



# BERATUNGSBERICHT

## zur energetischen Betrachtung von Nichtwohngebäuden

# FÜR DIE ALBERT-SCHWEITZER- SCHULE CLOPPENBURG

## NEBENGEBÄUDE A

**Auftraggeber**  
Landkreis Cloppenburg  
Eschstr. 29  
49661 Cloppenburg

Greven, den 04.04.2023

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



LANDKREIS  
CLOPPENBURG  
**WIRISTHIER.**

 **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
3 Ausgangssituation.....	9
3.1 BESCHREIBUNG DES GEBÄUDES .....	9
3.2 FOTODOKUMENTATION .....	10
3.3 ZONIERUNG UND KONDITIONIERUNG .....	11
3.4 TATSÄCHLICHER VERBRAUCH UND EMISSIONEN .....	14
3.4.1 Energieverbräuche der Liegenschaft.....	14
3.4.2 Energieverbrauchskennwerte.....	15
3.5 WÄRMETECHNISCHE EINSTUFUNG DER GEBÄUDEHÜLLE .....	17
3.5.1 Bauteilliste mit zul. U-Werten nach GEG 2020 und BEG-Förderung .....	17
3.5.2 Bauteilaufbau im Ist-Zustand.....	18
3.6 WÄRMEBRÜCKEN.....	18
3.7 ANLAGENTECHNIK.....	19
3.7.1 Heizungsanlage.....	19
3.7.2 Warmwasserversorgung.....	19
3.7.3 Beleuchtung .....	19
3.7.4 Lüftungstechnik.....	19
3.8 GEBÄUDEBETRACHTUNG.....	20
3.8.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes .....	20
3.8.2 Energiebilanz Ist-Zustand .....	20
3.8.3 Energiekosten .....	23
3.8.4 Preissteigerung durch CO <sub>2</sub> -Steuer .....	24
3.9 PREISERMITTLUNG FÜR DIE SANIERUNGSKOSTEN .....	24
4 Sanierungsvarianten.....	25
4.1 ÜBERSICHT SANIERUNGSVARIANTEN .....	25
4.2 SV 1: REGENERATIVE NAHWÄRME .....	26
5 Fazit .....	27

6	Anhang .....	28
A.1	GLOSSAR .....	28

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 Lageplan mit dem zu bewertenden Gebäude (grün markiert) .....	9
Abbildung 2 3D-Ansicht des Gebäudes .....	11
Abbildung 3 Nutzungszonen .....	12
Abbildung 4 Grundriss EG, zониert .....	12
Abbildung 5 Grundriss OG 1, zониert .....	13
Abbildung 6 Grafische Darstellung der Energieverbrauchsentwicklung .....	15
Abbildung 7 Grafische Darstellung der Energieverbrauchskennwerte .....	16
Abbildung 8 Aufteilung der Transmissions- Lüftungs- und Anlagenverluste .....	21
Abbildung 9 Energiebilanz des Gebäudes.....	22
Abbildung 10 Gesamtbewertung Primärenergiebedarf .....	22
Abbildung 11 Effizienzgebäude-Stufen im Ist-Zustand des Gebäudes .....	23
Abbildung 12 Gesamtbewertung Primärenergiebedarf, SV 1 .....	26
Abbildung 13 Berechnung des Energiebedarfs .....	29

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1 Allgemeine Daten.....	10
Tabelle 2 Zonierung und Konditionierung .....	11
Tabelle 3 Energieverbrauch der Liegenschaft nach Energieart einschließlich Wasserverbrauch .....	14
Tabelle 4 Energieverbrauchskennwerte.....	15
Tabelle 5 Gebäudekennwerte .....	17
Tabelle 6 Energiebedarfskennwerte nach DIN 18599.....	20
Tabelle 7 Darstellung der jährlichen Verluste in kWh/a.....	20
Tabelle 8 Bezugskosten nach Energieträger .....	23
Tabelle 9 Bezugskosten nach Energieträger .....	23
Tabelle 10 Globale Daten zur Ökonomie.....	24

## 1 EINLEITUNG

Der vorliegende Energieberatungsbericht für das Nebengebäude A der Albert-Schweitzer-Schule 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 den Landkreis Cloppenburg 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). Die Kreisverwaltung Cloppenburg strebt an, bis zum Jahr 2035 treibhausgasneutral zu werden.

Dieser Beratungsbericht wurde nach bestem Wissen sowie anhand der verfügbaren Daten erstellt. Die Durchführung und der Erfolg einzelner Maßnahmen bleiben in der Verantwortung der Durchführungsbeteiligten. Die Kostenangaben sind Schätzwerte, daher ist es empfehlenswert bei geplanten Investitionen immer mehrere Vergleichsangebote einzuholen. Die Grundlagen der jeweiligen Kostenangaben sind den einzelnen Sanierungsvarianten zu entnehmen. 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

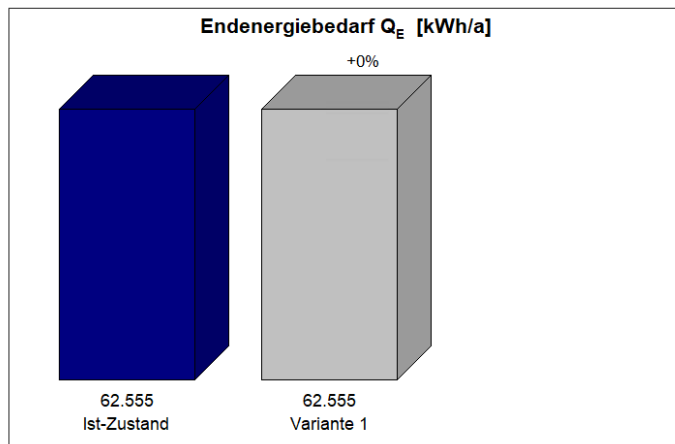
### 2.1 ENDENERGIE- UND KOSTENEINSPARUNG

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

#### Endenergiebedarf

Endenergiebedarf  $Q_E$ :

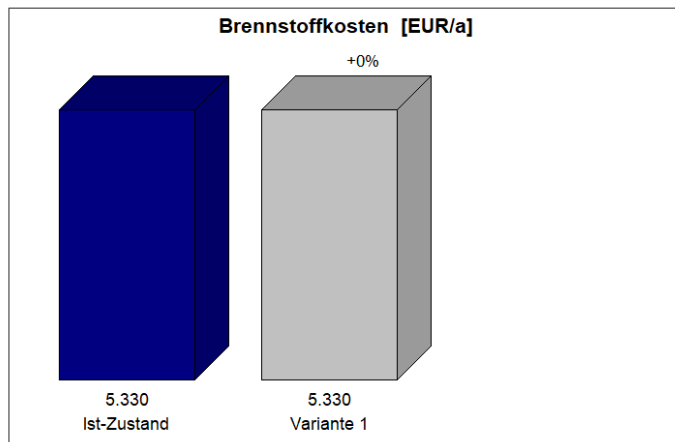
Ist-Zustand  
Var. 1 - regenerative Nahwärme



#### Brennstoffkosten

Brennstoffkosten:

Ist-Zustand  
Var. 1 - regenerative Nahwärme



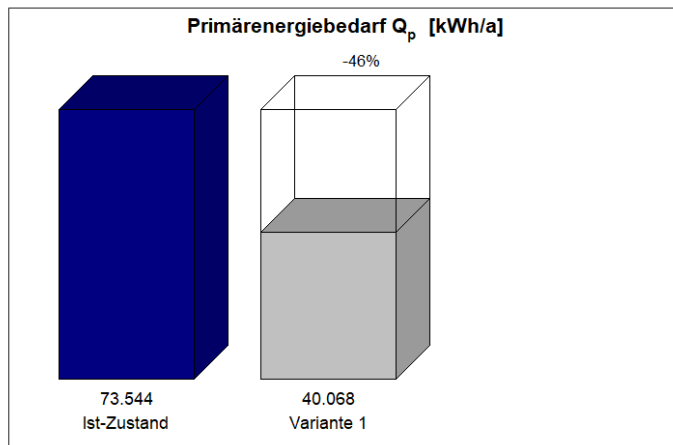
## 2.2 GESAMTEFFIZIENZ UND KLIMASCHUTZ

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

Primärenergiebedarf  $Q_p$ :

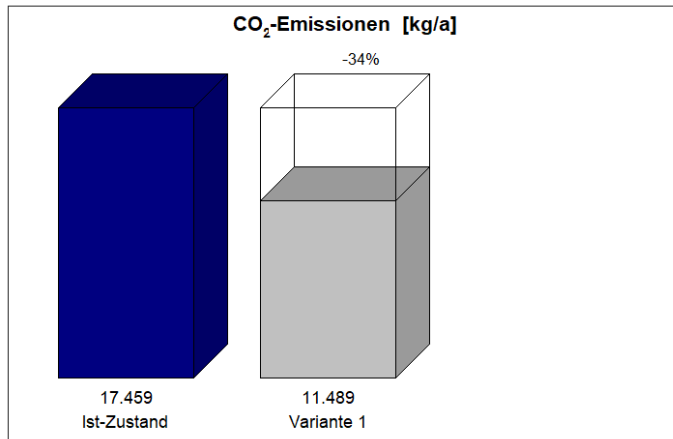
Ist-Zustand  
Var.1 - regenerative Nahwärme



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

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

Ist-Zustand  
Var.1 - regenerative Nahwärme





### 3 AUSGANGSSITUATION

#### 3.1 BESCHREIBUNG DES GEBÄUDES

Die Albert-Schweitzer-Schule liegt an der Vahrener Str. 60 in Cloppenburg. Das Nebengebäude A der Schule wurde im Jahr 1974 errichtet. Das Gebäude wurde als Massivbau errichtet, ist zweigeschossig und hat keinen Keller. In dem Gebäude sind überwiegend Klassen- und Gruppenräume untergebracht. Das Dach ist als Flachdach ausgeführt. Aktuell wird das Gebäude energetisch saniert. Der vorliegende Bericht wurde unter der Annahme des IST-Zustands nach der Fertigstellung der Sanierungsmaßnahmen erstellt.

Das Gebäude wird über die Heizungsanlage des Hauptgebäudes der Albert-Schweitzer-Schule mit Wärme versorgt. Im Zuge der Sanierungsmaßnahmen werden die Heizkörper erneuert und eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung für alle Räume eingebaut.

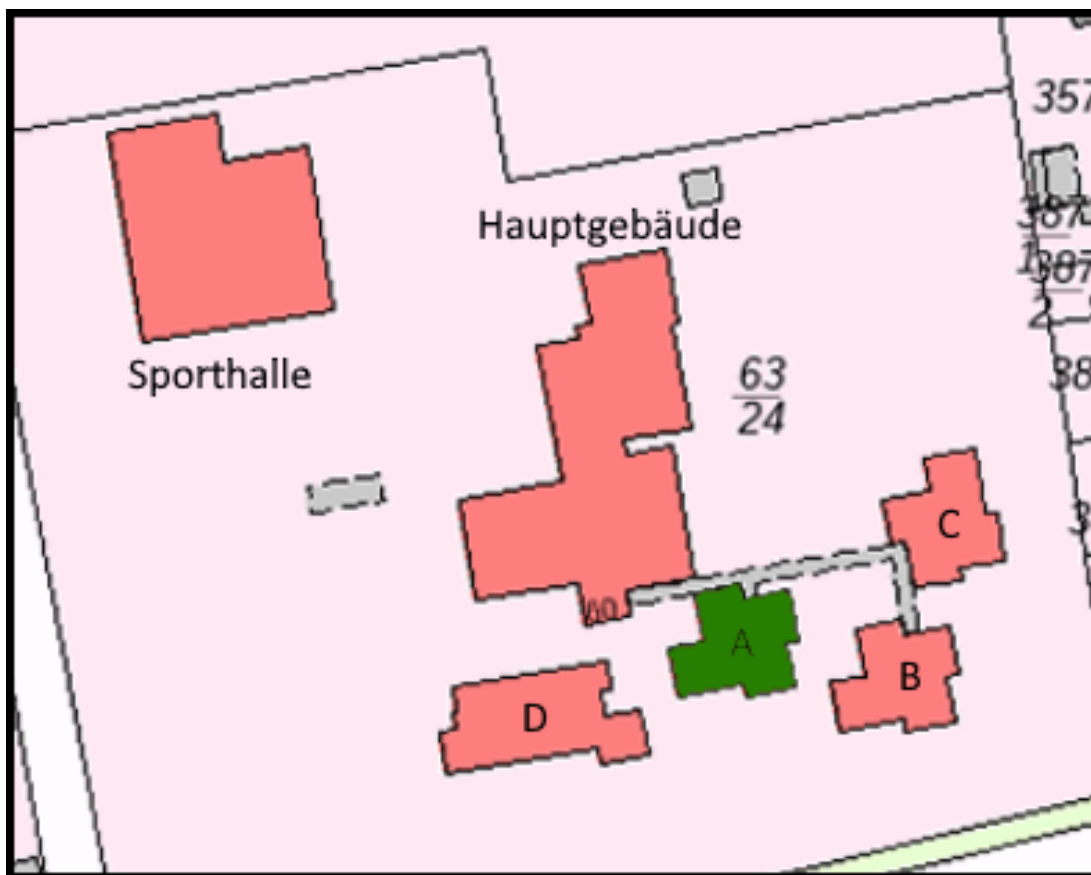


Abbildung 1 Lageplan mit dem zu bewertenden Gebäude (grün markiert)

Tabelle 1 Allgemeine Daten

Name/Bezeichnung	Albert-Schweitzer-Schule Nebengebäude A
Gebäudetyp	Schulgebäude
Straße, Hausnr.	Vahrener Str. 60
PLZ, Ort	49661 Cloppenburg
Baujahre	1974, 2022
Beheiztes Gebäudevolumen V	1.550 m <sup>3</sup>
Nettogrundfläche A <sub>NGF</sub>	527 m <sup>2</sup>
Thermische Hüllfläche	1.160 m <sup>2</sup>
Mittlere Geschosshöhe	ca. 2,94 m

Anmerkung: Flächen- und Volumenangaben beziehen sich lediglich auf thermisch konditionierte Zonen. Ist-Zustand entsprechend den Angaben und Planunterlagen des Landkreis Cloppenburg.

### 3.2 FOTODOKUMENTATION



### 3.3 ZONIERUNG UND KONDITIONIERUNG

Die Abbildung 2 zeigt die 3D-Ansicht des Gebäudes.

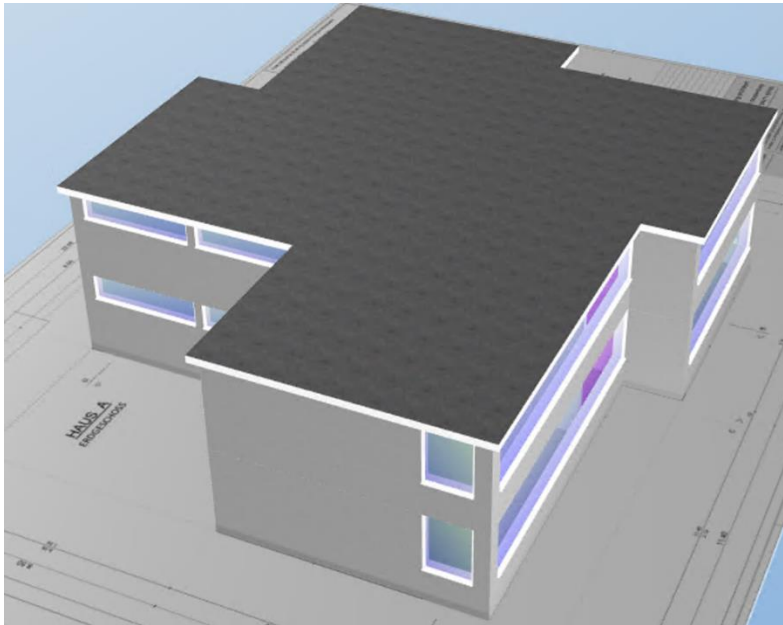


Abbildung 2 3D-Ansicht des Gebäudes

In Tabelle 2 sind die einzelnen Zonen mit der jeweiligen Größe und der Konditionierung dargestellt.

Tabelle 2 Zonierung und Konditionierung

Zone	Konditionierung			Größe in m <sup>2</sup>	Anteilige Größe der Zone in %
	Thermische Konditionierung	RLT	Beleuchtung		
Klassenzimmer	beheizt	Zu- und Ab- luft-Anlage	LED-Leuchten	337	63,9 %
WC und Sanitär- räume	beheizt	Zu- und Ab- luft-Anlage	LED-Leuchten	31	5,9 %
Verkehrsfläche	beheizt	Zu- und Ab- luft-Anlage	LED-Leuchten	123	23,4 %
Lager	beheizt	Zu- und Ab- luft-Anlage	LED-Leuchten	36	6,8 %
<b>Summe</b>				<b>527</b>	<b>100%</b>

Aus Abbildung 3 sind die verschiedenen Nutzungszonen mit den jeweiligen gewählten Farben zu entnehmen:

Zonen nach DIN V 18599	
<span style="color: green;">■</span>	Klassenzimmer (Schule), Gruppenraum (Kindergarten)
<span style="color: cyan;">■</span>	WC und Sanitärräume in Nichtwohngebäuden
<span style="color: gray;">■</span>	Verkehrsfläche
<span style="color: purple;">■</span>	Lager

Abbildung 3 Nutzungszonen

In den folgenden Abbildungen sind die zonierte Grundrisse zu sehen:



Abbildung 4 Grundriss EG, zoniert

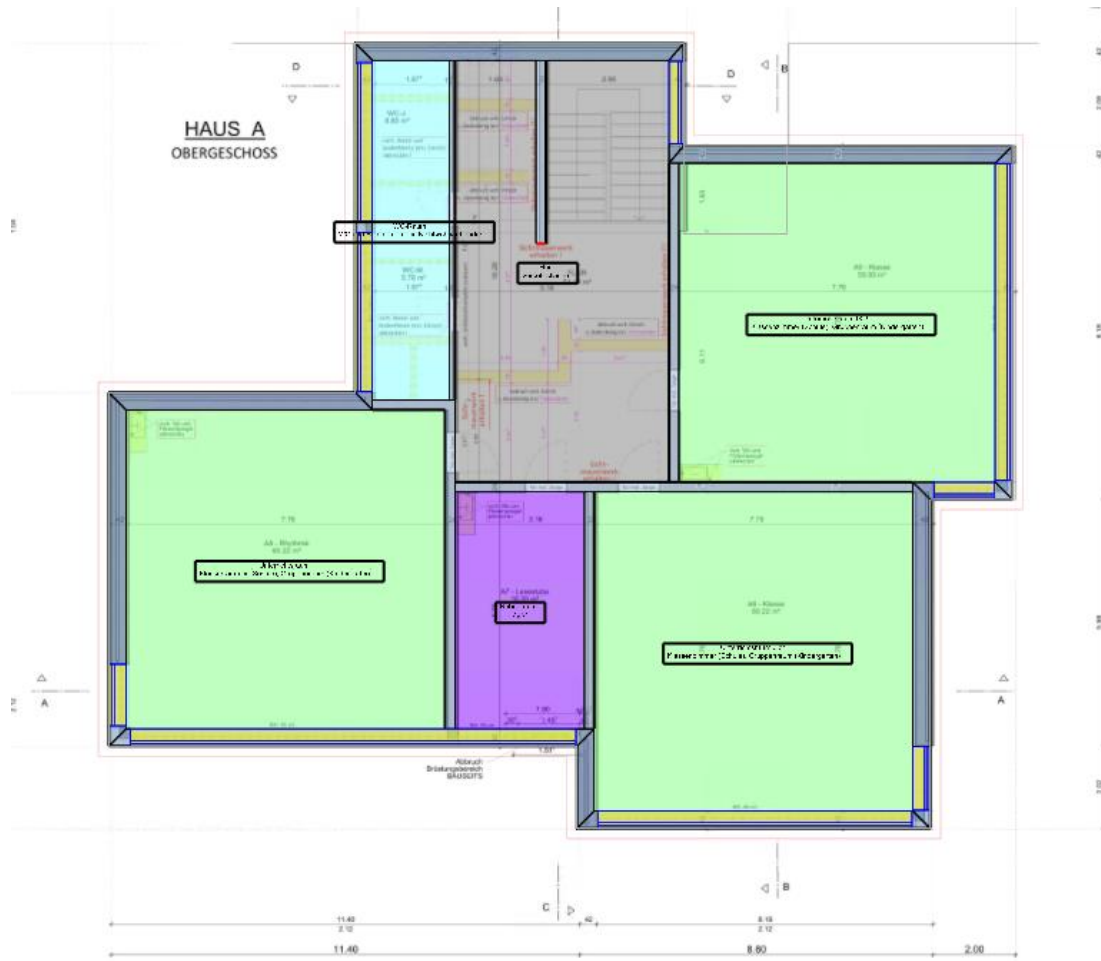


Abbildung 5 Grundriss OG 1, zониert

### 3.4 TATSÄCHLICHER VERBRAUCH UND EMISSIONEN

#### 3.4.1 Energieverbräuche der Liegenschaft

Die Energieverbräuche (Wärme, Strom) einschließlich Wasserverbrauch der Liegenschaft beinhalten alle auf der Liegenschaft befindlichen Gebäude. Dies schließt die separat betrachteten Nebengebäude und die Sporthalle mit ein (vgl. Beratungsberichte Nebengebäude). Um die Verbräuche besser einordnen zu können, sollte der Landkreis Cloppenburg in der Zukunft eigene Messungen für die einzelnen Gebäude durchführen.

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.

In der nachfolgenden Tabelle 3 sind die Verbrauchsdaten von Strom, Gas (witterungsbereinigt) und Wasser aus den Jahren 2016, 2017 und 2018 der Schule zu entnehmen. Es ist darauf hinzuweisen, dass nach diesen Jahren weitreichende Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, die aller Voraussicht nach zu geringeren Verbräuchen geführt haben. Allerdings ist zu vermuten, dass die Verbrauchszahlen aus den Folgejahren aufgrund der Bauphasen und der geringeren Nutzung in den „Corona“-Jahren ebenfalls nicht besonders aussagekräftig sind, weshalb die Zahlen aus den Jahren vor den Maßnahmen gewählt wurden.

Tabelle 3 Energieverbrauch der Liegenschaft nach Energieart einschließlich Wasserverbrauch

Jahr	2016	2017	2018	Mittelwert
klimabereinigter Verbrauch (Gas) [kWh/a]	512.272	580.311	591.284	<b>561.289</b>
Strom [kWh/a]	49.481	54.314	54.424	<b>52.740</b>
Gesamtenergieverbrauch [kWh/a]	561.753	634.625	645.708	<b>614.029</b>
Wasser [m <sup>3</sup> /a]	430	434	348	<b>404</b>

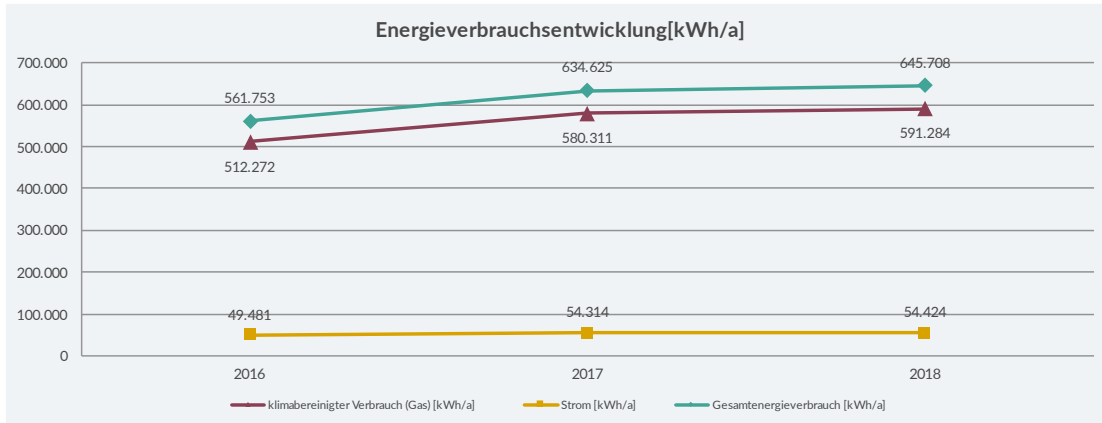


Abbildung 6 Grafische Darstellung der Energieverbrauchsentwicklung

### 3.4.2 Energieverbrauchskennwerte

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

Tabelle 4 Energieverbrauchskennwerte

Schulen mit Turnhalle	Energieverbrauchskennwerte		
	in [kWh/m <sup>2</sup> NGFa] bzw. [dm <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> NGFa]		
Energieträger	Zielwert	Ist-Kennwert	Grenzwert
Strom	5	10	11
Wärme	62	109	99
Wasser	70	78	140

**Anmerkung:** Kennwerte auf Basis der realen Verbrauchs- und Flächenangaben bezogen auf die Liegenschaft / Gebäude des Landkreis Cloppenburg.

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

<sup>2</sup> Ziel- und Grenzwerte sind ermittelte Kennwerte der ages Gesellschaft für Energieplanung und Systemanalyse mbH, Münster (Werte von 2005)  
 Zielwert: Unterer Quartilsmittelwert (arithmetisches Mittel der unteren 25 % aller Verbrauchsdaten (Gebäuden mit niedrigstem Energieverbrauch))  
 Grenzwert: Arithmetisches Mittel (Summe aller Einzelwerte geteilt durch die Summe aller Flächen)

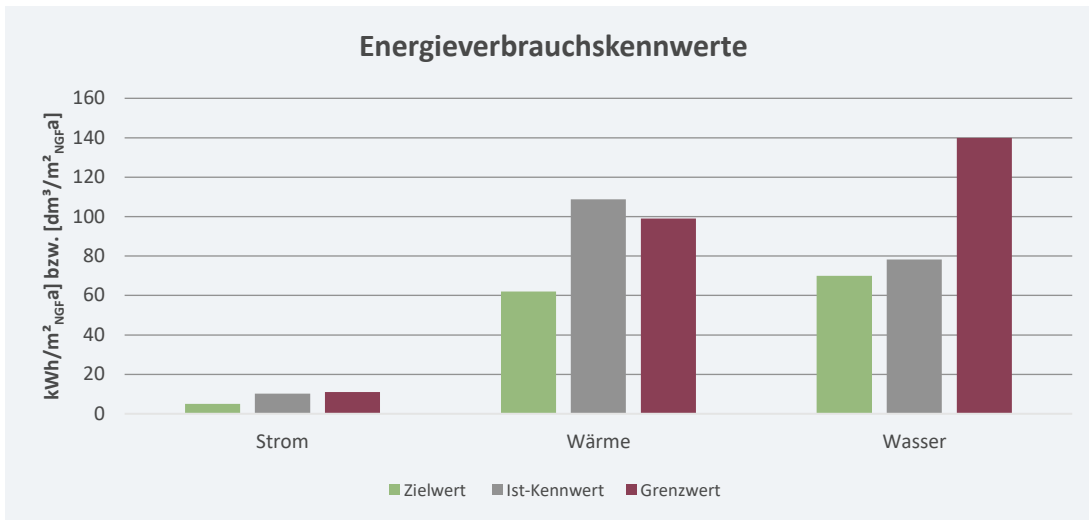


Abbildung 7 Grafische Darstellung der Energieverbrauchskennwerte

Die Energieverbrauchskennwerte für Strom liegen zwischen dem Zielwert und dem Grenzwert. Der weitere Ausbau der LED-Beleuchtung und die Nutzung von Präsenzmeldern würde den Stromverbrauchskennwert näher an den Zielwert bringen.

Der Wärmeverbrauchskennwert liegt über dem Grenzwert. Wie zuvor beschrieben sollte dieser sich jedoch durch die bereits durchgeführten Maßnahmen dem Zielwert weiter angenähert haben.

Der Wasserverbrauch liegt bereits sehr nahe am Zielwert. Um den Wasserverbrauch zu senken, können Durchflussbegrenzer in den WC-Räumen eingesetzt werden.



### 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>3</sup> und / oder nach eigenen Erfahrungswerten angenommen.

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

Die Tabelle 5 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 KfW mit angegeben<sup>4</sup>. Für Baudenkmäler gelten die Anforderungen des GEGs. Von den Anforderungen kann abgewichen werden, wenn „das Erscheinungsbild beeinträchtigt [wird] oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen“ (§ 105 Absatz 1 Satz 1 GEG). Die technischen Mindestanforderungen bei Denkmälern für eine BEG-Förderung sind teilweise geringer. Diese sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 5 Gebäudekennwerte

Bauteil	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]		
	Ist-Zustand	GEG <sup>5</sup>	BEG-Förderung <sup>6</sup>
<i>Bauteiltyp: Bodenflächen gegen Erdreich</i>			
<b>Bodenplatte</b>	1,20	0,30	0,25
<i>Bauteiltyp: Außenwand</i>			
<b>Außenwand</b>	0,19	0,24	0,20
<i>Bauteiltyp: Dächer</i>			
<b>Pult-/ Flachdächer</b>	0,12	0,20	0,14
<i>Bauteiltyp: Fenster</i>			
<b>Fenster</b>	0,90	1,30	0,95
<i>Bauteiltyp: Außentüren</i>			
<b>Außentüren</b>	1,10	1,80	1,30

<sup>3</sup> „U-Werte alter Bauteile“, der von der Deutschen Energie Agentur (Dena) herausgegebenen Typologie

<sup>4</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<sub>w</sub>-Wert für Rahmen und Verglasung (Erläuterung siehe Glossar)

<sup>5</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>6</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.

### 3.5.2 Bauteilaufbau im Ist-Zustand

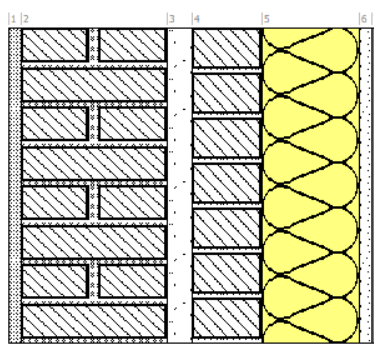
#### Außenwand

Nachfolgend ist der Schichtaufbau der Außenwand dargestellt.

#### Außenwand

Nachfolgend ist der Schichtaufbau der Außenwand dargestellt

Material	Dicke (cm)	$\lambda$ (W/(m*K))
Putzmörtel	2,0	0,700
Kalksandstein-Mauerwerk	24,0	0,990
Luftschicht	4,0	0,222
Klinker-Mauerwerk	11,5	0,960
Mineralische Dämmstoffe	16,0	0,035
Ruhende Luftschicht	2,0	0,114
Verkleidung	1,0	160,0

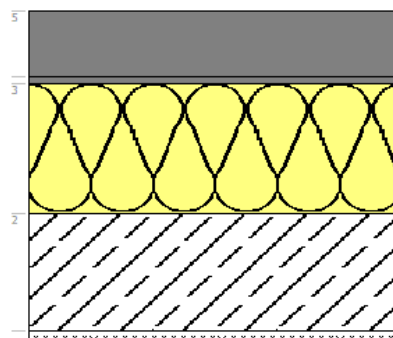


**U-Wert Gesamt: 0,19 W/(m²K)**

#### Flachdach

Nachfolgend ist der Schichtaufbau des Flachdachs dargestellt

Material	Dicke (cm)	$\lambda$ (W/(m*K))
Putzmörtel	1,50	0,700
Beton	18,0	2,500
PUR/PIR-Hartschaum	20,0 (Durchschnitt)	0,024
Lose Schüttung	10,0	0,000



**U-Wert Gesamt: 0,12 W/(m²K)**

Die U-Werte für die Bauteile, für die keine genauen Schichtaufbauten vorliegen, 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.

Bei der Planung und Ausführung von baulichen Maßnahmen an der Gebäudehülle sollte daher besonders auf die Beseitigung bestehender Wärmebrücken und die Vermeidung neuer Wärmebrücken geachtet werden. Zur Identifizierung von bestehenden Wärmebrücken könnte eine Prüfung mittels einer Wärmebildkamera durchgeführt werden.

## 3.7 ANLAGENTECHNIK

### 3.7.1 Heizungsanlage

Das Gebäude verfügt über keine eigene Heizungsanlage, sondern wird über die Heizzentrale des Nachbargebäudes mitversorgt. Hierbei wird die Wärme durch Erdgas erzeugt. Es wird mit den Erzeugungspreisen des Nachbargebäudes gerechnet und ein Primärenergiefaktor von 1,1 angesetzt.

### 3.7.2 Warmwasserversorgung

Der tägliche Nutzenergiebedarf für Warmwasser beträgt unter 0,2 kWh je Person. Daher wird der Warmwasserbedarf in der Bilanzierung vernachlässigt.

### 3.7.3 Beleuchtung

Die Beleuchtung erfolgt durch LED-Leuchten mit moderner Schalttechnik und Präsenzmeldern. 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

Mit den Sanierungsmaßnahmen im Jahr 2022 wird eine Lüftungsanlage mit einer Wärmerückgewinnung von min. 80% für alle Räume des Gebäudes installiert.

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

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

### 3.8 GEBÄUDEBETRACHTUNG

#### 3.8.1 Bedarfskennwerte des untersuchten Gebäudes

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

Tabelle 6 Energiebedarfskennwerte nach DIN 18599

<b>Energiebedarfskennwerte<sup>7</sup> des bewerteten Gebäudes [kWh/(m<sup>2</sup><sub>NGF</sub>*a)]</b>	
spez. Endenergiebedarf Heizung	<b>106,14</b>
Endenergiebedarf Warmwasser	<b>0,00</b>
Beleuchtungsstrom	<b>11,41</b>
Strom für Lüftungsanlagen	<b>1,13</b>

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

**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. Verbraucht das Gebäude viel oder wenig Energie? 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.

Tabelle 7 Darstellung der jährlichen Verluste in kWh/a

<b>Verluste</b>	<b>jährlich [kWh/a]</b>	<b>anteilig [%]</b>
<b>Transmissionsverluste</b>		
Dach	4.110	8,3

<sup>7</sup> siehe unter Erläuterung zu den Energieberichten im Kapitel 4 Glossar und Definition

Außenwand	8.975	18,2
Fenster	15.392	31,2
Keller (Bauteile gegen Erdreich)	20.838	42,3
<b>Gesamt</b>	<b>49.315</b>	<b>100,0</b>
<b>Lüftungsverluste</b>		
Gesamt	22.191	100,0
<b>Anlagenverluste</b>		
Gesamt (Heizung + Warmwasser)	23.219	100,0

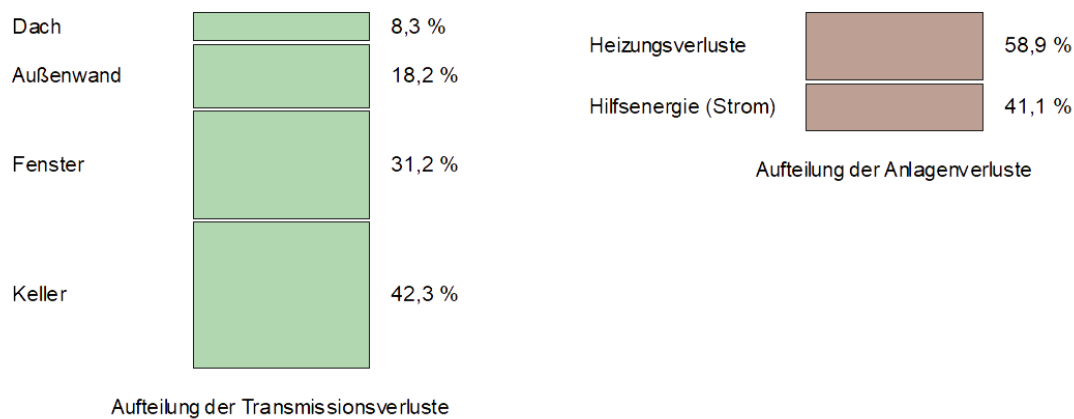


Abbildung 8 Aufteilung der Transmissions- Lüftungs- und Anlagenverluste

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

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.

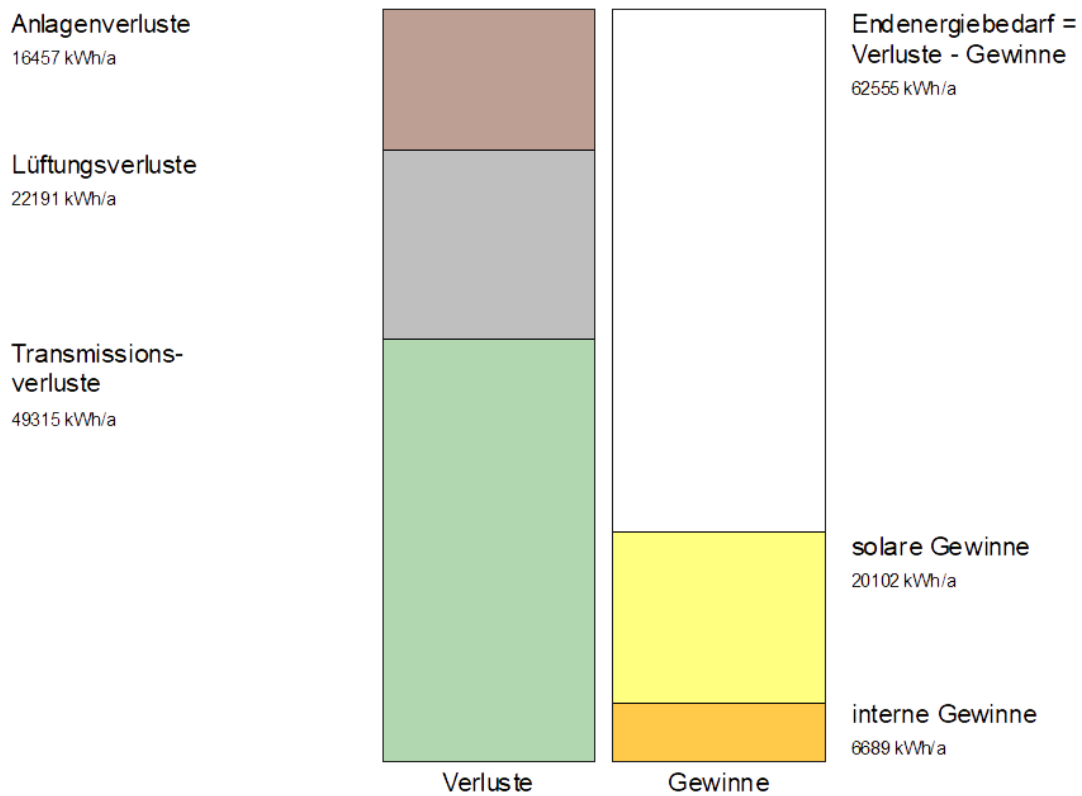


Abbildung 9 Energiebilanz des Gebäudes

Die Gesamtbewertung des Gebäudes erfolgt aufgrund des jährlichen Primärenergiebedarfs pro  $m^2$  Nutzfläche - zurzeit beträgt dieser  $140 \text{ kWh}/m^2a$ .

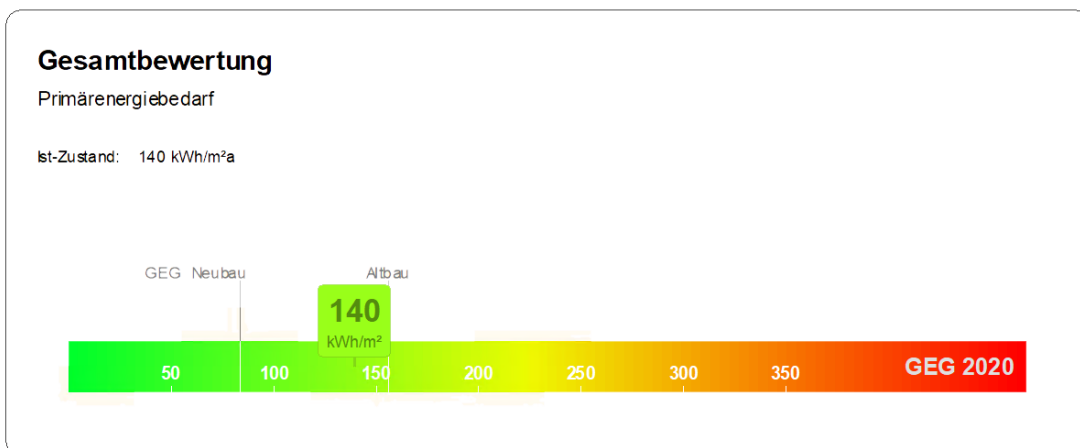


Abbildung 10 Gesamtbewertung Primärenergiebedarf

Der bauliche Ist-Zustand des Gebäudes ist mittelmäßig. Die nachfolgende Abbildung zeigt die berechneten Werte für den Primärenergiebedarf  $Q_P$  ( $\text{kWh}/m^2a$ ), den mittleren U-Wert opaker Bauteile ( $\text{W}/m^2K$ ) und den mittleren U-Wert transparenter Bauteile ( $\text{W}/m^2K$ ). Die berechneten Werte sind entscheidend bei der Erreichung eines Effizienzhausstandards.

**Effizienzgebäude-Stufen**

Ergebnis			Anforderungen NWG						
			GEG		BEG-Effizienzhaus				
	Einheit	Ist-Wert	Bestand	REF (100%)	EH40	EH55	EH70	EH100	Denkmal
Primärenergiebedarf $Q_p$	kWh/m <sup>2</sup> a	139,5	✓ 156,0	111,4	□ 44,6	□ 61,3	□ 78,0	□ 111,4	✓ 178,2
Mittlerer U-Wert opake Bauteile	W/m <sup>2</sup> K	0,29	✓ 0,56		□ 0,18	□ 0,22	□ 0,26	✓ 0,34	
Mittlerer U-Wert transparente Bauteile	W/m <sup>2</sup> K	0,90	✓ 2,66		✓ 1,00	✓ 1,20	✓ 1,40	✓ 1,80	
Mittlerer U-Wert Lichtkuppeln, etc.	W/m <sup>2</sup> K	1,1	✓ 4,3		✓ 1,6	✓ 2,0	✓ 2,4	✓ 3,0	

Abbildung 11 Effizienzgebäude-Stufen im Ist-Zustand des Gebäudes

Aus Abbildung 11 wird ersichtlich, dass das Gebäude im IST-Zustand **kein** Effizienzgebäude Standard erfüllt. Dies liegt zum einen daran, dass die Wärmeversorgung zu 100% auf Gas beruht und der Primärenergiebedarf deswegen relativ hoch ist. Zum anderen weisen die meisten opaken Bauteile sehr gute Werte auf, im Mittel werden diese jedoch von den ungedämmten Bodenplatten heruntergezogen.

### 3.8.3 Energiekosten

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden die nachfolgenden (brutto) Energiemischpreise (Zusammensetzung aus Grund- und Verbrauchspreis) je Energieträger angesetzt. Die Werte in Tabelle 8 stammen aus aktuellen Abrechnungen des Landkreises Cloppenburg. Da diese Werte deutlich niedriger sind, als aktuelle, ortsübliche Tarife, sind in Tabelle 9 Werte aus aktuellen Tarifen abgebildet. In den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird mit beiden Werten gerechnet.

Tabelle 8 Bezugskosten nach Energieträger

Bezeichnung	Einheit	Preis [€/Einheit]	CO <sub>2</sub> [g/Einheit]
Erdgas	kWh	0,039	247
Strom-Mix	kWh	0,238	544

**Anmerkung:** Alle Kostenangaben sind Brutto-Angaben und beruhen auf Angaben des Landkreises Cloppenburg.

Tabelle 9 Bezugskosten nach Energieträger

Bezeichnung	Einheit	Preis [€/Einheit]	CO <sub>2</sub> [g/Einheit]
Erdgas	kWh	0,298	247
Strom-Mix	kWh	0,450	544

**Anmerkung:** Die Kostenangaben sind Brutto-Angaben. Der Strompreis beruht auf Angaben des Landkreises Cloppenburg. Der Erdgaspreis beruht auf aktuellen Angeboten verschiedener Anbieter, da die lokale EWE AG aktuell keine neuen Verträge anbietet (Stand 17.08.2022).

Tabelle 10 Globale Daten zur Ökonomie

kalkulatorischer Zinssatz [%]	3,00
jährliche Preissteigerung [%]	4,00
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.

Dieser Faktor sorgt dafür, dass Gas in der Zukunft ein immer unattraktiverer Energieträger wird und Gebäude vermehrt durch andere Möglichkeiten beheizt werden sollten.

## 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 der Landkreis vor Projektbeginn mehrere Vergleichsangebote einholen. Zudem sollte der Landkreis Cloppenburg 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 20 % beaufschlagt und sind in den Investitionskosten der Sanierungsvarianten enthalten.

In den Investitionskosten sind auch die Kosten für kleinere Nebenarbeiten enthalten und es handelt sich um Brutto-Preise.

#### **Beispiel:**

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



## 4 SANIERUNGSVARIANTEN

### 4.1 ÜBERSICHT SANIERUNGSVARIANTEN

Aufgrund der aktuell durchgeführten, umfassenden Sanierungsarbeiten können außer der Heizungsumstellung keine weiteren, sinnvollen Maßnahmen vorgeschlagen werden. Da das Gebäude über das Hauptgebäude versorgt wird, muss die Umstellung ebenfalls dort erfolgen (vgl. Beratungsbericht Hauptgebäude). Im vorliegenden Bericht wird daher nur eine Maßnahme vorgeschlagen.

#### **Empfohlene Sanierungsvarianten:**

Var. 1 – regenerative Nahwärme

Eine weitere, mögliche Maßnahme wäre die Installation einer Photovoltaik-Anlage. Allerdings sind keine separaten Stromverbräuche für das vorliegenden Nebengebäude vorhanden, was eine genaue Planung der PV-Anlage unmöglich macht. Außerdem hat die Berechnung der PV-Anlage für das Hauptgebäude (vgl. Beratungsbericht Hauptgebäude) gezeigt, dass der gemeinsame Stromverbrauch zu gering ist, um weitere Module mit einer angemessenen Eigennutzung zu installieren.

## 4.2 SV 1: REGENERATIVE NAHWÄRME

Die Umstellung der Wärmeversorgung erfolgt über eine Umstellung der Heizungstechnik im Hauptgebäude der Schule da in dem vorliegenden Nebengebäude kein Platz für eine eigene Heizung vorhanden ist. Für die Annahme des Primärenergiefaktors und des CO<sub>2</sub> Ausstoßes werden die Werte aus der Sanierungsmaßnahme im Beratungsbericht des Hauptgebäudes verwendet.

### Energieeinsparung - Variante 1 -

Nach Umsetzung aller vorgeschlagenen Maßnahmen reduziert sich der Endenergiebedarf Ihres Gebäudes nicht.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden um 5.970 kg CO<sub>2</sub>/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen.

Durch die Modernisierungsmaßnahmen sinkt der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 76 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.

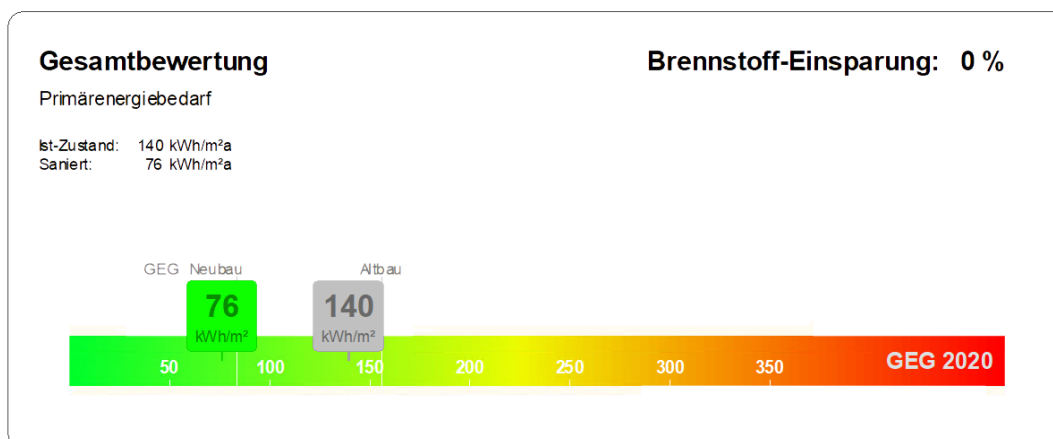


Abbildung 12 Gesamtbewertung Primärenergiebedarf, SV 1

Eine Wirtschaftlichkeits-Betrachtung wird für diese Maßnahme nicht durchgeführt, da die Investitionen der Heizungsumstellung bei dem Hauptgebäude anfallen (vgl. Beratungsbericht Hauptgebäude) Aufgrund der in Kapitel 3.8.4 angesprochenen Faktoren ist jedoch davon auszugehen, dass die Maßnahme auf lange Sicht zu niedrigeren Energiekosten führen wird.

## 5 FAZIT

Der Landkreis Cloppenburg plant die energetische Sanierung der Albert-Schweitzer-Schule in Cloppenburg. Im vorliegenden Beratungsbericht wurde zunächst eine Bestandsaufnahme des Nebengebäude A durchgeführt und der Ist-Zustand in Bezug auf die Gebäudehülle und die vorhandene Anlagentechnik simuliert sowie die aktuellen Energieverbräuche dargestellt.

Aufgrund der aktuell durchgeführten Maßnahmen bietet sich kaum noch Potential für weitere Verbesserungen. Lediglich die Umstellung der Heizungsanlage kann zu deutlichen Einsparungen an Primärenergie (-46%) und CO<sub>2</sub>-Emissionen (-34%) führen.

Hinsichtlich der gesteckten Klimaschutzziele des Landkreis Cloppenburg, bis 2035 treibhausgasneutral zu werden, wird die Umsetzung der Maßnahme empfohlen.

Wie die Berechnungen gezeigt haben, können die zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Emissionen selbst bei einer Umsetzung der Maßnahmenkombination nicht gänzlich vermieden werden und liegen bei ca. 11,5 Tonnen pro Jahr. Allerdings wird sich der deutsche Strommix im Laufe der nächsten Jahre voraussichtlich deutlich verbessern und die anzusetzenden CO<sub>2</sub>-Emissionen pro kWh Strom werden weiter sinken. Durch diesen Effekt könnten sich die anfallenden CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2035 mehr als halbieren, wodurch eine Treibhausgasneutralität realistischer wird. Damit das Ziel der Treibhausgasneutralität tatsächlich erreicht wird, sind für die zunächst verbleibenden Emissionen Kompensationsmaßnahmen zu ergreifen. Diese könnten z.B. der Bau- und Betrieb eigener regenerativer Energieerzeugungsanlagen wie Windenergieanlagen oder Freiflächen PV-Anlagen sein, auf eine Beteiligung an solchen Anlagen könnte zur bilanziellen Treibhausgasneutralität führen.

## 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 Energie-sparverordnung.

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



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 Erdreich. 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 werden.

#### **Heizwert / Brennwert**

Der Heizwert gibt an, wie viel Energie ein Stoff enthält, wenn diese durch einfaches Verbrennen als Wärme nutzbar gemacht wird. Die im Abgas befindliche Energie entweicht hierbei ungenutzt. Durch den Einsatz der Brennwerttechnik kann jedoch auch den Verbrennungsabgasen Energie entzogen werden. Der Brennwert liegt daher höher als der Heizwert.