

# Konzept zur energetischen Sanierung der Janusz-Korczak-Schule Sinzig

Mit freundlicher Unterstützung des



**Rheinland-Pfalz**

**Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber            Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd / Kreisverwaltung Ahrweiler  
Projektnummer:        1544  
Datum                    19. Mai 2008

**Transferstelle Bingen · Am Langenstein 21 · 55411 Bingen · [www.tsb-energie.de](http://www.tsb-energie.de)**

**Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs**

Tel: 06721 / 98 4 24 20

Fax: 06721 / 98 4 24 29

[kriebs@tsb-energie.de](mailto:kriebs@tsb-energie.de)

**Barbara Schmidt-Sercander**

Tel: 06721 / 98 4 24 17

Fax: 06721 / 98 4 24 29

[schmidt-sercander@tsb-energie.de](mailto:schmidt-sercander@tsb-energie.de)

im

*Institut für Innovation, Transfer und Beratung gGmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein*

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ist-Analyse</b> .....	<b>4</b>
2.1	Wärmedämmstandard des Ist-Zustandes .....	6
<b>3</b>	<b>Optimierung des Wärmedämmstandards</b> .....	<b>8</b>
3.1	Wärmedämmstandard des modernisierten Zustandes .....	9
3.2	Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz .....	14
3.3	Wirtschaftlichkeit der Wärmedämmung .....	15
<b>4</b>	<b>Wärmeerzeugung</b> .....	<b>18</b>
4.1	Holzpellets .....	18
4.2	Blockheizkraftwerk .....	21
4.3	Wärmepumpe .....	24
4.4	Energiebilanz .....	26
4.5	Kohlendioxidemissionsbilanz.....	27
4.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	29
<b>5</b>	<b>Sensitivitätsanalyse</b> .....	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>36</b>

## 1 Einleitung

Im Rahmen des „Konzeptes zur energetischen Sanierung der Janusz-Korczak-Schule Sinzig“ werden für die Schule Energieeinsparmöglichkeiten durch Verbesserung des Wärmedämmstandards und die Erneuerung der Heizungsanlage ermittelt.

Die Förderschule des Kreises Ahrweiler in Sinzig besteht aus einem Altbau aus den 50iger Jahren und einem Anbau von 2004. Der Altbau ist im Hinblick auf die energierelevanten Bauteile bis auf die Fenster noch im ursprünglichen Zustand. Die Fassade mit ihrem Stahlbetonskelett verursacht, wie auch das ungedämmte Dachgeschoss, hohe Wärmeverluste. Die Fenster wurden erstmals in den 70iger Jahren mit Isolierglasscheiben nachgerüstet. In Teilbereichen wurden diese in jüngster Zeit komplett erneuert. Die Heizungsanlage, bestehend aus zwei ölgefeuerten Kesseln Baujahr 1987, schafft die Grenzwerte bei der Abgasverlustmessung. Durch ihre Bauweise verursacht sie jedoch hohe Bereitschaftsverluste. Die Kesselanlage ist erneuerungsbedürftig.

In einer Ist-Analyse werden die vorhandenen Daten zum Brennstoff- und Stromverbrauch ausgewertet und mit Kennwerten zum Energieverbrauch verglichen. Mit den vorliegenden Gebäudeplänen und anhand von gebäudetypischen Bauteilen erfolgt die Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN V 18599.

Da sowohl das Gebäude als auch die Heizungstechnik energetisch überarbeitet werden müssen, bietet es sich an, im ersten Schritt den Wärmeschutz der Gebäudehülle deutlich zu verbessern und dann im zweiten Schritt eine angepasste Wärmeerzeugungsanlage zu installieren. Zunächst werden also Möglichkeiten der Wärmebedarfsminderung durch Dämmmaßnahmen im Bereich der Fassade, des Daches bzw. der obersten Geschossdecke und der Fenster betrachtet. Anhand der Wärmebedarfsberechnung nach DIN V 18599 wird das Energieeinsparpotential der verschiedenen Dämmmaßnahmen bewertet und die Verminderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt.

Aufbauend auf einem energetisch und wirtschaftlich sinnvoll erreichbaren Zielwärmebedarf erfolgt die Betrachtung von unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten. Neben einer fossilen Basisvariante wird der Einsatz von Holzpellets, eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) und einer Wärmepumpe betrachtet. Bei der Wärmeerzeugung werden für die Varianten die jeweiligen Techniken beschrieben und die Dimensionen der wesentlichen Komponenten festgelegt. Für die verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten erfolgen die Bilanzierung der Energieflüsse und die Angabe der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

In Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen werden sowohl für die Dämmmaßnahmen als auch für die verschiedenen Wärmeerzeuger die entsprechenden Investitionskosten und Jahreskosten ermittelt, mit denen die zu erwartenden Einsparungen und die jeweilige Amortisationszeiten bestimmt werden. Dabei werden lediglich die Kosten berücksichtigt, die sich bei den verschiedenen Energieträgern unterscheiden. Die Kosten, die bei allen Wärmeerzeugungsvarianten anfallen wie z.B. die Erneuerung der Heizungspumpen oder die Isolierung der Rohrleitungen werden in dem Konzept nicht berücksichtigt.

## 2 Ist-Analyse

Die Jansuz-Korczak-Schule ist eine Förderschule, in der von 8-16 Uhr 170 Schüler unterrichtet werden. Der Altbau wurde 1957 errichtet und 2004 durch einen Anbau, in dem sich weitere Klassenräume und ein Gymnastikhalle befinden, erweitert.

Zur Wärmeversorgung sind derzeit zwei heizölbefeuerte Kessel installiert. Im alten Koks Keller, der sich unmittelbar neben dem Heizraum befindet, wird das Heizöl in zwei großen Stahltanks mit insgesamt 54 m<sup>3</sup> gelagert.

Die Warmwasserbereitung erfolgt dezentral mit Strom. Die Duschen in der Turnhalle des Neubaus und die Küche werden über Boiler mit Warmwasser versorgt.

	<b>Kessel 1</b>	<b>Kessel 2</b>
Fabrikat	Fröling	Fröling
Bezeichnung		85 G
Wärmeleistung	290 kW <sub>th</sub>	233 kW <sub>th</sub>
Baujahr	1988	1987
Abgasverluste (12.09.2007)	5 %	5 %
	<b>Brenner</b>	<b>Brenner</b>
Fabrikat	MAN	Elco Klöckner
	Mit Gebläse	Mit Gebläse
Bezeichnung	RZ 3,3	KI 30.1Z
Baujahr	1996	1987

**Tabelle 2-1 Vorhandene Heizungsanlage**

Die zwei ölgefeuerten Kessel aus dem Jahr 1987 halten die Grenzwerte bei der Abgasverlustmessung ein. Aufgrund der Bauweise liegen die Bereitschaftsverluste jedoch sehr hoch. Durch eine Erneuerung der Kesselanlage können erhebliche Einsparungen erzielt werden. Die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der Anlage standen bei der Begehung bei 90/50 °C. Das Gebäude wird durch vier Heizkreisläufe mit Wärme versorgt: Neubau, Flur, Aula, Klassen.

Die Anlage wird täglich ab 16:00 Uhr in die Nachtabenkung gefahren und erst um 7:00 Uhr morgens wird das Gebäude wieder aufgeheizt. Auch am Wochenende fährt die Anlage im abgesenkten Betrieb.

Mit dem Heizölverbrauch wird der Jahreswärmeverbrauch des Gebäudes überschlägig ermittelt. Aufgrund des Anbaus, der 2004 vorgenommen wurde, werden lediglich die Verbrauchswerte ab dem Jahr 2005 für die Ermittlung des Heizwärmebedarfs herangezogen.

Heizölverbrauch, witterungsbereinigt, gemittelt (2005-2006)	434.500 kWh <sub>HU</sub> /a	
Jahresnutzungsgrad	86 %	
Jahresheizwärmeverbrauch	373.700 kWh <sub>th</sub> /a	
Installierte Heizleistung	523 kW <sub>th</sub>	
Vollbenutzungsstunden	715 h/a	
Nettogrundfläche	4.224 m <sup>2</sup>	
Spez. Jahresheizenergieverbrauch	103 kWh <sub>HU</sub> /(m <sup>2</sup> *a)	
Spez. Jahreswärmeverbrauch	88 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	
Spez. Heizleistung	124 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>	
<b>Gebäudetypische Werte Sonderschulen mit Turnhalle</b>		
Spez. Jahresheizenergiebedarf	150 kWh <sub>HU</sub> /m <sup>2</sup> *a	1
Spez. Jahresheizenergiebedarf – unteres Quartilsmittel	89 kWh <sub>HU</sub> /m <sup>2</sup> *a	2
Spez. Jahresheizenergiebedarf - Mittelwert	137 kWh <sub>HU</sub> /m <sup>2</sup> *a	2
Spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 – 150 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>	3
Vollbenutzungsstunden (zweischichtig)	1.130 bis 1.510 h/a	3

**Tabelle 2-2 Heizenergieverbrauch Ist-Zustand**

Der Heizenergiebedarf ist im Vergleich zu anderen Gebäuden mit der gleichen Nutzungsform niedrig. Die niedrigen Vollbenutzungsstunden und die spezifischen Leistungsdaten weisen auf eine leichte Überdimensionierung der Kesselanlage hin.

<sup>1</sup> Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung im Einvernehmen mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie: Regeln für Energieverbrauchskennwerte und der Vergleichskennwerte im Nichtwohngebäudebestand, 26.07.2007

<sup>2</sup> Ages, Verbrauchskennwerte 2005 – Energie- und Wasserverbrauchskennwerte in der Bundesrepublik Deutschland, 2007

<sup>3</sup> Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

## 2.1 Wärmedämmstandard des Ist-Zustandes

Der Altbau der Janusz-Korczak-Schule wurde 1957 errichtet. Die Fassade befindet sich weitgehend im ursprünglichen Zustand. An den Klassenräumen wurden die Fenster 1997 ausgetauscht während in den Fluren lediglich die Scheiben ausgetauscht wurden. Im Bereich der Aula wurden die Fenster im Jahre 2006 erneuert. Die Außenwand inkl. dem Stahlbetonskelett und den Brüstungsbereichen wie auch das Dachgeschoss befinden sich noch im ungedämmten Originalzustand und verursachen dadurch hohe Wärmeverluste.

Im Jahr 2004 wurde die Schule durch einen Anbau, in dem sich einige Klassenräume und eine Turnhalle befinden, erweitert. Das neue Gebäude wurde dem Stand der Technik entsprechend errichtet und verfügt somit über eine gute Wärmedämmung.

Zur Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs der Gebäude im derzeitigen Wärmedämmstandard konnte zum Teil auf vorhandene Pläne und Baubeschreibungen zurückgegriffen werden. Die fehlenden Angaben wurden basierend auf zwei Begehungen abgeschätzt und durch Aufbau und U-Werte aus der Literatur ergänzt.

Für den Ist-Zustand wurden folgende U-Werte ermittelt:

Außenwand gegen Außenluft (36,5 cm)	1,56 W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Außenluft (24 cm)	1,98 W/(m <sup>2</sup> K)
Betonpfeiler	2,24 W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Erdreich	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, alt (1957)	5,04 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, mittel (1997, Scheibenaustausch)	1,84 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, mittel (1997, Komplettaustausch)	1,75 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, neu	1,70 W/(m <sup>2</sup> K)
Glasbausteine	3,50 W/(m <sup>2</sup> K)
Bodenplatten gegen Erdreich	1,50 W/(m <sup>2</sup> K)
Kellerdecke	1,50 W/(m <sup>2</sup> K)
Oberste Geschossdecke (Klassenräume)	1,20 W/(m <sup>2</sup> K)
Oberste Geschossdecke (Aula)	0,76 W/(m <sup>2</sup> K)
Schrägdach (Hausmeisterwohnung)	1,40 W/(m <sup>2</sup> K)

**Tabelle 2-3 Ist Zustand, U-Werte der Gebäudehülle Altbau**

Der Wärmebedarf des Altbaus wurde dann nach der DIN V 18599 berechnet.

Jahresheizwärmebedarf (berechnet)	495.150 kWh <sub>th</sub> /a
Wärmeleistungsbedarf	260 kW
Nettogrundfläche	3.212 m <sup>2</sup>
Spez. Jahresheizwärmebedarf	154 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Spez. Wärmeleistungsbedarf	81 W/m <sup>2</sup>

**Tabelle 2-4 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand Altbau**

Für die Ermittlung des Wärmebedarfs des Neubaus wurde der Energiebedarfsausweis herangezogen.

Energiebezugsfläche	1.021 m <sup>2</sup>
Spez. Jahresheizwärmebedarf	51 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Jahresheizwärmebedarf (berechnet)	51.700 kWh <sub>th</sub> /a
Vollbenutzungsstunden	1.100 h/a
Wärmeleistungsbedarf	50 kW
Spez. Wärmeleistungsbedarf	46 W/m <sup>2</sup>

**Tabelle 2-5 Jahresheizwärmebedarf Neubau**

Jahresheizwärmebedarf	546.850 kWh <sub>th</sub> /a
Nettogrundfläche	306 kW
Energiebezugsfläche	4.224 m <sup>2</sup>
Spez. Jahresheizwärmebedarf	129 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
Spez. Wärmeleistungsbedarf	73 W/m <sup>2</sup>

**Tabelle 2-6 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand Altbau + Neubau**

Der berechnete Jahresheizwärmebedarf von 546.850 kWh<sub>th</sub>/a liegt deutlich über dem durch die Verbrauchsdaten ermittelten Jahresheizwärmeverbrauch von 373.700 kWh<sub>th</sub>/a. Der Verbrauch wird jedoch auch durch Nutzverhalten beeinflusst. Der Verbrauch bildet den Wärmebedarf nach Berücksichtigung aller beeinflussenden Parameter, die in der normierten Berechnung für den Wärmebedarf nach DIN V 18599 für Nichtwohngebäude nicht ausreichend berücksichtigt werden können, ab. Die Unterschiede zwischen dem berechneten Bedarf und dem tatsächlichen Verbrauch ergeben sich bei der Janusz-Korczak-Schule vor allem aus den Nacht- und Wochenendabsenkungen und dem unbeheizten bzw. minder geheiztem Gebäudevolumen wie z.B. den abgehängten Decken über den Klassenräumen, den Fluren und Treppenhäusern.

Für die weiteren Berechnungen wird der Jahresheizwärmeverbrauch entsprechend dem Verhältnis bei Jahresheizwärmebedarf auf den Altbau und den Neubau aufgeteilt.

		Janusz-Korczak-Schule	Altbau	Neubau
Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a	373.700		
Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	546.850	495.150	51.690
Anteil am Jahresheizwärmebedarf	%		91	9
Abgeschätzter Anteil am Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a		338.400	35.300

**Tabelle 2-7 Abschätzung zur Aufteilung des Jahresheizwärmeverbrauchs**

### 3 Optimierung des Wärmedämmstandards

Auf Grundlage des derzeitigen Wärmedämmstandards werden Dämmmaßnahmen für die Janus-Korczak-Schule in Sinzig untersucht.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2007), die am 27.06.2007 von der Bundesregierung verabschiedet wurde und am 1. Oktober 2007 in Kraft getreten ist, legt auch für bestehende Gebäude bei Änderung von Außenbauteilen einzuhaltende Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) fest, was auch in der bisherigen EnEV 2004 schon vorgeschrieben wurde. Dies trifft dann zu, wenn Änderungen an Außenwänden, außen liegenden Fenstern, Fenstertüren, Dachfenster mehr als 20 % der Bauteilfläche in gleicher Orientierung sowie an allen anderen Außenbauteilen weniger als 20 % der Bauteilflächen betreffen. Außerdem müssen nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  nicht überschreiten. Dies ist allerdings erst im Falle eines Eigentümerwechsels, der nach dem 1. Februar 2002 stattgefunden hat, notwendig. Die Frist beträgt zwei Jahre ab dem Eigentümerwechsel.

Durch größere Dämmstärken und niedrigere U-Werte können die gesetzlichen Mindestanforderungen unterschritten werden, sodass ein besserer Wärmedämmstandard erreicht werden kann.

Von der KfW-Förderbank können Kommunen zinsgünstige Kredite aus dem Programm „KfW-Kommunalkredit – Energetische Gebäudesanierung“ aufnehmen. Damit sie jedoch die günstigen Zinskonditionen erhalten, müssen bei der Wärmedämmung bestimmte Dämmstärken, die durch das KfW vorgeschrieben sind, eingehalten werden. Die hier betrachteten Dämmmaßnahmen orientieren sich an diesen Werten, damit in der Wirtschaftlichkeit mit dem zinsgünstigen Kredit gerechnet werden kann.

Nach DIN V 18599 wird der Jahresheizwärmebedarf für den Ist-Zustand und den modernisierten Zustand berechnet, um durch einen Vergleich die theoretische Einsparung zu ermitteln. Da das Nutzverhalten in der Berechnung nicht abgebildet werden kann, wird sich die rechnerische Einsparung von der tatsächlichen Einsparung unterscheiden.

Zur Bewertung der Maßnahmen werden in einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur die für die energetische Einsparung relevanten Investitionskosten angerechnet. Bestimmt werden die Jahreskosten bzw. der Jahresüberschuss sowie die statische Amortisationsdauer. Zusätzlich werden die Gesamtinvestitionskosten der Maßnahmen angegeben, welche aus den Investitionskosten der Maßnahmen zur Wärmedämmung bzw. der energetischen Einsparung und den Investitionskosten der sowieso anfallenden Kosten aus der Gebäudeinstandhaltung, wie z.B. Putzerneruerung und Gerüstkosten, zusammengesetzt werden.

### 3.1 Wärmedämmstandard des modernisierten Zustandes

In der Energieeinsparverordnung (EnEV) 2007 sind Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen angegeben.

Es gelten folgende Werte für Gebäude mit normalen Innentemperaturen ( $\geq 19 \text{ }^\circ\text{C}$ ):

Außenwand	0,35 W/(m <sup>2</sup> K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	1,70 W/(m <sup>2</sup> K)
Außentüren	2,90 W/(m <sup>2</sup> K)
Decken, Dächer, Dachschrägen	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich außenseitige Dämmung	0,40 W/(m <sup>2</sup> K)

**Tabelle 3-1 Wärmedurchgangskoeffizienten nach EnEV 2007**

Diese Werte sind Höchstwerte, die der U-Wert annehmen darf. Da größere Dämmstärken allerdings lediglich zu höheren Materialkosten führen und der Anteil der Verarbeitungskosten an den Investitionskosten in etwa gleich bleibt, ist der Einbau größerer Dämmstärken zu favorisieren. Deswegen werden Maßnahmen nach der Vorgabe aus dem KfW-Programm „KfW-Kommunalkredit- Energetische Gebäudesanierung“ näher untersucht. Hierdurch werden die Werte nach EnEV unterschritten. Die Umsetzung der in dem Programm geforderten Dämmstärken ist aufgrund baukonstruktiver Maßnahmen nicht immer gegeben. Beispielsweise können die Dämmstärken im Bereich der Fensterlaibungen nicht umgesetzt werden, da ansonsten die Fenster mit Dämmung überdeckt werden. Es sind etwa 3 cm Dämmung der Fensterlaibung realisierbar. Die Kopfseiten der Betonpfeiler können mit 6 cm gedämmt werden. Damit die Anbringung der Wanddämmung im Bereich der Brüstungen und Betonpfeiler erleichtert wird, sollten die Dämmstärken hier auf die Tiefe der Betonpfeiler begrenzt werden, so dass die Dämmung bündig mit den Betonpfeilern abschließt. Die Betonpfeiler werden im Fensterbereich mit 6 cm überdämmt.

Die Maßnahmen werden in verschiedenen Varianten vorgestellt, um deutlich zu machen welche Bauteilsanierung welche Einsparung erbringt.

Die Varianten sind aufgeteilt in Variante Außenwände, Fenster, Oberste Geschosdecke, Kellerdecke und einer Komplettvariante.

Bauteil / Material	Maßnahme	Bauteil - U-Wert
Ziegelaußenwand gegen Außenluft (36,5 cm)	14 cm WLG 035 (außen)	0,214 W/(m <sup>2</sup> K)
Brüstungsaußenwand gegen Außenluft (24 cm)	12 cm WLG 035 (außen)	0,246 W/(m <sup>2</sup> K)
Betonpfeiler	6 cm WLG 035 (außen)	0,580 W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Erdreich	8 cm WLG 035 (innen)	0,333 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, alt (1957)	2-Scheiben-Isolierverglasung	1,325 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, mittel (1997, Scheibenaustausch)		1,838 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, mittel (1997, Komplettaustausch)		1,750 W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster, neu		1,700 W/(m <sup>2</sup> K)
Glasbausteine	2-Scheiben-Isolierverglasung	1,325 W/(m <sup>2</sup> K)
Bodenplatten gegen Erdreich		1,500 W/(m <sup>2</sup> K)
Kellerdecke	12 cm WLG 040 (außen)	0,273 W/(m <sup>2</sup> K)
Oberste Geschossdecke (Klassenräume)	24 cm WLG 035 (außen)	0,130 W/(m <sup>2</sup> K)
Oberste Geschossdecke (Aula)	24 cm WLG 035 (außen)	0,122 W/(m <sup>2</sup> K)
Schrägdach (Hausmeisterwohnung)	16 cm WLG 035 (außen)	0,189 W/(m <sup>2</sup> K)

**Tabelle 3-2 Maßnahmen und U-Werte für den modernisierten Zustand**

Zu den hier dargestellten Maßnahmen gehört unter anderem eine Reihe von Maßnahmen, die vorgenommen werden müssen, damit die Dämmmaßnahmen durchgeführt werden können und Wärmebrücken vermieden werden:

- Versetzen der Regenfallrohre
- Versetzen der Sonnenschutzrichtungen
- Fensterbänke durchtrennen, andämmen und vorsetzen

Das Einsparpotential für den Altbau im modernisierten Zustand wird durch den Vergleich mit dem Ist-Zustand bestimmt.

		Ist-Zustand	Modernisierter Zustand
Jahresheizwärmebedarf (berechnet)	kWh <sub>th</sub> /a	495.150	281.580
Wärmeleistung	kW	260	178
Nettogrundfläche	m <sup>2</sup>	3.212	3.212
Spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	154	88
Spez. Wärmeleistung	W/m <sup>2</sup>	81	56
Einsparung Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a %		213.570 43
Einsparung Wärmeleistung	kW <sub>th</sub> %		82 32

**Tabelle 3-3 Vergleich theoretischer Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und Modernisierung Altbau**

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf auf 88 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>a). Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt ca. 213.570 kWh<sub>th</sub>/a und entspricht damit einer Verringerung um 43 % beim Altbau. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 82 kW<sub>th</sub>, was 32 % entspricht.

Um ein realitätsnahes Einsparpotential bestimmen zu können, wird mit der prozentualen Einsparung aus der Berechnung auf den abgeschätzten, tatsächlichen Jahresheizwärmeverbrauch übertragen.

		Ist-Zustand	Modernisierter Zustand
Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	495.150	281.580
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	260	178
Rechnerische Einsparung Jahresheizwärmebedarf	%		43
Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a	338.400	193.800
Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a		144.600
Nettogrundfläche	m <sup>2</sup>		3.212
spez. Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)		60

**Tabelle 3-4 Abschätzung des Jahresheizwärmeverbrauch und des Einsparpotentials im modernisierten Zustand Altbau**

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmeverbrauch wie folgt.

Maßnahmen	Anteil an Gesamteinsparung	Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch
Wand	47 %	67.100 kWh <sub>th</sub> /a
Fenster	6 %	9.200 kWh <sub>th</sub> /a
Dach	39 %	56.700 kWh <sub>th</sub> /a
Kellerdecke	8 %	11.600 kWh <sub>th</sub> /a

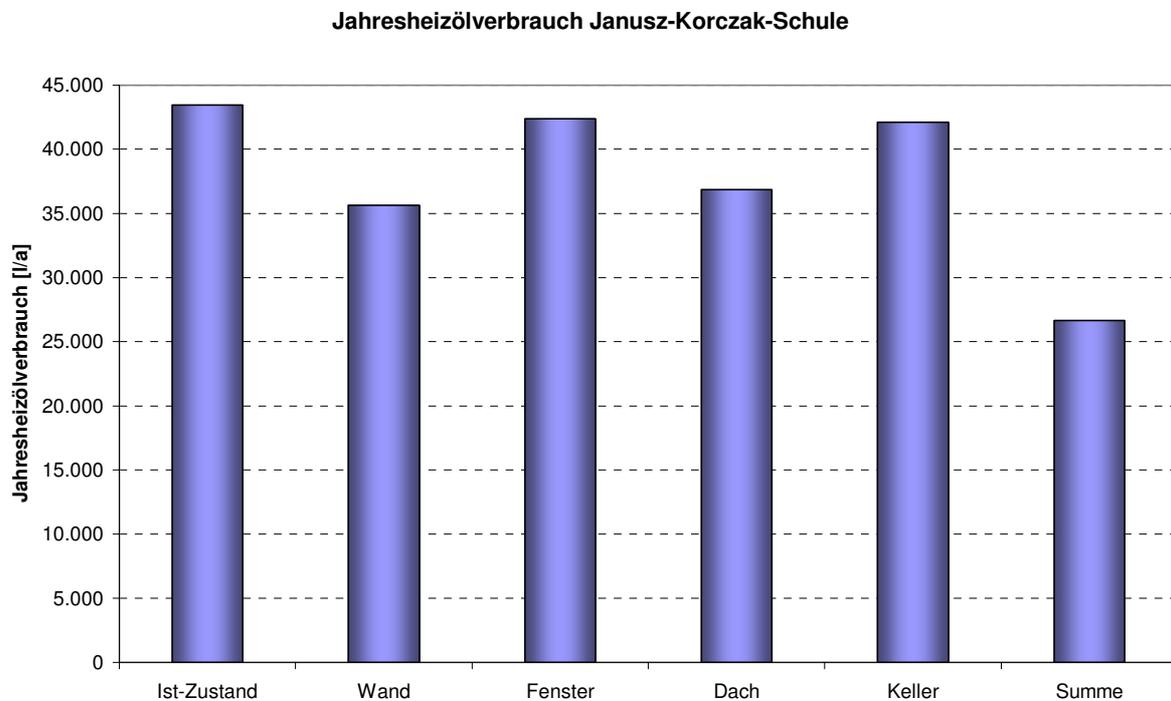
**Tabelle 3-5 Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch Einzelmaßnahmen**

Mit einem modernisierten Altbau reduziert sich insgesamt für die Janusz-Korczak-Schule der Jahresheizwärmeverbrauch.

	Jahresheizwärmebedarf	Jahresheizwärmeverbrauch
Altbau	281.580	193.800
Neubau	51.690	35.300
Janusz-Korczak-Schule	333.270	229.100

**Tabelle 3-6 Abschätzung des Jahresheizwärmeverbrauch im modernisierten Zustand**

Im Diagramm ist der zu erwartende jährliche Heizölverbrauch für die Janusz-Korczak-Schule und deren Dämmmaßnahmen abgebildet.



**Abbildung 3-1 Abschätzung Jahresheizölverbrauch der einzelnen Varianten**

Insgesamt könnte durch die dargestellte Sanierung des Altbaus der Heizölverbrauch der Janusz-Korczak-Schule um etwa 16.800 l/a bzw. 39 % gesenkt werden.

### 3.2 Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission nach GEMIS bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Die spezifische CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission von Heizöl beträgt 328,7 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>HU</sub> und die von Strom 641,3 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>HU</sub>.

Der abgeschätzte Heizölverbrauch wird mit dem Nutzungsgrad der derzeit vorhandenen Heizölkessel berücksichtigt.

		Ist-Zustand	Wand	Fenster	Dach	Keller	Summe
Heizölbedarf	kWh <sub>HU</sub> /a	434.530	356.510	423.840	368.600	421.050	266.400
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>e</sub> /a	3.740	3.070	3.650	3.170	3.620	2.290
<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>145</b>	<b>119</b>	<b>142</b>	<b>123</b>	<b>141</b>	<b>89</b>

Tabelle 3-7 CO<sub>2</sub>-Bilanz

Die in der Tabelle zusammengestellten Ergebnisse werden in der folgenden Grafik veranschaulicht.

Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz Janusz-Korczak-Schule

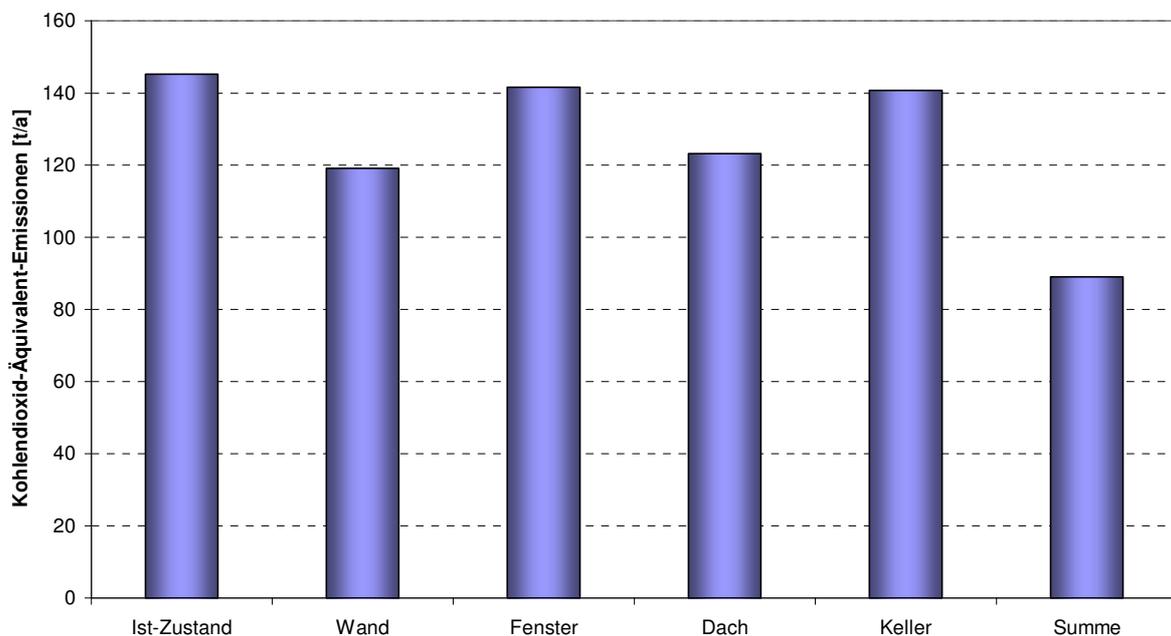


Abbildung 3-2 Kohlendioxidemissionsbilanz

Durch einen verbesserten Wärmedämmstandard können insgesamt etwa 39 % der derzeitigen CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen eingespart werden.

### 3.3 Wirtschaftlichkeit der Wärmedämmung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Dämmmaßnahmen die Investitions- und Kapitalkosten überschlägig ermittelt.

In der ersten Darstellung werden nur die Kosten herangezogen, die zu einer Verbesserung des Dämmstandards führen, Kosten, die bei Instandhaltungsmaßnahmen ohnehin vorliegen, wie z.B. für Gerüst, Putzerneuerung oder Entsorgung alter Fenster werden nicht berücksichtigt. Es handelt sich also um Mehrkosten, die zu Instandhaltungskosten bzw. Erneuerungskosten hinzu addiert werden müssen. In der zweiten Darstellung werden die Gesamtinvestitionskosten, also die Summe der Investition für die Energieeinsparung und die Ohnehinkosten, d.h. die Kosten der Investition für Instandhaltung oder Erneuerung, angesetzt.

Für eine präzisere Darstellung der Kosten und Amortisationsdauern werden die Dämmmaßnahmen im Einzelnen betrachtet. Somit ergibt sich eine Darstellung, in der für jedes Bauteil die zugehörige Amortisationsdauer angegeben wird.

Die Kapitalkosten berechnen sich nach der Annuitätenmethode zu einem Anteil von 70 % der Investitionen mit 2,01 % effektivem Zinssatz nach einem KfW-Kommunalkredit „Energetische Gebäudesanierung“<sup>1</sup> und zu einem Anteil von 30 % der Investitionen mit einem Zinssatz von 5 %, beides mit 30 Jahren rechnerischer Nutzungsdauer. Dieses Kreditprogramm ist für die energetischen Investitionen an Schulen, Schulsporthallen, Kindertagesstätten und Gebäude der Kinder- und Jugendarbeit vorgesehen. Nach dem aktuellen Stand der Zinssätze vom 01.02.2008 bewegen sich die effektiven Zinssätze abhängig von den Konditionen zwischen 1,5 und 2,3 %.

Um Antragsberechtigt für einen KfW-Kommunalkredit zu sein, müssen ab 1. Oktober mindestens drei Maßnahmen aus einem von der KfW festgeschriebenen Katalog umgesetzt werden. Es sind folgende Maßnahmen an der Gebäudehülle vorgeschlagen:

- Wärmedämmung der Außenwände
- Wärmedämmung des Daches
- Austausch von Fenstern und Türen
- Dämmung der Kellerdecke

Für die übrigen 30 % der Investitionssumme werden ein Zinssatz von 5 % und eine Abschreibedauer von 30 Jahren angesetzt.

Aufgrund des reduzierten Jahreswärmeverbrauchs werden die eingesparten Verbrauchskosten gegenüber dem Ist-Zustand ermittelt. Dazu wird der aktuelle Heizölpreise herangezogen.

Spez. Heizölpreis ([www.heizoelboerse.de](http://www.heizoelboerse.de), KW 11) 75,11 Ct/l zzgl. MwSt.

---

<sup>1</sup> KfW-Förderbank: KfW-Kommunalkredit Stand 01.02.2008: max. 30 Jahre Laufzeit, max. 5 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist

Die Kosten der energetischen Maßnahmen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Dabei wurden die Kapitalkosten aller Varianten zu 70 % über den günstigen Zinssatz des KfW-Kredits berechnet. Dies dient nur der Vergleichbarkeit der Einzelmaßnahmen, diese lassen sich aber einzeln nicht zu den günstigen Konditionen des KfW-Kredits fördern, da wenigstens drei Maßnahmen aus dem Katalog der KfW-Förderbank umgesetzt werden müssen, um antragsberechtigt für den Kommunalkredit zu sein.

		Wand	Fenster	Dach	Keller	Summe
Einsparung	€/a	6.970	960	5.890	1.210	15.030
Investition	€	124.900	2.000	50.100	12.800	189.800
Kapitalkosten	€/a	6.350	100	2.550	650	9.650
Jahresüberschuss	€/a	620	860	3.340	560	5.380
statische Amortisationszeit	a	17,9	2,1	8,5	10,6	12,6

**Tabelle 3-8 Investition - Mehrkosten für energetische Sanierung gg. Sanierung ohne energetische Maßnahmen (inkl. 19 % MwSt.)**

Die Investitionskosten der Einzelvarianten amortisieren sich alle innerhalb der Abschreibungsdauer. In der Summe betrachtet liegt die statische Amortisationsdauer mit 13 Jahren deutlich innerhalb der Abschreibedauer von 30 Jahren.

In der nächsten Tabelle werden nun die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung basierend auf der Gesamtinvestition aufgeführt. Da sowohl für die Außenwanddämmung als auch für den Austausch der Fenster ein Gerüst benötigt wird, ist dieses in der Einzelaufstellung der Varianten jeweils beinhaltet. In der Summe der Investitionen ist das Gerüst allerdings nur einmal für die Umsetzung aller Maßnahmen einkalkuliert.

		Wand	Fenster	Dach	Keller	Summe
Einsparung	€/a	6.970	960	5.890	1.210	15.030
Investition	€	164.800	32.320	50.100	12.800	254.200
Kapitalkosten	€/a	8.370	1.650	2.550	650	12.920
Jahresüberschuss	€/a	-1.400	-690	3.340	560	2.110
statische Amortisationszeit	a	23,6	33,7	8,5	10,6	16,9

**Tabelle 3-9 Wirtschaftlichkeit der Sanierung inkl. aller Investitionskosten (inkl. 19 % MwSt.)**

Unter Einbeziehung der erforderlichen Gesamtinvestitionskosten zur Umsetzung des verbesserten Wärmedämmstandards können die eingesparten Brennstoffkosten die jährlichen Kapitalkosten nur beim Dach und der Kellerdecke direkt decken. Dennoch amortisieren sich alle Maßnahmen innerhalb bzw. die Fenster geringfügig nach der rechnerischen Nutzungsdauer. In der Gesamtvariante liegt die statische Amortisationszeit mit etwa 17 Jahren halb so hoch wie die Abschreibedauer.

Die gestalterisch ansprechendste Alternative zu der hier dargestellten Wanddämmung stellt eine Vorhang- bzw. hinterlüftete Fassade dar. Dabei wird im Abstand von wenigen Zentimetern, in denen eine Luftschicht zirkulieren kann, eine zweite Wand mit Dämmung und einer wetterresistenten Aussenfassade aufgebaut. Die Dämmstärken sind bei der Vorhangfassade frei wählbar und nicht durch die Fensterrahmen- und laibungen begrenzt. Nachteil bei der Konstruktion einer solchen Fassade liegt in den hohen Kosten. Es kann mit ca. 300 €/m<sup>2</sup> gerechnet werden d.h. mit etwa 220.000 € für die Dämmung der Außenwände.

## 4 Wärmezeugung

Die Heizöl-Kessel der Janusz-Korczak-Schule sind kurz- bis mittelfristig zu erneuern. Als Vergleichsgrundlage für die regenerativen Energiekonzepte wurde der Austausch der vorhandenen Kessel betrachtet. Dabei wurde bei der Anlagenkonzeption bereits vom zuvor dargestellten gedämmten Gebäudezustand ausgegangen. Die Einsparung des berechneten Wärmebedarfs wurde auf den tatsächlichen Wärmeverbrauch umgelegt.

Um die verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten bewerten zu können, werden diese im Folgenden einander gegenübergestellt.

Es werden folgende Varianten untersucht:

- **Ist-Zustand** Heizöl-Kessel (523 kW<sub>th</sub>)
- **Basisvariante** Erdgas-Kessel (230 kW<sub>th</sub>)
- **Variante 1** Holzpelletkessel (230 kW<sub>th</sub>)
- **Variante 2a** Erdgas-BHKW wärmegeführt (32 kW<sub>th</sub>) + Erdgaskessel (195 kW<sub>th</sub>)
- **(Variante 2b** Erdgas-BHKW stromgeführt + Erdgaskessel)
- **(Variante 3** Wärmepumpe + Heizöl-Kessel)

Die Beschreibung der Techniken sowie die Konzeption der Anlagen erfolgt in den folgenden Kapiteln.

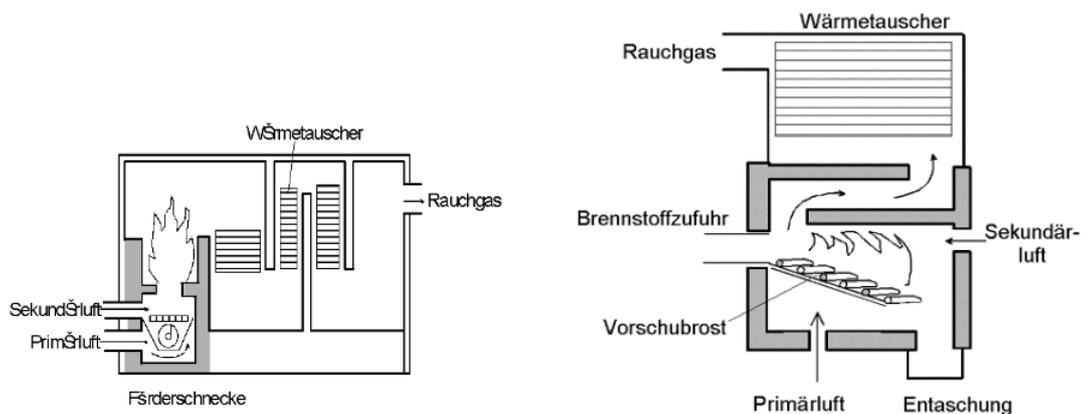
### 4.1 Holzpellets

Holzpellets werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Sie besitzen einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm. Als Bindemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin und ggf. Speisestärke. In der DIN 51731 sind die Qualitätskriterien der Holzpellets festgelegt, so dass ihr Heizwert mindestens 4,9 kWh<sub>HU</sub>/kg betragen muss. Außerdem muss das Schüttgewicht 650 kg/Sm<sup>3</sup> aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh<sub>HU</sub> auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhalts benötigen Holzpellets im Vergleich zu Holzhackschnitzeln ein wesentlich geringeres Lager-volumen. Weitergehende Qualitätsanforderungen werden durch das DINplus-Zertifikat und die österreichische Norm M 7135 sichergestellt.

Die Holzpellets werden im Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch ins Lager eingeblasen. Das Holzpelletlager sollte sich direkt neben dem Heizungsraum befinden, um lange Transportwege zu vermeiden. Als Lager kann ein Raum des zu beheizenden Gebäudes, ein Erdbunker, ein Container oder ein Silo eingesetzt werden.

Für Lagermengen bis zu 15 t eines festen Brennstoffs bestehen keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und Nutzen nach der Feuerungsanlagenverordnung. Ab 15 t sind die Lager nach baurechtlichen Vorgaben der Feuerungsanlagenverordnung auszuführen.

Unterschiedliche Austragungssysteme abhängig vom Holzpelletlager transportieren die Holzpellets aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Austragungsschnecken, Rührfederaustragung und Pendelschnecken eingesetzt.



**Abbildung 4-1 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung  
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)**

Im Brennraum bilden die Holzpellets unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben. Eine Rostfeuerung ermöglicht eine Vortrocknung z.B. auch von Holzhackschnitzeln mit einer etwas höheren Restfeuchte, indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über den Rost geführt werden, getrocknet wird. Bei der Holzpelletverbrennung wird meist eine Unterschubfeuerung eingesetzt.

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärmeproduktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungsregelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

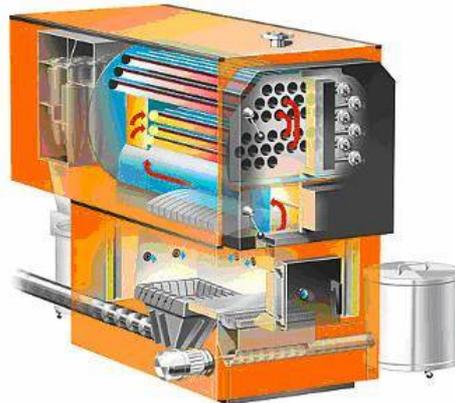
Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einem oder mehreren Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab etwa 500 kW<sub>th</sub> werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt. Um auch den Feinstaubgehalt im Rauchgas zu reduzieren, kann bei Rücklauftemperaturen < 58 °C ein Abgaswärmetauscher eingesetzt werden. Durch den Wärmetauscher werden die Feinstaubemissionen bis zu 70 % reduziert und durch die Nutzung der Abwärme aus dem Rauchgas wird die Effizienz des Holzkessels gesteigert. Es befinden sich derzeit zwei Geräte auf dem Markt, die sich für den Einsatz hinter einem Holzkessel eignen: die Hydrobox von Schröder und der Abgaswärmetauscher von Bomat.

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schaltheufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrieben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig

zu halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast mit 20 bis 40 % der Gesamtwärmeleistung ausgelegt, der dann 70 bis 85 % des Wärmebedarfs abdeckt, während ein erdgas- oder heizölbefuerter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

Bis zu einer Leistungsgröße von 300 bis 500 kW<sub>th</sub> wird ein Holzpelletkessel in der Regel monovalent betrieben. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird der Biomassekessel in der Regel mit einem zusätzlichen, aufschwenkbaren Ölbrenner ausgestattet.



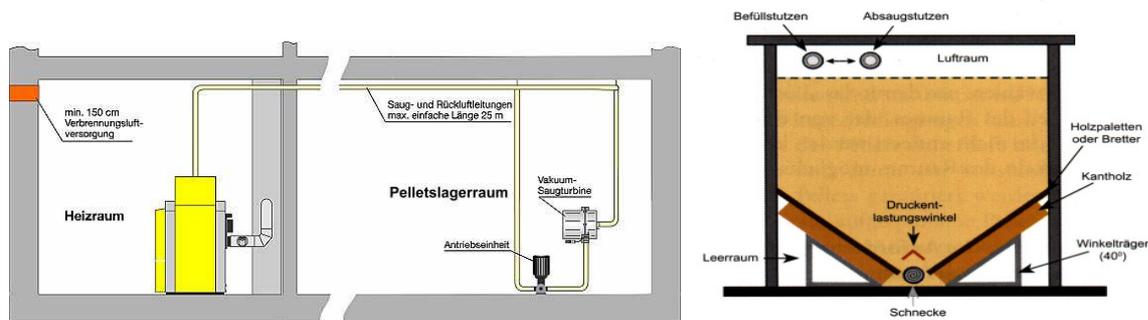
**Abbildung 4-2 Biomassekessel mit Unterschubfeuerung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)**

Für die Jansuz-Korczak-Schule in Sinzig wird ein Holzpelletkessel mit 230 kW<sub>th</sub> betrachtet. Der Holzpelletskessel wird durch einen Pufferspeicher mit 7.000 l ergänzt.

Das Holzpelletlager kann in dem ehemaligen Koksraum, in dem sich zurzeit die Heizöltanks befinden, eingebaut werden. Die Einhaltung der Brandschutzvorschriften bleibt durch den zuständigen Brandschutzbeauftragten der Kreisverwaltung Ahrweiler zu überprüfen.

Die vorhandenen Heizölstahltanks werden demontiert und entsorgt, in den Raum werden Schrägen eingezogen und eine Schnecke installiert, die die Pellets aus dem Raum transportiert. Die Schnecke muss in mehreren Einzelteilen in den Lagerraum eingebracht werden und Vor-Ort zu einem Stück verschweißt werden. Die Einbringung der Schnecke bleibt bei einer Planung im Detail zu prüfen. Zum Einblasen der Pellets können die vorhandenen Schächte genutzt werden, durch die früher die Kohle eingebracht wurde. Auch hier sind Umbauarbeiten wie z.B. die Einblasstutzen vorzunehmen. Um die Pellets von dem Lagerraum zu dem Holzpelletkessel, der anstelle eines vorhandenen Heizölkessel installiert werden kann, zu transportieren, wird eine weitere Schnecke zwischen dem Lager und dem Kessel installiert. Diese Transportschnecke bringt die Pellets vom Lager an den Kessel, wo sie von der oberen Ebene des Heizraums in einen Vorratsbehälter neben dem Kessel geschüttet werden. Zwischen der Austragungsschnecke und der Transportschnecke zum Lager muss eine Umlenkung an der kurzen Seite des Lagerraums eingebaut werden, die für Wartungszwecke zugänglich bleiben sollte. Durch die Umlenkung wird das Lagervolumen von 54 m<sup>3</sup> auf etwa 34 m<sup>3</sup> vermindert. Die Größe des ehemaligen Koksraums ist auch so noch ausreichend, um 24 Sm<sup>3</sup> bzw. 15,5 t Holzpellets aufzunehmen. Die unterschiedlichen Volumina resultieren aus dem nicht nutzbaren Raum unterhalb des Lagers und dem Schüttkegel, der sich beim Befüllen des Lagers ausbildet und das Lager nur bis zu ca. 70 % mit Holzpellets gefüllt werden kann. Bei vollständiger Füllung des Lagerraums kann der Holzpelletkessel 12 Tage mit Volllast betrieben werden.

Alternativ zu der hier dargestellten Lagervariante besteht die Möglichkeit, in dem Heizraum direkt neben den Kesseln ein Lager zu errichten. Die Lageraustragung kann hier mit einer Schnecke erfolgen, die die Pellets direkt an den Kessel transportiert. Die Befüllung des Lagers kann auch hier vom Schulhof aus erfolgen. Bei einer Planung bleibt hier zu prüfen, welche Umbauten vorgenommen und welche Leitungen (z.B. Elektroleitungen) und Einbauten entfernt werden müssen.



**Abbildung 4-3 Holzpelletlager**

Der Einsatz von Holzhackschnitzeln wurde aufgrund des benötigten Lagervolumens ausgeschlossen. Um wenigstens fünf Tage Vollastbetrieb zu gewährleisten, müssen in einem Holzhackschnitzellager mindestens  $62 \text{ m}^3$  Lagerraum zur Verfügung stehen. Unter Berücksichtigung einer hydraulischen Austragungsanlage stehen in dem ehemaligen Kokslageraum jedoch nur ca.  $34 \text{ m}^3$  zur Lagervolumen zur Verfügung. Ein weiteres Problem beim Einsatz von Holzhackschnitzeln stellt bei der Janusz-Korczal-Schule die Einbringung der Holzhackschnitzel in den Lagerraum dar. Im Gegensatz zu den Holzpellets sind die Holzhackschnitzel nicht fließfähig und können nicht in den Lagerraum eingeblasen werden sondern müssen vom LKW direkt in den Lagerraum geschüttet werden. Die Integration einer Holzhackschnitzelanlage in die bestehenden Räumlichkeiten wird also ausgeschlossen.

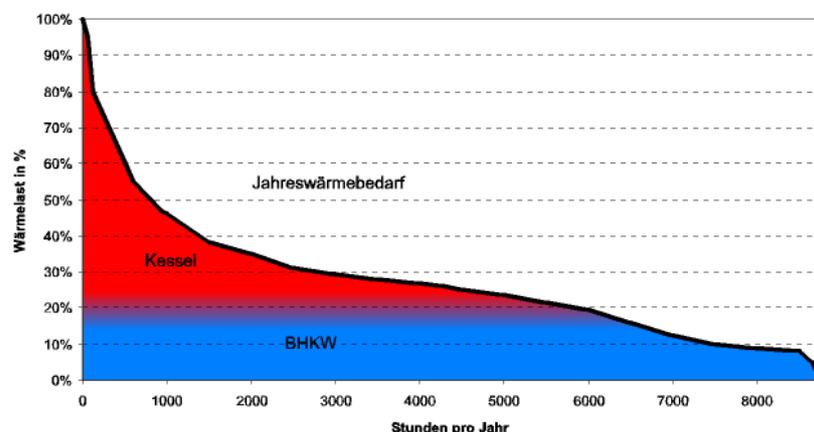
## 4.2 Blockheizkraftwerk

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Die freiwerdende Wärme des Motors kann in das Wärmenetz eingespeist werden. Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) ermöglicht eine effizientere Nutzung des eingesetzten Brennstoffs, da zusätzlich zur Stromerzeugung die entstehende Abwärme nutzbar ist. Ein wärmegeführter Betrieb des Blockheizkraftwerks ermöglicht eine Grundlastabdeckung des Wärmebedarfs; der gleichzeitig erzeugte Strom kann ins Hausnetz zum Eigenverbrauch und der Überschussstrom ins öffentliche Netz eingespeist werden. Durch den Eigenverbrauch des erzeugten Stromes reduzieren sich die Stromkosten. Für die Einspeisung ins öffentliche Netz zahlt das zuständige Energieversorgungsunternehmen eine Einspeisevergütung. Außerdem erhält der Betreiber nach dem KWK-Gesetz eine Zuschlagszahlung für den eingespeisten Strom. BHKW's können mit Erdgas, Biogas, Heizöl und Pflanzenöl betrieben werden. Beim Einsatz von Biogas und Pflanzenöl erfolgt die Vergütung des eingespeisten Stroms nicht nach dem KWK-Gesetz sondern nach dem Erneuerbar-Energien-Gesetz (EEG).



**Abbildung 4-4 Motor-BHKW (Quelle: Fa. Comuna Metall)**

Die Wirtschaftlichkeit eines wärmegeführten BHKW gegenüber konventionellen Systemen kann nur dann erreicht werden, wenn die einzelnen Module eine möglichst hohe Vollbenutzungsstundenzahl ( $> 5.000 \text{ h/a}$ ) erreichen (Vollbenutzungsstunden: Jahresarbeit in kWh/a / Nennleistung in kW). Aus diesem Grund werden wärmegeführte BHKW zur Deckung der Wärmegrundlast ausgelegt. Bei überwiegender Wärmenutzung für die Raumheizung liegt die thermische Leistung im Bereich zwischen 10 % und 25 % des maximalen Leistungsbedarfs. Wesentlich für die Auslegung ist darüber hinaus die Grundlast durch Warmwasserbereitung. Der Anteil des BHKW an der Jahresarbeit erreicht je nach Verlauf der Jahresganglinie Werte von bis zu 70 %.



**Abbildung 4-5 Geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs**

Um Schwankungen des Wärmebedarfs im Tagesverlauf auszugleichen, bietet sich die Einbindung eines Pufferspeichers an. Dieser trägt zur Vergleichmäßigung des BHKW-Betriebes bei und entkoppelt die Wärmeerzeugung vom Verbrauch. Der Pufferspeicher muss dabei so groß dimensioniert werden, dass er die BHKW-Wärme in Schwachlastzeiten aufnehmen kann. Schwankungen des Wärmebedarfs im Tagesverlauf kann auch durch eine modulierende Fahrweise des BHKW begegnet werden, wobei der Betrieb im Teillastbereich eher die Ausnahme sein sollte.

Der Leistungsbedarf oberhalb der BHKW-Leistung wird mit einem Spitzenkessel abgedeckt, der anhand des maximalen Wärmeleistungsbedarfs dimensioniert wird.

In Variante 2a wird der Leistungsbedarf der Janusz-Korczak in den folgenden Betrachtungen durch ein wärmegeführtes Erdgas-BHKW mit  $32 \text{ kW}_{\text{th}}$  und  $17 \text{ kW}_{\text{el}}$  und einen Erdgas-Niedertemperaturkessel mit  $195 \text{ kW}_{\text{th}}$  abgedeckt. Mit dem BHKW können voraussichtlich ca. 4.300 Vollbenutzungsstunden pro Jahr erreicht werden. Das BHKW deckt damit 14 % des Leistungs- und ca. 60 % des Wärmebedarfs der Janusz-Korczak-Schule ab. Der thermische Wirkungsgrad beträgt 60 % und der elektrische 32 %.

Es wird davon ausgegangen, dass 70 % des Strombedarfs der Schule durch das BHKW abgedeckt werden ( $38.060 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$ ). Der restliche Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist und nach dem KWKG-Gesetz vergütet ( $34.9400 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$ ).

Ein stromgeführtes BHKW eignet sich nicht für den Einsatz an der Janus-Korczak-Schule. In den Sommermonaten würde das BHKW lediglich der Abdeckung des Strombedarfs dienen. Die überschüssige Wärmeenergie kann nicht genutzt werden und muss über einen Notkühler, der zusätzliche Investitionskosten verursacht, an die Atmosphäre abgegeben werden. Sowohl der ökologische als auch der wirtschaftliche Einsatz eines BHKW's ist bei dieser Betriebsweise nicht gewährleistet. In Winternächten sinkt der Stromleistungsbedarf der Schule schätzungsweise auf 1-2 kW ab. Das kleinste BHKW der entsprechenden Größenordnung hat lediglich eine Leistung von  $4 \text{ kW}_{\text{el}}$  und  $8 \text{ kW}_{\text{th}}$ . In Hinsicht auf den Wärmeleistungsbedarf und auch den Stromleistungsbedarf tagsüber ist ein solches BHKW also stark unterdimensioniert. Wird das BHKW größer dimensioniert, sinken die Vollbenutzungsstunden ab und die Wirtschaftlichkeit sinkt. Eine detaillierte Überprüfung eines stromgeführten BHKW's kann lediglich mit einem Stromlastgang erfolgen. Da der wirtschaftlich und ökologisch effiziente Betrieb eines stromgeführten BHKW's jedoch ausgeschlossen werden kann, wird hier auf eine detaillierte Untersuchung verzichtet.

Der gleichzeitige Einsatz einer Solarthermieanlage und eines BHKW's ist nicht sinnvoll, da ein BHKW im Sommer auch den Brauchwarmwasserbedarf abdecken sollte, um hohe Vollbenutzungsstunden zu erreichen und wirtschaftlich betrieben werden zu können.

### 4.3 Wärmepumpe

Mit Wärmepumpen kann Umweltwärme eines niedrigen Temperaturniveaus mit Hilfe zugeführter Antriebsenergie auf ein hohes Temperaturniveau angehoben werden und dadurch für Heizzwecke nutzbar gemacht werden.

Als Wärmequelle kann das Erdreich, Wasser und auch Luft dienen. Die Wärmequelle wird in einem Verdampfer durch ein Arbeitsmittel, das bereits bei niedrigen Temperaturen und geringem Druck verdampft, Wärme entzogen. Das nach der Wärmeaufnahme gasförmige Kälte- bzw. Arbeitsmittel wird anschließend in einem Verdichter komprimiert und durch die Druckerhöhung ( $> 20 \text{ bar}$ ) auf eine höhere Temperatur gebracht. Danach wird es in einem Kondensator wieder verflüssigt und die dabei freiwerdende Wärme geht auf einen Wärmeträger (z.B. Heizungswasser) über. Wenn sich das Arbeitsmittel nach dem Durchgang durch ein Entspannungsventil wieder im Ausgangszustand befindet, geht es wieder in den Verdampfer, um erneut Umgebungswärme aufzunehmen.

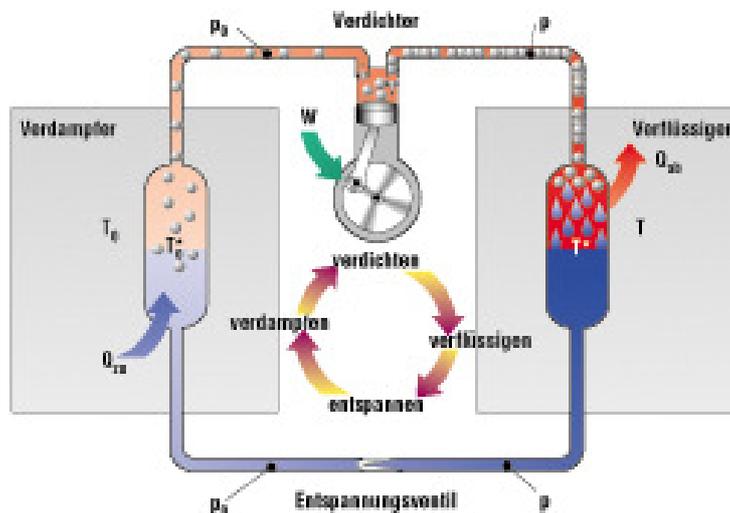


Abbildung 4-6 Prinzip Wärmepumpe (Quelle: <http://www.waermepumpe-bwp.de>)

Kehrt man die Fließrichtung des Kältemittels durch ein Vierwege-Umschaltventil um, so kann mit einer Wärmepumpe auch gekühlt werden.

Wie viel Umweltenergie die Wärmepumpe für Heiz- oder Kühlzwecke verfügbar macht, hängt von der Temperaturdifferenz der Wärmequelle und der Wärmenutzungsanlage ab.

Damit mit der Wärmepumpe eine möglichst hohe Leistungszahl erreicht wird, ein hoher Anteil an Umweltenergie genutzt wird und möglichst wenig hochwertige Energie wie z.B. Strom oder Erdgas am Kompressor zugeführt werden muss, sollte die zu überbrückende Wärmedifferenz möglichst gering gehalten werden. Dies erreicht man durch ein möglichst hohes Temperaturniveau der Wärmequelle und ein möglichst niedriges Temperaturniveau des Wärmeverteilsystems (z.B. Fußbodenheizung VL  $35^\circ\text{C}$ ).

Bei einem bivalenten Betrieb sollte die Wärmepumpe wegen der hohen spezifischen Kosten nur die Grundlast abdecken. Das bedeutet, dass sie ca. 30 - 50 % der Wärmeleistung abdeckt, während die Spitzenlast von einem anderen Wärmeerzeuger z.B. einem Elektroheizstab oder einem Kessel abgedeckt wird. Dimensioniert man die Wärmepumpe zu klein, so erzielt man nur eine geringe Brennstoffeinsparung, dimensioniert man sie zu groß, so

taktet die Wärmepumpe zu oft, wodurch die Standzeit verringert wird und Verluste in Effizienz und Komfort auftreten.

Durch einen Pufferspeicher kann ein Lastausgleich geschaffen werden und dadurch die Schalthäufigkeit verringert werden, wodurch die Wärmepumpe längere Standzeiten erreicht. Ein Pufferspeicher sollte ca. 20 bis 50 l/kW<sub>th</sub> fassen und so dimensioniert sein, dass die Wärmepumpe mindestens drei Stunden laufen kann.

Damit eine Wärmepumpe in der Janusz-Korczak-Schule zum Einsatz kommen kann bzw. Energieeinsparungen erzielt werden, müssen einige Grundvoraussetzungen erfüllt werden. Das Gebäude muss soweit gedämmt werden, dass mindestens Neubauniveau erreicht wird. Wie in Kapitel 3 dargestellt werden die Modernisierungsmaßnahmen jedoch durch die Dämmstärken, die an den Fensterlaibungen angebracht werden können bzw. die sinnvoll installierbaren Dämmstärken im Brüstungsbereich begrenzt. Der Altbau erreicht auch nach allen dargestellten Maßnahmen lediglich 9 Liter-Standard.

Wärmepumpen finden optimalerweise in Kombination mit Nieder-Temperaturheizsystemen wie z.B. Fußbodenheizungen (VL 35°C) Anwendung und werden nur in Ausnahmefällen bis 60°C betrieben, wobei sie sehr schlechte Leistungszahlen erreichen. Durch entsprechende Dämmmaßnahmen kann die Vorlauftemperatur in den vorhandenen Heizkörpern soweit abgesenkt werden, so dass eine Wärmepumpe zumindest einen Teil der Wärmeerzeugung übernehmen kann. Werden alle dargestellten Maßnahmen durchgeführt, so kann die Vorlauftemperatur in den Heizkörpern auf ca. 50°C abgesenkt werden. Das Temperaturniveau bleibt für jeden Raum im Detail zu prüfen. Mit dieser Vorlauftemperatur können durch eine Wärmepumpe so gut wie keine Einsparungen erzielt werden. Lediglich in den Übergangszeiten kann sie sinnvoll genutzt werden. Alternativ zur Temperaturabsenkung in den vorhandenen Heizkörpern kann eine Fußbodenheizung installiert werden. Der Aufwand für diese Umbaumaßnahme ist jedoch unverhältnismäßig zu dem Nutzen der durch einen Einsatz der Wärmepumpe erzielt werden kann. Die Bodenaufbauten werden um einige Zentimeter erhöht, die Türen müssen angepasst werden und sämtliche Fußböden im Rahmen der Maßnahme erneuert werden

Dennoch wurden Überlegungen zu einem bivalenten Betrieb der Anlage angestellt, in der die Wärmepumpe neben einem zweiten Wärmeerzeuger wie z.B. einem Erdgaskessel zum Einsatz kommt. Die Wärmepumpe wird dabei lediglich auf 30-50 % des Leistungsbedarfs des Gebäudes ausgelegt und in den Wintermonaten, wenn die Leistung der Wärmepumpe nicht mehr ausreicht, wird der zweite Wärmeerzeuger zugeschaltet. Bei einer solchen Auslegung könnte die Wärmepumpe mit einer Leistung von ca. 80-100 kW<sub>th</sub> etwa 60-70 % des Wärmebedarfs abdecken. Die Kosten für eine Erdwärmebohrung in der entsprechenden Größenordnung stehen wiederum in keinem Verhältnis zu den erzielbaren Einsparungen. Bei einer Luft-Wärmepumpe dieser Größenordnung treten Probleme mit den äußerst großen Leistungsdifferenzen zwischen der Sommer- und der Winterleistung auf. In den Sommermonaten, wenn die Schule keinen Wärmebedarf aufweist, würde die Wärmepumpe die günstigsten Leistungszahlen und die größte Leistung aufweisen. Um die großen Leistungsunterschiede abzupuffern ist ein Kaskadensystem mit mehreren Wärmepumpen denkbar. Auch

hier stehen die Kosten jedoch nicht im Verhältnis zu den Einsparungen, die mit einer Wärmepumpe, bei den ungünstigen Bedingungen auf der Abnehmerseite erzielt werden können. Die Janusz-Korczak-Schule ist also für den Einsatz einer Wärmepumpe nur sehr schlecht geeignet und auf weitere Betrachtungen wird hier deshalb verzichtet.

#### 4.4 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten aufgeführt.

		Ist-Zustand Heizöl	Basis-variante Erdgas-BW	Variante 1 Holzpellets	Variante 2 Erdgas-BHKW wärmegeführt
Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a	229.100	229.100	229.100	229.100
Wärmeleistungsbedarf	kW <sub>th</sub>	230	230	230	230
Nennwärmeleistung vorhandene Heizölkessel	kW <sub>th</sub>	523			
Nennwärmeleistung Erdgaskessel	kW <sub>th</sub>		230		195
Nennwärmeleistung Holzpelletskessel	kW <sub>th</sub>			230	
Nennwärmeleistung BHKW	kW <sub>th</sub>				32
Elektrische Nennleistung BHKW	kW <sub>el</sub>				17
Wärmeerzeugung Heizölkessel	kWh <sub>th</sub> /a	229.100			
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh <sub>th</sub> /a		229.100		91.600
Wärmeerzeugung Holzpelletskessel	kWh <sub>th</sub> /a			229.100	
Wärmenutzung BHKW	kWh <sub>th</sub> /a				137.500
Stromerzeugung BHKW	kWh <sub>el</sub> /a				73.000
Stromnutzung Schule	kWh <sub>el</sub> /a				38.060
Stromeinspeisung nach KWK	kWh <sub>el</sub> /a				34.940
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh <sub>HU</sub> /a	266.400			
Brennstoffbedarf Heizöl	l/a	26.640			
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh <sub>HU</sub> /a		233.800		329.400
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh <sub>Ho</sub> /a		257.200		362.300
Brennstoffbedarf Holzpellets	kWh <sub>HU</sub> /a			269.500	
Brennstoffbedarf Holzpellets	t/a			54	

Tabelle 4-1 Energiebilanz

Durch den Einsatz eines Erdgas-BHKW's wird mehr Erdgas verbraucht. Hier muss allerdings berücksichtigt werden, dass neben der Wärme auch hochwertiger Strom erzeugt wird,

der dann nicht in einem Kraftwerk mit niedrigeren Wirkungsgraden erzeugt werden muss. Der im BHKW eingesetzte Brennstoff wird also sehr effizient ausgenutzt.

Bei dem stromgeführten BHKW sinkt die Effizienz aufgrund der fehlenden Wärmenutzung deutlich ab.

#### 4.5 Kohlendioxidemissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der zentralen Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Äquivalent-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emission nach GEMIS bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs bzw. bei Holz auf die erzeugte Wärmemenge der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission von Erdgas beträgt 253,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub>, die von Heizöl 328,7 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub> die von Holzpellets 33,7 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>th</sub> und die von Strom beträgt 641,3 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub> bezogen.

		Ist-Zustand	Basis-variante	Variante 1	Variante 2
		Heizöl	Erdgas-BW	Holzpellets	Erdgas-BHKW wärmegeführt
Heizölbedarf	kWh <sub>Hu</sub> /a	266.400			
Erdgasbedarf	kWh <sub>Hu</sub> /a		233.800		329.400
Wärme aus Holzpellets	kWh <sub>th</sub> /a			229.100	
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	2.300	2.300	4.600	2.300
Stromerzeugung BHKW	kWh <sub>el</sub> /a				73.000
CO <sub>2</sub> -Emission Heizöl	kg CO <sub>2</sub> /a	87.570			
CO <sub>2</sub> -Emission Erdgas	kg CO <sub>2</sub> /a		59.290		83.540
CO <sub>2</sub> -Emission Holzpellets	kg CO <sub>2</sub> /a			9.080	
CO <sub>2</sub> -Emission Strom (Hilfsenergie)	kg CO <sub>2</sub> /a	1.470	1.470	2.950	1.470
CO <sub>2</sub> -Einsparung Strom	kg CO <sub>2</sub> /a				46.810
<b>Summe CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>89.040</b>	<b>60.760</b>	<b>12.030</b>	<b>38.200</b>
<b>Einsparung CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/a</b>		<b>28.280</b>	<b>77.010</b>	<b>50.840</b>
<b>Einsparung CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>%</b>		<b>32</b>	<b>87</b>	<b>57</b>

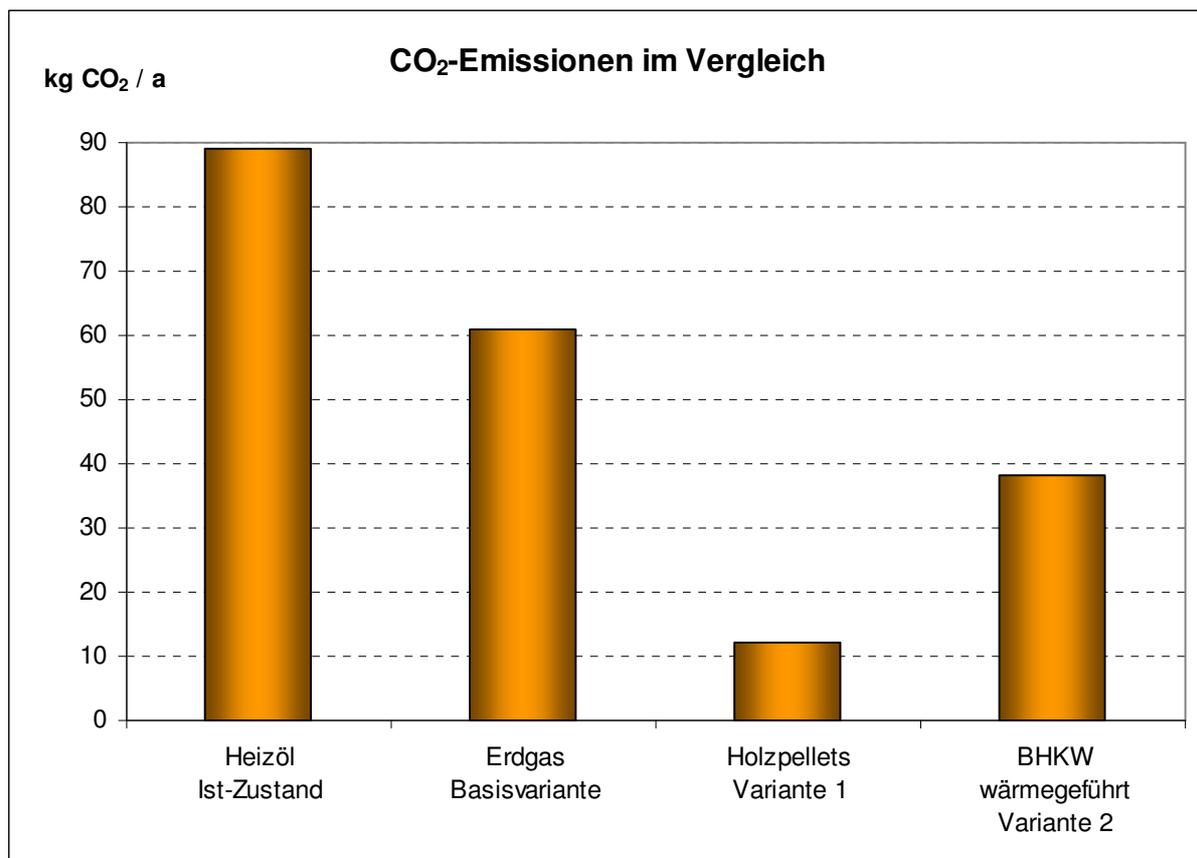
Tabelle 4-2 Kohlendioxidemissionsbilanz

Wird die Wärmeversorgung der Janusz-Korczak-Schule durch einen Holzpelletkessel anstatt durch die vorhandenen Heizölkessel abgedeckt, so werden ca. 77 t CO<sub>2</sub>/a und damit ca. 87 % der Emissionen eingespart. Durch die Kohlendioxidaufnahme der Bäume während des Wachstums, ist Holz bis auf die Verarbeitung zu Brennstoff und den Transport weitgehend emissionsneutral.

Durch die Erneuerung der Kessel und die Brennstoffumstellung auf Erdgas können 28 t CO<sub>2</sub>/a und damit 32 % der Emissionen eingespart werden.

Ergänzt man die Wärmeerzeugung durch ein Erdgas-BHKW, so können 51 t CO<sub>2</sub>/a und damit ca. 57 % der Emissionen eingespart werden. Die Einsparung durch das BHKW ist auf den Strom, der durch das BHKW erzeugt wird und nicht mehr in einem Kraftwerk erzeugt werden muss, zurückzuführen.

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt.



**Abbildung 4-7 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen**

Das Diagramm zeigt deutlich die Einsparung der Kohlendioxid-Emissionen durch die alternativen Wärmeerzeugungsanlagen im Vergleich zur herkömmlichen Wärmeversorgung.

## 4.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt. Dabei werden lediglich die Kosten berücksichtigt, die sich bei den verschiedenen Energieträgern unterscheiden. Die Kosten, die bei allen Wärmeerzeugungsvarianten anfallen wie z.B. die Erneuerung der Heizungspumpen oder die Isolierung der Rohrleitungen werden in dem Konzept nicht berücksichtigt.

Die Vergütung des durch das BHKW eingespeisten Stroms erfolgt nach dem KWK-Gesetz. Die Einspeisevergütung wird dabei für die nächsten 10 Jahre garantiert. Der durch das BHKW erzeugte Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist und bei dem Erdgas-BHKW nach dem KWK-Gesetz zurzeit mit 9,41 Ct/kWh<sub>el</sub> vergütet. Die Einspeisevergütung setzt sich zusammen aus dem Netznutzungsentgelt (0,5 Ct/kWh<sub>el</sub>), der Zuschlagszahlung nach KWK-Gesetz (5,11 Ct/kWh<sub>el</sub>) und dem Quartalspreis der Strombörse (3,8 Ct/kWh<sub>el</sub>; Mittelwert der vier letzten Quartale; [http://www.bhkw-infozentrum.de/statement/ueblicher\\_preis\\_bhkw.html](http://www.bhkw-infozentrum.de/statement/ueblicher_preis_bhkw.html)).

Das im BHKW verbrauchte Erdgas wird aufgrund der umweltfreundlichen Kraft-Wärme-Kopplung bei einem Jahresnutzungsgrad von mehr als 70 % von der Energiesteuer befreit. Bei der Errichtung eines Holzpelletkessels kann im Rahmen des „KfW-Programms Erneuerbare Energien“ bei der KfW Förderbank ein zinsgünstiger Kredit beantragt werden.

Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 5. Dezember 2007“ werden automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW<sub>th</sub> durch einen Teilschulderlass auf den KfW-Kredit von 20 € je kW<sub>th</sub> (höchstens 50.000 €) gefördert. Die Förderung wird um 10 €/kW<sub>th</sub> erhöht, sofern für den Kessel ein Pufferspeicher mit einem Mindestvolumen von 30 l/kW<sub>th</sub> installiert wird.

Für die folgenden Berechnungen wurde von einem Zinssatz von 5 % ausgegangen.

Es wurde die Mehrwertsteuer von 19 % berücksichtigt.

### Rahmenbedingungen

#### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz für 70 % der Investition	2,21 %
Zinssatz 30 % der Investition (außer bei Variante 1)	5 %
Zinssatz 30 % der Investition (bei Variante 1)	4,43 %
Abschreibungsdauer Heizkessel	20 Jahre
Abschreibungsdauer BHKW	15 Jahre
Abschreibungsdauer Holzpelletlager	50 Jahre

Abschreibungsdauer Kamin	40 Jahre
Abschreibungsdauer Erdgasleitung	40 Jahre
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Erdgas	4,057 Ct/kWh <sub>Ho</sub> zzgl. MwSt.
Grundpreis Erdgas	399,85 €/a zzgl. MwSt.
Holzpelletpreis	170 €/t zzgl MwSt. (7 %)
<a href="http://www.depv.de/marktdaten/pelletspreise/">www.depv.de/marktdaten/pelletspreise/</a> ; Februar 2008; der Preis wurde aufgrund der Größenordnung der Anlage etwas herabgesetzt)	
Strompreis	17,3 Ct/kWh <sub>el</sub> zzgl. MwSt.
Energiesteuerrückerstattung Erdgas-BHKW	0,55 Ct/kWh <sub>Ho</sub>
Einspeisevergütung nach KWK-Gesetz	9,41 Ct/kWh <sub>el</sub>
Einspeisevergütung ohne KWK	4,30 Ct/kWh <sub>el</sub>

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizkessel)
Wartung / Instandhaltung Erdgas-BHKW	2,7 Ct/kWh <sub>el</sub>
Personalkosten	30 €/h zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Erdgaskessel / BHKW	80 €/a zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Holzpelletkessel	105 €/a zzgl. MwSt.
Ascheentsorgung	130 €/t zzgl. MwSt.

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer (19 %) angegeben.

	<b>Basisvariante</b> Erdgas-BW	<b>Variante 1</b> Holzpellets	<b>Variante 2</b> Erdgas-NT Erdgas-BHKW
<b>Maschinenteknik</b>			
Erdgas-Kessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€ 18.700		17.300
Biomassekessel, Pufferspeicher, Brennstofftransport und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	60.100	
BHKW und Speicher inkl. Montage und Inbetriebnahme	€		58.000
<b>Bautechnik</b>			
Holzpelletlager (inkl. Demontage Heizöltanks, Umbau und Lageraustragung)	€	47.900	
Erdgasleitung	€ 19.100		19.100
Kaminsanierung	€ 4.200	8.300	5.400
<b>Demontage</b>			
Demontage vorhandene Kessel	€ 1.900	1.900	1.900
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€ 6.600	17.700	15.200
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>€ 50.500</b>	<b>135.900</b>	<b>116.900</b>
Förderung / Teilschulderlass	€	6.900	
<b>Gesamtinvestition inkl. Förderung</b>	<b>€</b>	<b>129.000</b>	

Tabelle 4-3 Investitionen inkl. MwSt.

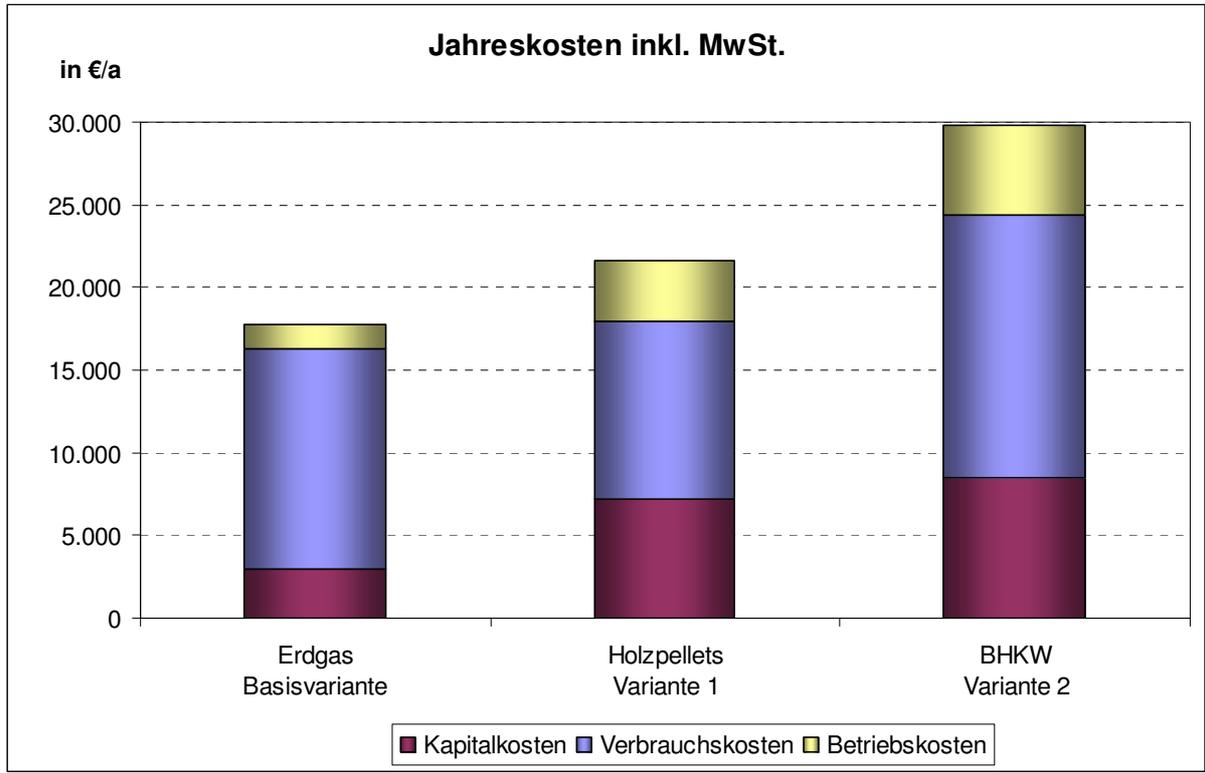
Die Daten zur Wirtschaftlichkeit der drei Wärmeversorgungsvarianten sind in folgender Tabelle aufgeführt.

		<b>Basis- variante</b> Erdgas-BW	<b>Variante 1</b> Holzpellets	<b>Variante 2</b> Erdgas-NT Erdgas- BHKW
<b>Investition</b>	€	50.500	135.900	116.900
<b>Investition inkl. Förderung</b>	€		129.000	
Kapitalkosten	€/a	2.960	7.700	8.480
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a		7.250	
Verbrauchskosten	€/a	13.370	10.740	27.060
Betriebskosten	€/a	1.480	3.580	5.390
Gutschrift Strom	€/a			-11.150
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>17.810</b>	<b>22.020</b>	<b>29.780</b>
<b>Jahreskosten inkl. Förderung</b>	<b>€/a</b>		<b>21.570</b>	
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	229.100	229.100	229.100
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>7,8</b>	<b>9,6</b>	<b>13,0</b>
<b>Wärmepreis inkl. Förderung</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>		<b>9,4</b>	

**Tabelle 4-4 Wirtschaftlichkeit (inkl. MwSt.)**

Die Kapital- und auch die Betriebskosten für die Wärmeherzeugung liegen bei allen untersuchten Varianten höher als bei der Wärmeversorgung mit einem Erdgasbrennwertgerät. Bei der Wärmeversorgung mit einem Holzpelletkessel können die höheren Kapital- und Betriebskosten durch niedrigere Verbrauchskosten nicht in dem Maße ausgeglichen werden, dass eine Wärmeversorgung mit einem Holzpelletskessel günstiger wäre.

Der durch das BHKW erzeugte Strom wird ins öffentliche Netz eingespeist und bei dem Erdgas-BHKW nach dem KWK-Gesetz zurzeit mit 9,41 Ct/kWh<sub>el</sub> vergütet. Durch die Einsparung und den Erlös aus der Stromerzeugung sinken die Wärmegestehungskosten des BHKW. Dennoch reicht die Stromgutschrift nicht aus, um das BHKW wirtschaftlicher als das Erdgasbrennwertgerät darstellen zu können.



**Abbildung 4-8 Vergleich Wirtschaftlichkeit**

## 5 Sensitivitätsanalyse

Die Energiepreise nehmen einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten. Um eine Einschätzung der Wirtschaftlichkeit auch für höhere bzw. niedrigere Energiepreise als die in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise zu ermöglichen, wird eine Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich der Energiepreise durchgeführt.

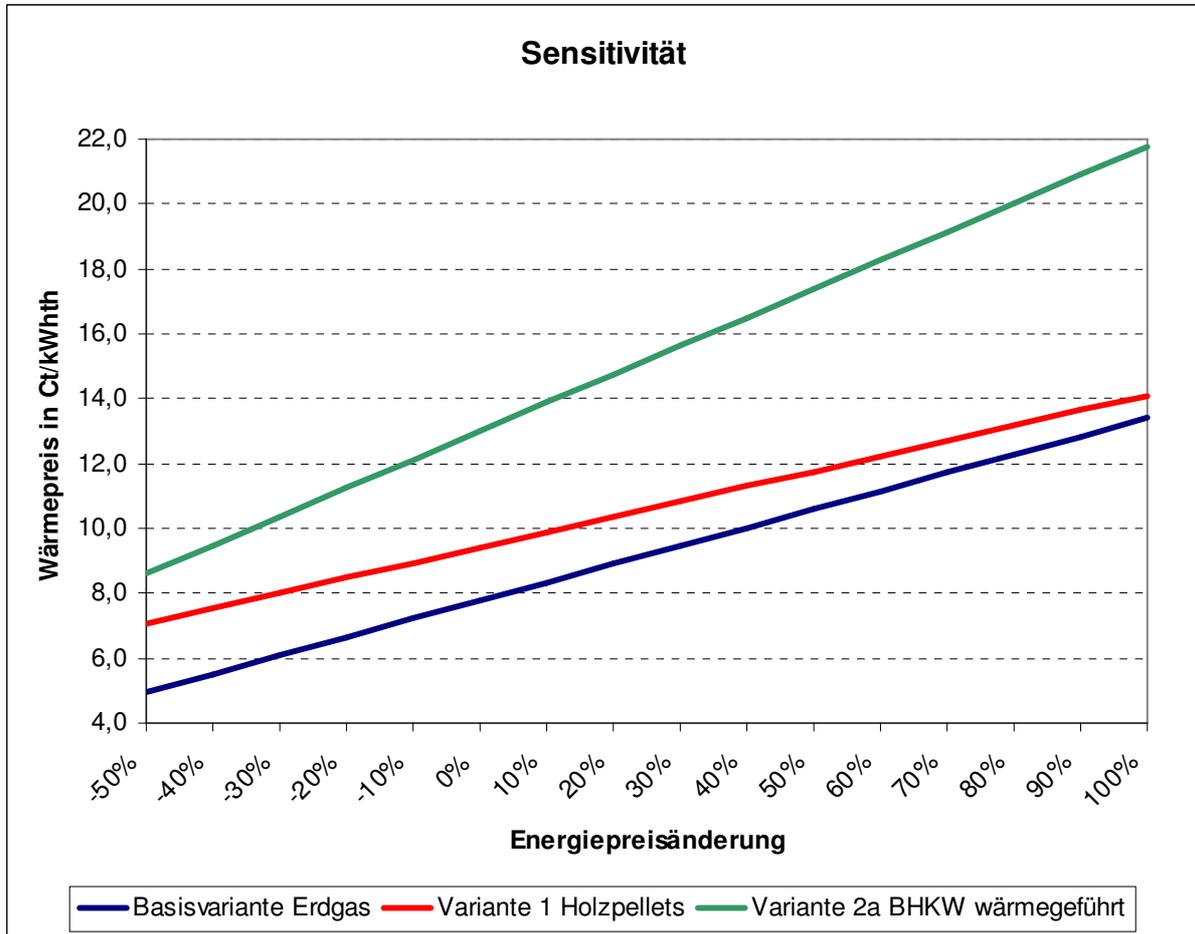
Es wird eine Preisspanne von -50 % bis +100 % für den Erdgas-, den Holzpellet- und den Strompreis untersucht. Daraus ergeben sich folgende Preise:

Änderung des Energiepreises	Erdgaspreis	Holzpellet- Preis	Strompreis
	Ct/kWh <sub>no</sub>	€/t	Ct/kWh <sub>el</sub>
-50 %	2,029	85	8,67
-40 %	2,434	102	10,41
-30 %	2,840	119	12,14
-20 %	3,246	136	13,88
-10 %	3,651	153	15,61
<b>0 %</b>	<b>4,057</b>	<b>170</b>	<b>17,35</b>
10 %	4,463	187	19,08
20 %	4,869	204	20,82
30 %	5,274	221	22,55
40 %	5,680	238	24,29
50 %	6,086	255	26,02
60 %	6,491	272	27,76
70 %	6,897	289	29,49
80 %	7,303	306	31,23
90 %	7,709	323	32,96
100 %	8,114	340	34,70

**Tabelle 5-1 Variation der Energiepreise**

Die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung ist in einem Diagramm dargestellt, bei dem die verschiedenen Preise mit der gleichen prozentualen Preissteigerung berücksichtigt wurden.

Das folgende Diagramm stellt den Wärmepreis abhängig von den variierten Energiepreisen dar.



**Abbildung 5-1 Wärmepreis abhängig vom Heizölpreis**

Es wird deutlich, dass die Variante 2 mit dem BHKW aufgrund des hohen Erdgasverbrauchs stärker auf eine Preisänderung reagiert als die Basisvariante mit dem Erdgas-Brennwertkessel. Da die Brennstoffkosten bei der Holzpelletvariante niedriger sind als bei den beiden anderen Varianten, reagiert der Wärmepreis hier deutlich weniger auf eine prozentuale Preisänderung. Dennoch stellt die Basisvariante mit dem Erdgas-Brennwertgerät auch bei einer Preissteigerung von 100 % noch die günstigste Alternative dar.

## 6 Zusammenfassung

Im Rahmen des „Konzeptes zur energetischen Sanierung der Janusz-Korczak-Schule Sinzig“ wurden für die Schule Energieeinsparmöglichkeiten durch Verbesserung des Wärmedämmstandards und die Erneuerung der Heizungsanlage ermittelt.

Die Förderschule des Kreises Ahrweiler in Sinzig besteht aus einem Altbau aus den 50iger Jahren und einem Anbau von 2004. Der Altbau ist im Hinblick auf die energierelevanten Bauteile bis auf die Fenster noch im ursprünglichen Zustand. Die Fassade mit ihrem Stahlbetonskelett verursacht, wie auch das ungedämmte Dachgeschoss, hohe Wärmeverluste. Die Fenster wurden erstmals in den 70iger Jahren mit Isolierglasscheiben nachgerüstet. In Teilbereichen wurden diese in jüngster Zeit komplett erneuert. Die Heizungsanlage, bestehend aus zwei ölgefeuerten Kesseln Baujahr 1987, schafft die Grenzwerte bei der Abgasverlustmessung. Durch ihre Bauweise verursacht sie jedoch hohe Bereitschaftsverluste. Die Kesselanlage ist erneuerungsbedürftig.

In einer Ist-Analyse wurden die vorhandenen Daten zum Brennstoffverbrauch ausgewertet. Mit den vorliegenden Gebäudeplänen und anhand von gebäudetypischen Bauteilen erfolgte die Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN V 18599. Aus den Berechnungen zum Jahresheizwärmebedarf und zur Wärmeleistung wurde die rechnerische Einsparung ermittelt, die prozentual auf den tatsächlichen Jahresheizwärmeverbrauch übertragen wurde. Der Jahresheizwärmebedarf von 546.850 kWh<sub>th</sub>/a aus der Berechnung weicht stark von dem Jahreswärmeverbrauch von 373.700 kWh<sub>th</sub>/a ab.

		Ist-Zustand	modernisierter Zustand
Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	546.850	333.280
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	306	225
Rechnerische Einsparung Jahresheizwärmebedarf	%		39
Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a	373.700	229.100
Einsparung Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /a		144.600
Einsparung Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>		81
Nettogrundfläche	m <sup>2</sup>	4.224	4.224
spez. Jahresheizwärmeverbrauch	kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	88	54

**Tabelle 6-1 Jahresheizwärmebedarf für den Ist-Zustand und den modernisierten Zustand der Janusz-Korczak-Schule**

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmeverbrauch auf 54 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>\*a).

Die abgeschätzte Einsparung des Jahresheizwärmeverbrauchs beträgt 144.600 kWh<sub>th</sub>/a und entspricht damit einer Verringerung um 39 %. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 81 kW<sub>th</sub>, was 26 % entspricht. Durch die Dämmung der Außenwände werden ca. 46 % der

Einsparungen erzielt, durch die Dämmung des Daches 39 %, durch den Austausch der restlichen alten Fenster 6 % und durch die Dämmung der Kellerdecke 8 %.

Zur wirtschaftlichen Bewertung der Maßnahmen wurde eine Bilanz zu den Kapitalkosten und jährlichen Brennstoffkosteneinsparungen aufgestellt sowie eine statische Amortisationsdauer ermittelt. Zunächst wurden dabei lediglich die Kosten für die energetische Gebäudesanierung, bei der die Kosten, die im Zuge von Gebäudeinstandhaltung aufzuwenden sind, nicht berücksichtigt sind, berechnet.

Die Kapitalkosten für die energetische Sanierung können bei allen Maßnahmen von den eingesparten Brennstoffkosten gedeckt werden. Statisch betrachtet kann das eingesetzte Kapital insgesamt nach 13 Jahren und damit innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden.

In der zweiten Darstellung wurden die Gesamtinvestitionskosten, also die Summe der Investitionskosten für die Energieeinsparung und der Investitionskosten für Instandhaltung oder Erneuerung, angesetzt. Unter Einbeziehung der erforderlichen Gesamtinvestitionskosten zur Umsetzung des verbesserten Wärmedämmstandards können die eingesparten Brennstoffkosten die jährlichen Kapitalkosten nur beim Dach und der Kellerdecke direkt decken. Dennoch amortisieren sich alle Maßnahmen innerhalb bzw. die Fenster geringfügig nach der rechnerischen Nutzungsdauer. In der Gesamtvariante liegt die statische Amortisationszeit mit etwa 17 Jahren halb so hoch wie die Abschreibedauer. Die statische Amortisationsdauer liegt bei der Dach- und der Kellerdeckendämmung innerhalb bzw. geringfügig über der Abschreibedauer des KfW-Kredits.

Die Investitionskosten für die Maßnahmen zur Energieeinsparung betragen etwa 190.000 € und die Gesamtinvestitionskosten für die Umsetzung der Maßnahmen ca. 255.000 €.

Durch Verwirklichung aller Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmedämmstandards können jährlich etwa 56 t CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart werden. Dies entspricht einer relativen Einsparung von 39 % bezogen auf die Emission im Ist-Zustand.

Neben der Modernisierung der Gebäudehülle wurde der Austausch der vorhandenen Heizungsanlage durch einen Erdgas-Brennwertkessel, durch einen Holzpelletkessel, ein Blockheizkraftwerk oder eine Luft-Wärmepumpen betrachtet. Der Einsatz einer Wärmepumpe wurde in der technischen Anlagenkonzeption ausgeschlossen. Auch der Einsatz eines stromgeführten BHKW's kann aus technischer, ökologischer und wirtschaftlicher Überlegungen ausgeschlossen werden. Bei der hier vorgenommenen Betrachtung wurde davon ausgegangen, dass vor einem Heizkesselaustausch die Gebäudehülle wie dargestellt modernisiert wird und die Kesselleistung auf ca. 230 kW<sub>th</sub> reduziert werden kann. Durch einen Erdgas-Brennwertkessel werden im sanierten Gebäudezustand 32 % der Emissionen im Vergleich zur Wärmeversorgung mit den vorhandenen Heizölkessel eingespart, durch einen Holzpelletkessel 87 % und durch ein BHKW 57 %. Keine der untersuchten umweltfreundlichen Alternativen erreicht einen ebenso günstigen Wärmepreis wie ein Erdgas-Brennwertkessel. Der Wärmepreis nach einer Gebäudesanierung liegt beim Einsatz eines Erdgas-Brennwertkessels bei 7,8 Ct/kWh<sub>th</sub>, bei einem Holzpelletkessel bei 9,4 Ct/kWh<sub>th</sub> und

bei einem Erdgas-BHKW bei  $13,0 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ . Bei werden lediglich die Kosten berücksichtigt, die sich bei den verschiedenen Energieträgern unterscheiden.

Auch unter Berücksichtigung einer prozentual gleichmäßigen Preissteigerung stellt die Basisvariante mit dem Erdgas-Brennwertgerät die günstigste Alternative dar.

## **Fazit**

Bei der energetischen Sanierung der Janusz-Korczak-Schule sollte zunächst die Gebäudehülle gedämmt werden. Die höchsten Einsparungen sind im Bereich der Außenwand und der obersten Geschossdecke zu erzielen. Doch auch der Austausch der wenigen Fenster aus dem Jahr 1957 und die Dämmung der Kellerdecke sollte vorgenommen werden. Die vorhandene Heizungsanlage kann zunächst noch weiter betrieben werden.

Nach der Umsetzung der Dämmmaßnahmen steht der Austausch der Heizungsanlage an. Die Leistung der Anlage kann dann optimal auf den neuen Wärmebedarf abgestimmt werden. Wird die Priorität auf die Wirtschaftlichkeit gesetzt, so müssen die vorhandenen Heizölkessel bei den aktuellen Brennstoffpreisen durch ein Erdgas-Brennwertkessel ersetzt werden. Wird die Priorität auf Umweltfreundlichkeit der Anlage gelegt, so fällt die Wahl auf einen Holzpelletkessel.