



RE-BUILD-OWL
Digitalisierungskompetenz für
zirkuläres Bauen in Ostwestfalen-Lippe

IfaS

Institut für angewandtes
Stoffstrommanagement

Energetisches Sanierungskonzept

für das Felix Fechenbach Berufskolleg



Saganer Straße 4
32756 Detmold

Birkenfeld, im August 2023

Impressum

Die Energetische Untersuchung des Felix Fechenbach 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:

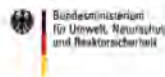
Thomas Anton
t.anton@umwelt-campus.de

Manuel Schaubt
m.schaubt@umwelt-campus.de

Johannes Dietz
j.dietz@umwelt-campus.de

Louis Kunz
l.kunz@umwelt-campus.de

gefördert durch



während eines Besuchs
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Methodisches Vorgehen	1
2	Untersuchung des Ist-Zustandes	2
2.1	Beschreibung der Gebäudehülle	2
2.2	Beschreibung der Anlagentechnik	4
2.3	Schwachstellen von Gebäudehülle und Anlagentechnik	6
2.4	Analyse der Gebäudehülle	7
2.5	Analyse der Bauteile der thermischen Hülle	8
2.6	Analyse von Nutzung und Konditionierung	10
2.7	Energiebilanz des Gebäudes	13
2.8	Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes	17
2.9	Berechneter Energiebedarf des Gebäudes.	17
3	Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen	18
3.1	Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der thermischen Gebäudehülle	18
3.2	Installation einer Photovoltaikanlage	20
3.3	Einzelmaßnahmen im Überblick	24
3.4	Gesamtmaßnahmen	25
3.5	Auswirkungen über das untersuchte Gebäude hinaus	29
4.0	Fazit	30
Anhang 1		34
4.1	Energiemanagement	35
4.2	Nicht-investive Energiesparmaßnahmen	35
4.3	Grundlagen der Untersuchung	36
4.3.1	Unterlagen für die Analyse des Ist-Zustandes	36
4.3.2	Verwendete Normen	36
4.3.3	Verwendete Software	37
4.3.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	37
4.3.5	Begriffe und Definitionen	38
5	Anhang 2: Dokumentation der Berechnungen nach GEG / DIN V 18599	41

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 Energiebilanz 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

Im folgenden Abschnitt wird der Ist-Zustand der Gebäudehülle sowie der Anlagentechnik des Felix Fechenbach Berufskollegs beschrieben.

2.1 Beschreibung der Gebäudehülle

Baujahr	1976
Anzahl der Geschosse	5
Umbau/Anbau	-
BGF	12.928
Beheizte NGF ¹	12.422 m ²
Thermische Hüllfläche	17.493 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	46.586 m ³
Hüllfläche / Volumen	0,38 1/m
Konstruktion	Vorgefertigte Stahlbeton-Skelett-Konstruktion
Gebäudenutzung	Berufskolleg
Oberer Gebäudeabschluss	Der obere thermische Gebäudeabschluss wird im Erdgeschoss sowie im dritten Obergeschoss von einem Flachdach gebildet. Im Erdgeschoss ist dieses mit einer 6 cm Dämmlage zzgl. einer 12 cm starken Gefälledämmung ausgeführt. Im 3. Obergeschoss kamen zu den ursprünglichen 6 cm Dämmung nachträglich 5 cm hinzu.
	

¹ Nettogeschossfläche, welche zur Berechnung herangezogen wurde.

Außenwand



Die Außenwände sind als Stahlbeton-Skelett-Konstruktion ausgeführt. Diese haben im Außenwandbereich eine Stärke von 25 cm. Zwischen den Betonsandwichplatten befindet sich eine ca. 5 cm starke Dämmschicht aus EPS.

Fenster und Türen





Alle Fenster und Türen stammen noch aus dem Baujahr des Gebäudes. Lediglich die Sheddächer im Bereich der Mensa wurden über die Jahre ausgetauscht. Eine energetische Verbesserung wurde dabei jedoch nicht erzielt.

Unterer Gebäudeabschluss

Das Gebäude ist teilweise unterkellert. Der untere thermische Gebäudeabschluss wird im unterkellerten Bereich vom Fußboden des Kellergeschosses und im nicht-unterkellerten Bereich vom Fußboden des Erdgeschosses gebildet.

2.2 Beschreibung der Anlagentechnik

Die beschriebene Anlagentechnik zeigt den Zustand bei der Begehung des Gebäudes im Oktober 2022. Die zu diesem Zeitpunkt noch in Betrieb befindliche ursprüngliche Lüftungsanlage wurde im März 2023 außer Betrieb genommen. Die Versorgung der innenliegenden Räume des Unter- sowie Erdgeschosses erfolgt seitdem als Zwischenlösung durch eine neue kleinere Lüftungsanlage, die außerhalb des Gebäudes aufgestellt wurde.

<p>Energieträger</p> <p>Primärenergiefaktor</p> <p>CO₂ Faktor</p> <p>Anteil erneuerbarer Energien</p>	<p>Fernwärme</p> <p>0,22</p> <p>0 g CO_{2eq} / kWh_{th}</p> <p>77,4 %</p>
<p>Heizkesselanlage</p> 	<p>Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt über den Fernwärmenetzverbund der Stadtwerke Detmold GmbH. Die Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes liegt bei rund 80 °C.</p>
<p>Verteilung</p> 	<p>Die Verteilleitungen (Vor- und Rückläufe) im Heizungsraum sind bereits gut gedämmt. Vereinzelte Lücken in der Dämmung bestehen im Bereich der Armaturen und Heizungspumpen. Die Pumpen wurden noch nicht gegen Hocheffizienz-Modelle ausgetauscht.</p>

<p>Übergabe</p>	<p>Die Übergabe der Raumwärme erfolgt über Radiatoren und über die RLT-Anlage des Gebäudes.</p>
	
<p>Trinkwarmwasser</p>	<p>Das Trinkwarmwasser wird dezentral elektrisch bereit.</p>
<p>Beleuchtung</p> 	<p>Das Gebäude wird überwiegend mittels T8-Leuchtstoffröhren beleuchtet.</p>
<p>Lüftung</p> 	<p>Die innenliegenden Räume des Felix Fechenbach Berufskolleg verfügen über eine Zu- und Abluft und werden über diese auch beheizt. Zum Zeitpunkt der Begehung wurde eine neue Lüftungsanlage installiert. Diese war jedoch noch nicht in Betrieb.</p>
<p>Regenerative Energien</p>	<p>Abgesehen von der Fernwärme werden bisher keine regenerativen Energien eingesetzt.</p>

2.3 Schwachstellen von Gebäudehülle und Anlagentechnik

Glasdächer



Die einfachverglasten Glasdächer des Gebäudes verantworten in der Heizperiode große Energieverluste. Im Sommer führen sie aufgrund des fehlenden Sonnenschutzes zu einer starken Aufheizung der darunter liegenden Räume.

Fenster/Türen



Die Fenster und Türen stammen noch aus dem Baujahr des Gebäudes (1976) und sind in einem entsprechend schlechten energetischen und baulichen Zustand. Durch den großen Fensterflächenanteil wirkt sich dieser Mangel besonders stark auf den Energieverbrauch des Gebäudes aus.

Heizungspumpen/Verteilung



Die Umwälzpumpen wurden noch nicht gegen hocheffiziente Modelle ausgetauscht und wurden ebenfalls noch nicht mit Dämmschalen versehen. Hocheffizienzpumpen verbrauchen im Betrieb ca. 80% weniger Strom als konventionelle Umwälzpumpen. Durch die stark reduzierten Betriebskosten amortisieren sich ihre Investitionskosten innerhalb weniger Jahre. Der Pumpentausch zählt damit zu den Sanierungsmaßnahmen mit der höchsten Wirtschaftlichkeit.

2.4 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.

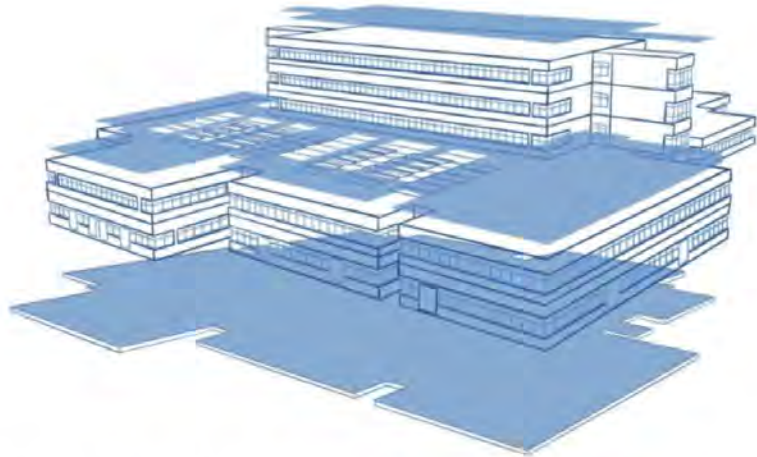


Abbildung 1: 3D-Modell des untersuchten Gebäudes, Ansicht Nord , bearbeitet und illustriert

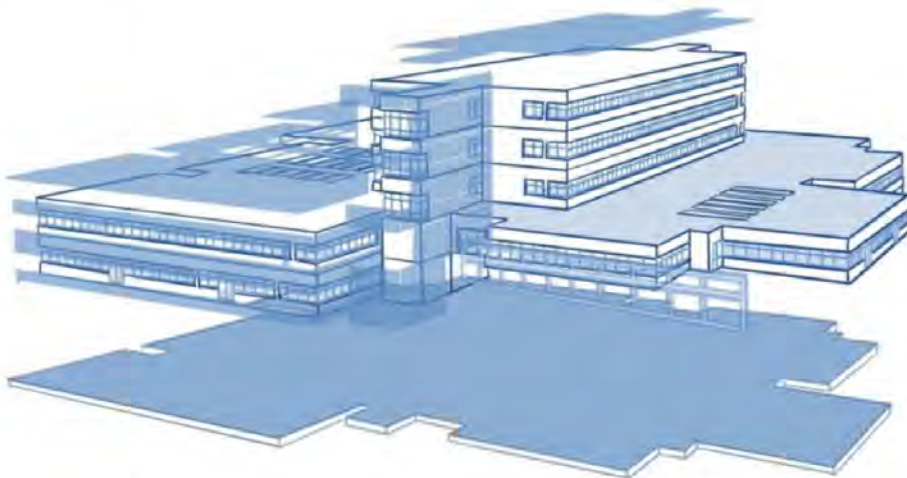


Abbildung 2: 3D-Modell des untersuchten Gebäudes, Ansicht West , bearbeitet und illustriert

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.

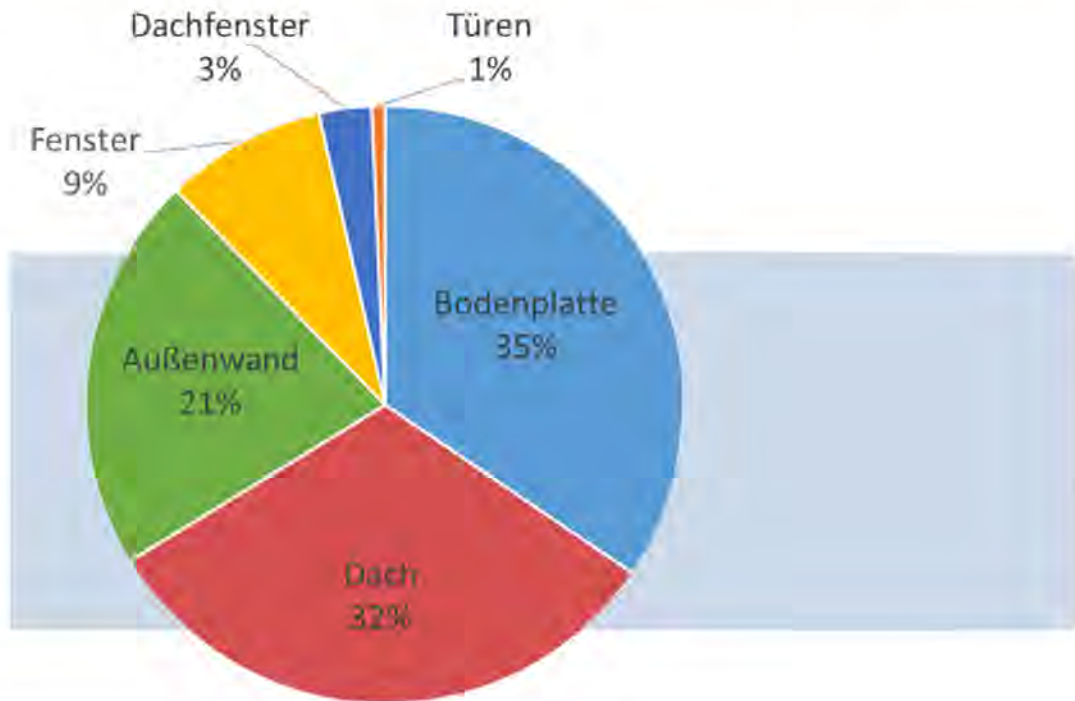


Abbildung 3: Zusammensetzung der thermischen Gebäudehülle

Die Bodenplatte nimmt mit einem Anteil von 35 % an der gesamten Hülle den größten Teil ein. Der nächstgrößere Anteil entfällt auf die Dachfläche (32 %, ohne Dachfenster). Die Außenwände sind mit einem Anteil von 21 % an dritter Stelle (ohne Fenster). Die restlichen 13 % verteilen sich auf die Fenster und Türen des Gebäudes.

2.5 Analyse der Bauteile der thermischen Hülle

Die energetische Qualität eines Bauteils wird über den U-Wert beschrieben. Dieser zeigt den Wärmestrom durch 1 m² des Bauteils, der bei einer Temperaturdifferenz von 1 Grad Celsius zwischen Innen- und Außenseite resultiert. Je niedriger der U-Wert eines Bauteils ist, desto geringer sind die Wärmeverluste über genau dieses Bauteil.

Die U-Werte des Felix Fechenbach Berufskolleg wurden größtenteils der "Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 08.10.2020" (BMI) entnommen. Einige U-Werte konnten der energetischen Machbarkeitsstudie des Architektur- und TGA-Büros Grobe von 2011 entnommen werden. Der U-Wert der Außenwand wurde auf Grundlage der Untersuchung der Fassade berechnet. Die Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt, zusammen mit den Anforderungen von Gebäudeenergiegesetz (GEG) und Bundesförderung effizienter Gebäude (BEG).

Tabelle 1: Bauteile der thermischen Hülle

Bauteil	Fläche	U-Werte [W/m²K]			
		Ist-Zustand	Anforderung Sanierung		
			GEG	BEG	Passivhaus
Außenwand 25 cm	3.531 m²	0,8	0,24	0,20	0,15
Außenwand 8 cm	227 m²	5,0	0,24	0,20	0,15
Bodenplatte	6.039 m²	1,2	0,30	0,25	0,15
Dach EG	4.174 m²	0,23	0,24	0,14	0,15
Dach 3. OG	1.374 m²	0,30	0,24	0,14	0,15
Glasdächer	497 m²	5,0	2,00	1,60	0,80
Fenster	1.526 m²	3,0	1,30	0,95	0,80
Türen	125 m²	3,0	1,80	1,30	0,80
	17.493 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.

Mit Ausnahme des Flachdaches befinden sich alle opaken Bauteile der thermischen Gebäudehülle in einem schlechten energetischen Zustand. Die Außenwand und die Bodenplatte befinden sich noch im Zustand des Baujahres (1976). Die Fenster und Türen des Gebäudes stammen ebenfalls noch auf dem Baujahr des Gebäudes. Die ursprüngliche Dämmung des Daches wurde nachträglich um einige Zentimeter ergänzt. Daher schneiden die Dachflächen energetisch recht gut ab. Die Glasdächer des Gebäudes sind wie bereits in Abschnitt 2.3 dargestellt eine besondere Schwachstelle der thermischen Gebäudehülle. Die Glasdächer über der Mensa wurden zwischenzeitlich saniert, jedoch wurde keine wesentliche Verbesserung des energetischen Zustandes erreicht.

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.

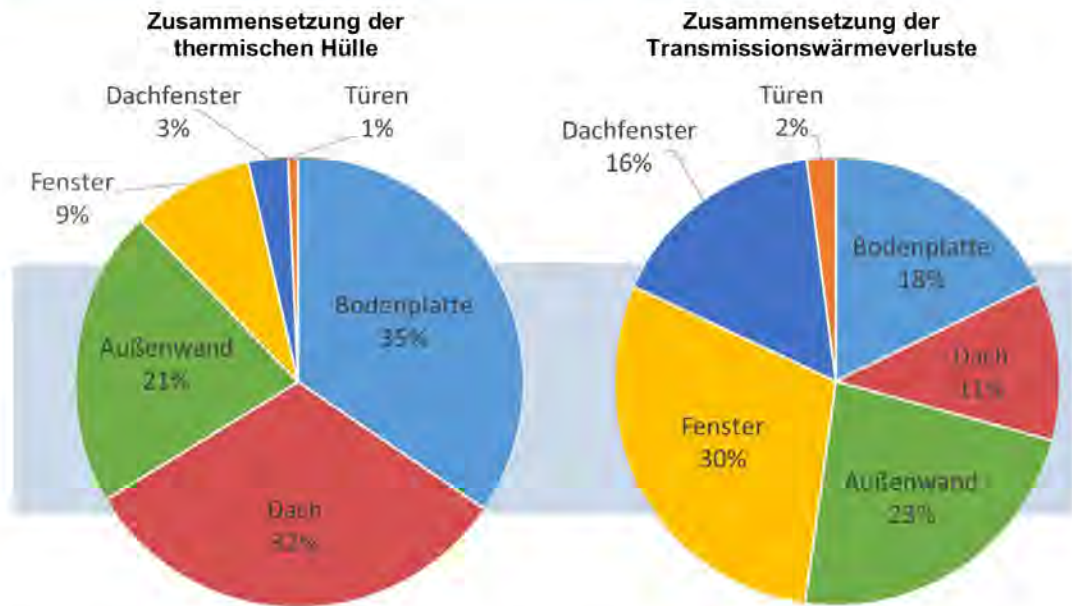


Abbildung 4: Zusammensetzung von Transmissionswärmeverlusten und thermischer Hülle

Der Vergleich zeigt, dass die transparenten Bauteile einen überproportional großen Anteil an den Transmissionswärmeverlusten haben. Bei einem Flächenanteil von 13 % (Fenster, Dachfenster und Türen) verantworten sie 48 % der Transmissionswärmeverluste. Anhand der beiden Diagramme ist gut zu erkennen, dass die Dachflächen bereits über eine Dämmung verfügen. Der Anteil an der thermischen Hülle beträgt mit 32 % rund ein Drittel der Gesamtfläche, wohingegen die Verluste nur 11 % betragen. Die Bodenplatte hat mit 35 % ebenfalls einen großen Anteil an der thermischen Hüllfläche des Gebäudes. Die Verluste betragen hier jedoch nur 18 %. Dies liegt nicht daran, dass die Bodenplatte energetisch positiv zu bewerten ist, sondern daran, dass die Wärmeübertragung von Bauteilen, die im Erdreich liegen, geringer ist als von Bauteilen, die an Außenluft grenzen.

2.6 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 5-9 zeigen die räumliche Verteilung der Zonen über die 5 Stockwerke des Gebäudes. Für die Abgrenzung der Zonen werden hierbei die Farben aus Tabelle 2 verwendet.

Tabelle 2: Übersicht Zonen

Nr.	Zone	Beheizte Fläche		Thermische Hüllfläche		Konditionierung				
						Heizung	RLT		TWW	Beleuchtung
							Zuluft	Abluft		
1	Klassenzimmer	5.920 m ²	48%	7.848 m ²	45%	x	x	x		x
2	Verkehrsfläche	3.648 m ²	29%	5.346 m ²	31%	x				x
3	Lager, Technik	1.368 m ²	11%	1.883 m ²	11%	x				x
4	Mensa	604 m ²	5%	1.432 m ²	8%	x	x	x		x
5	Büro	564 m ²	5%	616 m ²	4%	x	x	x		x
6	Sanitär	187 m ²	2%	146 m ²	0,8%	x	x	x		x
7	Küche	91 m ²	0,7%	181 m ²	1,0%	x	x	x	x	x
8	Waschraum	39 m ²	0,3%	41 m ²	0,2%	x	x	x	x	x
		12.422 m ²	100%	17.493 m ²	100%					

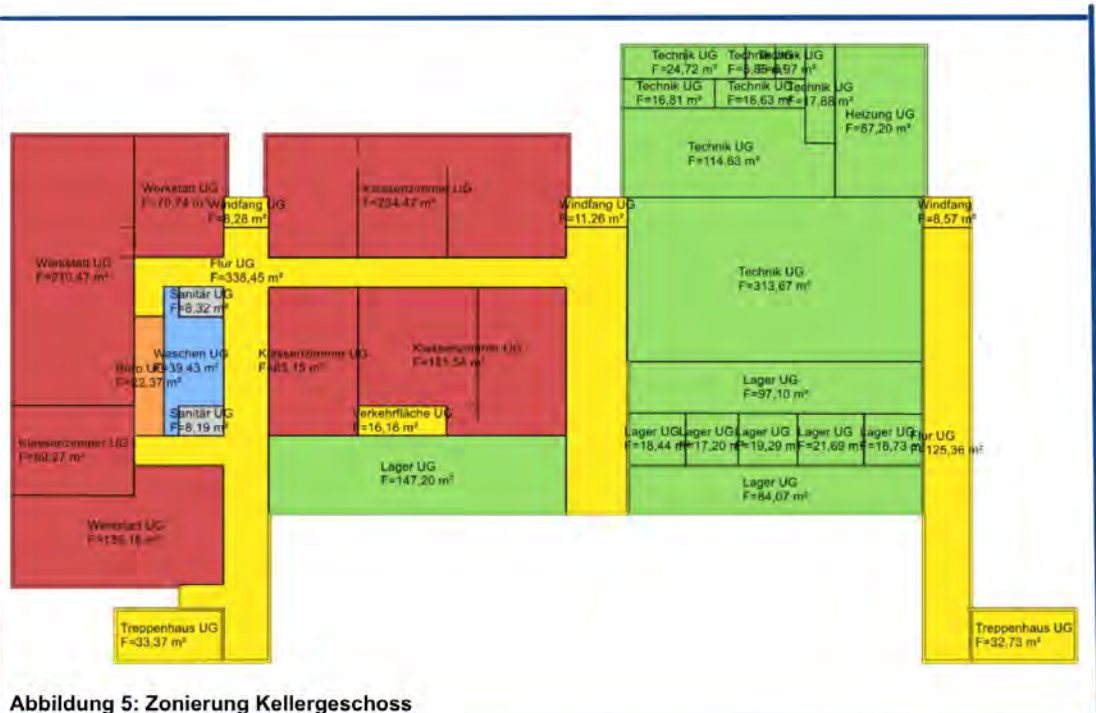


Abbildung 5: Zonierung Kellergeschoss



Abbildung 6: Zonierung Erdgeschoss

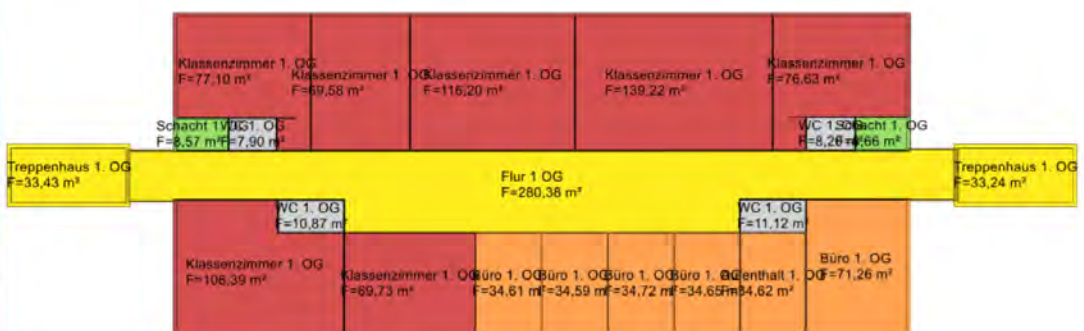


Abbildung 7: Zonierung Obergeschoss 1

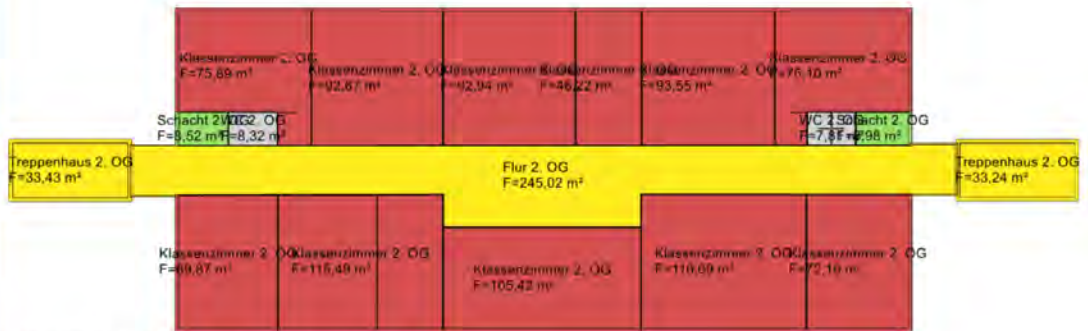


Abbildung 8: Zonierung Obergeschoss 2

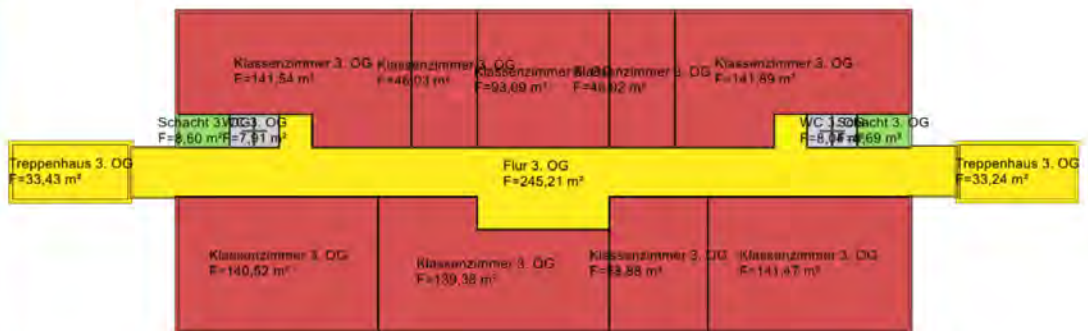


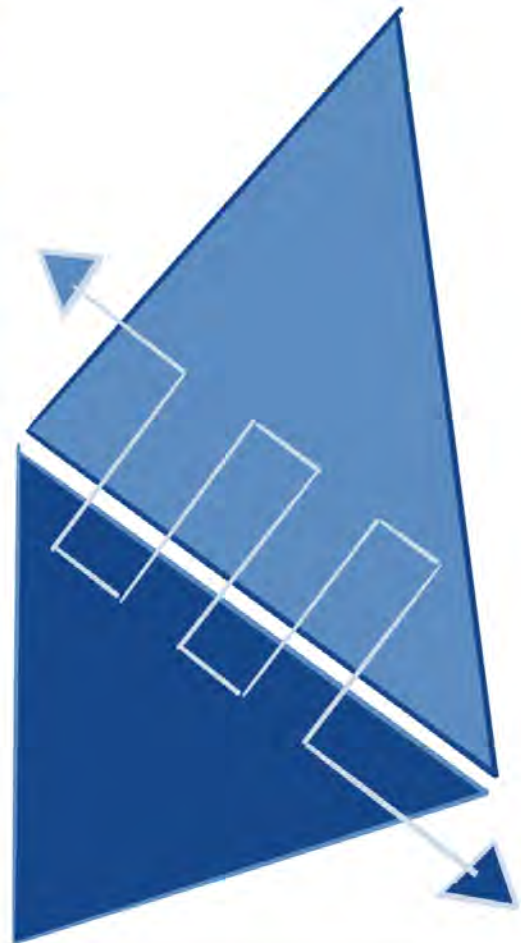
Abbildung 9: Zonierung Obergeschoss 3

2.7 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 beigelegt.

Tabelle 3: Energiebilanz des Gebäudes im Ist-Zustand

Wärmesenken Heizung	1.807.773 kWh/a
davon Transmission	1.340.524 kWh/a
davon Lüftung	458.060 kWh/a
davon innere Wärmesenken	0 kWh/a
davon solare Wärmesenken	9.190 kWh/a
Wärmequellen Heizung	883.007 kWh/a
davon Transmission	14.563 kWh/a
davon Lüftung	85.078 kWh/a
davon innere Wärmequellen	336.187 kWh/a
davon solare Wärmequellen	447.179 kWh/a
Nutzenergiebedarf	1.231.495 kWh/a
Heizung	1.222.205 kWh/a
Warmwasser	9.450 kWh/a
Verluste der Anlagentechnik	395.739 kWh/a
Heizung	395.556 kWh/a
Warmwasser	182 kWh/a
Erzeugernutzenergieabgabe	1.627.203 kWh/a
Heizung	1.617.571 kWh/a
Warmwasser	9.632 kWh/a
Verluste der Erzeugung	4.027 kWh/a
Heizung	3.931 kWh/a
Warmwasser	96 kWh/a
Endenergie	1.708.163 kWh/a
Heizung	1.698.434 kWh/a
Warmwasser	9.729 kWh/a
genutzte Umweltenergie	0 kWh/a
Heizung	0 kWh/a
Warmwasser	0 kWh/a
Hilfsenergie	22.985 kWh/a
Heizung	22.985 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. Insbesondere 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 zugute. 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 10 den GEG-Anforderungen an einen modernisierten Altbau gegenübergestellt. Mit einem Primärenergiebedarf von 67,7 kWh/m²a liegt das untersuchte Gebäude bei diesem Kriterium ca. 44 % unter dem Anforderungswert des modernisierten Altbaus (120,71 kWh/m²a). Dieses positive Ergebnis ist in diesem Fall nicht auf den energetischen Zustand der Gebäudehülle zurückzuführen. Der Primärenergiefaktor des Brennstoffs, mit dem das Gebäude beheizt wird, hat in diesem Fall einen viel stärkeren Einfluss auf dieses Ergebnis. Das Felix Fechenbach Berufskolleg wird von den Detmolder Stadtwerken mit Fernwärme versorgt. Das Fernwärmenetz hat aufgrund des hohen Anteils erneuerbarer Energien einen besonders niedrigen und damit positiv zu bewertenden Primärenergiefaktor (siehe Abschnitt 2.2).

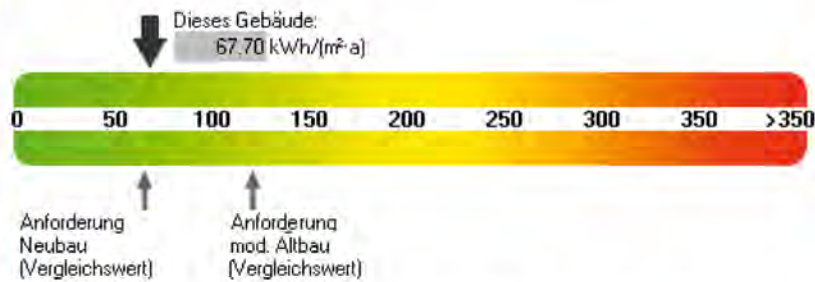


Abbildung 10: Primärenergiebedarf des untersuchten Gebäudes im Ist-Zustand

2.8 Gemessener Energieverbrauch des Gebäudes

Der Energieverbrauch ist die Energiemenge, die in den letzten Jahren tatsächlich verbraucht wurde. Sie wird auf Basis der Verbrauchsmessungen ermittelt und ist in Tabelle 4 aufgeführt. Für das untersuchte Gebäude liegen nur Messwerte für den Wärmeverbrauch vor. Der Stromverbrauch wird nur für die gesamte Liegenschaft erfasst, nicht für deren einzelne Gebäude.

Zur Ermittlung des durchschnittlichen Wärmeverbrauchs wurden die Werte der Jahre 2015 bis 2019 herangezogen. Von der Verwendung der Wärmeverbräuche der Jahre 2020 und 2021 wurde aufgrund der Verzerrung durch die Corona-Pandemie abgesehen.

Die Wärmeverbräuche wurden mit Hilfe von Klimafaktoren der entsprechenden Jahre bereinigt. In den betrachteten Jahren waren die Winter etwas wärmer (Klimafaktor > 1) als im langjährigen Mittel.

Tabelle 4: Energieverbrauch des untersuchten Gebäudes

Jahr	Wärmeverbrauch	Klimafaktor	Wärmeverbrauch klimabereinigt
	[kWh/a]		[kWh/a]
2015	811.398	1,11	900.652
2016	971.144	1,09	1.058.547
2017	1.051.598	1,12	1.177.790
2018	926.080	1,17	1.083.514
2019	949.200	1,16	1.101.072
Jahresmittel	941.884		1.064.315
Endenergiekennwerte [kWh/(m²·a)]	76		86

3 Untersuchung von Sanierungsmaßnahmen

Vom Ist-Zustand ausgehend wurden Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der thermischen Gebäudehülle untersucht. Zielvorgabe bildeten hierbei die Anforderungen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG). 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 Bauteile der thermischen Hülle (siehe Kapitel 2.4). Angaben zur Ausführung der Maßnahmen und ihren Auswirkungen auf die U-Werte der Bauteile sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: 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	Passiv		
1	Dämmung Außenwand	25 cm	0,8	0,15	0,24	0,20	0,15	22 cm	035
		8 cm	5,0	0,15				26 cm	035
2	Austausch Fenster		3,0	0,80	1,30	0,95	0,80	-	
	Austausch Türen		3,0	0,80	1,80	1,30	0,80		
	Austausch Glasdächer		5,0	0,80	2,00	1,60	0,80		
3	Dämmung Dach	EG	0,23	0,14	0,24	0,14	0,15	12 cm	035
		3. OG	0,3	0,14				0,14	0,15
4	Dämmung Bodenplatte		1,2	0,15	0,30	0,25	0,15	16 cm	025

Alle Maßnahmen erfüllen bzgl. der mit ihnen erreichten U-Werte die Anforderung des Passivhausstandards. Der Passivhausstandard sieht vor, dass alle opaken Bauteile der Gebäudehülle einen U-Wert von 0,15 W/(m²K) einhalten, transparente Bauteile einen U-Wert von 0,8 W/(m²K). Darüber hinaus werden auch die Anforderungen der Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) eingehalten. Diese liegen, abgesehen von der Dämmung des Daches, unter den Anforderungen des Passivhausstandards. Im Vergleich zu den Anforderungen, welche aus dem Gebäudeenergiegesetz hervorgehen, stellt die BEG zwar höhere Anforderungen, bietet dafür aber auch eine anteilige Förderung der Sanierungskosten. Für Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle liegt der Fördersatz bei 15% der förderfähigen Ausgaben.

Drei der vier in Tabelle 5 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 5 aufgeführt. Für die Dämmung der Bodenplatte wurde mit WLГ 025 gerechnet, für die restlichen Dämmmaßnahmen mit WLГ 035. Neben den Dämmmaßnahmen wurde auch der Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen als Maßnahmen betrachtet.

Die Auswirkungen der Maßnahmen 1-4 auf den Energiebedarf und die CO₂-Emissionen des Gebäudes sind in Tabelle 6 dargestellt. Mit einer Reduktion des Endenergiebedarfs um 26 % ist der Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen am wirkungsvollsten. An zweiter Stelle folgt mit Abstand die Dämmung der Außenwände mit einer Endenergieeinsparung von 13 %. Die Dämmung der Bodenplatte liegt mit einer Einsparung von 9 % an dritter Stelle. Durch Umsetzung der Maßnahme 3 „Dämmung Dach“ werden die geringsten Endenergieeinsparungen erzielt (3 %). Das liegt vor allem daran, dass die Dachflächen im Bestand mit $U = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bzw. $0,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ bereits gute U-Werte aufweisen. Auffällig in der Tabelle sind die geringen Einsparungen auf Seiten der Primärenergie und vor allem im Bereich der CO₂ Emissionen. Dies hängt mit dem guten Primärenergie- und CO₂-Faktor des Fernwärmenetzes zusammen, von dem die Schule mit Wärme versorgt wird, siehe Kapitel 2.2.

Tabelle 6: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Einsparungen Energie & CO₂

Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle	Einsparungen					
	Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
	[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1 Dämmung Außenwand	256.800	13%	59.500	7,1%	990	0,7%
2 Austausch Fenster/Türen/Glasdächer	510.500	26%	118.900	14%	2.240	1,5%
3 Dämmung Dach	49.700	2,5%	11.400	1,4%	120	0,1%
4 Dämmung Bodenplatte	169.100	8,6%	40.100	4,8%	1.000	0,7%

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsuntersuchung sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren amortisiert sich die Dämmung von Außenwand und der Austausch der Fenster, Türen und Glasdächer. Diese beiden Maßnahmen erzielen auch die größte Energieeinsparung.

Als Auswirkung der hohen Investitionskosten, liegen die Amortisationszeiten bei den Maßnahmen an der Gebäudehülle insgesamt auf einem hohen Niveau. Für die Umsetzung sprechen in erster Linie die mit den Maßnahmen verbundenen Einsparungen von Energie und CO₂ und die Verbesserung der Aufenthaltsqualität. Priorität sollte der Sanierung der Außenwand inkl. Dämmung und Austausch der Fenster/Türen eingeräumt werden. Ebenso sollte der Austausch der Glasdächer zeitnah umgesetzt werden. Eine Dachdämmung ist aus wirtschaftlicher Sicht nur im Zuge einer ohnehin anstehenden Dachsanierung zu empfehlen.

Die Dämmung der Bodenplatte ist aufgrund des sehr hohen Aufwandes nur im Rahmen einer Kernsanierung sinnvoll.

Tabelle 7: Sanierung der thermischen Gebäudehülle – Investitionskosten & Amortisationszeiten

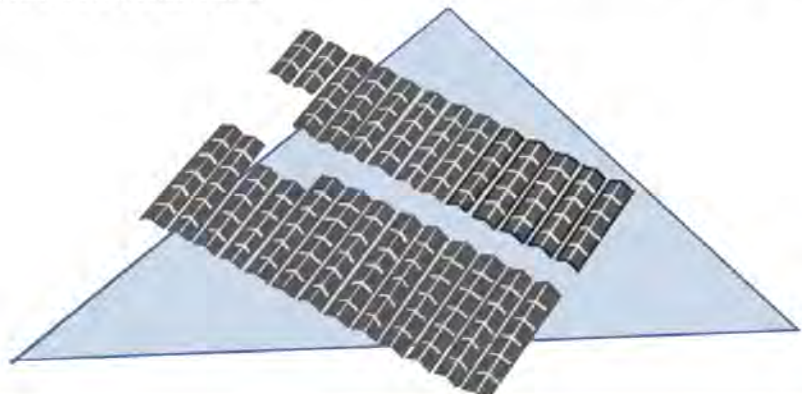
Einzelmaßnahmen an der thermischen Gebäudehülle	Gesamte Investitionskosten	Instandhaltungskosten (Sowie so-Kosten)	Amortisation [Jahre]
1 Dämmung Außenwand	790.000 €	237.000 €	29
2 Austausch Fenster/Türen/Glasdächer	1.719.000 €	1.117.000 €	31
3 Dämmung Dach	1.664.000 €	-	>40
4 Dämmung Bodenplatte	1.540.000 €	-	>40

3.2 Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der Anlagentechnik

Im Feld der Anlagentechnik wurde mit der Installation einer Photovoltaikanlage nur eine Einzelmaßnahme untersucht. Mit dem Einsatz erneuerbarer Fernwärme ist die Wärmeversorgung des Gebäudes bereits auf einem sehr guten Niveau. Der Bestand umfasst auch schon eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

3.2.1 Installation einer Photovoltaikanlage

Als 5. und letzte Einzelmaßnahme wurde die Installation einer Photovoltaik-Anlage auf dem Dach des Felix Fechenbach Berufskolleg untersucht, mit der Software PV-Sol Premium. Die gewählte Verteilung der PV-Module auf den Dachflächen ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Modulfläche umfasst ca. 900 m², verteilt auf die Dachflächen des Erdgeschosses und des dritten Obergeschosses. Die für PV nutzbare Dachfläche wird durch einen Sendemast und dessen Abspannseile erheblich reduziert, siehe Abbildung 12. Im Rahmen einer Detailplanung sollte überprüft werden, ob es durch eine Photovoltaikanlage zu Beeinträchtigungen oder Störungen des Sendemastes kommen kann.



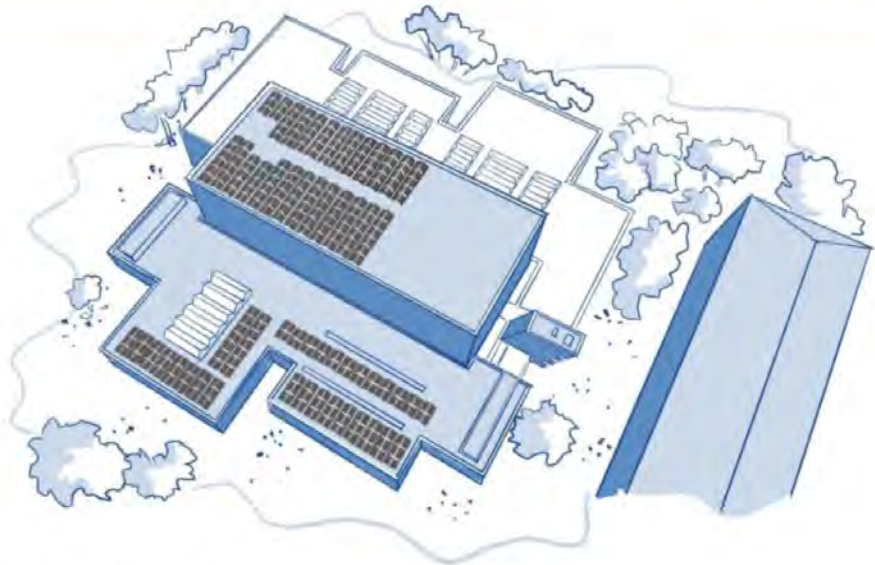


Abbildung 11: Modulflächen in der PV-Simulation, bearbeitet und illustriert

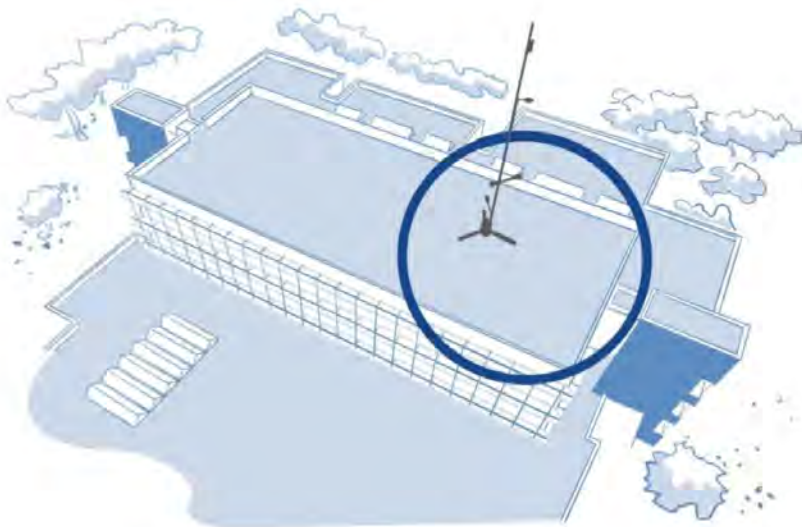


Abbildung 12: Sendemast auf 3. Obergeschoss des Felix Fechenbach Berufskolleg, bearbeitet und illustriert

Für die Untersuchung wurde der Stromlastgang des gesamten Felix Fechenbach Berufskollegs verwendet. Wie bereits in Kapitel 2.8 beschrieben, wird der Stromverbrauch nur für die gesamte Liegenschaft erfasst, nicht für deren einzelne Gebäude.

Auf den Dächern der Gebäude 1-3 des Berufskollegs sind bereits Photovoltaikanlagen mit Eigenstromnutzung installiert. Ihre Erträge sind in diese Untersuchung eingeflossen, weitere Wechselwirkungen zwischen den Anlagen konnten in diesem Rahmen jedoch nicht berücksichtigt werden. Diese sollten im Rahmen einer Machbarkeitsstudie geklärt werden.

Der Betrieb der PV-Anlage wurde für 3 Varianten untersucht: Volleinspeisung, Eigenverbrauch mit Akku und Eigenverbrauch ohne Akku. Die Ergebnisse dieser Varianten sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisse der 3 Photovoltaik-Varianten

	Variante 1: Volleinspeisung	Variante 2: Eigenverbrauch ohne Akku	Variante 3: Eigenverbrauch mit Akku
PV-Generatorleistung	198,0 kWp		
PV-Generatorfläche	900,0 m ²		
Akku Kapazität	-	-	395,0 kWh
PV-Generatorenergie	179.000 kWh/a		
Eigenverbrauch	-	69.200 kWh/a	139.100 kWh/a
Netzeinspeisung	179.000 kWh/a	109.800 kWh/a	40.000 kWh/a
Stromverbrauch	521.000 kWh/a		
Eigenverbrauchsanteil	-	38,6%	77,7%
Autarkiegrad	-	13,8%	27,0%
CO ₂ -Einsparung	84.000 kg/a	84.000 kg/a	82.000 kg/a
Invest	254.000 €	254.000 €	489.000 €
Betriebskosten	1.820 €/a		
Stromgestehungskosten	0,085 €/kWh	0,085 €/kWh	0,155 €/kWh
Spezifische Einspeisevergütung	0,105 €/kWh	0,065 €/kWh	0,065 €/kWh
Amortisationsdauer	18 Jahre	11 Jahre	13 Jahre

Alle 3 Varianten stimmen bzgl. ihrer Modulfläche (903,1 m²) und Leistung (198,9 kWp) überein. Bei den CO₂-Einsparungen gibt es hingegen kleine Unterschiede zwischen den Varianten, hervorgerufen durch die Batterieverluste von Variante 3. Die Abweichungen beschränken sich auf ca. 2,4 %.

Die drei Varianten unterscheiden sich maßgeblich beim Eigenverbrauch von PV-Strom. Ohne Zwischenspeicherung in einem Akku können bei Variante 2 rund 69.000 kWh des PV-Stroms im Felix Fechenbach Berufskolleg für den direkten Eigenverbrauch genutzt werden. Bezogen auf den Stromverbrauch der gesamten Liegenschaft, welche die vier Gebäude des Felix Fechenbach Berufskolleg (inkl. Turnhalle und Pavillon) umfasst, entspricht das einem Autarkiegrad von rund 14 %. Veranschaulichungen des Autarkiegrades und Eigenverbrauchsanteils sind in den folgenden beiden Abbildungen dargestellt.

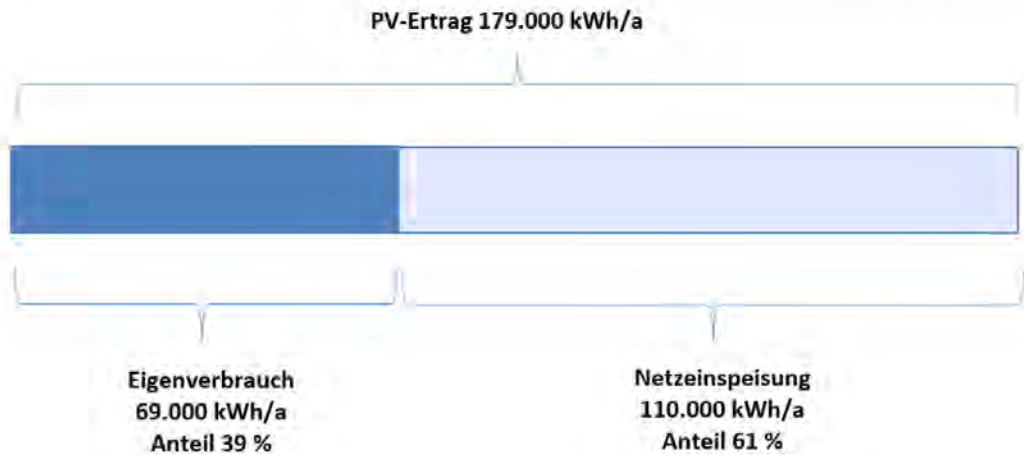


Abbildung 13: Eigenverbrauchsanteil von PV-Variante 2

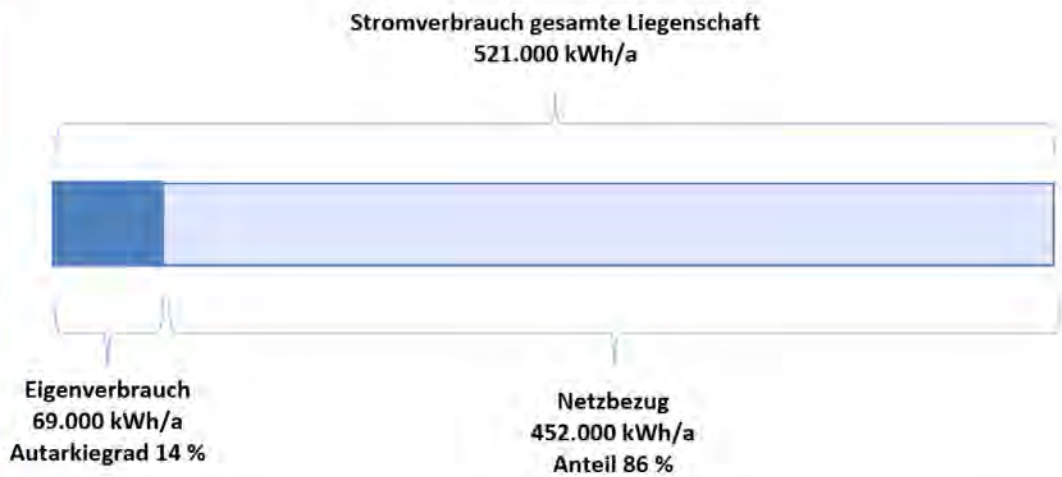


Abbildung 14: Autarkiegrad von PV-Variante 2

Bei Variante 3 wurde für die Steigerung des Eigenverbrauchs ein Akku mit einer Kapazität von 395,6 kWh ergänzt. Der Eigenverbrauch kann durch diese Maßnahme von 69.000 auf 139.000 kWh gesteigert werden. Hierdurch steigt der Eigenverbrauchsanteil auf 78 % und der Autarkiegrad auf 27 %.

Ohne Akku (Varianten 1 und 2) liegen die Stromgestehungskosten der PV-Anlagen bei 8,5 Cent je kWh, mit Akku (Variante 3) steigen diese um rund 45 % auf 15,5 Cent je kWh an.

Um die Kosten für den Strombezugspreis zu ermitteln, wurde der durchschnittliche Strompreis des FFB des Jahres 2021 herangezogen, 24,05 Cent je kWh. Dieser Strompreis liegt deutlich unter dem aktuellen Preis für Haushaltsstrom der Stadtwerke Detmold (35-40 Cent je kWh im Juli 2023), aber immer noch weit über den Stromgestehungskosten der 3 untersuchten PV-Varianten (8,5-15,5 Cent je kWh). Eine PV-Anlage mit anteiligem Eigenverbrauch (mit und ohne Akku) bildet damit eine wirtschaftlich attraktive Option für das Berufskolleg. Aber auch mit Volleinspeisung ist eine PV-Anlage für das Felix Fechenbach Berufskolleg wirtschaftlich umsetzbar. Die Amortisationszeiten aller drei Varianten sind in der letzten Zeile von Tabelle 8 dargestellt. Aufgrund des hohen Eigenverbrauchanteils schneiden Varianten 2 und 3 bei diesem Kriterium besser ab als Variante 1.

Die Dachflächen der Berufskollegs 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. Ebenso wurde nicht betrachtet, wie sich die Einspeisevergütung nach 20 Jahren, also nach dem Entfallen der EEG-Förderung entwickelt. Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie sollte daher auch ein Post-EEG-Szenario entwickelt werden.

3.3 Einzelmaßnahmen im Überblick

In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der untersuchten Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle sowie der wirtschaftlichsten Photovoltaikvariante tabellarisch zusammengefasst. Tabelle 9 zeigt ihre Einsparungen von Endenergie, Primärenergie und CO₂-Emissionen, Tabelle 10 ihre Investitionskosten und Amortisationszeiten.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Einzelmaßnahmen - Einsparungen Energie & CO₂

Einzelmaßnahmen		Einsparungen					
		Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
		[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1	Dämmung Außenwand	256.800	13%	59.500	7,1%	990	0,7%
2	Austausch Fenster/Türen/Glasdächer	510.500	26%	118.900	14%	2.240	1,5%
3	Dämmung Dach	49.700	2,5%	11.400	1,4%	120	0,1%
4	Dämmung Bodenplatte	169.100	8,6%	40.100	4,8%	1.000	0,7%
5	Photovoltaikanlage Variante 2	179.000	9,1%	322.000	38%	84.000	58%

Tabelle 10: Zusammenfassung der Einzelmaßnahmen – Investitionskosten & Amortisationszeiten

Einzelmaßnahmen	Gesamte Investitionskosten	Instandhaltungskosten (Sowieso-Kosten)	Amortisation [Jahre]
1 Dämmung Außenwand	790.000 €	237.000 €	29
2 Austausch Fenster/Türen/Glasdächer	1.719.000 €	1.117.000 €	31
3 Dämmung Dach	1.664.000 €	-	>40
4 Dämmung Bodenplatte	1.540.000 €	-	>40
5 Photovoltaikanlage Variante 2	254.000 €	-	11

3.4 Gesamtmaßnahmen

Nach der Untersuchung der Einzelmaßnahmen wurden diese zu sechs Gesamtmaßnahmen kombiniert. Die hierbei gewählten Kombinationen sind in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen

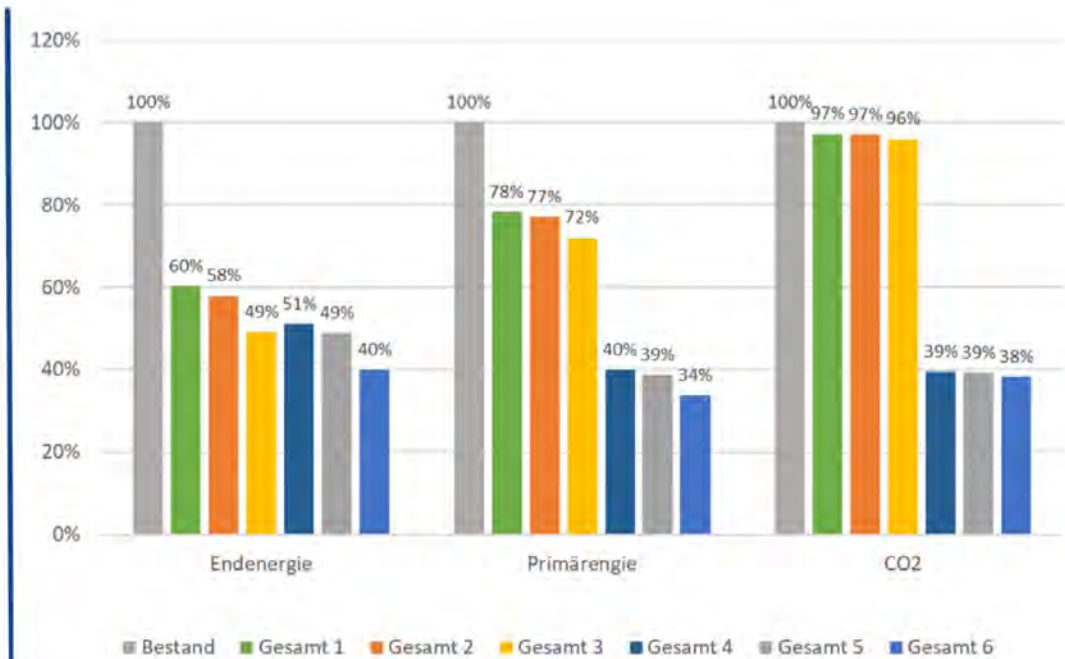
Einzelmaßnahmen	Gesamtmaßnahmen					
	1	2	3	4	5	6
1 Dämmung Außenwand	x	x	x	x	x	x
2 Austausch Fenster/Türen/Glasdächer	x	x	x	x	x	x
3 Dämmung Dach		x	x		x	x
4 Dämmung Bodenplatte			x			x
5 Photovoltaikanlage Variante 2				x	x	x

Bei Kombination mehrerer energetischer Sanierungsmaßnahmen in einem Gebäude gibt es Wechselwirkungen, die keine einfache Addition der Wirkungen der Einzelmaßnahmen erlauben. Ein Beispiel, um diese Abhängigkeiten bzw. Wechselwirkungen zu verdeutlichen: Wird der Wärmebedarf eines Gebäudes durch Wärmedämmung vermindert, können zusätzliche Einsparungen durch eine Erneuerung der Heizung nur auf dieses niedrigere Niveau bezogen werden. Das Einsparpotential ist somit grundsätzlich abhängig vom Ausgangszustand des Gebäudes. Um diese Wechselwirkungen zu berücksichtigen, wurden die Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle in der Software Solar-Computer zu Gesamtmaßnahmen kombiniert. Die Maßnahme Photovoltaikanlage wurde in Microsoft Excel jeweils hinzuaddiert. Die mit der Gesamtmaßnahme realisierbaren Einsparungen sind in Tabelle 12 aufgeführt

Tabelle 12: Gesamtmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO₂

Gesamtmaßnahmen		Einsparungen					
		Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
		[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1	Außenwand + Fenster/Türen	779.000	40%	183.000	22%	4.000	2,8%
2	Außenwand + Fenster/Türen+ Dach	824.000	42%	193.000	23%	4.200	2,9%
3	Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Bodenplatte	995.000	51%	236.000	28%	5.800	4,0%
4	Außenwand + Fenster/Türen + Photovoltaikanlage	958.000	49%	505.000	60%	88.000	61%
5	Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Photovoltaikanlage	1.003.000	51%	515.000	61%	88.200	61%
6	Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Bodenplatte + Photovoltaikanlage	1.174.000	60%	558.000	66%	89.800	62%

Die Auswirkungen der Gesamtmaßnahmen auf Endenergiebedarf, Primärenergiebedarf und CO₂-Emissionen sind in Abbildung 15 ergänzend als Balkendiagramm dargestellt. Die Darstellung ist normiert, mit dem Ist-Zustand des Gebäudes als Referenz.


 Abbildung 15: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Gesamtmaßnahmen 1-6, normiert, mit Ist-Zustand als Referenz

Dem Diagramm ist zu entnehmen, dass durch die Gesamtmaßnahme 1 der Endenergieverbrauch im Vergleich zum Ausgangszustand um insgesamt 40 % gesenkt werden kann. Diese Gesamtmaßnahme beinhaltet die Dämmung der Außenwände sowie den Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen. Gesamtmaßnahme 2 umfasst neben der Dämmung der Außenwände und dem Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen auch die Dämmung des Daches. Die Endenergie sinkt in diesem Zuge um weitere 2 %, auf 58 % des Ausgangszustandes. Gesamtmaßnahme 3 beinhaltet die Maßnahmen der Gesamtmaßnahme 2, ergänzt um die Dämmung der Bodenplatte. Die Endenergie sinkt um insgesamt 51 %, auf 49 % des Ausgangszustandes. Die Gesamtmaßnahmen 4 bis 6 entsprechen den Gesamtmaßnahmen 1 bis 3, jeweils ergänzt um die Maßnahme „Photovoltaikanlage“.

Bei der Primärenergie und insbesondere bei den CO₂-Emissionen fallen die Einsparungen der Sanierungsmaßnahmen kleiner aus als bei der Endenergie. Diese Dynamik liegt in der erneuerbaren Fernwärme begründet, mit der das Gebäude versorgt wird. Der Primärenergiefaktor dieser Fernwärme liegt bei 0,22, ihr CO₂-Faktor bei 0 g CO₂/kWh. Als einzige CO₂-Quelle verbleibt damit der Stromverbrauch des Gebäudes. Die Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle wirken sich daher kaum auf die CO₂-Emissionen des Gebäudes aus, die Photovoltaik-Anlage hingegen sehr stark.

Die Investitionskosten und Amortisationszeiten der sechs Gesamtmaßnahmen sind in Tabelle 13 dargestellt. Die Investitionskosten liegen zwischen 2,5 (Gesamtmaßnahme 1) und 6 Mio. € (Gesamtmaßnahme 6). Den größten Anteil haben die Maßnahmen an der Gebäudehülle, siehe dazu Kapitel 3.1. Bei der Wirtschaftlichkeit schneidet Gesamtmaßnahme 4 mit einer Amortisationszeit von 24 Jahren am besten ab. Gesamtmaßnahme 1 und 5 amortisieren sich ebenfalls im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren.

In der rechten Spalte von Tabelle 13 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 die prozentualen Anforderungen an 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.²

² Zuschussvariante nur für Kommunen verfügbar

Mit zwei der sechs betrachteten Gesamtmaßnahmen wird eine Effizienzhausstufe erreicht: Effizienzgebäude 70 mit Gesamtmaßnahme 3 und Effizienzgebäude 40 mit Gesamtmaßnahme 6. Bei diesen beiden Gesamtmaßnahmen werden alle Bauteile der thermischen Gebäudehülle energetisch ertüchtigt, inklusive der Bodenplatte. Bei Gesamtmaßnahme 6 wird dieses Maßnahmenpaket noch um eine Photovoltaikanlage ergänzt.

Tabelle 13: Gesamtmaßnahmen – Investitionskosten, Amortisationszeiten und Effizienzhaus-Stufen

Gesamtmaßnahmen	Invest	Amortisation [Jahre]	Effizienzhaus-Stufe
1 Außenwand + Fenster/Türen	2.509.000 €	30	-
2 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach	4.173.000 €	>40	-
3 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Bodenplatte	5.713.000 €	>40	Effizienzgebäude 70
4 Außenwand + Fenster/Türen + Photovoltaikanlage	2.763.000 €	24	-
5 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Photovoltaikanlage	4.427.000 €	37	-
6 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Bodenplatte + Photovoltaikanlage	5.967.000 €	>40	Effizienzgebäude 40

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

- Phase 1:
 - Austausch Fenster, Glasdächer und Türen
 - Dämmung Außenwand
- Phase 2:
 - Dämmung Dach
 - Photovoltaikanlage
- Phase 3 (im Rahmen einer Kernsanierung)
 - Dämmung Bodenplatte

Phase 1 umfasst den Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen sowie die Dämmung der Außenwand. Die Fenster und Türen sowie die Glasdächer stammen noch aus dem Baujahr des Gebäudes und befinden sich daher in einem schlechten energetischen und teilweise auch baulichen Zustand. Allen voran die Glasdächer des Gebäudes, welche im Winter für hohe Wärmeverluste und im Sommer für eine Überhitzung der darunterliegenden Räume sorgen. Wird die Maßnahme „Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen“ in Kombination mit einer

Außenwanddämmung umgesetzt, erhöht dies die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen, da Kosten für Montagegerüst etc. nur einmal anfallen. Phase 2 beinhaltet die energetische Sanierung des Daches sowie die Installation einer Photovoltaikanlage. Auch mit dieser Maßnahmenkombination sinken die Investitionskosten im Vergleich zu einer isolierten Umsetzung. Als letzte Maßnahme verbleibt die Dämmung der Bodenplatte. Aufgrund des hohen Aufwandes ist diese 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 CO₂-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 CO₂-Faktor bei 0,56 kg CO₂/kWh. Auf Basis dieser Faktoren wurden die Energie- und CO₂-Einsparungen der 6 Gesamtmaßnahmen neu berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 und Abbildung 16 dargestellt.

Tabelle 14: Alternatives Szenario: Gesamtmaßnahmen – Einsparungen Energie & CO₂

Gesamtmaßnahmen	Einsparungen					
	Endenergie		Primärenergie		CO ₂	
	[kWh/a]		[kWh/a]		[kg/a]	
1 Außenwand + Fenster/Türen	779.000	40%	865.000	37%	208.000	36%
2 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach	824.000	42%	916.000	40%	220.000	38%
3 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Bodenplatte	995.000	51%	1.106.000	48%	266.000	46%
4 Außenwand + Fenster/Türen + Photovoltaikanlage	958.000	49%	1.187.000	51%	292.000	50%
5 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Photovoltaikanlage	1.003.000	51%	1.238.000	54%	304.000	52%
6 Außenwand + Fenster/Türen+ Dach + Bodenplatte + Photovoltaikanlage	1.174.000	60%	1.428.000	62%	350.000	60%

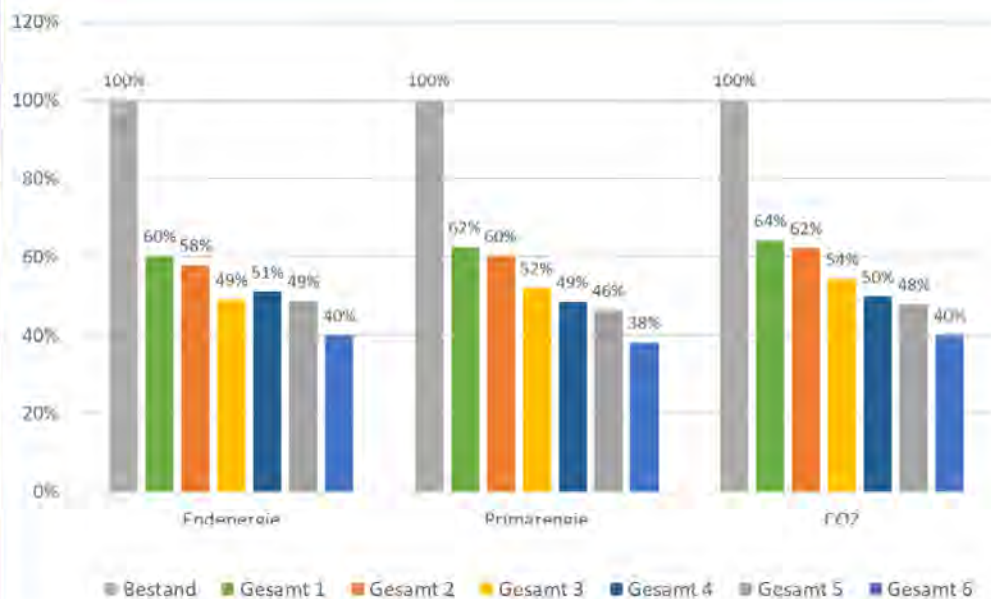


Abbildung 16: Alternatives Szenario: Energieverbrauch und CO₂-Emissionen der Gesamtmaßnahmen 1-6, normiert, mit Ist-Zustand als Referenz

In Abbildung 16 ist zu erkennen, dass die Einsparungen aufgrund der alternativen Betrachtung wesentlich höher ausfallen (Siehe zum vgl. Abbildung 15). Bei den Gesamtmaßnahmen 1 bis 3 sind die Auswirkungen besonders stark zu erkennen, da diese Gesamtmaßnahmen ausschließlich Maßnahmen an der Gebäudehülle enthalten. Die Einsparungen der Primärenergie steigen um 16 bis 20 % an, im Bereich der Treibhausgasemissionen um 33 bis 42 %. Die Einsparungen der Gesamtmaßnahmen 4 bis 6 scheinen sich im Bereich der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen im Vergleich zur Abbildung 15 verringert zu haben. Dies liegt jedoch lediglich daran, dass die Einsparungen normiert sind und die Primärenergie und die Treibhausgasemissionen im Ist-Zustand höher sind als in der Variante „Fernwärme“.

4 Fazit

Das Felix Fechenbach Berufskolleg befindet sich in einem energetisch sanierungsbedürftigen Zustand. Der berechnete Primärenergiebedarf des Gebäudes liegt zwar auf dem Niveau eines Neubaus, jedoch ist dies nicht auf den energetischen Stand der Gebäudehülle zurückzuführen, sondern nur auf die Art der Beheizung. Das Fernwärmenetz der Stadtwerke besitzt einen hohen Anteil erneuerbarer Energien (78 %), was sich besonders positiv auf den Primärenergiebedarf und die CO₂-Emissionen des Gebäudes auswirkt. Ein Austausch der Heizung wird somit nicht empfohlen und ist daher auch nicht Teil dieser Betrachtung. Die thermische Hülle des Gebäudes befindet sich mit wenigen Ausnahmen noch im Zustand des Baujahres 1976 und verantwortet entsprechend hohe Transmissionswärmeverluste.

Für das Gebäude wurden insgesamt 6 Gesamtmaßnahmen untersucht, wobei in den Gesamtmaßnahmen 1 bis 3 nur Maßnahmen an der Gebäudehülle betrachtet wurden. Die Gesamtmaßnahmen 4 bis 6 umfassen die Maßnahmen der Gesamtmaßnahmen 1 bis 3, jeweils ergänzt um eine Photovoltaikanlage. Die Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen ist in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Zusammensetzung der Gesamtmaßnahmen

Einzelmaßnahmen	Gesamtmaßnahmen					
	1	2	3	4	5	6
1 Dämmung Außenwand	x	x	x	x	x	x
2 Austausch Fenster/Türen/Glasdächer	x	x	x	x	x	x
3 Dämmung Dach		x	x		x	x
4 Dämmung Bodenplatte			x			x
5 Photovoltaikanlage Variante 2				x	x	x

Die wirtschaftlichsten Sanierungsvarianten bilden Gesamtmaßnahme 1 und 4. Sie umfassen die Dämmung der Außenwand sowie den Austausch der Fenster, Türen und Glasdächer. Bei Gesamtmaßnahme 4 wird dieses Maßnahmenpaket um eine Photovoltaikanlage erweitert. Mit dieser Ergänzung verbessert sich die Amortisationszeit von 30 auf 24 Jahre. Gesamtmaßnahme 2 beinhaltet neben den Maßnahmen der Gesamtmaßnahme 1 noch die Dämmung des Daches. Da die Dachflächen jedoch bereits im Bestand über gute U-Werte verfügen, ist eine zusätzliche Dämmung der Dachflächen wirtschaftlich nicht darstellbar. Gesamtmaßnahme 5 hingegen amortisiert sich aufgrund der ergänzenden Photovoltaikanlage nach 37 Jahren. Die letzte Gesamtmaßnahme 3 bzw. 6, beschreibt eine Kernsanierung des Gebäudes. Dabei werden alle Bauteilflächen angepackt und saniert. Diese Gesamtmaßnahme amortisiert sich, auch durch die Kombination mit einer Photovoltaikanlage, nicht im Betrachtungszeitraum von 40 Jahren.

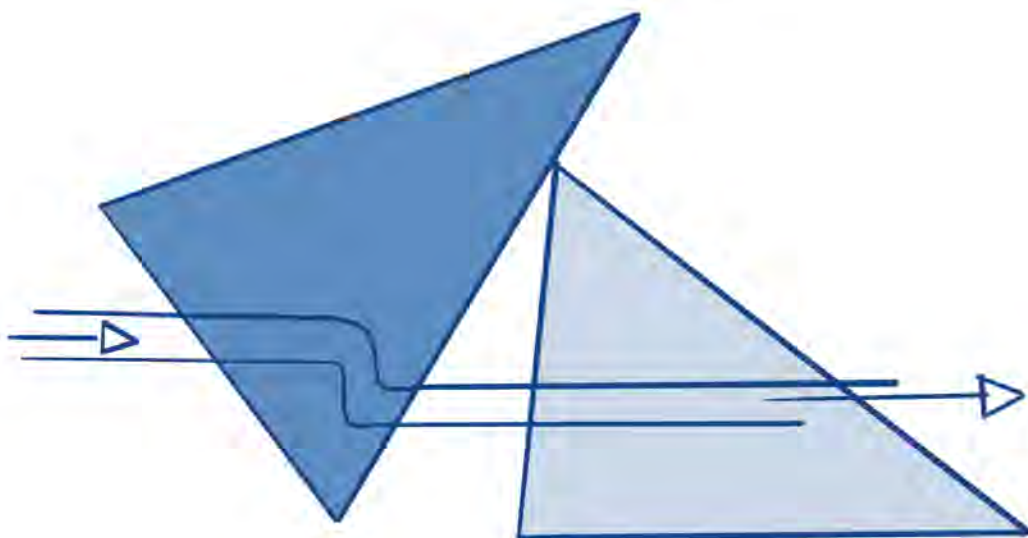
Angesichts der anstehenden Kernsanierung empfiehlt sich jedoch die Umsetzung aller Maßnahmen in einem Zug. Dadurch können Synergieeffekte genutzt werden, welche die Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahme verbessern. Beispielsweise müssen so Kosten für ein Gerüst nur einmal getragen werden. Ebenso können z.B. bei einer gemeinsamen Durchführung einer Außenwanddämmung und eines Fenstertauschs die Fenster direkt auf die Außenkante des Mauerwerks gesetzt werden, wodurch thermische Schwachstellen an der Gebäudehülle minimiert werden.

Zudem ist das Anstreben einer KfW Effizienzgebäude-Stufe empfehlenswert. Aufgrund des niedrigen Primärenergiefaktors der Fernwärme sind die Effizienzgebäude-Stufen der KfW, welche als Anforderung für den Erhalt einer Förderung gelten, bereits mit einer reinen Sanierung der Gebäudehülle erreichbar. Mit Umsetzung der Gesamtmaßnahme 3, welche die Sanierung der Außenwände, der Dachflächen, der Bodenplatte sowie den Austausch der Fenster, Glasdächer und Türen beinhaltet, wird die Effizienzgebäude-Stufe 70 erreicht. Diese stellt nach KfW-Kriterien derzeit die dritthöchsten Anforderungen an ein Gebäude hinsichtlich seines energetischen Zustandes. Wird wie in Gesamtmaßnahme 6 beschrieben eine Photovoltaikanlage zu den Maßnahmen der Gesamtmaßnahme 3 hinzuaddiert, ist die Effizienzgebäude-Stufe 40 erreichbar. Diese stellt derzeit nach KfW-Kriterien die höchsten energetischen Anforderungen an ein Gebäude. Bei Erreichen der KfW Effizienzgebäude-Stufe 40 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. Durch Nutzung der Fernwärme der Detmolder Stadtwerke ist die Anforderung bereits erfüllt. Bei Inanspruchnahme eines Kredites in Höhe der Sanierungskosten (gedeckt bei 10 Mio. Euro, bzw. 2000 €/m² NGF) ist dieser, bei Erreichen der Effizienzgebäude-Stufe 40 inkl. EE-Klasse, mit einem Tilgungszuschuss in Höhe von bis zu 25 % verbunden.

Im Bestand findet bislang keine gebäudenahe Erzeugung erneuerbarer Energien statt. Im Rahmen dieses Berichtes wurden deshalb 3 Varianten einer Photovoltaikanlage auf dem Dach des Felix Fechenbach Berufskollegs (Hauptgebäude) betrachtet. In der ersten Variante wird dahingehend eine PV-Anlage untersucht, welche der reinen Netzeinspeisung dient. Diese Variante schneidet mit einer Amortisationszeit von rund 18 Jahren im Vergleich zu den anderen beiden betrachteten Varianten wirtschaftlich am schlechtesten ab. Variante 2 und 3 hingegen berücksichtigen den direkten Eigenverbrauch in der Liegenschaft. Hinsichtlich der Amortisationszeit liegen die beiden Varianten mit 11 (Variante 2) und 13 (Variante 3) Jahren recht dicht beieinander. Der Unterschied dieser beiden Varianten liegt darin, dass in Variante 3 der Einsatz eines Batteriespeichers berücksichtigt wird. Zwar steigt durch diesen der Eigenverbrauch stark an (von 39 % auf 78 %), jedoch liegt die Amortisationszeit zwei Jahre über der Variante „Eigenstromnutzung ohne Batteriespeicher“ (Variante 2). Werden in Zukunft die Kosten für Stromspeicher weiter sinken, wird die Maßnahme weiter an Wirtschaftlichkeit gewinnen. Ähnlich wirkt sich eine Strompreissteigerung aus. Je teurer der Strombezugspreis, desto wirtschaftlicher wird die Eigenstromnutzung.

In die Entscheidung sollten jedoch nicht nur wirtschaftliche Faktoren mit einfließen. Durch die Integration eines Batteriespeichers steigt der Autarkiegrad an. Gleichzeitig kann ein Batteriespeicher im Kleinen auch der Netzstabilität dienen, sowohl zu Erzeugungszeiten wie auch bei der Stromnutzung in den Abendstunden, wenn keine Erzeugung mehr stattfindet. Ebenso sollte auch berücksichtigt werden, dass die Kommune eine Vorbildfunktion im Bereich Klimaschutz einnimmt. Oftmals entstehen so wichtige Impulse für die Bevölkerung und die Wirtschaft vor Ort.

Aufgrund des hohen Anteils erneuerbarer Energien im Fernwärmenetz der Stadtwerke Detmold wirken sich die Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle im Bereich der Primärenergie und den Treibhausgasemissionen nur gering aus. Daher wurde zur Darstellung der Einsparungen zusätzlich ein alternatives Szenario betrachtet. Mit Hilfe dieser Betrachtung soll das Potential, welches mit der eingesparten Fernwärme einhergeht, dargestellt werden. In diesem Szenario wird angenommen, dass derzeit noch fossil beheizte Haushalte das Potential der freiwerdenden Kapazität des Fernwärmenetzes nutzen. Dadurch können jährlich bis zu 270 Tonnen CO₂ eingespart werden. Zudem wird so noch einmal verdeutlicht, dass im Fall des Felix Fechenbach Berufskolleg nicht der energetische Zustand des Gebäudes für die geringen Einsparungen auf Seiten der Primärenergie und der Treibhausgasemissionen verantwortlich ist, sondern rein die Art der Beheizung.



Anhang 1

4.1 Energiemanagement

Neben Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle 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

Der Wärmebedarf wird bereits getrennt für das Hauptgebäude des Felix Fechenbach Berufskolleg erfasst. Ebenso wertvoll sind Erkenntnisse zum Stromverbrauch des Gebäudes. Hier werden derzeit nur die Verbräuche der gesamten Liegenschaft (Gebäude 1 bis 4) erfasst. Eine getrennte Erfassung für das Hauptgebäude ist durchaus empfehlenswert.

4.2 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 Klassen- 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 und sich innerhalb kürzester Zeit.

4.3 Grundlagen der Untersuchung

4.3.1 Unterlagen für die Analyse des Ist-Zustandes

Eine Vor-Ort-Begehung des Gebäudes wurde am 03.08.2022 und am 05.10.2022 durchgeführt. Gebäudepläne und Energieverbräuche wurden in diesem Rahmen zur Verfügung gestellt.

4.3.2 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

4.3.3 Verwendete Software

Zur Berechnung der Einzelmaßnahmen 1-4 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 5, 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.

4.3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

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

- Preise für Brennstoffe und Strom (brutto)
 - Fernwärme: 0,086 €/kWh
 - Strom Haushalt: 0,24 €/kWh
- Jährliche Preissteigerungen für Brennstoffe und Strom
 - Fernwärme: 2,53%
 - Strom: 3,96%
- Zinssatz Kredit: 1%
- Betrachtungszeitraum Sanierungsmaßnahmen
 - Maßnahmen an der Gebäudehülle: 40 Jahre
 - Photovoltaikanlage: 20 Jahre

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

4.3.5 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 ϵ Warmwasser entsprechender Zulufttemperatur 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-, Raumluft- 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.

5 Anhang 2: Dokumentation der Berechnungen nach GEG / DIN V 18599

Inhaltsverzeichnis für Anhang 2

Bauteile	1
Allgemeine Daten	4
Zusammenstellung der Räume	5
Zusammenstellung der Hüllflächen	6
Bauteiltransmission	9
Zonenübersicht	10
Zonendaten und -ergebnisse	12
Anlagen Übersicht	57
Anlagendaten und -ergebnisse Heizung	58
Anlagendaten und -ergebnisse Warmwasser	64
Anlagendaten und -ergebnisse Raumlüftung	68
Gebäudekenngrößen	70
Energieausweis – Kurzübersicht	71
Berechnung mittlerer U-Wert	72
Endenergie nach Energieträgern	75