

Energetische Bewertung des Bestands:

Kompaktheit

Durch die Zusammenfassung der Schulen zu einem Schulkomplex, dem (weitestgehenden) Verzicht auf Innenhöfe zur Belichtung und den großen Anteil Innenliegender Flächen, stellt sich das Gebäude mit einer guten Kompaktheit dar. Das A/V-Verhältnis ist mit $<0,4$ als sehr gute Bauform zu werten.

Durch die hohe Kompaktheit sind jedoch viele Bereiche des Gebäudes nur bedingt für Arbeits- und Unterrichtsflächen nutzbar. Insbesondere im Erdgeschoss sind durch die sehr flächige Ausdehnung des Grundrisses erhebliche Schwächen im Bereich der Behaglichkeit und der Energieeffizienz vorhanden. Insbesondere der hohe Anteil der zwingend dauerhaft künstlich zu belichtenden Flächen, sowie die Notwendigkeit der mechanischen Belüftung der Kernbereiche des Gebäudes sind der Gebäudegeometrie geschuldet.

Positiv wirkt sich das gute Verhältnis zwischen Hüllfläche und Volumen ausschließlich auf den Wärmeenergieverbrauch und die Wartungs- und Instandhaltungskosten der Hüllflächenbauteile aus.

Bauteile

Bei den hüllflächenbildenden Bauteilen handelt es sich um, für die Bauzeit des Gebäudes, typische Elemente. Die Schulen der Jahrgänge um die 70er Jahre sind in weiten Teilen Deutschland in ähnlicher Bauweise vorzufinden. Die Bauteile sind für die nachfolgenden Untersuchungen wie folgt aufgeteilt:

- Außenwandflächen monolithisch (Beton) gegen Erdreich
- Außenwandflächen monolithisch mit Vorhangfassaden gegen Außenluft
- Fassadenbänder mit Paneelfüllungen
- Außentürelemente
- Fachdächer
- Sohl- und Bodenbauteile
- Auskragende Geschossbauteile (Decken gegen Außenluft)
- Oberlichter / Lichtkuppeln

Die vorgehängten Stahlbetonfertigbauteile der Fassaden sind nicht Teil der thermischen Gebäudehülle und werden nur bei den konstruktiven Betrachtungen mit einbezogen.

Insgesamt teilt sich das Bestandsgebäude in etwa in folgende Hauptbestandteile, die die wärmeübertragenden Hüllflächen bilden (Siehe nachfolgendes Diagramm).

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Dachkonstruktionen und die Konstruktionen des Fußbodens gegen Erdreich bereits über 72% der Gesamthüllflächen ausmachen.

Weitere wesentliche Bauteile sind die Außenwände gegen Außenluft und die Fenster- und Fassadensysteme, die zusammen 21% der wärmeübertragenden Hülle bilden.

Die Außentüranlagen, Lichtkuppeln und Oberlichter spielen eine untergeordnete Rolle.

Wände im Erdreich bilden 6% der Hüllflächen ab.

Verbundglasfenster bilden den häufigsten vertikalen Anschluss der Klassenräume, Verwaltungs- und Nebenräume. Die Verglasungen, die zum großen Teil noch aus dem Errichtungsjahr vorgefunden wurden, sind mit einem U_g -Wert von ca. $2,8\text{W}/\text{m}^2$ angenommen. Die Paneelfüllungen und Aluminiumkonstruktionen der Fassaden weichen erfahrungsgemäß nicht stark von diesen Wärmedurchgangskoeffizienten ab, sodass mit einem mittleren $U_{\text{ges.}}$ -Wert von $2,5\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ausgegangen wird.

Außentürelemente

Die Türelemente sind in ähnlicher Bauweise zu den Fenstern und Fassaden errichtet. Die Paneelfüllungen sind nur als Oberblenden vorhanden. Brüstungsfüllungen in den Türflügeln sind nicht vorhanden. Auch hier wird für die Berechnungen ein Wärmedurchgangskoeffizient im Mittel von $U_{\text{ges.}}$ -Wert von $2,5$ bis $2,8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ angesetzt.

Fachdächer

Die Flachdachkonstruktionen bilden das größte Bauteil gegen Außenluft (ca. 11410m^2 / 36% der wärmeübertragenden Hüllfläche).

Die Warmdachkonstruktion ist im Mittel angenommen worden mit ca. 12cm Wärmedämmschicht und einer bituminösen Abdichtung. Die Gefälleausbildung ist augenscheinlich unter der Dämmschicht als Betonkeil erstellt worden. Dieser liegt auf der tragenden Betonkonstruktion der Pi-Platten, die in der Fläche ca. 10cm Stärke besitzen. Bei intakter Konstruktion (ohne Feuchtigkeitseinlagerungen oder größere Schadstellen) kann dieser Aufbau einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $U_{\text{ges.}} \sim 0,4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ erreichen.



Erfahrungswerte zeigen jedoch, dass in der Regel die Wärmeleitfähigkeit des Daches über die Jahre zugenommen hat und nur noch Werte von ca. $0,5$ bis $0,6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ erreicht werden.

Für die Referenzmodellbildung wird dennoch als Leitwert von $0,4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ angesetzt, um die Vergleichbarkeit aufrecht zu erhalten.

Sohl- und Bodenbauteile

Bei den Fußbodenkonstruktionen gegen Erdreich handelt es sich um den zweitgrößten Bereich der wärmeübertragenden Hüllfläche. Die Stahlbetonbodenplatte ist als aufgeständerte Konstruktion im EG vorhanden. Die Konstruktion ist identisch mit den Geschossdecken und bildet einen Kriechkeller mit Luftraum. Dieser hat Außenluftcharakter

Einzel- und Streifenfundamente zur Lastabtragung im Außenbereich besitzen keine Perimeterdämmungen oder sonstige thermische Trennungen. Der Fußbodenaufbau auf der Sohle ist nur ca. 7,5cm stark. Dabei entfallen auf den Belag und den Estrich ca. 5cm. Üblicher Weise befindet sich darunter eine 20mm starke Mineralfasertrennlage. Diese wird in die Berechnung mit aufgenommen.

Das Bauteil erreicht einen rechnerischen $U_{\text{ges.}}$ -Wert von ca. $1,1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$.

Die Kellergeschosse sind direkt im Erdreich (ohne Luftschicht / Kriechkeller) gegründet. Hier ist eine 200mm Stahlbetonsohle mit ähnlichem Bodenaufbau angesetzt worden.

Wärmebrücken

Die Regeldurchdringungen der Stahlbetontragkonstruktionen gegen Außenluft und die linienförmigen Wärmebrücken gegen Erdreich sind die wesentlichen Wärmesenken neben den Bauteilen.

Für die nachfolgenden Berechnungen wird ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von $0,1\text{W/m}^2\text{K}$ der wärmeübertragenden Hüllfläche genutzt.

Fazit zum Hüllflächenstandard:

Bereits sanierte Bereiche durch Nutzer benennen lassen

Die wärmeübertragenden Hüllflächen entsprechen in Ihrer Qualität den üblichen Bauwerken dieser Zeit. „Kassler Modell“-Schulen der Baujahre um 1970 zeigen Bundesweit diesen Standard. Die verwendeten Bauprodukte sind meist in noch sehr guter Konstitution, jedoch erfüllen sie nur ein Mindestmaß an Wärmeschutz. Dies führt zu Behaglichkeitsproblemen durch Zugluft, trockener Luft und mangelndem Schallschutz. Konstruktiv ist ein maßgebliches Problem der Kondensatausfall in Randbereichen und an Scheiben, der zu Bauteilschädigungen führen kann und zu Keimbelastungen in den Räumen.

Insgesamt ist der Wärmedurchgang durch die Gebäudehülle in etwa doppelt so hoch, wie ein vergleichbarer Neubau. (Details dazu siehe Abschnitt: „Vergleich der Energiebedarfe IST und heutiges SOLL“.

Vergleich der Gebäudehüllflächenqualität mit den gültigen Regelwerken

Vergleich Gebäudehüllfläche im Transmissionsverhalten:

In der gültigen Fassung der EneV2014 (Stand 2016, einschließlich der Verschärften Anforderungen sind 1.1.2016) sind unter anderen folgenden Mindestanforderungen an hüllflächenbildende Bauteile enthalten (siehe *Tabelle 2*). In der Gegenüberstellung der Bauteilflächen zwischen dem Bestand (IST-Konstruktion) und einer möglichen Sanierung oder Neubaukonstruktion mit gleicher Geometrie (Soll-Zustand) würden folgende U-Werte angesetzt werden (*Tabelle 1*):

Bauteil	IST-U-Werte [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Soll-U-Werte [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Diff.-U-Werte [$\text{W/m}^2\text{K}$]
Außenwände	0,75	0,24	-0,51 $\text{W/m}^2\text{K}$ (=32%)
Fenster/Fassaden	2,5	1,3	-1,2 $\text{W/m}^2\text{K}$ (=52%)
Türen	3,5	1,5	-1,0 $\text{W/m}^2\text{K}$ (=60%)
Dach	0,4	0,20	-0,2 $\text{W/m}^2\text{K}$ (=50%)
Fußboden/Sohle	1,1	0,35	- 0,75 $\text{W/m}^2\text{K}$ (32%)

Tabelle 1 - Vergleich U-Werte IST/Soll

Vergleich Gebäudehüllfläche im Bereich der Luftdichtheit

Eine zusätzliche Rolle spielt, seit der Einführung der WSchVo1995 zusammen mit der DIN 4108 (Teil 7 „Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen“, die Luftdichtigkeit von Gebäudehüllen erstmals eine Rolle. Zur Errichtung des Schulkomplexes gab es noch keine Anforderungen an die Luftdichtheit. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass die Gebäudehülle nur eingeschränkt luftdicht ist. Insbesondere im Bereich der Übergänge der Stahlbetonkonstruktionen von innen nach außen und den oberen Fensterbandanschlüssen, sowie den Bewegungsflügeln werden Leckagen vorhanden sein, die weit über den heutigen Anforderungen liegen.

Zeile	Bauteile	Anforderungsniveau	Höchstwerte der nach Nummer 2.3 bestimmten Mittelwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten	
			Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall $\geq 19\text{ °C}$	Zonen mit Raum-Solltemperaturen im Heizfall von $12\text{ bis } < 19\text{ °C}$
1a	Opake Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	nach EnEV 2009 *	$\bar{U} = 0,35\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\bar{U} = 0,50\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
1b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U} = 0,35\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
1c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U} = 0,28\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
2a	Transparente Außenbauteile, soweit nicht in Bauteilen der Zeilen 3 und 4 enthalten	nach EnEV 2009 *	$\bar{U} = 1,9\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\bar{U} = 2,8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
2b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U} = 1,9\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
2c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U} = 1,5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
3a	Vorhangfassade	nach EnEV 2009 *	$\bar{U} = 1,9\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\bar{U} = 3,0\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
3b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U} = 1,9\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
3c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U} = 1,5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
4a	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	nach EnEV 2009 *	$\bar{U} = 3,1\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\bar{U} = 3,1\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
4b		für Neubauvorhaben bis zum 31. Dezember 2015 **	$\bar{U} = 3,1\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
4c		für Neubauvorhaben ab dem 1. Januar 2016 **	$\bar{U} = 2,5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	

* Energieeinsparverordnung vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 29. April 2009 (BGBl. I S. 954) geändert worden ist.

** § 28 bleibt unberührt.

Tabelle 2 - Tabelle 2, Anlage 2 der EnEV "Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden "

Die Minimierung von Bauwerksundichtigkeiten dient hauptsächlich der zur:

- Vermeidung von Bauwerksschäden durch Kondensatausfall
- Verringerung von Infiltrationswärmeverlusten
- Vermeidung von Zuglufterscheinungen

Jedoch spielen die Undichtigkeiten der Fassaden auch positiv in den Gebäudebetrieb hinein. Die windinduzierte Infiltration von Außenluft sorgt für eine natürliche Belüftung der Innenräume, die in den Bereichen ohne mechanische Lüftungsanlage sonst nicht gegeben wäre. Die Abführung von Luftbelastungen (z.B. CO₂) bei geschlossenen Fenstern wird durch die Undichtigkeiten unterstützt. Jedoch ohne jegliche Wärmerückgewinnung.

Daher kann ein bloßes Verschließen aller Fugen und Spalte zu negativen Randerscheinungen führen. Eine Sanierung sollte immer auch die Raumlufthygiene mit bewerten.

Analyse der IST-Verbrauchskosten

Die Übermittelten Gasverbrauchswerte der Jahre 2015 und 2016 stellen sich wie folgt dar:

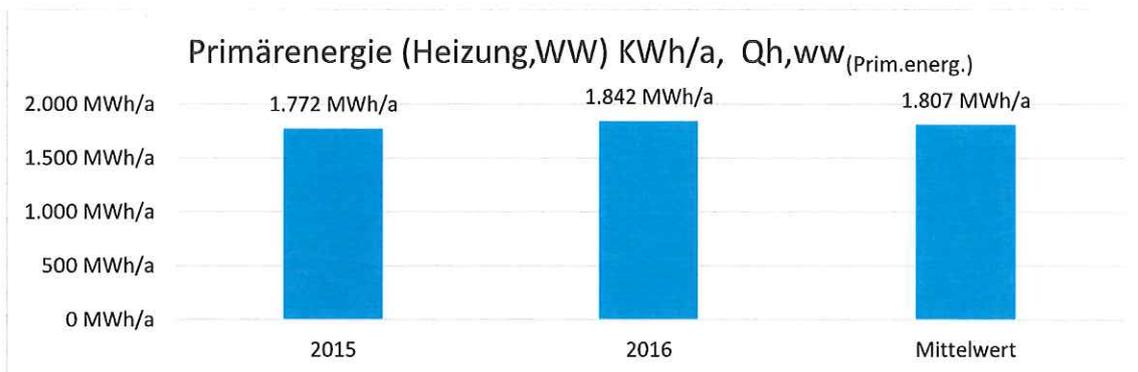


Abbildung 2 - Endenergieverbrauch Gas für Wärmeerzeugung (einschl. WW), Bestand

In den übermittelten Unterlagen wird die Energiebezugsfläche mit ca. 17257m² angegeben. Daraus ergibt sich ein spezifischer Endenergiebedarf der Gebäudewärme und dem Warmwasserbedarf von $Q_{h,w} = 104,7 \text{ KWh/m}^2\text{a}$. Mit einem Primärenergiefaktor von $\text{PEF}_{(\text{ErdgasH})} = 1,1$ bedeutet dies ein Primärenergiebedarf von ca. $115 \text{ KWh/m}^2\text{a}$.

Dies ist für ein Bestandsgebäude als Kassler-Modell-Schule mit dem vorliegenden Baujahr ein sehr guter Wert. Üblicher Weise sind die Wärmebedarfsmengen vergleichbarer Gebäude ca. doppelt so hoch!

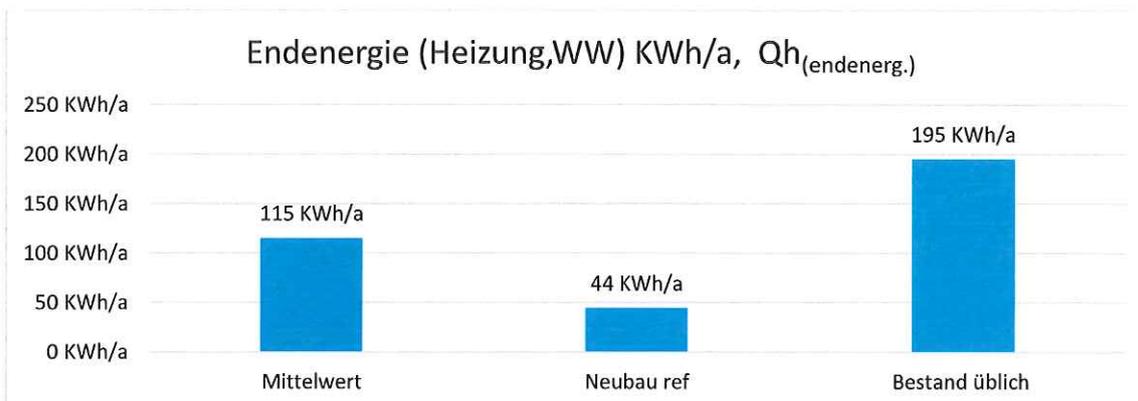


Abbildung 3 - Primärenergievergleich, Gas für Wärmeerzeugung (einschl. WW), Bestand, Neu und üblicher Bestand

Der sehr gute Wert wird augenscheinlich durch das gute A/V-Verhältnis, den sehr guten Pflegezustand des Gebäudes und durch bereits durchgeführte Sanierungen an einzelnen Bauteilen erreicht. Bisher ist dem Verfasser nicht bekannt, welche Bauteile nicht mehr im Urzustand der Inbetriebnahme vorhanden sind.

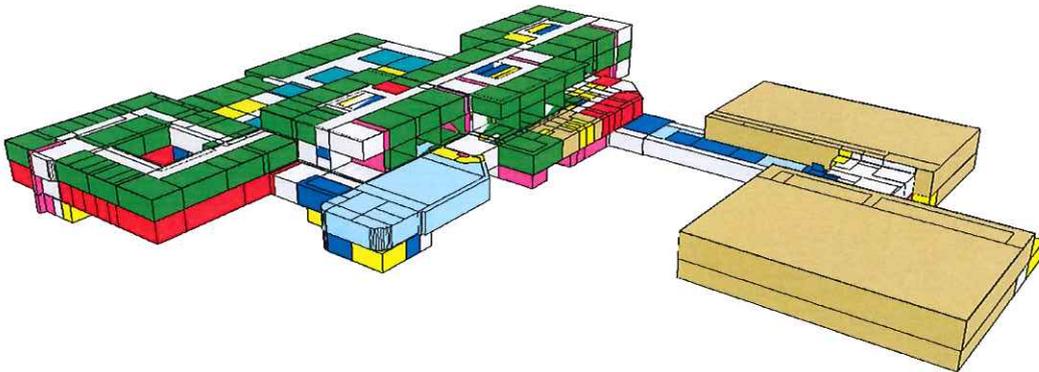
Energetische Anforderungen einer Sanierung nach EEWärmeG / EnEV

Die Energieeinsparverordnung und das EEWärmeG sehen bei der grundlegenden Renovierung eines Gebäudes folgende Mindestanforderungen vor:

- Die Einhaltung durch Unterschreitung der Wärmedurchgangskoeffizienten aller hüllflächenbildenden Bauteile (U-Werte der Gebäudehülle), die in Anlage 2 Tabelle 2 der EnEV definiert sind, sowie

- b) Die Einhaltung des 1,4fachen des mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten aller Bauteile des Referenzgebäudes , und
- c) Die Unterschreitung des 1,4fachen des Jahresprimärenergiebedarfs des Referenzgebäudes nach EnEV.
- d) Zusätzlich fordert das EEWärmeG bei einer Sanierung nach §2(2)3 im §5a die Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeversorgung des Gebäudes. Diese ist bisher nicht gegeben, das die Energieversorgung für die Wärmeerzeugung zu 100% auf Gas basiert. Für diesen Fall sieht das EEWärmeG in der Anlage unter VII (2b) auch die Forderungen als erfüllt an, wenn der 1,4fache Wert des Transmissionswärmetransferkoeffizienten des Referenzgebäudes um 20% unterschritten wird.

Für die Untersuchung der Umsetzung einer grundlegenden Renovierung und der daraus resultierenden Anforderungen, wurde ein 3d-Modell des Gebäudekomplexes eingegeben, welches als Referenzmodell nach EnEV ausgebildet ist.



- a) Die Erfüllung der Anforderungen aus a) ist in das Referenzmodell mit eingeflossen. Eine Bauteiltabelle ist der Anlage beigefügt. Dabei mussten einzelne Bauteile in höherer Wärmedämmqualität ausgeführt werden, um allen Anforderungen gerecht zu werden.
- b) Für die Erfüllung von b) wurden alle Bauteile, die in der Sanierung berührt werden, entsprechend dimensioniert. Bauteile (z.B. im Erdreich) die nicht saniert werden, werden durch Übererfüllung in anderen Sanierungsbereichen kompensiert
- c) Die Erfüllung von c) wird durch die Anforderungen aus d) gewährleistet
- d) Das Unterschreiten um 20% des 1,4fachen Jahresprimärenergiebedarfs des Referenzgebäudes, ist die wesentliche Anforderung, die für die Qualität der zu sanierenden Bauteile die maßgeblichen Anforderungen definiert, sofern die Wärmeversorgung weiterhin auf dem Energieträger Gas mit Gasbrennwertsystemen basieren soll. Sollte der Wärmeerzeuger getauscht werden (zu einem System, welches nach EEWärmeG als Wärmeerzeugung aus überwiegend regenerativen Energien gilt), so fallen die Anforderungen an die Hüllflächenqualitäten geringer aus.

Zwischenergebnis:

Das 16-Zonemodell benötigt bei gleicher Geometrie für die Wärmeversorgung einen **Primärenergiebedarf von ca. 700GWh/a.**

Bei der Verwendung eines Gas-Wärmeerzeugers muss das 1,4fache dieses Wertes um 20% unterschritten werden¹. Dies ergibt einen Primärenergiebedarfs-Anforderungswert von $Q_{h(Pri,Ref)} \sim 784 \text{ GWh/a}$ für die Einhaltung der Ersatzmaßnahmen des EEWärmeG.

Diesen Wert durch die Bauteilsanierung aller Hüllflächenbildenden Bauteile zu erreichen, ohne die Wärmeerzeugung auf eine regenerative Energie umzustellen, bedeutet abschätzungsweise das Umsetzen folgender Maßnahmen:

Zeile	Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient
1	Außenwände gegen Außenluft ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$
2	Außenwände gegen Erdreich ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
3	Fußböden gegen Erdreich ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
4	Dachflächen gegen Außenluft ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$
5	Fenster und Fassaden ertüchtigen auf	$U_W \leq 1,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
6	Außentüranlagen ertüchtigen auf	$U_W \leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
7	Oberlichtkuppeln ertüchtigen auf	$U_W \leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$
8	Anpassen der haustechnischen Anlagen (Lüftung / Beleuchtung / Wärmeverteilung und Übergabe) auf das Niveau des Referenzgebäudes	

Tabelle 3 - Wärmedurchgangskoeffizienten zur Sanierung aller Bauteile

Die Fußbodenflächen des Schulgebäudes können ggf. von unten ertüchtigt werden, da ein Kriechkeller unter dem Gebäude vorhanden ist. Dennoch stellt das Erreichen der Wärmedurchgangskoeffizienten im Bereich der Wände gegen das Erdreich die größte Herausforderung dar, da dafür die Kellerwände der Sporthallen, der Turnschuh- und Stiefelgänge und der Technikflächen freigegeben werden müssten.

Wenn die Kellergeschossflächen nicht ertüchtigt werden, so müssen alle anderen Bauteile bei der Sanierung dies kompensieren. Dies bedeutet ungefähr eine Abminderung des Wärmedurchgangskoeffizienten mit einem Faktor von ca. 0,68. Dies bedeutet in der Aufstellung dann:

Zeile	Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient
1	Außenwände gegen Außenluft ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,136 \text{ W/m}^2\text{K}$
2	Außenwände gegen Erdreich ertüchtigen auf	- bleibt ca. $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
3	Fußböden gegen Erdreich ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,238 \text{ W/m}^2\text{K}$
4	Dachflächen gegen Außenluft ertüchtigen auf	$U_{ges.} \leq 0,102 \text{ W/m}^2\text{K}$
5	Fenster und Fassaden ertüchtigen auf	$U_W \leq 0,680 \text{ W/m}^2\text{K}$
6	Außentüranlagen ertüchtigen auf	$U_W \leq 0,884 \text{ W/m}^2\text{K}$
7	Oberlichtkuppeln ertüchtigen auf	$U_W \leq 0,884 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabelle 4 - Wärmedurchgangskoeffizienten zur Sanierung aller Bauteile, ohne AW gegen Erdreich

Außenwände, Dachflächen, Fußböden, Türen und Oberlichter sind mit diesen Werten realisierbar. Jedoch sind Fenster und Fassaden mit Werten unter $0,8 \text{ W/m}^2$ am Markt nicht oder nur in Sonderkonstruktionen mit hohen Einstandspreisen erhältlich. In jedem Fall sind Fassaden mit Werten

¹ Es wird davon ausgegangen, dass die Luftförderung, die Hilfsenergien und die Beleuchtung des Gebäudes nach den Angaben der EnEV zum Referenzgebäude ertüchtigt werden. Diese werden mit 100% angesetzt und fallen nicht in die Ersatzmaßnahmen nach EEWärmeG

$U_w/U_{cw} \leq 0,8 \text{ W/m}^2$ unwirtschaftlich. Die Kompensation des EEWärmeG (d der Anforderungen) wäre zwar erfüllt, jedoch ist die Unterschreitung der Anforderung C) nicht gegeben.

Zwischenfazit

Insgesamt stellt ist eine grundlegende Renovierung ohne die Umstellung der Wärmeerzeugung auf eine erneuerbare Energiequelle als technisch höchst aufwendig dar, da der Primärenergiebedarf durch die Versorgung mit Gas sehr hoch gehalten wird und somit die gesetzlichen Anforderungen nicht erfüllt werden können.

Bereits bei einer Umstellung der Wärmeerzeugung auf einen Wärmeträger mit einem $PEF \leq 0,85$ ist die Umsetzung der grundlegenden Renovierung ohne die Außenwände gegen Erdreich mit den Werten nach Tabelle 3 möglich. Dabei werden alle Anforderungen erfüllt.

Ein $PEF \leq 0,85$ wird durch nahezu alle Kraftwärmekopplungsanlagen, Gasmotor- und Elektromotorwärmepumpen, Pelletheizkessel u. dgl. problemlos erreicht.

Bei der Wahl einer dieser Wärmeerzeuger verschiebt sich die höchste Anforderung von der Einhaltung der Anforderung c) auf die Einhaltung der Anforderung b). Die Anforderung d) wird mit all diesen Anlagen ohne weiteres erfüllt.

Sanierung der Hüllfläche ohne Wände gegen Erdreich, mit Austausch der Heizungsanlage ($PEF \leq 0,85$)

Die Wände gegen Erdreich besitzen eine Hüllfläche von ca. 1975 m^2 . Alle wärmeübertragenden Bauteile insgesamt weisen eine Fläche von $\sim 31700 \text{ m}^2$ aus.

Die Bauteile teilen sich dabei wie folgt auf:

Zeile	Bauteil	$A_{\text{ges.}} [\text{m}^2]$	$U_{\text{ges.}} \text{ Referenzgebäude}$	$U_{\text{ges.}} \text{ Sanierung}$
1	Außenwände gegen Außenluft ertüchtigen auf	3863	0,28	0,2
2	Außenwände gegen Erdreich ertüchtigen auf	1975	0,35	3,5
3	Fußböden gegen Erdreich ertüchtigen auf	11198	0,35	0,35
4	Dachflächen gegen Außenluft ertüchtigen auf	11416	0,2	0,2
5	Fenster und Fassaden ertüchtigen auf	2751	1,3	1,3
6	Außentüranlagen ertüchtigen auf	91	1,8	1,3
7	Oberlichtkuppeln ertüchtigen auf	112	2,7	1,5
8	Summe $[\text{m}^2]$ / Mittelwert $H^t [\text{W/m}^2\text{K}]$	31406	0,383	0,534

Die Zeile 2 muss bei der Sanierung kompensiert werden. Dies erfolgt über die Übererfüllung der Zeilen 1, 5, 6 und 7. In der Summe wird damit Anforderung b) und gleichzeitig auch Anforderung a) erfüllt, da

$$H^t_{\text{Sanierung}} 0,534 \text{ W/m}^2\text{K} \leq H^t_{\text{ref}} 0,536 \text{ W/m}^2\text{K} (0,383 * 1,4)$$

Alle Bauteile sind bei diesem Vorschlag in üblicher Konstruktion mit am Markt verfügbaren Elementen möglich.

Die Sanierungen der Ausarbeitungen, einschließlich der Kostenansätze basieren auf diesen Annahmen.

Energiebedarfswerte nach Sanierung / Vergleich

Das Bestandsgebäude zeigt im Bereich des Wärmeverbrauchs einen unüblich niedrigen Wert, im Vergleich zu Bauwerken gleichen Alters, gleicher Konstruktion und Nutzung. Dennoch liegt der Energieverbrauchswert (endenergetisch) ca. bei 200% eines Neubaus mit gleicher Kubatur.

Die übergebenen Daten zu den Verbrauchskosten ergeben folgendes Ergebnis:

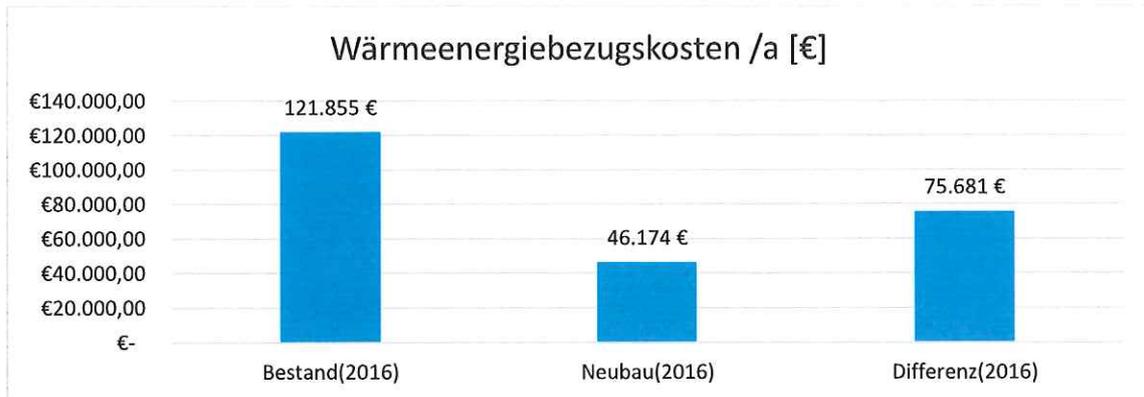


Abbildung 4 - Energiebezugskosten Wärme (Bezugspreis 2016), Vergleich

Die Energieversorgung eines Neubaus würde bei gleicher Anlagentechnik und gleichem Versorgungsmedium somit jährliche Minderkosten von 75.000€ bedeuten.

Bei der Verwendung eines Wärmeerzeugers mit Wärmepumpentechnologie würden die Energiebezugskosten weiter sinken – Dies in jeweiliger Abhängigkeit des Quellmediums, der Jahresarbeitszahlen und der gewählten Wärmeerzeugertechnologie.

Aus rein finanzwirtschaftlicher Sicht, ist eine Hüllflächensanierung nicht zu empfehlen, da die Investitionen in einem üblichen Betrachtungszeitraum durch die Energieeinsparungen nicht gedeckt werden können. Auch bei Einzelmaßnahmen (Fassadensanierung, Wandsanierungen, Dachsanierungen) ist dies der Fall.

Der Erfolg einer grundlegenden Renovierung ist durch andere Parameter zu definieren. Zu diesen gehören unter anderem:

- Aufrechterhaltung der Nutzbarkeit (Regel- und Gesetzeskonformer Betrieb möglich)
- Werterhaltung / Wertsteigerung der Liegenschaft
- Behaglichkeitsverbesserung
- Senkung des CO₂-Ausstoß der Liegenschaft

Wird die Liegenschaft durch Investitionen ohnehin grundlegend überformt, so ist eine energetische Effizienzsteigerung in die Betrachtung der Wirtschaftlichkeitsberechnungen mit einzubeziehen.