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. Thermofloc, 150,00mm</li> <li>5. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>6. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>

Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

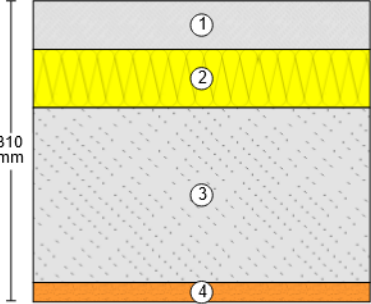
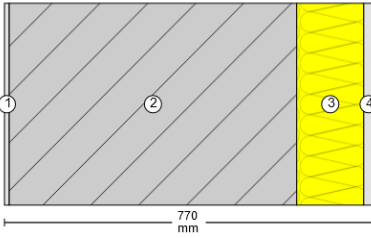
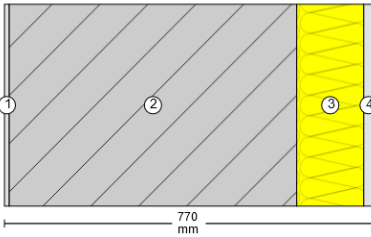
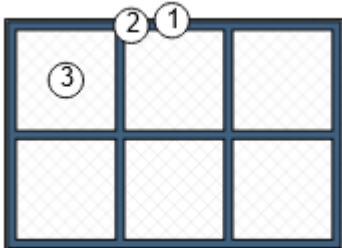
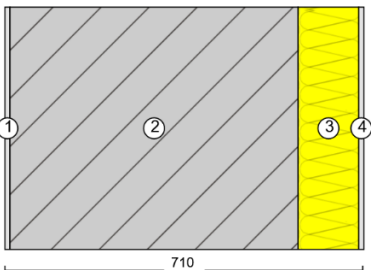
Passivhaus Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Tragende Außenwände Menge: 2.379,91 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 580,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 300,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>
Außenfenster Menge: 1.038,73 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
Kellerdecke Menge: 1.149,64 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Wände und Dächer W/D-040, 15,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. Mineralwolle (Steinwolle), 350,00mm</li> <li>5. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> </ol>
Oberste Geschossdecke (begehbar) Menge: 409,63 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>3. XPS-Dämmstoff, 350,00mm</li> <li>4. Oriented Strand Board (Durchschnitt DE), 10,00mm</li> </ol>
Oberste Geschossdecke (nicht begehbar) Menge: 736,00 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 390,00mm</li> </ol>

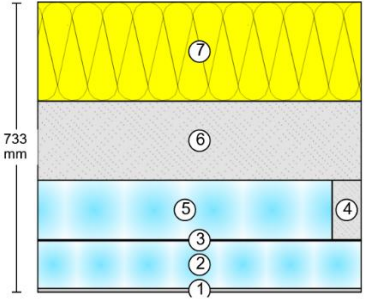
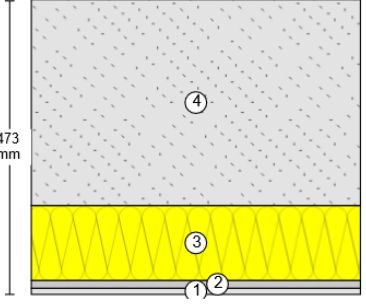
Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

## 16.2.2 Schule 028-01

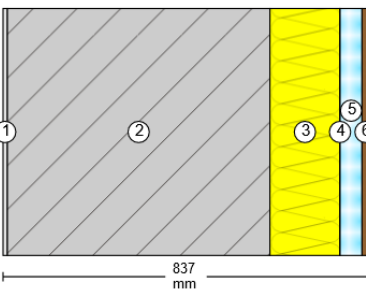
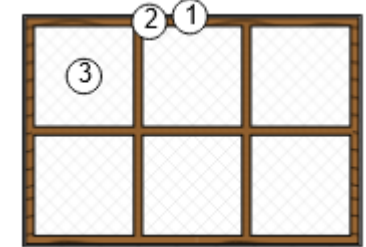
Bilanzierungszeitraum: 50 Jahre

Bezugsfläche (NGF): 4.557,01 m<sup>2</sup>

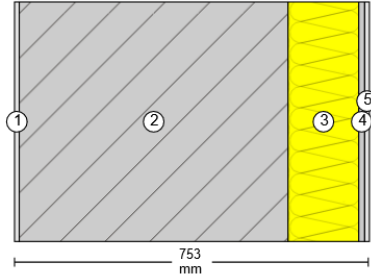
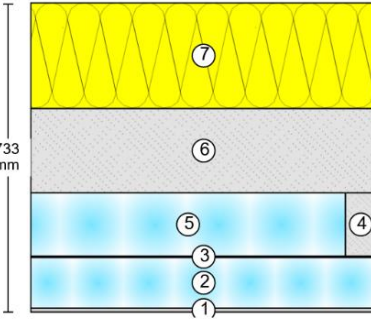
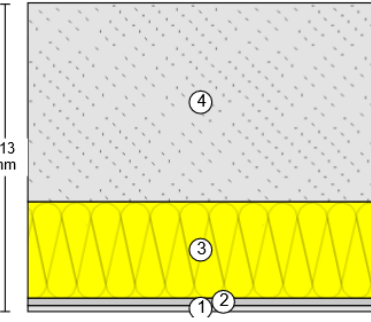
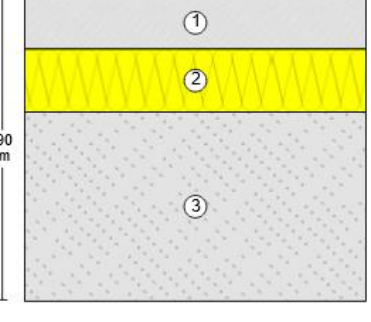
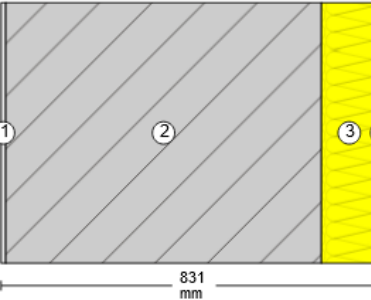
KfW Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
<p>Bodenplatte</p> <p>Menge: 948,47 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. XPS-Dämmstoff, 60,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. Sand 0/2, 20,00mm</li> </ol>
<p>Tragende Außenwände</p> <p>Menge: 1.815,15 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 580,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 140,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>
<p>Kelleraußenwände</p> <p>Menge: 481,85 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 680,00mm</li> <li>3. XPS-Dämmstoff, 120,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> <li>5. PE-Noppenfolie zur Abdichtung, 1,25mm</li> </ol>
<p>Außenfenster</p> <p>Menge: 828,75 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>5. Blendrahmen: Blendrahmen PVC-U</li> <li>6. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
<p>Innenwände (zum unbeheizten Keller)</p> <p>Menge: 292,48 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Innenwandbereich, 570,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 120,00mm</li> <li>4. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>

<p>Oberste Geschossdecke Menge: 1.160,78 m<sup>2</sup></p>	 <p>733 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 9,50mm</li> <li>2. eLCA Luftschicht, 120,00mm</li> <li>3. Aluminium Profil (2005), 3,00mm</li> <li>4. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 150,00mm</li> <li>5. eLCA Luftschicht, 150,00mm</li> <li>6. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 200,00mm</li> <li>7. Mineralwolle (Steinwolle), 250,00mm</li> </ol>
<p>Kellerdecke Menge: 1299,44 m<sup>2</sup></p>	 <p>473 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 120,00mm</li> <li>4. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 330,00mm</li> <li>5. Kalk-Innenputz, 20,00mm</li> </ol>

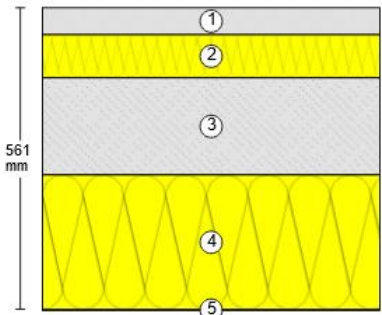
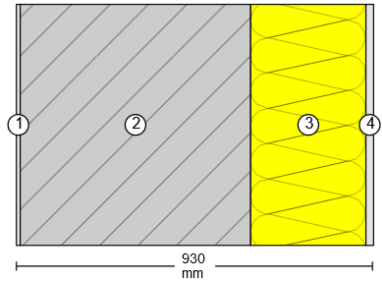
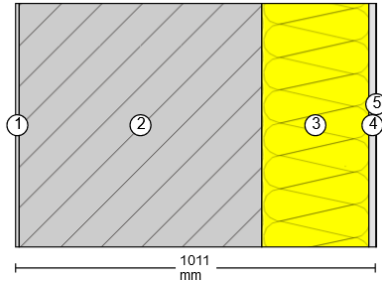
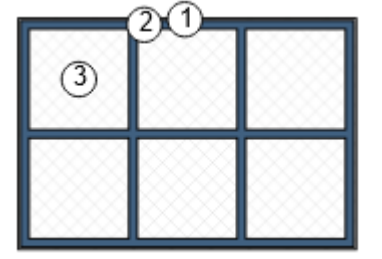
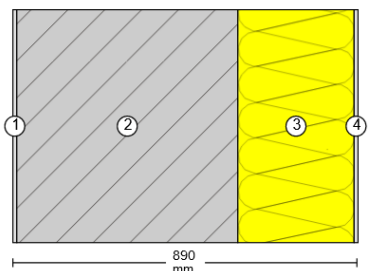
Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

<b>Öko Variante</b>		
<b>Bauteil</b>	<b>Konstruktion</b>	<b>Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)</b>
<p>Tragende Außenwände Menge: 21.815,15 m<sup>2</sup></p>	 <p>837 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 600,00mm</li> <li>3. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>4. Unterspannbahn PUR auf PET-Vlies, 0,50mm</li> <li>5. eLCA Luftschicht, 50,00mm</li> <li>6. Faserzementplatte, 11,00mm</li> </ol>
<p>Außenfenster Menge: 828,76 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Holz-Blendrahmen</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>

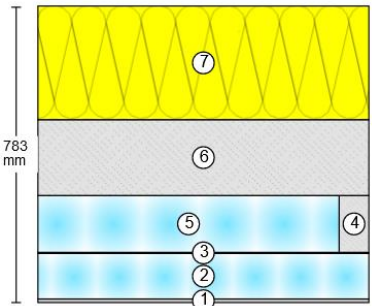
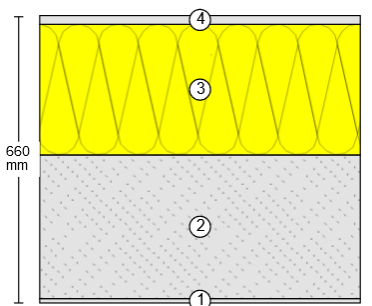


<p>Innenwände (zum unbeheizten Keller) Menge: 292,48 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Innenwandbereich, 570,00mm</li> <li>3. Thermofloc, 150,00mm</li> <li>4. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>5. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>
<p>Oberste Geschossdecke Menge: 1.160,78 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 9,50mm</li> <li>2. eLCA Luftschicht, 120,00mm</li> <li>3. Aluminium Profil (2005), 3,00mm</li> <li>4. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 150,00mm</li> <li>5. eLCA Luftschicht, 150,00mm</li> <li>6. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 200,00mm</li> <li>7. Thermofloc, 200,00mm</li> </ol>
<p>Kellerdecke Menge: 229,44 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>3. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>4. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 330,00mm</li> </ol>
<p>Bodenplatte Menge: 984,47 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. Foamglas W+F und Foamglas T3+, 60,00 mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> </ol>
<p>Kelleraußenwände Menge: 481,85 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 680,00mm</li> <li>3. Foamglas W+F und Foamglas T3+, 120,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> <li>5. PE-Noppenfolie zur Abdichtung, 1,25mm</li> </ol>

Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

Passivhaus Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Bodenplatte Menge: 948,47 m <sup>2</sup>	 <p>561 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 80,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 250,00mm</li> <li>5. PE-Noppenfolie zur Abdichtung, 1,25mm</li> </ol>
Tragende Außenwände Menge: 1.815,15 m <sup>2</sup>	 <p>930 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Gipsputz (Gips-Kalk-Putz), 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 580,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 300,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>
Kelleraußenwände Menge: 481,85 m <sup>2</sup>	 <p>1011 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 680,00mm</li> <li>3. XPS-Dämmstoff, 300,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> <li>5. PE-Noppenfolie zur Abdichtung, 1,25mm</li> </ol>
Außenfenster Menge: 828,75 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
Innenwände (zum unbeheizten Keller) Menge: 292,48 m <sup>2</sup>	 <p>890 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Innenwandbereich, 570,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 300,00mm</li> <li>4. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>



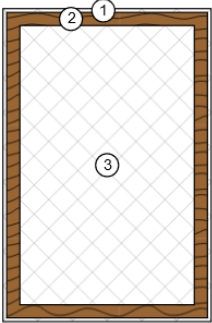
<p>Oberste Geschossdecke Menge: 1.160,78 m<sup>2</sup></p>	 <p>783 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 9,50mm</i></li> <li>2. <i>eLCA Luftschrift, 120,00mm</i></li> <li>3. <i>Aluminium Profil (2005), 3,00mm</i></li> <li>4. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 150,00mm</i></li> <li>5. <i>eLCA Luftschrift, 150,00mm</i></li> <li>6. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 200,00mm</i></li> <li>7. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 300,00mm</i></li> </ol>
<p>Kellerdecke Menge: 1.149,64 m<sup>2</sup></p>	 <p>660 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</i></li> <li>2. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 300,00mm</i></li> <li>3. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 330,00mm</i></li> <li>4. <i>Kalk-Innenputz, 20,00mm</i></li> </ol>

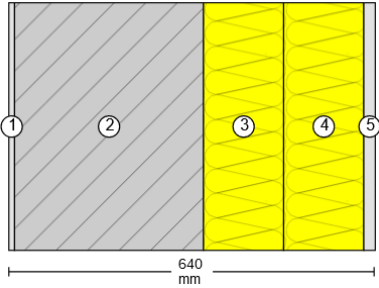
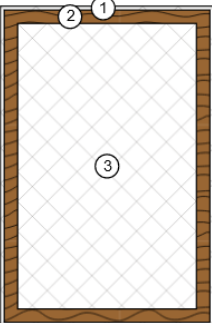
Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

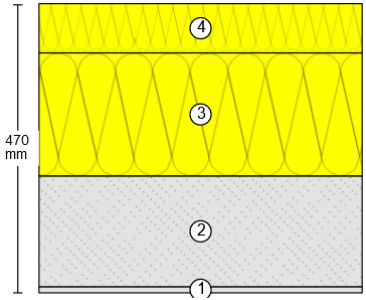
### 16.2.3 Sporthalle 027-02

Bilanzierungszeitraum: 50 Jahre

Bezugsfläche (NGF): 734,78 m<sup>2</sup>

KfW Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Außenfenster Menge: 120,47 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Holz-Blendrahmen</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>

Passivhaus Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Tragende Außenwände Menge: 463,65 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 330,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 140,00mm</li> <li>4. Mineralwolle (Steinwolle), 140,00mm</li> <li>5. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>
Außenfenster Menge: 120,47 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Holz-Blendrahmen</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>

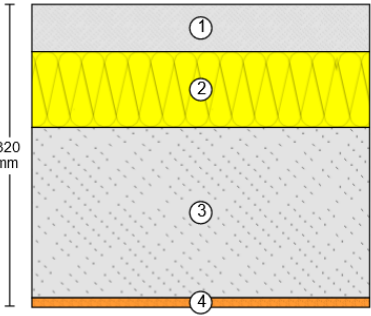
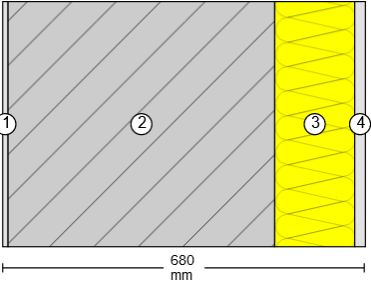
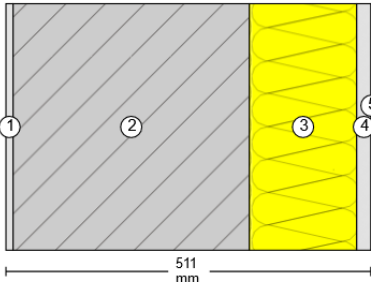
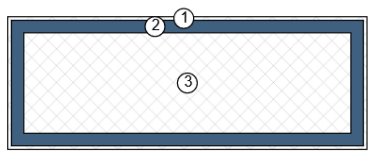
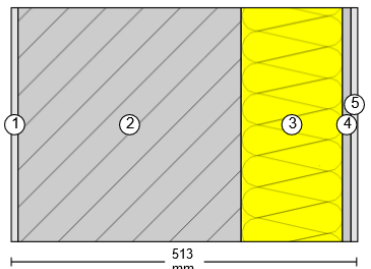
<p>Oberste Geschossdecke Menge: 427,63 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</i></li> <li>2. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</i></li> <li>3. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 200,00mm</i></li> <li>4. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 80,00mm</i></li> </ol>
--	---	---

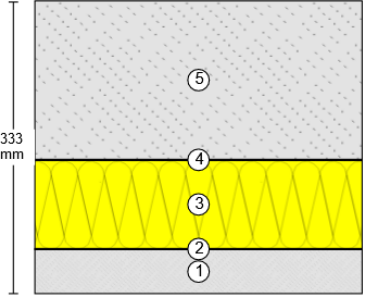
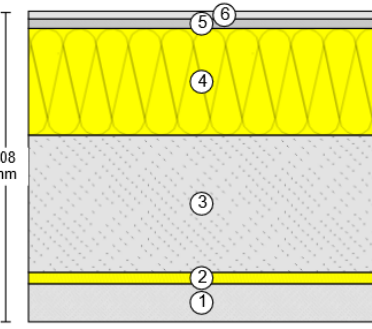
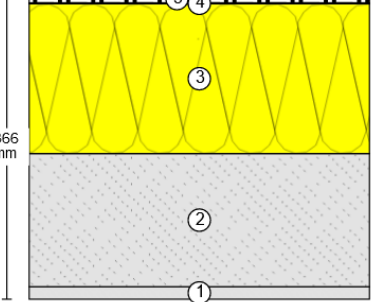
Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

## 16.2.4 Sporthalle 028-02

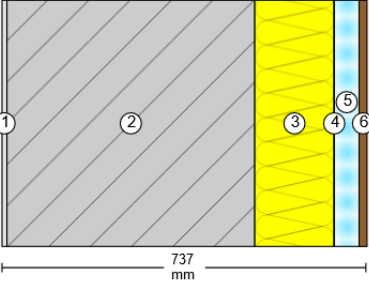
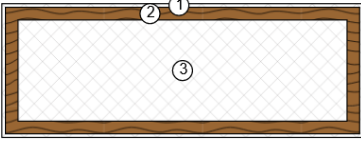
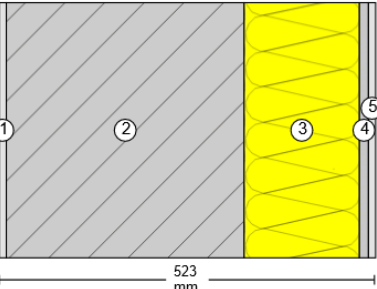
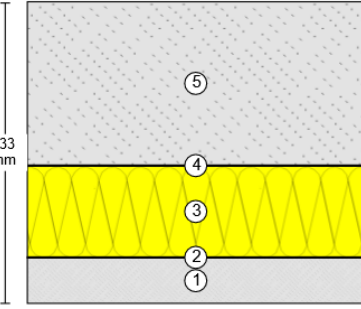
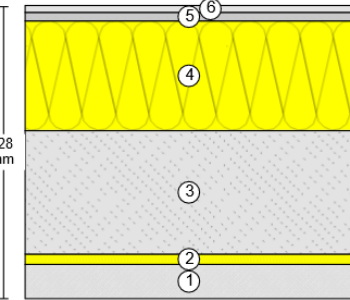
Bilanzierungszeitraum: 50 Jahre

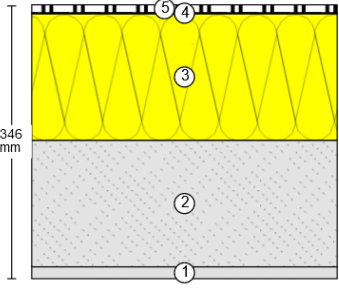
Bezugsfläche (NGF): 691,28 m<sup>2</sup>

KfW Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Bodenplatte (Kellerboden) Menge: 30,99 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. XPS-Dämmstoff, 80,00mm</li> <li>3. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</i></li> <li>4. <i>Sand 0/2, 20,00mm</i></li> </ol>
Tragende Außenwände Menge: 310,67 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</i></li> <li>2. <i>Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 500,00mm</i></li> <li>3. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 150,00mm</i></li> <li>4. <i>Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</i></li> </ol>
Kelleraußenwände Menge: 35,39 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</i></li> <li>2. <i>Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 330,00mm</i></li> <li>3. <i>XPS-Dämmstoff, 150,00mm</i></li> <li>4. <i>Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</i></li> <li>5. <i>PE-Noppenfolie zur Abdichtung, 1,25mm</i></li> </ol>
Außenfenster Menge: 27,88 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
Innenwände (zum unbeheizten Keller) Menge: 12,23 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</i></li> <li>2. <i>Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Innenwandbereich, 330,00mm</i></li> <li>3. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 150,00mm</i></li> <li>4. <i>4Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</i></li> <li>5. <i>Kalk-Innenputz, 20,00mm</i></li> </ol>

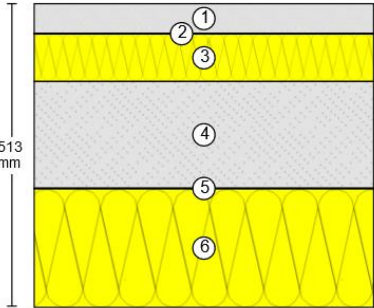
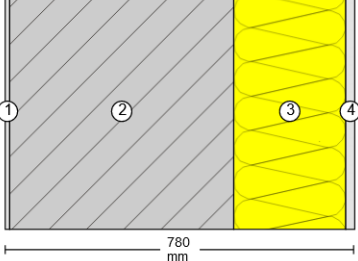
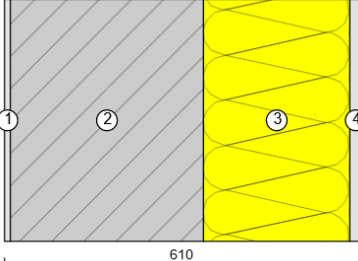
<p>Fußboden Menge: 439,22 m<sup>2</sup></p>	 <p>333 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>3. XPS-Dämmstoff, 100,00mm</li> <li>4. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>5. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</i></li> </ol>
<p>Kellerdecke Menge: 403,59 m<sup>2</sup></p>	 <p>408 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</i></li> <li>2. <i>EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040, 15,00mm</i></li> <li>3. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</i></li> <li>4. Mineralwolle (Steinwolle), 140,00mm</li> <li>5. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>6. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>
<p>Flachdach Menge: 793,04 m<sup>2</sup></p>	 <p>366 mm</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 15,00mm</i></li> <li>2. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 160,00mm</i></li> <li>3. <i>EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 180,00mm</i></li> <li>4. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>5. Bitumenbahnen G 200 S4, 10,00mm</li> </ol>

Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

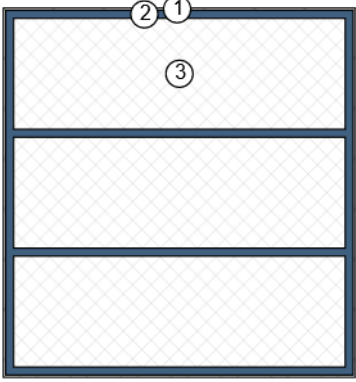
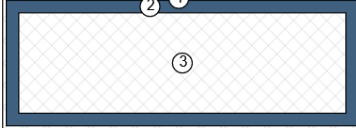
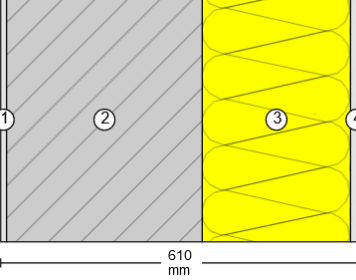
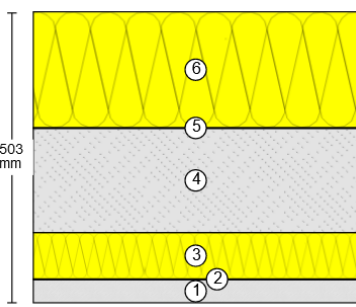
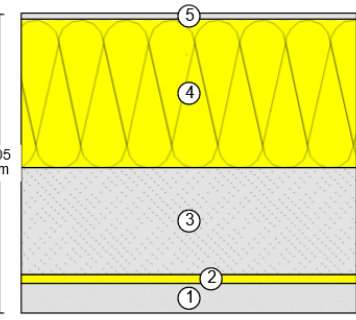
Öko Variante		
Bauteil	Konstruktion	Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)
Tragende Außenwände Menge: 310,67 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 500,00mm</li> <li>3. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>4. Unterspannbahn PUR auf PET-Vlies, 0,50mm</li> <li>5. eLCA Luftschicht, 50,00mm</li> <li>6. Faserzementplatte, 11,00mm</li> </ol>
Außenfenster Menge: 27,88 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Holz-Blendrahmen</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
Innenwände (zum unbeheizten Keller) Menge: 12,23 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Innenwandbereich, 330,00mm</li> <li>3. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>4. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>5. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>
Fußboden Menge: 439,22 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>3. Thermofloc, 100,00mm</li> <li>4. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>5. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> </ol>
Kellerdecke Menge: 403,59 m <sup>2</sup>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040, 15,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>5. Knauf - Gipskartonplatten GKB - Bauplatte 12,5 mm (680 kg/m<sup>3</sup> u. 8,5 kg/m<sup>2</sup>), 12,50mm</li> <li>6. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>

<p>Flachdach Menge: 793,04 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 15,00mm</li> <li>2. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 160,00mm</li> <li>3. Thermofloc, 160,00mm</li> <li>4. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>5. Bitumenbahnen G 200 S4, 10,00mm</li> </ol>
--	---	---

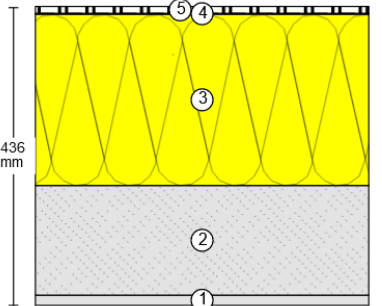
Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

<b>Passivhaus Variante</b>		
<b>Bauteil</b>	<b>Konstruktion</b>	<b>Schichtenaufbau (von Innen nach Außen)</b>
<p>Bodenplatte (Kellerboden) Menge: 30,99 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>3. EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 80,00mm</li> <li>4. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>5. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>6. EPS-Hartschaum (Styropor ®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 200,00mm</li> </ol>
<p>Tragende Außenwände Menge: 310,67 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 500,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 250,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>
<p>Kelleraußenwände Menge: 35,39 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Außenwandbereich, 330,00mm</li> <li>3. XPS-Dämmstoff, 250,00mm</li> <li>4. Putzmörtel-Armierungsputz, 20,00mm</li> </ol>



<p>Außenfenster (Hallenfenster) Menge: 77,12 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
<p>Außenfenster Menge: 27,88 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anschlussfuge: Elastomer Fugenbänder, Polyurethan</li> <li>2. Blendrahmen: Aluminium-Flügelrahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet</li> <li>3. Verglasung: Dreifachverglasung</li> </ol>
<p>Innenwände (zum unbeheizten Keller) Menge: 12,23 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> <li>2. Mauersteine aus Leichtbeton aus natürlichem Zuschlag und Zumischung von industriell hergestelltem Zuschlag - Innenwandbereich, 330,00mm</li> <li>3. Mineralwolle (Steinwolle), 250,00mm</li> <li>4. Kalk-Innenputz, 20,00mm</li> </ol>
<p>Fußboden Menge: 439,22 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 40,00mm</li> <li>2. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>3. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 80,00mm</li> <li>4. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>5. PE/PP Vlies, 1,26mm</li> <li>6. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 200,00mm</li> </ol>
<p>Kellerdecke Menge: 403,59 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Estrichmörtel-Zementestrich, 50,00mm</li> <li>2. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-040, 15,00mm</li> <li>3. Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 180,00mm</li> <li>4. EPS-Hartschaum (Styropor®) für Decken/Böden und als Perimeterdämmung B/P-035, 250,00mm</li> <li>5. Kalk-Gips-Innenputz, 10,00mm</li> </ol>



<p>Flachdach Menge: 793,04 m<sup>2</sup></p>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Kalk-Gips-Innenputz, 15,00mm</i></li> <li>2. <i>Beton der Druckfestigkeitsklasse C 25/30, 160,00mm</i></li> <li>3. <i>Mineralwolle (Steinwolle), 250,00mm</i></li> <li>4. <i>PE/PP Vlies, 1,26mm</i></li> <li>5. <i>Bitumenbahnen G 200 S4, 10,00mm</i></li> </ol>
--	---	---

Bestandsbauteile, die für die Bilanzierung nicht relevant sind, wurden in grauer Kursivschrift dargestellt.

## 16.3 PV-Berechnung

### 16.3.1 Unsanierete Gebäude

Tabelle 52 gibt eine Übersicht über die betrachteten Anlagenkonfigurationen.

Bezeichnung Variante	Einheit	Unsanierete Gebäude				
		V0 Ist-Zustand	V1.1 FW+ PV 100	V1.2 FW+ PV 100+ Batterie	V1.3 FW+ PV 123	V1.4 FW+ PV 123+ Batterie
Gebäudezustand		unsaniert				
Wärmeerzeuger		Fernwärme				
Solarthermie	[m <sup>2</sup> ]	0				
Photovoltaik	[kW <sub>p</sub> ]	0	99,9	99,9	123,4	123,4
Dachbelegung		--	3 Dächer	3 Dächer	3 Dächer	3 Dächer
elektr. Batteriespeicher	[kWh]	--	--	48	--	48
NGF	[m <sup>2</sup> ]	8.951	8.951	8.951	8.951	8.951
Heizlast	[kW]	562				
Leistung Wärmeerzeuger	[kW]	650				
JAZ WP	[--]	--	--	--	--	--
Wärmespeicher	[l]	750				
Wärmebedarf insgesamt (Heizung + Warmwasser)	[kWh/a]	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874
Bedarfsdeckung über Fernwärme	[kWh/a]	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874
Bedarfsdeckung über Solarthermie	[kWh/a]	0	0	0	0	0
elektr. Erzeugung (WP, Heizstab) (Bedarfsdeckung über WP)	[kWh/a]	0	0	0	0	0
Strombedarf gesamt		132.714	132.714	132.714	132.714	132.714
Strombezug Netz		132.714	88.706	78.350	85.264	73.994
Strombezug PV		0	44.008	54.364	47.450	58.720
Stromerzeugung	[kWh/a]	0	93.417	93.417	116.189	116.189
spezifischer Ertrag PV	[kWh/kW <sub>p</sub> ]	0	932	932	940	940
Anlagennutzungsgrad (PR)	[%]	0	87,8	87,8	87,7	87,7
solarer Deckungsanteil	[%]	0	33,1	39,8	35,7	43,0
Eigenverbrauchsanteil	[%]	0	47,0	58,1	40,8	50,5
Einspeisung	[kWh/a]	0	49.409	39.053	68.739	57.469
jährliche elektr. Speichermenge	[kWh/a]	0	0	10.243	0	10.243
Gesamtinvestitionen Energiesystem inkl. Planung	[€]	0	151.049	197.129	186.581	232.661
Investition Photovoltaik	[€]	0	125.874	125.874	155.484	155.484
Investition Wärmepumpe	[€]	0	0	0	0	0

Investition elektr. Batteriespeicher	[€]	0	0	38.400	0	38.400
jährliche Energiekosten im ersten Jahr	[€/a]	101.523	91.526	90.854	90.479	89.624
jährliche Wärmekosten im ersten Jahr	[€/a]	77.771	77.771	77.771	77.771	77.771
jährliche Stromkosten im ersten Jahr	[€/a]	23.752	13.755	13.083	12.707	11.853
Stromgestehungskosten PV	[€/kWh]	--	0,09	0,12	0,09	0,11
Amortisationsdauer PV-Anlage im Betrachtungszeitraum	[a]	--	15,8	> 20	> 20	> 20
mittlere Energiekosten über Betrachtungszeitraum	[€/a]	126.191	113.765	112.929	112.462	111.400

Tabelle 52: Anlagenkonfiguration in den untersuchten Varianten unsaniert

## 16.3.2 Ökologisch sanierte Gebäude

Tabelle 53 gibt eine Übersicht über die betrachteten Anlagenkonfigurationen.

Bezeichnung Variante	Einheit	Ökologische Variante				
		V3.1 Öko FW	V3.2 Öko FW+ PV 100	V3.3 Öko FW+ PV 100+ Batterie	V3.3 Öko FW+ PV 123	V3.4 Öko FW+ PV 123+ Batterie
Gebäudezustand		Ökologisch saniert				
Wärmeerzeuger		Fernwärme				
Solarthermie	[m <sup>2</sup> ]	54				
Photovoltaik	[kW <sub>p</sub> ]	0	99,9	99,9	123,4	123,4
Dachbelegung		--	4 Dächer	3 Dächer	3 Dächer	3 Dächer
elektr. Batteriespeicher	[kWh]	--	--	48	--	48
NGF	[m <sup>2</sup> ]	8.951	8.951	8.951	8.951	8.951
Heizlast	[kW]	500				
Leistung Wärmeerzeuger	[kW]	500				
JAZ WP	[--]	--	--	--	--	--
Wärmespeicher	[l]	750				
Wärmebedarf insgesamt (Heizung + Warmwasser)	[kWh/a]	1.267.874	691.921	691.921	691.921	691.921
Bedarfsdeckung über Fernwärme	[kWh/a]	1.240.874	664.921	664.921	664.921	664.921
Bedarfsdeckung über Solarthermie	[kWh/a]	27.000	27.000	27.000	27.000	27.000
elektr. Erzeugung (WP, Heizstab) (Bedarfsdeckung über WP)	[kWh/a]	0	0	0	0	0
Strombedarf gesamt	[kWh/a]	73.802	73.802	73.802	73.802	73.802
Strombezug Netz	[kWh/a]	73.802	44.232	32.218	42.644	29.757
Strombezug PV	[kWh/a]	0	29.570	41.584	31.158	44.045
Stromerzeugung	[kWh/a]	0	93.417	93.417	116.189	116.189
spezifischer Ertrag PV	[kWh/kW <sub>p</sub> ]	0	932	932	940	940
Anlagennutzungsgrad (PR)	[%]	0	87,8	87,8	87,7	87,7
solarer Deckungsanteil	[%]	0	39,9	53,9	42,2	57,1
Eigenverbrauchsanteil	[%]	0	31,5	44,4	26,7	37,8
Einspeisung	[kWh/a]	0	63.846	51.827	85.028	57.469
jährliche elektr. Speichermenge	[kWh/a]	0	0	10.338	0	12.911
Gesamtinvestitionen Energiesystem inkl. Planung	[€]	48.600	199.649	245.729	235.181	281.261
Investition Photovoltaik	[€]	0	125.874	125.874	155.484	155.484
Investition Solarthermie	[€]	40.500	40.500	40.500	40.500	40.500

Investition elektr. Batteriespeicher	[€]	0	0	38.400	0	38.400
jährliche Energiekosten im ersten Jahr	[€/a]	90.980	46.896	45.854	46.207	43.126
jährliche Wärmekosten im ersten Jahr	[€/a]	77.771	42.442	42.442	42.442	42.442
jährliche Stromkosten im ersten Jahr	[€/a]	13.208	4.454	3.412	3.765	684
Stromgestehungskosten PV	[€/kWh]	--	0,09	0,12	0,09	0,11
Amortisationsdauer PV-Anlage im Betrachtungszeitraum	[a]	--	19,0	> 20	> 20	> 20
mittlere Energiekosten über Betrachtungszeitraum	[€/a]	113.085	58.291	56.995	57.435	53.605

Tabelle 53: Anlagenkonfiguration in den untersuchten Varianten Passivhaus

### 16.3.3 Energetisch sanierte Gebäude (Passivhaus)

Tabelle 53 gibt eine Übersicht über die betrachteten Anlagenkonfigurationen.

Bezeichnung Variante	Einheit	Passivhaus mit Wärmepumpe				
		V5.1 PV 100+ Sol. Thermie	V5.2 PV 100+ Sol. Thermie	V5.3 PV 100+ Sol. Thermie+ Batterie	V5.4 PV 123+ Sol. Thermie	V5.5 PV 123+ Sol. Thermie+ Batterie
Gebäudezustand		Passivhaus				
Wärmeerzeuger		Wärmepumpe und Solarthermie				
Solarthermie	[m <sup>2</sup> ]	54				
Photovoltaik	[kW <sub>p</sub> ]	99,9	99,9	99,9	123,4	123,4
Dachbelegung		3 Dächer	4 Dächer	3 Dächer	3 Dächer	3 Dächer
elektr. Batteriespeicher	[kWh]	--	--	48	--	48
NGF	[m <sup>2</sup> ]	8.951	8.951	8.951	8.951	8.951
Heizlast	[kW]	168				
Leistung Wärmeerzeuger	[kW]	650	650	650	650	650
JAZ WP	[--]	--	--	--	--	--
Wärmespeicher	[l]	750	750	750	750	750
Wärmebedarf insgesamt (Heizung + Warmwasser)	[kWh/a]	244.949	244.949	244.949	244.949	244.949
Bedarfsdeckung über Fernwärme	[kWh/a]	0	0	0	0	0
Bedarfsdeckung über Solarthermie	[kWh/a]	27.000	27.000	27.000	27.000	27.000
elektr. Erzeugung (WP, Heizstab) (Bedarfsdeckung über WP)	[kWh/a]	217.949	217.949	217.949	217.949	217.949
Strombedarf gesamt	[kWh/a]	236.022	236.022	236.022	236.022	236.022
Strombezug Netz	[kWh/a]	179.923	180.937	171.101	174.813	164.570
Strombezug PV	[kWh/a]	56.099	55.085	64.921	61.209	71.452
Stromerzeugung	[kWh/a]	94.838	93.266	93.417	116.189	116.189
spezifischer Ertrag PV	[kWh/kW <sub>p</sub> ]	948	932	932	940	940
Anlagennutzungsgrad (PR)	[%]	89,3	86,6	87,8	87,7	87,7
solarer Deckungsanteil	[%]	22,9	22,5	28,9	24,9	31,8
Eigenverbrauchsanteil	[%]	59,1	59,0	69,5	52,6	61,5
Einspeisung	[kWh/a]	38.739	38.181	28.496	54.980	44.737
jährliche elektr. Speichermenge	[kWh/a]	0	0	10.243	0	10.243
Gesamtinvestitionen Energiesystem inkl. Planung	[€]	480.450	480.450	526.530	515.981	562.061
Investition Photovoltaik	[€]	125.874	125.874	125.874	155.484	155.484
Investition Wärmepumpe	[€]	234.000	234.000	234.000	234.000	234.000

Investition elektr. Batteriespeicher	[€]	0	0	38.400	0	38.400
jährliche Energiekosten im ersten Jahr	[€/a]	31.051	31.245	30.421	29.794	28.850
jährliche Wärmekosten im ersten Jahr	[€/a]	0	0	0	0	0
jährliche Stromkosten im ersten Jahr	[€/a]	31.051	31.245	30.421	29.794	28.850
Stromgestehungskosten PV	[€/kWh]	0,09	0,09	0,12	0,09	0,11
Amortisationsdauer PV-Anlage im Betrachtungszeitraum	[a]	13,5	13,8	> 20	> 20	> 20
mittlere Energiekosten über Betrachtungszeitraum	[€/a]	38.596	38.837	37.813	37.033	35.860

Tabelle 54: Anlagenkonfiguration in den untersuchten Varianten Passivhaus

## 16.3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Variante	Unsanierete Gebäude mit Fernwärme					Passivhaus mit Wärmepumpe				
	V0 Istzustand	V1.1 PV 100	V1.2 PV 100+ Batterie	V1.3 PV 123	V1.4 PV 123+ Batterie	V5.1 PV 100+ Sol. Thermie	V5.2 PV 100+ Sol. Thermie	V5.3 PV 100+ Sol. Thermie + Batterie	V5.4 PV 123+ Sol. Thermie	V5.5 PV 123 + Sol. Thermie + Batterie
<b>Bedarf (kWh/a)</b>										
Wärme	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	244.949	244.949	244.949	244.949	244.949
Allgemeinstrom	132.714	132.714	132.714	132.714	132.714	188.248	188.248	188.248	188.248	188.248
<b>Energiebezug (kWh/a) Brennwertbezogen</b>										
Fernwärme	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	0	0	0	0	0
Strom Wärmeerzeugung	0	0	0	0	0	63.190	63.190	63.190	63.190	63.190
Allgemeinstrom	132.714	88.786	79.894	85.335	75.647	145.139	145.892	133.879	141.374	128.409
<b>Energiekosten (€/a)</b>										
Fernwärme	77.771 €	77.771 €	77.771 €	77.771 €	77.771 €	- €	- €	- €	- €	- €
Strom Wärmeerzeugung	- €	- €	- €	- €	- €	11.622 €	11.622 €	11.622 €	11.622 €	11.622 €
Allgemeinstrom	23.815 €	16.111 €	14.552 €	15.506 €	13.807 €	25.994 €	26.126 €	24.019 €	25.334 €	23.060 €
<b>Sonstige Kosten (€/a)</b>										
EEG-Umlage Eigenverbrauch PV	- €	1.142 €	1.373 €	1.232 €	1.484 €	1.121 €	1.101 €	1.414 €	1.219 €	1.556 €
<b>Betriebsgebundene Kosten (€/a)</b>										
	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €					
<b>Erlöse (€/a)</b>										
Vergütung PV Einspeisung	- €	3.259 €	2.670 €	1.825 €	1.567 €	3.420 €	3.364 €	2.567 €	1.838 €	1.494 €
<b>Annuitäten (€/a)</b>										
kapitalgebundene Kosten	- €	5.070 €	7.198 €	6.262 €	8.390 €	19.668 €	19.668 €	21.796 €	20.861 €	22.989 €
betriebsgebundene Kosten	579 €	2.037 €	2.482 €	2.380 €	2.825 €	8.702 €	8.702 €	9.147 €	9.045 €	9.490 €
sonstige Kosten (inkl. Emissionskosten durch CO <sub>2</sub> -Preis)	12.771 €	11.385 €	11.740 €	10.749 €	11.136 €	4.535 €	4.559 €	5.039 €	3.966 €	4.484 €
bedarfs- (verbrauchs-)gebundene Kosten - Wärme	90.075 €	90.075 €	90.075 €	90.075 €	90.075 €	- €	- €	- €	- €	- €
bedarfs- (verbrauchs-)gebundene Kosten - Strom	27.583 €	18.660 €	16.854 €	17.959 €	15.991 €	43.567 €	43.720 €	41.280 €	42.803 €	40.169 €
Erlöse - Strom	- €	3.775 €	3.092 €	2.113 €	1.815 €	3.961 €	3.896 €	2.973 €	2.129 €	1.730 €
<b>Gesamtannuität</b>	<b>131.008 €</b>	<b>123.453 €</b>	<b>125.257 €</b>	<b>125.312 €</b>	<b>126.602 €</b>	<b>72.513 €</b>	<b>72.754 €</b>	<b>74.290 €</b>	<b>74.546 €</b>	<b>75.402 €</b>
Kosten durch CO <sub>2</sub> -Emissionen	11.026 €	8.688 €	8.763 €	8.049 €	8.131 €	2.795 €	2.835 €	2.937 €	2.205 €	2.315 €

Tabelle 55: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten (I)



Variante	Unsanierete Gebäude mit Fernwärme					Ökologische Variante				
	V0 Istzustand	V1.1 PV 100	V1.2 PV 100+ Batterie	V1.3 PV 123	V1.4 PV 123+ Batterie	V3 Öko FW	V3.1 Öko FW+ PV 100	V3.2 Öko FW+ PV 100+ Batterie	V3.3 Öko FW+ PV 123	V3.4 Öko FW+ PV 123+ Batterie
<b>Bedarf (kWh/a)</b>										
Wärme	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	691.921	691.921	691.921	691.921	691.921
Allgemeinstrom	132.714	132.714	132.714	132.714	132.714	73.802	73.802	73.802	73.802	73.802
<b>Energiebezug (kWh/a) Brennwertbezogen</b>										
Fernwärme	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	1.267.874	664.921	664.921	664.921	664.921	664.921
Strom Wärmeerzeugung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Allgemeinstrom	132.714	88.786	79.894	85.335	75.647	73.802	44.355	44.429	47.455	42.067
<b>Energiekosten (€/a)</b>										
Fernwärme	77.771 €	77.771 €	77.771 €	77.771 €	77.771 €	40.786 €	40.786 €	40.786 €	40.786 €	40.786 €
Strom Wärmeerzeugung	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Allgemeinstrom	23.815 €	16.111 €	14.552 €	15.506 €	13.807 €	13.483 €	8.319 €	8.332 €	8.863 €	7.918 €
<b>Sonstige Kosten (€/a)</b>										
EEG-Umlage Eigenverbrauch PV	- €	1.142 €	1.373 €	1.232 €	1.484 €	- €	766 €	764 €	685 €	825 €
<b>Betriebsgebundene Kosten (€/a)</b>										
	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €	500 €
<b>Erlöse (€/a)</b>										
Vergütung PV Einspeisung	- €	3.259 €	2.670 €	1.825 €	1.567 €	- €	4.219 €	4.224 €	4.934 €	4.637 €
<b>Annuitäten (€/a)</b>										
kapitalgebundene Kosten	- €	5.070 €	7.198 €	6.262 €	8.390 €	1.631 €	6.701 €	8.829 €	7.894 €	10.022 €
betriebsgebundene Kosten	579 €	2.037 €	2.482 €	2.380 €	2.825 €	1.048 €	2.506 €	2.951 €	2.849 €	3.294 €
sonstige Kosten (inkl. Emissionskosten durch CO2-Preis)	12.771 €	11.385 €	11.740 €	10.749 €	11.136 €	6.798 €	4.834 €	4.831 €	3.935 €	4.151 €
bedarfs- (verbrauchs-)gebundene Kosten - Wärme	90.075 €	90.075 €	90.075 €	90.075 €	90.075 €	47.239 €	47.239 €	47.239 €	47.239 €	47.239 €
bedarfs- (verbrauchs-)gebundene Kosten - Strom	27.583 €	18.660 €	16.854 €	17.959 €	15.991 €	15.617 €	9.636 €	9.651 €	10.265 €	9.171 €
Erlöse - Strom	- €	3.775 €	3.092 €	2.113 €	1.815 €	- €	4.887 €	4.892 €	5.714 €	5.371 €
<b>Gesamtannuität</b>	<b>131.008 €</b>	<b>123.453 €</b>	<b>125.257 €</b>	<b>125.312 €</b>	<b>126.602 €</b>	<b>72.333 €</b>	<b>66.029 €</b>	<b>68.608 €</b>	<b>66.468 €</b>	<b>68.505 €</b>
Kosten durch CO2-Emissionen	11.026 €	8.688 €	8.763 €	8.049 €	8.131 €	5.869 €	3.408 €	3.407 €	2.713 €	2.759 €

Tabelle 56: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten (II)

## 16.3.5 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Variante	Unsanierete Gebäude mit Fernwärme					Passivhaus mit Wärmepumpe				
	V0 Istzustand	V1.1 PV 100	V1.2 PV 100+ Batterie	V2.1 PV 123	V2.2 PV 123+ Batterie	V5.1 PV 100+ Sol. Thermie	V5.2 PV 100+ Sol. Thermie	V5.3 PV 100+ Sol. Thermie + Batterie	V5.4 PV 123+ Sol. Thermie	V5.5 PV 123 + Sol. Thermie + Batterie
<b>Emissionen (kg/a)</b>										
Fernwärme	380.362	380.362	380.362	380.362	380.362	0	0	0	0	0
Strom Wärmeerzeugung	0	0	0	0	0	35.386	35.386	35.386	35.386	35.386
Hilfs- und Allgemeinstrom	74.320	49.720	44.741	47.788	42.362	81.278	81.700	74.972	79.170	71.909
Verdrängungsstrom durch Einspeisung	0	-42.284	-34.637	-59.056	-50.725	-44.365	-43.645	-33.305	-59.491	-48.341
<b>Gesamtemissionen</b>	<b>454.682</b>	<b>387.798</b>	<b>390.466</b>	<b>369.094</b>	<b>372.000</b>	<b>72.299</b>	<b>73.441</b>	<b>77.054</b>	<b>55.065</b>	<b>58.955</b>

Tabelle 57: Emissionen der untersuchten Varianten (I)

Variante	Unsanierete Gebäude mit Fernwärme					Ökologische Variante				
	V0 Istzustand	V1.1 PV 100	V1.2 PV 100+ Batterie	V2.1 PV 123	V2.2 PV 123+ Batterie	V3 Öko FW	V3.1 Öko FW+ PV 100	V3.2 Öko FW+ PV 100+ Batterie	V3.3 Öko FW+ PV 123	V3.4 Öko FW+ PV 123+ Batterie
<b>Emissionen (kg/a)</b>										
Fernwärme	380.362	380.362	380.362	380.362	380.362	199.476	199.476	199.476	199.476	199.476
Strom Wärmeerzeugung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hilfs- und Allgemeinstrom	74.320	49.720	44.741	47.788	42.362	41.329	24.839	24.880	26.575	23.558
Verdrängungsstrom durch Einspeisung	0	-42.284	-34.637	-59.056	-50.725	0	-54.738	-54.801	-77.144	-72.510
<b>Gesamtemissionen</b>	<b>454.682</b>	<b>387.798</b>	<b>390.466</b>	<b>369.094</b>	<b>372.000</b>	<b>240.805</b>	<b>169.577</b>	<b>169.555</b>	<b>148.907</b>	<b>150.524</b>

Tabelle 58: Emissionen der untersuchten Varianten (II)

## 16.4 Datensätze für die ökologische Bewertung der Dämmstoffe

### 16.4.1 EPS-Hartschaum

EPS-Hartschaum ist ein fester Dämmstoff mit Zellstruktur, der aus verschweißtem, geblähtem Polystyrol oder einem seiner Co-Polymere hergestellt wird. Er hat eine geschlossenzellige, mit Luft gefüllte Struktur (98 % Luft). EPS-Platten sind harte Dämmstoffprodukte (geschnitten, geformt oder kontinuierlich geschäumt) mit rechteckiger Form. Die Plattenkanten können mit Stufenfalz oder Nut und Feder ausgestattet sein.

EPS als loser Füllstoff wird in Form luftgefüllter Perlen (Ø ca. 6 mm) werkmäßig hergestellt. Diese Umwelt-Produktdeklaration betrachtet den homogenen EPS-Dämmstoff ohne Materialkombination zu Verbundplatten oder kaschierten Dämmplatten.

Wesentliche kennzeichnende Eigenschaften sind die Wärmeleitfähigkeit, die Druckfestigkeit und die Schalldämmung.

EPS-Hartschaum/ Styropor mit dem Flammschutzmittel Polymer-FR ist ein fester, HBCD-freier Dämmstoff mit Zellstruktur, der aus verschweißtem, geblähtem Polystyrol oder einem seiner Co-Polymere hergestellt wird. Er hat eine geschlossenzellige, mit Luft gefüllte Struktur (98 % Luft). EPS-Platten sind harte Dämmstoffprodukte (geschnitten, geformt oder kontinuierlich geschäumt) mit rechteckiger Form. Die Plattenkanten können mit Stufenfalz oder Nut und Feder ausgestattet sein. EPS als loser Füllstoff wird in Form luftgefüllter Perlen (Ø ca. 6 mm) werkmäßig hergestellt.

#### Deklarierte Einheit:

Die deklarierte Einheit ist 1m<sup>3</sup> expandierter, unverpackter Polystyrol-Hartschaum mit Polymer-FR als Flammschutzmittel. Die durchschnittliche Rohdichte beträgt 22,7 kg/m<sup>3</sup>.

Die gemittelte Rohdichte für die Produktgruppe ergibt sich aus der Aufteilung der Herstellerdaten für die einzelnen Rohdichten und der Zusammenführung mittels Anwendungsbereiche und Marktanteilen der berücksichtigten Unternehmen.

Die Deklaration ist DIN EN 15804 und ISO 14025 konform.

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Beseitigung C4	Recyclingpotential D
Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	59,5	0,833	75,2	-39,6

## 16.4.2 Holzfaserdämmplatten

Die Deklaration gilt für die im Trockenverfahren hergestellten Holzfaserdämmplatten, die von der Firma GUTEX am Standort Waldshut-Tiengen hergestellt werden.

Die Umweltproduktdeklaration bezieht sich auf das Produktstadium (Modul A1-A3, inklusive Rohstoffbereitstellung, Transport, Herstellung und Verpackungsmaterialien). Darüber hinaus wurde auch ein End-of-Life-Szenario (Modul D) berechnet: die Verbrennung in einem Biomassekraftwerk mit Energierückgewinnung. Die Verwertung der Verpackungsmaterialien ist nicht berücksichtigt, da Modul A5 nicht deklariert wird.

Sowohl im Neu- als auch im Altbau können die GUTEX Dämmstoffe eingesetzt werden: als Wärmedämmverbundsystem für die komplette Hausfassade, Wanddämmung für die hinterlüftete Fassade, Aufdach- und oder Gefachdämmung zuzüglich Unterdeckung im Dach, Dämmung von Geschossdecken, Innendämmung der Außenwand, Dämmung der Installationsebene und Trittschalldämmung für Fußböden.

GUTEX Holzfaserplatten sind plattenförmige Holzwerkstoffe, die nach /DIN EN 13171/ aus Holzfasern hergestellt werden.

Im Trockenverfahren werden aus Holzfasern unter Zugabe geringer Mengen PUR-Harz Dämmplatten gefertigt, diese werden am Ende online aufgeteilt, gegebenenfalls profiliert und konfektioniert. Es können hydrophobierte und nicht hydrophobierte einschichtige Dämmplatten bis zu 240 mm hergestellt werden.

Der Herstellungsprozess gliedert sich in folgende Prozessschritte: 1. Anlieferung der Hackschnitzel 2. Zerkleinern der Hackschnitzel mit Hilfe des Defibratorverfahrens 3. Hydrophobierung der Fasern mit Paraffin 4. Faserrocknung im Stromtrockner 5. Beleimung der Faser mit PUR Harz 6. Streuung der Fasern auf das Formband zu einer Matte 7. Aushärtung der Matte in der Kalibrier- und Aushärteeinheit 8. Aufteilen, Profilieren und Konfektionieren.

### Deklarierte Einheit:

Die zugrundeliegende deklarierte Einheit ist 1 m<sup>3</sup> Holzfaserdämmplatte mit einer nach Produktionsmengen (m<sup>3</sup>/Jahr) gewichteten mittleren Dichte von 173 kg/m<sup>3</sup>.

Die Deklaration ist DIN EN 15804 und ISO 14025 konform.

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Abfallbehandlung C3	Recyclingpotential D
Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	-164	271,1	-255,7

### 16.4.3 Mineralwolle (Steinwolle)

Die Definition von Mineralwolle (Stein- bzw. Glaswolle) nach /EU-Richtlinie 67/69/EG/ sowie deutschem Gefahrstoffrecht (/Chem-VerbotsV/, /GefStoffV/) lautet:

Künstliche Mineralfasern, die aus ungerichteten glasigen (Silikat-) Fasern mit einem Massengehalt von über 18 % an Oxiden von Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium und Barium bestehen.

Steinwolle-Dämmstoff ist ein Faserdämmstoff. Wesentlicher Bestandteil sind Steinwolle-Dämmstofffasern, monophile künstliche Mineralfasern nicht kristalliner Struktur, die aus einer silikatischen Schmelze gewonnen werden. Der mittlere Faserdurchmesser beträgt 3–6 µm. Die Länge der Fasern kann bis zu einigen Zentimetern betragen.

Die in dieser Deklaration beschriebenen kunstharzgebundenen Stein-wolle-Dämmstoffe werden in Form von Platten, Matten oder Rollen im mittleren Rohdichtebereich (61 bis 120 kg/m<sup>3</sup>) hergestellt. Die Produkte werden in Dicken zwischen 20 mm und 350 mm geliefert, beispielsweise als druckfeste Platten, trittfeste zweischichtige Platten oder hochkomprimierbare Filze und Rollen.

Die unkaschierten bzw. unbeschichteten Steinwolleprodukte weisen keine Unterschiede hinsichtlich des Herstellprozesses bzw. der Herstellungstechnologie auf. Für bestimmte Anwendungsbereiche werden die Dämmstoffe ein- oder zweiseitig mit einer Funktionskaschierung versehen.

**Deklarierte Einheit:**

Die zugrundeliegende deklarierte Einheit ist 1 m<sup>3</sup> Steinwollewolle mit einer Rohdichte von 94 kg/m<sup>3</sup>.

Die Deklaration ist DIN EN 15804 und ISO 14025 konform.

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Einbau A5	Transport C2	Beseitigung C4	Recyclingpotential D
Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	82,64	11,11	0,4	7,38	-5,92

## 16.4.4 Extrudiertes Polystyrol (XPS)

Extrudierter Polystyrolhartschaum (XPS) ist ein Kunststoffschäumstoff entsprechend der /DIN EN 13164/, der in Form von Platten im Rohdichtenbereich von 20 bis 50 kg/m<sup>3</sup> produziert wird. Die Platten werden in unterschiedlichen Druckfestigkeitsstufen von 150 bis 700 kPa im Dickenbereich 20 bis 200 mm geliefert, Produkte mit Dicken bis 320 mm werden als werksseitig verklebte Mehrschichtplatten geliefert. Für die unterschiedlichen Anwendungsbereiche können die Platten unterschiedliche Oberflächen (mit Extrusionshaut, gefräst, gerillt oder thermisch geprägt) aufweisen. XPS Platten werden mit Glattkanten-, Stufenfalz- und Nut und Feder-Kantenausprägung geliefert. Die vorliegende Umweltdeklaration bezieht sich ausschließlich auf unkaschierte und nicht gesondert weiter verarbeitete XPS-Platten.

Die Grundlage für die Ermittlung des Durchschnitts-Produktes bildet der mengenmäßige Marktanteil der an der Datenerhebung beteiligten Hersteller in Deutschland.

### Deklarierte Einheit:

Diese Deklaration bezieht sich auf 1 m<sup>2</sup> XPS-Platte mit einer Stärke von 100 mm, d.h. 0,1 m<sup>3</sup> mit einer Dichte von 34,6 kg/m<sup>3</sup>.

Die Deklaration ist DIN EN 15804 und ISO 14025 konform.

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Transport C2	Beseitigung C4	Recyclingpotential D
Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	9,588	0,2916	0,02704	0,2477	0

## 16.4.5 Zellulosedämmung (Thermofloc)

Sortenreines Tageszeitungspapier wird mit Hilfe eines Staplers der Anlage zugeführt. Über ein Förderband gelangen die Tageszeitungen in den Schredder, wo das Papier zerkleinert wird. Das zerkleinerte Tageszeitungspapier wird in den Vorbehälter weitertransportiert, von wo aus es über Wiegebänder in die Refiner gelangt. In den Refinern wird das Papier zerfasert und mit mineralischen Additiven imprägniert. Über Rohrleitungen wird der Zellulosedämmstoff in einen Filter-Vorbehälter und von dort aus zur Absackung weitertransportiert, wo der Zellulosedämmstoff in Säcken luftdicht verpackt wird.

Thermofloc Zellulosedämmung ist für Verwendungszecke einsetzbar, wo der nicht belastete Dämmstoff vorwiegend in vertikale oder horizontale Hohlräume raumfüllend eingeblasen oder auf horizontale leicht gewölbte bzw. leicht geneigte ( $\leq 10^\circ$ ) Flächen freiliegend offen aufgeblasen wird.

### Deklarierte Einheit:

Für das Produkt Thermofloc wurden die erforderlichen Module gemäß EN 15804 für eine Ökobilanz „von der Wiege bis zum Werkstor mit Optionen“ gewählt. Die betrachteten Module A1 bis A3, A4 bis A5, C1 bis C4 sowie das Modul D wurden gemäß der PCR für Dämmstoffe aus Zellulosefasern für 1 kg Dämmung gewählt und deklariert.

Die Deklaration ist DIN EN 15804 und ISO 14025 konform.

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Einbau A5	Transport C2	Beseitigung C4	Recycling- potential D
Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	0,08	0,033	0,022	0,00787	0,031	-0,826

## 16.4.6 Schaumglas

FOAMGLAS® ist ein Wärmedämmstoff aus aufgeschäumtem Glas für den Hochbau sowie für betriebstechnische Anlagen. Aus ihm werden maßhaltige Platten, Boards, Rohrschalen, Segmente und andere Spezialelemente gefertigt. FOAMGLAS® Platten bzw. Elemente werden vorwiegend aus hochwertigem Recyclingglas (z.B. Windschutzscheiben) sowie natürlich vorkommenden mineralischen Grundstoffen, wie Sand, ohne Einsatz von Bindemitteln hergestellt. Die Struktur ist geschlossenzellig. Deklariert wird das Produkt FOAMGLAS® T4+ mit Rohdichte 115 kg/m<sup>3</sup> (± 15 %). Die Produkte werden in Dicken zwischen 40 mm und 200 mm geliefert, beispielsweise als druckfeste Platten. Der Dämmstoff FOAMGLAS® wird für die gesamte Gebäudehülle eingesetzt.

### Deklarierte Einheit:

Die Deklaration bezieht sich auf den Lebenszyklus von 1kg FOAMGLAS® W+F und FOAMGLAS® T3+.

Die Rohdichte des Produktes beträgt 100 kg/m<sup>3</sup>.

Die Deklaration ist DIN EN 15804 und ISO 14025 konform.

Indikator	Einheit	Herstellung A1-A3	Transport A4	Einbau A5	Beseitigung C4	Recyclingpotential D
Global Warming Potential (GWP)	kgCO <sub>2</sub> -Äqv.	1,26	0,0169	0,022	0,0135	-0,00971