

# Energiekonzept für das Schulzentrum Rhaunen

Mit freundlicher Unterstützung des



**Rheinland-Pfalz**

**Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber                    Ministerium für Umwelt, Forsten Rheinland-Pfalz  
Projektnummer  
Datum                            31.07.2006

**Transferstelle Bingen · Berlinstr. 109 · 55411 Bingen · [www.tsb-energie.de](http://www.tsb-energie.de)**

**Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz**

Tel: 06721 / 409 229

Fax: 06721 / 409 129

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

**Dipl.-Ing. (FH) Barbara Schmidt-Sercander**

Tel: 06721 / 409 228

Fax: 06721 / 409 129

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

im

*Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · 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>
<b>3</b>	<b>Ist-Zustand und Erneuerung</b> .....	<b>6</b>
3.1	Energiebilanz .....	6
3.2	Kohlendioxidemissionsbilanz.....	6
3.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	7
<b>4</b>	<b>Holz-Wärmeversorgung</b> .....	<b>9</b>
4.1	Vorstellung Holz hackschnitzelkessel.....	9
4.2	Standort des Holz hackschnitzellagers und der Heizzentrale .....	11
4.3	Energiebilanz .....	13
4.4	Kohlendioxidemissionsbilanz.....	14
4.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	15
<b>5</b>	<b>Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten</b> .....	<b>18</b>
5.1	Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen .....	18
5.2	Vergleich Wirtschaftlichkeit .....	20
<b>6</b>	<b>Sensitivitätsbetrachtung</b> .....	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Einsatz von Solartechnik</b> .....	<b>25</b>
7.1	Photovoltaik .....	25
7.2	Solarthermie.....	27
<b>8</b>	<b>Wärmedämmung</b> .....	<b>29</b>
8.1	Wand .....	29
8.2	Dach .....	29
8.3	Fenster.....	30
<b>9</b>	<b>Stromeinsparung</b> .....	<b>31</b>
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>32</b>

## 1 Einleitung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wird für das Schulzentrum in Rhaunen die Umsetzungsmöglichkeit eines Holzheizwerkes untersucht.

Die Wärmeversorgung des Schulzentrums in Rhaunen erfolgt derzeit durch zwei Heizölkessel, die in Kürze zu erneuern sind. Als umweltfreundliche Alternative zu Heizöl und um Brennstoffkosten einzusparen, wird der Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels mit einem Holzhackschnitzelbunker bzw. mit einem Lager in Containerbauweise überprüft.

In der Studie werden zunächst anhand von vorliegenden Verbrauchsdaten und Daten zu den vorhandenen Heizanlagen der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung ermittelt. Darauf basiert dann die Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen sowie eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Die Wärmeversorgungsvarianten auf Basis von Holz werden der Erneuerung der bestehenden Heizzentrale gegenübergestellt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Kapitalkosten anhand von abgeschätzten Investitionskosten berechnet. Aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten setzen sich die Jahreskosten zusammen. Aus den Jahreskosten wird der Wärmepreis ermittelt.

Ergänzend zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Sensitivitätsanalyse der Brennstoffpreise durchgeführt.

In der Studie wird auch die Einsatzmöglichkeit von Photovoltaik- bzw. Solarthermieranlagen geprüft und bewertet.

Die Arbeit umfasst des weiteren Vorschläge zur Verbesserung der Wärmedämmung sowie zur Stromeinsparung.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt, so dass diese als Entscheidungshilfe zur Anlagenauswahl beitragen.

## 2 Ist-Analyse

Das Schulzentrum Rhaunen besteht aus der Grundschule Idarwald und der Regionalen Schule Sohren-Büchenbeuren. Das Schulgebäude wurde 1986 errichtet und 1994 um einen Anbau erweitert. Die Sport- und Mehrzweckhalle wurde 1988 errichtet. Die Gesamtnutzfläche beträgt ca. 7.145 m<sup>2</sup>. Zurzeit ist der Bau eines weiteren zweistöckigen Gebäudetraktes mit ca. 500 m<sup>2</sup> Nutzfläche geplant, der eine Mensa für die Ganztagsbetreuung und naturwissenschaftliche Lehrräume beherbergen wird.



**Abbildung 2-1 Schulzentrum Rhaunen**

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlage der Schule aus.

Mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung werden die vorliegenden Daten überprüft. Zur Auslegung der gemeinsamen Wärmeversorgung werden die neu berechneten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

	<b>Kessel 1</b>	<b>Kessel 2</b>
Fabrikat	Buderus	Buderus
Bezeichnung	Lollar 505	Lollar 505
Baujahr	1987	1987
Nennwärmeleistung	335 kW <sub>th</sub>	335 kW <sub>th</sub>

**Abbildung 2-2 Daten der installierten Heizungsanlage**

Aufgrund der hohen Abgasverluste von jeweils 9 % bei der letzten Überprüfung durch den Schornsteinfeger müssen die Kessel in Kürze ausgetauscht werden.

Mit dem Heizölverbrauch wird der Wärmebedarf der Gebäude überschlägig ermittelt.

<b>Schulzentrum Rhaunen</b>	
Heizölverbrauch, gemittelt 2002 - 2005	92.625 l/a
Jahresnutzungsgrad	85 %
Jahresheizwärmebedarf	787.400 kWh <sub>th</sub> /a
installierte Heizleistung	670 kW <sub>th</sub>
Vollbenutzungsstunden	1.175 h/a
beheizte Fläche	7.145 m <sup>2</sup>
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	110 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> *a)
spez. Heizleistung	94 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>
gebäudetypische Werte	
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> *a) <sup>1</sup>
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sup>1</sup>
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 - 1.370 h/a <sup>1</sup>
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a <sup>1</sup>

**Tabelle 2-1 Ist-Daten Schulzentrum Rhaunen**

Die Vollbenutzungsstunden und die spezifische Heizleistung zeigen im Vergleich zu gebäudetypischen Werten, dass diese bedarfsgerecht ausgelegt sind. Für die weiteren Berechnungen kann mit einer spezifischen Wärmeleistung von 90 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> bzw. einer Wärmeleistung von ca. 640 kW<sub>th</sub> gerechnet werden. Auch der geplante Anbau kann bei einer angesetzten spezifischen Wärmeleistung von 60 W<sub>th</sub>/m<sup>2</sup> bzw. einer Wärmeleistung von ca. 30 kW<sub>th</sub> durch die Leistung der derzeitigen Anlage mit abgedeckt werden und so kann die Leistung beibehalten werden.

Wärmebedarf Altbau	787.400	kWh <sub>th</sub> /a
Wärmebedarf Neubau	30.000	kWh <sub>th</sub> /a
Wärmebedarf Gesamt	817.400	kWh <sub>th</sub> /a

**Tabelle 2-2 Wärmebedarf Schulzentrum Rhaunen**

Für die genaue Auslegung der Heizungsanlage sollte unbedingt eine Wärmebedarfsberechnung erfolgen.

<sup>1</sup> Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

### 3 Ist-Zustand und Erneuerung

Damit die Holz-Wärmeversorgung bewertet werden kann, wird auch die Erneuerung der bestehenden Heizungsanlage betrachtet.

Die Auslegung der neuen Kesselanlagen erfolgt mit den in der Ist-Analyse ermittelten Werten.

#### 3.1 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung der Gebäude aufgeführt.

Wärmebedarf kWh <sub>th</sub> /a	Jahresnutzungsgrad %	Heizölbedarf	
		kWh <sub>Hu</sub> /a	l/a
817.400	90	908.220	90.820

**Tabelle 3-1 Energiebilanz Heizöl-Wärmeversorgung**

#### 3.2 Kohlendioxidemissionsbilanz

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

Für Heizöl beträgt die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission 317,7 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub> und die für Strom 682,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>.

	Bedarf kWh/a	CO <sub>2</sub> -Emission t CO <sub>2</sub> /a
Heizöl	908.220	288,5
Strom	8.170	5,6
<b>Summe</b>		<b>294,1</b>

**Tabelle 3-2 Kohlendioxidemissionsbilanz Heizöl-Wärmeversorgung**

### 3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet für die Erneuerung der Heizanlagen 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.

Aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurden die Strompreise entnommen, für Heizöl wurde der aktuelle regionale Heizölpreis angesetzt.

#### Rahmenbedingungen

##### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

##### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Regionaler Heizölpreis KW 24 ( <a href="http://www.heizoelboerse.de">www.heizoelboerse.de</a> )	60,04 Ct/l ohne MwSt.
Strompreis (Schulzentrum Rhaunen)	13,9 Ct/kWh <sub>el</sub> ohne MwSt.

##### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizkessel)
Personalkosten	30 €/h ohne MwSt.
Emissionsüberwachung Heizkessel	78 €/a ohne MwSt.
Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung Steuern, allgemeine Abgaben)	0,7 % der Gesamtinvestition

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	<b>Basisvariante</b> Heizölkessel
Heizleistung Heizölkessel	(2*335) 670 kW <sub>th</sub>
<b>Maschinentechnik</b> Heizölkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	101.800 €
<b>Bautechnik</b> Demontage Heizkessel	3.100 €
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b> Planung, Unvorhergesehenes (15%)	15.700 €
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>120.600 €</b>

**Tabelle 3-3 Investition Heizöl-Wärmeversorgung**

Die Investitionskosten werden überschlägig ermittelt, um die Wärmeversorgung auf Basis von Heizöl mit der Holz-Wärmeversorgung vergleichen zu können.

Für die Basisvarianten ergeben sich folgende jährliche Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten.

	<b>Kapitalkosten</b> €/a	<b>Verbrauchs- kosten</b> €/a	<b>Betriebs- kosten</b> €/a	<b>Jahreskosten</b> €/a	<b>Wärmepreis</b> Ct/kWh <sub>th</sub>
Heizölkessel	9.180	64.570	4.270	<b>78.020</b>	<b>9,5</b>

**Tabelle 3-4 Wirtschaftlichkeit Heizöl-Wärmeversorgung**

## 4 Holz-Wärmeversorgung

Im Rahmen der Holz-Wärmeversorgung werden zwei unterschiedliche Lagervarianten untersucht.

Es besteht die Möglichkeit für die Lagerung einen Holzhackschnitzelbunker oder ein Lager in Containerbauweise zu errichten. Bei einem HHS-Bunker werden die HHS von einem LKW in den Bunker abgekippt. Bei der Verwendung von Containern stellt der LKW den kompletten Container, in dem sich die HHS befinden, auf der dafür vorgesehenen Fläche ab und nimmt den leeren Container wieder mit. Welche Variante für das Schulzentrum Rhaunen vorzuziehen ist, wird hier untersucht.

Es ergeben sich also folgende Varianten:

- Variante 1: HHS-Kessel mit Bunker
- Variante 2: HHS-Kessel mit Container

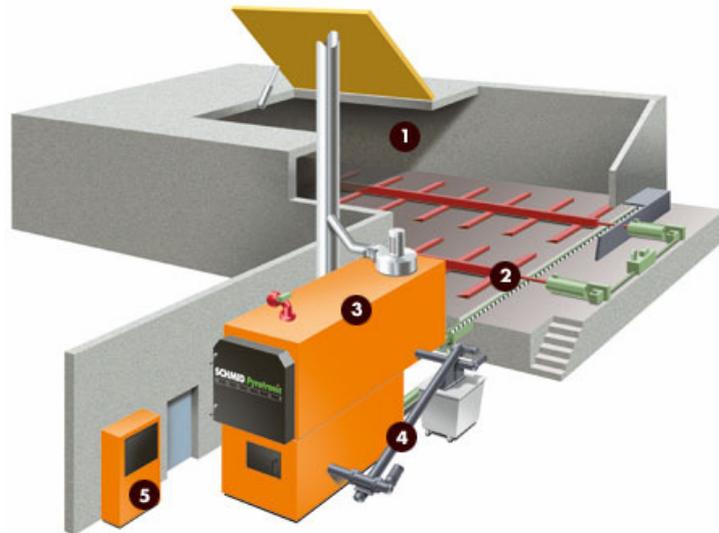
Die Technik und Vorschläge zur möglichen Umsetzung eines Biomassekessels werden im folgenden Kapitel kurz erläutert.

### 4.1 Vorstellung Holzhackschnitzelkessel

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holzhackschnitzel sind deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienungsaufwand gewährleistet.

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und der zu lagernden Menge bestimmt. Außerdem sind die örtlichen Gegebenheiten für die Anforderungen an das Lager zu berücksichtigen. Neben Silos (z. B. Fahr- bzw. Tunnelsilo) und Bunker kann der Brennstoff im Gebäude gelagert werden. Alternativ dazu können die Holzhackschnitzel in Containern geliefert werden.

Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnitzel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragungsschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, oder ein Kratzkettenförderer zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, damit eine geringe Länge der Transportschnecken benötigt wird. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnitzel vermieden werden.



**Abbildung 4-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung**  
(Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

Die Dosierschnecke oder der Hydraulikzylinder fördern die Holz hackschnitzel in die Brennstoffmulde, wo sich unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bildet. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben. Eine Rostfeuerung ermöglicht dagegen eine Vortrocknung von Holz hackschnitzeln mit einer etwas höheren Restfeuchte, indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über den Rost geführt werden, getrocknet wird.

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  $500 \text{ kW}_{\text{th}}$  werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

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 Schalthäufigkeit, 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 ausgelegt, während ein erdgas- oder heizölbefuerter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

Neben Holzhackschnitzel aus Waldholz oder unbehandeltem Industrierestholz kann auch zerkleinertes Landschaftspflegegrün zur Verfeuerung in einem Biomassekessel eingesetzt werden.

Die erforderliche Lagergröße berechnet sich nach dem Brennstoffbedarf, der notwendig ist, um die Holzfeuerungsanlage an 5 bis 10 Tagen unter Vollast zu betreiben. Aufgrund des LKW-Ladevolumens können zwischen etwa 40 und 80 Sm<sup>3</sup> angeliefert werden.

#### **4.2 Standort des Holzhackschnitzellagers und der Heizzentrale**

Als Standort der Heizzentrale und des Holzhackschnitzellagers stehen auf dem Gelände des Schulzentrums Rhaunen mehrere Plätze zur Verfügung.

Am günstigsten erweist sich meist die Aufstellung des Hackschnitzelkessels im bestehenden Heizraum und die Errichtung eines Lagers neben dem Heizraum. Bei dem betrachteten Objekt stellt sich diese Variante jedoch ungünstig dar, da am Schulzentrum Rhaunen keine Möglichkeit besteht, den Holzkessel in den Heizraum zu transportieren. Das Lager würde auf dem Pausenhof der Grundschule errichtet und wäre somit für die Schüler leicht zugänglich. Die Anlieferung der Holzhackschnitzel könnte hier den Pausenbetrieb stören.

Für den Bau eines Betonbunkers bietet sich die Fläche südlich des Schulgebäudes, östlich der Stützmauer und der Böschung an. Anfahrende LKW's können über den Parkplatz hinter der Sporthalle an den Bunker heranfahren, um die HHS abzukippen. Das Lager kann direkt an die Stützmauer angeschlossen werden, um die Holzhackschnitzel von oben in den Bunker abkippen zu können. Hinter dem Bunker kann ein Container mit der Kesselanlage aufgestellt werden. Aus brandschutztechnischen Gründen muss zwischen der Befüllöffnung des Holzhackschnitzellagers und der Gebäudefront mit Fenstern mindestens 6 m Abstand gehalten werden. Dadurch wird die Abgrabung der Böschung nötig, die sich neben dem Gebäude befindet. Um den Holzkessel an das vorhandene System anzubinden, wird nur eine kurze Leitungsstrecke benötigt, da sich der Heizraum nur wenige Meter entfernt befindet. Wird das Lager trotz der Bodenarbeiten an dieser Stelle errichtet, so scheint eine Beeinträchtigung des Unterrichts im Physikraum möglich, da die Austragung der Hackschnitzel vom Lager zum Kessel zu Schallemissionen führen kann.



**Abbildung 4-2 Standort der Heizzentrale mit HHS-Bunker**

Für die Aufstellung von Containern zur Holzhackschnitzellagerung eignet sich die Fläche unmittelbar südlich der Sporthalle. Ohne dass die Noteingänge blockiert werden, stehen 12 m Breite zur Verfügung. Die Container und das Heizhaus nehmen insgesamt eine Breite von ca. 10 m ein. Das Heizhaus kann also ebenfalls hier errichtet werden. Anfahrende LKW`s können rückwärts an die Fläche heranfahren und die Container darauf abstellen. Die Anbindung an das bestehende Heizungssystem kann durch den Keller der Turnhalle und des Verbindungsbaus, wo sich bereits einige Leitungen befinden, erfolgen. Die Heizzentrale beeinträchtigt den Schulbetrieb an dieser Stelle kaum.



**Abbildung 4-3 Standort der Heizzentrale mit HHS-Containern**

### 4.3 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Holz-Wärmeversorgung aufgeführt.

Die erforderliche Wärmeleistung der Heizzentrale wird wie folgt aufgeteilt.

Holz hackschnitzelkessel	ca. 270 kW <sub>th</sub>
Heizölkessel	ca. 400 kW <sub>th</sub>

Dazu wird ein Pufferspeicher mit rund 2.200 l Volumen kombiniert.

		Variante 1 / 2 HHS-Kessel
Wärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	817.400
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	670
Nennleistung Biomassekessel thermisch	kW <sub>th</sub>	270
Nennleistung Heizölkessel	kW <sub>th</sub>	400
Deckungsgrad Leistung Biomassekessel	%	40
Deckungsgrad Wärme Biomassekessel	%	85
Wärmeerzeugung Biomassekessel	kWh <sub>th</sub> /a	694.790
Wärmeerzeugung Heizölkessel	kWh <sub>th</sub> /a	122.610
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	%	80
Jahresnutzungsgrad Heizölkessel	%	90
Brennstoffbedarf Biomasse	kWh <sub>Hu</sub> /a	868.490
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh <sub>Hu</sub> /a	136.230
Heizwert Holz hackschnitzel	kWh <sub>Hu</sub> /Sm <sup>3</sup>	800
Heizwert Heizöl	kWh <sub>Hu</sub> /l	10
Brennstoffmenge Biomasse	Sm <sup>3</sup> /a	1.086
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	13.620
Asche aus Biomasse	kg/a	1.340

**Tabelle 4-1 Energiebilanz Holz- Wärmeversorgung**

Um ein Vorratsvolumen für einen sechstägigen Volllastbetrieb von etwa 57 Sm<sup>3</sup> vorhalten zu können, ist ein Lagervolumen mit ca. 80 m<sup>3</sup> erforderlich. Damit ist die Größe des Erdbunkers festgelegt, in dem aufgrund eines Schüttkegels nur ein Füllgrad von 75 % erreicht werden kann. Bei Variante 2 kommen zwei Container mit einem Volumen von je 34 m<sup>3</sup> in Frage. Das geringere Volumen reicht hier für die Bevorratung der Holz hackschnitzel aus, da bei Containern ein Füllgrad von ca. 85 % erreicht wird.

#### 4.4 Kohlendioxidemissionsbilanz

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

Unter Anrechnung der CO<sub>2</sub>-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie zum Transport der Holzhackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für die Holzhackschnitzel eine spezifische CO<sub>2</sub>-Emission von 58,4 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub>. Die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission von Heizöl beträgt 317,7 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub> und die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission von Strom 682,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>.

		Variante 1 HHS-Kessel
Brennstoffbedarf Holzhackschnitzel	kWh <sub>Hu</sub> /a	868.490
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh <sub>Hu</sub> /a	136.230
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	15.120
CO <sub>2</sub> -Emission Holzhackschnitzel	kg CO <sub>2</sub> /a	50.720
CO <sub>2</sub> -Emission Heizöl	kg CO <sub>2</sub> /a	43.280
CO <sub>2</sub> -Emission Strom	kg CO <sub>2</sub> /a	10.320
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>104,3</b>

**Tabelle 4-2 Kohlendioxidemissionsbilanz Holz- Wärmeversorgung**

## 4.5 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.

Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 14. März 2006“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW<sub>th</sub> ein Teilschulderlass von 60 € je kW<sub>th</sub> (maximal 275.000 €) auf das KfW-Darlehen beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Die Förderung ist an einen zinsgünstigen Kredit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) gebunden. Für das Projekt kommen die Programme „Wohnraum modernisieren“, „KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm“, „Ökologisch Bauen“ und „Programm zur Förderung Erneuerbarer Energie“ in Frage. Aktuelle Konditionen (Stand 29.06.2006) liegen je nach Programm für private Antragsteller und Kommunen zwischen 2,85 – 7,19 % effektivem Zinssatz. Aktuelle Informationen zu den Programmen und den Zinssätzen finden sie unter [www.kfw-foerderbank.de](http://www.kfw-foerderbank.de).

### Rahmenbedingungen

#### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Container	20 Jahre
Abschreibungsdauer Rohrleitungen	40 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

#### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Spez. HHS-Preis (Waldholz) (auf HHS wird eine MwSt. von 7 % erhoben)	18 €/Sm <sup>3</sup> ohne MwSt.
Regionaler. Heizölpreis KW 24 ( <a href="http://www.heizoelboerse.de">www.heizoelboerse.de</a> )	60,04 Ct/l ohne MwSt.
Strompreis (Schulzentrum Rhaunen)	13,9 Ct/kWh <sub>el</sub> ohne MwSt.

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung	2 % der Investition (Heizkessel)
Personalkosten	30 €/h ohne MwSt.
Emissionsüberwachung Heizölkessel	78 €/a ohne MwSt.
Emissionsüberwachung Biomassekessel	103 €/a ohne MwSt.
Ascheentsorgung	130 €/t ohne MwSt.
Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung Steuern, allgemeine Abgaben)	0,7 % der Gesamtinvestition

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer (16 %) angegeben.

		Variante 1 HHS-Kessel Bunker	Variante 2 HHS-Kessel Container
Heizleistung Biomassekessel	kW <sub>th</sub>	270	270
Heizleistung Heizölkessel	kW <sub>th</sub>	400	400
<b>Maschinentechnik:</b>			
Biomassekessel und Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	85.000	85.000
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	57.400	57.400
<b>Bautechnik</b>			
Heizhaus	€	17.100	17.100
Holz hackschnitzellager inkl. Austragung	€	60.900	58.000
Bodenarbeiten und -befestigungen	€	7.400	5.600
Rohrleitungen	€	6.300	16.800
<b>Demontage</b>			
Demontage Heizkessel	€	3.100	3.100
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€	35.600	36.400
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>€</b>	<b>272.800</b>	<b>279.400</b>
Teilschulderlass Biomassekessel	€	16.200	16.200
<b>Gesamtinvestition mit Teilschulderlass</b>	<b>€</b>	<b>256.600</b>	<b>263.200</b>

Tabelle 4-3 Investitionen Holz-Wärmeversorgung (inkl. MwSt.)

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt.

		<b>Variante 1</b>	<b>Variante 2</b>
		HHS-Kessel Bunker	HHS-Kessel Container
Wärmeleistung Biomassekessel	$\text{kW}_{\text{th}}$	270	270
Wärmeleistung Heizölkessel	$\text{kW}_{\text{th}}$	400	400
<b>Investition</b>	€	<b>272.800</b>	<b>279.400</b>
<b>Investition inkl. Teilschulderlass</b>	€	<b>256.600</b>	<b>263.200</b>
Kapitalkosten	€/a	18.250	20.200
Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass	€/a	17.060	19.010
Verbrauchs-kosten	€/a	32.830	32.830
Betriebskosten	€/a	7.650	7.690
<b>Jahreskosten</b>	€/a	<b>58.730</b>	<b>60.720</b>
<b>Jahreskosten inkl. Teilschulderlass</b>	€/a	<b>57.540</b>	<b>59.530</b>
Jahreswärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	817.400	817.400
<b>Wärmepreis</b>	Ct/ $\text{kWh}_{\text{th}}$	<b>7,2</b>	<b>7,4</b>
<b>Wärmepreis inkl. Teilschulderlass</b>	Ct/ $\text{kWh}_{\text{th}}$	<b>7,0</b>	<b>7,3</b>

**Tabelle 4-4 Wirtschaftlichkeit Holz-Wärmeversorgung (inkl. Mwst.)**

Die Investitionskosten für die Variante mit dem Betonbunker liegen etwas höher als die Kosten für die Holzhackschnitzelcontainer. Dennoch stellt sich diese Variante geringfügig wirtschaftlicher dar als die Variante mit den Containern, da die Abschreibungszeit des Lagers wesentlich höher liegt und die Kapitalkosten dadurch niedriger liegen. Der Unterschied ist jedoch so gering, dass in der Entscheidung vor allem aufgrund des Standortes der Heizzentrale getroffen werden sollte.

## 5 Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten

Um die Erneuerung der derzeitigen Wärmeversorgung und die Wärmeversorgung auf Basis von Holz miteinander vergleichen zu können, werden die Ergebnisse zu den Kohlendioxid-Emissionen und zur Wirtschaftlichkeit hier gegenübergestellt.

### 5.1 Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen

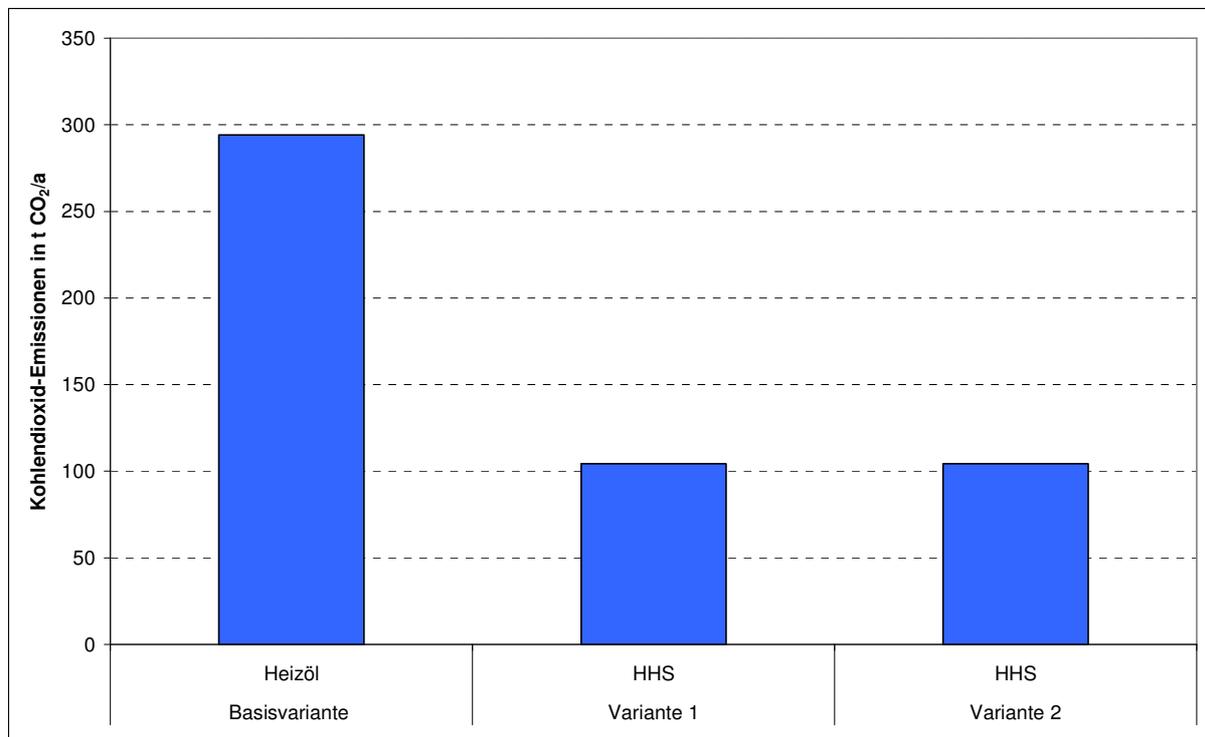
Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse der dezentralen und zentralen Wärmeversorgung zur Kohlendioxid-Emission zusammen.

		<b>Basisvariante</b> Heizölkessel	<b>Variante 1</b> HHS-Kessel Bunker	<b>Variante 2</b> HHS-Kessel Container
Brennstoffbedarf HHS	kWh <sub>Hu</sub> /a		868.490	868.490
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh <sub>Hu</sub> /a	908.220	136.230	136.230
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	8.170	15.120	15.120
spez. CO <sub>2</sub> -Emission HHS	g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>		58,4	58,4
spez. CO <sub>2</sub> -Emission Heizöl	g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>Hu</sub>	317,7	317,7	317,7
spez. CO <sub>2</sub> -Emission Strom	g CO <sub>2</sub> /kWh <sub>el</sub>	682,6	682,6	682,6
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>294,1</b>	<b>104,3</b>	<b>104,3</b>

**Tabelle 5-1 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen**

Durch die Wärmeversorgung des Schulzentrums Rhaunen auf Basis von Biomasse können 190 t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden, was 65 % Einsparung im Vergleich zur Basisvariante entspricht.

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt.



**Abbildung 5-1 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen**

Das Diagramm zeigt deutlich die Einsparung der Kohlendioxid-Emissionen durch den Einsatz von Biomasse als Brennstoff im Vergleich zu der derzeitigen Wärmeversorgung auf Basis fossiler Energieträger.

Durch die Brennstoffkombination Holzhackschnitzel und Heizöl können etwa 65 % der Kohlendioxid-Emissionen gegenüber der Basisvariante und eingespart werden.

## 5.2 Vergleich Wirtschaftlichkeit

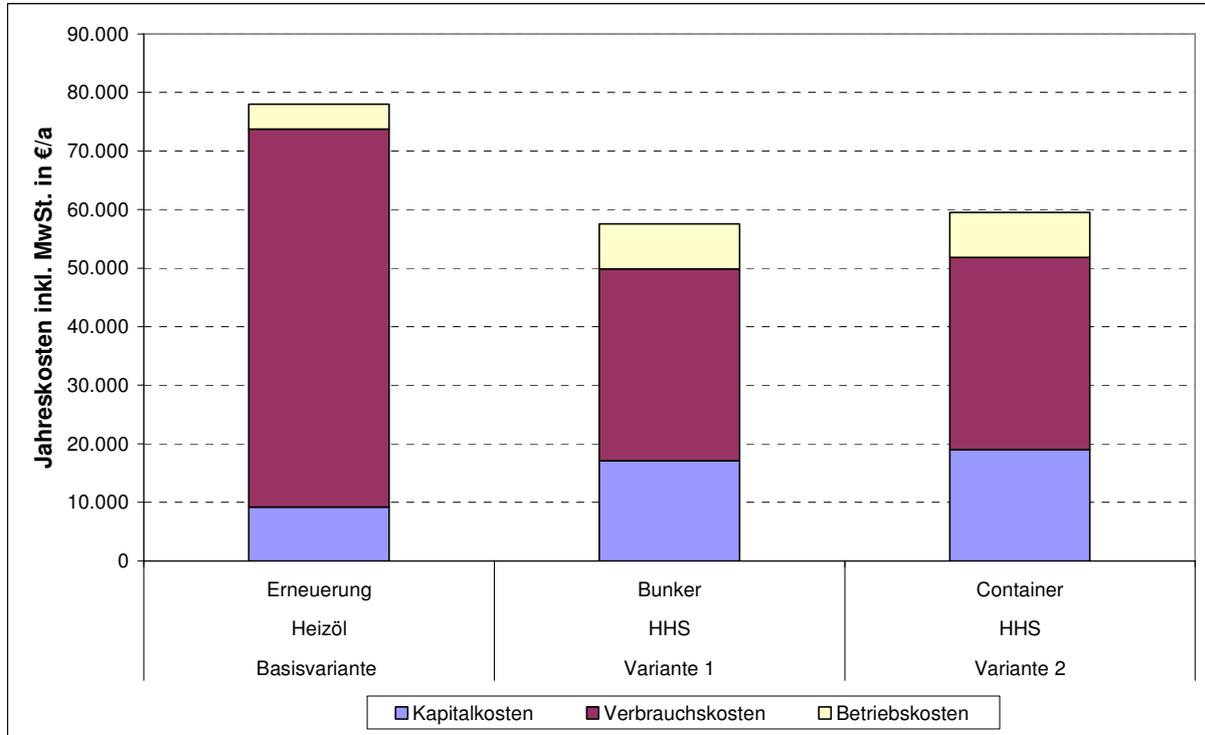
Die Daten zur Wirtschaftlichkeit der Wärmeversorgungsvarianten sind in folgender Tabelle aufgeführt.

		<b>Basisvariante</b> Heizölkessel	<b>Variante 1</b> HHS-Kessel Bunker	<b>Variante 2</b> HHS-Kessel Container
<b>Investition</b>	€	<b>120.600</b>	<b>272.800</b>	<b>279.400</b>
<b>Investition inkl. Teilschulderlass</b>	€		<b>256.600</b>	<b>263.200</b>
Kapitalkosten	€/a	9.180	18.250	20.200
Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass	€/a		17.060	19.010
Verbrauchskosten	€/a	64.570	32.830	32.830
Betriebskosten	€/a	4.270	7.650	7.690
<b>Jahreskosten</b>	€/a	<b>78.020</b>	<b>58.730</b>	<b>60.720</b>
<b>Jahreskosten inkl. Teilschulderlass</b>	€/a		<b>57.540</b>	<b>59.530</b>
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	817.400	817.400	817.400
<b>Wärmepreis</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>	<b>9,5</b>	<b>7,2</b>	<b>7,4</b>
<b>Wärmepreis inkl. Teilschulderlass</b>	Ct/kWh <sub>th</sub>		<b>7,0</b>	<b>7,3</b>

Tabelle 5-2 Vergleich Wirtschaftlichkeit inkl. Mwst.

Für die Wärmeversorgung auf Basis von Holz liegen die Jahreskosten und damit auch der Wärmepreis niedriger als für die Wärmeversorgung auf Basis fossiler Brennstoffe. Die Variante mit der Ausführung des Holzhackschnitzzellagers als Betonsilo stellt sich geringfügig günstiger dar als die Variante mit den Holzhackschnitzelcontainern.

Das folgende Diagramm stellt die Jahreskosten für die betrachteten Varianten dar, die sich aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten zusammensetzen.



**Abbildung 5-2 Vergleich Jahreskosten inkl. MwSt. der Wärmeversorgungsvarianten**

Man erkennt, dass bei der Wärmeversorgung auf Basis von Holz die höheren Kapital- und Betriebskosten durch die niedrigen Verbrauchskosten ausgeglichen werden.

## 6 Sensitivitätsbetrachtung

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

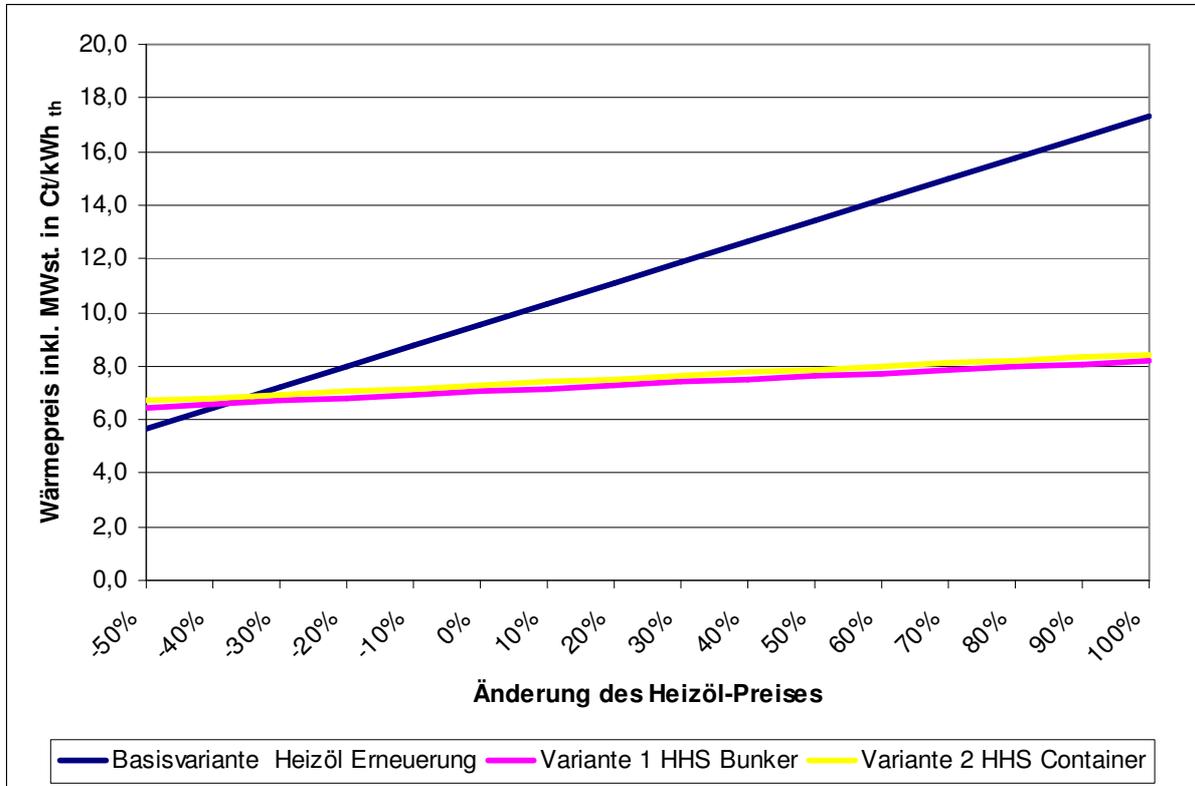
Es wird eine Preisspanne von -50 % bis +100 % für den Heizöl- und den Holzhackschnitzelpreis untersucht. Daraus ergeben sich folgende Preise:

Änderung des Brennstoffpreises	Heizölpreis Ct/l	HHS-Preis €/Sm <sup>3</sup>
-50 %	30,02	9,00
-40 %	36,02	10,80
-30 %	42,03	12,60
-20 %	48,03	14,40
-10 %	54,04	16,20
<b>0 %</b>	<b>60,04</b>	<b>18,00</b>
10 %	66,04	19,80
20 %	72,05	21,60
30 %	78,05	23,40
40 %	84,06	25,20
50 %	90,06	27,00
60 %	96,06	28,80
70 %	102,07	30,60
80 %	108,07	32,40
90 %	114,08	34,20
100 %	120,08	36,00

**Tabelle 6-1 Variation der Brennstoffpreise**

Die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung sind in Diagrammen dargestellt. Dazu ist der Wärmepreis für die entsprechende Preisänderung aufgetragen, sodass für einen bestimmten Brennstoffpreis der zugehörige Wärmepreis abgelesen werden kann.

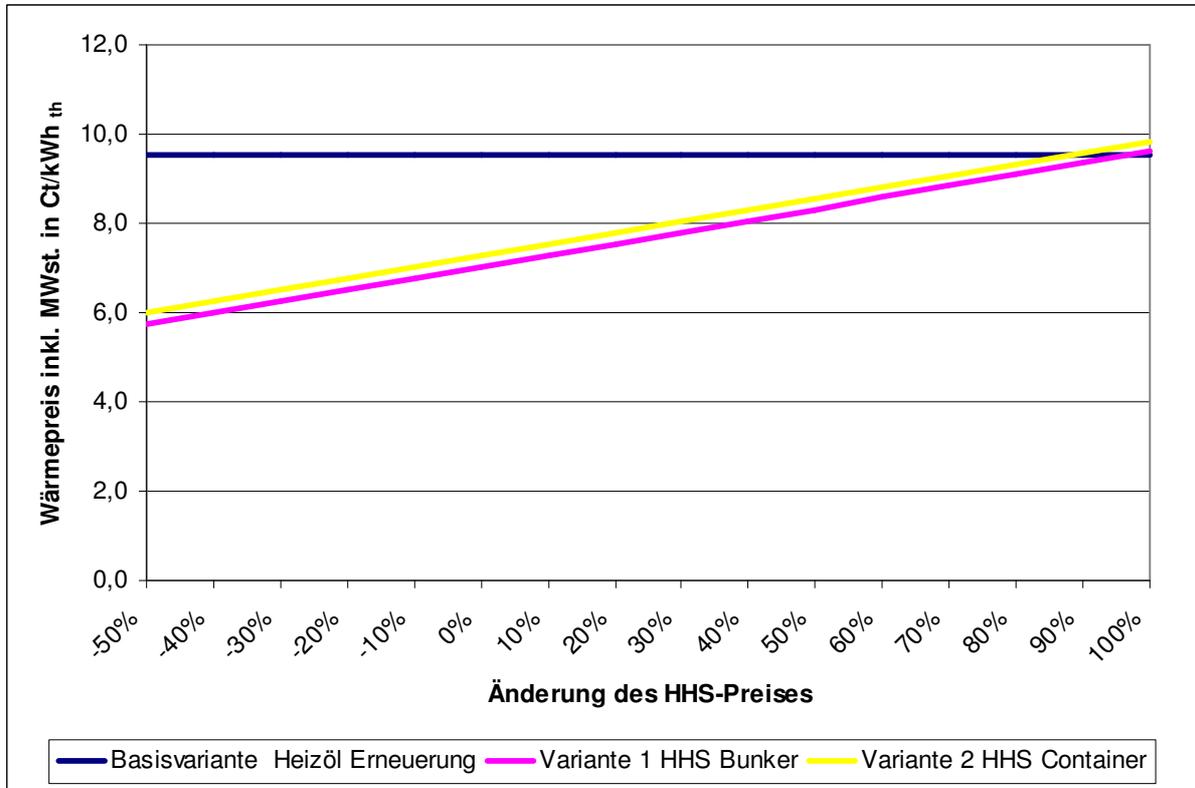
Das folgende Diagramm stellt den Wärmepreis abhängig vom Heizölpreis für die verschiedenen Varianten dar.



**Abbildung 6-1 Wärmepreis abhängig vom Heizölpreis**

Bei einer Steigerung des Heizölpreises erweist sich die Wärmeversorgung auf Basis von Biomasse zunehmend günstiger im Verhältnis zur Wärmeversorgung auf Basis von fossilem Brennstoff.

Das folgende Diagramm stellt den Wärmepreis abhängig vom Holzhackschnittelpreis für die verschiedenen Varianten dar.



**Abbildung 6-2 Wärmepreis abhängig vom Holzhackschnittelpreis**

Selbst bei einem Anstieg des Holzhackschnittelpreises um bis zu 85 % erweist sich die Wärmeversorgung auf Basis von Holz noch günstiger als die Wärmeversorgung mit Erdöl.

## 7 Einsatz von Solartechnik

### 7.1 Photovoltaik

Vor allem die Dachflächen der Südseiten der Haupt- und Grundschule Idarwald eignen sich für die Montage einer Photovoltaikanlage. Es werden hier drei mögliche Anlagen betrachtet: auf dem Süddach des Innenhofes (Anlage 1), auf dem Süddach der Außenwand (Anlage 2) und auf dem Verbindungsgebäude zwischen Sporthalle und Hauptgebäude (Anlage 3). Auch das Dach der Sporthalle eignet sich für die Anbringung einer Photovoltaikanlage. Die Wirtschaftlichkeit stellt sich hier ähnlich dar wie für die drei dargestellten Anlagen.



**Abbildung 7-1 Süddächer auf der Außenseite der Gebäude**

Bei der Installation einer Photovoltaikanlage kann auf 10 m<sup>2</sup> ca. 1 kW<sub>Peak</sub> elektrische Leistung installiert werden. Der Ertrag einer südgerichteten Anlage beträgt rund 750 - 850 kWh<sub>el</sub> je kW<sub>Peak</sub>, in Süddeutschland können unter optimalen Bedingungen über 900 kWh<sub>el</sub> je kW<sub>Peak</sub> geerntet werden.

Der erzeugte Strom der Anlagen wird nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die Photovoltaikanlage 2007 errichtet werden. Das bedeutet; dass der erzeugte Strom im ersten Jahr mit 49,21 Ct/kWh<sub>el</sub> vergütet wird. Für jedes Jahr, das die Anlagen später errichtet werden, ergibt sich eine Senkung der Einspeisevergütung von 5 %.

Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung der Anlagen wird davon ausgegangen, dass die Finanzierung ohne Eigenmittel nur mit einem zinsgünstigen Darlehen des KfW-Programms „Solarstrom erzeugen“ durchgeführt wird. Der nominale Zinssatz beträgt zurzeit 3,45 - 4,15 % und die Laufzeit des Darlehens 10 oder 20 Jahre mit zwei oder drei tilgungsfreien Anlaufjahren. Zur Berechnung der Amortisation wurde von einem effektiven Zinssatz von 4,79 %, 20 Jahren Laufzeit und drei tilgungsfreien Anlaufjahren ausgegangen (KfW KW 24).

		<b>Anlage 1</b>	<b>Anlage 2</b>	<b>Anlage 3</b>
		Innenhof	Außendach	Verbindungs- gebäude
Fläche	m <sup>2</sup>	126	240	240
Ausrichtung		-6°	-6°	-6°
Dachneigung		35°	25°	35°
PV-Bruttofläche	m <sup>2</sup>	91	182	182
Anlagenleistung	kW <sub>Peak</sub>	10,8	21,6	21,6
Ertrag im ersten Jahr	kWh <sub>el</sub>	9.477	18.713	18.528
<b>Investitionskosten</b>	<b>€</b>	<b>54.000</b>	<b>108.000</b>	<b>108.000</b>
Betriebsgebunden Kosten	€/a	378	755	755
Einspeisevergütung im ersten Jahr	€/a	4.815	9.340	9.926
<b>Mindestlaufzeit der Anlage</b>	<b>a</b>	<b>19,1</b>	<b>19,5</b>	<b>19,1</b>
<b>Stromgestehungskosten</b>	<b>Ct/kWh<sub>el</sub></b>	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>86</b>

**Tabelle 7-1 Photovoltaikanlagendaten und Investitionskosten**

Die Photovoltaikanlagen amortisieren sich alle und werfen nach einiger Zeit auch Gewinn ab. Besteht die Möglichkeit die Anlage teilweise mit Eigenmitteln zu finanzieren, so erhöht sich der Gewinn, da der Zins für die Tilgung der Kreditraten entfällt.

## 7.2 Solarthermie

Im Bereich der Sporthallen besteht hoher Warmwasserbedarf durch Duschen, der zum Teil durch eine Solarthermieanlage abgedeckt werden kann. Der Warmwasserbedarf liegt bei ca. 420 l/d (Mittelwert 2001-2005, Angabe Verbandsgemeinde).

Das Dach der Südseite der Sporthalle oder das Dach des südwestlichen Anbaus bieten sich mit einer Neigung von 35° für die Installation einer Solarthermieanlage an. Die Anlage kann jedoch auf dem Gebäude zwischen Sporthalle und Schulgebäude installiert werden.



**Abbildung 7-2 Süddächer der Sporthalle**

Die betrachtete Anlage ist mit 9 m<sup>2</sup> Kollektorfläche so dimensioniert, dass damit ca. 60 % des Warmwasserbedarfs gedeckt werden. Diese wird durch einen Solarspeicher mit einem Fassungsvermögen von 450 l ergänzt. Mit der Anlage wird ein spezifischer Anlagenertrag von ca. 367 kWh<sub>th</sub>/(m<sup>2</sup>\*a) erzielt.

Anhand von überschlägigen Investitionskosten wurde in Anlehnung an die VDI 2067 der Wärmepreis der solarthermischen Anlage ermittelt.

Nach dem Marktanzreizprogramm zu Gunsten Erneuerbarer Energien (MAP) wird für Solar-kollektoranlagen zur Warmwasserbereitung bis zu einer Bruttokollektorfläche von 200 m<sup>2</sup> zurzeit ein Zuschuss von 54,60 € je angefangenem m<sup>2</sup> durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) bezahlt.

Es besteht auch bei der Errichtung von solarthermischen Anlagen die Möglichkeit einen zinsgünstigen Kredit bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zu beantragen. Für diese Maßnahme kommen die Programme „Wohnraum modernisieren“, „KfW-CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm“ und „Ökologisch bauen“ in Frage. Je nach Programm, Laufzeit und tilgungsfreien Anlaufjahren kann ein Kredit mit einem Zinssatz zwischen 1,41 und 3,96 % aufgenommen werden. Bei den folgenden Berechnungen wurde von einem Zinssatz von 3 % ausgegangen.

Kollektorfläche	m <sup>2</sup>	9
Speicher	l	450
Deckungsrate BWW	%	59,9
spez. Kollektor-Jahresertrag	kWh <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>	367
<b>Solarertrag</b>	<b>kWh<sub>th</sub></b>	<b>3.303</b>
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>5.990</b>
Förderung	€	491
<b>Investition mit Förderung</b>	<b>€</b>	<b>5.500</b>
<b>Kapitalkosten</b>	<b>€/a</b>	<b>400</b>
<b>Kapitalkosten mit Förderung</b>	<b>€/a</b>	<b>370</b>
Verbrauchskosten	€/a	6
Betriebskosten (Wartung).	€/a	60
Jahresgesamtkosten	€/a	470
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	420
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>14,1</b>
<b>Wärmepreis mit Förderung</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>12,7</b>

**Tabelle 7-2 Wirtschaftlichkeit der solarthermischen Anlagen (inkl. MwSt.)**

Die Anlage im Sportbereich führt zu einer Emissionseinsparung die durch kein anderes Heizungssystem, auch nicht durch den Brennstoff Holz, erreicht werden kann. Der Wärmepreis liegt jedoch deutlich höher als der durch die Zentralheizung erreichte Wärmepreis, auch wenn man diese auf Basis fossiler Brennstoffe weiterlaufen lässt.

## 8 Wärmedämmung

### 8.1 Wand

Bei einer Grundsanierung des Gebäudes Mitte der 90er wurde bereits die komplette Außenfassade sowohl des Alt- als auch des Neubaus mit einer 2 cm starken Styroporschicht und Isolierputz versehen.



**Abbildung 8-1** Wärmedämmung der Außenfassade des Alt- und Neubaus (links) und der Turnhallenfassade (rechts)

Die Sporthalle wurde bereits bei der Errichtung mit einer 6 cm starken Außenisolierung versehen.

### 8.2 Dach

Das Dach des Altbaus war ursprünglich ein Flachdach, das bei der Grundsanierung des Gebäudes durch ein Satteldach aufgestockt wurde. An der Dachdecke selbst befindet sich keine Wärmedämmung und zwischen der Wand und dem der Dachunterkante dringt Licht in den Dachboden ein. Auf dem Boden des Dachgeschosses befindet sich eine 10 - 14 cm starke Mineralwollmatte in guter Ausführung und gutem Zustand, die bereits einen hohen Wärmeschutz darstellt. Um die Dämmung hier weiter zu verbessern besteht die Möglichkeit, die Dämmung aufzustocken, was jedoch nicht zwingend erforderlich ist.



**Abbildung 8-2** Wärmedämmung Dachboden

Auch die Decken des Neubaus und der Turnhalle sind bereits mit Mineralwolle der gleichen Schichtdicke gedämmt.

### **8.3 Fenster**

Die Glasscheiben der Fenster des Altbaus wurden 1997 - 1999 durch Zwei-Scheiben-Isolierverglasung ausgetauscht. Die alten Holzrahmen wurden jedoch weiterverwendet und teilweise mit Aluminium verkleidet. Die Fenster Richtung Innenhof wurden komplett erneuert und mit Zwei-Scheiben-Isolierverglasung und Kunststoffrahmen versehen. Auch der Anbau ans Hauptgebäude und die Turnhalle beinhalten Zwei-Scheiben-Isolierverglasung und Kunststoffrahmen.

Im Bereich der Fenster kann vor allem durch Austausch der Fenster und Fensterrahmen auf der Außenseite des Altbaus Einsparpotential ausgeschöpft werden.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit sämtliche Dämmungen zu verstärken und die Fenster durch Zwei- oder sogar Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung auszutauschen. Diese Maßnahmen können aufgrund der hohen Kosten in nächster Zeit jedoch vernachlässigt werden, da die heutigen Wärmedämmstandards sicher eingehalten sind und andere Maßnahmen im Vordergrund stehen.

## 9 Stromeinsparung

In den Fluren des Altbaus befinden sich Opalglaswannen, die nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Auch in den Kursräumen befinden sich noch alte Leuchtstoffröhren die durch T5-Röhren mit elektronischen Vorschaltgeräten ersetzt werden können. Dabei sollten auch Reflektoren hinter den Lampen angebracht werden, um möglicherweise einige Lampen einsparen zu können.



**Abbildung 9-1 Opalglaswanne mit Leuchtstoffröhre im Altbau**

In den Klassenräumen hat bereits ein Austausch der Beleuchtung stattgefunden. Dort befinden sich heute Spiegelrasterleuchten, die einen geringeren Energiebedarf aufweisen als die alten Leuchten mit Opalglaswanne.



**Abbildung 9-2 Spiegelrasterleuchte in Klassenraum**

In der Turnhalle befinden sich Rasterleuchten, die in drei Feldern regelbar sind. Aufgrund der großen Oberlichter könnte hier in Zukunft eine helligkeitsabhängige Steuerung zum Einsatz kommen.



**Abbildung 9-3 Turnhalle mit Rasterleuchten**

## 10 Zusammenfassung

Die Machbarkeitsstudie der Holz-Wärmeversorgung des Schulzentrums in Rhaunen untersuchte den Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels in der bestehenden Heizzentrale.

Bisher wurde der Wärmebedarf durch zwei Heizölkessel abgedeckt, die in Kürze erneuert werden müssen.

In der Ist-Analyse wurden zunächst der Wärmebedarf und die benötigte Wärmeleistung anhand der zur Verfügung gestellten Leistungsdaten der vorhandenen Heizungsanlage ermittelt. Die vorhandene Wärmeleistung kann beibehalten werden.

In der Studie wurde die Erneuerung der vorhandenen Heizkessel dem Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels zur Abdeckung der Grundlast, ergänzt durch Heizölkessel zur Abdeckung der Spitzenlast, gegenübergestellt. Dabei wurden zwischen der Lagerung der Holzhackschnitzel in einem Betonbunker und der Lagerung in Containern unterschieden.

Mit den ermittelten Wärme- und Leistungsbedarfswerten wurde eine Energie- und Kohlendioxidemissionsbilanz aufgestellt.

Die Kohlendioxid-Emissionsbilanz ergab, dass die mit einem Holzhackschnitzelkessel mit  $270 \text{ kW}_{\text{th}}$  ca. 65 % der Emissionen eingespart werden können. Die Einsparungen sind auf die  $\text{CO}_2$ -Neutralität der Biomasse Holz zurückzuführen. Die bei der Herstellung und dem Transport der Holzhackschnitzel entstehenden Kohlendioxidemissionen sind berücksichtigt.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelte die Jahreskosten der erzeugten Wärme aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten. Für die Kessel, das Biomasselager und die Montagearbeiten wurden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind Wärmepreise angegeben, die sich aus den Jahreskosten bezogen auf die produzierte Wärmemenge berechnen.

Die Jahreskosten liegen für die Erneuerung der bestehenden Anlage bei 78.000 €/a und für den Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels zwischen 57.500 und 59.500 €/a inkl. MwSt. und Teilschulderlass. Dadurch erreicht die Wärmeversorgung mit fossilen Brennstoffen einen Wärmepreis von  $9,5 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$  und mit Biomasse einen Wärmepreis von  $7,0 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$  bei einem Betonbunker bzw.  $7,3 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$  inkl. Teilschulderlass bei Containern.

Um den Einfluss der Veränderung der Brennstoffpreise auf die Wirtschaftlichkeit zu ermitteln, wurde eine Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass sich die Biomasseheizung bei einem Anstieg des Heizölpreises zunehmend günstiger darstellt.

Das Gymnasium verfügt über große südausgerichtete Dachflächen, die grundsätzlich für den Einsatz von Photovoltaik gut geeignet sind. Die Anlagen amortisieren sich aufgrund der Einspeisevergütung bereits nach einigen Jahren.

Mit solarthermischen Anlagen kann zwar Brennstoff substituiert werden und dadurch ein positiver ökologischer Effekt erzielt werden, aber die Anlagen erweisen sich im Vergleich zur Wärmeversorgung durch die Heizzentrale unwirtschaftlich.

Die Wärmedämmung entspricht dem Stand der der Technik. Mit hohem Aufwand, z.B. durch Austausch der Fenster bzw. durch Aufstocken der Wand- und Dachdämmung, können hier weitere Einsparungen erzielt werden.

Die Beleuchtung wurde teilweise bereits durch energiesparendere ersetzt. Die alten Opalglaswannen und die Leuchtstoffröhren sollten im Lauf der Zeit jedoch ausgetauscht werden.

**Fazit:**

Aus ökologischer Sicht stellt sich der Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels sinnvoll dar. Die Kohlendioxid-Emissionen würden im Vergleich zur bisherigen Wärmeversorgung auf Basis von fossilen Brennstoffen deutlich reduziert.

Auch wirtschaftlich erweist sich der Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels als günstig. Die niedrigen Verbrauchskosten des Holzhackschnitzelkessels gleichen auf lange Sicht die höheren Investitionskosten im Vergleich zur Erneuerung der Heizölkessel aus. Die Variante mit dem Betonbunker stellt sich geringfügig wirtschaftlicher dar. In der Umsetzung erscheint jedoch ein Containerlager hinter der Turnhalle praktischer, da das Lager leichter zu errichten und zu erreichen ist und der Schulbetrieb weniger gestört wird.