Sanierung Fürstenberg Gymnasium Donaueschingen

Energetische und kostenmäßige Bewertung unterschiedlicher Sanierungsvarianten

Kurzbericht

VORABZUG

Stand 24. Juni 2011

Aufgabenstellung

Das Gebäude des Fürstenberg-Gymnasiums Donaueschingen wurde in den 70er Jahren erstellt. 1995 wurden die Fachräume im Kellergeschoss erweitert. 2001 erfolgte eine Aufstockung in Holzbauweise. Das Dach, die Fenster und die Fachräume wurden im Zeitraum von 1994 bis 1997 saniert. Das dreigeschossige Gebäude mit Teilunterkellerung umfasst eine Nettogeschossfläche von ca. 8.500 m². Die Außenwände weisen den Dämmstandard auf, der vor 40 Jahren üblich war. Fenster und Dach besitzen den Standard der 90er Jahre. Die Lüftung erfolgt manuell über das Öffnen der Fenster.

Die Stadt Donaueschingen möchte durch eine Generalsanierung das Schulgebäude für die nächsten Jahrzehnte ertüchtigen. Dabei sollen bestehenden Mängel behoben und die derzeit aktuellen Innovationen im Schulhausbau umgesetzt werden. Dies umfasst sowohl das Gebäude als auch die Anlagentechnik.

Das Fraunhofer Institut für Bauphysik, das eine langjährige Erfahrung sowohl im Bereich der Schulhaussanierung als auch im Bereich des Schulhausneubaus aufweisen kann, soll aufzeigen, mit welchen Konzepten der Energieverbrauch der Schule reduziert und die thermische Behaglichkeit verbessert werden kann. Ferner sollen auch die Kosten der Maßnahmen abgeschätzt werden.

Analyse des Gebäudebestandes

Der Gebäudebestand und der Zustand der Anlagentechnik wurden vor Ort aufgenommen. Weitere Informationen konnten den Plänen entnommen werden. Die Gebäudekenndaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1: Kennwerte

Bezeichnung	Einheit	Wert
Baujahr	-	1975
Nettogrundfläche thermisch konditioniert	m²	8102
Nettovolumen thermisch konditioniert	m³	26871
Bruttovolumen thermisch konditioniert	m³	33830
Wärmeübertragende Hüfllfläche	m²	10651
A/Ve - Verhältnis	m^{-1}	0,31
Fensterflächenanteil	%	42

Die Hüllfläche des Gebäudes setzt sich aus Bauteilen des Ursprungszustandes und aus Bauteilen der Erweiterung und Sanierung zusammen. In Tabelle 2 sind die wesentlichen Hüllflächenbauteile zusammengestellt.

VORABZUG

Tabelle 2: Aufbau und U-Werte der Hüllflächenbauteile

Bauteil	Aufbau	Dicke	U-Werte
		mm	[W/m²K]
Betonwand Bestand	Heraklith	20	1,01
	Polystyrol	15	
	Beton	300	
Brüstung Bestand	Hochlochziegel	115	1,96
	Beton	200	
Wand Bestand	OSB-Platte	20	0,32
	Dämmung	70	
	OSB-Platte	20	
	Holz	150	
Brüstung Aufstockung	OSB-Platte	20	0,30
	Dämmung	100	
	Beton	300	
Dach Bestand	Dämmung neu	100	0,21
	Dämmung alt	60	
	Betondecke	-	
Dach Aufstockung	Dämmung	200	0,15
	Fertigdecke	240	
Kellerwand	Beton	400	2,77
Boden gg. Erdreich / gg. unbeheizt	unbekannt	-	1,00
Fenster alt Bestand	2-fach Verglasung	-	2,70
Fenster Jahr 1994-1997 Bestand	2-fach Verglasung	-	1,30
Fenster Aufstockung	2-fach Verglasung	-	1,30

Die Betonaußenwände des Ursprungszustandes sind nur minimal gedämmt und weisen den hohen U-Wert von 1,01 W/m²K auf. Die Brüstungen, vor denen die Heizkörper stehen, bieten mit U = 1,96 W/m²K einen noch schlechteren Wärmeschutz. Die U-Werte von heute erstellten energieeffizienten Neubauten weisen Werte auf, die etwa einen Faktor 10 kleiner sind. Die Klassenzimmer-Außenwand im Kellergeschoss ist ungedämmt und in Beton ausgeführt. Der U-Wert liegt bei 2,77 W/m²K. Der Mindestwärmeschutz der Außenwände von bewohnten Räumen

VORABZUG

gemäß DIN 4108, Teil 2, beträgt 0,7 W/m²K. Der Aufbau des Bodens konnte nicht ermittelt werden. Der U-Wert wird entsprechend der Baualtersklasse angegeben. Der U-Wert der ursprünglichen Bestandsfenster liegt bei 2,70 W/m²a. Die ausgetauschten Fenster und die Fenster der Aufstockung sind bereits in Wärmeschutzverglasung ausgeführt.

Die Wärmeerzeugung erfolgt durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) und ein Niedertemperaturkessel, beide werden mit Gas versorgt. Die Wärmeübergabe an den Raum geschieht über die Heizkörper. Die Thermostatventile werden manuell vom Hausmeister eingestellt. Das Trinkwarmwasser wird durch die beiden Wärmeerzeuger erwärmt und in einem 400 Liter großen Speicher gespeichert. Die Lüftung der Klassenräume erfolgt über die Fenster. Die WC's sind mit einer Abluftanlage ausgestattet. In Tabelle 3 ist die Anlagentechnik zusammengestellt.

Tabelle 3: Bestehende Anlagentechnik

Anlagentechnik	
Heizung	Wärmeversorgung: BHKW und Niedertemperaturkessel Wärmeübergabe: Heizkörper Regelung: manuell über Thermostatventile (Einstellung durch Hausmeister)
Trinkwarmwassererwärmung	BHKW und Niedertemperaturkessel
Lüftung	Fensterlüftung, Abluft nur in WC
Kühlung	keine

In allen Klassenräumen sind Leuchtstoffröhren installiert. In den Fachräumen befinden sich auch 100 W-Strahler. Die WC-Räume und die Klassenräume im aufgestockten Bereich sind mit Präsenzmelder ausgestattet.

Als Sonnenschutzmaßnahme dienen außenliegende Jalousien.

Zusammenstellung der bisherigen Verbrauchsdaten

Die Zusammenstellung der bisherigen Verbräuche erfolgt anhand der Verbrauchsdaten, die dem Fraunhofer IBP zur Verfügung gestellt wurden. Die Stomverbräuche der Schule sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass die Werte kontinuierlich zunehmen. Dieser Trend ist auf die zunehmende Zahl der Elektro-Geräte (PC, Drucker, Beamer usw.) zurückzuführen. Der Mittelwert, der auch später für Vergleichsbetrachtungen herangezogen wird, wird aus den Jahren 2009 und 2010 gebildet. Er liegt bei 14 kWh/m²a.

VORABZUG

Tabelle 4: Stromverbrauch der Schule

Jahr	Stromverbrauch	
	kWh/a	kWh/(m²a)
2006	64.461	8,0
2007	72.637	9,0
2008	85.596	10,6
2009	106.928	13,2
2010	119.388	14,7
Mittelw. 2009 u. 2010	113.158	14,0

Nettogrundfläche nach EnEV: 8.102 m²

Für die Ermittlung des Energieverbrauchs der Schule stehen die Ablesewerte von 3 Wärmemengenzählern und zwei Gaszählern zur Verfügung. Es wird jeweils die Gasmenge des BHKW's und des Niedertemperaturkessels erfasst. Die Werte für die Jahre 2009 und 2010 sowie die Mittelwerte der beiden Jahre sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5: Gesamtgasverbrauch der Schule und Sporthalle

Jahr	Gasverbrauch Schule + Sporthalle		
	BHKW	Kessel	Gesamt
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
2009	619.350	469.004	1.088.354
2010	801.249	481.777	1.283.026
Mittelwert	710.300	475.391	1.185.690

Im Mittel beträgt der Gasverbrauch des BHKW's etwa 60 % des Gesamtgasverbrauchs. Die von den beiden Wärmeerzeugern an die Schule und Turnhalle abgegebenen Wärmemengen sind in Tabelle 6 angegeben. Im Mittel verbrauchen Schule und Sporthalle jeweils die gleiche Wärmemenge.

VORABZUG

Tabelle 6: Wärmeverbrauch der Schule und Sporthalle

Jahr	Wärmeverbrauch					
	Schule		Sporthalle		Gesamt	
	kWh/a	%	kWh/a	%	kWh/a	%
2009	377.830	45	468.600	55	846.430	100
2010	471.600	54	395.100	46	866.700	100
Mittelw. 2009 u. 2010	424.715	50	431.850	50	856.565	100

Somit kann auch die Gesamtgasmenge in gleiche Anteile aufgeteilt werden, wie dies in Tabelle 7 zu ersehen ist.

Tabelle 7: Ermittelter Gasverbrauch für die Schule und für die Sporthalle

Jahr	Gasverbrauch Schule + Sporthalle	Gasverbrauch	
		Schule (50 %)	Sporthalle (50 %)
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Mittelw. 2009 u. 2010	1.185.690	592.845	592.845

Wird der Gesamtgasverbrauch auf die Nettogrundfläche (nach Definition EnEV) von 8.102 m² bezogen, so ergibt sich ein Endenergieverbrauch für die Schule von 73,2 kWh/m²a. Der Stromverbrauch liegt bei 14 kWh/m²a (siehe Tabelle 8). Der Endenergieverbrauch ist mit 73,2 kWh/m²a in Anbetracht der teilweise hohen U-Werte der Hüllflächenbauteile (U-Wert Außenwand 1,01 W/m²K) überraschend niedrig. Dies lässt auf eine effektive Betriebsweise schließen.

Tabelle 8: Absoluter und nutzflächenbezogener Gas- und Stromverbrauch der Schule

Jahr	Endenergieverbrauch Schule			
	Gas		Strom	
	kWh/a	kWh/(m²a)	kWh/a	kWh/(m²a)
Mittelw. 2009 u. 2010	592.845	73,2	113.158	14,0

Nettogrundfläche n. EnEV: 8.102 m²

Entwicklung von Sanierungsvarianten und rechnerische Bewertung

VORABZUG

Um den Gas- und Stromverbrauch noch weiter zu senken, werden 9 Maßnahmen A bis I vorgeschlagen. Diese Maßnahmen sind wiederum in 4 Maßnahmenpakete V1 bis V4, wie Tabelle 9 zeigt, gebündelt.

Tabelle 9: Rechnerisch bewertete Varianten V1 bis V4

Variante	Beschreibung	
V1	A	Innendämmung Untergeschossräume mit Kalziumsilikatplatten
	B	Neues Blockheizkraftwerk mit 95 % Nutzungsgrad
	C	Neuer Brennwertkessel, höchtste Effizienzklasse
V2	A	Innendämmung Untergeschossräume mit Kalziumsilikatplatten
	B	Neues Blockheizkraftwerk mit 95 % Nutzungsgrad
	C	Neuer Brennwertkessel, höchtste Effizienzklasse
	D	Außenwand komplett gedämmt, U=0,10 W/m²K
	E	Neue tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung mit Präsenzmelder
V3	A	Innendämmung Untergeschossräume mit Kalziumsilikatplatten
	B	Neues Blockheizkraftwerk mit 95 % Nutzungsgrad
	C	Neuer Brennwertkessel, höchtste Effizienzklasse
	D	Außenwand komplett gedämmt, U=0,10 W/m²K
	E	Neue tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung mit Präsenzmelder
	F	Erdgeschossfußboden und UG-Decke mit 3 cm Vakuumdämmung gedämmt
	G	Verbesserung der Dachdämmung, U=0,10 W/m²K
	H	Austausch der Fenster, U=0,8 W/m²K
V4	A	Innendämmung Untergeschossräume mit Kalziumsilikatplatten
	B	Neues Blockheizkraftwerk mit 95 % Nutzungsgrad
	C	Neuer Brennwertkessel, höchtste Effizienzklasse
	D	Außenwand komplett gedämmt, U=0,10 W/m²K
	E	Neue tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung mit Präsenzmelder
	F	Erdgeschossfußboden und UG-Decke mit 3 cm Vakuumdämmung gedämmt
	G	Verbesserung der Dachdämmung, U=0,10 W/m²K
	H	Austausch der Fenster, U=0,8 W/m²K
	I	Mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

VORABZUG

Variante V1 stellt eine Minimalvariante dar. Es wird vorgesehen, die Wärmeerzeuger gegen moderne, energieeffiziente Geräte auszutauschen. Diese Maßnahme war bereits zu Beginn der Sanierungsplanung geplant. Ferner enthält die Variante eine Innendämmung der Untergeschoss-Klassenzimmeraußenwände mit Kalziumsilikatplatten, da die bisherigen Wände keinerlei Dämmung enthalten.

Die weiteren Varianten enthalten jeweils die Maßnahmen der Vorgängervarianten und zusätzlich weitere Energieeinsparmaßnahmen. So wird bei Variante V2 zusätzlich zu den Maßnahmen der Variante V1 noch angenommen, dass alle Außenwände so gedämmt werden, dass der U-Wert von 0,10 W/m²K erzielt wird. Als weitere Maßnahme wird vorgesehen, die komplette Beleuchtung gegen eine tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung mit Präsenzmelder auszutauschen.

Die Variante V3 sieht vor, zusätzlich den kompletten Fußboden unterhalb des Estrichs mit einer 3 cm dicken Vakuumdämmplatte zu dämmen. Dadurch kann die Aufbauhöhe des Fußbodens beibehalten werden. Ferner wird das komplette Dach so gedämmt, dass ein U-Wert von 0,10 W/m²K erreicht wird. Außerdem werden alle Fenster durch dreifachwärmeschutzverglaste mit U=0,8 W/m²K ersetzt. Mit dieser Variante weist die Hüllfläche einen Wärmeschutz auf, der über den Vorgaben des Passivhausstandards liegt.

Variante V4 sieht den hochwertigen Wärmeschutz von Variante V3 und zusätzlich eine dezentrale mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vor.

Die energetische Bewertung erfolgt gemäß DIN 18599 mit dem Berechnungsprogramm IBP 18599. Die Berechnung für den Ist-Zustand ergibt mit den Nutzungsrandbedingungen gemäß den Nutzungsprofilen nach DIN 18599 Bedarfswerte, die deutlich über den Verbrauchswerten liegen. Durch Anpassung der Nutzerprofile an die tatsächlich vorliegende Nutzung werden Bedarfswerte erzielt, die nur noch ca. 15 % über den Verbrauchswerten liegen. Dieser Berechnungsfall stellt die Ausgangsbasis für die Berechnung der vier Varianten dar. Die Differenz zwischen der berechneten Variante und der Basisvariante stellt jeweils die erzielte Einsparung dar. Diese wird direkt vom tatsächlich vorliegenden Verbrauch abgezogen. Auf diese Weise ist direkt ersichtlich, auf welchen Wert der Energiebedarf durch Umsetzung der entsprechenden Variante sinkt.

In Tabelle 10 ist einmal der Endenergieverbrauch (als V0 bezeichnet), wie bereits in Tabelle 8 dargestellt, und ferner sind die Endenergiebedarfswerte der einzelnen Varianten angegeben. Es ist zu erkennen, dass durch die Umsetzung der Variante 1 der nutzflächenspezifische Gasbedarf von 73,2 kWh/m²a um 25 % auf 54,8 kWh/m²a zurückgeht. Der Stromverbrauch bleibt jedoch unverändert. Um weitere 30 % kann der Bedarf durch das Maßnahmenpaket V2 reduziert werden. Auch der Strombedarf wird von 14,0 kWh/m² auf 10,8 kWh/m²a gesenkt. Eine weitere Bedarfsreduzierung um knapp 60 % auf 16,5 kWh/m²a ist durch die Realisierung des Maßnahmenpaketes V3 möglich. Der Strombedarf reduziert sich dabei nur minimal. Wird eine mechanische Lüftungsanlage installiert, geht zwar der Endenergiebedarf auf 11,7 kWh/m²a zurück, doch der Strombedarf steigt infolge des Verbrauchs der Ventilatoren von 10,6 kWh/m²a auf 20,5 kWh/m²a. Die Variante V3 stellt den Fall mit dem geringsten Endenergiebedarf dar. Mit Variante V4 wird jedoch eine bessere Luftqualität erzielt.

VORABZUG

Tabelle 10: Dem Verbrauch gegenübergestellte rechnerisch bewertete Varianten V1 bis V4

Variante	Beschreibung	Gas		Strom	
		kWh/a	kWh/(m²a)	kWh/a	kWh/(m²a)
V0	Verbrauch	592.845	73,2	113.158	14,0
V1	Innendämmung UG + BHKW und BW-Kessel neu	444.173	54,8	113.158	14,0
V2	Wie V1 + gesamte Außenfassade gedämmt + neue Beleuchtung mit Präsenzmelder	311.138	38,4	87.637	10,8
V3	Wie V2 + Boden- und Dachdämmung + Fenstertausch	133.786	16,5	86.097	10,6
V4	Wie V3 + zusätzlich mechanische Lüftungsanlage mit WRG	95.139	11,7	165.740	20,5

Kosten der Sanierungsmaßnahmen

Die erzielbare Bedarfsreduzierung muss auch unter dem Blickwinkel der Kosten betrachtet werden. In Tabelle 11 sind die Kosten für alle vorgeschlagenen Maßnahmen zusammengestellt. Die spezifischen Kosten stellen Erfahrungswerte aus ähnlichen Vorhaben dar. Die spezifischen Kosten für die Beleuchtung und die Belüftung beziehen sich auf die mit dem System ausgestatteten Gebäudenutzflächen. Allen anderen Kosten liegt die jeweilige Bauteilfläche zugrunde.

Die teuerste Maßnahme mit Bruttokosten von 1,1 Mio. € stellt die Installation einer mechanischen Lüftungsanlage dar. Mit knapp 1,0 Mio. € folgt der komplette Austausch der Fenster. Die Kosten für die Dämmung des Fußbodens liegen mit 0,8 Mio. € ebenfalls hoch. Die Kosten für die Dämmung der Untergeschoss-Außenwände im Bereich der Klassenräume liegen mit ca. 58 T€ am unteren Ende Maßnahmenkosten.

Die auf die Nettogebäudenutzfläche bezogenen Bruttokosten liegen bei 31 €/m² für Variante 1, bei 103 €/m² für Variante 2, bei 397 €/m² für Variante 3 und bei 536 €/m² für Variante 4. Da die Art der Ausführung der Maßnahmen noch eine wesentliche Rolle spielt, handelt es sich bei den Kosten um grobe Anhaltswerte.

VORABZUG

Tabelle 11: Kosten der rechnerisch bewerteten Varianten

Variante	Beschreibung		Dämmstoff dicke	U-Wert	Investition Netto	Fläche	Kosten [€]	
			cm	W/m²K	€/m²	m²	Netto	Brutto
V1	A	Innendämmung Untergeschossräume mit Kalziumsilikatplatten	10	ca. 0,56	200	245	49.000	58.310
	B	Neues Blockheizkraftwerk mit 95 % Nutzungsgrad	-	-	-	-	99.000	117.810
	C	Neuer Brennwertkessel, höchtste Effizienzklasse	-	-	-	-	60.500	71.995
	Summe	Absolut					**208.500**	**248.115**
		Nutzflächenspezifisch					26	31
V2	A, B, C	Wie V1					208.500	248.115
	D	Außenwand komplett gedämmt, U=0,10 W/m²K	ca. 20	0,1	200	1668	333.600	396.984
	E	Neue tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung mit Präsenzmelder	-	-	20	8102	162.040	192.828
	Summe	Absolut					**704.140**	**837.927**
		Nutzflächenspezifisch					87	103
V3	A, B, C, D,E	Wie V2					704.140	837.927
	F	Erdgeschossfußboden und UG-Decke mit 3 cm Vakuumdämmung gedämmt	3	ca. 0,20	230	3062	704.260	838.069
	G	Verbesserung der Dachdämmung, U=0,10 W/m²K	ca. 10	0,1	220	2087	459.140	546.377
	H	Austausch der Fenster, U=0,8 W/m²K	-	0,8	500	1672	836.000	994.840
	Summe	Absolut					**2.703.540**	**3.217.213**
		Nutzflächenspezifisch					334	397
V4	A bis H	Wie V3					2.703.540	3.217.213
	I	Mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	-	-	120	7980	946.746	1.126.628
	Summe	Absolut					**3.650.286**	**4.343.840**
		Nutzflächenspezifisch					451	536

Nettogrundfläche n. EnEV: 8.102 m²

VORABZUG

Wirtschaftlichkeit

Die vorgeschlagenen Maßnahmen werden auch wirtschaftlich bewertet. Jede Maßnahme führt zur Redzierung der jährlichen Energiekosten. Eine Ausnahme stellt, wie aus Tabelle 10 zu ersehen ist, die Lüftungsanlage dar. Der Endenergiebedarf an Gas wird zwar reduziert, doch dafür nimmt der Strombedarf zu. In Tabelle 12 ist das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zusammengestellt. Neben der Spalte der Bruttokosten der Maßnahmen, die bereits in Tabelle 11 angegeben sind, sind die Endenergieeinsparungen angegeben. Es handelt sich dabei um die Summe der Endenergie Wärme (Gasbedarf) und der

Endenergie Strom. Anhand der Kosten pro eingesparter Kilowattstunde kann abgelesen werden, welche Maßnahmen wirtschaftlicher sind als andere. Mit 1,12 €/kWh ist der Austausch des Niedertemperaturkessels gegen einen effizienten Brennwertkessel die wirtschaftlichste Maßnahme. Der Austausch der Fenster ist mit 21,54 €/kWh die unwirtschaftlichste Maßnahme. Die Grund hierfür liegt darin, dass die bestehenden Fenster, bis auf wenige Ausnahmen, mit U=1,3 W/m²K bereits einen guten Wärmeschutz aufweisen. Die Kosten für die tagelichtabhängig geregelte Beleuchtung sind mit 18,17 €/kWh ebenfalls sehr hoch. Doch mit dieser Maßnahme wird Strom eingespart, der pro kWh etwa einen Faktor 5 teurer ist.

Die letzten vier Spalten der Tabelle 12 zeigen die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 40 Jahren auf. Es ist für jede Maßnahme die in 40 Jahren eingesparte Endenergie (Wärme und Strom) angegeben. In der Spalte daneben ist angegeben, welche Energiekosten dadurch in 40 Jahren gespart werden können. Dabei wird von einem Gaspreis von 4,25 Cent/kWh und einem Strompreis von 21,43 Cent/kWh ausgegangen. Für die jährliche Energiepreissteigerung werden 5% angenommen.

Es wird davon angenommen, dass die Stadt das Kapital für die Maßnahmen auf dem Kapitalmarkt aufnehmen muss. Gemäß Rücksprache mit dem Auftraggeber kann von einer Laufzeit von 20 Jahren und einem Zinssatz von 4 % ausgegangen werden. Die vorletzte Spalte zeigt die auf dieser Grundlage entstehenden Kapitalkosten für die einzelnen Maßnahmen. Durch den Vergleich der Spalten „Eingesparte Kosten in 40 Jahren“ und „Summe der Annuitäten in 20 Jahren“ kann abgelesen werden, welche Maßnahmen innerhalb der angenommenen Lebenszeit (40 Jahre) wirtschaftlich sind. Es ist zu ersehen, dass die Maßnahmenpakete V1 und V2 eine Wirtschaftlichkeit aufweisen. Bei V3 hingegen ist dies nicht möglich, da die Dämmung des Erdgeschossfußbodens mit einer Vakuumdämmung eine sehr kostspielige Angelegenheit ist und die Verbesserung der Dachdämmung durch den bereits vorhandenen guten Wärmeschutz zu keiner großen Energieeinsparung mehr führt. Dies trifft, wie oben schon erwähnt, auch beim Fensteraustausch zu. Durch die Installation einer mechanischen Lüftungsanlage wird die Luftqualität in den Klassenräumen deutlich verbessert, doch Energiekosten können keine eingespart werden – im Gegenteil, sie erhöhen sich.

Die letzte Spalte zeigt die Amortisationszeit für die einzelnen Maßnahmen. Sie liegt bei 27 Jahren für das Maßnahmenpaket 1 und bei 30 Jahren für das Maßnahmenpaket 2.

Die Untersuchung zeigt, dass einige Maßnahmen hohe Amortisationszeiten aufweisen, da der derzeitige Energieverbrauch der Schule mit dem Endenergieverbrauch Wärme von 71,4 kWh/m²a und dem Endenergieverbrauch Strom von 14 kWh/m²a überraschend niedrig liegt.

Wird unabhängig von den Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen das Maßnahmenpaket V4 umgesetzt, kann der Endenergiebedarf Wärme auf 11,7 kWh/m²a gesenkt werden. Der Strombedarf steigt allerdings von 14 kWh/m²a auf 20,5 kWh/m²a an. Dadurch wird jedoch die Luftqualität deutlich verbessert.

VORABZUG

Tabelle 12: Wirtschaftlichkeit der untersuchten Maßnahmen

Variante	Beschreibung		Brutto-Kosten	Endenergie-einsparung	Kosten pro eingesparter kWh	Endenergie-einsparung in 40 Jahren	Eingesparte Kosten in 40 Jahren*	Summe Annuität in 20 Jahren**	Amorti-sationszeit
			€	kWh/a	€/kWh	kWh/40a	€/40a	€/20a	Jahre
V1	A	Innendämmung Untergeschossräume mit Kalziumsilikatplatten	58.310	17.257	3,38	690.290	88.599	83.922	39
	B	Neues Blockheizkraftwerk mit 95 % Nutzungsgrad	117.810	67.004	1,76	2.680.142	343.996	169.557	28
	C	Neuer Brennwertkessel, höchtste Effizienzklasse	71.995	64.411	1,12	2.576.436	330.685	103.618	22
	Gesamt		**248.115**	**148.672**	**1,67**	**5.946.868**	**763.279**	**357.098**	**27**
V2	A, B, C	Wie V1	248.115	148.672	1,67	5.946.868	763.279	357.098	27
	D	Außenwand komplett gedämmt, U=0,10 W/m²K	396.984	147.943	2,68	5.917.701	779.713	571.356	34
	E	Neue tageslichtabhängig geregelte Beleuchtung mit Präsenzmelder	192.828	10.614	18,17	424.545	563.967	277.526	28
	Gesamt		**837.927**	**307.228**	**2,73**	**12.289.114**	**2.106.959**	**1.205.979**	**30**
V3	A, B, C, D,E	Wie V2	837.927	307.228	2,73	12.289.114	2.106.959	1.205.979	30
	F	Erdgeschossfußboden und UG-Decke mit 3 cm Vakuumdämmung gedämmt	838.069	67.004	12,51	2.680.142	355.766	1.206.185	>40
	G	Verbesserung der Dachdämmung, U=0,10 W/m²K	546.377	65.707	8,32	2.628.289	337.340	786.368	>40
	H	Austausch der Fenster, U=0,8 W/m²K	994.840	46.181	21,54	1.847.256	237.095	1.431.815	>40
	Gesamt		**3.217.213**	**486.120**	**6,62**	**19.444.800**	**3.037.159**	**4.630.347**	**>40**
V4	A bis H	Wie V3	3.217.213	486.120	6,62	19.444.800	3.037.159	4.630.347	>40
	I	Mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	1.126.628	-40.996	-27,48	-1.639.845	-1.863.330	1.621.490	>40
	Gesamt		**4.343.840**	**445.124**	**9,76**	**17.804.955**	**1.173.830**	**6.251.837**	**>40**

* Annahme: Jährliche Energiepreissteigerung: 5%; Strompreis: 21,43 Cent/kWh; Gaspreis: 4,25 Cent/kWh
** Zinssatz: 4%, Laufzeit: 20 Jahre