

Gutachten Grundlagenermittlung: Serielles Sanieren von Typen Schulbauten

Endbericht



Auftraggeber

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Umwelt, Klima, Energie
u. Agrarwirtschaft
Neuenfelder Str. 19
21109 Hamburg

Ersteller

FRANK Ecozwei GmbH
Stadtdeich 7
20097 Hamburg

Hamburg, 16.11.2022

Inhalt

1 Vorwort	5
2 Ausgangslage	5
Auswahl des Gebäudetyps	5
Fritz-Schumacher-Schule, Foorthkamp 36	6
Allgemeine Bestandsaufnahme	6
Bestandsaufnahme Bauteile	12
3 Technische IST-Analyse	13
Technische Objektbeschreibung	13
Thermische Gebäudehülle	13
4 Energetische Bewertung Ist-Zustand	15
Energiebilanz	16
Bewertung des Gebäudes	18
Rebound-Effekt Energieverbrauch	19
Energiekostenentwicklung	20
Grundlagen	21
5 Energetisches Konzept Gebäudehülle	21
Allgemein	21
Erneuerbare Energie (EE) Anteil	22
Wärmebrückenfaktor	22
Variante 1 – Effizienzhaus 70 EE	23
Variante 2 – Effizienzhaus 55 EE	25
Variante 3 – Effizienzhaus 40 EE	28
Variante 4 – Net Zero Standard	30
6 Energetisches Heizungs- und Lüftungskonzept	34
Lüftung	34
Heizung	34
Sommerlicher Wärmeschutz	36
Automatisierung	36
7 Serielle Sanierung	36
Serielle Sanierung	36
Chancen und Risiken „serielle Sanierung“	36
Vorplanung	37
Bauablauf	37
8 Architektonisches Konzept	38

Sanierungskonzept der Gebäudehülle	38
Sanierungskonzept aus Sicht des Tragwerks	38
Konstruktionsprinzip Tafelbauweise	39
Baustoffwahl und Aufbau der Bauteile	40
Architektonische Gestaltung	41
Ausblick	44
9 Energieeinsparung	45
Allgemein	45
Ermittlung der Energiekosteneinsparung	45
Wärmekosteneinsparung im Zeitraum der wirtschaftlichen Lebensdauer	46
Stromkosteneinsparung	46
10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	47
Allgemein	47
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	47
Instandhaltungsrücklage	48
Nutzungskosten	49
11 Förderungen	49
Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG)	49
Kommunen - Zuschuss (Programm 464)	50
Förderübersicht der Varianten	51
12 Kostenschätzung	52
Kostenschätzung serielle Sanierung	52
Kostenschätzung konventionelle Sanierung	55
13 Zusammenfassung der Ergebnisse / Fazit	58

Genderhinweis:

Aus Gründen der Lesegewohnheit und der sprachlichen Vereinfachung wird, wenn keine geschlechtsneutrale Formulierung möglich ist, bei Personen die männliche Substantivform verwendet. Gemeint sind stets alle Geschlechter.

1 Vorwort

Die Behörde für Umwelt, Klima, Energie u. Agrarwirtschaft (nachfolgend BUKEA genannt) sieht in der seriellen Sanierung von typisierten Schulbauten großes Potenzial, einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung der angestrebten Klimaziele der Freien und Hansestadt Hamburg zu leisten. Voraussetzung dafür sind ein hoher Effizienzstandard und die Verwendung nachhaltiger Baumaterialien sowie optimierte Bauverfahren.

Aktuell wird das Thema serielle Sanierung in Deutschland von der Deutschen Energie-Agentur (dena) aktiv vorangetrieben. Die dena orientiert sich dabei an der Energiesprung Initiative, die in den Niederlanden entwickelt wurde. Diese konzentriert sich im Wesentlichen auf Wohngebäude und die bilanzielle Errichtung eines Net Zero Gebäudes. Die größten Hemmnisse bei diesem Konzept waren anfänglich die Preisdifferenz der Investition gegenüber herkömmlichen Sanierungen sowie die steuerliche Behandlung des selbst produzierten Stroms. Während sich die Kosten der seriellen Sanierung inzwischen den Kosten der konventionellen Sanierung angleichen, liegt aktuell die größte Herausforderung in der steuerrechtlichen Behandlung. Diese kann durch Sonderlösungen geregelt werden, verursacht jedoch Aufwand, der nicht von jedem Eigentümer geleistet werden kann.

Einige Hamburger Schulen bieten geeignete Ausgangsbedingungen für das serielle Sanieren. So gibt es im Gebäudebestand mehrere vergleichbare Gebäude, die in der Regel keine Balkone oder Loggien haben und einfachere Geometrien aufweisen. Daher soll im Rahmen der vertiefenden Grundlagenermittlung untersucht werden, wie sich die Baukosten bei diesen Gebäudetypen im Verhältnis zu herkömmlichen Sanierungen entwickeln und welche Auswirkungen dies auf die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hat. Gleichzeitig sollen mögliche Hemmnisse bei den seriellen Sanierungen identifiziert werden, um diese Erkenntnisse im weiteren Projektverlauf in der Planung zu berücksichtigen. Die Schulbau Hamburg und die Stadt Hamburg können BEG Fördermittel beziehen, die als Zuschuss ausgezahlt werden. Diese Zuschüsse fließen in die Wirtschaftlichkeitsanalyse mit ein.

Im Jahr 2021 führte die FRANK Ecozwei GmbH bereits eine vertiefende Grundlagenermittlung des Typenbaus Doppel-H-Gebäude durch. Darauf aufbauend soll nun als weiterer Typenbau das Klassengebäude (Typ K2) untersucht werden. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in dem vorliegenden Bericht dargestellt.

2 Ausgangslage

Auswahl des Gebäudetyps

Ein großer Teil der Hamburger Schulgebäude wurde als Kreuzbau, Doppel-H-Gebäude oder Klassengebäude errichtet. Nachdem in dem vergangenen Gutachten mit dem Gymnasium Ohlstedt der Gebäudetyp des Doppel-H-Gebäude untersucht worden ist, wird in dem vorliegenden Gutachten mit der Fritz-Schumacher-Schule das Klassengebäude (Typ K2) beleuchtet. Die Auswahl des Gebäudetyps wurde in Absprache mit der Schulbau Hamburg getroffen. Diese Klassengebäude eignen sich aufgrund ihrer langen, geraden Flächen sehr gut für serielle Sanieren. Zudem sprach sich Schulbau Hamburg für die Betrachtung dieses Gebäudetyps aus, da dieser Schultyp ein hohes Sanierungspotenzial aufweist und es im Bestand eine hohe Anzahl dieses Gebäudetyps gibt.

Fritz-Schumacher-Schule, Foorthkamp 36

Der Gebäudekomplex der Fritz-Schumacher-Schule (Sekundarstufe II, Gesamtschule) liegt am Foorthkamp 36 in 22419 Hamburg-Langenhorn. Dieser besteht aus acht Gebäuden. Die Gebäude 02, 03, 04, 05 und 08 (Abbildung 1) sind im Wesentlichen baugleiche Module des Typs K2. Hierbei handelt es sich um typisierte Klassengebäude in Stahlbetonskelettbauweise dem Jahr 1969. Drei dieser Gebäude wurden mit Luftschutzbunkern unterkellert. Der Heizungskeller befindet sich unterhalb des Gebäudes 07.

Das zu untersuchende Gebäude 05 wurde als Klassengebäude errichtet und verfügt über zwei Vollgeschosse. Es wird über ein zentrales Treppenhaus erschlossen, von dem je zwei Klassenräume seitlich angebunden sind. Den Klassenräumen ist je eine Garderobe und eine WC-Einheit vorgelagert. Das Gebäude schließt mit einem Flachdach ab und verfügt über einen ungenutzten Luftschutzkeller. Der Keller erstreckt sich über die gesamte Gebäudegrundfläche.

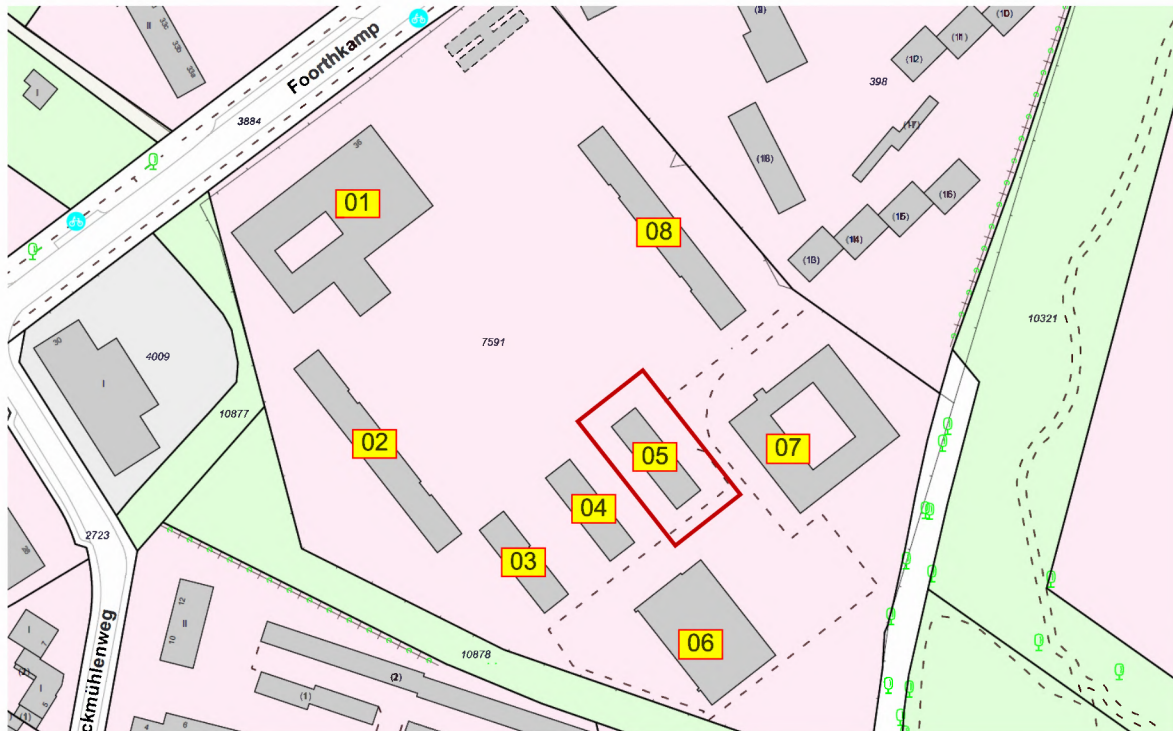


Abbildung 1: Das Schulgelände, Quelle: Schulbau Hamburg

Allgemeine Bestandsaufnahme

Am 27.06.2022 fand eine Ortsbesichtigung mit [REDACTED]

[REDACTED] Dabei wurden die wesentlichen Bauteile des Objektes in Augenschein genommen. Die von der SBH zur Verfügung gestellten Bestandsunterlagen (Pläne, Baubeschreibungen, etc.) wurden gesichtet und bei der Konzeptentwicklung berücksichtigt.

Die folgenden Bilder geben neben Grundrissen des Unter- und Erdgeschosses einen Überblick über den aktuellen Zustand des Gebäudes. Im Anschluss folgt eine Bestandsaufnahme der einzelnen Bauteile sowie ein Überblick über den energetischen Zustand.



Abbildung 2: Ansicht Fassade Süd-Westen, Quelle: FRANK Ecozwei GmbH



Abbildung 3: Ansicht Fassade Nord-Osten, Quelle: FRANK Ecozwei GmbH



Abbildung 4: Aufnahme Klassenraum Fassade Süd-Westen, Quelle: FRANK Ecozwei GmbH



Abbildung 5: Aufnahme Klassenraum Fassade Nord-Osten, Quelle: FRANK Ecozwei GmbH



Abbildung 6 : Aufnahme Treppenhaus Gebäude 05, Quelle: FRANK Ecozwei GmbH



Abbildung 6: Aufnahme Dach Gebäude 05, Quelle: FRANK Ecozwei GmbH



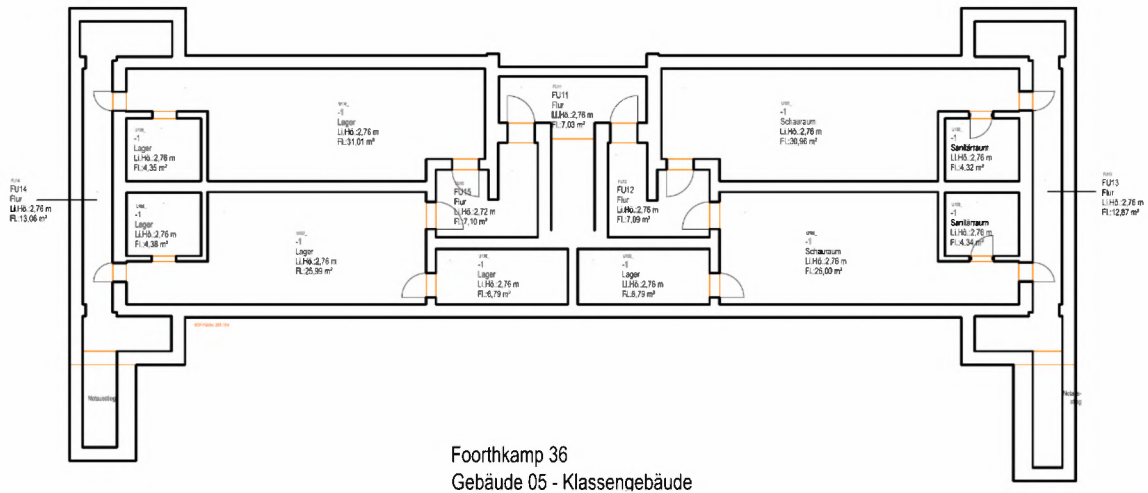
Abbildung 8: Aufnahme 1 Bunker Gebäude 05, Quelle: FRANK



Abbildung 9: Aufnahme 2 Bunker Gebäude 05, Quelle: FRANK



Abbildung 10: Aufnahme Heizungskeller Gebäude 07, Quelle: FRANK



Foorthkamp 36
Gebäude 05 - Klassengebäude

Abbildung 11: Grundriss UG Gebäude 05, Quelle: Schulbau Hamburg

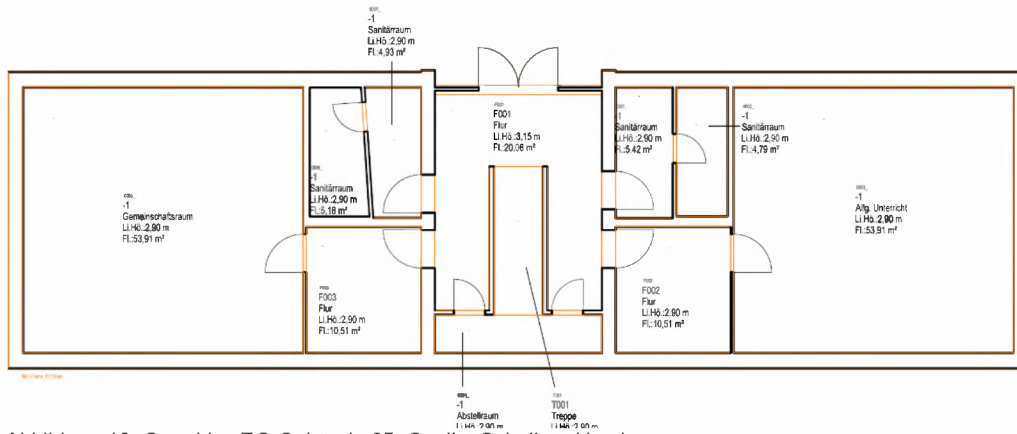


Abbildung 12: Grundriss EG Gebäude 05, Quelle: Schulbau Hamburg

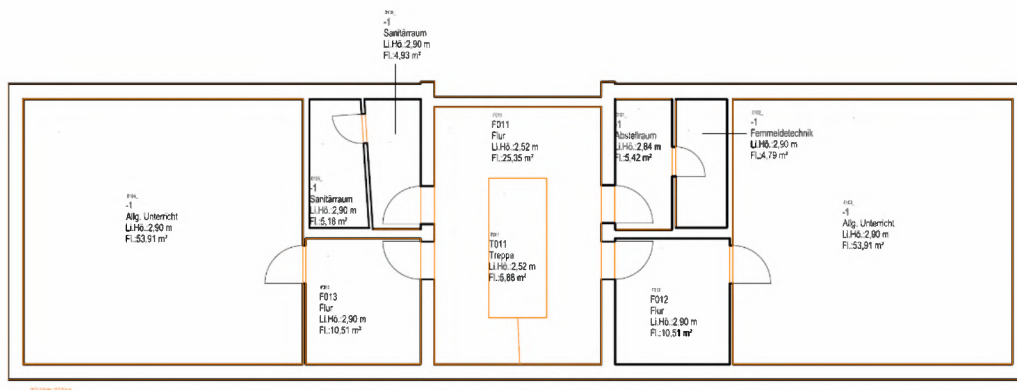


Abbildung 13: Grundriss 1. OG Gebäude 05, Quelle: Schulbau Hamburg

Bestandsaufnahme Bauteile

Bauart:

Das Modul K2 ist ein typisiertes Klassengebäude in Stahlbetonskelettbauweise. Die Träger des Daches sind im Raster von 1,50 m angeordnet und auf Stützen aufgelagert. Im selben Raster ist die Decke über das Erdgeschoss als Rippendecke ausgeführt und an den Stößen und Knotenpunkten vergossen. Die Klassenräume schließen mit massiven Mauerwerkswänden ab und bilden mit Querwänden die Gebäudeaussteifung. Das zentral liegende Treppenhaus ist teilweise in Ort beton hergestellt.

Fassade:

Bei den Giebelseiten handelt es sich um massive Wandscheiben aus Sichtmauerwerk. Die Brüstungen bestehen aus Doppelwandelementen. Dafür wurden außen- und innenseitig Betonfertigteile als „verlorene Schalung“ vor Ort mit Beton ausgegossen. Eine 2 cm Hartschaumdämmung ist in diesem System integriert. Als Sonnenschutz wurden je Etage Betonfertigteillamellen oberhalb der südlichen größeren Klassenfenster in die Konstruktion integriert. Diese weisen bei fast allen Gebäuden Korrosionsschäden auf und wurden teilweise bereits durch Aluminiumelemente ersetzt. Ein Abbruch wird aus Sicherheitsgründen empfohlen. An den Längsseiten des Gebäudes befinden sich zwischen den Fenstern die Stahlbetonstützen des statischen Systems, die in Teilen Korrosionsschäden aufweisen.

Fenster:

Bei den Fenstern handelt es sich um Holzfenster mit einer Zweifachisolierverglasung. Diese befinden sich in einem dem Alter entsprechenden Zustand und sollten aus energetischer Sicht ausgetauscht werden.

Eingangstüren:

Bei der Eingangstür handelt es sich um eine Holztür ohne Lichtausschnitte, die sich ebenfalls in einem dem Alter entsprechenden Zustand befindet. Die Holztür sollte aus energetischer Sicht ebenfalls ausgetauscht werden.

Dach:

Das Tragwerk des Flachdachs besteht aus Dachbindern, die im 1,50 m Raster verlegt wurden. Auf diese Raster wurden leichte 7 cm starke Bimsbetonplatten aufgebracht. Die Dachhaut besteht aus einer bituminösen Dacheindeckung, die in Teilen durch besandete Bitumenschweißbahnen ausgebessert wurden. Unterhalb der Dachabdichtung ist eine 5 cm starke Korkdämmung verlegt. Ein Eintrag von Punkt- und Linienlasten auf die Bimsbetonplatten ist ohne zusätzliche statische Maßnahmen nicht möglich. Die Aufbringung einer leichten Dämmung mit bis zu 5-6 kg/m² ist nach überschläglichen Berechnungen realisierbar. Die Entwässerung des Daches erfolgt über im Randbereich des Daches angeordnete Rinnen. Diese befördern das Wasser zum Mittelbau, wo in die Fassadenkonstruktion der Ablauf eingearbeitet wurde. Hier besteht ein erhöhter Instandhaltungsbedarf durch immer wieder eintretendes Niederschlagswasser.

Keller:

Bei der Kellerdecke handelt es sich um eine Stahlbetondecke. Diese ist ungedämmt. Der Luftschutzbunker ist nach Aussage des Schulhausmeisters nicht mehr für dessen Ursprungsnutzung geeignet. Mit einer lichten Raumhöhe von 2,80 m besteht grundsätzlich Potential für eine Nachnutzung. Bei anderen Gebäudetypen ohne einen Luftschutzbunker besteht ein Kriechkeller oder eine Bodenplatte. Nach den uns vorliegenden Unterlagen sind diese ebenfalls in Stahlbetonausführung hergestellt.

Heizungsanlage:

Die Wärmeversorgung erfolgt über zwei Gasbrennwert-Thermen aus dem Jahr 2012. Diese versorgen das gesamte Schulgelände. Die Vor- und Rücklauftemperaturen liegen bei 70/55°C. Die Übergabe erfolgt über Flachheizkörper an den längsseitigen Außenwänden der Klassenräume. In den Fluren befinden sich Rippenheizkörper.

Zusammenfassung

Insgesamt befindet sich das Gebäude in einem sanierungsbedürftigen Zustand. Die Bauteile wie die Fenster und Türen sind veraltet. Auch der Aufbau der Fassade und des Daches entsprechen nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Ebenso wurde im Bereich der Kellerdecke Handlungsbedarf identifiziert, da hier noch keine Dämmung vorhanden ist. Die Wärmeversorgung erfolgt aus nicht regenerativen Energien. Nach der Bestandsaufnahme des Gebäudes ist anzunehmen, dass schon durch einzelne Sanierungen ein höherer energetischer Standard erreicht werden kann.

3 Technische IST-Analyse

Technische Objektbeschreibung

Die nachfolgende Tabelle gibt die wesentlichen Grundparameter wieder, die die Grundlage für die weiteren Berechnungen bilden.

Ort:	Hamburg
Bundesland:	Hamburg
Gebäudetyp:	Schulgebäude
Baujahr:	1969
Lage:	freie Lage
Nutzung:	Schulgebäude
Bauweise	schwere Bauart
Luftdichtheit	ohne Dichtheitsprüfung
Vollgeschosse	2

Thermische Gebäudehülle

Die thermische Gebäudehülle umfasst alle Räume, die direkt oder indirekt beheizt werden und sich gegen Außenluft, Erdreich und unbeheizte Zonen abgrenzen. Durch alle Bauteile dieser Räume findet ein Wärmeaustausch zur Außenluft, zu unbeheizten Räumen oder zum Erdreich statt. Diese sind daher für die Energiebilanz wichtig. In den nachfolgenden Abbildungen ist die thermische Gebäudehülle entsprechend abgebildet.

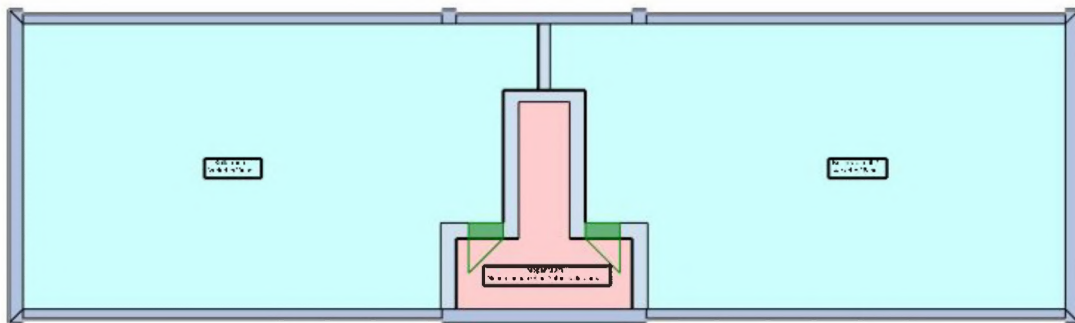


Abbildung 14: Grundriss UG – Thermische Hülle, Quelle: Durch FRANK in Hottgenroth erstellt

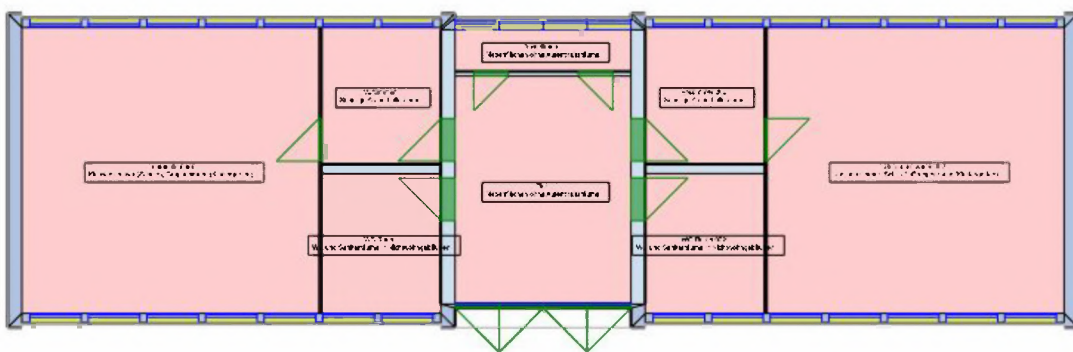


Abbildung 15: Grundriss EG – Thermische Hülle, Quelle: Durch FRANK in Hottgenroth erstellt

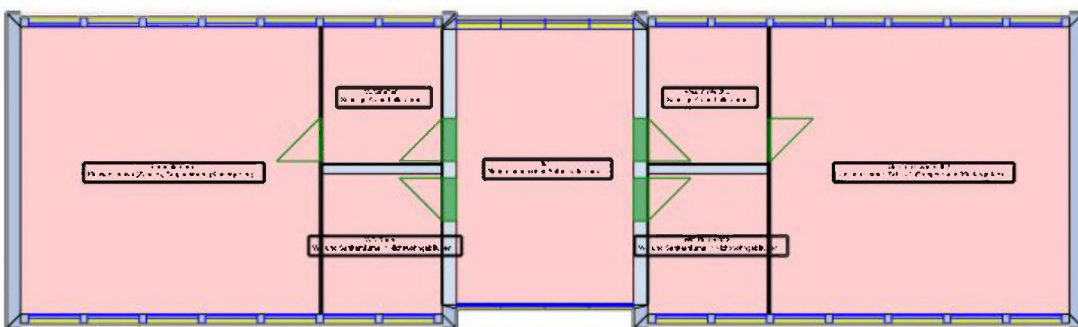


Abbildung 16: Grundriss 1. OG – Thermische Hülle, Quelle: Durch FRANK in Hottgenroth erstellt

4 Energetische Bewertung Ist-Zustand

In der folgenden Tabelle befindet sich eine Zusammenstellung der einzelnen Bauteile der Gebäudehülle mit ihren momentanen U-Werten. Zum Vergleich sind die Mindestanforderungen angegeben, die das GEG bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden stellt.

Typ	Bauteil	Fläche in m ²	U-Wert Ist in W/m ² K	U _{max} GEG* in W/m ² K	U _{max} BEG** in W/m ² K
DA	Flachdächer	209,39	0,73	0,20	0,14
WA	Außenwände Fensterseiten	212,90	1,36	0,24	0,20
WA	Außenwände Giebelseiten	128,16	1,25	0,24	0,20
WE	Außenwände gegen Erdreich (Treppenhaus)	172,35	1,25	0,30	0,25
FA	Fenster	153,35	2,70	1,30	0,95
WK	Kellerinnenwände gegen unbeheizt (Treppenhaus)	42,59	1,55	0,30	0,25
TA	Eingangstüren	9,27	4,50	1,80	1,30
TA	Kellereingangstüren	3,34	3,50	1,80	1,30
BK	Kellerdecke	193,64	0,95	0,30	0,25
BE	Kellersohle (Treppenhaus)	214,41	1,20	0,30	0,25

*) Als U-Wert (früher k-Wert) wird der Wärmedurchgangskoeffizient eines Bauteils bezeichnet. Bei Änderungen von Bauteilen an bestehenden Gebäuden muss der von der GEG vorgegebene maximale U-Wert eingehalten werden. Die angegebenen Maximalwerte gelten für Dämmungen auf der kalten Außenseite. Ist die Dämmschichtdicke aus technischen Gründen begrenzt, so ist die höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$) einzubauen. Soweit Dämm-Materialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämm-Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden, ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,045 \text{ W/(mK)}$ einzuhalten. Ist die Glasdicke aus technischen Gründen begrenzt, so gilt für die Verglasung der Maximalwert von 1,30 W/m²K.

**) Die Mindestanforderungen an U-Werte für KfW-Förderungen gelten nicht für KfW-Effizienzhäuser, sondern für die KfW-Förderung von Einzelmaßnahmen. Die Anforderungen Stand 04/2016 können jederzeit aktualisiert werden.

Ort:	22419 Hamburg		
Bundesland:	Hamburg		
Gebäudetyp:	Schulgebäude		
Baujahr:	1969		
Lage:	geschützte Lage innerhalb einer Wohnsiedlung		
Nutzung:	Schulgebäude		
Bauweise	<i>schwere Bauart</i>		
Vollgeschosse	2		
Beheiztes Gebäudevolumen:	V _e =	1.899,00	m ³
Gebäudehüllfläche:	A =	968,85	m ²
Mittlere Raumhöhe:	H =	2,87	m
Luftvolumen:	V _L =	1.519,00	m ³
Luftwechsel:	n =	0,70	h ⁻¹

Energiebilanz

Für die energetische Gebäudebewertung stellt der vorhandene Energieverbrauch einen wichtigen Indikator dar. Verbraucht die Immobilie 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 der nachfolgenden Tabelle und den Diagrammen entnommen werden.

Verluste	jährlich [kWh/a]	anteilig [%]
Transmissionsverluste		
Dach	14.848	12,45
Außenwand	43.815	36,73
Fenster	39.849	33,40
Keller	20.779	17,42
Gesamt	119.291	100,00
Lüftungsverluste		
Gesamt	47.025	100,00
Anlagenverluste		
Gesamt	41.363	100,00

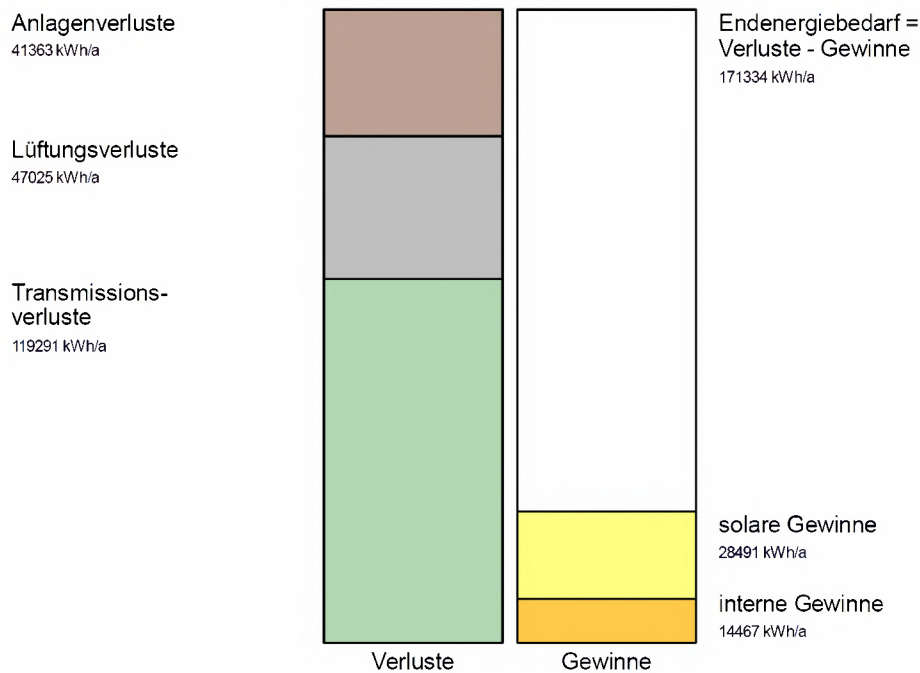


Abbildung 17: Energiebilanz: Wärmeverluste und Wärmegewinne, Quelle: Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

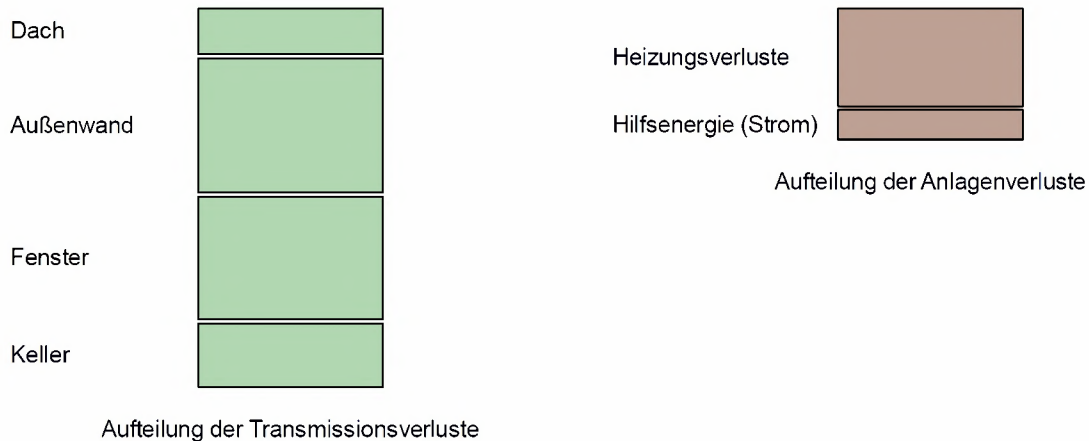


Abbildung 18: Aufteilung der Transmissions- und Anlagenverluste, Quelle: Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Die Energiebilanz gibt Aufschluss darüber, in welchen Bereichen hauptsächlich Energie verloren geht bzw. wo die größten Einsparpotenziale im Gebäude liegen. Bei der Energiebilanz werden die Wärmeverluste und Wärmegewinne der Gebäudehülle sowie die Verluste der Anlagen zur Raumheizung, Trinkwarmwasserbereitung und Lüftungstechnik berücksichtigt. Aus der Bilanz ergeben sich dann der Endenergiebedarf Q_E (notwendige Energiemenge, die für die Beheizung, Lüftung und Warmwasserbereitung zu erwarten ist) und der Primärenergiebedarf Q_p des Gebäudes (zusätzliche Einbeziehung der Energiemenge der vorgelagerten Prozesskette außerhalb des Gebäudes [Gewinnung, Umwandlung, Verteilung]).

Der Haushaltsstrom wird in dieser Bilanz nicht betrachtet. In der Bilanzierung des Net Zero Gebäudes wird für den allgemeinen Stromverbrauch ein entsprechender Ansatz gewählt.

Energiebilanz des Gebäudes – Ist Zustand	jährlich [kWh/a]	anteilig [%]
Verluste		
Transmissionsverluste	119.291	57,44
Lüftungsverluste	47.025	22,65
Anlagenverluste	41.363	19,91
Gesamt	207.679	100,00
Gewinne		
Solare Wärmegewinne	28.491	66,32
Interne Wärmegewinne	14.467	33,68
Gesamt	42.958	100,00
Endenergiebedarf Q_E		
Endenergiebedarf $Q_{WE,E}$ (Wärmeerzeugung)	163.011	95,14
Endenergiebedarf $Q_{HE,E}$ (Hilfsenergie)	8.324	4,86
Gesamt	171.334	100,00
Primärenergiebedarf Q_p	227.547	100,00

CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emissionen betragen im Bestand 70.074 kg/a.

Grundlage für die CO₂-Emissionsberechnung bilden die CO₂-Emissionsfaktoren gemäß Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Der Emissionsfaktor beschreibt das Verhältnis von der Masse eines freigesetzten Stoffes zu der aufgewendeten Masse eines Ausgangsstoffes. Die folgende Tabelle zeigt die CO₂-Emissionsfaktoren gängiger Energieträger (Stand Mai 2022)¹.

Energieträger	CO ₂ -Emissionsfaktoren (tCO ₂ /MWh)
Heizöl (leicht)	0,266
Heizöl (schwer)	0,288
Flüssiggas	0,239
Erdgas	0,202
Steinkohle	0,337
Braunkohle	0,381
Rohbenzin	0,264
Diesel	0,266
Biomasse Holz	0,029
Pellets	0,023
Biodiesel	0,096
Biogas	0,148

Bewertung des Gebäudes

In der energetischen Klassenbewertung auf Basis des Endenergiebedarfs wird das Gebäude in die Kategorie H eingeordnet (Klassen A-H) und ist damit schlechter als die Wärmeschutzverordnung von 1982.

Die höchsten Energieverluste verursachen die Transmissionsverluste. Bei den Bauteilen geht am meisten Energie über die Außenwände verloren, knapp gefolgt von den Fenstern.

Die nachfolgende Gesamtbewertung des Gebäudes erfolgt aufgrund des jährlichen Primärenergiebedarfs pro m² Nutzfläche – zurzeit beträgt dieser 407 kWh/m²a. Der Primärenergiebedarf bildet die Energieeffizienz eines Gebäudes inkl. Erzeugung und Vorkette der Energie ab. Für die Einordnung der Energieeffizienz des Gebäudes ist der Primärenergiebedarf jedoch nicht geeignet. Zur genaueren energetischen Bewertung des Gebäudes ohne Vorkette gibt der Endenergiebedarf Aufschluss, da er den tatsächlich rechnerischen Verbrauch widerspiegelt. Der Primärenergiefaktor drückt das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie zu gegebener Endenergie aus. Den Endenergiebedarf gilt es durch mögliche Maßnahmen zu senken und damit auch die Heizkosten zu reduzieren.

¹ Net4energy GmbH (2022): Emissionsfaktor. Online: <https://www.net4energy.com/wiki/emissionsfaktor> (Letzter Aufruf: 17.08.2022)

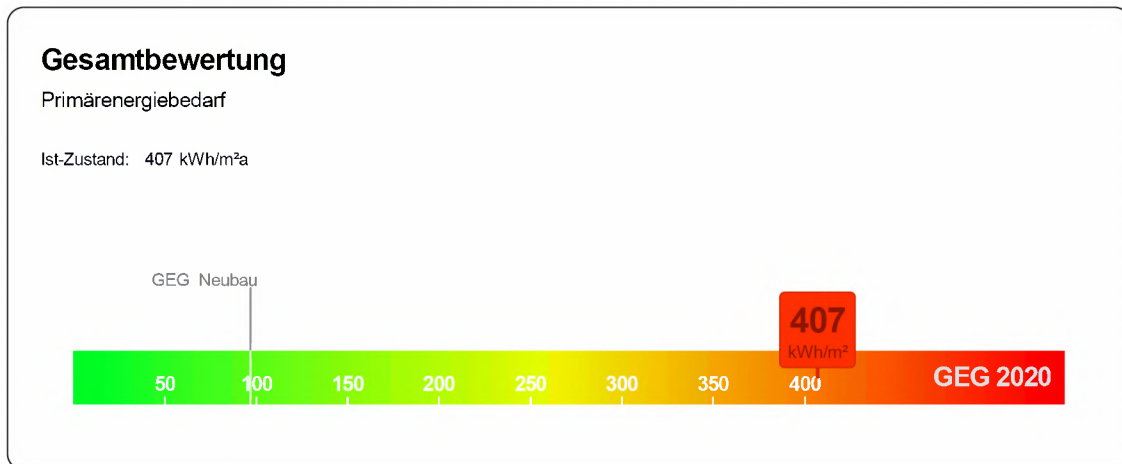


Abbildung 19: Energetische Bewertung des Gebäudes, Quelle: Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Mit dieser Einordnung des Energiebedarfs erfüllt das Objekt die Anforderungen an ein „Worst Performing Building“, was positive Auswirkungen im Bereich der Fördermittel hat. Ausgangspunkt der Berechnung zum „Worst Performing Building“ ist der aktuelle Endenergiebedarf. Dieser wird auf Grundlage der Flächen- und Häufigkeitsverteilung der Effizienzklassen nach Gebäudetypen berechnet.²

Rebound-Effekt Energieverbrauch

In der Vergangenheit stieg nach einer Sanierung oft der Komfortanspruch der Nutzer. Dies bedeutet, dass höhere Raumtemperaturen eingestellt werden und zuvor niedrig beheizte Räume beheizt werden oder zum Temperieren das Fenster geöffnet wird, da sich damit die Frischluftzufuhr kombinieren lässt. Dieser Effekt wird auch als Rebound-Effekt bezeichnet. Daher wichen in der Vergangenheit häufig die tatsächlichen Energieeinsparungen von den errechneten ab. Ein wesentlicher Grund dafür waren die absolut gesehen relativ geringen Energiekosten. Infolge der aktuellen weltpolitischen Gesamtlage und dem Bewusstsein, dass Energie ein knappes und teures Gut geworden ist und auf längere Zeit auch bleiben wird, wird sich dieser Rebound-Effekt reduzieren. Welche Auswirkung dies tatsächlich haben wird, wird sich erst in der Zukunft zeigen. In der Vergangenheit wurde in der Regel ein Abschlag von 30 % auf die rechnerische Energieeinsparung (GEG) der einzelnen Varianten vorgenommen. Dieser Wert übertrifft auch die von der Schulbau Hamburg und dem Gebäudemanagement Hamburg in Auftrag gegebene Untersuchung von Architekt Dittert und Ingenieur Schwarzfeld, in der es heißt: *„Die mit der Untersuchung beauftragten Architekten und Ingenieure Dittert/Schwarzfeld empfehlen grundsätzlich, bei der Ermittlung des Einsparpotenzials einen Abschlag von 20 % auf die EnEV-Werte vorzunehmen.“*³ Aufgrund der beschriebenen aktuellen Situation wird eine Anpassung des Rebound-Effekts vorgenommen. So wird derzeit aufgrund des Nutzerverhaltens von einem Abschlag von 15 % auf die rechnerischen Energieeinsparungen (GEG) ausgegangen.

² Ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2021): Gebäude mit schlechten Leistungen (Worst performing Buildings) – Klimaschutzpotenziale der unsanierten Gebäude in Deutschland. Online: https://www.gruene-bundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/bauen/PDF/210505-ifeu-kurzstudie-gebaeude-mit-schlechtester-leistung.pdf (Letzter Aufruf: 26.08.2022)

³ SBH und GMH (2016): Energetische Leitlinien für Bau, Sanierung und Betrieb der Hamburger Schulen: Kapitel 5.3.1: EvEV-Einsparpotenziale häufig zu hoch

Energiekostenentwicklung

In den Wirtschaftlichkeitsberechnungen werden keine Energiekostenentwicklungen betrachtet, da diese vielen nicht beeinflussbaren Faktoren unterliegen. Eine seriöse Vorhersage ist, vor allem vor dem Hintergrund der aktuellen Marktlage, nicht möglich. Um dieser unbekanntem Größe entgegenzuwirken, wird im Konzept ein hoher regenerativer Anteil an Energie eingeplant. Dies führt zu einem geringeren variablen Anteil an Marktpreisen unterliegender Energiezufuhr. Es wird aber darauf hingewiesen, dass durch die Gesetzgebung einige Änderungen beschlossen wurden, die sich auf den Energiepreis auswirken werden. So werden die Energieträger nach ihrem CO₂-Gehalt besteuert. Dies wird bei fossilen Energieträgern zu einer Verteuerung der Heizkosten führen. Durch die Klimaziele bis 2045 wird dieser Anteil weiter steigen, sodass dies zumindest in Investitionsentscheidungen mitberücksichtigt werden sollte.

CO₂-Emissionen pro m²:

Ist-Zustand
 Var.1 - EH 70 EE
 Var.2 - EH 55 EE
 Var.3 - EH 40 EE

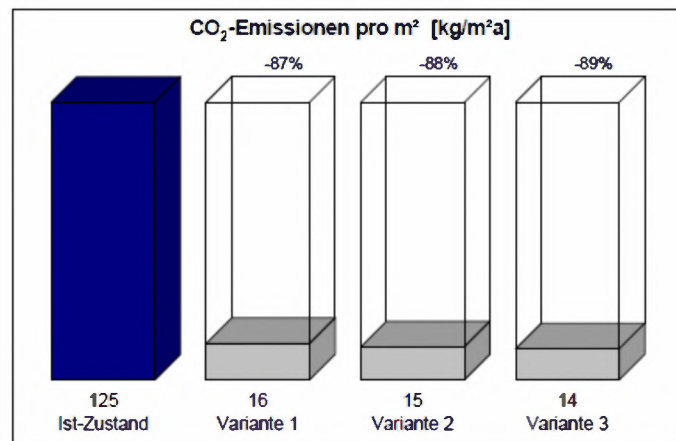


Abbildung 20: CO₂-Emissionen der einzelnen Varianten; Quelle: Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Die Bundesregierung hat 2021 eine CO₂-Bepreisung für die Bereiche Wärme und Verkehr eingeführt. Aktuell beträgt der CO₂-Preis 30 €/t. Danach wird er schrittweise steigen. Im Jahr 2025 soll er bei 55 €/t liegen.⁴ In der nachstehenden Tabelle wird aufgezeigt, welche Auswirkungen die Entwicklung des CO₂-Preises auf die unterschiedlichen Varianten hat. Dabei sind die ersten beiden Stufen bereits durch die Bundesregierung festgeschrieben. Vor dem Hintergrund der immer stärkeren Anstrengungen, die Pariser Klimaziele zu erreichen, wird die CO₂ Bepreisung mit großer Wahrscheinlichkeit auch über 2025 hinaus ansteigen. Da zukünftige Investitionen für die nächsten Jahrzehnte getätigt werden, sollten diese Betrachtungen nicht außer Acht gelassen werden, da sie Auswirkungen auf die Betriebskosten eines Gebäudes haben.

⁴ Bundesregierung (2022): CO₂ hat einen Preis. Online: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/weniger-co2-emissionen-1790134#:~:text=Der%20neue%20CO2%20Preis%20betr%C3%A4gt,Verschmutzungsrechte%20per%20Auktion%20ersteigert%20werden.> (Letzter Aufruf: 18.08.2022)

Bezeichnung	CO ₂ -Preis je Tonne	Ist-Zustand	BEG 70	BEG 55	BEG 40
CO ₂ -Emission		70,07 t/a	9,17 t/a	8,26 t/a	7,86 t/a
CO ₂ -Preis	25 €/t	1.752 €	229 €	207 €	197 €
	55 €/t	3.854 €	504 €	454 €	432 €
	75 €/t	5.255 €	688 €	620 €	590 €
	100 €/t	7.007 €	917 €	826 €	786 €
	125 €/t	8.759 €	1.146 €	1.032 €	983 €

Grundlagen

Der tatsächliche Endenergieverbrauch eines Gebäudes ist sehr stark vom Nutzerverhalten abhängig. So haben die Nutzungsdauer, das Lüftungsverhalten, die Raumtemperaturen und die Anzahl bzw. Größe der beheizten Räume einen wesentlichen Einfluss.

Für die Grundlagenberechnung in diesem Bericht wurde das GEG-Standard-Nutzungsverhalten zugrunde gelegt: Für die wirtschaftliche Bewertung der Maßnahme wurden die Einsparungen um 15 % gemindert.

mittlere Innentemperatur: 21,0 °C,
 Luftwechselrate: 2,50 h⁻¹,
 interne Wärmegevinne: 14.467 kWh pro Jahr

5 Energetisches Konzept Gebäudehülle

Allgemein

Im Folgenden werden Maßnahmen zur Sanierung vorgeschlagen, welche sinnvoll miteinander zu Gesamtpaketen kombiniert werden. Wunsch der Auftraggeberin ist es, dass eine Effizienzhaus (EH) 55 EE (Anteil erneuerbare Energien größer gleich 55 %) Variante, eine EH 40 EE Variante sowie eine Net Zero Variante berechnet wird. Die Net Zero Variante stammt aus der Energiesprung Initiative und beschreibt Gebäude, die selbst mindestens so viel Energie erzeugen wie sie für die Beheizung, Warmwasser und den Verbrauchsstrom benötigen. Dabei sind die Energieerzeugung und der Verbrauch nur bilanziell zu sehen und nicht mit einem energieautarken Gebäude gleichzusetzen.

Der Auftrag wird um die Variante EH 70 EE erweitert, da diese laut den energetischen Baustandards sowie dem energetischen Leitfaden bei umfassenden Sanierungen die Mindestvariante der Schulbau Hamburg ist.

In der nachfolgenden Übersichtstabelle sind die drei Effizienzhausstufen aufgeführt, jedoch nicht die Net Zero Variante. Dies liegt daran, dass diese Variante die Grundlage für das EH 55 bildet. Es geht bei der Net Zero Variante darum, die Effizienz eines Gebäudes so herzustellen, dass die zur Verfügung stehende PVT-Fläche die benötigte Energie erzeugt. Bei Effizienzhäusern mit zwei bis drei Geschossen besteht ein gutes Verhältnis von Dachfläche zu Energiebedarf.

Erneuerbare Energie (EE) Anteil

Diese Ausarbeitung soll untersuchen, welche ökologischen und ökonomischen Auswirkungen die serielle Sanierung für die Typenbauten hat. Aktuell besteht zwar noch keine Anforderung, einen erneuerbaren Anteil von 55 % oder sogar 65 % in der Wärmeerzeugung zu erfüllen, laut der Bundesregierung sollen die 65 % aber zum 01.01.2024 eingeführt werden. Im Hinblick auf die Umsetzungsphase bei einer möglichen seriellen Sanierung haben wir bereits jetzt die 65 % als Benchmark genommen und die Konzepte dahingehend ausgerichtet. Dies spiegelt aus unserer Sicht eine verlässliche Planungsgrundlage für die Entscheidungsfindung.

Wärmebrückenfaktor

In der Konzeptdarstellung wird mit dem Standard-Wärmebrückenfaktor von 0,1 gerechnet. Bei der Ausführungsplanung sollte auf jeden Fall eine detaillierte Wärmebrückenberechnung durchgeführt werden. Diese führt zu einer Reduzierung der Dämmstoffstärken, womit auch eine Reduzierung der grauen Energie sowie eine Kostenersparnis einhergeht. Da sich das Verhältnis unter den einzelnen Varianten jedoch nicht wesentlich verändert, kann der pauschale Wärmebrückenzuschlag in diesem Konzeptpapier für eine belastbare Ausarbeitung verwendet werden.

Übersicht der einzelnen Varianten:

KG	Bauteil	EH-70 EE	EH-55 EE	EH-40 EE
300	Bauwerk - Baukonstruktion			
	Flachdach	10 cm Dämmung WLG 035	14 cm Dämmung WLG 035	24 cm Dämmung WLG 035
	Fassade	Holztafelbauweise 4 cm MiWo WLG 035 + 8 cm MiWo WLG 035 + 3 cm Holzfaser WLG 045	Holztafelbauweise 4 cm MiWo WLG 032 + 12 cm MiWo WLG 032 + 6 cm Holzfaser WLG 045	Holztafelbauweise 4 cm MiWo WLG 032 + 16 cm MiWo WLG 032 + 6 cm Holzfaser WLG 045
	Fenster	Uw 1,30	Uw 1,10	Uw 0,95
	Eingangstür	Ud 2,30	Ud 1,80	Ud 1,30
	Kellerdecke	8 cm Dämmung WLG 035	8 cm Dämmung WLG 035	14 cm Dämmung WLG 035
	400	Bauwerk - Technische Anlagen		
	Hydraulischer Abgleich	ja	ja	ja
	Dämmung der Heizleitungen im Keller	ja	ja	ja
	Vor-/Rücklauftemperatur	55°/45°	55°/45°	55°/45°
	Austausch Thermostatventil	ja	ja	ja
	Austausch Heizungsanlagen im Nahwärmenetz	ja, fp <= 0,55	ja, fp <= 0,47	ja, fp <= 0,36
	PVT	ja	ja	ja
	Beleuchtung	nein	ja	ja
	Wärmebrückenfaktor	0,1	0,1	0,1
	Luftwechselrate	0,70	0,70	0,70

Variante 1 – Effizienzhaus 70 EE

In dieser Variante wird die Sanierung der Gebäudehülle und der Austausch der Heiztechnik betrachtet. Hierzu zählen die Dämmung der Außenwände, der Dachflächen, der Kellerdecke sowie der Austausch der Fenster. Darüber hinaus müssen die Gas-Brennwertthermen des Nahwärmenetzes ersetzt werden. Das Nahwärmenetz muss einen Primärenergiefaktor von $\leq 0,55$ erreichen. Dieses ist beispielsweise über einen Fernwärmeanschluss oder über eine Wärmepumpe möglich. Die Maßnahmen zielen darauf ab, die Anforderungen der KfW des Effizienzhauses 70 EE zu erfüllen.

Maßnahmen:

Außenwände:

- › Holztafelbauweise
 - › Dämmung 4 cm Mineralwolle WLG 035
 - › Dämmung 8 cm Mineralwolle WLG 035
 - › Dämmung 3 cm Holzfaser WLG 045

Dach/oberste Decke:

- › Dämmung 10 cm Mineralwolle WLG 035

Kellerdecke:

- › Dämmung 8 cm Mineralwolle WLG 035

Fenster:

- › Austausch durch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, U_w -Wert 1,30

Technische Anlagen:

- › Hydraulischer Abgleich
- › Dämmung der Heizungsleitungen im Keller
- › Vor-/Rücklauftemperatur $55^\circ/45^\circ$
- › Austausch Thermostatventil
- › Austausch der Gas-Brennwertheizungen gegen einen Fernwärmeanschluss oder eine Wärmepumpe. Es muss ein Primärenergiefaktor von $\leq 0,55$ erreicht werden.
- › Installation einer PVT-Anlage

	Typ	Bauteil	IST-Zustand U-Wert (W/m^2K)	U-Wert nach Maßnahme (W/m^2K)
x	DA	Flachdächer	0,73	0,24
	DA	Vorsprung Eingangsbereich über Keller	0,95	0,95
x	WA	Außenwände Fensterseiten	1,36	0,22
x	WA	Außenwände Giebelseiten	1,25	0,22
	WE	Außenwände gegen Erdreich (Treppenhaus)	1,25	1,25
x	FA	Fenster	2,70	1,30
	WK	Kellerinnenwände gegen unbeheizt (Treppenhaus)	1,55	1,55
x	TA	Eingangstüren	4,50	2,30
	TA	Kellereingangstüren	3,50	3,50
x	BK	Kellerdecke	0,95	0,30
	BE	Kellersohle (Treppenhaus)	1,20	1,20

In dieser Variante reduziert sich der Endenergiebedarf des Gebäudes um **44 %**.

	IST	nach Maßnahme
Endenergiebedarf Q_E in kWh/m ² a	171.334	96.463
Primärenergiebedarf Q_P in kWh/m ² a	227.547	29.912
CO ₂ -Emissionen kg/m ²	70.074	9.173

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

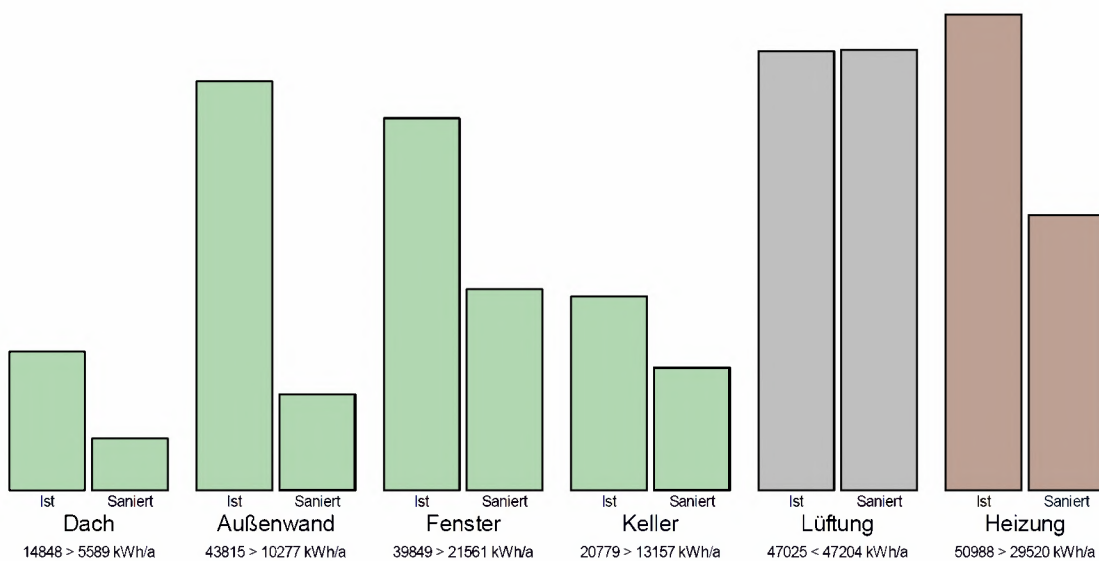


Abbildung 21: Einfluss der Maßnahmen auf die Wärmeverluste, Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Der derzeitige Endenergiebedarf von 171.334 kWh/Jahr reduziert sich auf 96.463 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 74.872 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 60.901 kg CO₂/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen. Zum Vergleich, ein PKW emittiert bei einer jährlichen KM-Leistung von 15.000 KM ungefähr 3.281 kg CO₂. Die Einsparung entspräche somit dem CO₂-Ausstoß von ca. 18 PKW.

Durch die Sanierungsmaßnahmen sinkt der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 54 kWh/m² pro Jahr, was einer Einsparung von 87 % entspricht. 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 sanierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.

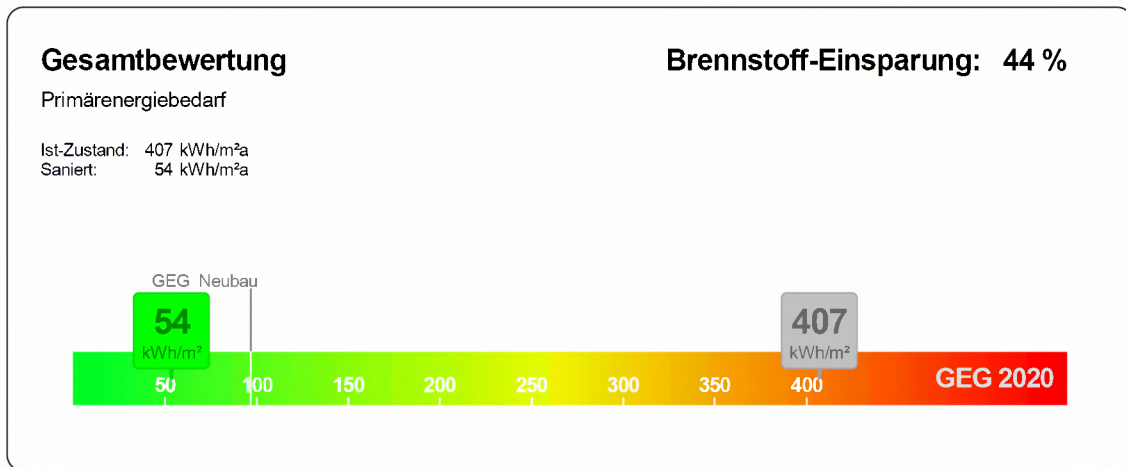


Abbildung 22: Gesamtbewertung für das sanierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand, Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Variante 2 – Effizienzhaus 55 EE

In dieser Variante wird die Sanierung der Gebäudehülle und der Austausch der Heiztechnik betrachtet. Hierzu zählen die Dämmung der Außenwände, der Dachflächen, der Kellerdecke sowie der Austausch der Fenster. Darüber hinaus müssen die Gas-Brennwertthermen des Nahwärmenetzes ersetzt werden. Das Nahwärmenetz muss einen Primärenergiefaktor von $\leq 0,47$ erreichen. Dieses ist beispielsweise über einen Fernwärmeanschluss oder über eine Wärmepumpe möglich. Die Maßnahmen zielen darauf ab, die Anforderungen der KfW des Effizienzhauses 55 EE zu erfüllen.

Maßnahmen:

Außenwände:

- > Holztafelbauweise
- > Dämmung 4 cm Mineralwolle WLG 032
- > Dämmung 12 cm Mineralwolle WLG 032
- > Dämmung 6 cm Holzfaser WLG 045

Dach/oberste Decke:

- > Dämmung 14 cm Mineralwolle WLG 035

Kellerdecke:

- > Dämmung 8 cm Mineralwolle WLG 035

Fenster:

- > Austausch durch 2-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, Uw-Wert 1,10

Technische Anlagen:

- > Hydraulischer Abgleich
- > Dämmung der Heizungsleitungen im Keller
- > Vor-/Rücklauftemperatur 55°/45°
- > Austausch Thermostatventil
- > Austausch der Gas-Brennwertheizungen gegen einen Fernwärmeanschluss oder eine Wärmepumpe → Es muss ein Primärenergiefaktor von $\leq 0,47$ erreicht werden.
- > Installation einer PVT-Anlage
- > Austausch der Beleuchtung gegen LED

	Typ	Bauteil	IST-Zustand U-Wert (W/m²K)	U-Wert nach Maßnahme (W/m²K)
x	DA	Flachdächer	0,73	0,19
	DA	Vorsprung Eingangsbereich über Keller	0,95	0,95
x	WA	Außenwände Fensterseiten	1,36	0,15
x	WA	Außenwände Giebelseiten	1,25	0,15
	WE	Außenwände gegen Erdreich (Treppenhaus)	1,25	1,25
x	FA	Fenster	2,70	1,10
	WK	Kellerinnenwände gegen unbeheizt (Treppenhaus)	1,55	1,55
x	TA	Eingangstüren	4,50	1,80
	TA	Kellereingangstüren	3,50	3,50
x	BK	Kellerdecke	0,95	0,30
	BE	Kellersohle (Treppenhaus)	1,20	1,20

In dieser Variante reduziert sich der Endenergiebedarf des Gebäudes um **47 %**.

	IST	nach Maßnahme
Endenergiebedarf Q_E in kWh/m² a	171.334	90.018
Primärenergiebedarf Q_P in kWh/m² a	227.547	27.030
CO ₂ -Emissionen kg/m²	70.074	8.257

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

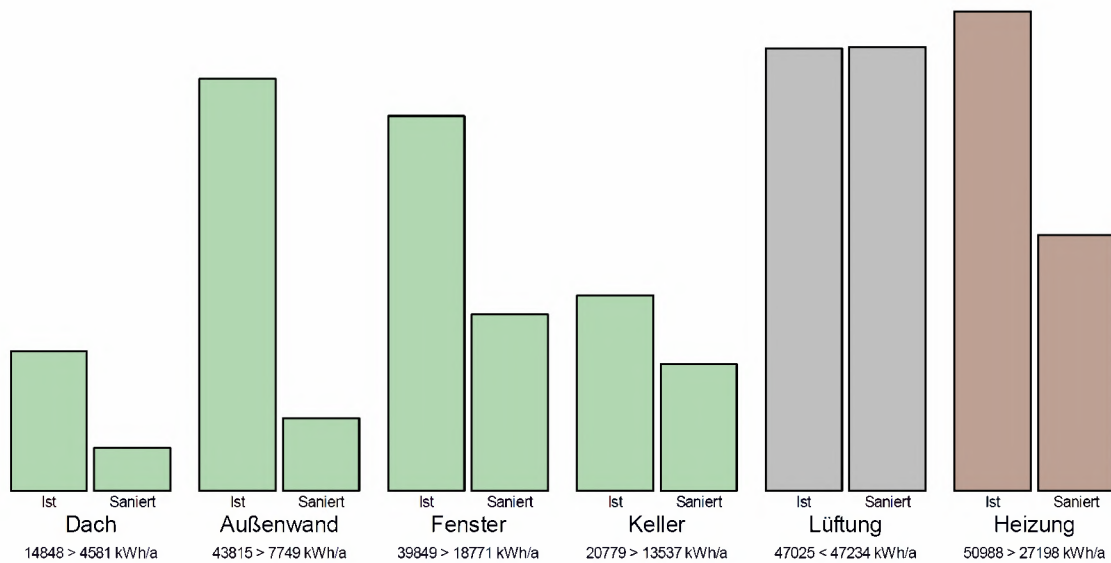


Abbildung 23: Einfluss der Maßnahmen auf die Wärmeverluste, Quelle: Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Der derzeitige Endenergiebedarf von 171.334 kWh/Jahr reduziert sich auf 90.018 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 81.316 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 61.817 kg CO₂/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen. Zum Vergleich, ein PKW emittiert bei einer jährlichen KM-Leistung von 15.000 KM ungefähr 3.281 kg CO₂. Die Einsparung entspräche somit dem CO₂-Ausstoß von ca. 19 PKW.

Durch die Sanierungsmaßnahmen sinkt der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 48 kWh/m² pro Jahr, was einer Einsparung von 88 % entspricht. 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 sanierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.

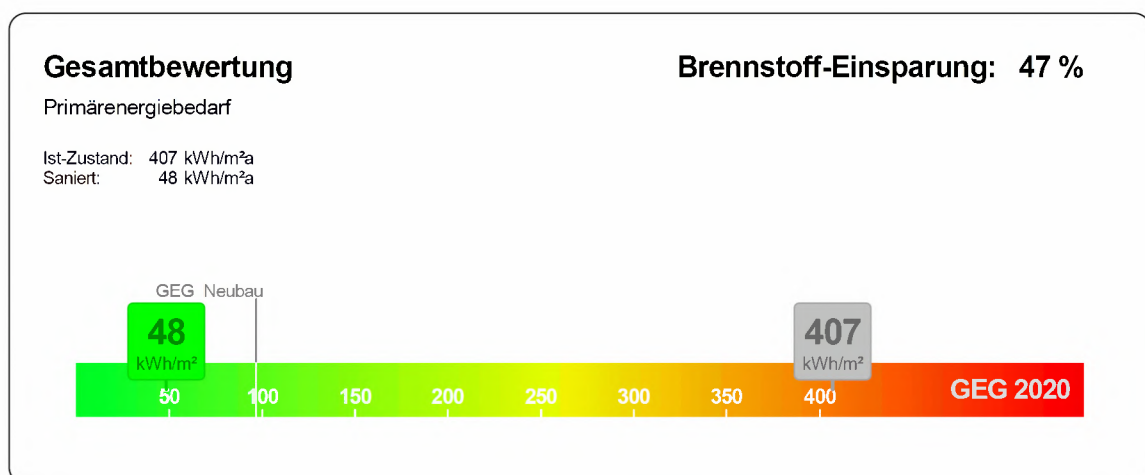


Abbildung 24: Gesamtbewertung für das sanierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand, Quelle: Durch FRANK Ecozwei in Hottgenroth erstellt

Variante 3 – Effizienzhaus 40 EE

Auch in dieser Variante wird die Sanierung der Gebäudehülle und der Austausch der Heiztechnik betrachtet. Hierzu zählen die Dämmung der Außenwände, der Dachflächen, der Kellerdecke sowie der Austausch der Fenster. Darüber hinaus müssen die Gas-Brennwertthermen des Nahwärmenetzes ersetzt werden. Das Nahwärmenetz muss einen Primärenergiefaktor von $\leq 0,36$ erreichen. Dieses ist beispielsweise über einen Fernwärmeanschluss oder über eine Wärmepumpe möglich. Die Maßnahmen zielen darauf ab, die Anforderungen der KfW des Effizienzhauses 40 EE zu erfüllen.

Maßnahmen:

Außenwände:

- › Holztafelbauweise
- › Dämmung 4 cm Mineralwolle WLG 032
- › Dämmung 16 cm Mineralwolle WLG 032
- › Dämmung 6 cm Holzfaser WLG 045

Dach/oberste Decke:

- › Dämmung 24 cm Mineralwolle WLG 035

Kellerdecke:

- › Dämmung 14 cm Mineralwolle WLG 035

Fenster:

- › Austausch durch 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, Uw-Wert 0,95

Technische Anlagen:

- › Hydraulischer Abgleich
- › Dämmung der Heizungsleitungen im Keller
- › Vor-/Rücklauftemperatur 55°/45°
- › Austausch Thermostatventil
- › Austausch der Gas-Brennwertheizungen gegen einen Fernwärmeanschluss oder eine Wärmepumpe → Es muss ein Primärenergiefaktor von $\leq 0,36$ erreicht werden.
- › Installation einer PVT-Anlage
- › Austausch der Beleuchtung gegen LED

	Typ	Bauteil	IST-Zustand U-Wert (W/m²K)	U-Wert nach Maßnahme (W/m²K)
x	DA	Flachdächer	0,73	0,12
	DA	Vorsprung Eingangsbereich über Keller	0,95	0,95
x	WA	Außenwände Fensterseiten	1,36	0,13
x	WA	Außenwände Giebelseiten	1,25	0,13
	WE	Außenwände gegen Erdreich (Treppenhaus)	1,25	1,25
x	FA	Fenster	2,70	0,95
	WK	Kellerinnenwände gegen unbeheizt (Treppenhaus)	1,55	1,55
x	TA	Eingangstüren	4,50	1,80
	TA	Kellereingangstüren	3,50	3,50
x	BK	Kellerdecke	0,95	0,20
	BE	Kellersohle (Treppenhaus)	1,20	1,20

In dieser Variante reduziert sich der Endenergiebedarf des Gebäudes um **51 %**.

	IST	nach Maßnahme
Endenergiebedarf Q_E in kWh/m² a	171.334	83.889
Primärenergiebedarf Q_P in kWh/m² a	227.547	24.818
CO ₂ -Emissionen kg/m²	70.074	7.857

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

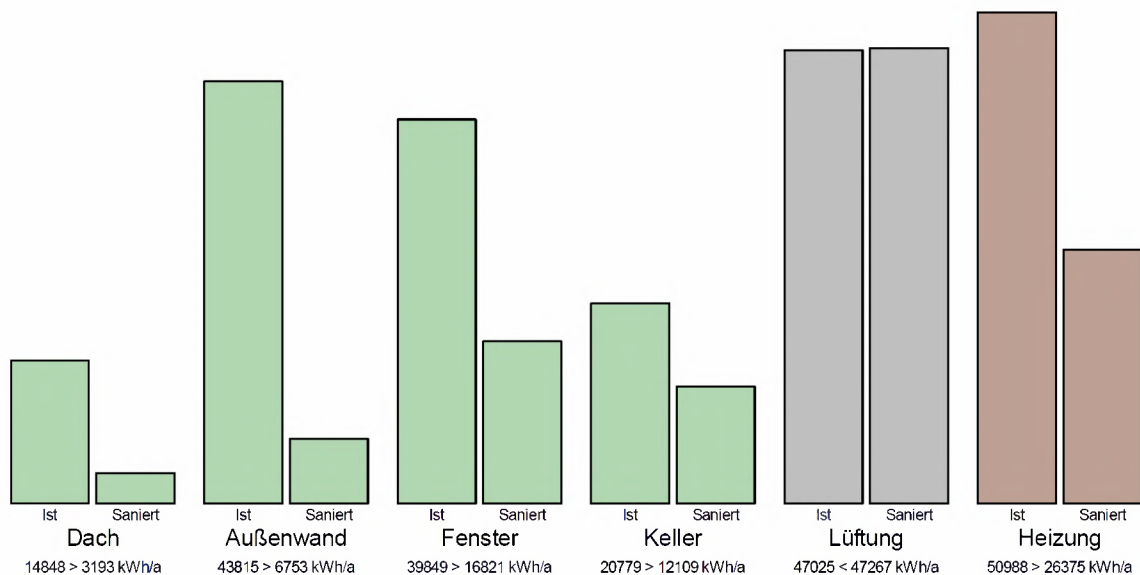


Abbildung 25: Einfluss der Maßnahmen auf die Wärmeverluste, Quelle: Durch FRANK Ecozwei in Hottgenroth erstellt

Der derzeitige Endenergiebedarf von 171.334 kWh/Jahr reduziert sich auf 83.889 kWh/Jahr. Es ergibt sich somit eine Einsparung von 87.445 kWh/Jahr, bei gleichem Nutzverhalten und gleichen Klimabedingungen.

Die CO₂-Emissionen werden um 62.217 kg CO₂/Jahr reduziert. Dies wirkt sich positiv auf den Treibhauseffekt aus und hilft, unser Klima zu schützen. Zum Vergleich, ein PKW emittiert bei einer jährlichen KM-Leistung von 15.000 KM ungefähr 3.281 kg CO₂. Die Einsparung entspräche somit dem CO₂-Ausstoß von ca. 19 PKW.

Durch die Sanierungsmaßnahmen sinkt der Primärenergiebedarf Ihres Gebäudes auf 44 kWh/m² pro Jahr, was einer Einsparung von 89 % entspricht. 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 sanierte Gebäude im Vergleich zum Ist-Zustand.

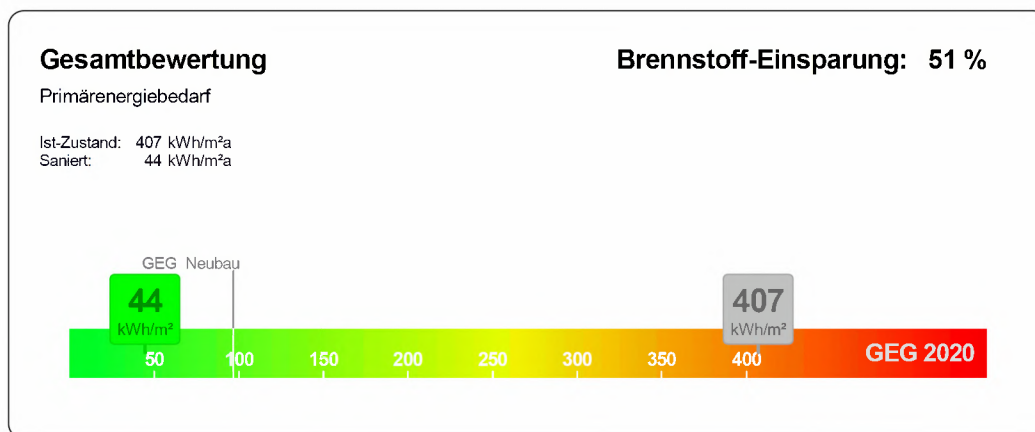


Abbildung 26: Gesamtbewertung für das sanierte Gebäude, Quelle: Durch FRANK Ecozwei in Hottgenroth erstellt

Variante 4 – Net Zero Standard

Wie bereits zu Beginn dieses Kapitels beschrieben, verbraucht ein Net Zero Gebäude nur so viel Energie, wie es selbst produziert. Grundlage für die Variante bildet der EH 55 Standard. Da bei der Net Zero Variante die zur Verfügung stehende PVT-Fläche die benötigte Energie für das Gebäude bilanziell erzeugt, wird im Folgenden die PVT-Planung sowie die genaue Stromerzeugung, die für das Erreichen des Net Zero Standards Voraussetzung ist, aufgeführt.

PVT-Planung

Bei PVT-Modulen handelt es sich um eine Kombination aus Photovoltaik- und Solarthermiemodulen. Der Vorteil des Kombimoduls ist, dass Strom und Wärme gleichzeitig erzeugt werden. Der Aufbau der Hybridmodule ist komplex, prinzipiell handelt es sich jedoch um gestapelte Photovoltaik- und Solarthermiemodule. Dabei liegen die PV-Module oben und fangen Sonnenstrahlen auf. Die dadurch entstehende Spannung wird im Wechselrichter zu nutzbarem Strom umgewandelt. Das Solarthermiemodul liegt dahinter und beinhaltet die Flüssigkeit, die die Wärme des Moduls aufnimmt. Die erwärmte Flüssigkeit wird dann in den Solarwärmespeicher geführt, wodurch die Heizung und die Warmwasseraufbereitung des Gebäudes unterstützt wird.⁵

⁵ Janßen, Kai (2022): Hybridmodule: Photovoltaik & Solarthermie im Kombimodul, Grünes Haus. Online: <https://gruenes.haus/hybridmodule-pvt-module/> (Letzter Aufruf: 23.01.2023)

Um einen Net Zero Standard zu erreichen, wird die Dachfläche mit PVT-Modulen ausgestattet. Die Berechnungen erfolgen für das Satteldach, das im architektonischen Konzept vorgesehen ist. Dies resultiert aus der Tatsache, dass für die Errichtung einer PVT-Anlage statische Ertüchtigungen an der Dachkonstruktion vorgenommen werden müssen. Das architektonische Konzept sieht ein asymmetrisches Satteldach vor, um die nach Süden ausgerichtete Dachseite zu vergrößern. Die Dachseite wird weiterhin durch die Verschattungselemente vergrößert, sodass sich die für die PVT-Anlage zur Verfügung stehende Fläche erhöht. Für die Stromerzeugung durch die PVT-Anlage erfolgt eine Berechnung zum einen ohne Batteriespeicher und zum anderen mit Batteriespeicher. Die Nennleistung der Module beträgt 34,3 kWp.

Wird das Satteldach auf der Südseite vollständig mit PVT ausgestattet, beträgt der Jahresertrag für Strom 27.684 kWh, der spezifische Jahresertrag für Strom liegt bei 807,2 kWh/kWp/a.

Der Eigenverbrauch der PVT-Module unterscheidet sich je nachdem, ob ein Batteriespeicher vorhanden ist oder nicht. Ohne Batteriespeicher beträgt der Eigenverbrauchsanteil 22,2 %, mit Batterie 28,9 %. Bezüglich des Verbrauchs des Stroms ist festzuhalten, dass bei der Variante mit Batterie (19.429 kWh/a) die Netzeinspeisung geringer ausfällt als ohne Batterie (21.525 kWh/a). Mit dem Batteriespeicher wird also weniger Strom ins Netz eingespeist. Bezüglich der Strombedarfsdeckung ist herauszustellen, dass der Netzbezug mit Batterie (2.027 kWh/a) deutlich geringer ausfällt als ohne Batterie (3.872 kWh/a). Insgesamt liegt der Selbstversorgungsanteil ohne Batterie bei 61,4 %, mit Batterie bei 79,8 %.

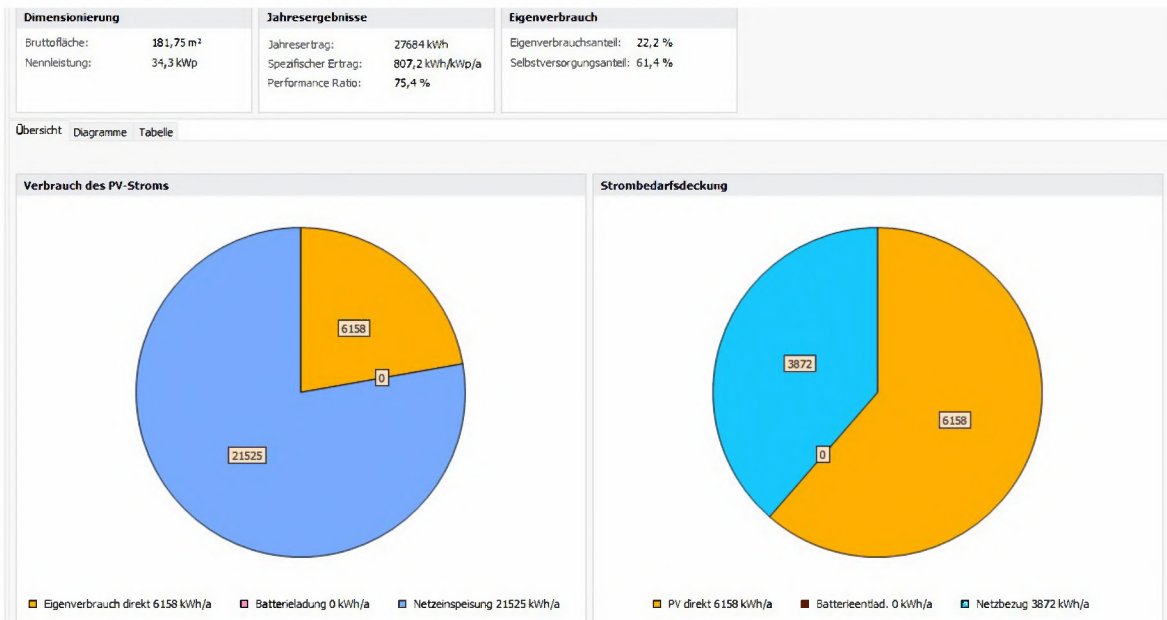


Abbildung 27: Diagramm Option Satteldach ohne Batterie, Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

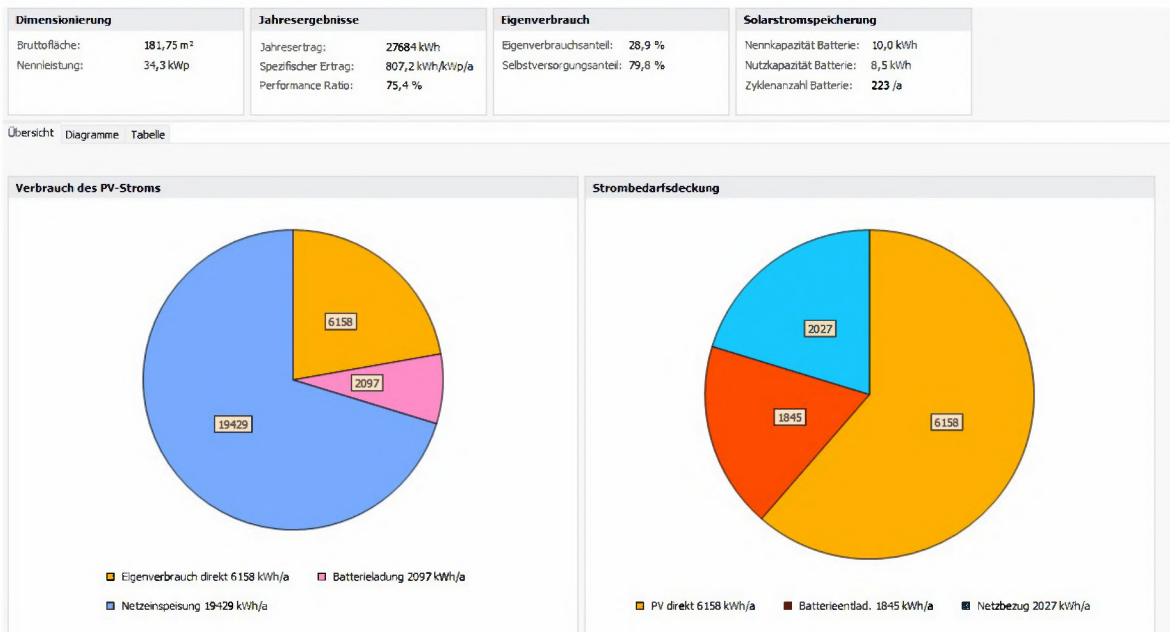


Abbildung 28: Diagramm Option Satteldach mit Batterie, Durch FRANK mit Hottgenroth erstellt

Ausgehend von dem erzeugtem Jahresstromertrag der PVT-Anlage ist zu bewerten, ob das Gebäude bilanziell genauso viel Strom erzeugt, wie es für die Wärme-, Warmwasser- und allgemeine Stromversorgung benötigt. Bezüglich des allgemeinen Strombedarfes wurde für diesen Gebäudetyp K2 einen Verbrauch von ca. 10.000 kWh/a ermittelt. Bei dem ermittelten Strombedarf handelt es sich um ein genormtes Szenario. Um einen realistischeren Ansatz zu erhalten, wäre eine Simulation im weiteren Schritt anzuraten.

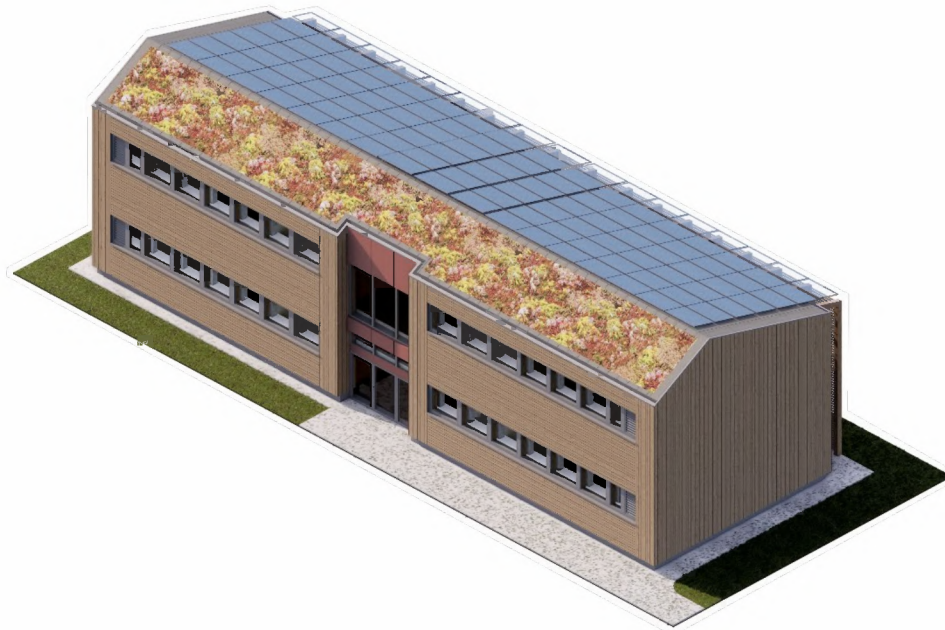


Abbildung 29: PVT-Module auf Satteldach, Quelle: Durch FRANK mit Autodesk Revit und Encape erstellt

Für die Ermittlung des Energiebedarfs der Wärme- und Warmwasserversorgung wurden zwei verschiedene Wärmepumpensysteme untersucht: zum einen eine Luftwärmepumpe, zum anderen eine Sole-Wasserwärmepumpe.

Pos.	Bezeichnung	Luftwärmepumpe	Sole-Wasser Wärmepumpe
1	Wärmebedarf	52.345 kWh	
2	maximale Stromlast (Profil)	3,30 kW	3,30 kW
3	Stromverbrauch	31.189 kWh	23.738 kWh
4	<i>Betriebsstrom (Profil)</i>	10.030 kWh	
5	<i>Wärmepumpenstrom</i>	21.159 kWh	13.708 kWh
6	Strombilanz		
7	<i>Produzierter Strom PV Anlage</i>	27.684 kWh	27.684 kWh
8	<i>Strom Wärmebedarf</i>	31.189 kWh	23.738 kWh
	Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	2,47	3,82
9	Strom Überschuss / - Unterdeckung	-3.505 kWh	3.946 kWh
10	Net-Zero Anforderungen erfüllt	nein	ja

Die Auswertung zeigt, dass bei der Verwendung einer Sole-Wasserwärmepumpe die Anforderungen eines Net Zero Gebäudes auf Basis eines BEG EH 55 EE erfüllt werden, während die Anforderungen bei einer reinen Luftwärmepumpe nicht erfüllt werden. Dies liegt an der geringeren Effizienz dieses Anlagentyps.

6 Energetisches Heizungs- und Lüftungskonzept

Grundlage des Konzepts bilden die „Energetischen Leitlinien für Bau, Sanierung und Betrieb der Hamburger Schulen“. Es werden dort die Einfachheit und Nutzerfreundlichkeit der Bedienung sowie geringe Betriebs- und Unterhaltungskosten der Schulen eingefordert. Es hat sich in vielen Studien gezeigt, dass eine zu große technische Ausrichtung der Gebäude die Mehrheit der Nutzer überfordert und sie in ihrem individuellen Gestaltungsspielraum einengt.

Gleichzeitig zeigt die aktuelle weltpolitische Lage, dass ein Umdenken in der Art und Weise der Energieversorgung wichtiger denn je ist, nicht nur aus umweltpolitischen Überlegungen, sondern auch im Hinblick auf Versorgungs- und Kostensicherheit. Aus diesem Grund sollte der Anteil erneuerbarer Energien so hoch wie möglich gestaltet werden. Hinzu kommt die Vorgabe der Bundesregierung, ab 2024 möglichst alle neu eingebaute Heizungen auf Basis von mindestens 65 % erneuerbaren Energien zu betreiben.

Gebäude dienen in erster Linie dem Nutzer und sollen die vorgesehene Bestimmung bestmöglich gewährleisten. In diesem Fall handelt es sich um eine Bildungsstätte, die einen reibungslosen Unterricht ermöglichen muss und eine qualitätvolle Lernatmosphäre bieten soll. Ein behagliches Umfeld von Schülern und Lehrern ist demnach anzustreben.

Lüftung

Derzeit ist die Fensterlüftung geübter Standard in Hamburger Schulen und soll weiterhin Anwendung finden. Die Lüftung erfolgt für die Zeit der Nutzung über die Fenster durch den Lehrer in zeitlichen Intervallen (Stoßlüften). Durch dieses Vorgehen kann der Unterrichtsablauf eingeschränkt und die Behaglichkeit der Nutzer beeinträchtigt werden. Die Option der Dauerlüftung bewirkt Zugerscheinungen und Gesundheitsrisiken, eine unzureichende Lüftung hingegen senkt aufgrund des steigenden CO₂-Gehalts in der Raumluft die Konzentrationsfähigkeit der Schüler. Eine Möglichkeit, mit diesen negativen Erscheinungen der Fensterlüftung umzugehen, stellt eine Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung dar. Sie bildet einen „Mittelweg“ zwischen Lüftungsanlage und Fensterlüftung. Die verbrauchte und aufgewärmte Luft des Klassenraums wird durch die Abluftanlage abgesaugt und zur Wärmerückgewinnung in einen Abluftwärmetauscher geleitet. Dabei wird im Klassenraum ein Unterdruck erzeugt, wodurch über spezielle Lamellenfenster in der Fassade eine gezielte und nutzerunabhängige Luftwechselrate gewährleistet wird. Eine Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung hat im Vergleich zu einer Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung einen geringeren Wartungsaufwand. Hintergrund ist, dass auf ein zweites Kanalnetz auf der Zuluftseite, an das hohe hygienische Anforderungen gestellt werden, verzichtet wird.

Heizung

Als Wärmeversorgungskonzept wird zunächst angenommen, dass das Gebäude allein durch eine Wärmepumpe betrieben wird. Die geplante Wärmepumpe nutzt zwei Wärmequellen, die sich gut ergänzen. Hauptquelle ist die Abluft aus dem Gebäude, die mittels eines Abluftwärmetauschers gewonnen wird, und über die Sole sowie einen PCM-Latentspeicher (Phase Change Materials) zur

Wärmepumpe gelangt. Gerade an kalten Tagen ist das Temperaturniveau der Abluft im Verhältnis zu anderen Wärmequellen hoch. Wie hoch das Temperaturniveau ist, hängt von der gewählten Raumtemperatur des Nutzers des Gebäudes ab.

Als zweite Wärmequelle dient die PVT-Anlage. Gerade in der Übergangszeit im Frühjahr oder Herbst werden häufig höhere Temperaturniveaus erreicht als aus der Abluft zur Verfügung gestellt werden. Um an diesen Tagen die nicht benötigte Wärme zu speichern, soll diese in PCM-Speichern eingelagert werden. Diese Speicher können im Vergleich zu herkömmlichen Warmwasserspeichern ungefähr dreimal so viel Energie aufnehmen. Die kombinierte Wärmegewinnung wird dabei automatisiert gesteuert. Dies führt im Jahresmittel zu einer erhöhten Quelltemperatur, wodurch sich die Arbeitszahl und somit die Effizienz der Wärmepumpe erhöht. Das Nutzungsverhalten des Anwenders wird dabei nicht eingeschränkt.

Die Übertragung der Wärme erfolgt über eine Fußbodenheizung, die alternativ in den Bestandsestrich (Mindeststärke 4 cm) integriert oder durch ein System mit niedriger Aufbauhöhe (1,5 cm) sichergestellt werden kann. Die Installation der Anlage (Abwärmetauscher, Speicher) erfolgt bei dem untersuchten Gebäude 05 im Luftschutzkeller. Ohne Unterkellerung wären auch andere Standorte möglich. So wäre zum Beispiel bei den Varianten BEG 40 EE und Net Zero die Anordnung im Kaltdachbereich möglich. Bei der zu favorisierenden Variante eines Nahwärmenetzes können durch die Wegstrecke Wärmeverluste entstehen. Durch die im Verhältnis geringe Vorlauftemperatur sind die Verluste wiederum deutlich geringer als bei einem hochtemperierten Nahwärmenetz. Da die bestehende Heizungsanlage erst vor circa zehn Jahren eingebaut wurde, wird hier eine modulare Umrüstung der Anlage auf ein hybrides System mit Wärmepumpen angestrebt.

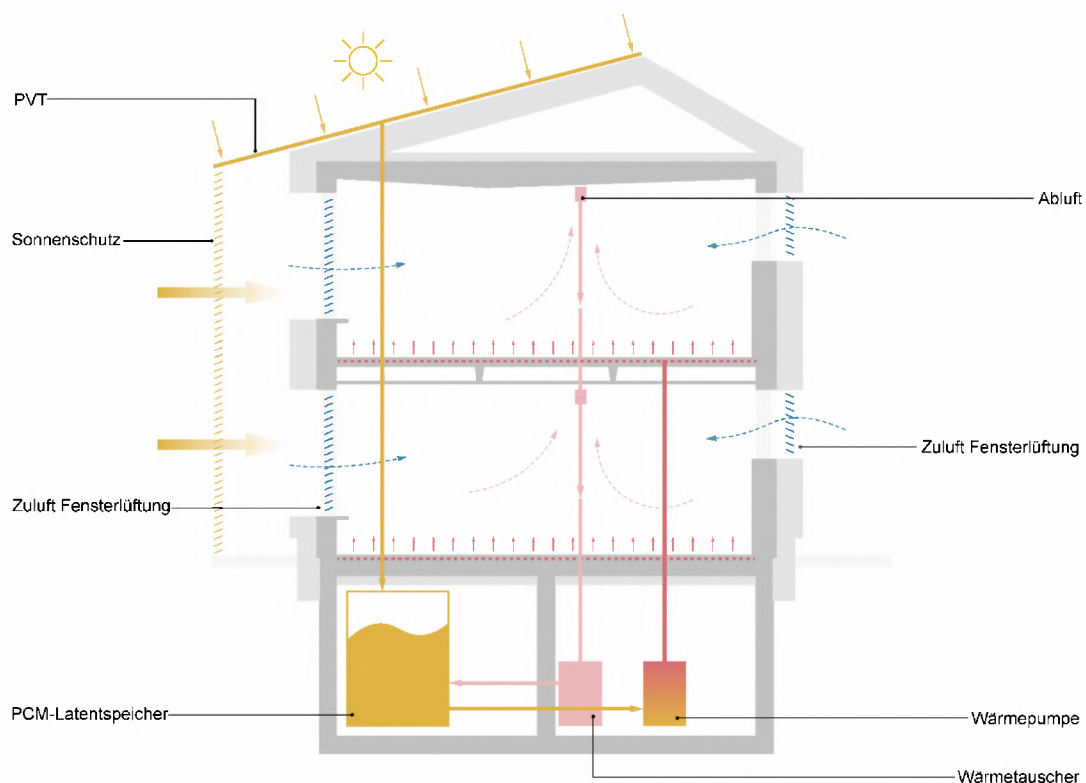


Abbildung 30: Grafik des Heiz- und Lüftungskonzepts, Quelle: FRANK mit Revit und Adobe Illustrator erstellt

Sommerlicher Wärmeschutz

Die Sonnenschutzelemente der Lamellenfassade halten den wesentlichen Wärmeeintrag der Sommersonne ab. Die im Lüftungskonzept beschriebenen Lamellenfenster dienen zur Nachtauskühlung. Da die Bestandskonstruktion aus Stahlbeton nach der Sanierung innerhalb der thermischen Hülle liegt, hilft diese Speichermasse, die Spitzen an heißen Sommertagen durch nächtliches Lüften abzufedern.

Automatisierung

Eine automatisierte Steuerung der Gebäudetechnik sollte so gering wie möglich, aber sinnvoll eingesetzt werden. Zu empfehlen ist eine zentrale Steuerung zur Optimierung der Effizienz. Diese berücksichtigt Raumbelastung, Tageszeiten, Jahreszeiten und die Schulferien.

Fensterkontaktsensoren stellen sicher, dass keine Wärme versehentlich über geöffnete Fenster verloren geht und sind dadurch empfehlenswert. Wichtig ist, dass die Automation eine manuelle Regelung zulässt, ohne dass das System dadurch neu konfiguriert werden muss.

7 Serielle Sanierung

Die klassische Art, ein Objekt zu sanieren, liegt in der individuellen Überarbeitung der einzelnen Bauteile auf der Baustelle vor Ort. In dieser Ausarbeitung wird jedoch untersucht, wie sich die Planung, die Koordinierung, der Arbeitsablauf und vor allem die Kosten bei einer seriellen Sanierung auswirken.

Serielle Sanierung

Unter „serieller Sanierung“ wird die in vielen Teilen vorgefertigte Erstellung einzelner Bauteile außerhalb der Baustelle verstanden. So werden ganze Wand- oder Dachelemente in Produktionsstätten maßgenau vorgefertigt, um dann auf der Baustelle zusammengesetzt zu werden. Die Höhe des Vorfertigungsgrads ist projektabhängig. Je mehr Arbeitsschritte im Werk getätigt werden, desto geringer ist die Bauzeit vor Ort.

Chancen und Risiken „serielle Sanierung“

Die Herangehensweise in der seriellen Sanierung ist in der architektonischen Gestaltung in der Regel limitierter als die individuelle Herstellung von Bauteilen vor Ort, da die Auswahl von Materialien eingeschränkt ist. Aus diesen Gründen ist auch diese Arbeitsweise nicht für jedes Gebäude geeignet. Auch gibt es zur herkömmlichen Fertigung einen gravierenden Unterschied. Aktuell ist eine serielle Sanierung in vielen Gewerken teurer als eine herkömmliche Sanierung.

Eine entscheidende Rolle spielen hierbei kompensierenden Maßnahmen und deren wirtschaftliche Auswirkungen auf das Gesamtkonzept. Mit kompensierenden Maßnahmen sind diejenigen Maßnahmen gemeint, die zu einer Kostenreduktion im Vergleich zu einer konventionellen Ausführung führen. Eine solche kompensierende Maßnahme ist z. B. die Reduzierung der Gerüststandzeit bzw. die Reduzierung der Baustellengemeinkosten durch die Verringerung der Bauzeit.

Risiken:

- › Teilweise höhere Baukosten in den 300er u. 400er Kostengruppen gemäß DIN 276 Kosten im Hochbau
- › Eingeschränkt architektonische Gestaltungsmöglichkeit gegenüber der konventionellen Bauausführung

Chancen:

- › Deutlich schnellere Umsetzung der Maßnahme auf der Baustelle
- › Digitalisierung des Bestandes
- › Entgegenwirken des Fachkräftemangels durch höhere Produktivität
- › Höhere Genauigkeit und Qualitätsniveau der ausgeführten Leistungen
- › Kostensicherheit durch sehr genaue Vorplanung und Kollisionsprüfung der Planung

Vorplanung

Dieser Arbeitsweise des seriellen Sanierens geht ein Umdenken aller Beteiligten voraus. Die Vorplanung ist deutlich aufwendiger als bei konventioneller Sanierung. Die Bestandsaufnahme nimmt eine fundamentale Rolle ein, da die Wandelemente exakt auf die bestehende Gebäudegeometrie abgestimmt sein müssen. So muss ein digitales Aufmaß mittels eines Punkt-Wolke-Laser-Scans durchgeführt werden. Die Genauigkeit dieser Aufnahme liegt bei 1-2 mm. Dadurch erhält man den digitalen Zwilling des Objekts, um somit die Produktionsplanung der vorzufertigenden Elemente auf Millimeterbasis vornehmen zu können. Somit bietet diese Vorplanung bereits einen wichtigen Beitrag zur Digitalisierung des Bestandes und wird viele Instandhaltungsmaßnahmen in der Zukunft in der Vorplanung und Ausführung vergünstigen.

Bauablauf

Bei dem zu untersuchenden Objekt handelt es sich um ein Schulgebäude, das einer bestimmten Nutzercharakteristik unterliegt. Daher ist die Umsetzung angelehnt an die Ferienzeiten der Hansestadt Hamburg und wurde in vier Schritten geplant. Exemplarisch wurde hier das Jahr 2023 gewählt, da die Herbst- und Winterferien für das Jahr 2024 noch nicht bekannt gegeben worden sind. Daraus ergeben sich für die Umsetzung folgende Zeitfenster für Arbeiten innerhalb des Gebäudes:

Skiferien	04.03.2023 bis 18.03.2023 mit insgesamt	12 Arbeitstagen
Pfingstferien	13.05.2023 bis 20.05.2023 mit insgesamt	6 Arbeitstagen
Sommerferien	13.07.2023 bis 23.08.2023 mit insgesamt	36 Arbeitstagen
Herbstferien	14.10.2023 bis 28.10.2023 mit insgesamt	13 Arbeitstagen
Gesamtanzahl		67 Arbeitstage

Eine Umsetzung in diesen Zeitfenstern wäre mittels einer konventionellen Sanierung nicht möglich. Die Dauer einer konventionellen Sanierung läge bei ca. 5-6 Monaten am Stück. Hier kann die serielle Vorfertigung mit der zeitlichen Umsetzungsgeschwindigkeit eine der größten Stärken ausspielen. Durch einen solch gestrafften Zeitplan können Kosten für Ausweichcontainer und die allgemeinen Baustellengemeinkosten deutlich gesenkt werden.

8 Architektonisches Konzept

Sanierungskonzept der Gebäudehülle

Die Ertüchtigung der Gebäudehülle erfolgt gemäß der in Kapitel 5 aufgeführten Varianten EH 70 EE, EH 55 EE, EH 40 EE oder des Net Zero Standards. Das architektonische Konzept sieht vor, die Fläche für PVT zu maximieren, um einen höheren erneuerbaren Anteil an der Energieversorgung des Gebäudes zu gewährleisten. Dabei wird auf eine optimale Ausrichtung zur Sonne geachtet. Da das Konzept exemplarisch für ein Gebäude erstellt wird, ist es elementar, dass die Lösung auch auf andere Gebäude des Typs K2 mit unterschiedlicher Himmelsausrichtung übertragen werden kann. Weiterhin sieht das architektonische Konzept vor, die Vor- und Rücksprünge zu reduzieren, um Wärmebrücken und erhöhte Instandhaltungskosten zu vermeiden. Lediglich der Eingangsbereich wird – ähnlich wie im Bestand – leicht eingerückt, um eine klare Architektursprache zu erhalten.

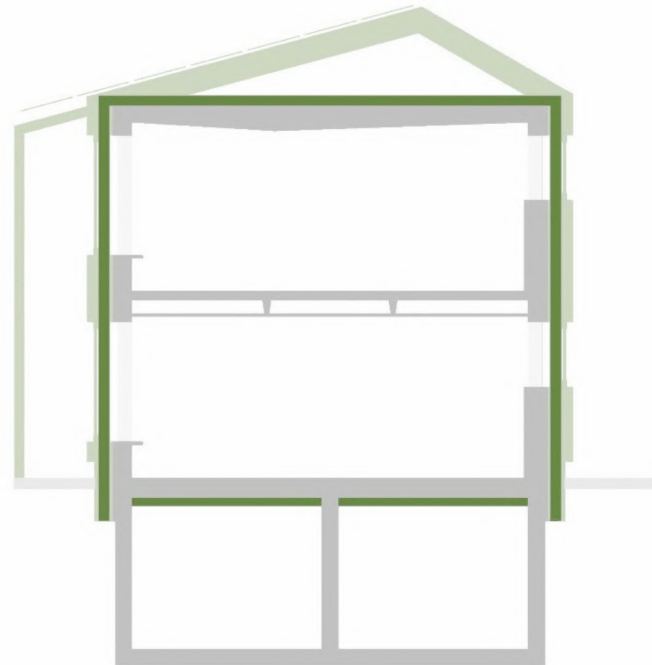


Abbildung 31: Verlauf der Dämmebene,
Quelle: FRANK mit Autodesk Revit erstellt

Sanierungskonzept aus Sicht des Tragwerks

Die Analyse der Bestandskonstruktion hat ergeben, dass die Dachbinder kaum zusätzliche Lasten aufnehmen können. Lediglich eine flächige Dämmung mit einem Mehrgewicht von ca. 5-6 kg/m² könnte in Betracht gezogen werden. Die Aufbringung eines Gründaches sowie einer PVT-Anlage ist bei der Bestandskonstruktion infolge der Gewichtsaufnahme nicht möglich.

Grundsätzlich wäre ein zusätzlicher Lastabtrag von Dach und Wandaufbauten in die Tragwerkstützen der Fassade denkbar. Dies hätte allerdings zur Folge, dass vor der Ausführung bei jedem Objekt die Bestandskonstruktion auf Korrosionsschäden hin zu überprüfen und zu bewerten wäre. Solch eine aufwändige Bestandsuntersuchung benötigt das serielle Sanieren nicht. Hier dienen die tragenden Stützen des Bestandes im Wesentlichen als Lagesicherung. Die Lastabtragung erfolgt über die seriell erstellten Elemente.

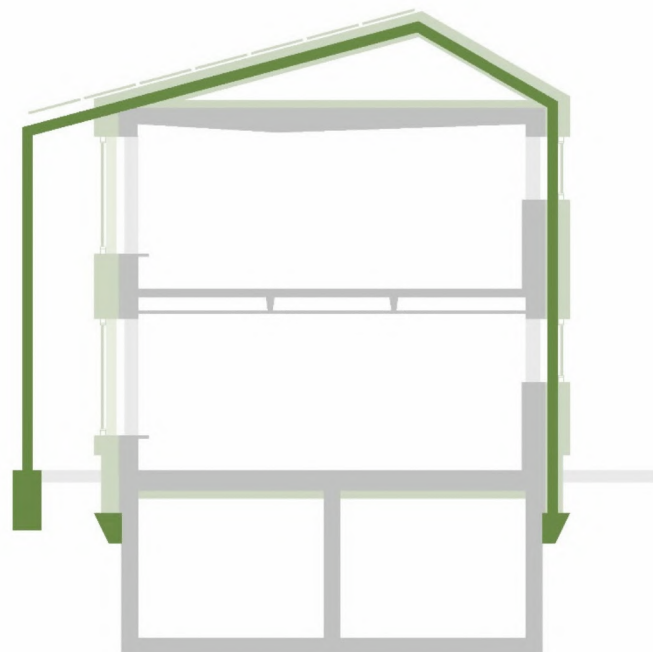


Abbildung 32: Verlauf des Lastabtrags,
Quelle: FRANK mit Autodesk Revit erstellt

Konstruktionsprinzip Tafelbauweise

Für die serielle Sanierung (Kap. 7) des Schulmoduls K2 eignet sich die Tafelbauweise aus mehreren Gründen. Die Bestandskubatur ist sehr einfach und soll im Zuge der Sanierung noch weiter vereinfacht werden, um Wärmebrücken zu vermeiden und das A/V Verhältnis zu verbessern. Dadurch gibt es wenig Zwangspunkte, wodurch die Vorfertigung vereinfacht wird. Systembedingt sind die Holztafeln selbsttragend. Dadurch wird ermöglicht, die neue Gebäudehülle statisch vom Bestand unabhängig nachzuweisen.

Die Holzständer oder Rippen werden auf Tafeln aus Holzwerkstoffplatten aufgebracht, beidseitig beplankt und somit ausgesteift. Die Holzständer werden so dimensioniert, dass neben der Eigenlast auch die neue Dachkonstruktion aufgenommen werden kann.

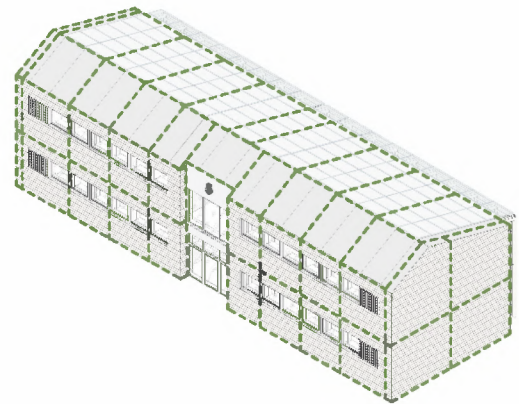


Abbildung 33: Grafik Elementierung, Quelle: FRANK mit Autodesk Revit

Ein weiterer Aspekt des Konstruktionsprinzips Tafelbauweise ist die Nachhaltigkeitsstrategie der Kreislaufwirtschaft. Im herkömmlichen Sanieren kommt meistens ein Wärmedämmverbundsystem zum Einsatz. Dabei werden die Ertüchtigungsmaßnahmen durch Kleben und/oder Vernadeln fest mit dem Bestandsbauteilen verbunden. Ein sortenreiner Rückbau ist in diesem Fall nicht möglich und die Bestandsfassade wird in diesem Prozess meist

unwiederbringlich zerstört. Beim Sanieren in Holztafelbauweise werden die Elemente als Ganzes vor die Bestandskonstruktion gestellt und mittels eines separaten Auflagers mit dem Bestandsfundament verbunden. Vereinzelt Lagesicherungen am Gebäude können strategisch gut platziert werden. Nahezu alle Fügungen der Konstruktion können trennbar ausgeführt werden. Somit wird die Kreislaufwirtschaft nicht nur aus gesellschaftlicher Sicht nachhaltig vorangetrieben, auch dem Eigentümer werden zukünftige Sanierungs- und Wartungsmaßnahmen vereinfacht.



Abbildung 34: Kreislaufwirtschaft, Quelle: FRANK mit Adobe Photoshop erstellt

Baustoffwahl und Aufbau der Bauteile

Fassade

Im Tafelbau kommt in erster Linie der Baustoff Holz zum Einsatz. Der Schichtaufbau kann durch verschiedene Materialien erfolgen. Um die Kreislauffähigkeit der Konstruktion zu maximieren, ist es sinnvoll, die Baustofffamilie Holz für alle Schichten zu verwenden und die Fügungen lösbar mittels Schrauben auszuführen. Wenn auf Schadstoffe grundsätzlich verzichtet wird, können die Bauteile sowohl im technischen Kreislauf zirkulieren (z. B. Weiterverwendung als Baustoffe) als auch dem biologischen Kreislauf zugeführt werden (Verrottung).

Bezüglich des Aufbaus gibt es eine Reihe von Möglichkeiten. In der weiteren Betrachtung wurde ein Aufbau von Innen nach Außen mit einer Mineralfaserdämmwolle als Verbindungselement zum Bestandsgebäude gewählt. Die Mittellage bildet die Tragkonstruktion, die aus Holzständern und Mineralfaserdämmung besteht. Außenseitig wird eine harte Holzfaserplatte aufgebracht, die zum einen die Wärmebrücken der Holzständer ausgleicht und zum anderen die Windbremse aufnimmt. Eine Kreuzlattung aus Fichtenholz bildet die Hinterlüftung der Fassade und stellt die Unterkonstruktion der Außenhaut dar, welche aus heimischer Lärche geplant ist. Lärche kann unbehandelt als Fassadenmaterial eingesetzt werden, da es durch seinen hohen Harzanteil sehr robust ist.

Um die Wahl der Dämmstoffe bewerten zu können, sind nachstehend die empfohlenen Optionen ausführlich erläutert.

Mineralischer Faserdämmstoff

Mineralfaserdämmstoffe verfügen über sehr gute Dämmeigenschaften und gehören zu den am häufigsten verwendeten Materialien für den Wärme-, Brand- und Schallschutz. Sie sind leicht zu verarbeiten, wasserabweisend, nicht brennbar und alterungsbeständig. Mineralfaserdämmstoffe sind sowohl als festgepresste Platten als auch weich und formbar erhältlich. Ihre Wärmeleitfähigkeit liegt zwischen 0,032 und 0,040 W/(mK). Zu den Mineralwolle- oder Mineralfaser-Dämmstoffen zählen Glas- und Steinwolle. Glaswolle besteht aus Altglas, Sand, Kalk und Soda. Steinwolle wird aus den Gesteinsarten Basalt, Diabas oder Dolomit hergestellt. Die heutigen Mineralwollämmstoffe sind aus umwelt- und gesundheitsrelevanter Sicht positiv zu bewerten. Sie sind frei von Krebsverdacht und ökologisch vorteilhaft: Steinwolle lässt sich bei sortenreiner Verarbeitung bis zu 100 % recyceln. Einige Dämmstoffhersteller bieten inzwischen einen Rücknahmeservice an, um Mineralwollreste von Baustellen abzuholen und für die Wiederverarbeitung ins Werk zurückzuführen.⁶ In diesem Projekt ist der Baustoff für die Fassade in Kombination mit dem Holztafelbau vorgesehen.

Holzfaserdämmplatte

Bei der Dämmung der Außenwände werden Holzfaserdämmplatten (auch bezeichnet als Holzweichfaserplatten oder Weichholzfasernplatten) verwendet. Dabei handelt es sich um Dämmplatten, die aus Holzfasern und damit aus einem natürlichen, nachwachsenden Rohstoff gefertigt sind. Die Holzfasern werden im Nass- oder Trockenverfahren aus Sägeresten und Hackschnitzeln gewonnen. Beim Nassverfahren werden die Rohstoffe zermahlen und mit bis zu 98 % Wasser zu einem Brei verrührt. Der Zusatz von Bindemitteln ist in der Regel nicht erforderlich, da der durch Erhitzen flüssige Ligninanteil des Holzes die Partikel beim Abkühlen zusammenbindet. Beim Trockenverfahren werden die Fasern getrocknet und mit rund 4 % PUR-

⁶ Baunetz Wissen (o.J.): Dämmstoffe: Mineralwolle. Online: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/mineralwolle-152218> (Letzter Aufruf: 12.07.2021)

Harz vermischt. Zudem werden synthetische Textilfasern oder Fasern aus Maisstärke zugesetzt.⁷ Holzfaserdämmplatten erzielen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,037-0,055 W/m²K und weisen damit gute wärmedämmende Eigenschaften auf. Darüber hinaus weisen sie durch die hohe Rohdichte eine gute Schallschutzwirkung auf, besitzen eine hohe Wärmespeicherfähigkeit und wirken feuchteregulierend.^{8 9} In diesem Projekt würde die Holzfaserdämmung eine homogene Gesamtkonstruktion ermöglichen.

Fenster

Die Fenster sind als Alu-Holzrahmenverbundfenster geplant. Die Aluminiumschale im Außenbereich bietet einen optimalen Schutz vor der Witterung. Gleichzeitig zeichnet sich das Holz im Gebäudeinneren durch seine positiven Eigenschaften wie die Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit sowie eine lange Lebensdauer ohne größeren Instandhaltungsaufwand aus. Aluminiumrecycling ist heute bereits Standard. Im Verbund mit Aluminium muss Holz nicht behandelt werden und ist somit bedenkenlos weiterverwertbar. Dies ist gerade unter dem Aspekt der nachhaltigen Ressourcenschonung ein immer wichtiger werdender Aspekt in der Planung. Aus wirtschaftlichen Überlegungen können alternativ auch Fenster aus Recyclingkunststoff vorgesehen werden. Die Verglasung orientiert sich dabei an dem Standard des energetischen Leitfadens.

Dachkonstruktion

Bei den Varianten BEG 70 EE und BEG 55 EE wird das Flachdach erhalten und klassisch mit einer Gefälledämmung in Mineralwolle ausgeführt. Die Dachabdichtung erfolgt mittels einer bituminösen oder kunststoffbasierten Dachbahn. Die Aufbringung eines extensiven Gründaches ist nicht möglich, da hier die Lasten überschritten werden.

Bei den Varianten BEG 40 EE und Net Zero wird ein versetztes Satteldach in Holz Ausführung umgesetzt. Dies resultiert daraus, dass die Lasten für die Dachabdichtung bzw. die Punktlasten der PVT-Anlage vom Bestandsdach nicht mehr aufgenommen werden können. Die Abdichtung erfolgt dann auf der langen Dachschenkelseite über ein pulverbeschichtetes Trapezblech, auf das die PVT-Anlage geschraubt wird. Die kurzseitige Schenkelseite erhält ebenfalls ein Trapezblech, welches aber eine extensive Begrünung erhält.

Architektonische Gestaltung

Die vorher beschriebenen Aspekte werden in eine konzeptionelle Architektursprache überführt. Die Sanierungsmaßnahme in Holzbauweise soll in der Fassade ablesbar sein, da Holz ein moderner und nachhaltiger Baustoff ist. Lärche kann unbehandelt als Fassadenmaterial eingesetzt werden, da es durch seinen hohen Harzanteil sehr robust ist. Holz als Naturbaustoff ist alterungsfähig und darf durchaus im Laufe der Zeit sein Erscheinungsbild ändern. Am Anordnungsmuster der horizontal und vertikal angeordneten Schalung ist die ursprüngliche Gebäudeanmutung abzulesen. Die Brüstungen werden horizontal dort verkleidet, wo die Fliesen angeordnet waren. Die damaligen Mauerwerksscheiben werden durch eine vertikale Verschalung an den Gebäuderändern und dem Eingangsbereich symbolisiert. Die Fenstergrößen und Aufteilungen bleiben erhalten. Das Treppenhaus hebt sich durch einen hohen Glasanteil ab und wird mit Faserzementplatten verkleidet. Der Materialwechsel soll klar den Eingang markieren und kann durch die Wahl verschiedener Farben die Orientierung auf den Schulhof erleichtern. Diese Flächen verleihen den

⁷ Verband Holzfaser Dämmstoffe e.V. (2008): Holzfaserdämmstoffe. Online: https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R04_T05_F02_Holzfaserdaemmstoffe.pdf (Letzter Aufruf: 17.08.2022)

⁸ mb-netzwerk GmbH, Portal Ökologisch Bauen (o. J.): Dämmstoff Holz: Holzfaserdämmplatten. Online: <https://www.oekologisch-bauen.info/baustoffe/naturdaemmstoffe/holzfaserdaemmplatten/> (Letzter Aufruf: 16.08.2022)

⁹ Greenhouse Media GmbH (2021), Portal Energie Experten: Holzfaserdämmplatten. Online: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmplatten/holzfaserdaemmplatten> (Letzter Aufruf: 16.08.2022)

gleichartigen Schulgebäuden Identität und sind durch Beschriftungen und Farben Bestandteil der Wegeleitführung des Schulhofs.



Abbildung 35: Visualisierung Frontfassade Eingang, Quelle: FRANK mit Autodesk Revit und Enscape erstellt

Die Dachform ergibt sich aus der Nutzung für die PVT-Anlage und ist in diesem Fall auf die Süd-West-Seite ausgerichtet. Das bestehende Dach kann keine Mehrlasten aufnehmen, wodurch der Lastabtrag auf die Modulaußenwände erfolgt. Die asymmetrische Anordnung des Firsts ermöglicht es, die nutzbare Dachfläche zu erhalten und gleichzeitig durch die Dachneigung den Ertrag zu optimieren. Die Nord-Ost-Dachfläche kann extensiv begrünt werden, um Regenwasser zurückzuhalten und das Mikroklima am Standort zu verbessern. Die Dachform kann je nach Standort geeignet ausgerichtet werden. Es ist auch denkbar, die Dachneigung je Klassengebäude an der Ausrichtung zu optimieren. Im Falle einer Süd-Ausrichtung würde eine flachere Dachneigung höheren Ertrag leisten.

Pro Klassenraum wird ein Fensterelement halbiert und als Lamellenfenster ausgeführt. Das soll die Frischluftzufuhr ermöglichen und im Sommer die Nachauskühlung mit Einbruchschutz gewährleisten. Dieses Element kann aus beweglichen Glaslamellen ausgeführt werden. Der Vorteil dieser Lösung besteht darin, dass der Lüftungsquerschnitt individuell gesteuert werden kann und Belichtung an dieser Position möglich ist. Blindfenster mit vorgelagerten Wetterschutzlamellen sind preiswerter und können mit einem Insektenschutz bestückt werden.



Abbildung 36: Visualisierung Rückfassade, Quelle: FRANK mit Autodesk Revit und Enscape erstellt

Die Süd-West-Fassade ist charakterisiert durch eine Sonnenschutzkonstruktion. Die Sparren werden nach Außen geführt, bilden einen Dachüberstand und leiten die Lasten in vorgestellte Tragwerksstützen ab. Durch die Erweiterung wird die Dachfläche für weitere PVT-Elemente vergrößert. Fixierte Holzlamellen zwischen den Tragwerksstützen bilden den Sonnenschutz und erweitern das Gebäude mit einer leichten Architektursprache. Der Neigungswinkel der Lamellen ist durch Sonnenstudien so ermittelt worden, dass die steile Sommersonne abgehalten wird und die flache, diffuse Wintersonne die Klassenräume belichten kann, wodurch ein solarer Wärmeeintrag ins Gebäude gewährleistet wird.

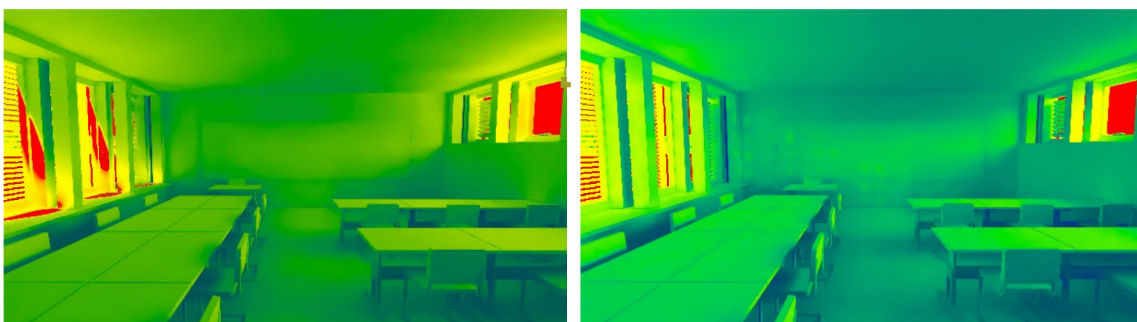


Abbildung 37: Sonnenstudien: Links: Klassenraum zur Sommersonnenwende 12 Uhr mittags; Rechts: Klassenraum zur Wintersonnenwende 12 Uhr mittags, Quelle: Durch FRANK mit Autodesk Revit und Enscape erstellt

Das architektonische Konzept ist auf alle Gebäudeausrichtungen anwendbar. Grundsätzlich werden die flache Dachneigung und die Lamellenfassade immer zur Sonnenseite ausgerichtet, um sowohl den PVT-Ertrag zu maximieren als auch die Verschattung der Klassenräume zu gewährleisten. Ist das Gebäude Ost-West ausgerichtet, wird die Ost-Fassade als Sonnenseite definiert, da der Unterricht am Morgen vor Sonneneinstrahlung geschützt werden soll. Zudem wird

der Eigenverbrauch des Stroms der PVT-Anlage zu dieser Zeit maximiert. Falls der Eingang auf der Sonnenseite liegt, kann dieser aus der Lamellenfassade ausgespart werden. Die überdachte Vorzone bietet die Möglichkeit, eine besondere Aufenthaltsqualität zu schaffen.

Ausblick

Zweiter Rettungsweg

Bei Schulgebäuden müssen Bauteile die Anforderungen der Gebäudeklasse 3 erfüllen. Zudem gilt der Tatbestand eines Sonderbaus. Demnach würde bei einem Neubau ein zweiter baulicher Rettungsweg notwendig werden. Bei einer umfangreichen Sanierungsmaßnahme wie dieser und aus Verantwortung zum Schutz der Nutzer sollte ein weiterer Rettungsweg mitgedacht werden. Um diesen effizient zu gestalten, sollte ein Laubengang beide Klassenräume zusammenfassen und nur eine Treppe in Sicherheit führen. Der Bereich zwischen Fassade und Lamellenwand eignet sich gut, um einen Laubengang anzuordnen. Die Fenstertüren können bodentief ausgeführt werden, ohne das Tragwerk zu beeinflussen. Aus brandschutztechnischer Sicht ist der zweite Rettungsweg über den Laubengang grundsätzlich möglich, da es in dieser Zone nicht zu einer Verrauchung kommen sollte. Um eine sichere Entfluchtung zu gewährleisten, ist im Zuge der weiteren Planung die Beschaffenheit der Holzfassade, der Lamellen und der Fensteranordnung zu prüfen.

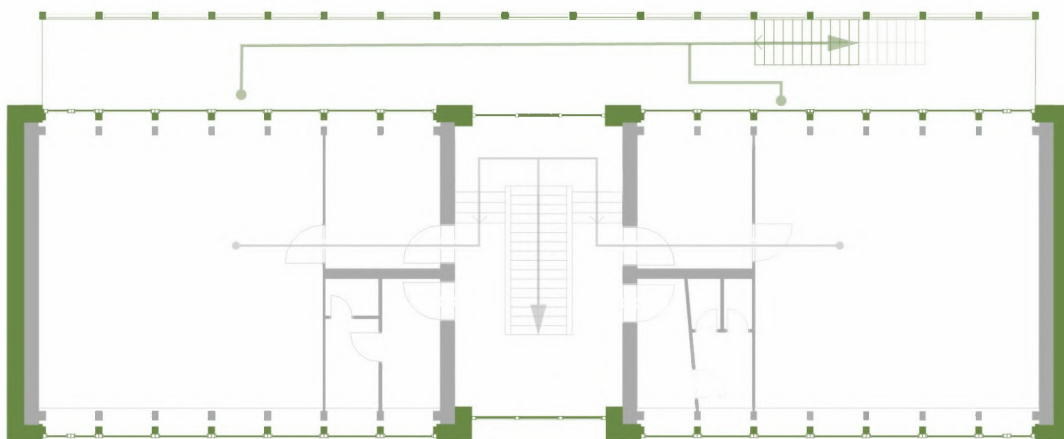


Abbildung 38: Grundriss 1. OG Verlauf Rettungswege, Quelle: FRANK mit Autodesk Revit erstellt

Nachverdichtung

Im urbanen Raum spielt die Nachverdichtung eine wesentliche Rolle. Auch an Schulstandorten ist die Fläche für weitere Gebäude begrenzt. Eine Aufstockung des hier untersuchten Schultyps würde für viele Standorte Wachstumspotential bieten. Systembedingt stellt die neue Gebäudehülle auch das Tragwerk dar. Demzufolge ermöglicht das hier vorgestellte Sanierungskonzept eine Aufstockung z. B. in Holzmodulbauweise, ohne zusätzliche Lasten in die Bestandskonstruktion einzuleiten. Lediglich die Holzständer der Wandelemente müssen für eine Aufstockung dimensioniert werden. In diesem Klassengebäude ist es möglich, mit der Geschossdecke des zweiten Obergeschosses die 7-Meter-Grenze nicht zu überschreiten, um somit weiterhin in Gebäudeklasse 3 eingestuft zu werden. Durch die Integration des Laubengangs ist es einfach, den zweiten Rettungsweg in diesem Konzept zu umzusetzen.

Ein Entwurf, zahlreiche Optionen

Das erarbeitete Sanierungskonzept ermöglicht es, mit einem Entwurf auf die standortspezifischen Gegebenheiten zu reagieren. Die Dachform und die Lammellenwand werden durch den Sonnenstand bestimmt. Der Eingang kann sowohl auf der Sonnenseite als auch auf der sonnenabgewandten Seite angeordnet werden. Die Grundkonzeption und die Details bleiben gleich, wodurch das serielle Sanieren begünstigt wird. Dennoch entsteht eine Vielfalt im Erscheinungsbild der Schule. Auch nutzerspezifische Anforderungen an einen weiteren Rettungsweg oder eine Aufstockung können in diesem Entwurf abgebildet werden.



Abbildung 39: Optionen: v. l. n. r.: Standardsanierung, zweiter Rettungsweg, Aufstockung mit zweitem Rettungsweg, Quelle: Durch FRANK mit Autodesk Revit und Enscape erstellt

9 Energieeinsparung

Allgemein

Die Umsetzung einer energetisch ganzheitlichen Sanierung führt ab dem Zeitpunkt der Durchführung zu einer kontinuierlichen Energieeinsparung gegenüber einer Instandsetzung bzw. schrittweisen Sanierung über Jahre.

Bei jeder der zuvor erarbeiteten Varianten werden sich Energieeinsparungen ergeben, die eine Reduzierung der Energiekosten bewirken. Wie stark die Einsparung ausfällt, liegt maßgeblich an dem Nutzerverhalten. Gleichzeitig ist die Energiekostenentwicklung nicht genau vorhersehbar. Es dürfte aber Konsens sein, dass gerade die Energiekosten fossiler Brennstoffe eine deutlich höhere Preissteigerung durch die CO₂-Bepreisung erfahren werden als regenerative Energieerzeuger.

Ermittlung der Energiekosteneinsparung

Aufgrund dieser Variablen ist eine genaue Aussage der Energiekosteneinsparung schwer möglich, weshalb wir bei dieser Ausarbeitung lediglich ein vereinfachtes Modell gewählt haben. Dies umfasst die rechnerischen Einsparungen reduziert um einen pauschalen Abzug von 15 % der errechneten Energieeinsparung infolge des Nutzerverhaltens (Rebound-Effekt). Diese Energieeinsparung wird ins Verhältnis mit den ermittelten Energiekosten gesetzt. So erhält man eine Kenngröße für die potenzielle Energiekosteneinsparung pro Jahr. Um die Energieeinsparung über die wirtschaftliche Lebensdauer der Wärmeerzeugungsanlage abschätzen zu können, wird die jährliche Einsparung über einen Zeitraum von 20 Jahren hochgerechnet.

Wärmekosteneinsparung im Zeitraum der wirtschaftlichen Lebensdauer

Die Anlage am Foorthkamp wird über eine Zentralanlage versorgt. Von der Schulbau Hamburg wurden uns die Verbrauchsdaten der letzten fünf Jahre übermittelt. Eine Zuordnung der Verbräuche auf die einzelnen Gebäude ist aus technischen Gründen nicht möglich. Aus diesem Grund haben wir die rechnerischen Bedarfsdaten der energetischen Bestandsaufnahme (Heizlastberechnung) herangezogen. Demnach benötigt das Bestandsgebäude ca. 104.000 kWh Wärme pro Jahr. Von diesem Wert werden 15 % abgezogen, sodass sich 88.400 kWh ergeben. Da der Preis für die kWh Gas mittel- bis langfristig steigen wird, rechnen wir mit einem Preis von 0,12 €/kWh für die Wärme. Eine Abfrage am 24.08.2022 bei dem Portal Verivox.de ergab einen durchschnittlichen Arbeitspreis für Gas von 0,32 €/kWh. Aktuell mag der Arbeitspreis für die Stadt Hamburg durch langfristige Verträge günstiger sein. Mittel- bis langfristig ist aber auch hier ein Anstieg zu erwarten.

Dieser zu erwartende Anstieg der Energiekosten wird bei dem erarbeiteten energetischen Heizungs- u. Lüftungskonzept durch den hohen Anteil von 65 % an erneuerbaren Energien deutlich abgebildert. Somit besitzt der Eigentümer eine hohe Planungssicherheit.

Da uns der aktuelle Wärmeeinkaufspreis nicht vorliegt, gehen wir auf Grundlage der aktuellen politischen Weltmarktlage von einem durchschnittlichen Gaspreis von 12 Cent je kWh aus.

Bezeichnung	Wärmemenge	Abzug Rebound Effekt	Aufschlag Rebound Effekt	Wärmebedarf simuliert	Arbeitszahl Wärmepumpe	Preis je kWh Gas/Strom	Preis p.a.
Bestand	104.000 kWh	15 %		88.400 kWh		0,12 €/kWh	10.608 €
Modernisierung							
BEG 55 EE	52.345 kWh		15 %	60.197 kWh	3,82		
				14.863 kWh		0,32 €/kWh	4.756 €
Differenz							5.852 €
						Differenz in %	- 55 %

Für die Variante BEG 55 EE würde sich somit eine rechnerische Einsparung der Energiekosten von ca. 5.800 € pro Jahr einstellen. Über einen Zeitraum von 20 Jahren ergäbe das eine Ersparnis von ca. 116.000 €.

Stromkosteneinsparung

Um eine verlässliche Stromersparnis berechnen zu können, sollte eine detaillierte Simulation durchgeführt werden, der eine detaillierte Bestandsaufnahme vorher geht. Von der Schulbau Hamburg wurden uns die Stromverbrauchsdaten zu Verfügung gestellt. Diese umfassen jedoch das gesamte Areal mit allen Gebäuden. Eine reine Ausweisung für das Gebäude ist nicht möglich, sodass der Verbrauch über die Bestandsaufnahme entsprechend simuliert werden kann.

Gleichzeitig sollte mit dem Energieversorger abgestimmt werden, wie der Stromertrag aus der PVT-Anlage optimal im Objekt eingebunden werden kann. Dies ist interessant vor dem Hintergrund, dass die aktuellen Konditionen für das Jahr 2022 von 0,2184 €/kWh Netto je kWh für die Zukunft schwer zu halten sein werden. Insofern ist mit einer Kostensteigerung zu rechnen. Der Stromertrag aus Photovoltaik kann eine preisdämpfende Wirkung entwickeln.

10 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Allgemein

Da es sich bei dem Objekt um ein öffentliches Gebäude der Freien und Hansestadt Hamburg handelt, wird unterstellt, dass eine Kreditaufnahme bei Fördermittelgebern für energetische Maßnahmen nicht vorgenommen wird. Aus diesem Grund erfolgt die wirtschaftliche Auswertung rein über die Zuschussvariante BEG 464 Kommunen und den Zuschuss Baubegleitung der KfW.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Es gibt eine Reihe von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, die in der Regel durch die Sicht des Eigentümers geprägt werden. Der Eigentümer, die Freie und Hansestadt Hamburg, verfolgt bei dem untersuchten Objekt keine klassische Renditebetrachtung, da es sich um ein Objekt der Daseinsvorsorge handelt. Bei solchen Immobilien liegt der Fokus häufig auf den Investitionskosten sowie den Unterhaltungskosten.

Bei der Betrachtung der Investitionskosten muss folgende Unterscheidung beachtet werden: Durch den hohen Anteil an Förderung ist der Begriff „Investitionskosten“ neu zu bewerten. Zwar sind die Gesamtinvestitionskosten zunächst aufzuwenden, doch erhält der Eigentümer den Zuschuss aus dem gewählten Förderprogramm drei Monate nach Fertigstellung der Maßnahme und Bestätigung durch den Energieberater. Somit sollte der Fördermittelzuschuss als eine Art Zwischenfinanzierung betrachtet werden.

Auf Basis dieser Bewertung sollte der Begriff „Investitionskosten“ neu verstanden werden. Im Kern lautet die Frage beim Entscheidungsprozess „Was muss für die Sanierungsmaßnahme bezahlt werden?“. Diese scheinbar kleine Unterscheidung erlangt durch den hohen Förderanteil eine **sehr große Bedeutung**. Aus diesem Grund werden die Maßnahmen in ihrer wirtschaftlichen Betrachtung nur auf den zu bezahlenden Betrag reduziert und verglichen. Bei den Varianten BEG 55 EE und 40 EE gilt seit dem 22.09.2022 ein zusätzlicher Bonus (vgl. S. 49 Worst Performing Buildings), was die wirtschaftliche Situation dieser beiden Varianten gegenüber der BEG 70 EE Variante nochmals verbessert.

Um eine qualitative Aussage in Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit einer „seriellen Sanierung“ vornehmen zu können, wird diese mit einer „konventionellen Sanierung“ verglichen.

Wirtschaftliches Ergebnis "konventionelle Sanierung" Typenbau K2 Gebäude

Pos.	Bezeichnung	BEG 70 EE WDVS	BEG 55 EE WDVS	BEG 70 EE Holz	BEG 55 EE Holz
1	Investitions-/ Sanierungskosten	1.077.082 €	1.093.574 €	1.154.764 €	1.171.256 €
2	<i>Investitions- Sanierungskosten je m² Nutzfläche</i>	<i>2.992 €/m²</i>	<i>3.038 €/m²</i>	<i>3.208 €/m²</i>	<i>3.253 €/m²</i>
3	Fördermittel	343.125 €	402.751 €	366.429 €	429.940 €
4	<i>BEG 464 anrechenbarer Betrag</i>	<i>1.077.082 €</i>	<i>1.093.574 €</i>	<i>1.154.764 €</i>	<i>1.171.256 €</i>
5	<i>maximale Förderhöhe 2.000 €/Nettogrundfläche</i>	<i>720.000 €</i>	<i>720.000 €</i>	<i>720.000 €</i>	<i>720.000 €</i>
6	<i>BEG 464 Kommune Zuschuss</i>	<i>323.125 €</i>	<i>382.751 €</i>	<i>346.429 €</i>	<i>409.940 €</i>
7	<i>KfW Baubegleitung</i>	<i>20.000 €</i>	<i>20.000 €</i>	<i>20.000 €</i>	<i>20.000 €</i>
8	zu zahlender Eigenanteil	733.958 €	690.823 €	808.335 €	761.317 €
9	<i>zu zahlender Eigenanteil je m² Mietfläche</i>	<i>2.039 €/m²</i>	<i>1.919 €/m²</i>	<i>2.245 €/m²</i>	<i>2.115 €/m²</i>

In der konventionellen Ausführung können lediglich die Varianten BEG 70 EE und BEG 55 EE wirtschaftlich dargestellt werden, da bei den anderen Varianten die Lasten für die Bestandsdecke zu hoch sind. Die Ableitung der Lasten müsste in einer ähnlichen Form wie in den Varianten des seriellen Sanierens abgebildet werden. In Summe würden die Kosten höher ausfallen als in der vergleichbaren Variante des seriellen Sanierens, weshalb auf diese Auswertung verzichtet wird. Bei der konventionellen Betrachtung wird zudem noch unterschieden zwischen einem Wärmedämmverbundsystem und einer Holzschalung, letztere würde sich optisch nicht von der seriellen Sanierung unterscheiden.

Die Kostenkalkulation wurde für ein Gebäude erstellt. Durch den Wiederholungsfaktor der gleichartigen Leistung würden sich jedoch die Planungsleistungen um gut 200 Euro je m² Mietfläche reduzieren.

Wirtschaftliches Ergebnis "serielle Sanierung" Typenbau K2 Gebäude

Pos.	Bezeichnung	BEG 70 EE	BEG 55 EE	BEG 40 EE	BEG 55 Net Zero
1	Investitions-/ Sanierungskosten	1.074.131 €	1.097.873 €	1.171.094 €	1.154.103 €
2	<i>Investitions- Sanierungskosten je m² Mietfläche</i>	<i>2.984 €/m²</i>	<i>3.050 €/m²</i>	<i>3.253 €/m²</i>	<i>3.206 €/m²</i>
3	Fördermittel	342.239 €	404.256 €	488.437 €	423.937 €
4	<i>BEG 464 anrechenbarer Betrag</i>	<i>1.074.131 €</i>	<i>1.097.873 €</i>	<i>1.171.094 €</i>	<i>1.154.103 €</i>
5	<i>maximale Förderhöhe 2.000 €/Nettogrundfläche</i>	<i>720.000 €</i>	<i>720.000 €</i>	<i>720.000 €</i>	<i>720.000 €</i>
6	<i>BEG 464 Kommune Zuschuss</i>	<i>322.239 €</i>	<i>384.256 €</i>	<i>468.437 €</i>	<i>403.936 €</i>
7	<i>KfW Baubegleitung</i>	<i>20.000 €</i>	<i>20.000 €</i>	<i>20.000 €</i>	<i>20.001 €</i>
8	zu zahlender Eigenanteil	731.891 €	693.618 €	682.656 €	730.166 €
9	<i>zu zahlender Eigenanteil je m² Mietfläche</i>	<i>2.033 €/m²</i>	<i>1.927 €/m²</i>	<i>1.896 €/m²</i>	<i>2.028 €/m²</i>

Beim Vergleich der Varianten „serielle Sanierung“ und „konventionelle Sanierung“ ist festzustellen, dass sich diese preislich nicht unterscheiden, sofern bei der konventionellen Variante ein Wärmedämmverbundsystem zur Ausführung kommt. Bei einer Holzfassade, die optisch der seriellen Ausführungsweise gleicht, wären die Kosten der konventionellen Sanierung höher. Zu beachten ist die BEG 55 Net Zero Variante. Diese Variante ist durch den geringeren Zuschuss teurer als die BEG 40 EE Variante. Da sich diese Varianten lediglich dadurch unterscheiden, dass in der einen eine PVT-Anlage durch einen Dritten installiert wird, sollte für eine Ausführung des Net Zero Standards in diesem Fall die BEG 40 EE Variante herangezogen werden. Durch den geringeren Wärmebedarf würde sich der bilanzielle Überschussstromertrag noch erhöhen.

Instandhaltungsrücklage

Durch eine serielle Sanierung mit dem hohen energetischen Niveau werden alle wesentlichen Bauteile der Gebäudehülle baulich angefasst bzw. erneuert. Die tragenden Bauteile werden somit besser gegenüber den wechselnden Witterungseinflüssen geschützt und haben dadurch einen geringeren Materialverschleiß. Damit einhergehend verlängert sich die Nutzungsdauer und gleichzeitig sinkt der Instandhaltungsbedarf für diese Bauteile. Ein weiterer positiver Aspekt der seriellen Sanierung entsteht durch den Produktionsprozess. Die Produktion erfolgt unter optimalen Bedingungen in geschlossenen Werkshallen und ist somit keiner Einschränkungen wegen des Wetters unterlegen, sodass eine höhere Qualität, speziell in den Anschlusspunkten von Wand zu Fenster oder auch anderen Bauteilen, erzeugt werden kann. Dies wird nachhaltig zu einer Reduzierung der Instandhaltung in der langfristigen Zukunft führen.

Nutzungskosten

Die Planung der energetischen Sanierung ist bewusst technisch so einfach wie möglich geplant, sodass mit keinen höheren Nutzungskosten durch Wartung oder sonstige Aufwendungen zu rechnen ist.

11 Förderungen

Nachfolgend werden Förderungen für die Sanierung von kommunalen Gebäuden dargestellt. Die KfW erklärt die Hintergründe der Förderprogramme mit folgenden Zeilen: „Ziel dieser Richtlinie ist es, Investitionen in Gesamtmaßnahmen anzureizen, mit denen die Energieeffizienz und der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte in Nichtwohngebäuden in Deutschland gesteigert und die CO₂-Emissionen des Gebäudesektors in Deutschland gesenkt werden. [...] Die Förderrichtlinie trägt dazu bei, die Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich bis 2030 auf 70 Mio. t CO₂-Äquivalente zu mindern und somit sowohl die nationalen als auch die europäischen Energie- und Klimaziele bis 2030 zu erreichen.“¹⁰

Bundesförderung für energieeffiziente Gebäude (BEG)

Die Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) ist zum Jahresbeginn 2021 gestartet und ist in eine Grundstruktur mit den drei Teilprogrammen Wohngebäude (WG), Nichtwohngebäude (NWG) und Einzelmaßnahmen (EM) aufgeteilt. Die Teilprogramme BEG WG und BEG NWG vereinen sämtliche Förderangebote für Gesamtmaßnahmen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden. Als Gesamtmaßnahme sind alle Vorhaben zu verstehen, die im Ergebnis zu einem energetischen Zustand des Gebäudes auf Effizienzhausniveau führen, sei es im Wege einer Sanierung oder als Neubau.¹⁰ Darüber hinaus gibt es sowohl für Wohngebäude als auch für Nichtwohngebäude einen Förderkredit sowie einen Förderzuschuss für Kommunen. Gefördert werden kommunale Gebietskörperschaften sowie Gemeinde- und Zweckverbände.¹¹ Da die wirtschaftliche Auswertung rein über die Zuschussvariante BEG 464 Kommunen und den Zuschuss Baubegleitung der KfW läuft, wird nur die Zuschussvariante BEG 464, nicht aber die Kreditvariante BEG 264 dargestellt. Grundlage für die Förderung sind die am 01.02.2022 in Kraft getretenen Richtlinien für die BEG NWG, die BEG WG und die am 28.07.2022 in Kraft getretene Änderungsbekanntmachung zu den BEG-Richtlinien vom 21.07.2022.¹²

Bei Sanierungen von Bestandsgebäuden auf Effizienzgebäude-Stufe sind folgende Kosten förderfähig:

- Wärmedämmung von Wänden, Geschossdecken und Dachflächen
- Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau von Fenstern und Außentüren
- Erneuerung der Heizungsanlage im Gebäude
- Einbau und Erneuerung einer Lüftungsanlage
- Einbau und die Installation von Geräten zur Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

¹⁰ Vgl. KfW (2021): Die neue Bundesförderung für effiziente Gebäude (BEG) ersetzt die bisherigen Förderungen. Online verfügbar unter: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude/> (letzter Aufruf: 18.08.2022)

¹¹ Vgl. KfW (2021): Kommunen – Zuschuss. Online verfügbar unter: [https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/F%C3%B6rderprodukte/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude-Kommunen-Zuschuss-\(464\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/%C3%96ffentliche-Einrichtungen/Kommunen/F%C3%B6rderprodukte/Bundesfoerderung-f%C3%BCr-effiziente-Geb%C3%A4ude-Kommunen-Zuschuss-(464)/) (letzter Aufruf: 01.07.2021)

¹² KfW (2022): Merkblatt BEG Kommunen – Zuschuss. Online verfügbar unter: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsfoerderung\)/PDF-Dokumente/6000004852_M_464.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsfoerderung)/PDF-Dokumente/6000004852_M_464.pdf) (Letzter Aufruf: 18.08.2022)

Errichtung eines Wärmespeichers im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit dem Gebäude¹³

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) hat die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sowie das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) mit der Durchführung des Förderprogramms beauftragt. In den Teilprogrammen BEG WG und BEG NWG liegen die Zuständigkeiten für die Durchführung der Kreditvariante seit dem Programmstart am 01.07.2021 bei der KfW. Die Zuständigkeit für die Durchführung der Zuschussvariante liegt vom Programmstart am 01.07.2021 bis 31.12.2022 zunächst ausschließlich bei der KfW, ab dem 01.01.2023 liegt die Zuständigkeit für die Durchführung der Zuschussvariante beim BAFA.

Kommunen - Zuschuss (Programm 464)

Mit dem Zuschuss 464 fördert die KfW sowohl Wohngebäude als auch Nichtwohngebäude. Gefördert werden die Sanierung von bestehenden Immobilien zum Effizienzhaus oder der Neubau und Kauf eines neuen Effizienzgebäudes.

Sanierung von bestehenden Immobilien zum Effizienzgebäude (NWG)

Gefördert werden die energetische Sanierung und der Ersterwerb von fertiggestellten Bestandsgebäuden, die nach Abschluss der Sanierungsmaßnahme den energetischen Standard eines Effizienzgebäudes erreichen. Zum Zeitpunkt der Antragstellung muss der Bauantrag bzw. die Bauanzeige des Bestandsgebäudes mindestens fünf Jahre zurückliegen.

Gefördert werden folgende Standards:

- › Effizienzgebäude Denkmal, Denkmal EE oder Denkmal NH
- › Effizienzgebäude 70, 70 EE oder 70 NH
- › Effizienzgebäude 55, 55 EE oder 55 NH
- › Effizienzgebäude 40, 40 EE oder 40 NH

Worst Performing Building

Bei einem „Worst Performing Building“ (WPB) handelt es sich um ein Gebäude, das aufgrund des energetischen Sanierungsstandes seiner Bauteilkomponenten zu den energetisch schlechtesten 25 % des deutschen Gebäudebestands zählt.¹² Der Bonus wurde zum 22.09.2022 eingeführt. Die Qualifizierung erfolgt über einen gültigen Energieausweis oder alternativ über das Baujahr und den Sanierungszustand der Außenwand. Wenn ein WPB auf die Effizienzhaus 40 oder 55 Stufe saniert wird, erhöht sich der jeweils anzusetzende Prozentwert um zusätzliche 5 % (WPB-Bonus). Der Bonus ist mit der EE- oder NH-Klasse kumulierbar.¹⁴ Die Richtlinienentwürfe des BMWK mit Stand 19.10.2022 enthalten die Änderung, dass der WPB-Bonus für die Sanierung der energetischen schlechtesten Gebäude zum 01.01.2023 von 5 auf 10 Prozentpunkte angehoben wird. Darüber hinaus soll der WPB-Bonus nicht nur bei der Sanierung zum Effizienzhaus 55 und 40, sondern auch schon bei der Sanierung zum Effizienzhaus 70 EE nutzbar sein.¹⁵

¹³ Vgl. KfW (2022): Merkblatt BEG Kommunen – Zuschuss. Online verfügbar unter: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000004852_M_464.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004852_M_464.pdf) (Letzter Aufruf: 26.08.2022)

¹⁴ Vgl. KfW (2022): Infoblatt zur Antragstellung, BEG Kommunen – Zuschuss. Online verfügbar unter: [https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-\(Inlandsf%C3%B6rderung\)/PDF-Dokumente/6000004853_Infoblatt_464_Antragstellung.pdf](https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/F%C3%B6rderprogramme-(Inlandsf%C3%B6rderung)/PDF-Dokumente/6000004853_Infoblatt_464_Antragstellung.pdf) (Letzter Aufruf: 15.11.2022)

¹⁵ ÖkoZentrum NRW (2022): BEG-Reform zum 1.1.2023. Online verfügbar unter: <https://oekozentrum.nrw/aktuelles/detail/news/beg-reform-zum-112023/#:~:text=F%C3%BCr%20Wohng%C3%A4ude%20wird%20ein%20neuer,in%20Anspruch%20genommen%20werden%20kann> (Letzter Aufruf: 15.11.2022)

EE- und NH-Klasse (WG und NWG)

Eine Effizienzhaus EE-Klasse wird dann erreicht, wenn mindestens 55 % des für die Wärme- und Kälteversorgung eines Gebäudes erforderlichen Energiebedarfs aus erneuerbaren Energien und/oder unvermeidbarer Abwärme entstehen.¹²

Fachplanung und Baubegleitung

Gefördert werden energetische Fachplanungs- und Baubegleitungsleistungen im Zusammenhang mit dem Neubau und der Sanierung von Effizienzgebäuden/Effizienzhäusern sowie der Sanierung mit Einzelmaßnahmen.

Nachhaltigkeitszertifizierung

Für ein Effizienzgebäude/Effizienzhaus mit NH-Klasse werden Nachhaltigkeitszertifizierungen und die damit in Zusammenhang stehenden Beratungs- und Planungsleistungen einer geförderten Maßnahme gefördert, sofern diese von einer akkreditierten Zertifizierungsstelle ausgestellt worden sind. Das Zertifikat bestätigt die Übereinstimmung der Maßnahme mit den Anforderungen des Qualitätssiegels „Nachhaltiges Gebäude“ (QNG).¹²

Sanierung von bestehenden Immobilien zum Effizienzgebäude – Zuschuss

Die förderfähigen Kosten für ein Effizienzgebäude orientieren sich an der Nettogrundfläche des Gebäudes. Gefördert werden 2.000 € pro Quadratmeter Nettogrundfläche, insgesamt maximal 10 Mio. € pro Vorhaben, bei dem eine neue Effizienzgebäude-Stufe erreicht wird. Je besser die Effizienzgebäude-Stufe der Immobilie nach der Sanierung, desto höher der Zuschuss. Die Höchstgrenze für den Zuschuss liegt bei 4 Mio. €. Die Baubegleitung wird bis zu einem Rechnungsbetrag von 10 € pro Quadratmeter Nettogrundfläche gefördert und bis maximal 40.000 € pro Vorhaben, bei dem eine neue Effizienzgebäude-Stufe erreicht wird. Davon werden 50 %, also bis zu 20.000 €, mit einem zusätzlichen Zuschuss gefördert.¹¹ Die Nachhaltigkeitszertifizierung wird mit einem zusätzlichen Zuschuss gefördert, wenn eine Effizienzgebäude-Stufe mit Nachhaltigkeits-Klasse erreicht wird. Es gelten die gleichen Höchstbeträge wie bei der Baubegleitung, der Zuschuss beträgt ebenfalls 50 %.¹¹

Förderübersicht der Varianten

Bezeichnung	BEG 70	BEG 55	BEG 40
BEG Kommunen – Zuschuss 464	ja	ja	ja
Förderhöchstbetrag	2.000 € pro m ² Nettogrundfläche, max. 10 Mio. € anrechenbare Fördersumme pro Vorhaben		
BEG Zuschuss	25 % (bis zu 2,5 Mio. €)	30 % (bis zu 3 Mio. €)	35 % (bis zu 3,5 Mio. €)
Zuschuss Baubegleitung	ja	ja	ja
Zuschuss Baubegleitung	50 % (max. 20.000 €)	50 % (max. 20.000 €)	50 % (max. 20.000 €)
Zuschuss Nachhaltigkeitszertifizierung	ja	ja	ja
Zuschuss Nachhaltigkeitszertifizierung	5 %	5 %	5 %
Zuschuss Erneuerbare Energien	ja	ja	ja
	5 %	5 %	5 %
Bonus WPB Bonus	Nein*	5 %*	5 %*

*Stand 22.09.2022, ggf. Erhöhung Förderbonus ab 01.01.2023, siehe S. 49 WPB

12 Kostenschätzung

Die Kostenschätzung basiert auf der DIN 276 Kosten im Hochbau. Dieses normierte Verfahren ermöglicht eine strukturierte Kostenschätzung der einzelnen Bauteile. Die Baukosten sind Bruttokosten einschl. 19 % Mehrwertsteuer.

Nachfolgend wird die Kostenschätzung für eine konventionelle und eine serielle Sanierung dargestellt. Zur Ermittlung der Kosten dienen die Abwicklungs- und Produktionsabläufe der jeweiligen Variante mit ihren Besonderheiten.

Kostenschätzung serielle Sanierung

Der Kostenschätzung liegt die Organisationsanweisung „Energetische Baustandards“ für Sanierungen der Gebäudemanagement Hamburg GmbH (GMH) sowie der SBH zugrunde. Die nachfolgende Aufstellung zeigt aus redaktionellen Gründen lediglich die Kosten bis zur zweiten Kostengruppenebene der DIN 276 auf. In der Anlage zu diesem Dokument ist die Kostenschätzung bis auf die dritte Kostengruppenebene aufgeführt.

Kostenschätzung nach DIN 276 2. Ebene - serielle Sanierung					
	Schultypenbau K2	BEG 70	BEG 55	BEG 40	Net-Zero Gebäude auf Basis BEG 55
KG	Kostengruppen	Brutto	Brutto	Brutto	Brutto
	Gesamtkosten Brutto	1.074.131 €	1.097.873 €	1.171.094 €	1.154.103 €
	Gesamtkosten Netto		623.467 €		
	Gesamtkosten je m² Nutzfläche Brutto	2.984 €/m²	3.050 €/m²	3.253 €/m²	3.206 €/m²
300	Bauwerk- Baukonstruktion	611.400 €	623.467 €	676.167 €	668.660 €
330	Außenwände				
331	Tragende Außenwände				
333	Außenstützen				
334	Außentüren u. -fenster				
335	Außenwandbekleidungen (außen)				
340	Innenwände				
344	Innentüren u. -fenster				
345	Innenwandbekleidungen				
346	Elementierte Innenwände				
350	Decken				
352	Deckenbeläge				
353	Deckenbekleidung				
359	Decken, sonstiges				
360	Dächer				
361	Dachkonstruktion				
362	Dachfenster, Dachöffnungen				
363	Dachbeläge				
390	Bauwerk- Baukonstruktion, sonstiges				
391	Baustelleneinrichtung				
392	Gerüste				
394	Abbruchmaßnahmen				
399	Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktion, sonstiges				

Erläuterungen:

KG 330 Außenwände

In der Position der Außenwände sind zwei wesentliche Kostenblocks enthalten. Zum einen ist die Wandkonstruktion in Tafelbauweise mit einer Holzverschalung aufgeführt, zum anderen die Fenster, die in Alu-Holzrahmenverbundfenstern geplant sind.

KG 340 Innenwände

Die Kostengruppe der Innenwände umfasst das tischlermäßige Anarbeiten der vorgehängten Tafelbaufassade mit dem Bestandsgebäude durch Fensterbänke sowie die Malerarbeiten in den innenliegenden Räumen.

KG 350 Decken

Die Klassenräume erhalten einen neuen Bodenbelag. Dieser ist notwendig, da unter KG 420 eine Fußbodenheizung im Bestand geplant wird. Weiterhin wird in dieser Kostengruppe die Kellerdeckendämmung sowie die oberste Geschossdecke betrachtet. Die oberste Geschossdecke wird in den Varianten BEG 40 EE und Net Zero Variante verbaut. Dies hängt mit dem Umstand zusammen, dass die Dachflächen nur noch eine zusätzliche Last von ca. 5-6 kg/m² zulassen. Die zuvor genannten Varianten überschreiten jedoch mit ihrem Aufbau dieses Gewicht, sodass hier eine andere Konstruktion geplant wird und somit eine günstigere Ausführungsvariante mit der obersten Geschossdecke zum Tragen kommt.

KG 360 Dächer

Infolge der Lastaufnahme der vorhandenen Dachdecke kommen hier zwei unterschiedliche Varianten zur Ausführung. In den Varianten BEG 70 EE und BEG 55 EE wird klassisch ein Flachdach mit einer Gefälledämmung in Mineralwolle ausgeführt. Bei den Varianten BEG 40 EE und Net Zero wird ein versetztes Satteldach in Holz Ausführung umgesetzt. Die Dacheindeckung erfolgt auf der langen Dachflächenseite mittels eines pulverbeschichteten Trapezblechs, auf dem die PVT-Anlage direkt aufgebracht werden kann. Die kurze Dachflächenseite wird mit einem extensiven Gründach aufgeführt.

KG 390 Bauwerk – Baukonstruktion, sonstiges

Diese Kostengruppe umfasst die Baustelleneinrichtung, die Gerüststellung für die Fassade und Dacharbeiten sowie Abbrucharbeiten wie z. B. den Sonnenschutz aus Betonlamellen.

Kostenschätzung nach DIN 276 2. Ebene - serielle Sanierung					
	Schultypenbau K2	BEG 70	BEG 55	BEG 40	Net-Zero Gebäude auf Basis BEG 55
KG	Kostengruppen	Brutto	Brutto	Brutto	Brutto
	Gesamtkosten Brutto	1.074.131 €	1.097.873 €	1.171.094 €	1.154.103 €
	Gesamtkosten Netto		623.467 €		
	Gesamtkosten je m² Nutzfläche Brutto	2.984 €/m²	3.050 €/m²	3.253 €/m²	3.206 €/m²
400	Bauwerk- Technische Anlagen				
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen				
412	Wasseranlagen				
420	Wärmeversorgungsanlagen				
421	Wärmeerzeugungsanlagen				
422	Wärmeverteilnetze				
423	Raumheizfläche				
430	Lufttechnische Anlagen				
431	Lüftungsanlagen				
439	Lufttechnische Anlagen, sonstiges				
440	Starkstromanlagen				
443	Niederspannungsschaltanlagen				
445	Beleuchtungsanlagen				
446	Blitzschutz- u. Erdungsanlagen				
490	Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen				
491	Baustelleneinrichtung				
494	Abbrucharbeiten				

KG 410 Abwasser-, Wasseranlagen

Im Zuge des ganzheitlichen energetischen Konzeptes ist es notwendig, das Fliesenbild in den WC Anlagen teilweise zu beschädigen, um Lüftungskanäle sowie Heizleitungen entsprechend verlegen zu können. Da der Zustand im Gebäudepass als durchschnittlich und dem Ursprungszustand entsprechend beschrieben wurde, entsteht durch die Erneuerung kein wesentlicher Mehraufwand. Zudem werden die Instandhaltungskosten reduziert.

KG 420 Wärmeversorgungsanlagen

Als Wärmeversorungskonzept wurde zunächst unterstellt, dass dieses Gebäude allein durch eine Wärmepumpe betrieben wird. Als Wärmequelle dienen zum einen ein Abluftwärmetauscher sowie zum anderen PVT-Anlagen mit einem Pufferspeicher.

Gemäß den energetischen Leitlinien der SBH wird das Areal über eine Zentrale versorgt. Die Erfüllung des avisierten Standards der Bundesregierung, ab 2024 den Anteil der Wärmeversorgung von 65 % für neue Heizungsanlagen zu erfüllen, kann ein Gebäude wirtschaftlich nicht abbilden. Aus diesem Grund können die kalkulierten Kosten auch als der Anteil der sanierten Zentralheizungsanlage angesehen werden. Sofern nicht das Schulgelände, sondern nur die Gebäude des Schulbautyps K2 vollumfänglich saniert werden, wäre eine Umrüstung auf eine Hybridanlage mit einem Anteil von 65 % erneuerbaren Energien darzustellen. Mittel- bis langfristig sollten die Wärmeversorgungsleitungen ausgetauscht werden, um die Effizienz zu erhöhen.

KG 430 Lufttechnische Anlagen

Als Wärmequelle der Wärmepumpe soll die bereits erwärmte Raumluft dienen. Diese wird mittels eines Abluftwärmetauschers über eine Soleleitung zur Wärmepumpe transportiert. Die Anlage selbst ist in den Kosten der Wärmepumpe integriert, da sie Teil des Heizsystems ist. In dieser Kostengruppe sind die Schächte bzw. Kanäle der Anlage kalkuliert.

440 Starkstromanlagen

Um den Einsatz der bestehenden PVT-Anlage zu gewährleisten, wurde die Anpassung der bestehenden Anlage kalkuliert. Die PVT-Anlage selbst wurde nicht geplant, da diese von einem Tochterunternehmen der Hamburger Energiewerke bereitgestellt wird. Ebenfalls kalkuliert wurde der Blitzschutz.

Kostenschätzung nach DIN 276 2. Ebene - serielle Sanierung					
	Schultypenbau K2	BEG 70	BEG 55	BEG 40	Net-Zero Gebäude auf Basis BEG 55
KG	Kostengruppen	Brutto	Brutto	Brutto	Brutto
	Gesamtkosten Brutto	1.074.131 €	1.097.873 €	1.171.094 €	1.154.103 €
	Gesamtkosten Netto		623.467 €		
	Gesamtkosten je m² Nutzfläche Brutto	2.984 €/m²	3.050 €/m²	3.253 €/m²	3.206 €/m²
500	Außenanlagen				
510	Geländeplatten				
512	Bodenarbeiten				
590	Sonstige Maßnahmen für Außenanlagen				
591	Baustelleneinrichtung				

500 Außenanlagen

In dieser KG wurde lediglich das Herrichten der Außenanlagen nach einer Sanierung kalkuliert. Dies umfasst kleinere Ausbesserungsarbeiten an den bestehenden Außenanlagen.

Kostenschätzung nach DIN 276 2. Ebene - serielle Sanierung					
	Schultypenbau K2	BEG 70	BEG 55	BEG 40	Net-Zero Gebäude auf Basis BEG 55
KG	Kostengruppen	Brutto	Brutto	Brutto	Brutto
	Gesamtkosten Brutto	1.074.131 €	1.097.873 €	1.171.094 €	1.154.103 €
	Gesamtkosten Netto		623.467 €		
	Gesamtkosten je m² Nutzfläche Brutto	2.984 €/m²	3.050 €/m²	3.253 €/m²	3.206 €/m²
700	Baunebenkosten				
730	Architekten- u. Ingenieurleistungen				
731	Gebäudeplanung				
735	Tragwerksplanung				
736	Planung Technische Ausrüstung				
740	Gutachten u. Beratung				
741	Thermische Bauphysik				
742	Schallschutz u. Raumakustik				
744	Vermessung				
746	Brandschutz				
747	Sicherheits- u. Gesundheitsschutz				
748	Umweltschutz, Altlasten				

700 Außenanlagen

Die Kostengruppe 700 umfasst alle Planungsleistungen, die für die Sanierung notwendig sind. In der Kostenschätzung wurde diese für ein Objekt kalkuliert. Da es allein auf diesem Schulgelände am Foorthkamp 36 sieben baugleiche Gebäude gibt, würden sich die Kosten für jedes weitere Gebäude in der Kostengruppe 700 deutlich reduzieren. Bei der genaueren Betrachtung würde sich der Preis je m² Mietfläche zwischen 196 - 219 €/m² Mietfläche vermindern.

Pos.	Bezeichnung	BEG 70 EE	BEG 55 EE	BEG 40 EE	BEG 55 Net Zero
1	KG 700 Einzelgebäude				
2	KG 700 7 Gebäude Foorthkamp 36				
3	KG 700 Ø Kosten je Gebäude (7 Gebäude)				
4	Ersparnis durch Wiederholungseffekt				
5	Ersparnis je m ² Mietfläche				

Kostenschätzung konventionelle Sanierung

Die Kostenschätzung entspricht bis auf die Materialwahl der Fassade denen der seriellen Sanierung. Der Unterschied liegt im Wesentlichen bei den Leistungsansätzen und dem Umstand, dass die Leistungen komplett auf der Baustelle erbracht werden. Nachfolgend werden die Abweichungen zur „seriellen Sanierung“ aufgeführt und erläutert.

Kostenschätzung nach DIN 276 - konventionelle Sanierung			
	Schultypenbau K2	BEG 70	BEG 55
KG	Kostengruppen	Brutto	Brutto
	Gesamtkosten Brutto	1.077.082 €	1.093.574 €
	Gesamtkosten je m² Nutzfläche Brutto	2.992 €/m²	3.038 €/m²
300	Bauwerk- Baukonstruktion		
330	Außenwände		
331	Tragende Außenwände		
333	Außenstützen		
334	Außentüren u. -fenster		
335	Außenwandbekleidungen (außen)		
340	Innenwände		
344	Innentüren u. -fenster		
345	Innenwandbekleidungen		
346	Elementierte Innenwände		
350	Decken		
352	Deckenbeläge		
353	Deckenbekleidung		
360	Dächer		
362	Dachfenster, Dachöffnungen		
363	Dachbeläge		
390	Bauwerk- Baukonstruktion, sonstiges		
391	Baustelleneinrichtung		
394	Abbruchmaßnahmen		
399	Sonstige Maßnahmen für Baukonstruktion, sonstiges		

KG 331

Der Fassadenaufbau wird vor Ort mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) mit Putzoptik erstellt.

KG 334

Die Fenster sind bauphysikalisch in der Dämmebene angeordnet. Dies bedingt, dass die Fenster mittels einer Konsole aus der bestehenden Lage verschoben werden müssen. Dafür können unterschiedliche Konsolensysteme zum Einsatz kommen, die hier berücksichtigt wurden. Zudem ist die Montage der Fenster auf der Baustelle infolge der Logistik und der aufwendigeren Rahmenbedingungen etwas teurer.

KG 399

Die konventionelle Sanierung benötigt mehr Zeit. Um einen reibungslosen Schulbetrieb sicherstellen zu können, müssen für die Zeit der Sanierung Ausweichmöglichkeiten geschaffen werden. Diese werden für die vier Klassen mittels Containerklassenräumen sichergestellt.

Kostenschätzung nach DIN 276 - konventionelle Sanierung			
	Schultypenbau K2	BEG 70	BEG 55
KG	Kostengruppen	Brutto	Brutto
	Gesamtkosten Brutto	1.077.082 €	1.093.574 €
	Gesamtkosten je m² Nutzfläche Brutto	2.992 €/m²	3.038 €/m²
400	Bauwerk- Technische Anlagen		
410	Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen		
412	Wassieranlagen		
420	Wärmeversorgungsanlagen		
421	Wärmeerzeugungsanlagen		
422	Wärmeverteilnetze		
423	Raumheizfläche		
429	Wärmeversorgungsanlagen, sonstiges		
430	Lufttechnische Anlagen		
431	Lüftungsanlagen		
439	Lufttechnische Anlagen, sonstiges		
440	Starkstromanlagen		
442	Eigenstromversorgungsanlagen		
443	Niederspannungsschaltanlagen		
446	Blitzschutz- u. Erdungsanlagen		
490	Sonstige Maßnahmen für technische Anlagen		
491	Baustelleneinrichtung		
494	Abbrucharbeiten		
500	Außenanlagen		
510	Geländeflächen		
512	Bodenarbeiten		
590	Sonstige Maßnahmen für Außenanlagen		
591	Baustelleneinrichtung		
700	Baunebenkosten		
730	Architekten- u. Ingenieurleistungen		
731	Gebäudeplanung		
735	Tragwerksplanung		
736	Planung Technische Ausrüstung		
740	Gutachten u. Beratung		
741	Thermische Bauphysik		
742	Schallschutz u. Raumakustik		
744	Vermessung		
746	Brandschutz		
747	Sicherheits- u. Gesundheitsschutz		
748	Umweltschutz, Altlasten		

In den aufgeführten Kostenschätzungen zur seriellen und konventionellen Sanierung ist die Option des Fluchtwegs bereits inkludiert. In der Standardsanierung ohne den zweiten Rettungsweg reduzieren sich die Kosten in den einzelnen Varianten um jeweils circa 30.000 €.

13 Zusammenfassung der Ergebnisse / Fazit

Die Sanierung eines Klassengebäudes K2 mittels einer seriellen Sanierung bietet die Chance, ein hohes energetisches Potenzial in kurzer Zeit umzusetzen und dabei den Schulbetrieb nicht nennenswert einzuschränken.

Die wirtschaftliche Auswertung hat ergeben, dass die Kosten unter Berücksichtigung von Fördermitteln auf dem Niveau der konventionellen Sanierung oder sogar darunter liegen. So ist die BEG 40 EE Variante unter Einbeziehung der Fördermittel die kostengünstigste Variante.

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Aspekt ist die Kreislauffähigkeit der seriellen Ausführungsvarianten. So sind beispielsweise die Fassade, die oberste Geschossdämmung und das Dach kreislauffähig. Die Kreislauffähigkeit wird bei knapper werdenden Ressourcen ein immer wichtiger Entscheidungsbestandteil. Auch die Politik legt hierauf vermehrt das Augenmerk. Um vor zukünftigen Preissteigerungen und Versorgungssicherheit gewappnet zu sein, sollte unbedingt das Potential der Dachflächen genutzt werden. So wird neben der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit auch ein Beitrag zu der Transformation der Energiewende geleistet.

Der Sanierungsentwurf ist flexibel auf unterschiedliche Anforderungen und Ausrichtungen der Klassengebäude anwendbar. Standortspezifische Anpassungen lassen sich mit nur wenig Planungsaufwand realisieren. Die bereits berücksichtigten Möglichkeiten zur Integration des zweiten Rettungswegs und einer Aufstockung bieten weitere Optionen zur Standortentwicklung.

Durch die hohe Förderung von hochwertigen Effizienzhäusern wird die Komplettsanierung am Ende sogar günstiger werden als Einzelmaßnahmen, die mit deutlich geringeren Konditionen gefördert werden. Die Betrachtung der Klimaschutzpolitischen Ziele der Bundesregierung und der Hansestadt Hamburg, insbesondere des Klimaschutzgesetzes mit den einhergehenden Abgaben wie CO₂-Bepreisung und CO₂-Vorgaben, zeigt, dass sich die Wirtschaftlichkeit und die Ökobilanz über die Nutzungszeit sogar noch weiter verbessern werden.