

## Energetisches Sanierungskonzept

für Trakt B des HANSE-Berufskollegs in Lemgo



## Impressum

Die energetische Untersuchung von Trakt B des Hanse-Berufskollegs erfolgte im Rahmen des Projektes RE-BUILD-OWL

### Konzepterstellung:



Hochschule Trier  
Umwelt-Campus Birkenfeld  
Postfach 1380  
55761 Birkenfeld  
Tel.: 06782 17-1221

### Institutsleitung:

Prof. Dr. Peter Heck  
Geschäftsführender Direktor IfaS

### Projektteam:

Thomas Anton  
t.anton@umwelt-campus.de

Manuel Schaubt  
m.schaubt@umwelt-campus.de

Johannes Dietz  
j.dietz@umwelt-campus.de

Louis Kunz  
l.kunz@umwelt-campus.de



## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                 | <b>1</b>  |
| 1.1      | Aufgabenstellung                                                  | 1         |
| 1.2      | Methodisches Vorgehen                                             | 1         |
| <b>2</b> | <b>Untersuchung des Ist-Zustandes</b>                             | <b>2</b>  |
| 2.1      | Beschreibung der Gebäudehülle                                     | 2         |
| 2.2      | Beschreibung der Anlagentechnik                                   | 4         |
| 2.3      | Analyse der Gebäudehülle                                          | 6         |
| 2.4      | Analyse der Bauteile der thermischen Hülle                        | 7         |
| 2.5      | Analyse von Nutzung und Konditionierung                           | 9         |
| 2.6      | Energiebilanz des Gebäudes                                        | 10        |
| 2.7      | Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes                          | 14        |
| <b>3</b> | <b>Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen</b>                       | <b>14</b> |
| 3.1      | Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der thermischen Gebäudehülle | 14        |
| 3.2      | Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Anlagentechnik           | 17        |
| 3.2.1    | Installation einer Lüftungsanlage                                 | 17        |
| 3.2.2    | Installation einer Photovoltaik-Anlage                            | 18        |
| 3.3      | Einzelmaßnahmen im Überblick                                      | 20        |
| 3.4      | Gesamtmaßnahmen                                                   | 22        |
| 3.5      | Auswirkungen über das untersuchte Gebäude hinaus                  | 25        |
| <b>4</b> | <b>Fazit</b>                                                      | <b>26</b> |
| <b>5</b> | <b>Anhang 1</b>                                                   | <b>28</b> |
| 5.1      | Energiemanagement                                                 | 28        |
| 5.2      | Nicht-investive Energiesparmaßnahmen                              | 28        |
| 5.3      | Grundlagen der Untersuchung                                       | 29        |
| 5.3.1    | Unterlagen für die Analyse des Ist-Zustandes                      | 29        |
| 5.3.2    | Verwendete Normen                                                 | 29        |
| 5.3.3    | Verwendete Software                                               | 30        |
| 5.3.4    | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung                                    | 30        |
| 5.3.5    | Begriffe und Definitionen                                         | 31        |





## 1 Einleitung

### 1.1 Aufgabenstellung

Mit dem Ziel der Einsparung von Energie und damit der Senkung des jährlichen Energieverbrauchs und der Energiekosten sowie der Minimierung der Schadstoffemissionen wünscht der Auftraggeber eine energetische Analyse des Gebäudes und dessen Anlagen. Daraus resultierend sollen verschiedene kostengünstige, umweltverträgliche und nutzungsgerechte Lösungen von energieeffizienten Gebäudemodernisierungen, die zur Steigerung der Energieeffizienz führen, abgeleitet und dem Ist-Zustand gegenübergestellt werden. Das Energieeinsparpotenzial soll, bezogen auf die einzelnen Gewerke und Energieträger, im direkten Vergleich ermittelt werden.

### 1.2 Methodisches Vorgehen

In Hinblick auf die Umsetzung der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie wurde ein komplexes Verfahren entwickelt, mit dessen Hilfe der Primär-, End- und Nutzenergiebedarf von aufwändig ausgestatteten Wohn- und Nichtwohngebäuden bestimmt werden kann. Dieses Verfahren wurde als Grundlage für die Energiebedarfsberechnung in Deutschland in der DIN V 18599 verankert, die seit 2005 als Vornormenreihe veröffentlicht ist. Die nach dieser Vornorm durchgeführte Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz, d. h. es erfolgt eine gemeinschaftliche Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik unter Beachtung des dynamischen Verhaltens und gegenseitiger Wechselwirkungen.

In der vorliegenden Energiepotenzialanalyse wurden zunächst die energietechnischen Grundlagen des Gebäudes erarbeitet und daraus die Energiebilanzen für den Ist-Zustand erstellt. Anschließend wurden Modernisierungsvarianten unter dem Aspekt ihres Einflusses auf den Energiebedarf des Gebäudes untersucht. Effizienz beschreibt dabei allgemein die Wirksamkeit von Maßnahmen. Energieeffiziente Gebäude sind demnach Gebäude, die zur Erfüllung ihrer Nutzungsbedingungen einen möglichst geringen Energiebedarf aufweisen. Grundsätzlich kann man über folgende Faktoren Einfluss nehmen:

- Baukörper- und Fassadengestaltung
- energieeffiziente Energiebereitstellungstechnologien
- nutzungsgerechte Verteilsysteme
- energieeffiziente Anwendungstechnologien
- Einsatz von Gebäudeautomationstechnik
- optimaler Betrieb des Gebäudes und der Anlagen

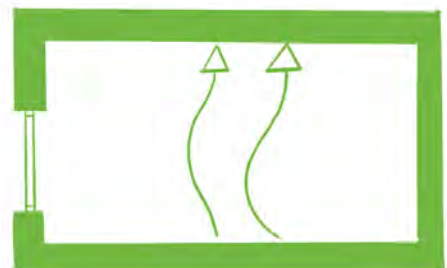


Welche Maßnahmen in der jeweiligen Modernisierungsvariante untersucht wurden und welchen Einfluss diese auf den Energiebedarf haben, ist in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt.

## 2 Untersuchung des Ist-Zustandes

### 2.1 Beschreibung der Gebäudehülle

|                           |                                                                                                                                                                       |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Baujahr                   | 1963                                                                                                                                                                  |
| Anzahl der Geschosse      | 3                                                                                                                                                                     |
| Umbau/Anbau               | -                                                                                                                                                                     |
| BGF                       | 1.042 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                  |
| Beheizte NGF <sup>1</sup> | 928 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                    |
| Thermische Hüllfläche     | 1.683 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                  |
| Beheiztes Gebäudevolumen  | 3.669 m <sup>3</sup>                                                                                                                                                  |
| Hüllfläche / Volumen      | 0,46 1/m                                                                                                                                                              |
| Konstruktion              | Stahlbeton-Skelett-Konstruktion                                                                                                                                       |
| Gebäudenutzung            | Berufskolleg                                                                                                                                                          |
| Oberer Gebäudeabschluss   | Der obere thermische Gebäudeabschluss wird von der obersten Geschossdecke gebildet. Sie ist aus Stahlbeton ausgeführt und mit eine 2,5cm starken Schicht EPS gedämmt. |



<sup>1</sup> Nettogeschossfläche, welche zur Berechnung herangezogen wurde.



### Außenwand



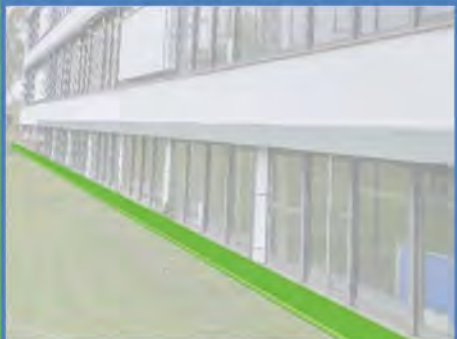
Die Außenwände sind in Stahlbeton-Skelettbauweise ausgeführt. Der Aufbau der massiven Brüstungen unterscheidet sich zwischen den Fassaden. Die Brüstungen der Nordfassade sind gemauert (32 cm) und ohne Dämmung ausgeführt. Die Brüstungen der restlichen Fassaden bestehen aus einer äußeren Schicht Stahlbeton (20-22 cm) einer mittleren Schicht EPS (2,5-3,5 cm) und einer inneren Schicht Mauerwerk (7-11,5 cm).

### Fenster und Türen

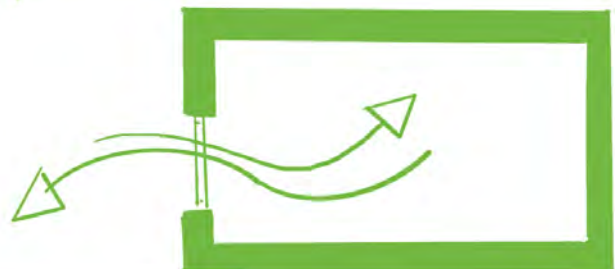


Die Fenster des Gebäudes wurden 1987 ausgetauscht, gegen Modelle mit Aluminiumrahmen und Zweifachverglasung. Ihre Verschattung erfolgt mit manuell gesteuerten Außenjalousien.

### Unterer Gebäudeabschluss



Den unteren thermischen Gebäudeabschluss bildet die Bodenplatte aus Stahlbeton.



## 2.2 Beschreibung der Anlagentechnik

|                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Energieträger</p> <p>Primärenergiefaktor</p> <p>CO<sub>2</sub> Faktor</p> <p>Anteil erneuerbarer Energien</p> | <p>Fernwärme</p> <p>0,24</p> <p>0 g CO<sub>2eq</sub> / kWh<sub>th</sub></p> <p>58%</p>                                                                                                                |
| <p>Heizkesselanlage</p>         | <p>Das Gebäude ist an das Fernwärmenetz der Stadtwerke Lemgo angeschlossen. Dessen Vorlauftemperatur liegt bei ca. 95°C.</p>                                                                          |
| <p>Verteilung</p>             | <p>Die Verteilleitungen (Vor- und Rückläufe) im Heizungsraum sind bereits gut gedämmt. Auch die Umwälzpumpen wurden bereits gegen Hocheffizienzmodelle ausgetauscht und mit Dämmschalen versehen.</p> |
| <p>Übergabe</p>               | <p>Die Übergabe der Raumwärme erfolgt über Radiatoren auf dem Baujahr des Gebäudes. Die Regelung erfolgt über die Temperatur in einem Führungsraum.</p>                                               |

#### Trinkwarmwasser



Im untersuchten Gebäude wird kein Trinkwarmwasser verwendet. Die Klassenräume haben Waschbecken mit Kaltwasseranschluss. Die Sanitärräume sind im Nachbargebäude untergebracht.

#### Beleuchtung



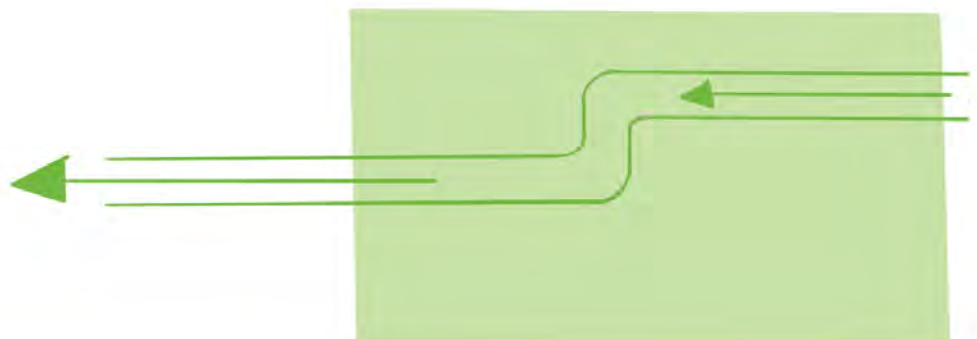
Für die Beleuchtung des Gebäudes werden überwiegend T8 Leuchtstoffröhren mit Spiegelraster eingesetzt.

#### Lüftung

Die Belüftung des Gebäudes erfolgt über die Fenster und Undichtigkeiten der Gebäudehülle.

#### Regenerative Energien

Die Fernwärme hat einen Anteil erneuerbarer Energie von 58%. Darüber hinaus werden keine erneuerbaren Energien eingesetzt.



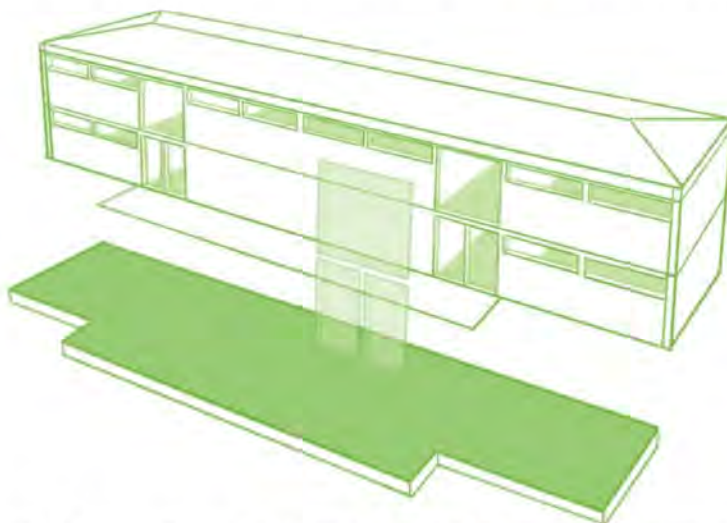


## 2.3 Analyse der Gebäudehülle

Für die detaillierte Untersuchung des Gebäudes wurde mit der Software Solar-Computer ein 3D-Modell des Gebäudes erstellt. Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen zwei Ansichten dieses Modells, welche bearbeitet und illustriert wurden.



**Abbildung 1: 3D-Modell des untersuchten Gebäudes, Ansicht Süd-Ost, bearbeitet und illustriert**



**Abbildung 2: 3D-Modell des untersuchten Gebäudes, Ansicht Nord-West, bearbeitet und illustriert**

Auf Grundlage des 3D-Modells konnte u.a die Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle ermittelt werden. Hierbei handelt es sich um die Grenzfläche zwischen beheiztem Innenraum und unbeheizter Umgebung. Über diese Fläche verliert das Gebäude in der Heizperiode seine Raumwärme, daher ist sie für die Energieberatung von zentraler Bedeutung. Die Zusammensetzung der thermischen Hülle ist in Abbildung 3 dargestellt.

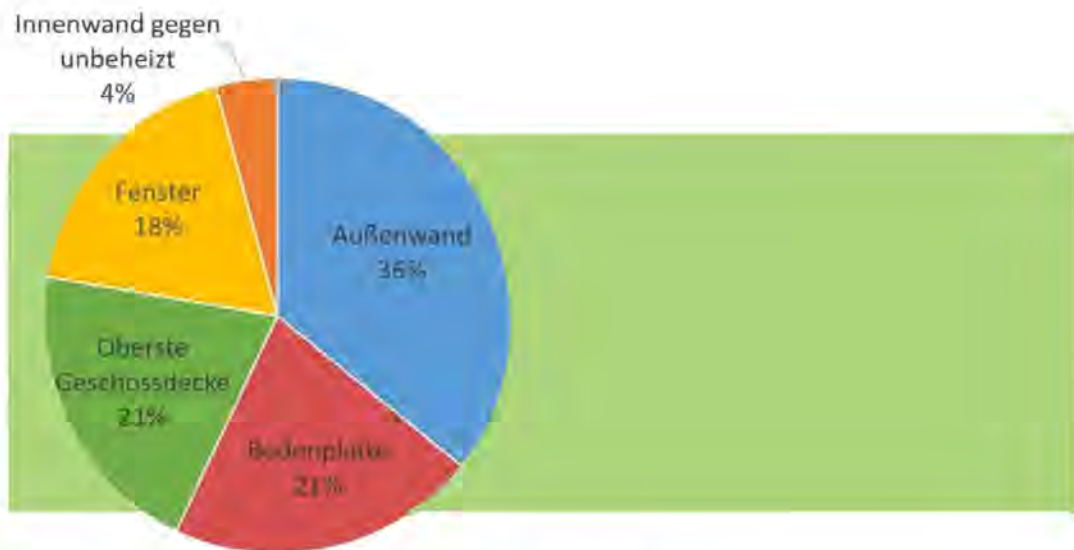


Abbildung 3: Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle

Mit 36% hat die Außenwand den größten Anteil an der thermischen Hülle des Gebäudes. Auf den Plätzen 2 und 3 folgen Bodenplatte und oberste Geschossdecke mit einem Flächenanteil von jeweils 21%. Die Fenster steuern weitere 8% zur thermischen Hülle bei, die Innenwand gegen einen unbeheizten Raum im Kellergeschoss die verbleibenden 4%.

## 2.4 Analyse der Bauteile der thermischen Hülle

Die energetische Qualität eines Bauteils wird über den U-Wert beschrieben. Dieser zeigt den Wärmestrom durch 1 m<sup>2</sup> des Bauteils, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Grad Celsius zwischen Innen- und Außenseite resultiert. Je niedriger der U-Wert eines Bauteils ist, desto höher ist seine energetische Qualität.

Die U-Werte des untersuchten Gebäudes konnten entweder im Rahmen der Vor-Ort-Begehung ermittelt werden oder sie sind der "Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 08.10.2020" (BMI) entnommen. Sie sind in Tabelle 1 aufgeführt, zusammen mit den Anforderungen von Gebäudeenergiegesetz (GEG), Bundesförderung effizienter Gebäude (BEG) und Passivhausstandard.

Tabelle 1: Bauteile der thermischen Hülle

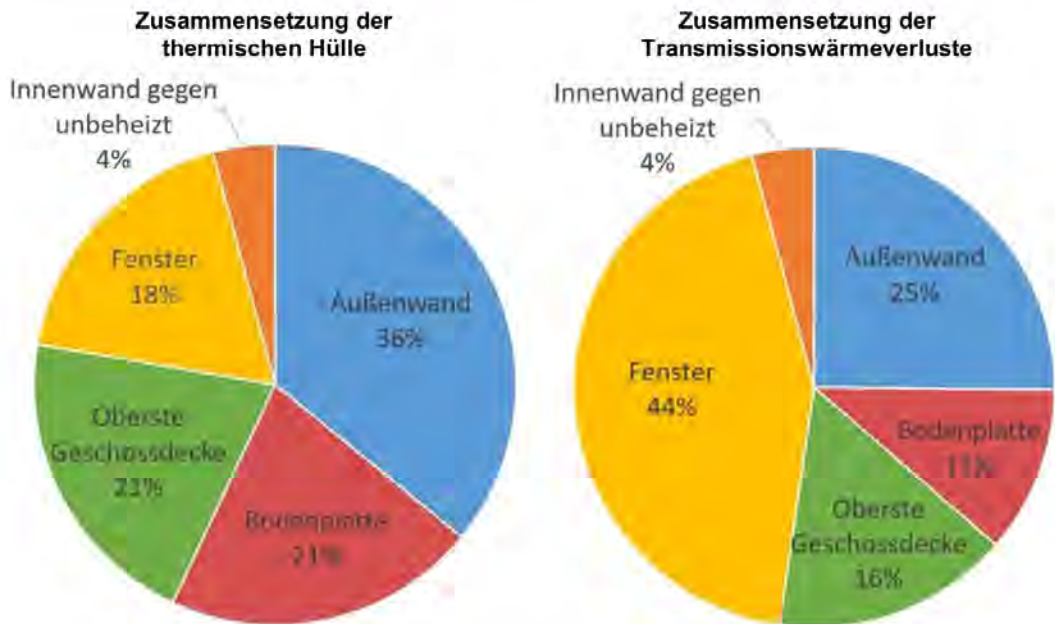
| Bauteil                   | Fläche   | U-Werte [W/m²K] |                       |      |            |
|---------------------------|----------|-----------------|-----------------------|------|------------|
|                           |          | Ist-Zustand     | Anforderung Sanierung |      |            |
|                           |          |                 | GEG                   | BEG  | Passivhaus |
| Außenwand                 | 604 m²   | 1,0             | 0,24                  | 0,20 | 0,15       |
| Bodenplatte               | 355 m²   | 1,2             | 0,30                  | 0,25 | 0,15       |
| Oberste Geschossdecke     | 348 m²   | 1,2             | 0,24                  | 0,14 | 0,15       |
| Fenster                   | 306 m²   | 3,2             | 1,30                  | 0,95 | 0,80       |
| Innenwand gegen unbeheizt | 70 m²    | 1,7             | 0,30                  | 0,25 | 0,15       |
|                           | 1.683 m² |                 |                       |      |            |

Die Tabelle enthält eine zusätzliche farbliche Kennzeichnung (Ampellösung), in der die U-Werte mit den Anforderungen des derzeit gültigen GEG verglichen werden. Die gelb und rot markierten Felder machen deutlich, dass bei diesen Bauteilen die GEG-Werte überschritten sind. Eine rote Markierung bedeutet, dass eine Abweichung von mehr als 100% vorliegt, bei der gelben liegt die Abweichung zwischen 0% und 100%. Die grün hinterlegten Bereiche sind besser als die GEG-Anforderungen.

Alle Bauteile der thermischen Gebäudehülle befinden sich in einem schlechten energetischen Zustand. Außenwände und oberste Geschossdecke sind gedämmt, allerdings nur mit einer Stärke von 2,5 bis 3,5 cm. Auch die Fenster – Baujahr 1987 – weisen einen unzureichenden und weit hinter den heutigen technischen Möglichkeiten zurückbleibenden Wärmeschutz auf

Die Transmissionswärmeverluste eines Gebäudes sind abhängig von den U-Werten und den Flächen der Bauteile seiner thermischen Hülle. Ihre Zusammensetzung ist in Abbildung 4 dargestellt, zusammen mit der Zusammensetzung der thermischen Hülle.





**Abbildung 4: Zusammensetzung von Transmissionswärmeverlusten und thermischer Hülle**

Der Vergleich zeigt, dass die Fenster einen überproportional großen Anteil an den Transmissionswärmeverlusten des Gebäudes haben. Bei einem Flächenanteil von 18% verantworten sie 44% der Transmissionswärmeverluste. Bei Außenwand, Bodenplatte und oberster Geschossdecke ist die Situation umgedreht. Bei einem Anteil von zusammen 78% an der thermischen Hülle verantworten diese 3 Bauteile 52% der Transmissionswärmeverluste des Gebäudes.

## 2.5 Analyse von Nutzung und Konditionierung

Zur energetischen Bewertung wurde das Gebäude in zwei Schritten in einzelne Zonen unterteilt. Im ersten Schritt wurden Bereiche gleicher Nutzung gemäß den Nutzungsprofilen nach DIN V 18599-10 gebildet. Im zweiten Schritt erfolgte eine weitere Unterteilung aufgrund zusätzlicher Zonierungskriterien, wie z. B. der thermischen und beleuchtungstechnischen Konditionierung oder Lüftungsart. In jeder Zone wurden alle Räume (inklusive der jeweiligen Bauteile wie z.B. Wände, Decken, Fenster und der jeweiligen Techniken wie z.B. Heizung, Kühlung, Lüftungsanlage, Trinkwarmwasser und Beleuchtung) mit den gleichen Nutzungsbedingungen aufgenommen und konditioniert. Die Ergebnisse sind nachfolgend tabellarisch und grafisch dargestellt. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der angelegten Zonen, mit ihren Flächen und Konditionierungsformen, Abbildungen 5-7 ihre Verteilung über die 3 Stockwerke des Gebäudes.

Tabelle 2: Übersicht Zonen

| Nr. | Zone               | Beheizte Fläche    |      | Thermische Hüllfläche |      | Konditionierung |        |        |     |             |
|-----|--------------------|--------------------|------|-----------------------|------|-----------------|--------|--------|-----|-------------|
|     |                    |                    |      |                       |      | Heizung         | RLT    |        | TWW | Beleuchtung |
|     |                    |                    |      |                       |      |                 | Zuluft | Abluft |     |             |
| 1   | Klassenräume       | 691 m <sup>2</sup> | 74%  | 1.239 m <sup>2</sup>  | 74%  | X               |        |        |     | X           |
| 2   | Flur & Treppenhaus | 176 m <sup>2</sup> | 19%  | 276 m <sup>2</sup>    | 16%  | X               |        |        |     | X           |
| 3   | Lager              | 61 m <sup>2</sup>  | 7%   | 167 m <sup>2</sup>    | 10%  | X               |        |        |     | X           |
|     |                    | 928 m <sup>2</sup> | 100% | 1.683 m <sup>2</sup>  | 100% |                 |        |        |     |             |



Abbildung 5: Zonierung Erdgeschoss



Abbildung 6: Obergeschoss 1



Abbildung 7: Zonierung Obergeschoss 2

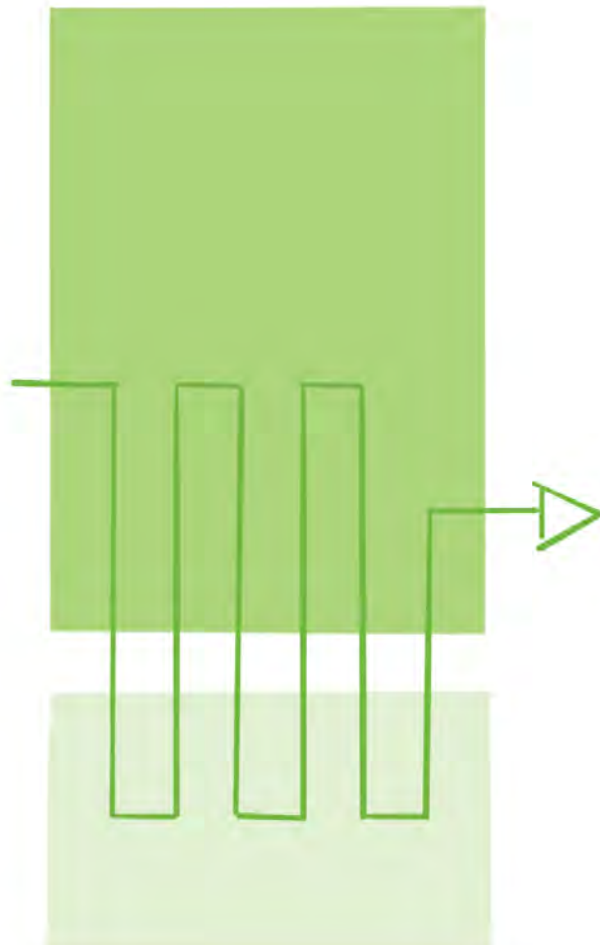
## 2.6 Energiebilanz des Gebäudes

Nach der Analyse von Gebäudehülle, Bauteilen, Nutzung und Konditionierung wurde die Energiebilanz des Gebäudes unter den vorgegebenen Randbedingungen des GEG rechnerisch ermittelt. An dieser Stelle wird die Energiebilanz im Überblick dargestellt und anschließend erläutert. Die Berechnungen sind als Anhang beigefügt.



**Tabelle 3: Energiebilanz des Gebäudes im Ist-Zustand**

|                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| Wärmesenken Heizung         | 283.220 kWh/a |
| davon Transmission          | 204.218 kWh/a |
| davon Lüftung               | 78.515 kWh/a  |
| davon innere Wärmesenken    | 0 kWh/a       |
| davon solare Wärmesenken    | 487 kWh/a     |
| Wärmequellen Heizung        | 76.357 kWh/a  |
| davon Transmission          | 0 kWh/a       |
| davon Lüftung               | 0 kWh/a       |
| davon innere Wärmequellen   | 29.457 kWh/a  |
| davon solare Wärmequellen   | 46.901 kWh/a  |
| Nutzenergiebedarf           | 218.525 kWh/a |
| Heizung                     | 218.525 kWh/a |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |
| Verluste der Anlagentechnik | 61.251 kWh/a  |
| Heizung                     | 61.251 kWh/a  |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |
| Erzeugernutzenergieabgabe   | 279.776 kWh/a |
| Heizung                     | 279.776 kWh/a |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |
| Verluste der Erzeugung      | 1.576 kWh/a   |
| Heizung                     | 1.576 kWh/a   |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |
| Endenergie                  | 281.352 kWh/a |
| Heizung                     | 281.352 kWh/a |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |
| genutzte Umweltenergie      | 0 kWh/a       |
| Heizung                     | 0 kWh/a       |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |
| Hilfsenergie                | 881 kWh/a     |
| Heizung                     | 881 kWh/a     |
| Warmwasser                  | 0 kWh/a       |



Für den **Nutzenergiebedarf** der Heizung werden alle Wärmesenken und -quellen gegenübergestellt. Die **Wärmesenken** sind durch einen Wärmestrom vom Inneren des Gebäudes nach außen gekennzeichnet. Dabei werden die Wärmesenken in Transmissionswärmesenken, Lüftungswärmesenken, innere Wärmesenken und solare Wärmesenken unterteilt.



**Transmissionswärmesenken** kennzeichnen den Wärmestrom von innen nach außen durch die Wände, Fenster, Decken, Dächer und Böden. Ihre Größe ist von der Bauteilfläche, dem Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) sowie der Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der Außenseite des Bauteils abhängig. **Lüftungswärmesenken** entstehen durch die Lüftung des Gebäudes. Dabei wird nach Infiltration, Fensterlüftung, Luftaustausch zwischen beheizten und unbeheizten Gebäudeteilen und mechanischer Lüftung unterschieden. Der Betrag der Lüftungswärmesenken ist von dem jeweiligen Luftwechsel sowie dem Temperaturunterschied zwischen der nachströmenden Luft und der Raumluft abhängig. **Innere Wärmesenken** können beispielsweise durch Verteilleitungen von Kühlmitteln oder Kaltwasser oder durch Kaltluftkanäle verursacht werden. **Solare Wärmesenken** entstehen durch Abstrahlungen opaker (also nicht transparenter) Bauteile wie Außenwände und Dächer.

Wenn die Außentemperatur größer als die Raumtemperatur ist, entstehen statt der Transmissionswärmesenken die **Transmissionswärmequellen**. Der Wärmestrom erfolgt also von außen nach innen. Analog verhält es sich bei **Lüftungswärmequellen**. Bei **inneren Wärmequellen** handelt es sich primär um die Abwärme von Personen, Geräten und Beleuchtung im Gebäude. Solare Wärmequellen entstehen vor allem durch die solare Einstrahlung durch transparente Bauteile (vor allem Fenster). Aber auch durch opake Bauteile entstehen solare Wärmequellen.

Aus der Gegenüberstellung von Wärmequellen und Wärmesenken wird der **Nutzenergiebedarf** ermittelt. Dabei können aber nicht alle Wärmequellen angerechnet werden. Ins Besondere im Sommer ist der Betrag der Wärmequellen in der Regel größer als der Betrag der Wärmesenken. Diese „überschüssigen“ Wärmequellen sind für den Heizbetrieb nicht nutzbar. Darüber hinaus spielt die Speicherfähigkeit der Gebäudehülle eine große Rolle. Nur mit einer hohen Speicherfähigkeit können zum Beispiel solare Wärmequellen, die am Tage entstehen, bei geringeren Nachttemperaturen genutzt werden. Der Anteil der nutzbaren Wärmequellen wird durch den Ausnutzungsgrad bestimmt, der aus verschiedenen Gebäudeeigenschaften monatsweise errechnet wird. Der **Nutzenergiebedarf für Warmwasser** wird gemäß der DIN V 18599 angesetzt.

Neben dem Nutzenergiebedarf gibt es **Verluste der Anlagentechnik**. Die Verluste der Übergabe der Wärme an den Raum werden bestimmt durch die Art der Wärmeübergabe (Heizkörper, Fußbodenheizung usw.) und die Regelung. Eine schlechte oder nicht vorhandene Regelung führt zu einer zu großen Raumtemperatur, die durch den Nutzer in der Regel durch Lüften gesenkt wird. Diese Wärmeeinträge entweichen daher ungenutzt nach außen oder äußern sich in einem überheizten Raum. Leitungen der Wärme- und Warmwasserverteilung geben Wärme an den Raum (bei Leitungen innerhalb der Gebäudehülle) oder an die Umgebungsluft ab. Diese Verluste sind umso größer, je größer

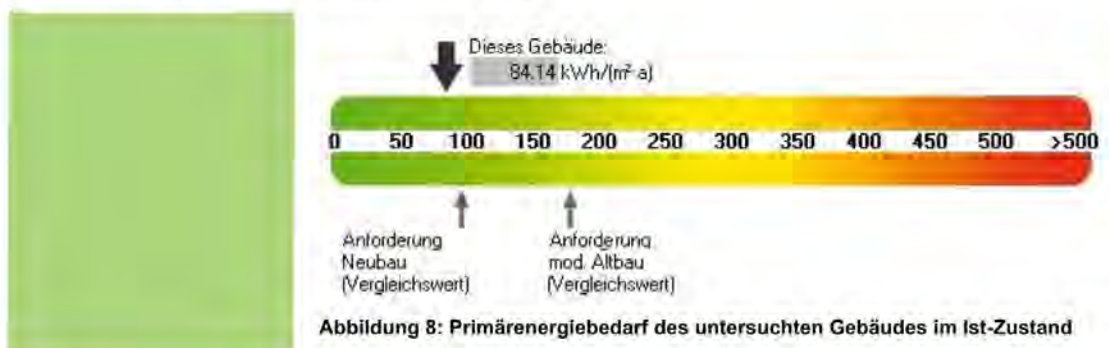
die Temperaturdifferenz zwischen der Leitung und der Umgebungsluft ist und je schlechter die Leitung gedämmt ist. Bei Leitungen innerhalb der Gebäudehülle kommen diese Verluste grundsätzlich dem Raum zu Gute. Da es aber unregelmäßige Wärmeeinträge sind, können sie in der Regel nicht vollständig genutzt werden. Stattdessen führen Sie zu einer Überheizung des Raumes.

Aus der Nutzenergie und den bisher genannten Verlusten der Anlagentechnik entsteht die notwendige **Erzeugernutzwärmeabgabe**. Sie bestimmt, wie viel Nutzwärme der Wärmeerzeuger an die Anlagentechnik abgeben muss, damit der Nutzenergiebedarf und die Verluste der Anlagentechnik gedeckt werden können. Darüber hinaus haben die meisten **Wärmeerzeuger Wärmeverluste**. Diese entstehen auf die gleiche Weise wie die Verluste der Verteilung oder der Speicher. Die Summe der Erzeugernutzenergieabgabe und der Erzeugerverluste ist die **Endenergie**.

Als **Umweltenergie** wird die in unserer Umwelt vorliegende Wärmeenergie bezeichnet. Sie wird z.B. durch Wärmepumpen und Solar-Anlagen für Gebäude nutzbar gemacht.

Neben der benötigten Wärmeenergie für die Deckung des Nutzenergiebedarfs ist **Hilfsenergie** für den Betrieb der Anlagentechnik notwendig. Beispiele hierfür sind der Strom für den Betrieb von Pumpen und Kesseln, elektrische Energie für die Raumtemperaturregelung sowie für den Betrieb von Wärmeerzeugern. Auch die Hilfsenergie hat daher einen Einfluss auf die Effizienz der Wärmeversorgung des Gebäudes und muss daher in die Energiebilanz des Gebäudes aufgenommen werden.

Der berechnete **Primärenergiebedarf** des Gebäudes ist in Abbildung 8 den GEG-Anforderungen an einen modernisierten Altbau gegenübergestellt. Mit einem Primärenergiebedarf von nur 84 kWh/m<sup>2</sup>a liegt das untersuchte Gebäude bei diesem Kriterium ca. 53% unter dem Anforderungswert (178 kWh/m<sup>2</sup>a). Das gute Abschneiden liegt in den Eigenschaften der eingesetzten Fernwärme begründet. Durch einen hohen Anteil erneuerbaren Energien bei ihrer Erzeugung liegt ihr Primärenergiefaktor bei nur 0,24. Daraus resultiert ein niedriger Primärenergiebedarf, selbst wenn die Gebäudehülle wie in diesem Fall nur einen unzureichenden Wärmeschutz aufweist.





## 2.7 Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes

Strom- und Wärmeverbrauch werden nur für das gesamte Hanse-Berufskolleg erfasst, nicht für dessen einzelne Gebäude. An dieser Stelle können daher keine Messwerte für das untersuchte Gebäude aufgeführt werden. Gleiches gilt für den Vergleich von Messwerten mit dem berechneten Energiebedarf.

## 3 Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen

Vom Ist-Zustand ausgehend wurden Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der thermischen Gebäudehülle und der Anlagentechnik untersucht. Zielvorgabe bildeten hierbei die Anforderungen des Passivhausstandards. Die Maßnahmen wurden zuerst einzeln untersucht und anschließend zu verschiedenen Gesamtmaßnahmen kombiniert.

### 3.1 Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der thermischen Gebäudehülle

Einleitend werden Sanierungsvorschläge für die thermische Gebäudehülle vorgestellt. Sie umfassen alle 5 Bauteile der thermischen Hülle (siehe Kapitel 2.3). Angaben zur Ausführung der Maßnahmen und ihren Auswirkungen auf die U-Werte der Bauteile sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

**Tabelle 4: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Ausführung und U-Werte**

| Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle |                                   | U-Werte [W/m²K] |                |                       |      |            | Dämmung |     |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|-----------------------|------|------------|---------|-----|
|                                                 |                                   | Ist-Zustand     | Nach Sanierung | Anforderung Sanierung |      |            | Stärke  | WLG |
|                                                 |                                   |                 |                | GEG                   | BEG  | Passivhaus |         |     |
| 1                                               | Dämmung oberste Geschossdecke     | 1,2             | 0,13           | 0,24                  | 0,14 | 0,15       | 25 cm   | 035 |
| 2                                               | Dämmung Außenwand                 | 1,0             | 0,15           | 0,24                  | 0,20 | 0,15       | 20 cm   | 035 |
| 3                                               | Austausch Fenster                 | 3,2             | 0,80           | 1,30                  | 0,95 | 0,8        | -       | -   |
| 4                                               | Dämmung Innenwand gegen unbeheizt | 1,7             | 0,14           | 0,30                  | 0,25 | 0,15       | 25 cm   | 035 |
| 5                                               | Dämmung Bodenplatte               | 1,2             | 0,14           | 0,30                  | 0,25 | 0,15       | 16 cm   | 025 |

Alle 5 Maßnahmen erfüllen bzgl. der mit ihnen erreichten U-Werte die Anforderung der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). Sie stellt höhere Anforderungen an die energetische Sanierung als das Gebäudeenergiegesetz (GEG), bietet dafür aber auch eine anteilige Förderung der Sanierungskosten. Für Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle liegt der Fördersatz bei 15% der förderfähigen Ausgaben.



4 der 5 in Tabelle 4 dargestellten Sanierungsmaßnahmen behandeln die Dämmung opaker Bauteile der thermischen Gebäudehülle. Stärke und Wärmeleitgruppe (WLG) des Dämmmaterials sind in den beiden Spalten am rechten Rand von Tabelle 4 aufgeführt. Für die Dämmung der Bodenplatte wurde mit WLG 025 gerechnet, für die restlichen Dämmmaßnahmen mit WLG 035. Neben den Dämmmaßnahmen wurde auch der Austausch der Fenster als Maßnahmen betrachtet.

Die Auswirkungen der Maßnahmen 1-5 auf den Energiebedarf und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Gebäudes sind in Tabelle 5 dargestellt. Mit einer Reduktion des Endenergiebedarfs um 27,5% entfaltet der Austausch der Fenster die mit Abstand stärkste Wirkung. Dies liegt neben ihrem schlechten U-Wert im Bestand auch an ihrem hohen Flächenanteil von 34% an der Fassade und 18% an der gesamten thermischen Gebäudehülle. Mit der Dämmung der 4 opaken Bauteile der thermischen Hülle sinkt der Endenergiebedarf des Gebäudes um 37%. Diese Einsparung fällt vergleichsweise gering aus, da die opaken Bauteile – mit Ausnahme der Innenwand gegen einen unbeheizten Kellerraum – im Bestand schon mit einer leichten Dämmung (2,5 – 3,5 cm) ausgeführt sind.

**Tabelle 5: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Einsparungen Energie & CO<sub>2</sub>**

| Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle | Einsparungen |       |               |       |                 |      |
|-------------------------------------------------|--------------|-------|---------------|-------|-----------------|------|
|                                                 | Endenergie   |       | Primärenergie |       | CO <sub>2</sub> |      |
|                                                 | [kWh/a]      |       | [kWh/a]       |       | [kg/a]          |      |
| 1 Dämmung oberste Geschossdecke                 | 32.406       | 11,3% | 7.860         | 10,1% | 28              | 0,8% |
| 2 Dämmung Außenwand                             | 45.639       | 15,9% | 11.108        | 14,2% | 56              | 1,7% |
| 3 Austausch Fenster                             | 79.019       | 27,5% | 19.182        | 24,6% | 84              | 2,5% |
| 4 Dämmung Innenwand gegen unbeheizt             | 8.872        | 3,1%  | 2.153         | 2,8%  | 9               | 0,3% |
| 5 Dämmung Bodenplatte                           | 20.156       | 7,0%  | 4.918         | 6,3%  | 37              | 1,1% |

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind in Tabelle 6 **Error! Reference source not found.** zusammengefasst. Im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren amortisieren sich alle 5 untersuchten Sanierungsmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle. Für die Umsetzung sprechen neben den wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch die mit den Maßnahmen verbundenen Einsparungen von Energie und CO<sub>2</sub> und die Verbesserung der Aufenthaltsqualität.

Die Untersuchung der Sanierungsmaßnahmen stützt sich auf die in Kapitel 1 und 2 vorgestellte Bedarfsrechnung. Der Energiebedarf des untersuchten Gebäudes liegt höchstwahrscheinlich deutlich über dem realen Energieverbrauch. Diese Dynamik trifft auf

die meisten Bestandsgebäude zu und wird durch Unterschiede in der Gebäudenutzung (Nutzungszeiten, Raumtemperaturen, Luftwechselraten, Trinkwarmwasserbedarf etc.) hervorgerufen.

**Tabelle 6: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Investitionskosten & Amortisationszeiten**

| Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle |                                   | Gesamte Investitionskosten | Instandhaltungskosten (Sowieso-Kosten) | Amortisation [Jahre] |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1                                               | Dämmung oberste Geschossdecke     | 28.000 €                   | -                                      | 8                    |
| 2                                               | Dämmung Außenwand                 | 121.000 €                  | 36.300 €                               | 21                   |
| 3                                               | Austausch Fenster                 | 244.000 €                  | 146.400 €                              | 24                   |
| 4                                               | Dämmung Innenwand gegen unbeheizt | 9.000 €                    | -                                      | 9                    |
| 5                                               | Dämmung Bodenplatte               | 108.000 €                  | -                                      | 35                   |

## 3.2 Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Anlagentechnik

### 3.2.1 Installation einer Lüftungsanlage

Im Rahmen von Einzelmaßnahme 6 wurde die Nachrüstung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad 70%) betrachtet. Ihre Auswirkungen auf Energiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen sind in Tabelle 7 dargestellt. Der Endenergiebedarf des Gebäudes sinkt (-8%) wie erwartet, Primärenergiebedarf (+12,6%) und CO<sub>2</sub>-Emissionen (+167%) steigen jedoch an. Dieser Anstieg ist eine indirekte Auswirkung der erneuerbaren Fernwärme, mit der das Gebäude versorgt wird. Ihre niedrigen Primärenergie- (0,24) und CO<sub>2</sub>-Faktoren (0 g CO<sub>2eq</sub> / kWh<sub>th</sub>) führen zu einem stark überproportionalen Einfluss des Strombedarfs der Anlagentechnik auf Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Gebäudes. In diesen beiden Kategorien übersteigen daher die Auswirkungen des zusätzlichen Strombedarfs der Lüftungsanlage die mit dieser Maßnahme verbundenen Einsparungen beim Heizwärmebedarf.

**Tabelle 7: Installation einer Lüftungsanlage – Einsparungen Energie & CO<sub>2</sub>**

| Einzelmaßnahmen Heizung & Lüftung |                        | Einsparungen |      |               |        |                 |         |
|-----------------------------------|------------------------|--------------|------|---------------|--------|-----------------|---------|
|                                   |                        | Endenergie   |      | Primärenergie |        | CO <sub>2</sub> |         |
|                                   |                        | [kWh/a]      |      | [kWh/a]       |        | [kg/a]          |         |
| 6                                 | Lüftungsanlage mit WRG | 23.052       | 8,0% | -9.809        | -12,6% | -5.503          | -167,0% |

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind in Tabelle 8 zusammengefasst. Die Kosten der Lüftungsanlage von ca. 65.000 € amortisieren sich in dieser Untersuchung nicht im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren.



**Tabelle 8: Installation einer Lüftungsanlage – Investitionskosten & Amortisationszeiten**

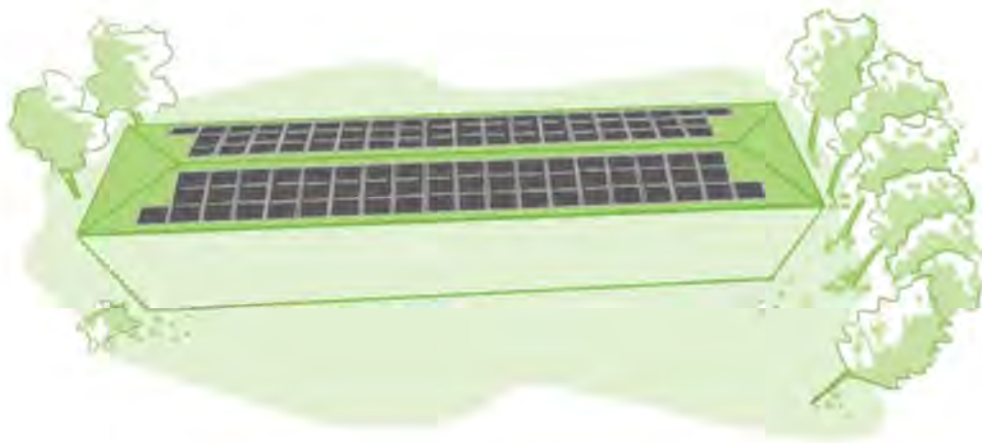
| Einzelmaßnahmen<br>Heizung & Lüftung | Gesamte<br>Investitionskosten | Instandhaltungs-<br>kosten (Sowieso-<br>Kosten) | Amortisation<br>[Jahre] |
|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 6 Wärmepumpen-Heizung                | 65.000 €                      | -                                               | >20                     |

Im Rahmen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) wird der Einbau effizienter Anlagentechnik mit einem Zuschuss gefördert. Bei energieeffizienten raumlufttechnischen Anlagen liegt der Zuschuss aktuell bei 15% der förderfähigen Kosten.

### 3.2.2 Installation einer Photovoltaik-Anlage

Als 7. und letzte Einzelmaßnahme wurde die Installation einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Schulgebäudes untersucht, mit der Software PV-Sol Premium. Die gewählte Verteilung der PV-Module ist in Abbildung 9 dargestellt. Die Modulfläche umfasst ca. 224 m<sup>2</sup> und ist zu gleichen Teilen auf die Süd- und Nordseite des Walmdachs verteilt.

Aufgrund der geringen Dachneigung von nur 10°, kann bei diesem Gebäude auch die Nordseite des Dachs wirtschaftlich für Photovoltaik genutzt werden.



**Abbildung 9: Modulfläche in der PV-Simulation, bearbeitet und illustriert**

Der Betrieb der PV-Anlage wurde für 3 Varianten untersucht: Volleinspeisung, Eigenverbrauch ohne Akku und Eigenverbrauch mit Akku. Für die beiden Varianten mit Eigenverbrauch wurde mit dem Stromlastgang des gesamten Hanse-Berufskollegs im Jahr 2022 gearbeitet. Für das untersuchte Gebäude (Trakt B des Hanse-Berufskollegs) wird der Stromverbrauch nicht isoliert erfasst. Die Ergebnisse der 3 Photovoltaik-Varianten sind in Tabelle 9 zusammengefasst.



Tabelle 9: Ergebnisse der Photovoltaik-Untersuchung

|                                | Variante 1:<br>Volleinspeisung | Variante 2:<br>Eigenverbrauch<br>ohne Akku | Variante 3:<br>Eigenverbrauch<br>mit Akku |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| PV-Generatorleistung           |                                | 49,3 kWp                                   |                                           |
| PV-Generatorfläche             |                                | 223,8 m²                                   |                                           |
| Akku Kapazität                 | -                              |                                            | 22,1 kWh                                  |
| PV-Generatorenergie            |                                | 46.125 kWh/a                               |                                           |
| Eigenverbrauch                 | -                              | 26.996 kWh/a                               | 31.112 kWh/a                              |
| Netzeinspeisung                | 46.125 kWh/a                   | 19.129 kWh/a                               | 15.014 kWh/a                              |
| Stromverbrauch                 |                                | 109.927 kWh/a                              |                                           |
| Eigenverbrauchsanteil          | -                              | 58,5%                                      | 67,5%                                     |
| Autarkiegrad                   | -                              | 24,6%                                      | 28,3%                                     |
| CO <sub>2</sub> -Einsparung    |                                | 21.664 kg/a                                |                                           |
| Invest                         | 72.200 €                       |                                            | 89.900 €                                  |
| Betriebskosten                 |                                | 600 €/a                                    |                                           |
| Stromgestehungskosten          | 0,096 €/kWh                    |                                            | 0,116 €/kWh                               |
| Spezifische Einspeisevergütung | 0,113 €/kWh                    | 0,071 €/kWh                                |                                           |
| Amortisationsdauer             | 19 Jahre                       | 10 Jahre                                   | 11 Jahre                                  |

Alle 3 Varianten stimmen bzgl. Modulfläche (223,8 m²), Leistung (49,3 kWp) und Stromertrag (46.125 kWh/a) überein. Sie unterscheiden sich maßgeblich beim Eigenverbrauch des erzeugten Stroms. Ohne Zwischenspeicherung in einem Akku können bei Variante 2 26.996 kWh des PV-Stroms im Berufskolleg selbst genutzt werden. Bei einem Stromverbrauch von 109.927 kWh pro Jahr (für das gesamte Hanse-Berufskolleg) entspricht dies einem Autarkiegrad von 24,6%. Der Eigenverbrauchsanteil liegt bei 58,5%. Die Berechnungen von Autarkiegrad und Eigenverbrauchsanteil sind in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

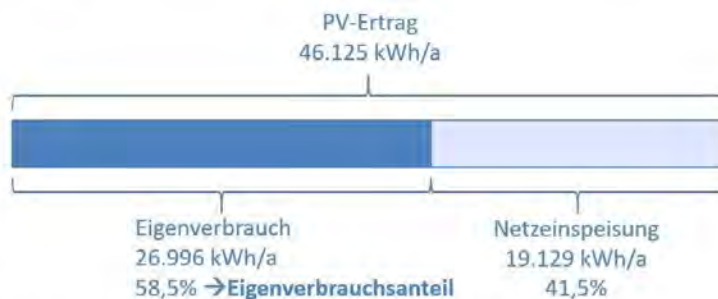


Abbildung 10: Eigenverbrauchsanteil der PV-Anlage

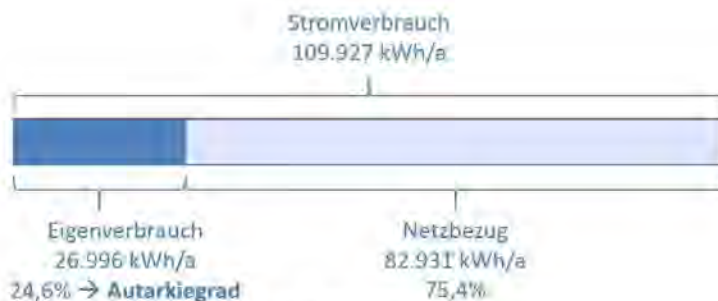


Abbildung 11: Autarkiegrad der PV-Anlage

Bei Variante 3 wurde für die Steigerung des Eigenverbrauchs ein Akku mit einer Kapazität von 22,1 kWh ergänzt. Der Eigenverbrauch kann durch diese Maßnahme von 26.996 auf 31.112 kWh gesteigert werden. Hierdurch steigt der Autarkiegrad auf 28,3% und der Eigenverbrauchsanteil auf 67,5%.

Ohne Akku (Varianten 1 und 2) liegen die Stromgestehungskosten der PV-Anlagen bei 9,6 Cent je kWh, mit Akku (Variante 3) steigen sie leicht auf 11,6 Cent je kWh. Für Netzstrom wurde der durchschnittliche Strompreis des Hanse-Berufskollegs im Jahr 2021 angesetzt, 25,5 Cent je kWh. Eine PV-Anlage mit anteiligem Eigenverbrauch (mit und ohne Akku) bildet bei diesem Preisgefüge eine wirtschaftlich attraktive Option. Aber auch mit Volleispeisung ist eine PV-Anlage für das untersuchte Gebäude wirtschaftlich umsetzbar. Die Amortisationszeiten aller 3 Varianten sind in der letzten Zeile von Tabelle 9 dargestellt und liegen zwischen 10 und 19 Jahren. Mit 10 Jahren landet Variante 2 (Eigenverbrauch ohne Akku) bei diesem Kriterium auf dem ersten Platz, dicht gefolgt von Varianten 3 (Eigenverbrauch mit Akku) mit einer Amortisationszeit von 11 Jahren.

Die Dachflächen des untersuchten Gebäudes haben bzgl. ihrer Ausrichtung und Neigung insgesamt eine hohe Eignung für die Photovoltaik-Nutzung. Netzanschlusspunkte, Leitungswege und Dachstatik wurden im Rahmen des Projektes nicht untersucht.

### 3.3 Einzelmaßnahmen im Überblick

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse aller 7 untersuchten Einzelmaßnahmen tabellarisch zusammengefasst. Tabelle 10 zeigt ihre Einsparungen von Endenergie, Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen, Tabelle 11 ihre Investitionskosten und Amortisationszeiten.

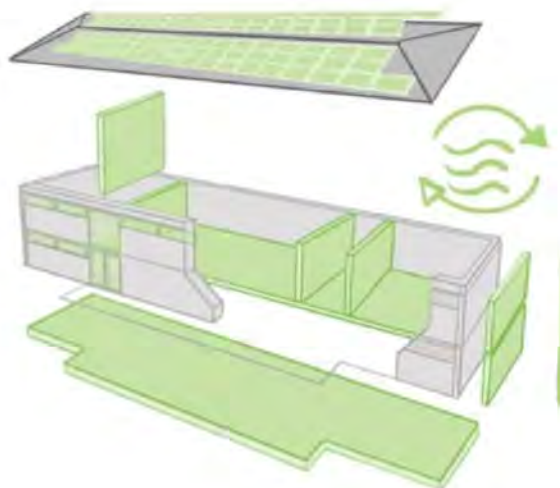


**Tabelle 10: Zusammenfassung der Einzelmaßnahmen - Einsparungen Energie & CO<sub>2</sub>**

| Einzelmaßnahmen |                                   | Einsparungen |       |               |        |                 |         |
|-----------------|-----------------------------------|--------------|-------|---------------|--------|-----------------|---------|
|                 |                                   | Endenergie   |       | Primärenergie |        | CO <sub>2</sub> |         |
|                 |                                   | [kWh/a]      |       | [kWh/a]       |        | [kg/a]          |         |
| 1               | Dämmung oberste Geschossdecke     | 32.406       | 11,3% | 7.860         | 10,1%  | 28              | 0,8%    |
| 2               | Dämmung Außenwand                 | 45.639       | 15,9% | 11.108        | 14,2%  | 56              | 1,7%    |
| 3               | Austausch Fenster                 | 79.019       | 27,5% | 19.182        | 24,6%  | 84              | 2,5%    |
| 4               | Dämmung Innenwand gegen unbeheizt | 8.872        | 3,1%  | 2.153         | 2,8%   | 9               | 0,3%    |
| 5               | Dämmung Bodenplatte               | 20.156       | 7,0%  | 4.918         | 6,3%   | 37              | 1,1%    |
| 6               | Lüftungsanlage mit WRG            | 23.052       | 8,0%  | -9.809        | -12,6% | -5.503          | -167,0% |
| 7               | Photovoltaik-Anlage, Variante 2   | 46.125       | 16,1% | 83.025        | 106,3% | 21.664          | 657,6%  |

**Tabelle 11: Zusammenfassung der Einzelmaßnahmen – Investitionskosten & Amortisationszeiten**

| Einzelmaßnahmen                     | Gesamte Investitionskosten | Instandhaltungskosten (Sowieso-Kosten) | Amortisation [Jahre] |
|-------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------|----------------------|
| 1 Dämmung oberste Geschossdecke     | 28.000 €                   | -                                      | 8                    |
| 2 Dämmung Außenwand                 | 121.000 €                  | 36.300 €                               | 21                   |
| 3 Austausch Fenster                 | 244.000 €                  | 146.400 €                              | 24                   |
| 4 Dämmung Innenwand gegen unbeheizt | 9.000 €                    | -                                      | 9                    |
| 5 Dämmung Bodenplatte               | 108.000 €                  | -                                      | 35                   |
| 6 Lüftungsanlage mit WRG            | 65.000 €                   | -                                      | >20                  |
| 7 Photovoltaik-Anlage, Variante 2   | 72.200 €                   | -                                      | 10                   |



### 3.4 Gesamtmaßnahmen

Nach der Untersuchung der 7 Einzelmaßnahmen wurden diese zu 4 Gesamtmaßnahmen kombiniert. Die hierbei gewählten Kombinationen sind in Tabelle 12 dargestellt.

Tabelle 12: Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen

| Einzelmaßnahmen |                                   | Gesamtmaßnahmen |   |   |   |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------|---|---|---|
|                 |                                   | 1               | 2 | 3 | 4 |
| 1               | Dämmung oberste Geschossdecke     | X               | X | X | X |
| 2               | Dämmung Außenwand                 | X               | X | X | X |
| 3               | Austausch Fenster                 | X               | X | X | X |
| 4               | Dämmung Innenwand gegen unbeheizt | X               | X | X | X |
| 5               | Dämmung Bodenplatte               |                 | X |   |   |
| 6               | Lüftungsanlage mit WRG            |                 |   | X | X |
| 7               | Photovoltaik-Anlage, Variante 2   |                 |   |   | X |

Alle 4 Gesamtmaßnahmen umfassen die Dämmung von oberster Geschossdecke, Außenwand und Innenwand gegen unbeheizt sowie den Austausch der Fenster. Gesamtmaßnahme 1 ist auf diese 4 Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Gebäudehülle begrenzt, in Gesamtmaßnahme 2 ist zusätzlich die Dämmung der Bodenplatte integriert. Bei Gesamtmaßnahmen 3 und 4 wird neben der Gebäudehülle auch die Anlagentechnik optimiert. Gesamtmaßnahme 3 umfasst die Nachrüstung einer Lüftungsanlage, Gesamtmaßnahme 4 zusätzlich die Installation einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Gebäudes. Die mit den Gesamtmaßnahmen realisierbaren Einsparungen sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Gesamtmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO<sub>2</sub>

| Gesamtmaßnahmen |                                                                      | Einsparungen |       |               |        |                 |         |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|-------|---------------|--------|-----------------|---------|
|                 |                                                                      | Endenergie   |       | Primärenergie |        | CO <sub>2</sub> |         |
|                 |                                                                      | [kWh/a]      |       | [kWh/a]       |        | [kWh/a]         |         |
| 1               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt                       | 163.059      | 56,8% | 39.644        | 50,7%  | 186             | 5,6%    |
| 2               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Bodenplatte         | 181.962      | 63,3% | 44.321        | 56,7%  | 232             | 7,0%    |
| 3               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Lüftungsanlage      | 178.761      | 62,2% | 28.072        | 35,9%  | -5.317          | -161,4% |
| 4               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Lüftungsanlage + PV | 224.886      | 78,3% | 111.097       | 142,2% | 16.347          | 496,2%  |



Mit Gesamtmaßnahme 1 wird bei der Endenergie eine Einsparung von 56,8% erzielt. Wird dieses Maßnahmenpaket um die Dämmung der Bodenplatte ergänzt (→ Gesamtmaßnahme 2) steigt die Endenergieeinsparung auf 63,3%. Wird anstelle der Bodenplattendämmung die Nachrüstung einer Lüftungsanlage aufgenommen (→ Gesamtmaßnahme 3) resultiert mit 62,2% eine Einsparung in vergleichbarer Größenordnung. Das beste Ergebnis wird mit Gesamtmaßnahme 4 erreicht. Ihre Kombination aus Maßnahmen an Gebäudehülle (oberste Geschossdecke, Außenwand, Innenwand gegen beheizt und Fenster) und Anlagentechnik (Lüftungsanlage und Photovoltaik-Anlage) resultiert in einer Einsparung von 78,3% Endenergie.

Bei den Einsparungen von Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen zeigen sich die aus Kapitel 3.2.1 bekannten Verzerrungen, die durch den Einsatz erneuerbarer Fernwärme hervorgerufen werden. Durch den niedrigen Primärenergiefaktor von 0,24 wirken sich Einsparungen bei der Fernwärme weitaus geringer auf den Primärenergiebedarf aus als Einsparungen beim Strom (Primärenergiefaktor 1,8). Auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen haben Einsparungen von Fernwärme sogar überhaupt keinen direkten Einfluss, da die Fernwärme als CO<sub>2</sub>-neutral bilanziert wird. Die letztgenannte Dynamik zeigt sich am deutlichsten bei den Gesamtmaßnahmen 1 und 2, die nur Maßnahme an der thermischen Gebäudehülle umfassen. Die Endenergieeinsparungen dieser beiden Maßnahmen liegen bei 56,8 und 63,3%, die CO<sub>2</sub>-Einsparungen hingegen bei nur 5,6 und 7%. Die CO<sub>2</sub>-Einsparungen sind in diesem Fall nicht Null, da sich Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle nicht nur auf den Fernwärmebedarf, sondern indirekt auch leicht auf den Strombedarf (für Umwälzpumpen etc.) auswirken.

Die Investitionskosten und Amortisationszeiten der 4 Gesamtmaßnahmen sind in Tabelle 14 dargestellt. Die Investitionskosten liegen zwischen 402.000 € (Gesamtmaßnahme 1) und 604.000 € (Gesamtmaßnahme 4). Den größten Anteil haben die Maßnahmen an der Gebäudehülle, siehe Kapitel 3.1. Mit Amortisationszeiten zwischen 20 und 22 Jahren liegen die 4 Gesamtmaßnahmen bzgl. ihrer Wirtschaftlichkeit nah beieinander. Wie bereits in Kapitel 3.1 beschrieben, stützt sich die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung auf die Bedarfsrechnung. Der Energiebedarf liegt meist über dem gemessenen Energieverbrauch des Gebäudes, gleiches gilt für die auf Basis des Energiebedarfs berechneten Einsparungen durch Modernisierungen.

In der rechten Spalte von Tabelle 14 sind die mit der Sanierung erreichten Effizienzhaus-Stufen aufgeführt. Hierbei handelt es sich um energetische Standards für Gebäude, die von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) in Deutschland eingeführt wurden. Der Zahlenwert einer Effizienzhaus-Stufe gibt den Primärenergiebedarf des Gebäudes an, relativ zu seinem Referenzgebäude nach GEG. Referenzgebäude werden für jedes Bau- oder Sanierungsvorhaben berechnet. Sie stimmen bzgl. ihrer Geometrie, Nutzfläche und

Ausrichtung mit dem jeweiligen Neubau (oder Bestandsgebäude) überein und erfüllen die Mindestanforderungen des GEG. In Abhängigkeit von der erreichten Effizienzhausstufe werden Neubauten und energetische Sanierungen gefördert, mit zinsgünstigen Krediten und/oder Zuschüssen.

Beim untersuchten Gebäude wird mit allen 4 Gesamtmaßnahmen eine Effizienzhaus-Stufe erreicht. Gesamtmaßnahme 2 führt zur Stufe Effizienzhaus 40, die restlichen 3 Gesamtmaßnahmen zur Stufe Effizienzhaus 70.

**Tabelle 14: Investitionskosten, Amortisationszeiten und Effizienzhausstufen**

| Gesamtmaßnahmen |                                                                      | Invest    | Amortisation [Jahre] | Effizienzhaus-Stufe |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|-----------|----------------------|---------------------|
| 1               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt                       | 402.000 € | 20                   | Effizienzgebäude 70 |
| 2               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Bodenplatte         | 510.000 € | 22                   | Effizienzgebäude 40 |
| 3               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Lüftungsanlage      | 532.000 € | 22                   | Effizienzgebäude 70 |
| 4               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Lüftungsanlage + PV | 604.000 € | 20                   | Effizienzgebäude 70 |

Beim Effizienzgebäude 40 handelt es sich um den anspruchsvollsten Gebäudestandard der Förderbank KfW. In Verbindung mit der Erneuerbare-Energien-Klasse (EE-Klasse) sind Zuschüsse (ohne Kredit) von bis zu 40% möglich. Die EE-Klasse wird erreicht, wenn 65% des Wärmebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt werden. Bei Inanspruchnahme eines Kredites in Höhe der Sanierungskosten (gedeckt bei 10 Mio. Euro, bzw. 2000 €/m<sup>2</sup> NGF) wird beim Effizienzgebäude 40 mit EE-Klasse ein Tilgungszuschuss in Höhe von bis zu 25% gewährt.

Falls die energetische Sanierung nicht in einem Zug, sondern schrittweise erfolgen soll, ist die folgende Reihenfolge von Maßnahmen empfehlenswert:

- Phase 1:
  - Dämmung der obersten Geschossdecke
  - Dämmung der Außenwand
  - Dämmung der Innenwand gegen den unbeheizten Kellerraum
  - Austausch der Fenster
  - Installation einer Lüftungsanlage
- Phase 2: Installation einer Photovoltaik-Anlage
- Phase 3: Dämmung der Bodenplatte (nur im Rahmen einer Kernsanierung)



Phase 1 umfasst 4 Maßnahmen an der Gebäudehülle und die Installation einer Lüftungsanlage. Die Gebäudehülle verantwortet in ihrem aktuellen Zustand hohe Wärmeverluste in der Heizperiode und sollte zeitnah modernisiert werden. Direkt im Anschluss bietet sich die Installation einer Lüftungsanlage an, abgestimmt auf die verbesserte Luftdichtigkeit der Gebäudehülle.

Die Installation der Photovoltaik-Anlage in Phase 2 ist weitgehend unabhängig von den restlichen Modernisierungsmaßnahmen und kann auch als erster Schritt erfolgen.

Die Umsetzung von Phase 3 ist aufgrund des sehr hohen Aufwandes nur im Rahmen einer Kernsanierung empfehlenswert.

### 3.5 Auswirkungen über das untersuchte Gebäude hinaus

Aufgrund der erneuerbaren Fernwärme wirken sich die Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle nur geringfügig auf Primärenergieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des untersuchten Gebäudes aus. Mit der eingesparten Fernwärme können jedoch fossile Heizungen in andere Gebäude ersetzt werden. Diese indirekten Auswirkungen werden folgend untersucht.

Für die fossilen Heizungen wurde bzgl. ihrer Energieträger ein Anteil von 67% Erdgas und 33% Heizöl festgelegt. Dies entspricht dem Mengenverhältnis der beiden Energieträger im deutschen Wohnungsbestand im Jahr 2022. Der Primärenergiefaktor dieser Energieträgerkombination liegt bei 1,1, ihr CO<sub>2</sub>-Faktor bei 0,26 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Auf Basis dieser Faktoren wurden die Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen der 4 Gesamtmaßnahmen neu berechnet, siehe Tabelle 15.

Tabelle 15: Alternativszenario - Einsparungen Energie & CO<sub>2</sub>

| Gesamtmaßnahmen |                                                                      | Einsparungen |       |               |       |                 |        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|-------|---------------|-------|-----------------|--------|
|                 |                                                                      | Endenergie   |       | Primärenergie |       | CO <sub>2</sub> |        |
|                 |                                                                      | [kWh/a]      |       | [kWh/a]       |       | [kWh/a]         |        |
| 1               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt                       | 163.059      | 56,8% | 179.609       | 56,1% | 43.193          | 54,0%  |
| 2               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Bodenplatte         | 181.962      | 63,3% | 200.461       | 62,6% | 48.233          | 60,3%  |
| 3               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Lüftungsanlage      | 178.761      | 62,2% | 189.985       | 59,3% | 40.079          | 50,1%  |
| 4               | OGD + Außenwand + Fenster + IW gegen unbeheizt + Lüftungsanlage + PV | 224.886      | 78,3% | 273.010       | 85,3% | 86.204          | 107,7% |

Wie erwartet steigen die Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen in diesem Alternativszenario stark an. Im Vergleich mit dem ursprünglichen Szenario (siehe Tabelle 13) steigen die Primärenergieeinsparungen der 4 Gesamtmaßnahmen um ca. 140.000 bis 162.000 kWh pro Jahr und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 43.000 bis 70.000 kg pro Jahr. In den Prozentwerten von Tabelle 15 spiegelt sich dieser starke Anstieg nicht wider. Sie beziehen sich auf einen Bestand, der ebenfalls mit den neuen Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Faktoren bewertet wurde.

## 4 Fazit

Das untersuchte Gebäude ist in einem energetisch sanierungsbedürftigen Zustand. Seine thermische Hülle befindet sich mit Ausnahme der Fenster (Austausch 1987) noch im Zustand des Baujahres 1963 und verantwortet entsprechend hohe Transmissionswärmeverluste. Erneuerbare Energien werden im Bestand nur in Form der Fernwärme verwendet, nicht gebäudenah erzeugt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 7 Sanierungsmaßnahmen isoliert betrachtet und anschließend zu 4 Gesamtmaßnahmen kombiniert. Die betrachteten Einzelmaßnahmen sind in Tabelle 16 aufgeführt.

**Tabelle 16: Einzelmaßnahmen der Untersuchung**

| Einzelmaßnahmen |                                                          |
|-----------------|----------------------------------------------------------|
| 1               | Dämmung der obersten Geschossdecke                       |
| 2               | Dämmung der Außenwand                                    |
| 3               | Austausch der Fenster                                    |
| 4               | Dämmung der Innenwand gegen den unbeheizten Kellerraum   |
| 5               | Dämmung der Bodenplatte                                  |
| 6               | Installation einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung |
| 7               | Installation einer Photovoltaik-Anlage                   |

Die Einzelmaßnahmen 1-5 behandeln die Gebäudehülle, die Einzelmaßnahmen 6 und 7 die Anlagentechnik. Die Maßnahmen im Bereich der Gebäudehülle decken alle Bauteile der thermischen Gebäudehülle ab, die Maßnahmen im Bereich der Anlagentechnik die Raumluftechnik und die Stromerzeugung mittels Photovoltaik.

Aus den Einzelmaßnahmen wurden 4 Gesamtmaßnahmen gebildet. Die gewählten Kombinationen sind in Tabelle 17 dargestellt.



Tabelle 17: Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen

| Einzelmaßnahmen |                                                          | Gesamtmaßnahmen |   |   |   |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-----------------|---|---|---|
|                 |                                                          | 1               | 2 | 3 | 4 |
| 1               | Dämmung der obersten Geschossdecke                       | X               | X | X | X |
| 2               | Dämmung der Außenwand                                    | X               | X | X | X |
| 3               | Austausch der Fenster                                    | X               | X | X | X |
| 4               | Dämmung der Innenwand gegen den unbeheizten Kellerraum   | X               | X | X | X |
| 5               | Dämmung der Bodenplatte                                  |                 | X |   |   |
| 6               | Installation einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung |                 |   | X | X |
| 7               | Installation einer Photovoltaik-Anlage, Variante 2       |                 |   |   | X |

Für alle Einzel- und Gesamtmaßnahmen wurden die Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen, die Investitionskosten und die Amortisationszeiten berechnet, für die Gesamtmaßnahmen zusätzlich die erreichten Effizienzhaus-Stufen.

## 5 Anhang 1

### 5.1 Energiemanagement

Neben Sanierungsmaßnahmen an Gebäudehülle und Anlagentechnik wird die Einführung eines Energiemanagementsystems (EnMS) empfohlen. Mit einem solchen System werden Informationen zum Energieverbrauch des Gebäudes systematisch gesammelt und aufbereitet. Sein Einsatz liefert u.a. die folgenden Vorteile:

- Visualisierung des Energieverbrauchs
- Datenbasis zur Ermittlung weiterer Energieeinsparpotentiale (Monitoring)
- Vermeidung von Rebound-Effekten durch Energie-Monitoring

### 5.2 Nicht-investive Energiesparmaßnahmen

Unter dem Begriff nicht-investive Maßnahmen werden diejenigen Maßnahmen verstanden, die das Nutzerbewusstsein und –verhalten in Richtung der Vermeidung eines unnötigen Energieverbrauchs (und generell Ressourcenverbrauchs) lenken. Diese Maßnahmen sind ohne oder nur mit geringem Kosteneinsatz realisierbar. Sie sind eine gute Ergänzung zu den investiven Maßnahmen, im Schnitt besteht ein Einsparpotenzial von ca. 15%. Umgekehrt besteht die Gefahr, durch falsches Nutzerverhalten die Einsparungen der investiven Maßnahmen zu verringern.

Durch Mitarbeiterschulungen oder das Anbringen von Hinweisschildern, die zu Wasser-, Strom- und Energiesparmaßnahmen auffordern, kann ein Anstoß zum Energiesparen bzw. eine Bewusstseinsbildung für die Thematik geschaffen werden. Auch die Einführung einer Energierichtlinie, in der verschiedene Verhaltensweisen (Temperaturen innerhalb der Arbeits- und Aufenthaltsräume, geschlossene Heizkörperthermostate bei geöffneten Fenstern usw.) sowie Einkaufsbedingungen (z.B. Energieeffizienzklasse A) beschrieben werden, führt langfristig zu Einsparungen. Geringinvestive Maßnahmen wie der Einsatz von schaltbaren Steckdosen sollten umgesetzt werden, da diese bei entsprechender Nutzung zwischen 5% und 10% des Stromverbrauchs einsparen. Die Mehrkosten amortisieren sich innerhalb kürzester Zeit.



## **5.3 Grundlagen der Untersuchung**

### **5.3.1 Unterlagen für die Analyse des Ist-Zustandes**

Eine Vor-Ort-Begehung des Gebäudes wurde am 05.10.2022 durchgeführt. Gebäudepläne und Energieverbräuche wurden von der Kreisverwaltung des Landkreises Lippe zur Verfügung gestellt.

### **5.3.2 Verwendete Normen**

Die Berechnung des Energiebedarfs des Gebäudes beruht in diesem Dokument auf den folgenden aktuell gültigen Normen, Rechen- und Gesetzesvorschriften:

#### **DIN V 18599**

Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasser und Beleuchtung

#### **Gebäudeenergiegesetz (GEG)**

Gesetz zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden

#### **Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Nichtwohngebäude (BEG NWG)**

#### **DIN 4108**

Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden  
Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

#### **DIN EN ISO 6946**

Bauteile - Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient

#### **DIN EN ISO 10077-1**

Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen - Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten

#### **DIN EN 13363**

Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen

#### **DIN EN ISO 13370**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmetransfer über das Erdreich

#### **DIN EN ISO 13790**

Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung u. Kühlung

**DIN EN ISO 13789**

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Spezifischer Transmissions- und Lüftungswärmedurchgangskoeffizient

**5.3.3 Verwendete Software**

Zur Berechnung der Einzelmaßnahmen 1-6 und der Gesamtmaßnahmen 1-4 wurde die Software "Solar-Computer" der Firma Solar-Computer GmbH verwendet. Im ersten Schritt wurde mit der Software auf Grundlage der Baupläne ein 3D-Modell des Gebäudes erstellt. Nach Zuweisung passender U-Werte für die einzelnen Bauteile wurde die Anlagentechnik eingegeben und ein Profil der Gebäudenutzung erstellt. Auf Grundlage des fertigen Gebäudemodells konnten anschließend die Auswirkungen von Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle und im Bereich der Anlagentechnik im Detail untersucht werden.

Für Einzelmaßnahme 7, die Ermittlung der Photovoltaik-Potenziale, wurde die Software PV-Sol Premium eingesetzt. Die Datengrundlage bildeten Fotos von der Begehung des Gebäudes und zusätzliche Luftbilder. Anhand dieser Daten wurde im Simulationsprogramm ein 3D-Modell des Gebäudes erstellt. Darüber hinaus wurden umliegende Gebäudestrukturen und die Vegetation im 3D-Modell hinterlegt. Auf Grundlage der Dach- bzw. Modulausrichtung und -neigung, sowie anhand der möglichen Verschattung wurde anschließend der jährliche Photovoltaikertrag berechnet.

**5.3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Bei der Untersuchung der Wirtschaftlichkeit der Sanierungsmaßnahmen wurden die folgenden Parameter verwendet.

- Preise für Brennstoffe und Strom (brutto)
  - Fernwärme: 0,097 €/kWh (inklusive CO<sub>2</sub>-Kosten)
  - Strom : 0,255 €/kWh
- Jährliche Preissteigerungen für Brennstoffe und Strom
  - Fernwärme: 3,7%
  - Strom: 3,1%
- Zinssatz Kredit: 1%
- Betrachtungszeitraum Sanierungsmaßnahmen
  - Maßnahmen an der Gebäudehülle: 40 Jahre
  - Maßnahmen an der Anlagentechnik: 20 Jahre

Bei den verwendeten Investitionskosten handelt es sich um Bruttopreise. Die Förderung ist bei ihnen nicht eingerechnet.



### 5.3.5 Begriffe und Definitionen

#### **Primärenergiebedarf**

Der Primärenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

#### **Endenergiebedarf**

Der Endenergiebedarf ist die berechnete Energiemenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumluftechnische Anlage, Warmwasserbereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnentemperatur, die Erwärmung des Warmwassers und die gewünschte Beleuchtungsqualität über das ganze Jahr sicherzustellen.

#### **Nutzenergiebedarf**

Nutzenergiebedarf ist der Oberbegriff für Nutzwärmebedarf, Nutzkältebedarf, Nutzenergiebedarf für Warmwasser, Beleuchtung und Befeuchtung.

#### **Nutzwärmebedarf (Heizwärmebedarf)**

Der Nutzwärmebedarf ist der rechnerisch ermittelte Wärmebedarf, der zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen in einer Gebäudezone während der Heizzeit benötigt wird.

#### **Nutzkältebedarf (Kühlbedarf)**

Der Nutzkältebedarf ist der rechnerisch ermittelte Kühlbedarf, der zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen innerhalb einer Gebäudezone benötigt wird, in Zeiten in denen die Wärmequellen eine höhere Energiemenge anbieten.

#### **Nutzenergiebedarf der Beleuchtung**

Der Nutzenergiebedarf der Beleuchtung ist der rechnerisch ermittelte Energiebedarf, der sich ergibt, wenn die Gebäudezone mit der im Nutzungsprofil festgelegten Beleuchtungsqualität beleuchtet wird.

#### **Nutzenergiebedarf für Warmwasser**

Der Nutzenergiebedarf für Warmwasser ist der rechnerisch ermittelte Energiebedarf, der sich ergibt, wenn die Gebäudezone mit der im Nutzungsprofil festgelegten Menge an Warmwasser entsprechender Zulauftemperatur versorgt wird.

**Energieeffizienz**

Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden durch Vergleich der Energiebedarfskennwerte mit Referenzwerten (d. h. mit wirtschaftlich erreichbaren Energiebedarfskennwerten vergleichbarer neuer oder sanierter Gebäude) oder durch Vergleich der Energieverbrauchskennwerte mit Vergleichswerten (d. h. mit den Mittelwerten der Energieverbrauchskennwerte vergleichbar genutzter Gebäude).

**Zone**

Eine Zone fasst den Grundflächenanteil bzw. Bereich eines Gebäudes zusammen, der durch gleiche Nutzungsrandbedingungen gekennzeichnet ist und keine relevanten Unterschiede hinsichtlich der Arten der Konditionierung und anderer Zonenkriterien aufweist. Die Zone ist die grundlegende räumliche Berechnungseinheit für die Energiebilanzierung.

**Nettogrundfläche, Bezugsfläche**

Als Nettogrundfläche wird die im konditionierten Gebäudevolumen zur Verfügung stehende nutzbare Fläche bezeichnet. Als Bezugsfläche wird die Nettogrundfläche verwendet.

**Hüllfläche bzw. wärmeübertragende Umfassungsfläche**

Die Hüllfläche bzw. wärmeübertragende Umfassungsfläche ist die Grenze zwischen thermisch konditionierten Räumen und der Außenluft, dem Erdreich oder nicht konditionierten Räumen. Über diese Fläche verliert oder gewinnt der gekühlte/beheizte Raum Wärme, daher auch „wärmeübertragende Umfassungsfläche“. Auch nicht beheizte/gekühlte, sondern anderweitig konditionierte Zonen (beleuchtet, belüftet) weisen Hüllflächen auf, bei denen jedoch keine Wärmeübertragung erfolgt. Vereinfachend werden die Benennungen „Hüllfläche“ und „wärmeübertragende Umfassungsfläche“ parallel verwendet.

**Nettoraumvolumen, Luftvolumen (Nettovolumen, Innenvolumen)**

Als Nettoraumvolumen wird das Volumen einer konditionierten Zone bzw. eines gesamten Gebäudes, das dem Luftaustausch unterliegt, bezeichnet. Das Nettoraumvolumen bestimmt sich anhand der inneren Abmessungen und schließt so das Volumen der Gebäudekonstruktion aus.

**Verluste der Anlagentechnik**

Verluste (Wärmeabgabe, Kälteabgabe) in den technischen Prozessschritten zwischen dem Nutzenergiebedarf und dem Endenergiebedarf, d. h. bei der Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung. Die Verluste der Anlagentechnik zählen, sofern sie im konditionierten Raum auftreten, zu den Wärmequellen oder Wärmesenken.



**Hilfsenergie**

Hilfsenergie ist die Energie, die von Heizungs-, Kühl-, Warmwasser-, Raumlufth- und Beleuchtungssystemen verwendet wird, um die zugeführte Energie und Nutzenergie umzuwandeln.

**Wärmesenke und Wärmequelle**

Eine Wärmesenke ist die Wärmemenge, die der Gebäudezone entzogen wird. Eine Wärmequelle ist die Wärmemenge mit Temperaturen über der Innentemperatur, die der Gebäudezone zugeführt wird oder innerhalb der Gebäudezone entsteht.