



# BERATUNGSBERICHT

## zur energetischen Betrachtung von Nichtwohngebäuden

# FÜR DAS „BAUTEIL C“ DES CUSANUS- GYMNASIUMS IN ERKELENZ

**Auftraggeber**  
Stadt Erkelenz  
Johannismarkt 17  
41812 Erkelenz

**Auftragnehmer**  
energielenker projects GmbH  
Hüttruper Heide 90  
48268 Greven  
Ansprechpartner: Christof Kattenbeck

Greven, den 20.12.2021



**ERK  
EL  
ENZ**  
Echt. Ehrlich. Einzigartig.

 **energielenker**  
Für Klima und Zukunft

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....                                                | 4  |
| TABELLENVERZEICHNIS .....                                                  | 5  |
| 1 Einleitung .....                                                         | 6  |
| 2 Zusammenfassung .....                                                    | 7  |
| 2.1 ENDENERGIE- UND KOSTENEINSPARUNG .....                                 | 7  |
| 2.2 GESAMTEFFIZIENZ UND KLIMASCHUTZ .....                                  | 8  |
| 2.3 INVESTITIONSKOSTEN .....                                               | 9  |
| 3 Ausgangssituation .....                                                  | 10 |
| 3.1 BESCHREIBUNG DES GEBÄUDES .....                                        | 10 |
| 3.2 FOTODOKUMENTATION .....                                                | 12 |
| 3.3 ZONIERUNG UND KONDITIONIERUNG .....                                    | 13 |
| 3.4 TATSÄCHLICHER VERBRAUCH UND EMISSIONEN .....                           | 14 |
| 3.4.1 Energieverbräuche der Liegenschaft .....                             | 14 |
| 3.5 WÄRMETECHNISCHE EINSTUFUNG DER GEBÄUDEHÜLLE .....                      | 14 |
| 3.5.1 Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG 2020 und BEG-Förderung ..... | 14 |
| 3.5.2 Bauteilaufbau im Ist-Zustand .....                                   | 15 |
| 3.6 WÄRMEBRÜCKEN .....                                                     | 15 |
| 3.7 ANLAGENTECHNIK .....                                                   | 16 |
| 3.7.1 Heizungsanlage .....                                                 | 16 |
| 3.7.2 Warmwasserversorgung .....                                           | 16 |
| 3.7.3 Beleuchtung .....                                                    | 16 |
| 3.7.4 Lüftungstechnik .....                                                | 16 |
| 3.8 GEBÄUDEBETRACHTUNG .....                                               | 17 |
| 3.8.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes .....                     | 17 |
| 3.8.2 Energiebilanz Ist-Zustand .....                                      | 17 |
| 3.8.3 Energiekosten .....                                                  | 20 |
| 3.8.4 Preissteigerung durch CO <sub>2</sub> -Steuer .....                  | 20 |
| 3.9 PREISERMITTLUNG FÜR DIE SANIERUNGSKOSTEN .....                         | 22 |

|     |                                     |    |
|-----|-------------------------------------|----|
| 4   | Sanierungsvarianten .....           | 23 |
| 4.1 | ÜBERSICHT SANIERUNGSVARIANTEN ..... | 23 |
| 4.2 | DACHDÄMMUNG .....                   | 24 |
| 4.3 | AUßENWANDDÄMMUNG .....              | 27 |
| 4.4 | FENSTERAUSTAUSCH .....              | 30 |
| 4.5 | LED-BELEUCHTUNG.....                | 33 |
| 4.6 | PV-ANLAGE .....                     | 36 |
| 4.7 | MAßNAHMENKOMBINATION .....          | 39 |
| 5   | Fazit .....                         | 42 |
| 6   | Anhang .....                        | 43 |
| A.1 | GLOSSAR .....                       | 43 |

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1 Lageplan mit dem zu bewertenden Gebäude .....                     | 10 |
| Abbildung 2 3D-Ansicht des simulierten Gebäudes .....                         | 10 |
| Abbildung 3 Gebäudeansicht .....                                              | 12 |
| Abbildung 4 Gebäudeansicht .....                                              | 12 |
| Abbildung 5 Gebäudeansicht .....                                              | 12 |
| Abbildung 6 Gebäudeansicht .....                                              | 12 |
| Abbildung 7 3D-Ansichten des simulierten Gebäudes, zonierte.....              | 13 |
| Abbildung 8 Prognostizierte Preissteigerung verschiedener Energieträger ..... | 21 |
| Abbildung 9 Primärenergie .....                                               | 44 |

## TABELLENVERZEICHNIS

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1 Gebäudekennwerte .....                                      | 15 |
| Tabelle 2 Energiebedarfskennwerte .....                               | 17 |
| Tabelle 3 Darstellung der jährlichen Verluste in kWh/a .....          | 18 |
| Tabelle 4 Energiebilanz des Gebäudes .....                            | 19 |
| Tabelle 5 Bezugskosten nach Energieträger .....                       | 20 |
| Tabelle 6 Globale Daten zur Ökonomie .....                            | 20 |
| Tabelle 7 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 1.....   | 26 |
| Tabelle 8 Einsparpotenzial, SV 1.....                                 | 26 |
| Tabelle 9 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 2.....   | 29 |
| Tabelle 10 Einsparpotenzial, SV 2 .....                               | 29 |
| Tabelle 11 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 3 ..... | 32 |
| Tabelle 12 Einsparpotenzial, SV 3 .....                               | 32 |
| Tabelle 13 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 4 ..... | 35 |
| Tabelle 14 Einsparpotenzial, SV 4 .....                               | 35 |
| Tabelle 15 Einsparpotenzial, SV 5 .....                               | 38 |
| Tabelle 16 Fördermöglichkeiten .....                                  | 39 |
| Tabelle 17 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 6 ..... | 41 |
| Tabelle 18 Einsparpotenzial, SV 6 .....                               | 41 |

## 1 EINLEITUNG

Der vorliegende Energieberatungsbericht für das Cusanus-Gymnasium Bauteil C in Erkelenz wurde im Rahmen der Bundesförderung für Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme, Modul 2: Energieberatung DIN V 18599 nach der Richtlinie des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie für die Stadt Erkelenz erstellt.

Hierzu erfolgte eine Datenerhebung am Bestandsgebäude vor Ort und nach Plan. Die Bedarfsberechnung wurde in Anlehnung an die DIN 18599 im Mehr-Zonen-Modell vorgenommen.

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

Ziel der Sanierungskonzeption sind sinnvolle Einzelmaßnahmen bzw. eine umfassende Sanierung zu einem Effizienzgebäude (EG). Angestrebt wird mindestens der Effizienzgebäude-Standard 100.

Dieser Beratungsbericht wurde nach bestem Wissen sowie anhand der verfügbaren Daten erstellt. Die Durchführung und der Erfolg einzelner Maßnahmen bleiben in der Verantwortung der Durchführenden. 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.

Die energetischen Berechnungen im vorliegenden Bericht wurden mit dem „Energieberater 18599 3D“ der Hottgenroth Software GmbH & Co. KG<sup>1</sup> durchgeführt. Sofern nicht anders angegeben, wurden die enthaltenen Abbildungen der Berechnungssoftware entnommen.

---

<sup>1</sup> <https://www.hottgenroth.de>

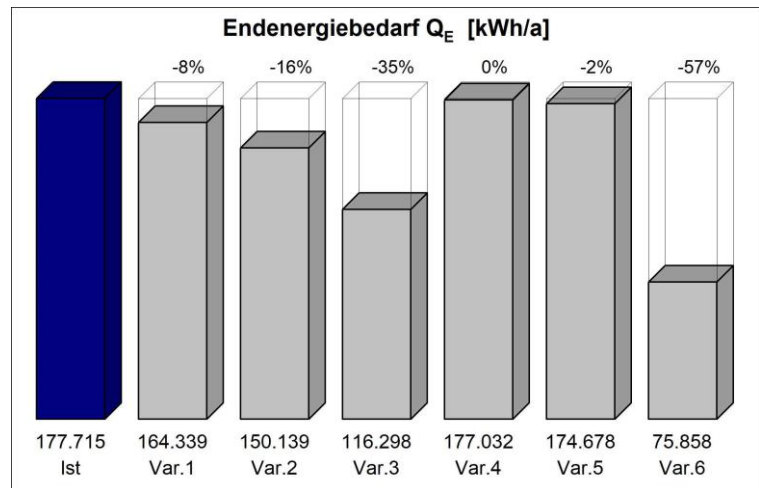
## 2 ZUSAMMENFASSUNG

### 2.1 ENDENERGIE- UND KOSTENEINSPARUNG

Nachfolgend sind die Einsparungen an Endenergie nach Maßnahmenumsetzung aufgeführt, die durch Modernisierungen am Gebäude und der Anlagentechnik generiert werden können:

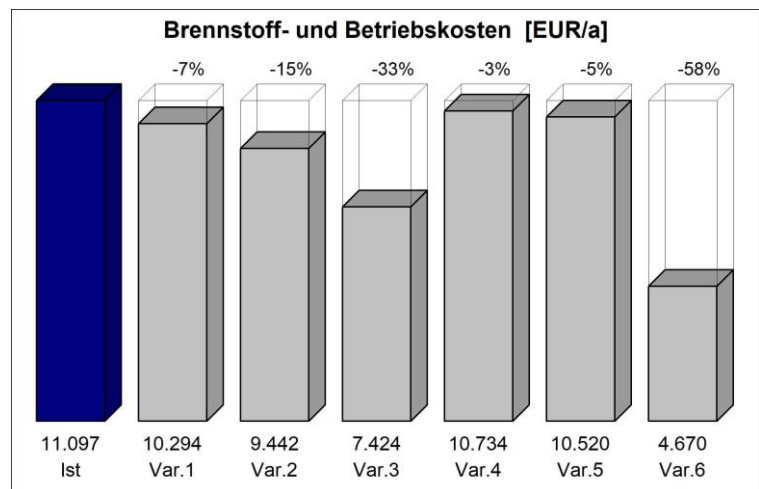
#### Endenergiebedarf

Ist-Zustand  
 V1 - Dachdämmung  
 V2 - Außenwanddämmung  
 V3 - Fenster- und Türentausch  
 V4 - LED-Beleuchtung  
 V5 - PV-Anlage  
 M1 - Maßnahmenkombination



#### Brennstoffkosten

Ist-Zustand  
 V1 - Dachdämmung  
 V2 - Außenwanddämmung  
 V3 - Fenster- und Türentausch  
 V4 - LED-Beleuchtung  
 V5 - PV-Anlage  
 M1 - Maßnahmenkombination



## 2.2 GESAMTEFFIZIENZ UND KLIMASCHUTZ

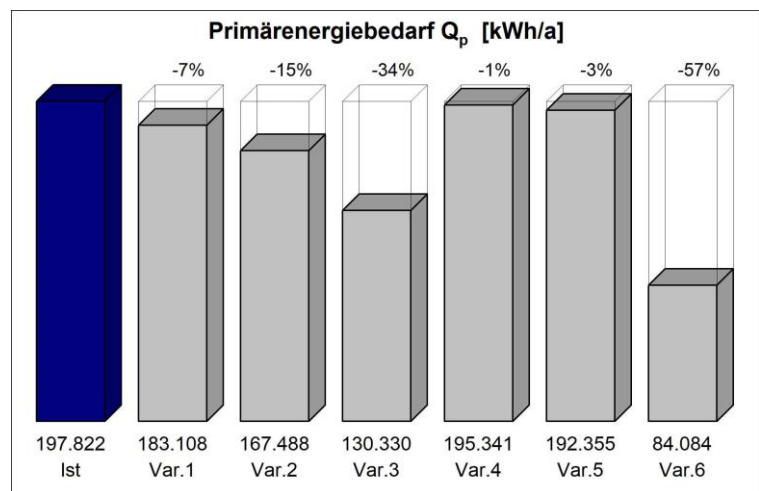
Wie in der Einleitung dieses Berichtes umrissen wird, sollen die geplanten Maßnahmen einen wirksamen Klimaschutzeffekt erreichen. Kennzeichen hierfür sind die Einsparungen an CO<sub>2</sub>-Ausstoß und Primärenergie.

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 den folgenden Diagrammen werden die Klimaschutzaspekte der einzelnen Varianten anhand der Einsparung an Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Umsetzung der Maßnahmen dargestellt.

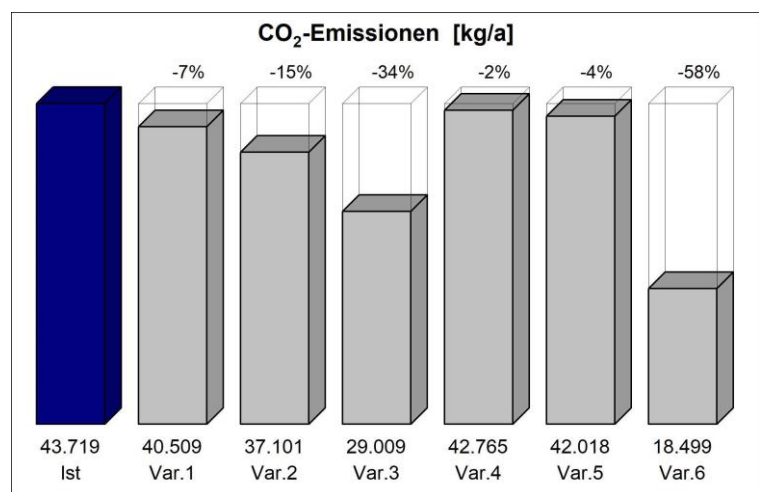
### Primärenergiebedarf

Ist-Zustand  
V1 - Dachdämmung  
V2 - Außenwanddämmung  
V3 - Fenster- und Türentausch  
V4 - LED-Beleuchtung  
V5 - PV-Anlage  
M1 - Maßnahmenkombination



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

Ist-Zustand  
V1 - Dachdämmung  
V2 - Außenwanddämmung  
V3 - Fenster- und Türentausch  
V4 - LED-Beleuchtung  
V5 - PV-Anlage  
M1 - Maßnahmenkombination



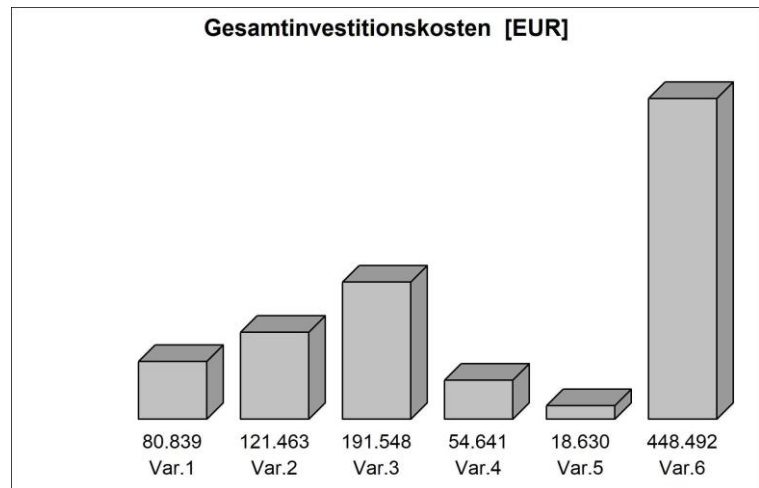


## 2.3 INVESTITIONSKOSTEN

In der nachfolgenden Abbildung sind die Investitionskosten sowie die mittlere Kosteneinsparung pro Jahr der einzelnen Sanierungsvarianten aufgeführt.

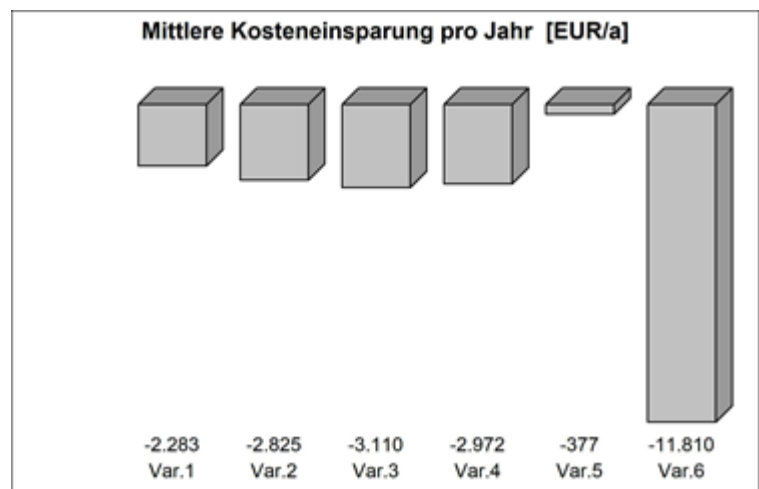
### Gesamtinvestitionskosten

Ist-Zustand  
 V1 - Dachdämmung  
 V2 - Außenwanddämmung  
 V3 - Fenster- und Türentausch  
 V4 - LED-Beleuchtung  
 V5 - PV-Anlage  
 M1 - Maßnahmenkombination



### Kosteneinsparung

Ist-Zustand  
 V1 - Dachdämmung  
 V2 - Außenwanddämmung  
 V3 - Fenster- und Türentausch  
 V4 - LED-Beleuchtung  
 V5 - PV-Anlage  
 M1 - Maßnahmenkombination



### 3 AUSGANGSSITUATION

#### 3.1 BESCHREIBUNG DES GEBÄUDES

Das Gebäude C liegt auf dem Gelände des Cusanus-Gymnasiums im „Schulring 6“ in 41812 Erkelenz. Das Gebäude wurde im Jahr 1975 in massiver Bauweise mit Flachdach errichtet und ist nicht unterkellert. Die Gebäudehülle befindet sich noch in dem ursprünglichen Zustand.

Die Wärmeversorgung des Gebäudes findet zentral über die Heizungszentrale des Atriums statt.



Abbildung 1 Lageplan mit dem zu bewertenden Gebäude (rot markiert) ((Quelle: TIM-online 2.0), (<https://www.tim-online.nrw.de>); Land NRW (2021) - Lizenz dl-zero-de/2.0 ([www.govdata.de/dl-zero-de/by-2-0](http://www.govdata.de/dl-zero-de/by-2-0)), abgerufen am 08.11.2021)

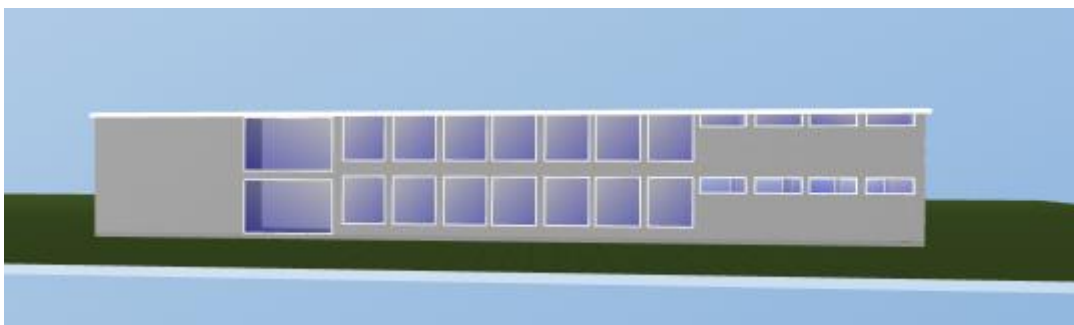


Abbildung 2 3D-Ansicht des simulierten Gebäudes

| <b>Name/Bezeichnung</b>                 | <b>Gebäude C</b>           |
|-----------------------------------------|----------------------------|
| <i>Gebäudetyp</i>                       | <i>Nichtwohngebäude</i>    |
| <i>Straße, Hausnr.</i>                  | <i>Schulring 6</i>         |
| <i>PLZ, Ort</i>                         | <i>41812 Erkelenz</i>      |
| <i>Baujahre</i>                         | <i>1975</i>                |
| <i>Beheiztes Gebäudevolumen V</i>       | <i>2.618 m<sup>3</sup></i> |
| <i>Nettogrundfläche A<sub>NGF</sub></i> | <i>720 m<sup>2</sup></i>   |
| <i>Geschosshöhe</i>                     | <i>3,00 m</i>              |

**Anmerkung:** Flächen- und Volumenangaben beziehen sich lediglich auf thermisch konditionierte Zonen.  
Ist-Zustand entsprechend den Angaben und Planunterlagen der Stadt Erkelenz.

### 3.2 FOTODOKUMENTATION



Abbildung 3 Gebäudeansicht



Abbildung 4 Gebäudeansicht



Abbildung 5 Gebäudeansicht



Abbildung 6 Gebäudeansicht

### 3.3 ZONIERUNG UND KONDITIONIERUNG

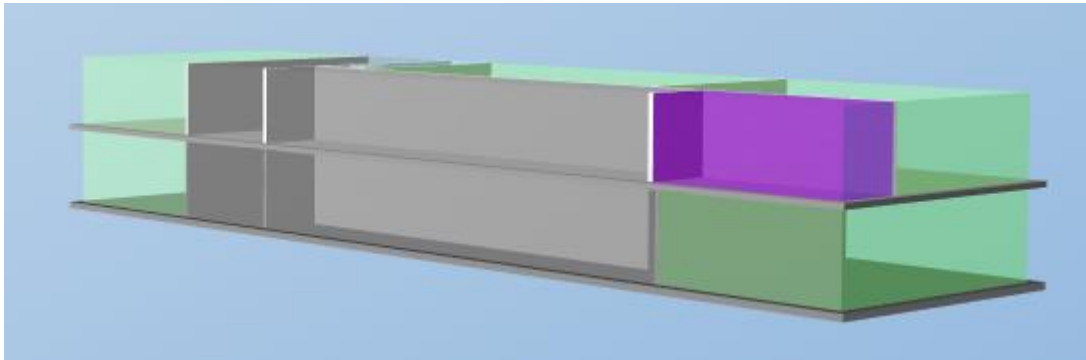


Abbildung 7 3D-Ansichten des simulierten Gebäudes, zonierte

| Zone                                  | Konditionierung         |                               |     |                                               | Größe<br>[m <sup>2</sup> ] | Anteilige<br>Größe der<br>Zone |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----|-----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
|                                       | Nutzungs-<br>profil Nr. | Thermische<br>Konditionierung | RLT | Beleuchtung                                   |                            |                                |
| Lager                                 | 20                      | beheizt                       | -   | Leuchtstoff-<br>lampe - stab-<br>förmig, EVG  | 17                         | 3 %                            |
| Verkehrsfl-<br>äche                   | 19                      | beheizt                       | -   | Leuchtstoff-<br>lampe -<br>kompakt,<br>KVG    | 218                        | 30 %                           |
| WC und<br>Sanitär-<br>räume in<br>NWG | 16                      | beheizt                       | -   | Leuchtstoff-<br>lampe -<br>stabförmig,<br>KVG | 28                         | 4 %                            |
| Klassenzi-<br>mmer                    | 8                       | beheizt                       | -   | Leuchtstoff-<br>lampe -<br>kompakt,<br>EVG    | 457                        | 63 %                           |
| Summe                                 |                         |                               |     |                                               | 720                        | 100 %                          |

### 3.4 TATSÄCHLICHER VERBRAUCH UND EMISSIONEN

#### 3.4.1 Energieverbräuche der Liegenschaft

Der Energieverbrauch für das Gebäude C wird nicht extra erfasst.

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

- ▶ die standortspezifischen Witterungsverhältnisse (Lüftungsverhalten und Raumlufttemperaturen)
- ▶ die tägliche Betriebsdauer der elektrischen Verbraucher
- ▶ die tägliche Betriebsdauer der Heizung
- ▶ interne Wärmequellen (Licht, Elektrogeräte, Personenanzahl, ...)
- ▶ der Warm- und Kaltwasserverbrauch

Die jährlichen klimatischen Bedingungen an einem Standort beeinflussen den Wärmeverbrauch eines Gebäudes. Um die Beurteilung und die Vergleichbarkeit der verschiedenen Wärmeverbräuche mit nutzungsgleichen Gebäuden zu ermöglichen, werden die gebäudespezifischen Wärmeverbräuche mit einem Klimafaktor korrigiert. Hierdurch werden die jährlichen gebäudespezifischen Verbrauchswerte von Wärme auf ein durchschnittliches Klima hochgerechnet.

### 3.5 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 Literaturangabe<sup>2</sup> und / oder nach eigenen Erfahrungswerten angenommen.

#### 3.5.1 Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG 2020 und BEG-Förderung

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 2020) und der Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude - Einzelmaßnahmen (BEG EM) mit angegeben<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> „U-Werte alter Bauteile“, der von der Deutschen Energie Agentur (Dena) herausgegebenen Typologie

<sup>3</sup> Die zulässigen U-Werte beziehen sich gemäß GEG Anlage 3 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 (Erläuterung siehe Glossar)

Tabelle 1 Gebäudekennwerte

| Bauteil                                           | U-Wert [W/(m²K)] |                  |                            |
|---------------------------------------------------|------------------|------------------|----------------------------|
|                                                   | Ist-Zustand      | GEG <sup>4</sup> | BEG-Förderung <sup>5</sup> |
| <b>Bauteilgruppe: Bodenflächen gegen Erdreich</b> |                  |                  |                            |
| Bodenplatte                                       | 1,20             | 0,30             | 0,25                       |
| <b>Bauteilgruppe: Außenwand</b>                   |                  |                  |                            |
| Außenwand                                         | 1,00             | 0,24             | 0,20                       |
| <b>Bauteilgruppe: Dachflächen</b>                 |                  |                  |                            |
| Flachdach                                         | 0,50             | 0,20             | 0,14                       |
| <b>Bauteilgruppe: Fenster</b>                     |                  |                  |                            |
| Fenster                                           | 1,30             | 1,30             | 0,95                       |
| Fenster                                           | 4,30             | 1,30             | 0,95                       |

### 3.5.2 Bauteilaufbau im Ist-Zustand

U-Werte für Bauteilaufbauten werden entsprechend des Baualters eingestuft. Sollten konkrete Bauteilbeschreibungen vorliegen, werden diese Berücksichtigung finden.

## 3.6 WÄRMEBRÜCKEN

Bei einer Wärmebrücke handelt es sich grundsätzlich um ein gestörtes Bauteil und steht somit für einen Sonderfall in der Konstruktion der Gebäudehülle. Bauteilschwächungen oder Materialwechsel können diese Wärmebrückeneffekte begünstigen. Es können aber ebenso geringere Dämmstärken für die Wärmebrückenwirkung verantwortlich sein.

Somit wird die Bewertung der punkt- oder linienbezogenen Wärmeverluste durch Wärmebrücken zu einem bedeutenden Teil in der Bilanzierung und Planung von Bestands- und Neubauten.

<sup>4</sup> Die Mindestanforderungen an U-Werte nach dem Bauteilverfahren der GEG 2020 gelten nicht, wenn der Primärenergiebedarf des gesamten Gebäudes den Höchstwert für einen entsprechenden Neubau um nicht mehr als 40 % überschreitet.

<sup>5</sup> Die Mindestanforderungen an U-Werte für BEG-Förderung gelten nicht für die Förderung von Neubau und Sanierung von Effizienzgebäuden gem. BEG-Richtlinie (BEG NWG). Die Anforderungen Stand September 2021 können jederzeit aktualisiert werden.

### 3.7 ANLAGENTECHNIK

#### 3.7.1 Heizungsanlage

|           |                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| Erzeugung | <i>Nah-/Fernwärme über die Heizzentrale im Cusanus-Gymnasium</i> |
|           | <i>kein hydraulischer Abgleich</i>                               |
|           | <i>Leitungen gedämmt</i>                                         |
|           | <i>Umwälzpumpe meist geregelt</i>                                |
|           | <i>Übergabe über Radiatoren in allen Zonen</i>                   |

#### 3.7.2 Warmwasserversorgung

Im Gebäude C des Cusanus-Gymnasiums findet keine nennenswerte Warmwasserversorgung statt.

#### 3.7.3 Beleuchtung

In dem Gebäude befinden sich überwiegend ein- bzw. mehrflammige Leuchtentypen als Ein- und Anbauleuchte mit einer Leistung  $P_{\text{Lampe}}$  bis zu 58 W mit konventionellen und elektronischen Vorschaltgeräten [KVG & EVG]. Vereinzelt sind Glühlampen und LED-Leuchtmittel vorhanden.

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

#### 3.7.4 Lüftungstechnik

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  $\text{CO}_2$  und Feuchtigkeit, die beim Prozess des Ausatmens entstehen, abgeführt werden. Eine Lüftung ist auch nötig, um Schimmelbildung durch erhöhte Feuchtigkeit vorzubeugen und vermehrt aus modernen Baustoffen, Kunststoffen oder Belägen austretende Schadstoffe zu entfernen.

Die Be- und Entlüftung erfolgt in dem Schulgebäude über die vorhandenen Fenster und Türen.



### 3.8 GEBÄUEBETRACHTUNG

#### 3.8.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes

Tabelle 2 Energiebedarfskennwerte

| <b>Energiebedarfskennwerte<sup>6</sup> des bewerteten Gebäudes [kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>*a)]</b> |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| spez. Endenergiebedarf Heizung                                                                           | 242,13 |
| Warmwasser                                                                                               | -      |
| Lüftung                                                                                                  | -      |
| Beleuchtungsstrom                                                                                        | 4,63   |

**Anmerkung:** Kennwerte auf Basis der durchgeführten Berechnung der ausgewählten / bewerteten Gebäude (Betrachtungsgegenstand).

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. Trotzdem sind jedoch, aufgrund der Rechenmethodik und der darin enthaltenen Möglichkeiten einer Anpassung, Abweichungen von bis zu 30 % durchaus möglich und bei der Bewertung der Sanierungsmaßnahmen unbedingt zu berücksichtigen.

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

#### 3.8.2 Energiebilanz Ist-Zustand

Um ein Gebäude energetisch zu bewerten, muss der vorhandene Energieverbrauch beurteilt werden. Durch welche Maßnahmen lässt sich wie viel Energie einsparen?

Die Antwort auf diese Fragen gibt eine Energiebilanz. Dazu werden alle Energieströme, die dem Gebäude zu- bzw. abgeführt werden, quantifiziert und anschließend bilanziert.

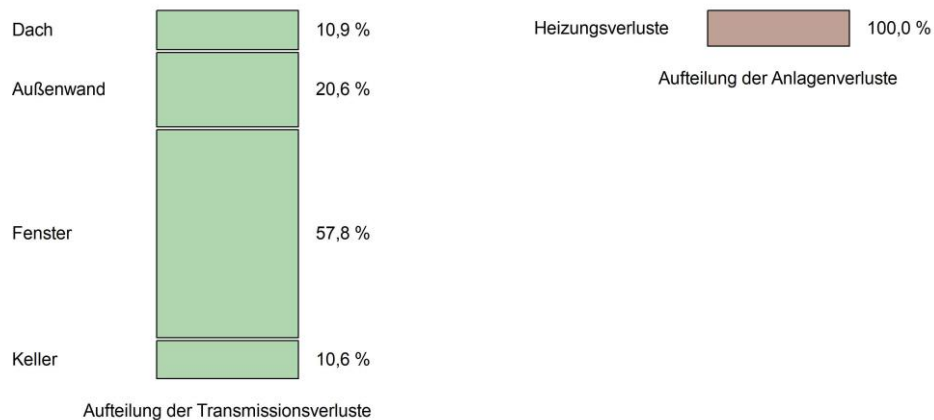
Energieverluste entstehen über die Gebäudehülle (Transmission), durch den Luftwechsel und bei der Erzeugung und Bereitstellung der benötigten Energie. Die Aufteilung der Verluste, d. h. der Transmissionsverluste auf die Bauteilgruppen – Dach – Außenwand – Fenster – Keller – und der Anlagenverluste auf die Bereiche – Heizung – Warmwasser – Hilfsenergie (Strom) – sowie der Lüftungsverluste können Sie der nachfolgenden Tabelle und den Diagrammen entnehmen.

Die detaillierten Berechnungen der einzelnen Transmissionswärme- und Anlagenverluste befinden sich im Anhang.

<sup>6</sup> siehe unter Erläuterung zu den Energieberichten im Kapitel 4 Glossar und Definition

Tabelle 3 Darstellung der jährlichen Verluste in kWh/a

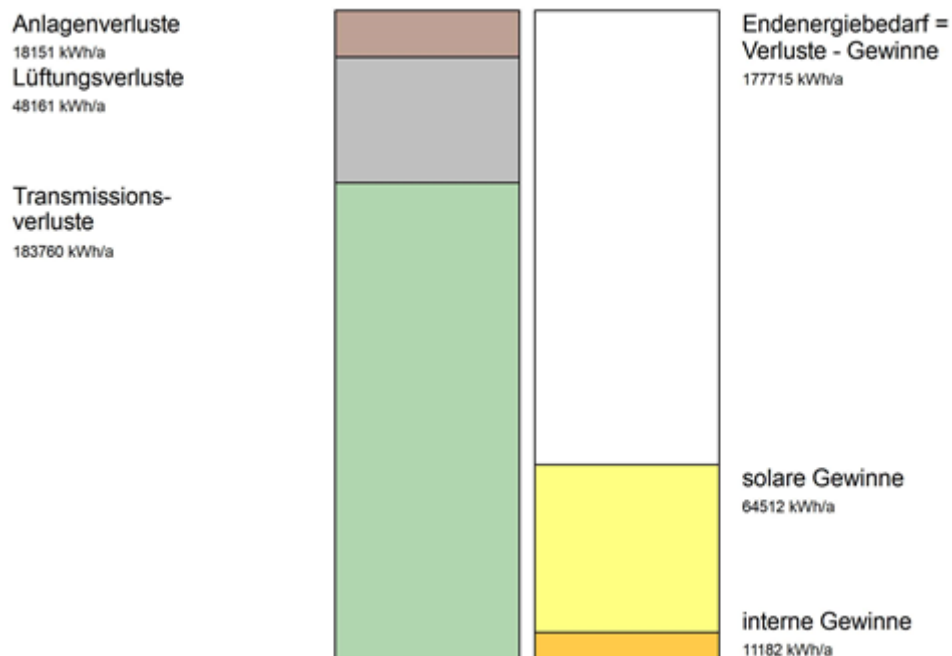
| Verluste                     | jährlich [kWh/a] | anteilig [%] |
|------------------------------|------------------|--------------|
| <b>Transmissionsverluste</b> |                  |              |
| Dach                         | 20.059           | 10,9         |
| Außenwand                    | 37.908           | 20,6         |
| Fenster                      | 106.270          | 57,8         |
| Keller                       | 19.522           | 10,6         |
| Gesamt                       | 183.760          | 100          |
| <b>Lüftungsverluste</b>      |                  |              |
| Gesamt                       | 48.161           | 100          |
| <b>Anlagenverluste</b>       |                  |              |
| Heizung                      | 18.151           | 100,0        |
| Warmwasser                   | 0                | 0,0          |
| Hilfsenergie                 | 0                | 0,0          |



Die Energiebilanz gibt Aufschluss darüber, in welchen Bereichen hauptsächlich Energie verloren geht bzw. wo die größten Einsparpotentiale in Ihrem Gebäude liegen. Bei der Energiebilanz werden die Wärmeverluste und Wärmegewinne der Gebäudehülle, sowie die Verluste der Anlagen zur Raumheizung, Trinkwarmwasserbereitung und Lüftung berücksichtigt. Der Haushaltsstrom wird in dieser Bilanz nicht betrachtet.

Tabelle 4 Energiebilanz des Gebäudes

| <b>Energiebilanz des Gebäudes</b>              | <b>jährlich [kWh/a]</b> | <b>anteilig [%]</b> |
|------------------------------------------------|-------------------------|---------------------|
| <b>Verluste</b>                                |                         |                     |
| Transmissionsverluste                          | 183.760                 | 73,5                |
| Lüftungsverluste                               | 48.161                  | 19,3                |
| Anlagenverluste (inkl. Warmwasser-Wärmebedarf) | 18.151                  | 7,3                 |
| Gesamt                                         | 250.073                 | 100                 |
| <b>Gewinne</b>                                 |                         |                     |
| Solare Warmegewinne                            | 64.512                  | 85,2                |
| Interne Warmegewinne                           | 11.182                  | 14,8                |
| Gesamt                                         | 75.694                  | 100                 |
| <b>Endenergiebedarf QE</b>                     |                         |                     |
| Endenergiebedarf QWE,E(Wärmeerzeugung)         | 177.715                 |                     |
| Endenergiebedarf QHE,E(Hilfsenergie)           | 0                       |                     |
| Gesamt                                         | 177.715                 |                     |
| <b>Primärenergiebedarf QP</b>                  | 197.822                 |                     |

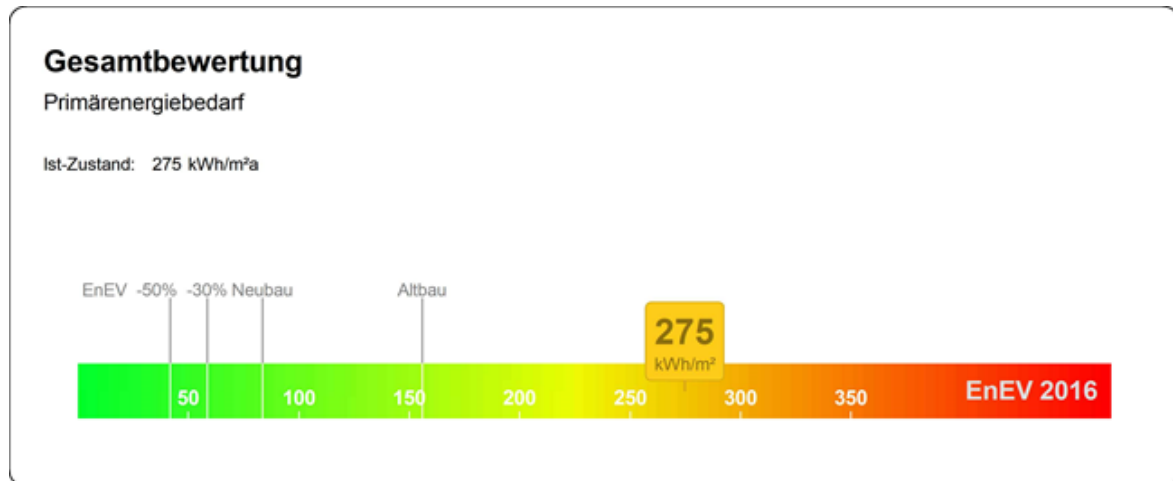


Transmissionswärmeverluste sowie Anlagenverluste können mithilfe einer energetischen Sanierung des Gebäudes deutlich reduziert werden. Lüftungsverluste werden bei einer energetischen Sanierung ebenfalls minimiert, dennoch werden diese immer noch in einem nicht uner-

heblichen Anteil vorhanden sein. Abhilfe kann hier eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung schaffen. Der kontrollierte mechanische Luftwechsel minimiert die Lüftungsverluste.

### Bewertung des Gebäudes

Die Gesamtbewertung des Gebäudes erfolgt aufgrund des jährlichen Primärenergiebedarfs pro m<sup>2</sup> Nutzfläche – zurzeit beträgt dieser 275 kWh/m<sup>2</sup>a.



### 3.8.3 Energiekosten

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden die nachfolgenden (brutto) Energiemischpreise (Zusammensetzung aus Grund- und Verbrauchspreis) je Energieträger angesetzt.

Tabelle 5 Bezugskosten nach Energieträger

| Bezeichnung | Einheit | Preis [€/Einheit] | CO <sub>2</sub> [g/Einheit] |
|-------------|---------|-------------------|-----------------------------|
| Erdgas      | kWh     | 0,06              | 240                         |
| Strom-Mix   | kWh     | 0,19              | 560                         |

Anmerkung: Alle Kostenangaben sind Brutto-Angaben und beruhen auf Angaben der Stadt Erkelenz.

Tabelle 6 Globale Daten zur Ökonomie

|                                                   |      |
|---------------------------------------------------|------|
| kalkulatorischer Zinssatz [%]                     | 1,5  |
| jährliche Preissteigerung [%]                     | 2,0  |
| Steuerersparnis durch Abschreibung berücksichtigt | nein |

Anmerkung: Zinssatz wurde aus Erfahrungswerten angenommen.

### 3.8.4 Preissteigerung durch CO<sub>2</sub>-Steuer

Die CO<sub>2</sub>-Steuer soll den Umstieg von fossilen Kraft- und Brennstoffen hin zu erneuerbaren Technologien fördern. Die sogenannte CO<sub>2</sub> -Steuer verteuert Benzin, Diesel, Heizöl und Erdgas dabei so, dass sich die Kosten in Zukunft stärker am tatsächlichen CO<sub>2</sub>-Gehalt ausrichten. Sie soll die Bevölkerung zu einem bewussteren Umgang mit fossilen Energieträgern bewegen und Anreize schaffen, um auf moderne und klimafreundliche Technologien umzurüsten.

Mit dem Klimapaket hat die Bundesregierung inzwischen beschlossen, wie sich die CO<sub>2</sub> Preise in Zukunft verändern. So kostet eine Tonne des klimaschädlichen Gases im Jahr 2021 25 Euro. In den folgenden Jahren steigen die Abgaben dann schrittweise, bis diese 2025 einen Wert von 55 Euro pro Tonne erreichen. Ab 2026 steigen die Preise (in Abhängigkeit der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen) voraussichtlich weiter an.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen prognostizierten Anstieg der Energiekosten verschiedener Energieträger um bis zu 20 % bis 2030. Die Stromkosten für Verbraucher sinken laut der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (jetzt Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) in Auftrag gegebenen Studie zur „Entwicklung der Energiemärkte – Energiereferenzprognose“ ab ca. 2025.

Basierend auf die zukünftige Preisentwicklung der fossilen Energieträger wurden folgende Preissteigerungen in den Sanierungsvarianten hinterlegt:

- ▶ kalkulatorischer Zinssatz 1,50 %
- ▶ jährliche Preissteigerung - hier Inflation 2,00 %
- ▶ jährliche Preissteigerung Erdgas 3,50 %
- ▶ jährliche Preissteigerung Pellets 1,50 %
- ▶ jährliche Preissteigerung Strom 2,50 %

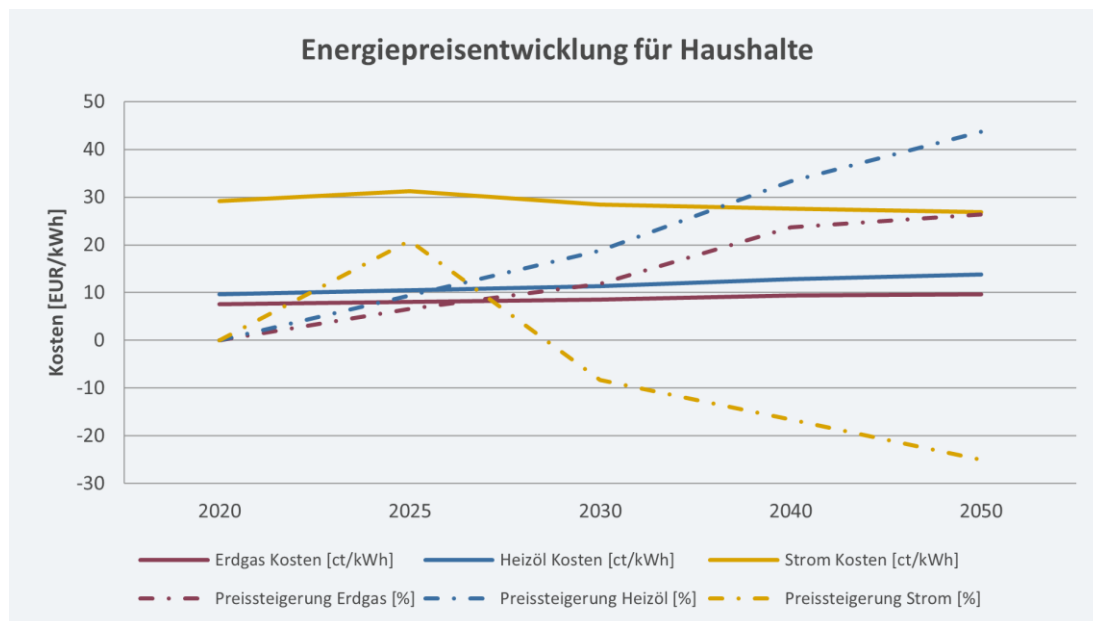


Abbildung 8 Prognostizierte Preissteigerung verschiedener Energieträger  
(In Anlehnung an: BMWi 2013, Prognos/EWI/GWS 2014)

### 3.9 PREISERMITTLUNG FÜR DIE SANIERUNGSKOSTEN

Für die Ermittlung der Sanierungskosten wurden zum einen die Richtpreise der Hersteller und zum anderen die Preise aus Referenzprojekten hinterlegt. Demnach sollte die Gemeinde vor Projektbeginn mehrere Vergleichsangebote einholen. Zudem sollte die Stadt Erkelenz mit der Vergabestelle die Verfügbarkeit und die Rahmenbedingungen für eine vorgeschlagene Förderung rechtzeitig abstimmen.

Die Kosten für Nebenleistungen (wie z. B. Planungsleistungen) wurden pauschal mit 15 % beaufschlagt und sind in den Investitionskosten der Sanierungsvarianten enthalten. In den Investitionskosten sind auch die Kosten für Nebenarbeiten enthalten.

**Beispiel:**

Malerarbeiten bei dem Austausch von alten Leuchtmitteln oder Anpassung des Flachdaches an ein neues Wärmedämmverbundsystem.

## 4 SANIERUNGSVARIANTEN

### 4.1 ÜBERSICHT SANIERUNGSVARIANTEN

Nachfolgend wird die Zusammenstellung der Sanierungsvarianten dargestellt (SV):

**Empfohlene Sanierungsvarianten:**

Var.1 - Dachdämmung

Var.2 - Außenwanddämmung

Var.3 - Fenster- und Türentausch

Var.4 - LED-Beleuchtung

Var.5 - PV-Anlage

Var.6 - Maßnahmenkombination

**Anmerkung:**

In allen Sanierungsvarianten wird versucht eine möglichst hohe und wirtschaftlich vertretbare Energieeinsparung zu erzielen. Ein Effizienzgebäude-Standard kann mit einer gemeinsamen Umsetzung der Sanierungsvarianten nicht erreicht werden (vgl. Var. 6, Kap. 4.7).

## 4.2 DACHDÄMMUNG

Die Dachflächen befinden sich noch im Zustand des Baualters und werden in dieser Sanierungsvariante entsprechend den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) gedämmt. Es wird ein U-Wert von  $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  gefordert. Um eine BEG-Förderung zu erhalten, wird ein U-Wert der sanierten Dachflächen von  $\leq 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  gefordert. In der Simulation wurde ein U-Wert von  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$  angenommen

Für die beschriebene Sanierungsvariante als Einzelmaßnahme kann die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG EM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie beantragt werden.

### **BEG EM - Gebäudehülle Einzelmaßnahmen**

|                     |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Info</b>         | Gefördert werden Einzelmaßnahmen an Bestandsgebäuden, die zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudes an der Gebäudehülle beitragen (z. B. Türen, Fenster, Dämmung Außenwände o. Dach). |
| <b>Förderquote</b>  | 20 %                                                                                                                                                                                       |
| <b>Förderhöhe</b>   | Mindestinvestition 2.000 € (Brutto)                                                                                                                                                        |
| <b>Förderbetrag</b> | Nichtwohngebäude: Max. 1.000 € pro $\text{m}^2$ NGF (max. 15 Mio. €)                                                                                                                       |

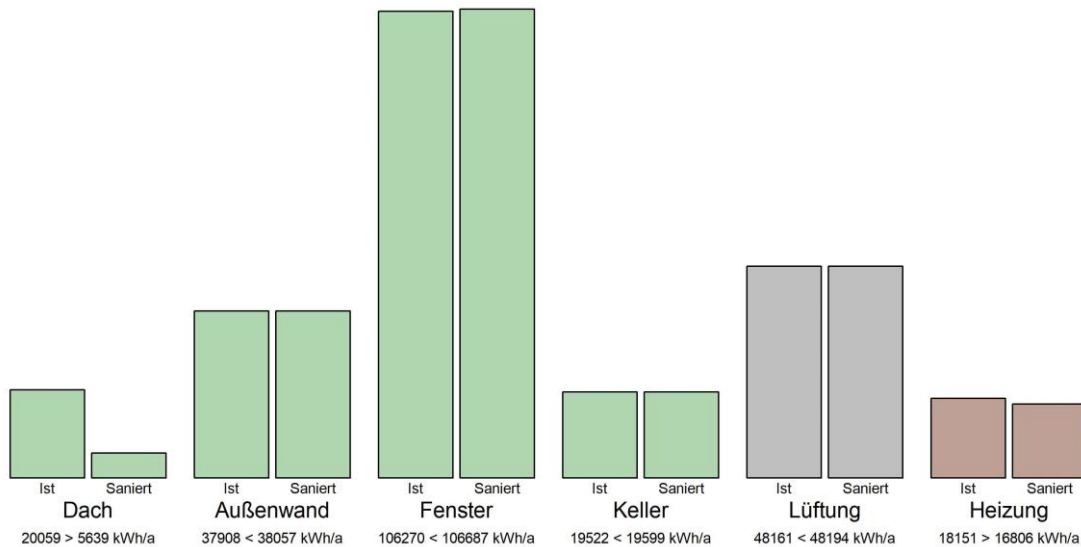
Über das Förderprogramm der BEG kann ein Zuschuss von bis zu 16.168 € beantragt werden.



### Energieeinsparung - Variante 1 -

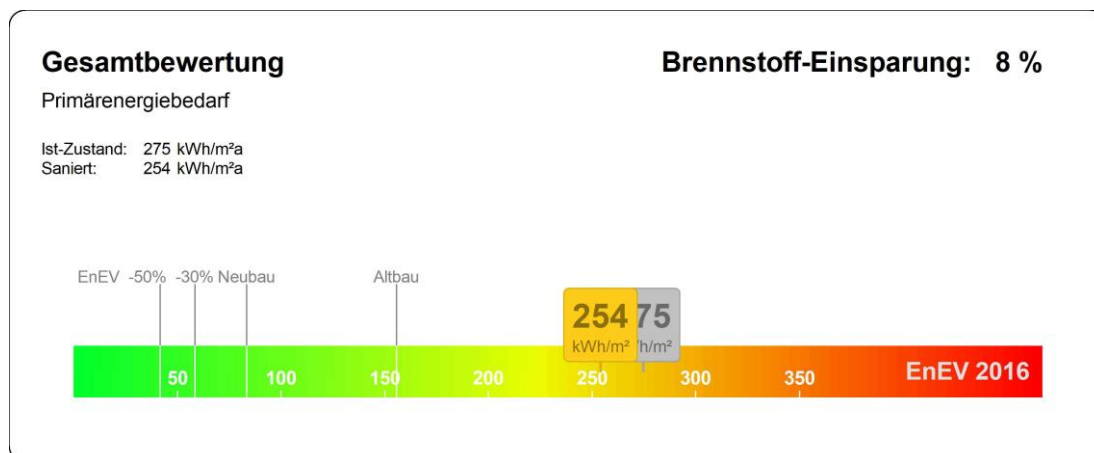
Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um **8 %**.

Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 177.715 kWh/Jahr reduziert sich auf 164.339 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 13.376 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 3.210 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen dieser Variante sinkt der Primärenergiebedarf des Gebäudes auf 254 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr. Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorge-lagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.



**Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen - Variante 1 -**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein Gesamtvolumen von:

Tabelle 7 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 1

|                                                    |                   |
|----------------------------------------------------|-------------------|
| Gesamtinvestitionen                                | 80.839 EUR        |
| Mögliche Fördermittel                              | 16.168 EUR        |
| <b>Gesamtausgaben für die Energiesparmaßnahmen</b> | <b>80.839 EUR</b> |

Daraus ergeben sich die folgenden über die Nutzungsdauer von 30 Jahren gemittelten jährlichen Ausgaben bzw. die folgenden im Nutzungszeitraum anfallenden Gesamtausgaben:

Tabelle 8 Einsparpotenzial, SV 1

|                                                | <b>mittlere jährl. Kosten<br/>[EUR/Jahr]</b> | <b>Gesamtkosten<br/>[EUR]</b> |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Kapitalkosten                                  | 3.366                                        | 100.980                       |
| Brennstoffkosten (ggf. inkl. sonstiger Kosten) | 13.889                                       | 416.670                       |
| Summe                                          | 17.255                                       | 517.650                       |
| Brennstoffkosten ohne Energiesparmaßnahmen     | 14.972                                       | 449.160                       |
| <b>Einsparung</b>                              | <b>-2.283</b>                                | <b>-68.490</b>                |

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

|                                                          |        |          |
|----------------------------------------------------------|--------|----------|
| Betrachtungszeitraum                                     | 30     | Jahre    |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im Ist-Zustand       | 11.097 | EUR/Jahr |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im sanierten Zustand | 10.294 | EUR/Jahr |
| Kalkulationszinssatz                                     | 1,50   | %        |
| Teuerungsrate Anlage bzw. Sanierungsmaßnahmen            | 3,50   | %        |
| Teuerungsrate für Brennstoff                             | 2,00   | %        |
| Interner Zinsfuß                                         | -      | %        |

### 4.3 AUßENWANDDÄMMUNG

Die Außenwände des Gebäudes C befinden sich im Zustand des Baualters und werden in dieser Sanierungsvariante entsprechend der Anforderung des aktuellen Gebäudeenergiegesetzes (GEG 2020) nachträglich durch eine Außendämmung gedämmt. Der zurzeit gültige U-Wert für Wandflächen beträgt  $\leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ . In der Förderrichtlinie zur BEG wird ein U-Wert der nachträglich gedämmten Außenwände von  $\leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  gefordert. In der Simulation wird ein U-Wert von  $0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  angenommen. Auf die wärmebrückenfreie Einbindung der Fenster ist zu achten. Die Umsetzbarkeit der Maßnahme sollte vor der Durchführung durch einen erfahrenen Bauphysiker geprüft und begleitet werden.

Für die beschriebene Sanierungsvariante als Einzelmaßnahme kann die Bundeförderung für effiziente Gebäude (BEG EM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie beantragt werden.

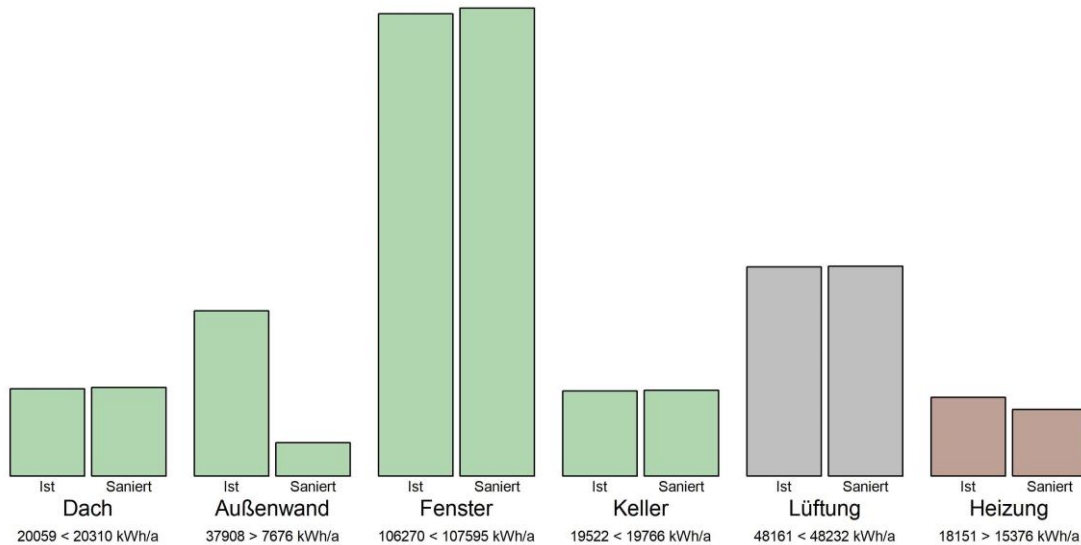
#### **BEG EM - Gebäudehülle Einzelmaßnahmen**

|                     |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Info</b>         | Gefördert werden Einzelmaßnahmen an Bestandsgebäuden, die zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudes an der Gebäudehülle beitragen (z. B. Türen, Fenster, Dämmung Außenwände o. Dach). |
| <b>Förderquote</b>  | 20 %                                                                                                                                                                                       |
| <b>Förderhöhe</b>   | Mindestinvestition 2.000 € (Brutto)                                                                                                                                                        |
| <b>Förderbetrag</b> | Nichtwohngebäude: Max. 1.000 € pro $\text{m}^2$ NGF (max. 15 Mio. €)                                                                                                                       |

Über das Förderprogramm der BEG kann ein Zuschuss von bis zu 24.293 € beantragt werden.

### Energieeinsparung - Variante 2 -

Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um **16 %**.

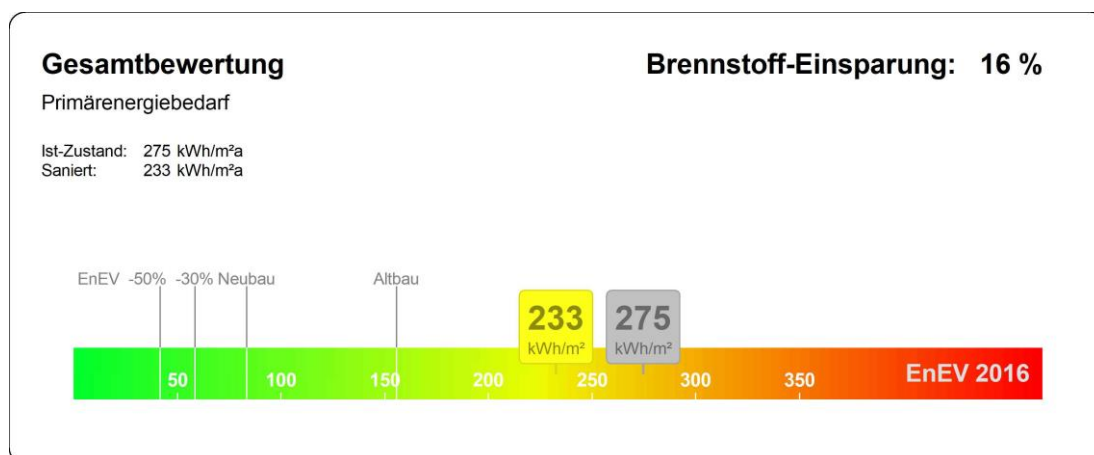


Der derzeitige Endenergiebedarf von 177.715 kWh/Jahr reduziert sich auf 150.139 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 27.576 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 6.618 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen dieser Variante sinkt der Primärenergiebedarf des Gebäudes auf **233 kWh/m<sup>2</sup>** pro Jahr.

Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.



**Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen - Variante 2 -**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein Gesamtvolumen von:

Tabelle 9 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 2

|                                                    |                    |
|----------------------------------------------------|--------------------|
| Gesamtinvestitionen                                | 121.463 EUR        |
| Mögliche Fördermittel                              | 24.293 EUR         |
| <b>Gesamtausgaben für die Energiesparmaßnahmen</b> | <b>121.463 EUR</b> |

Daraus ergeben sich die folgenden über die Nutzungsdauer von 30 Jahren gemittelten jährlichen Ausgaben bzw. die folgenden im Nutzungszeitraum anfallenden Gesamtausgaben:

Tabelle 10 Einsparpotenzial, SV 2

|                                                | <b>mittlere jährl. Kosten<br/>[EUR/Jahr]</b> | <b>Gesamtkosten<br/>[EUR]</b> |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Kapitalkosten                                  | 5.058                                        | 151.740                       |
| Brennstoffkosten (ggf. inkl. sonstiger Kosten) | 12.739                                       | 382.170                       |
| Summe                                          | 17.797                                       | 533.910                       |
| Brennstoffkosten ohne Energiesparmaßnahmen     | 14.972                                       | 449.160                       |
| <b>Einsparung</b>                              | <b>-2.825</b>                                | <b>-84.750</b>                |

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

|                                                          |        |          |
|----------------------------------------------------------|--------|----------|
| Betrachtungszeitraum                                     | 30     | Jahre    |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im Ist-Zustand       | 11.097 | EUR/Jahr |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im sanierten Zustand | 9.442  | EUR/Jahr |
| Kalkulationszinssatz                                     | 1,50   | %        |
| Teuerungsrate Anlage bzw. Sanierungsmaßnahmen            | 3,50   | %        |
| Teuerungsrate für Brennstoff                             | 2,00   | %        |
| Interner Zinsfuß                                         | -      | %        |

#### 4.4 FENSTERAUSTAUSCH

Die Fenster entsprechen noch dem Baualter und werden, in dieser Sanierungsvariante ausgetauscht. Der aktuelle  $U_w$ -Wert für Fenster beträgt  $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Um die BEG Förderung zu beantragen, ist ein  $U_w$ -Wert von  $\leq 0,95 \text{ W/m}^2\text{K}$  für Fenster anzusetzen. Für die Berechnung wird eine 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung mit einem  $U_w$ -Wert von  $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$  angenommen.

**Achtung:** 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.

Für die beschriebene Sanierungsvariante als Einzelmaßnahme kann die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG EM) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie beantragt werden.

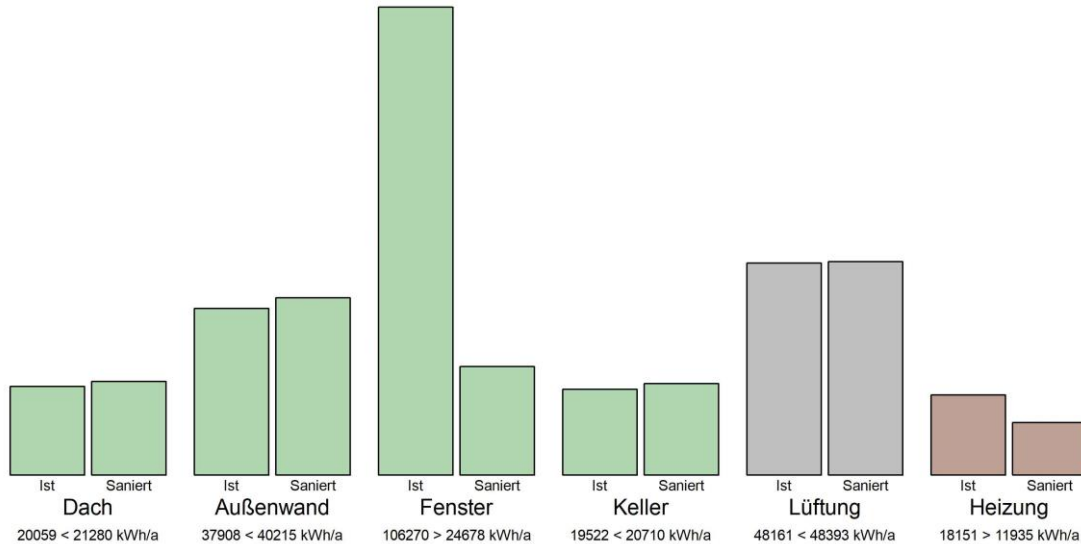
##### **BEG EM - Gebäudehülle Einzelmaßnahmen**

|                     |                                                                                                                                                                                            |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Info</b>         | Gefördert werden Einzelmaßnahmen an Bestandsgebäuden, die zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gebäudes an der Gebäudehülle beitragen (z. B. Türen, Fenster, Dämmung Außenwände o. Dach). |
| <b>Förderquote</b>  | 20 %                                                                                                                                                                                       |
| <b>Förderhöhe</b>   | Mindestinvestition 2.000 € (Brutto)                                                                                                                                                        |
| <b>Förderbetrag</b> | Nichtwohngebäude: Max. 1.000 € pro $\text{m}^2$ NGF (max. 15 Mio. €)                                                                                                                       |

Über das Förderprogramm der BEG kann ein Zuschuss von bis zu **38.310 €** beantragt werden.

### Energieeinsparung - Variante 3 -

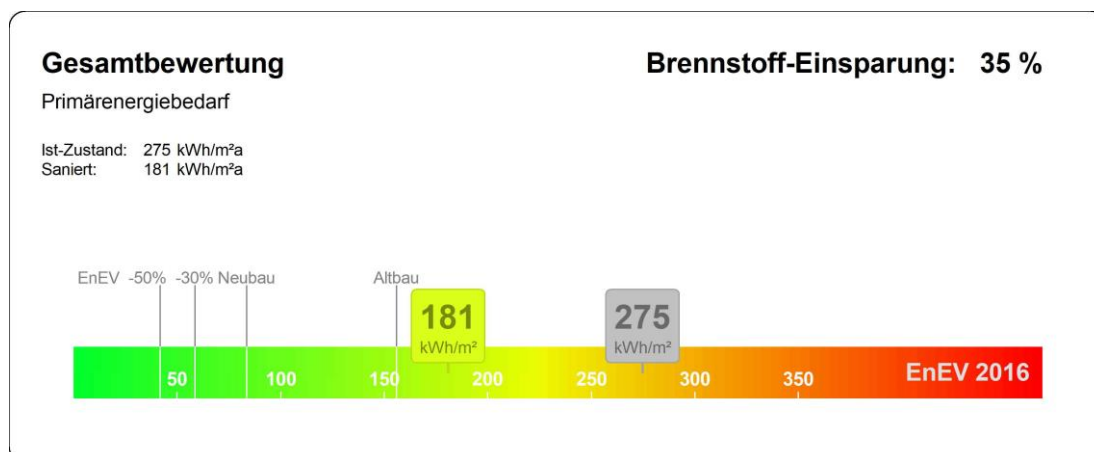
Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um **35 %**. Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 177.715 kWh/Jahr reduziert sich auf 116.298 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 61.417 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 14.710 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen dieser Variante sinkt der Primärenergiebedarf des Gebäudes auf **181 kWh/m<sup>2</sup>** pro Jahr. Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.



**Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen - Variante 3 -**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein Gesamtvolumen von:

Tabelle 11 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 3

|                                                    |                    |
|----------------------------------------------------|--------------------|
| Gesamtinvestitionen                                | 191.548 EUR        |
| Mögliche Fördermittel                              | 38.310 EUR         |
| <b>Gesamtausgaben für die Energiesparmaßnahmen</b> | <b>191.548 EUR</b> |

Daraus ergeben sich die folgenden über die Nutzungsdauer von 30 Jahren gemittelten jährlichen Ausgaben bzw. die folgenden im Nutzungszeitraum anfallenden Gesamtausgaben:

Tabelle 12 Einsparpotenzial, SV 3

|                                                | <b>mittlere jährl. Kosten<br/>[EUR/Jahr]</b> | <b>Gesamtkosten<br/>[EUR]</b> |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Kapitalkosten                                  | 7.976                                        | 239.280                       |
| Brennstoffkosten (ggf. inkl. sonstiger Kosten) | 10.106                                       | 303.180                       |
| Summe                                          | 18.082                                       | 542.460                       |
| Brennstoffkosten ohne Energiesparmaßnahmen     | 14.972                                       | 449.160                       |
| <b>Einsparung</b>                              | <b>- 3.110</b>                               | <b>- 93.300</b>               |

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

|                                                          |        |          |
|----------------------------------------------------------|--------|----------|
| Betrachtungszeitraum                                     | 30     | Jahre    |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im Ist-Zustand       | 11.097 | EUR/Jahr |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im sanierten Zustand | 7.490  | EUR/Jahr |
| Kalkulationszinssatz                                     | 1,50   | %        |
| Teuerungsrate Anlage bzw. Sanierungsmaßnahmen            | 3,50   | %        |
| Teuerungsrate für Brennstoff                             | 2,00   | %        |
| Interner Zinsfuß                                         | -      | %        |



#### 4.5 LED-BELEUCHTUNG

In dieser Sanierungsvariante wird die vorhandene Beleuchtung durch hocheffiziente LED-Beleuchtung ersetzt.

Durch die Umstellung der Beleuchtungstechnik können der Bedarf an elektrischer Energie und damit auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche durch die Beleuchtung verursacht werden, gesenkt werden.

Die Wärmeentwicklung von LED-Lampen fällt z. B. im Vergleich zur alten Glühlampe deutlich geringer aus. Bei einer LED-Beleuchtung werden etwa 40 % der eingesetzten Energie in sichtbares Licht umgewandelt und nur 60 % in Wärme. Aus diesem Grund steigt der Wärmebedarf des Gebäudes minimal an.

Für die beschriebene Sanierungsvariante als Einzelmaßnahme können Fördermittel über die Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld (sog. „Kommunalrichtlinie“) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit beantragt werden. Um Fördermittel durch dieses Förderprogramm beantragen zu können, müssen durch den Austausch der Beleuchtung mind. 50 % der Treibhausgasemissionen eingespart werden. Die weiteren Mindestanforderungen der Förderrichtlinie sind zu beachten.

##### **Kommunalrichtlinie - Beleuchtungssanierung (2.9)**

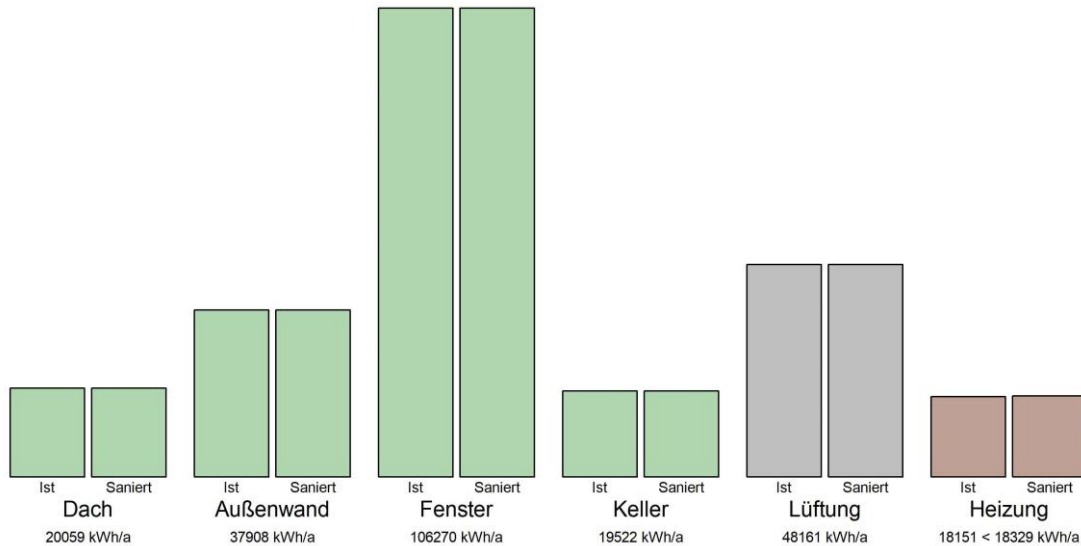
|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Info</b>         | Gefördert wird innerhalb der Kommunalrichtlinie in den investiven Förderungsschwerpunkten 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> | 25 %* bei Innen- und Hallenbeleuchtungen<br>Mindestzuwendung i. H. v. 5000 €                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Fördersumme</b>  | Finanzschwache Kommunen können vorbehaltlich der beihilferechtlichen Zulässigkeit eine um 5 % erhöhte Förderquote erhalten.<br><br>Kommunen im „Rheinischen Revier“ (Rhein-Kreis Neuss, Kreis Düren, Rhein-Erft-Kreis, Städteregion Aachen, Kreis Heinsberg, Kreis Euskirchen, Stadt Mönchengladbach) können eine bis zu 15 % erhöhte Förderquote erhalten.<br><br>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>Fristen</b>      | Kommunalrichtlinie gilt von 01.01.2019 bis zum 31.12.2022.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

\* Die angegebene Förderquote wird für Anträge, die im Zeitraum vom 01.08.2020 bis zum 31.12.2021 gestellt werden um jeweils 10 % erhöht.

Über das Förderprogramm der Kommunalrichtlinie kann ein Zuschuss von bis zu **13.660 €** beantragt werden.

#### Energieeinsparung - Variante 4 -

Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgeschlagenen Maßnahmen **reduziert** sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes anschaulich **geringfügig**. Dies liegt daran, dass der Heizwärmebedarf aufgrund der geringeren Wärmeabgabe der LED-Beleuchtung steigt. Trotz der Zunahme des Wärmebedarfs wird dennoch Energie eingespart. Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.

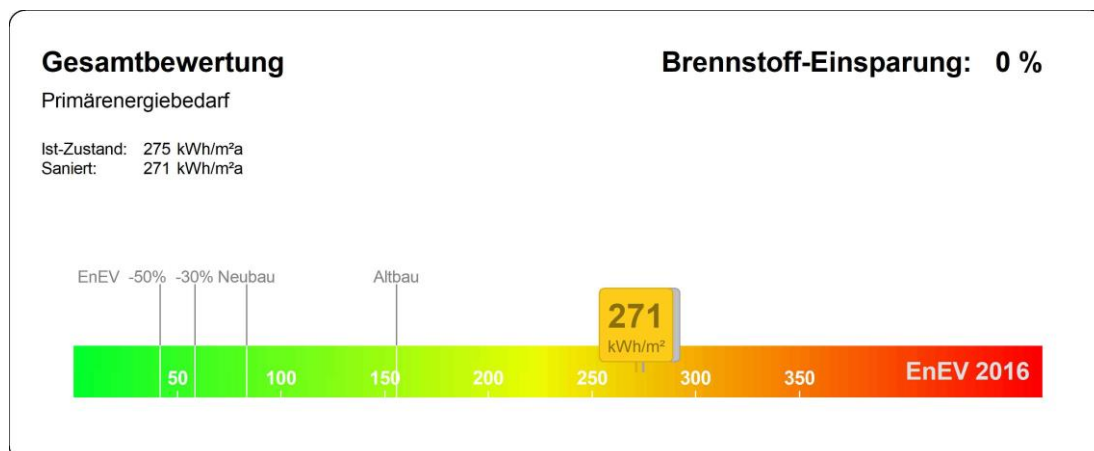


Der derzeitige Endenergiebedarf von 177.715 kWh/Jahr reduziert sich auf 177.032 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 683 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 954 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen dieser Variante sinkt der Primärenergiebedarf des Gebäudes auf **271 kWh/m<sup>2</sup>** pro Jahr.

Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.



**Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen - Variante 4 -**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein Gesamtvolumen von:

Tabelle 13 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 4

|                                                    |                   |
|----------------------------------------------------|-------------------|
| Gesamtinvestitionen                                | 54.641 EUR        |
| Mögliche Fördermittel                              | 13.660 EUR        |
| <b>Gesamtausgaben für die Energiesparmaßnahmen</b> | <b>54.641 EUR</b> |

Daraus ergeben sich die folgenden über die Nutzungsdauer von 20 Jahren gemittelten jährlichen Ausgaben bzw. die folgenden im Nutzungszeitraum anfallenden Gesamtausgaben:

Tabelle 14 Einsparpotenzial, SV 4

|                                                | <b>mittlere jährl. Kosten<br/>[EUR/Jahr]</b> | <b>Gesamtkosten<br/>[EUR]</b> |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Kapitalkosten                                  | 3.183                                        | 63.660                        |
| Brennstoffkosten (ggf. inkl. sonstiger Kosten) | 13.406                                       | 268.120                       |
| Summe                                          | 16.589                                       | 331.780                       |
| Brennstoffkosten ohne Energiesparmaßnahmen     | 13.617                                       | 272.340                       |
| <b>Einsparung</b>                              | <b>- 2.972</b>                               | <b>- 59.440</b>               |

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

|                                                          |        |          |
|----------------------------------------------------------|--------|----------|
| Betrachtungszeitraum                                     | 20     | Jahre    |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im Ist-Zustand       | 11.097 | EUR/Jahr |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im sanierten Zustand | 10.926 | EUR/Jahr |
| Kalkulationszinssatz                                     | 1,50   | %        |
| Teuerungsrate Anlage bzw. Sanierungsmaßnahmen            | 3,50   | %        |
| Teuerungsrate für Brennstoff                             | 2,00   | %        |
| Interner Zinsfuß                                         | -      | %        |

#### 4.6 PV-ANLAGE

Für eine PV-Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde im Rahmen der Gebäudesimulation die Turn- und Gymnastikhalle auf das PV-Dachflächenpotenzial untersucht. Aufgrund der Dachgröße und des Stromverbrauchs wurde eine PV-Anlage mit einer Generatorgröße von 10,8 kWp simuliert. Die PV-Module werden mit einer Süd-Ausrichtung auf der Dachfläche angebracht. Die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage hängt im Wesentlichen vom Strombezugspreis, dem Anteil der Eigenstromnutzung und der Höhe der Einspeisevergütung ab.

Voraussetzung ist, dass das Dach zusätzliche Dachlasten aufnehmen kann (Prüfung durch Statiker erforderlich). Es ist vorteilhaft im Rahmen einer Dachsanierung die PV-Module auf das Dach anzubringen.

Zur Förderung von PV-Anlagen steht derzeit nur die Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen aus dem „Programm für Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen“ (progres.nrw) – Programmbereich Klimaschutztechnik (Förderrichtlinie progres.nrw - Klimaschutztechnik) des Ministeriums für Wirtschaft, Innovation, Digitalisierung und Energie zur Verfügung. Hier ist die Förderung einer PV-Anlage zur Erzeugung von Energie für den Eigenverbrauch nur in Zusammenhang mit der Installation eines Batteriespeichers möglich. Beratungsleistungen zum PV-Ausbau (z. B. Machbarkeitsstudien und statische Voruntersuchungen) durch externe Berater sind ebenfalls förderfähig.

---

##### **progres.nrw - Beratungsleistungen zum Photovoltaikausbau**

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Info</b>        | Gefördert werden Machbarkeitsstudien, Wirtschaftlichkeitsanalysen, Vorplanungsstudien und Voruntersuchungen der Statik und Standsicherheit zur Vorbereitung von investiven Maßnahmen zur Errichtung oder Erweiterung von Photovoltaikanlagen auf gewerblich genutzten Freiflächen oder Gebäuden, privaten Hochschulen, Forschungseinrichtungen und kommunalen Gebäuden. |
| <b>Förderquote</b> | Max. 90 %<br>Max. 100 % (Finanzschwache Kommunen)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Fördersumme</b> | Förderung der zuwendungsfähigen Ausgaben bis zu einer Förderhöchstgrenze von 40 000 €                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

---

##### **progres.nrw - Photovoltaik-Dachanlagen auf kommunalen Gebäuden zusammen mit einem Batteriespeicher**

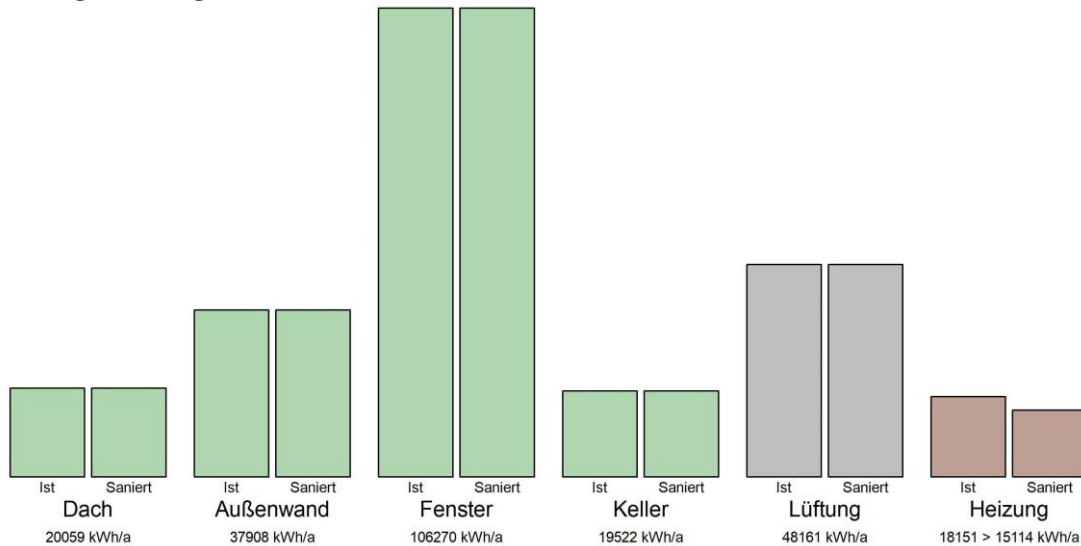
|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Info</b>        | Gefördert werden Systeme aus Photovoltaik-Dachanlagen und Batteriespeichern, die auf kommunalen Gebäuden elektrische Energie für den Eigenverbrauch erzeugen (Eigenbedarf). Die Gebäude dürfen nicht für wirtschaftliche Tätigkeiten im Sinne des europäischen Beihilferechts genutzt werden. |
| <b>Förderquote</b> | Max. 90 %                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Fördersumme</b> | Förderhöchstgrenze von 350 000 €                                                                                                                                                                                                                                                              |

---

### Energieeinsparung - Variante 5 -

Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes **geringfügig**.

Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.

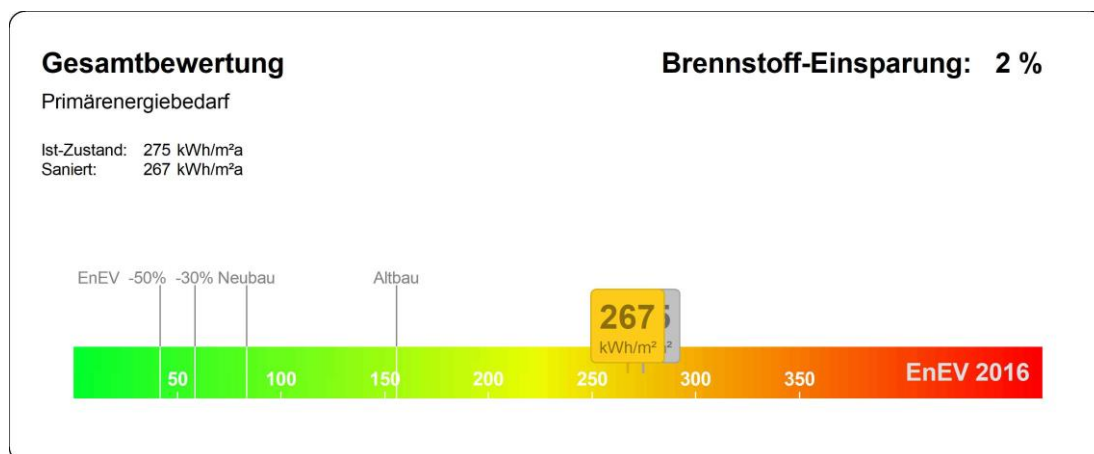


Der derzeitige Endenergiebedarf von 177.715 kWh/Jahr reduziert sich auf 174.678 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 3.037 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 1.701 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen dieser Variante sinkt der Primärenergiebedarf des Gebäudes auf **267 kWh/m<sup>2</sup>** pro Jahr.

Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.



**Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen - Variante 5 -**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein Gesamtvolumen von **18.630 €**.

Daraus ergeben sich die folgenden über die Nutzungsdauer von 20 Jahren gemittelten jährlichen Ausgaben bzw. die folgenden im Nutzungszeitraum anfallenden Gesamtausgaben:

Tabelle 15 Einsparpotenzial, SV 5

|                                                       | <i>mittlere jährl. Kosten<br/>[EUR/Jahr]</i> | <i>Gesamtkosten<br/>[EUR]</i> |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| <i>Kapitalkosten</i>                                  | 1.085                                        | 21.700                        |
| <i>Brennstoffkosten (ggf. inkl. sonstiger Kosten)</i> | 12.909                                       | 258.180                       |
| <i>Summe</i>                                          | 13.994                                       | 279.880                       |
|                                                       |                                              |                               |
| <i>Brennstoffkosten ohne Energiesparmaßnahmen</i>     | 13.617                                       | 272.340                       |
| <b><i>Einsparung</i></b>                              | <b>-377</b>                                  | <b>-7.540</b>                 |

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

|                                                                 |        |                 |
|-----------------------------------------------------------------|--------|-----------------|
| <i>Betrachtungszeitraum</i>                                     | 20     | <i>Jahre</i>    |
| <i>aktuelle jährliche Brennstoffkosten im Ist-Zustand</i>       | 11.097 | <i>EUR/Jahr</i> |
| <i>aktuelle jährliche Brennstoffkosten im sanierten Zustand</i> | 10.520 | <i>EUR/Jahr</i> |
| <i>Kalkulationszinssatz</i>                                     | 1,50   | %               |
| <i>Teuerungsrate Anlage bzw. Sanierungsmaßnahmen</i>            | 3,50   | %               |
| <i>Teuerungsrate für Brennstoff</i>                             | 2,00   | %               |
| <i>Interner Zinsfuß</i>                                         | -      | %               |

#### 4.7 MAßNAHMENKOMBINATION

In dieser Variante werden alle Maßnahmen der Modernisierungsvarianten

V1 - Dachdämmung

V2 - Außenwanddämmung

V3 - Fensteraustausch

V4 - LED-Beleuchtung

kombiniert. Ein Effizienzgebäude-Standard kann auch bei der gemeinsamen Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen nicht erreicht werden. Dennoch könnte durch die kombinierte Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen ein hohes Maß an Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden.

Für die beschriebenen Sanierungsvarianten können jeweils als Einzelmaßnahme Fördermittel aus der BEG EM bzw. über die sog. „Kommunalrichtlinie“ beantragt werden.

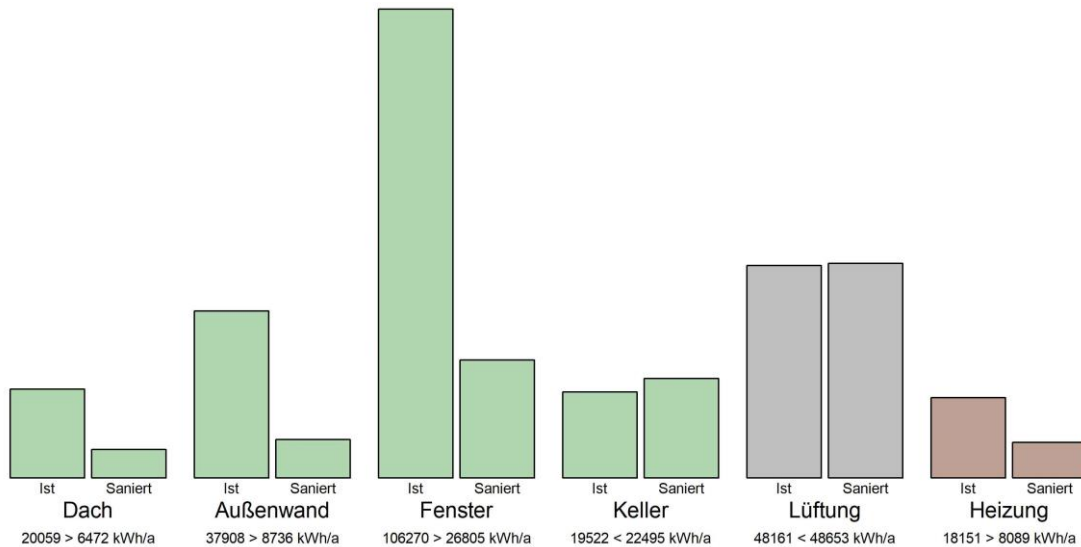
Tabelle 16 Fördermöglichkeiten

|               | <i>Sanierungsmaßnahme</i> | <i>Gesamtinves-<br/>titionskosten</i> | <i>Förderpro-<br/>gramm</i> | <i>Förder-<br/>quote</i> | <i>Mögliche För-<br/>dermittel</i> |
|---------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------------------------------|
| <b>Var. 1</b> | <b>Dachdämmung</b>        | 80.839                                | BEG EM                      | 20 %                     | 16.168                             |
| <b>Var. 2</b> | <b>Außenwanddämmung</b>   | 121.463                               | BEG EM                      | 20 %                     | 24.293                             |
| <b>Var. 3</b> | <b>Fensteraustausch</b>   | 191.548                               | BEG EM                      | 20 %                     | 38.310                             |
| <b>Var. 4</b> | <b>LED-Beleuchtung</b>    | 54.642                                | Kommunal-<br>richtlinie     | 25 %                     | 13.660                             |
| <b>Summe</b>  |                           | <b>448.492 EUR</b>                    |                             |                          | <b>92.431 EUR</b>                  |

### Energieeinsparung - Variante 6 -

Nach Umsetzung der in dieser Variante vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes um **57 %**.

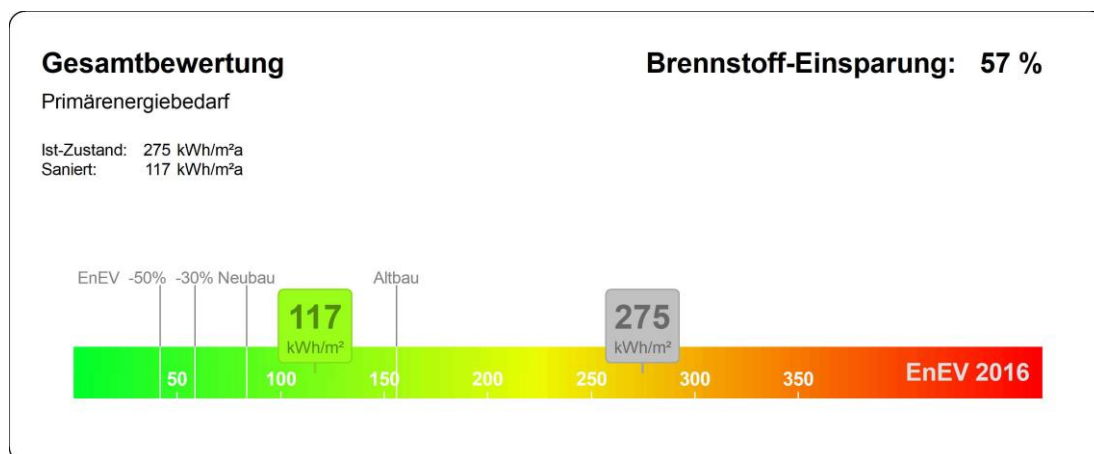
Den Einfluss auf die Wärmeverluste über die einzelnen Bauteile und die Heizungsanlage zeigt das folgende Diagramm.



Der derzeitige Endenergiebedarf von 177.715 kWh/Jahr reduziert sich auf 75.858 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 101.857 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 25.220 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen dieser Variante sinkt der Primärenergiebedarf des Gebäudes auf **117 kWh/m<sup>2</sup>** pro Jahr.

Der Primärenergiebedarf berücksichtigt auch die vorgelagerte Prozesskette für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der eingesetzten Energieträger. Es ergibt sich die folgende Bewertung für das modernisierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.





**Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen - Variante 6 -**

Die vorgeschlagenen Maßnahmen haben ein Gesamtvolumen von:

Tabelle 17 Gesamtausgaben für die Energieeinsparmaßnahmen, SV 6

|                                                    |                    |
|----------------------------------------------------|--------------------|
| Gesamtinvestitionen                                | 448.492 EUR        |
| Mögliche Fördermittel                              | 92.431 EUR         |
| <b>Gesamtausgaben für die Energiesparmaßnahmen</b> | <b>448.492 EUR</b> |

Daraus ergeben sich die folgenden über die Nutzungsdauer von 30 Jahren gemittelten jährlichen Ausgaben bzw. die folgenden im Nutzungszeitraum anfallenden Gesamtausgaben:

Tabelle 18 Einsparpotenzial, SV 6

|                                                | <b>mittlere jährl. Kosten<br/>[EUR/Jahr]</b> | <b>Gesamtkosten<br/>[EUR]</b> |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| Kapitalkosten                                  | 20.480                                       | 614.400                       |
| Brennstoffkosten (ggf. inkl. sonstiger Kosten) | 6.302                                        | 189.060                       |
| Summe                                          | 26.782                                       | 803.060                       |
| Brennstoffkosten ohne Energiesparmaßnahmen     | 14.972                                       | 449.160                       |
| <b>Einsparung</b>                              | <b>- 11.810</b>                              | <b>-354.300</b>               |

Der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die folgenden Parameter zugrunde gelegt:

|                                                          |        |          |
|----------------------------------------------------------|--------|----------|
| Betrachtungszeitraum                                     | 30     | Jahre    |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im Ist-Zustand       | 11.097 | EUR/Jahr |
| aktuelle jährliche Brennstoffkosten im sanierten Zustand | 4.670  | EUR/Jahr |
| Kalkulationszinssatz                                     | 1,50   | %        |
| Teuerungsrate Anlage bzw. Sanierungsmaßnahmen            | 3,50   | %        |
| Teuerungsrate für Brennstoff                             | 2,00   | %        |
| Interner Zinsfuß                                         | -      | %        |

## 5 FAZIT

Die Stadt Erkelenz plant die energetische Sanierung des Bauteils C des Cusanus-Gymnasiums.

Im vorliegenden Beratungsbericht wurde zunächst eine Bestandsaufnahme des Gebäudes durchgeführt und der Ist-Zustand in Bezug auf die Gebäudehülle und die vorhandene Anlagentechnik simuliert sowie die aktuellen Energieverbräuche dargestellt.

Anschließend wurden, auf Grundlage der Ist-Analyse, verschiedene Sanierungsvarianten in Form der Einzelmaßnahmen SV 1 bis SV 5 vorgeschlagen. Die rechnerisch höchste, jährliche Einsparung an Endenergie (ca. 35 % im Vergleich zum Ist-Zustand) bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionen (ca. 34 % im Vergleich zum Ist-Zustand) ergibt sich demnach durch den Austausch der Fenster und Türen.

Durch eine Kombination der vorgeschlagenen Einzelmaßnahmen in der Maßnahmenkombination wären Einsparungen an Endenergie von ca. 57 % bzw. CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 58 % möglich. Ein Effizienzgebäude-Standard kann durch die Sanierung nicht erreicht werden, da das Bauteil C über die Heizungsanlage eines benachbarten Gebäudes versorgt wird. Diese befindet sich zwar auf dem aktuellen Stand der Technik, wird jedoch mit dem fossilen Energieträger Erdgas betrieben.

Hinsichtlich der gesteckten Klimaschutzziele wird die Umsetzung der Sanierungsvariante 6: Maßnahmenkombination empfohlen, da hierdurch die höchsten Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen möglich sind. Die Umsetzung der gewählten Maßnahme(n) sollte durch einen erfahrenen Fachplaner begleitet werden.

Um die vollständige Fördersumme für Einzel- oder Gesamtsanierungen auszuschöpfen, sollten Fördermittel rechtzeitig beantragt und auf die Möglichkeit der Kombination mit weiteren Maßnahmen geprüft werden.

## 6 ANHANG

### A.1 GLOSSAR

Im Folgenden werden die einzelnen Fachbegriffe erläutert:

#### Energiebedarf

Energiemenge, die unter genormten Bedingungen (z. B. mittlere Klimadaten, definiertes Nutzerverhalten, zu erreichende Innentemperatur, angenommene innere Wärmequellen) für Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung (nur Wohngebäude) zu erwarten ist. Diese Größe dient der ingenieurmäßigen Auslegung des baulichen Wärmeschutzes von Gebäuden und ihrer technischen Anlagen für Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Kühlung sowie dem Vergleich der energetischen Qualität von Gebäuden. Der tatsächliche **Verbrauch** weicht in der Regel wegen der realen Bedingungen vor Ort (z. B. örtliche Klimabedingungen, abweichendes Nutzerverhalten) vom berechneten Bedarf ab.

#### Jahres-Primärenergiebedarf

Jährliche Endenergiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des Brennstoffes und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik mithilfe der für die jeweiligen Energieträger geltenden Primärenergiefaktoren auch die Energiemenge einbezieht, die für die Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe (vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes) erforderlich ist.

Die Primärenergie kann auch als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z. B. CO<sub>2</sub>-Emission, herangezogen werden, weil damit der gesamte Energieaufwand für die Gebäudeheizung einbezogen wird. Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die Hauptanforderung der Energiesparverordnung.

#### Endenergiebedarf

Endenergiemenge, die den Anlagen für Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Kühlung zur Verfügung gestellt werden muss, um die normierte Rauminnentemperatur und die Erwärmung des Warmwassers über das ganze Jahr sicherzustellen. Diese Energiemenge bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung, usw.) benötigte Hilfsenergie ein.

Die Endenergie wird an der "Schnittstelle" Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die dem Verbraucher (im Allgemeinen der Eigentümer) geliefert und mit ihm

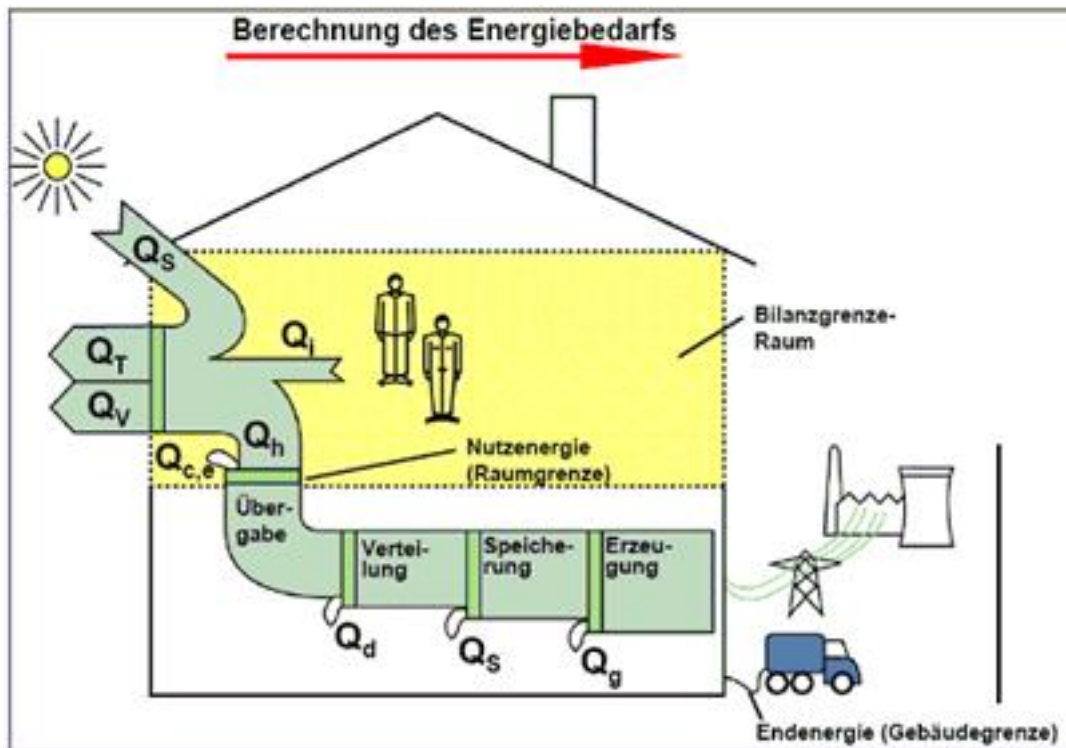


Abbildung 9 Primärenergie

abgerechnet wird. Der Endenergiebedarf ist deshalb eine für den Verbraucher besonders wichtige Angabe. Die Endenergie umfasst die Nutzenergie und die Anlagenverluste.

### Nutzenergie

Als Nutzenergie bezeichnet man, vereinfacht ausgedrückt, die Energiemenge, die zur Beheizung eines Gebäudes sowie zur Erstellung des Warmwassers unter Berücksichtigung definierter Vorgaben erforderlich ist. Die Nutzenergie ist die Summe von Transmissionswärmeverlusten, Lüftungswärmeverlusten und Warmwasserbedarf abzüglich der nutzbaren solaren und inneren Wärmegewinne.

### Transmissionswärmeverluste $Q_T$

Als Transmissionswärmeverluste bezeichnet man die Wärmeverluste, die durch Wärmeleitung (Transmission) der wärmeabgebenden Gebäudehülle entstehen. Die Größe dieser Verluste ist direkt abhängig von der Dämmwirkung der Bauteile und diese wird durch den U-Wert angegeben.

### Lüftungswärmeverluste $Q_V$

Lüftungswärmeverluste entstehen durch Öffnen von Fenstern und Türen, aber auch durch Undichtigkeiten der Gebäudehülle. Die Undichtigkeit kann bei Altbauten insbesondere bei sehr undichten Fenstern, Außentüren und in unsachgemäß ausgebauten Dachräumen zu erheblichen Wärmeverlusten sowie zu bauphysikalischen Schäden führen.

### **Trinkwassererwärmung**

Der Trinkwasserwärmebedarf wird aufgrund der Nutzung (Anzahl der Personen, Temperatur u. ä.) ermittelt.

### **U-Wert (früher k-Wert)**

Wärmedurchgangskoeffizient, Größe für die Transmission durch ein Bauteil. Er beziffert die Wärmemenge (in kWh), die bei einem Grad Temperaturunterschied durch einen Quadratmeter des Bauteils entweicht. Folglich sollte ein U-Wert möglichst gering sein. Er wird bestimmt durch die Dicke des Bauteils und den Lambda-Wert (Dämmwert) des Baustoffes.

### **Solare Wärmegewinne $Q_s$**

Das durch die Fenster eines Gebäudes, insbesondere die mit Südausrichtung, einstrahlende Sonnenlicht wird im Innenraum größtenteils in Wärme umgewandelt.

### **Interne Wärmegewinne $Q_i$**

Im Innern der Gebäude entsteht durch Personen, elektrisches Licht, Elektrogeräte usw. Wärme, die ebenfalls bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs in der Energiebilanz angesetzt werden kann.

### **Anlagenverluste**

Die Anlagenverluste umfassen die Verluste bei der Erzeugung  $Q_g$  (Abgasverlust), ggf. Speicherung  $Q_s$  (Abgabe von Wärme durch einen Speicher), Verteilung  $Q_d$  (Leitungsverlust durch ungedämmt bzw. schlecht gedämmte Leitungen) und Abgabe  $Q_c$  (Verluste durch mangelnde Regelung) bei der Wärmeübergabe.

### **Wärmebrücken**

Als Wärmebrücken werden örtlich begrenzte Stellen bezeichnet, die im Vergleich zu den angrenzenden Bauteilbereichen eine höhere Wärmestromdichte aufweisen. Daraus ergeben sich zusätzliche Wärmeverluste sowie eine reduzierte Oberflächentemperatur des Bauteils in dem betreffenden Bereich. Wird die Oberflächentemperatur durch eine vorhandene Wärmebrücke abgesenkt, kann es an dieser Stelle bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur der Raumluft, zu Kondensatbildung auf der Bauteiloberfläche mit den bekannten Folgeerscheinungen, wie z. B. Schimmelpilzbefall kommen. Typische Wärmebrücken sind z. B. Balkonplatten, Attiken, Betonstützen im Bereich eines Luftgeschosses, Fensteranschlüsse an Laibungen.

### **Gebäudevolumen $V_e$**

Das beheizte Gebäudevolumen ist das anhand von Außenmaßen ermittelte, von der wärmeübertragenden Umfassungs- oder Hüllfläche eines Gebäudes umschlossene Volumen. Dieses Volumen schließt mindestens alle Räume eines Gebäudes ein, die direkt oder indirekt durch Raumverbund bestimmungsgemäß beheizt werden. Es kann deshalb das gesamte Gebäude oder aber nur die entsprechenden beheizten Bereiche einbeziehen.

### **Wärmeübertragende Umfassungsfläche $A$**

Die Wärmeübertragende Umfassungsfläche, auch Hüllfläche genannt, bildet die Grenze zwischen dem beheizten Innenraum und der Außenluft, nicht beheizten Räumen und dem Erd-

reich. Sie besteht üblicherweise aus Außenwänden einschließlich Fenster und Türen, Kellerdecke, oberste Geschossdecke oder Dach. Diese Gebäudeteile sollten möglichst gut gedämmt sein, weil über sie die Wärme aus dem Rauminneren nach außen dringt.

### **Kompaktheit $A/V$**

Das Verhältnis der errechneten wärmeübertragenden Umfassungsfläche bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen ist eine Aussage zur Kompaktheit des Gebäudes.

### **Gebäudenutzfläche $A_N$**

Die Gebäudenutzfläche beschreibt die im beheizten Gebäudevolumen zur Verfügung stehende nutzbare Fläche. Sie wird aus dem beheizten Gebäudevolumen unter Berücksichtigung einer üblichen Raumhöhe im Wohnungsbau abzüglich der von Innen- und Außenbauteilen beanspruchten Fläche aufgrund einer Vorgabe in der Energiesparverordnung (Faktor von 0,32) ermittelt. Sie ist in der Regel größer als die Wohnfläche, da z. B. auch indirekt beheizte Flure und Treppenhäuser einbezogen wird.