

# Machbarkeitsstudie zum verstärkten Einsatz von regenerativen Energien in der Stadt Osthofen am Beispiel der Goldberschule, der Real- schule und der Wonnegauschule

Mit freundlicher Unterstützung des



**Rheinland-Pfalz**

**Ministerium für Umwelt, Forsten  
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber                    Ministerium für Umwelt und Forsten  
Datum                            13.11.2006

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

**Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl**

Tel: 06721 / 98 4 24 16

Fax: 06721 / 98 4 24 29

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

**Dipl.-Ing. (FH) 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 GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein*

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Wärmedämmung Altbau Goldbergschule</b> .....	<b>4</b>
2.1	Ist-Analyse .....	4
2.2	Verbesserung des Wärmedämmstandards .....	6
2.2.1	Wärmedämmstandard ursprünglicher Zustand .....	7
2.2.2	Wärmedämmstandard modernisierter Zustand.....	9
2.2.3	Kohlendioxidemissionsbilanz .....	11
2.2.4	Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung .....	12
<b>3</b>	<b>Wärmeversorgung</b> .....	<b>15</b>
3.1	Ist-Analyse .....	15
3.1.1	Real- und Wonnegauschule .....	16
3.1.2	Goldbergschule .....	17
3.2	Ist-Zustand und Erneuerung.....	17
3.2.1	Energiebilanz.....	18
3.2.2	Kohlendioxidemissionsbilanz .....	18
3.2.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	19
3.3	Zentrale Holz-Wärmeversorgung .....	21
3.3.1	Nahwärmenetz .....	21
3.3.2	Vorstellung Holzhackschnitzelkessel .....	22
3.3.3	Standort des Holzhackschnitzellagers .....	24
3.3.4	Energiebilanz.....	25
3.3.5	Kohlendioxidemissionsbilanz .....	26
3.3.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	28
<b>4</b>	<b>Photovoltaik Goldbergschule</b> .....	<b>32</b>
4.1	Photovoltaik - Strom von der Sonne.....	32
4.2	Anlagenkonzeption.....	36
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>38</b>

## 1 Einleitung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie zum verstärkten Einsatz von regenerativen Energien wird ein Konzept für die Wärmedämmung der Goldbergschule erstellt sowie die Umsetzungsmöglichkeit eines Holzheizwerkes für die drei Schulen in Osthofen untersucht.

Die städtische Goldbergschule ist wärmetechnisch in einem schlechten Zustand. Die Fassade ist noch im Ursprungszustand der 60er Jahre. Die Holzrahmenfenster mit Isolierverglasung in den Klassenräumen sind nicht mehr im besten Zustand. Die oberste Geschossdecke wurde nachträglich mit einer Dämmschicht versehen. Durch die Aufbringung einer Außendämmung, die Aufstockung der Dämmung der obersten Geschossdecke und die Erneuerung der Holzrahmenfenster kann der Wärmebedarf des Gebäudes stark vermindert werden. In der Studie wird dargestellt wie hoch das Einsparpotential durch die Sanierungsmaßnahmen liegt.

In Osthofen befinden sich in unmittelbarer Nähe zueinander die städtische Goldbergschule, die kreiseigene Realschule, die Wonnegauschule und eine Sporthalle mit einem Lehrschwimmbekken. Die Wärmeversorgung der Real- und der Wonnegauschule erfolgt bereits durch eine gemeinsame Heizzentrale mit einem Erdgas-Niedertemperaturkessel und einem Erdgasbrennwertkessel, die beide in den letzten zehn Jahren erneuert wurden. Die Heizungsanlage der Goldbergschule ist kurz- bis mittelfristig auszutauschen. Als umweltfreundliche Alternative zu Erdgas und um Brennstoffkosten einzusparen, werden die Erweiterung des bestehenden Nahwärmenetzes durch die Goldbergschule und der Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels in der gemeinsamen Heizzentrale 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 Heizanlage der Goldbergschule und der derzeitigen Wärmeversorgung der Real- und der Wonnegauschule 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.

In der Studie wird auch die Einsatzmöglichkeit einer Photovoltaikanlage auf der Goldbergschule geprüft und bewertet.

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

## 2 Wärmedämmung Altbau Goldbergschule

### 2.1 Ist-Analyse

Das Hauptgebäude der Goldbergschule wurde 1956 errichtet.

Der Altbau des Gebäudes ist mit dem Neubau über die Pausenhalle verbunden.

Der dreigeschossige Altbau ist nicht unterkellert. Er ist in Kalksandsteinmauerwerk und in Stahlbetonskelettbauweise mit Ausfachungen aus Betonfertigteilen als Brüstungselemente und Fenstern ausgeführt. Die rund 20 Jahre alten Fenster in den Klassenräumen bestehen aus Zweifach-Isolierverglasung und Holzrahmen. Auf der Westseite in den Fluren und Treppenhäusern wurden vor etwa 3 Jahren Kunststoffrahmenfenster mit einem U-Wert von  $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  eingebaut. Die oberste Geschossdecke des Altbaus wurde bereits mit einer ca. 8 cm starken Mineralfasermatte gedämmt.



Abbildung 2-1 Ost- und Südansicht Goldbergschule

Zur Wärmeversorgung sind zwei Erdgaskessel installiert. Sie weisen eine Gesamtleistung von 525 kW auf.

	Kessel 1	Kessel 2
Fabrikat	Buderus	Buderus
Bezeichnung	SK 615	G 505
Baujahr	1995	1988
Nennwärmeleistung	250 kW <sub>th</sub>	275 kW <sub>th</sub>
Abgasverlust	6 %	5 %

Tabelle 2-1 Daten der installierten Heizungsanlage Goldbergschule

Mit dem Erdgasverbrauch wird der Jahresheizwärmebedarf des Schulgebäudes überschlägig ermittelt. Zur Abschätzung des Jahresheizwärmebedarfs für den heutigen Zustand wird der Erdgasverbrauch von 2002 bis 2005 herangezogen.

<b>Goldbergschule</b>	
witterungsbereinigter Erdgasverbrauch 2002 - 2005	458.200 kWh <sub>Ho</sub> /a
Jahresnutzungsgrad	89 %
Jahresheizwärmebedarf	371.000 kWh <sub>th</sub> /a
installierte Heizleistung	525 kW <sub>th</sub>
Vollbenutzungsstunden	707 h/a
beheizte Fläche <sup>1</sup>	3.564 m <sup>2</sup>
spez. Heizenergiebedarf	117 kWh <sub>HU</sub> /(m <sup>2</sup> *a)
spez. Jahresheizwärmebedarf	104 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> *a)
spez. Heizleistung	147 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>
<b>Gebäudetypische Werte Schule</b>	
spez. Heizenergiebedarf (Mittelwert, Modalwert)	111 kWh <sub>HU</sub> /(m <sup>2</sup> *a) <sup>2</sup>
spez. Heizenergiebedarf (unteres Quartilsmittel)	74 kWh <sub>HU</sub> /(m <sup>2</sup> *a) <sup>2</sup>
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup> <sup>3</sup>
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 – 1.370 h/a <sup>3</sup>
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 – 1.510 h/a <sup>3</sup>

**Tabelle 2-2 Ist-Daten Goldbergschule**

Das Gebäude weist im Vergleich zu Literaturwerten einen leicht erhöhten Heizenergiebedarf auf. Auch die spezifische Heizleistung liegt im oberen Bereich von Vergleichswerten. Die niedrigen Vollbenutzungsstunden weisen auf eine Überdimensionierung der Kesselanlage hin.

<sup>1</sup> Beheizte Fläche aus Grundrissplänen entnommen

<sup>2</sup> ages GmbH, Verbrauchskennwerte 1996, Energie- und Wasserverbrauchskennwerte von Gebäuden in der Bundesrepublik Deutschland, 1997, Münster

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

## 2.2 Verbesserung des Wärmedämmstandards

Auf Grundlage des derzeitigen Wärmedämmstandards werden Dämmmaßnahmen für den Altbau der Goldbergschule untersucht.

Nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 02.12.2004 sind auch für bestehende Gebäude bei Änderung von Außenbauteilen die festgelegten Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) einzuhalten. Dies trifft dann zu, wenn Änderungen an Außenwänden, außen liegenden Fenster, Fenstertüren, Dachfenster mehr als 20 % der Bauteilflächen sowie an allen anderen Außenbauteilen weniger als 20 % der Bauteilflächen betreffen. Außerdem müssen nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume bis zum 31.12.2006 so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke  $0,30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  nicht überschreitet.

Die gesetzlichen Mindestanforderungen können mit größeren Dämmstärken und niedrigeren U-Werten unterschritten werden, sodass ein besserer Wärmedämmstandard erreicht werden kann.

Unter Berücksichtigung der nach der EnEV einzuhaltenden Höchstwerte werden technisch umsetzbare Dämmmaßnahmen geprüft und deren Einsparung ermittelt. Für den Ist-Zustand und den modernisierten Zustand wird der Jahresheizwärmebedarf nach der DIN V 4108-6<sup>1</sup> berechnet. Durch den Vergleich wird die theoretische Einsparung bestimmt. Da das Nutzerverhalten in den Berechnungen nicht mit abgebildet wird, wird die rechnerische Einsparung zur tatsächlichen Einsparung differieren.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zur Bewertung der Maßnahmen zunächst nur die für die energetische Einsparung relevanten Investitionskosten angerechnet. Es werden die Jahreskosten bzw. der Jahresüberschuss sowie die statische Amortisationsdauer bestimmt. Zusätzlich werden die Gesamtinvestitionskosten der Maßnahmen angegeben, die sich aus den Investitionskosten für die energetische Einsparung und den Investitionskosten, die auch bei der Gebäudeinstandhaltung wie z. B. Fassadenerneuerung und Gerüstkosten anfallen würden, zusammen setzen.

---

<sup>1</sup> DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Juni 2003

### 2.2.1 Wärmedämmstandard ursprünglicher Zustand

Der Altbau wurde 1956 in Kalksandsteinmauerwerk und in Stahlbetonskelettbauweise mit Ausfachungen aus Betonfertigteilen als Brüstungselemente und Fenstern ausgeführt. Die Fenster bestehen aus Zweifach-Isolierverglasung und Holzrahmen. Lediglich auf der Westseite wurden die Fenster bereits durch Kunststoffrahmenfenster mit einem U-Wert von 1,3 W/(m<sup>2</sup>K) ausgetauscht. Die oberste Geschossdecke des Altbaus wurde bereits mit einer 8 cm starken Mineralfasermatte gedämmt.

Zur Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs des Schulgebäudes im ursprünglichen Wärmedämmstandard konnte auf z. T. vorhandene Baubeschreibungen zurückgegriffen werden. Bei fehlenden Angaben wurden Aufbau und U-Werte alter Bauteile aus der Literatur entnommen. Anhand der zur Verfügung gestellten Pläne wurden die Berechnungen für das Schulgebäude durchgeführt.

In der Berechnung zum Jahreswärmebedarf des Ist-Zustands werden folgende U-Werte angesetzt.

Bodenplatte	0,76	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Erdreich Stahlbeton	3,55	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Erdreich Mauerwerk	1,19	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Außenluft Stahlbeton	3,11	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Außenluft Betonfertigteil	4,14	W/(m <sup>2</sup> K)
Außenwand gegen Außenluft Mauerwerk	1,51	W/(m <sup>2</sup> K)
Boden gegen Außenluft	1,21	W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster mit Kunststoffrahmen	1,30	W/(m <sup>2</sup> K)
Fenster mit Holzrahmen	2,80	W/(m <sup>2</sup> K)
Außentür mit Sicherheitsglas	3,50	W/(m <sup>2</sup> K)
Oberste Geschossdecke	0,44	W/(m <sup>2</sup> K)
Dach Treppenhaus	1,67	W/(m <sup>2</sup> K)

**Tabelle 2-3 U-Werte Ist-Zustand Goldbergschule**

Die Ergebnisse der Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf des Altbaus sind in der Tabelle aufgeführt.

Jahresheizwärmebedarf Altbau	472.890 kWh <sub>th</sub> /a
Wärmeleistung Altbau	259 kW <sub>th</sub>
Gebäudenutzfläche <sup>1</sup>	2.736 m <sup>2</sup>
spez. Jahresheizwärmebedarf	173 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
spez. Wärmeleistung	95 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>

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

Um den Vergleich mit den tatsächlichen Erdgasverbrauchswerten zu gewährleisten, wurden auch für den Neubau anhand des Wärmeschutznachweises des Gebäudes von 1994 der Wärmebedarf und die Heizleistung ermittelt.

Jahresheizwärmebedarf Neubau	45.890 kWh <sub>th</sub> /a
Wärmeleistung Neubau	50 kW <sub>th</sub>
Gebäudenutzfläche <sup>1</sup>	828 m <sup>2</sup>
spez. Jahresheizwärmebedarf	55 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
spez. Wärmeleistung	60 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>

**Tabelle 2-5 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand Neubau Goldbergschule**

Der Jahresheizwärmebedarf des Alt- und Neubaus von 518.780 kWh<sub>th</sub>/a aus der Berechnung liegt deutlich über dem nach den Verbrauchsdaten ermittelten Jahresheizwärmeverbrauch für den Schulbetrieb von 371.000 kWh<sub>th</sub>/a. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die normierte Berechnung auf Gebäuden beruht, die auch an Wochenenden und in den Ferien beheizt werden. Außerdem wird der tatsächliche Verbrauch noch vom Nutzerverhalten beeinflusst.

---

<sup>1</sup> Nutzfläche nach Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)

## 2.2.2 Wärmedämmstandard modernisierter Zustand

In der Energieeinsparverordnung vom 02.12.2004 sind die 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:

Außenwand	0,35 W/(m <sup>2</sup> K)
außen liegende Fenster, Fenstertüren	1,70 W/(m <sup>2</sup> K)
Decke	0,30 W/(m <sup>2</sup> K)

Da der untere Gebäudeabschluss eine Bodenplatte ist, ist diese dann zu dämmen, wenn Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert werden. Aufgrund dessen werden nur die Dämmung der luftberührten Außenwände, die Dämmung der obersten Geschossdecke und die Erneuerung der Holzrahmenfenster betrachtet.

Um einen besseren Dämmstandard als in der EnEV gefordert zu erreichen und die vorgeschriebenen U-Werte einzuhalten, sind folgende Maßnahmen erforderlich.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> K)]
Außenwand	12 cm WLG 035	0,28
Holzrahmenfenster	Fenstererneuerung	1,30
Oberste Geschossdecke (8 cm Dämmung WLG 040 vorhanden)	+ weitere 8 cm WLG 040	0,23

**Tabelle 2-6 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand**

Die Ergebnisse der Berechnung zum Jahresheizwärmebedarf für den modernisierten Zustand sind in der Tabelle aufgeführt.

Jahresheizwärmebedarf	212.260 kWh <sub>th</sub> /a
Wärmeleistung	128 kW <sub>th</sub>
beheizte Fläche	2.736 m <sup>2</sup>
spez. Jahresheizwärmebedarf	78 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)
spez. Wärmeleistung	47 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>

**Tabelle 2-7 Jahresheizwärmebedarf modernisierter Zustand Altbau Goldbergschule**

Das Einsparpotential wird durch den Vergleich mit dem Ist-Zustand bestimmt.

		Ist-Zustand	modernisierter Zustand
Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	472.890	212.260
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	259	128
Nutzfläche	m <sup>2</sup>	2.736	2.736
spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	173	78
spez. Wärmeleistung	W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>	95	47
Einsparung Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a		260.630
Einsparung Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>		130

**Tabelle 2-8 Vergleich theoretischer Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand Altbau Goldbergschule**

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf so, dass das der Altbau des Schulgebäudes einem 7,8 I-Haus entspricht. Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beim Altbau beträgt ca. 260.630 kWh<sub>th</sub>/a und entspricht damit einer Verringerung um 55 %. Auch die Wärmeleistung des Altbaus reduziert sich um 130 kW<sub>th</sub>, was 50 % entspricht.

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf wie folgt.

Maßnahmen	Anteil an Gesamteinsparung in %	Einsparung Jahresheizwärmebedarf in kWh <sub>th</sub> /a
Außenwanddämmung 12 cm WLG 035	93	235.130
Fenstererneuerung 1,30 W/m <sup>2</sup> K	3	7.680
Aufstockung Dämmung Oberste Geschossdecke 8 cm WLG 040	4	10.790

**Tabelle 2-9 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisierter Zustand**

Berücksichtigt man, dass der Neubau nicht saniert werden muss und der Wärme- und Leistungsbedarf an diesem Gebäudeteil beibehalten wird, so liegt die Gesamteinsparung der Goldbergschule bei ca. 50 % des Wärmebedarfs und bei ca. 42 % des Leistungsbedarfs. Unter Berücksichtigung des tatsächlichen Erdgasverbrauchs der letzten Jahre bzw. dem Nutzerverhalten ergibt sich also folgendes Einsparpotential hinsichtlich des zu erwartenden Jahresheizwärmeverbrauchs für die Goldbergschule:

<b>Ist-Zustand</b>	
Jahresheizwärmeverbrauch	371.000 kWh <sub>th</sub> /a
Jahresheizwärmebedarf	518.780 kWh <sub>th</sub> /a
<b>modernisierter Zustand (Variante 1)</b>	
Jahresheizwärmebedarf	258.150 kWh <sub>th</sub> /a
rechnerische Einsparung	50 %
Abschätzung Jahresheizwärmeverbrauch	184.600 kWh <sub>th</sub> /a

**Tabelle 2-10 Vergleich tatsächlicher Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und zu erwartender Jahresheizwärmeverbrauch modernisierter Zustand Goldbergschule**

### 2.2.3 Kohlendioxidemissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmedämmung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission nach GEMIS<sup>1</sup> bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission 254,1 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub> und für Strom 682,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>.

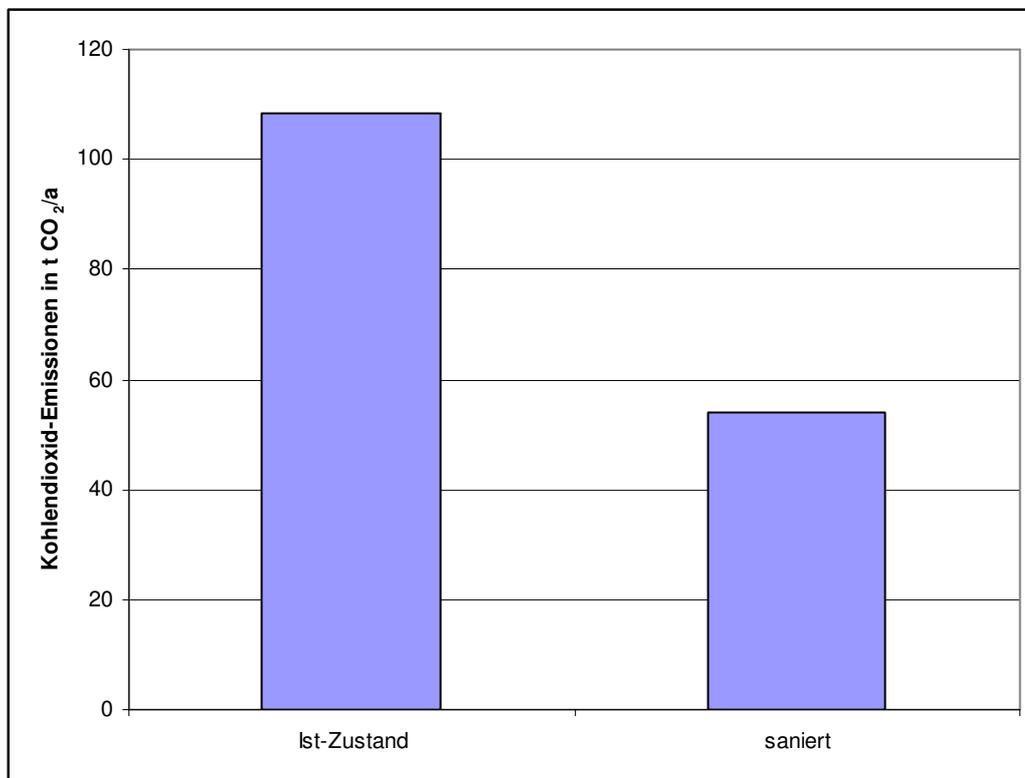
		<b>Ist-Zustand</b>	<b>Sanierungszustand</b>
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh <sub>Hu</sub> /a	416.900	207.400
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	3.710	1.850
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>108</b>	<b>54</b>

**Tabelle 2-11 Kohlendioxidemissionsbilanz Erdgas-Wärmeversorgung**

Durch die Wärmedämmung der Goldbergschule können im Vergleich zum Ist-Zustand 54 t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden, was 50 % Einsparung im Vergleich zur Basisvariante entspricht.

<sup>1</sup> Öko-Institut: Ergebnisse zu Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) 4.14, September 2002

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt.



**Abbildung 2-2 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen**

Das Diagramm zeigt deutlich die Einsparung der Kohlendioxid-Emissionen durch eine Wärmedämmung des Altbaus der Goldbergschule.

#### **2.2.4 Wirtschaftlichkeit 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 vorliegen, wie z.B. Kosten für Gerüst oder Entsorgung alter Fenster werden nicht berücksichtigt. So wird für die Erneuerung der Fenster nur der Investitionsteil angesetzt, der für den besseren U-Wert verantwortlich ist. Es handelt sich also um Mehrkosten, die zu Instandhaltungskosten bzw. zu Erneuerungskosten hinzu addiert werden müssen.

In der zweiten Darstellung werden die Gesamtinvestitionskosten, also die Summe der Investitionskosten für die Energieeinsparung und der Investitionskosten für Instandhaltung oder Erneuerung, angesetzt.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Dämmmaßnahmen für die einzelnen Bauteile separat betrachtet, sodass für jede Maßnahme die zugehörige Amortisationsdauer angege-

ben werden kann. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich eine niedrigere Einsparung durch eine leichte Erhöhung der Wärmeverluste durch nicht sanierte Gebäudeteile, denn durch die Dämmmaßnahmen erhöht sich die mittlere Innentemperatur etwas.

## Rahmenbedingungen

### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	4,89 % <sup>1</sup>
Abschreibungsdauer	30 Jahre

### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Erdgas Goldbergschule (10/2004)	4,376 Ct/kWh <sub>H0</sub> zzgl. MwSt.
--	--

Ein KfW-Kommunalkredit steht für Kommunen für Investitionen in die kommunale Infrastruktur zur Verfügung. So kann für die Investition in eine Schule als soziale Infrastruktur ein zinsgünstiger, langfristiger Direktkredit mit Festzinssätzen und tilgungsfreien Anlaufjahren beantragt werden. Nach dem aktuellen Stand der Zinssätze vom 20.10.2006 bewegen sich die effektiven Zinssätze abhängig von den Konditionen zwischen 4,47 % und 7,77 %.

Anhand des reduzierten Wärmebedarfs wird die eingesparte Erdgasmenge und somit die eingesparten Erdgaskosten gegenüber dem Ist-Zustand ermittelt.

Die Kosten der energetischen Maßnahmen sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben (19 %).

		<b>Außenwand- dämmung</b>	<b>Fenster- erneuerung</b>	<b>Dämmung oberste Ge- schossdecke</b>	<b>Summe</b>
Investition	€	128.900	9.500	15.900	154.300
Kapitalkosten	€/a	8.280	610	1.020	9.910
Einsparung	€/a	10.820	350	500	12.000
Jahresbilanz	€/a	-2.540	260	520	-2.090
Statische Amortisation	a	11,9	27,1	31,8	12,9

**Tabelle 2-12 Wirtschaftlichkeit der energetischen Maßnahmen zum modernisierten Zustand**

<sup>1</sup> KfW-Förderbank: KfW-Kommunalkredit Stand 20.10.2006: max. 30 Jahre Laufzeit, max. 5 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist, Preisklasse B

Die jährlichen Heizkosteneinsparungen durch die Dämmmaßnahmen an der Außenwand können die Kapitalkosten der energetischen Maßnahmen für die Außenwanddämmung decken. Bei der Fenstererneuerung und der Dämmung der obersten Geschosdecke können die Kapitalkosten nicht durch die Heizkosteneinsparung abgedeckt werden. Statisch betrachtet kann das eingesetzte Kapital insgesamt nach ca. 12,9 Jahren und damit noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet werden.

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit den Gesamtinvestitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt. Da sowohl für die Außenwanddämmung als auch für die Fenstererneuerung ein Gerüst benötigt wird, werden in der Summe nur einmal Gerüstkosten einkalkuliert.

		<b>Außenwand- dämmung</b>	<b>Fenster- erneuerung</b>	<b>Dämmung oberste Ge- schosdecke</b>	<b>Summe</b>
Investition	€	237.600	160.100	15.900	356.900
Kapitalkosten	€/a	17.980	13.000	1.020	25.640
Einsparung	€/a	10.820	350	500	8.100
Jahresbilanz	€/a	7.160	12.650	520	17.540
Statische Amortisation	a	22,0	457,4	31,8	44,1

**Tabelle 2-13 Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahmen**

Unter Einbeziehung der erforderlichen Gesamtinvestitionskosten zur Umsetzung des verbesserten Wärmedämmstandards können die eingesparten Heizkosten die aufzuwendenden Kapitalkosten nicht decken. Die statische Amortisationsdauer zeigt, dass sich nur die Außenwanddämmung in rund 22 Jahren innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer amortisiert.

### 3 Wärmeversorgung

#### 3.1 Ist-Analyse

In Osthofen befinden sich die städtische Goldbergsschule, die kreiseigene Realschule, die Wonnegauschule, die Sporthalle mit Lehrschwimmbecken und die Aula in unmittelbarer Nähe zueinander. Die Wärmeversorgung der Realschule, der Wonnegauschule, der Sporthalle und der Aula erfolgt bereits durch eine gemeinsame Heizzentrale mit einem Erdgas-Niedertemperaturkessel und einem Erdgasbrennwertkessel, der 2003 eingebaut wurde. Die Heizungsanlage der Goldbergsschule ist kurz- bis mittelfristig auszutauschen.

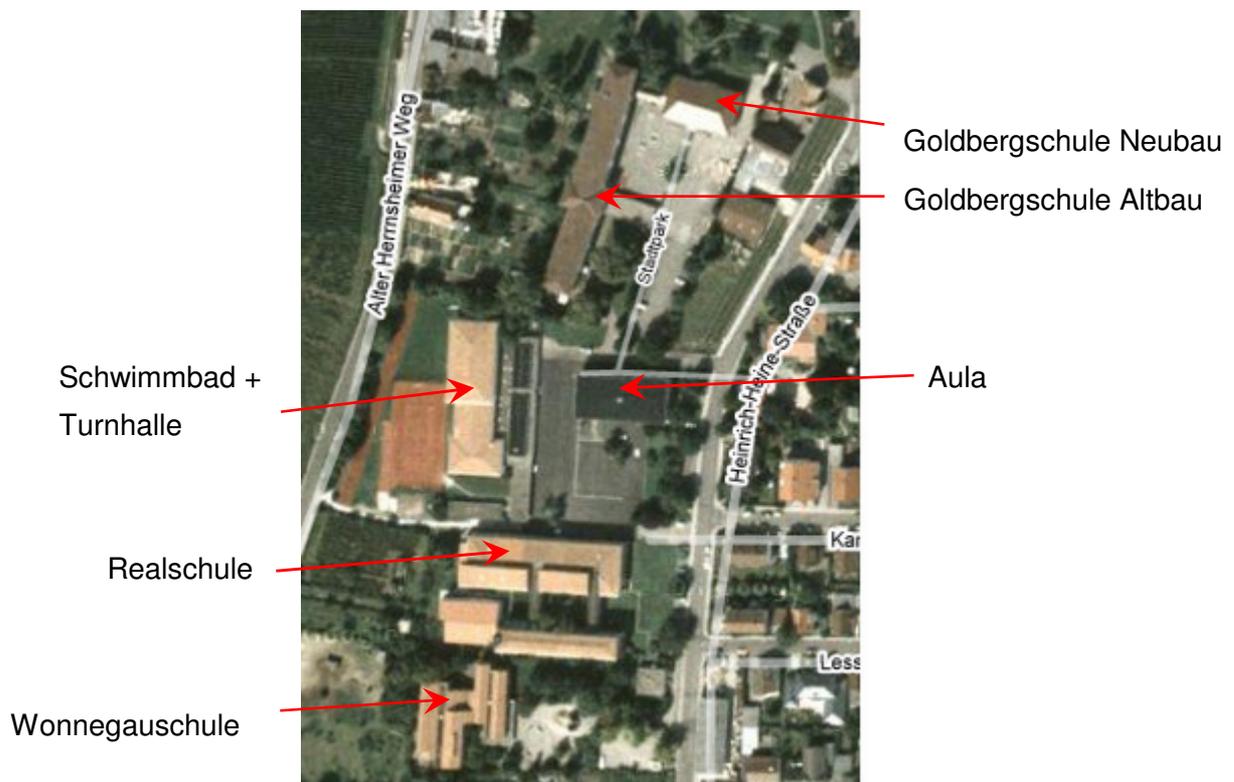


Abbildung 3-1 Lageplan

Für die Realschule und die Wonnegauschule wird anhand der Energieverbrauchsdaten und den Kenngrößen der installierten Heizanlage der Wärmebedarf ermittelt.

Für die Goldbergsschule werden der im Kapitel zwei ermittelte tatsächlich zu erwartende Wärmebedarf und die Heizleistung bei saniertem Altbaugebäudezustand angesetzt, wobei auch das Nutzerverhalten berücksichtigt wird.

### 3.1.1 Real- und Wonnegauschule

Die Real- und die Wonnegauschule sowie das Lehrschwimmbad werden durch eine gemeinsame Heizzentrale mit einem Erdgas-Brennwertkessel, einem Erdgas-Niedertemperaturkessel und einem kleinen Brauchwarmwasserkessel (BWW) beheizt. Die Heizkessel sind mittel- bis langfristig zu erneuern und werden in der weiteren Konzeption beibehalten.

	Kessel 1	Kessel 2	Kessel 3 (BWW)
Fabrikat	Fröling	Fröling	Sieger
Bezeichnung	FSM NT 400	Eurotwin 2000 K -450	92/42
Baujahr	1997	2003	1998
Nennwärmeleistung	465 kW <sub>th</sub>	450 kW <sub>th</sub>	24 kW <sub>th</sub>
Abgasverlust	4 %		6 %

**Tabelle 3-1 Daten der installierten Heizungsanlage Real- und Wonnegauschule**

Mit dem Erdgasverbrauch wird der Jahreswärmeverbrauch der Gebäude überschlägig ermittelt.

<b>Real- und Wonnegauschule</b>	
Witterungsbereinigter Erdgasverbrauch, 2001 - 2005	1.802.700 kWh <sub>Ho</sub> /a
Jahresnutzungsgrad	95 %
Jahresheizwärmebedarf	1.556.900 kWh <sub>th</sub> /a
installierte Heizleistung	939 kW <sub>th</sub>
Vollbenutzungsstunden	1.658 h/a
beheizte Fläche	9.379 m <sup>2</sup>
spez. Heizenergiebedarf	175 kWh <sub>HU</sub> /(m <sup>2</sup> *a)
spez. Jahresheizwärmebedarf	166 kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> *a)
spez. Heizleistung	100 W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>

**Tabelle 3-2 Ist-Daten Real- und Wonnegauschule**

Es wird davon ausgegangen, dass die Heizkessel in der Realschule richtig für die Wärmeversorgung der Realschule, der Wonnegauschule, der Sporthalle mit Lehrschwimmbekken und der Aula dimensioniert sind. Die Anlage wird in der Konzeption genauso beibehalten.

### 3.1.2 Goldbergsschule

Für die Goldbergsschule werden der im Kapitel zwei ermittelte Jahreswärmebedarf und die Heizleistung des sanierten Gebäudezustands angesetzt. Es wird von dem zu erwartenden tatsächlichen Jahreswärmeverbrauch ausgegangen. Der derzeitige Jahreswärmeverbrauch und der Erdgasverbrauch werden also um 50 % reduziert, während für die Heizleistung des Altbaus 128 kW<sub>th</sub> und für die Heizleistung des Neubaus 50 kW<sub>th</sub> angesetzt werden.

		modernisierter Zustand
Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	184.600
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	178
Nutzfläche	m <sup>2</sup>	3.564
spez. Jahresheizwärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /(m <sup>2</sup> a)	52
spez. Wärmeleistung	W <sub>th</sub> /m <sup>2</sup>	50

**Tabelle 3-3 Zu erwartender tatsächlicher Jahresheizwärmeverbrauch modernisierter Zustand Goldbergsschule**

### 3.2 Ist-Zustand und Erneuerung

Damit die Holz-Wärmeversorgung bewertet werden kann, werden auch die Erneuerung der bestehenden Heizungsanlage in der Goldbergsschule und der Betrieb der bestehenden Heizungsanlage der Real- und Wonnegauschule betrachtet.

Die vorhandenen Nahwärmeleitungen sind sanierungsbedürftig und müssen kurz- bis mittelfristig erneuert werden. Um die Vergleichbarkeit zu dem Holz-Nahwärmenetz zu gewährleisten, werden auch für den Ist-Zustand Kosten für die Erneuerung des betrachteten Abschnitts des Nahwärmenetzes angesetzt (Abbildung 3-2).

Die Auslegung der neuen Kesselanlage der Goldbergsschule erfolgt mit den Werten, die für den Sanierungszustand des Gebäudes ermittelt wurden.

### 3.2.1 Energiebilanz

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

Gebäude	Jahreswärmeverbrauch kWh <sub>th</sub> /a	Jahresnutzungsgrad %	Erdgasbedarf	
			kWh <sub>Hu</sub> /a	kWh <sub>Ho</sub> /a
Real-/Wonnegauschule	1.556.900	95	1.638.800	1.802.700
Goldbergschule	184.600	99	186.500	205.200
<b>Summe</b>	<b>1.741.500</b>		<b>1.825.300</b>	<b>2.007.900</b>

Tabelle 3-4 Energiebilanz Erdgas-Wärmeversorgung

### 3.2.2 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<sup>1</sup> bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO<sub>2</sub>-Emission 254,1 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>Hu</sub> und für Strom 682,6 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>el</sub>.

		Real-/Wonnegauschule	Goldbergschule	Summe
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh <sub>Hu</sub> /a	1.638.800	186.500	1.825.300
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	15.570	1.850	17.420
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>427</b>	<b>49</b>	<b>476</b>

Tabelle 3-5 Kohlendioxidemissionsbilanz Erdgas-Wärmeversorgung

<sup>1</sup> Öko-Institut: Ergebnisse zu Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) 4.14, September 2002

### 3.2.3 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 Erdgaspreise entnommen.

Die vorhandenen Nahwärmeleitungen sind sanierungsbedürftig und müssen kurz- bis mittelfristig erneuert werden. Um die Vergleichbarkeit zu dem Holz-Nahwärmenetz zu gewährleisten, werden auch für den Ist-Zustand Kosten für die Erneuerung des betrachteten Abschnitts des Nahwärmenetzes angesetzt (Abbildung 3-2).

### Rahmenbedingungen

#### Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	5 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmenetz	40 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

#### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Arbeitspreis Erdgas Real-/Wonnegauschule (12/2006)	4,376 Ct/kWh <sub>H0</sub> zzgl. MwSt.
Grundpreis Erdgas Real-/Wonnegauschule (12/2006)	885 €/Monat zzgl. MwSt.
Arbeitspreis Erdgas Goldbergschule (06.09.2005)	3,95 Ct/kWh <sub>H0</sub> zzgl. MwSt.
Grundpreis Erdgas Goldbergschule (06.09.2006)	293 €/Monat zzgl. MwSt.
Strompreis	13 Ct/kWh <sub>el</sub> zzgl. MwSt.

#### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizkessel)
Personalkosten	30 €/h zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Erdgaskessel	80 €/a zzgl. MwSt.
Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung Steuern, allgemeine Abgaben)	0,7 % der Gesamtinvestition

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Real-/Wonne- gauschule	Goldbergschule
Heizleistung Erdgaskessel	kW <sub>th</sub>		180
<b>Maschinentechnik</b>			
Erdgaskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€		27.900
<b>Bautechnik</b>			
Sanierung Nahwärmenetz	€	89.000	
Demontage Heizkessel	€		2.500
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€	13.300	4.600
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>€</b>	<b>102.300</b>	<b>35.000</b>

**Tabelle 3-6 Investition Erdgas-Wärmeversorgung**

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

Die Heizanlage der Real- und Wonnegauschule kann beibehalten werden.

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

		Real-/Wonne- gauschule	Goldberg- schule	Gesamt
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>102.300</b>	<b>35.000</b>	<b>137.300</b>
Kapitalkosten	€/a	6.480	2.920	9.390
Verbrauchskosten	€/a	108.920	14.120	123.040
Betriebskosten	€/a	6.080	2.310	8.390
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>121.480</b>	<b>19.350</b>	<b>40.830</b>
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	1.556.900	184.600	1.741.500
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>7,8</b>	<b>10,5</b>	<b>8,1</b>

**Tabelle 3-7 Wirtschaftlichkeit Erdgas-Wärmeversorgung**

### 3.3 Zentrale Holz-Wärmeversorgung

Im Folgenden wird die Wärmeversorgung auf Basis von Holzhackschnitzeln untersucht. Um den Vergleich mit der bestehenden Wärmeversorgung auf Basis von fossilem Brennstoff zu gewährleisten wird die Erdgas-Wärmeversorgung der Real- und Wonnegauschule und der Goldbergschule hier zur Variante „Dezentral Erdgas“ zusammengefasst.

Es ergeben sich also folgende Varianten:

- Dezentral Erdgas: Erdgas-Wärmeversorgung
- Zentral HHS: Holzhackschnitzel-Wärmeversorgung

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

#### 3.3.1 Nahwärmenetz

Bei der Variante „Zentral HHS“ wird das bestehende Nahwärmenetz der Real- und Wonnegauschule bis zur Goldbergschule erweitert. Die zusätzlichen Nahwärmeverluste müssen ebenfalls durch die Heizzentrale abgedeckt werden.



**Abbildung 3-2 Nahwärmenetz Schulen Osthofen schematisch (blau: vorhandenes Nahwärmenetz, rot: Erweiterung Nahwärmenetz)**

Die vorhandenen Nahwärmeleitungen sind sanierungsbedürftig und müssen kurz- bis mittelfristig erneuert werden. Es wird davon ausgegangen, dass die vorhandenen Nahwärmeleitungen bis zur Sporthalle nicht ausreichen, um auch die zusätzliche Wärmeleistung für die Goldbergschule zu übertragen und dass sie für das große Nahwärmenetz größer dimensioniert werden müssen.

niert werden müssen als bisher. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, werden auch für den bestehenden Nahwärmeverbund Kosten für den sanierungsbedürftigen Abschnitt des vorhandenen Nahwärmenetzes angesetzt.

In der Goldbergschule können die Nahwärmeleitungen im Erdgeschoss an der Decke entlang geführt werden.

<b>Variante 1</b>	<b>Leistungsbedarf</b> kW <sub>th</sub>	<b>Wärmebedarf</b> kWh <sub>th</sub> /a
Real-/Wonnegauschule	939	1.556.900
Goldbergschule	178	184.600
Nahwärmeverluste	9	45.500
<b>Summe</b>	<b>1126</b>	<b>1.787.000</b>
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,8	
<b>Summe</b>	<b>900</b>	<b>1.787.000</b>

**Tabelle 3-8 Wärmebedarf zentrale Holzwärmeversorgung**

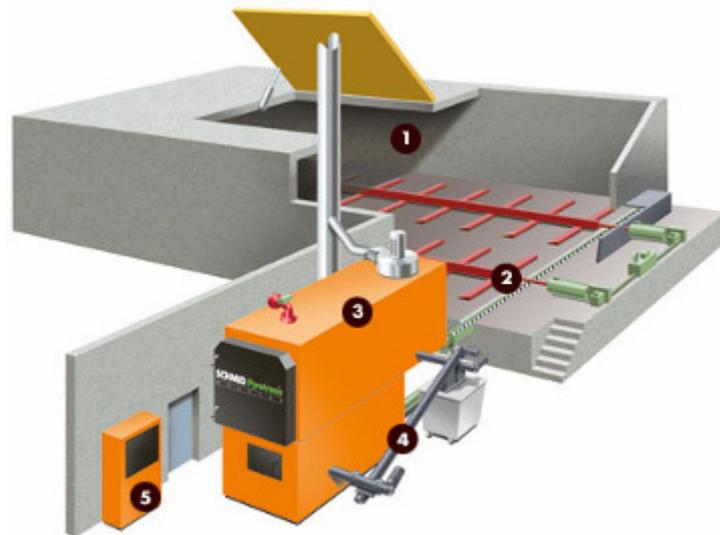
Der Anschluss des Bürgerhauses erweist sich aufgrund der geringen Wärmeabnahme und der langen Leitungslänge nicht wirtschaftlich.

### 3.3.2 Vorstellung Holzhackschnittelkessel

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnittel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holzhackschnittel 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 Holzhackschnittel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und die zu lagernde 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 Holzhackschnittel in Containern geliefert werden.

Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnittel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskoppräsen 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, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnittel vermieden werden.



**Abbildung 3-3 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 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 Holz kessels gesteigert. Es befinden sich derzeit zwei Geräte auf dem Markt, die sich für den Einsatz hinter einem Holz kessel 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 ausgelegt, während ein erdgas- oder heizölbefuehrter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

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

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte sich das Holzhackschnitzellager direkt neben der Heizzentrale befinden.

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.

### 3.3.3 Standort des Holzhackschnitzellagers

Der Holzhackschnitzelkessel kann anstelle der Erdgaskessel im Heizraum der Goldbergschule installiert werden. Neben dem Heizraum befinden sich ungenutzte Flächen die für die HHS-Lagerung zur Verfügung stehen.

Es bietet sich an, für die Lagerung der Holzhackschnitzel einen Erdbunker, der ebenerdig abschließt, neben dem Heizraum der Schule zu errichten.

Aus Gründen des Brandschutzes ist ein Abstand zwischen der Lageröffnung zum Befüllen und dem Schulgebäude von 5 bis 6 m einzuhalten, da sich auf der Fassadenseite Fenster befinden.



Abbildung 3-4 Möglicher Standort des Holzhackschnitzellagers

### 3.3.4 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	300 kW <sub>th</sub>
Erdgaskessel	939 kW <sub>th</sub>

Dazu wird ein Pufferspeicher mit rund 2.500 l kombiniert. Die vorhandenen Kessel in der Heizzentrale der Real- und der Wonnegauschule können zur Abdeckung der Spitzenlast beibehalten werden.

		Dezentral Erdgas	Zentral HHS
Jahreswärmebedarf	kWh <sub>th</sub> /a	1.741.500	1.741.500
Wärmebedarf inkl. Nahwärmeverluste	kWh <sub>th</sub> /a		1.787.000
Wärmeleistung	kW <sub>th</sub>	1.117	900
Nennleistung Biomassekessel	kW <sub>th</sub>		300
Nennleistung Erdgaskessel	kW <sub>th</sub>	1.117	939
Summe Nennleistung	kW <sub>th</sub>	1.117	1.239
Deckungsgrad Leistung Biomassekessel	%		33,3
Deckungsgrad Wärme Biomassekessel	%		80,0
Wärmeerzeugung Biomassekessel	kWh <sub>th</sub> /a		1.429.600
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh <sub>th</sub> /a	1.741.500	357.400
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	%		80
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel	%		95
Brennstoffbedarf Biomasse	kWh <sub>Hu</sub> /a		1.787.000
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh <sub>Hu</sub> /a	1.825.300	376.200
Brennstoffmenge Biomasse	Sm <sup>3</sup> /a		2.234
Brennstoffmenge Erdgas	kWh <sub>Ho</sub> /a	2.007.900	413.800
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	17.420	41.100
Asche aus Biomasse	kg/a		3.440

**Tabelle 3-9 Energiebilanz**

Um ein Vorratsvolumen für einen fünftägigen Volllastbetrieb von etwa 53 Sm<sup>3</sup> vorhalten zu können, ist ein Lagervolumen mit ca. 71 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.

### 3.3.5 Kohlendioxidemissionsbilanz

Eine ökologische Bewertung der zentralen Holz-Wärmeversorgung erfolgt wie beim Ist-Zustand und der Erneuerung mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emission nach GEMIS<sup>1</sup> 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 Erdgas beträgt 254,1 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>.

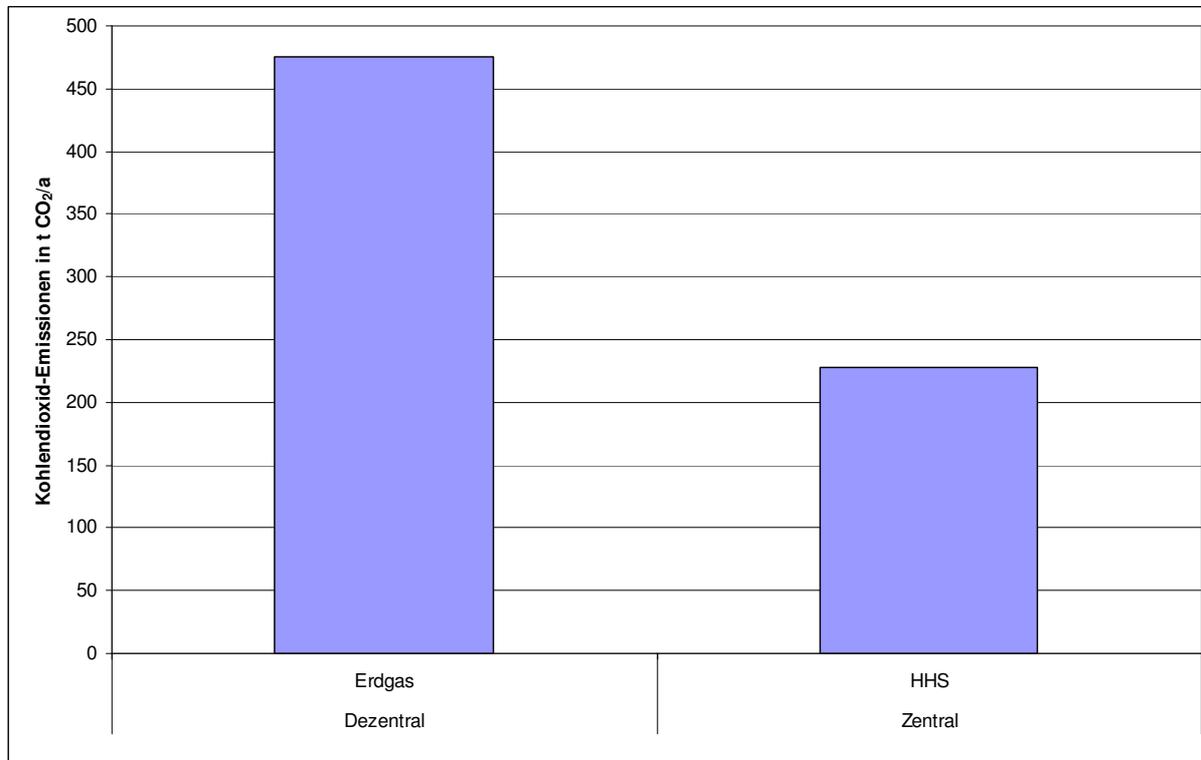
		Dezentral Erdgas	Zentral HHS
Brennstoffbedarf Holzhackschnitzel	kWh <sub>Hu</sub> /a		1.787.000
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh <sub>Hu</sub> /a	2.055.700	376.200
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh <sub>el</sub> /a	19.280	41.100
CO <sub>2</sub> -Emission Holzhackschnitzel	kg CO <sub>2</sub> /a		104.360
CO <sub>2</sub> -Emission Erdgas	kg CO <sub>2</sub> /a	522.350	95.590
CO <sub>2</sub> -Emission Strom	kg CO <sub>2</sub> /a	13.160	28.050
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>	<b>536</b>	<b>228</b>
<b>Einsparung CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>t CO<sub>2</sub>/a</b>		<b>248</b>
<b>Einsparung CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>%</b>		<b>52</b>

Tabelle 3-10 Kohlendioxidemissionsbilanz

Durch die Wärmeversorgung der Schulen in Osthofen auf Basis von Biomasse können im Vergleich zur heutigen Wärmeversorgung, bei der jedoch bereits vom sanierten Zustand des Altbaus ausgegangen wird, 248 t CO<sub>2</sub>/a eingespart werden, was 52 % Einsparung im Vergleich zur Basisvariante entspricht.

<sup>1</sup> Öko-Institut: Ergebnisse zu Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) 4.14, September 2002

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt.



**Abbildung 3-5 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.

### 3.3.6 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.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW<sub>th</sub> ein Teilschulderlass von 24 € je kW<sub>th</sub> (maximal 110.000 €) sowie für die Nahwärmeleitung bei einer Wärmeabnahme von mehr als 1,5 MWh<sub>th</sub>/a ein Teilschulderlass von 50 € je m Rohrlänge (maximal 550.000 €) 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. Aktuelle Konditionen (Stand 20.10.2006) liegen für private Antragsteller und Kommunen bei 4,22 % effektivem Zinssatz. Für 2006 wurden die letzten Anträge jedoch bis zum 15.10.2006 entgegengenommen und das Programm läuft nur noch bis Ende des Jahres. Ob 2007 weitere Fördergelder für Biomasseanlagen zur Verfügung gestellt werden, liegt noch nicht fest. 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	5 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmenetz	40 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

#### Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Spez. Holzhackschnitzel-Preis (Waldholz) (auf HHS wird eine Mwst. von 7 % erhoben)	17,5 €/Sm <sup>3</sup> zzgl. MwSt.
Arbeitspreis Erdgas Real-/Wonnegauschule (12/2006)	4,376 Ct/kWh <sub>H0</sub> zzgl. Mwst.
Grundpreis Erdgas Real-/Wonnegauschule (12/2006)	885 €/Monat zzgl. MwSt.
Strompreis	13 Ct/kWh <sub>el</sub> zzgl. MwSt.

### Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung	2 % der Investition (Heizkessel)
Personalkosten	30 €/h zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Erdgaskessel	80 €/a zzgl. MwSt.
Emissionsüberwachung Biomassekessel	105 €/a zzgl. MwSt.
Ascheentsorgung	130 €/t zzgl. MwSt.
Sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung Steuern, allgemeine Abgaben)	0,7 % der Gesamtinvestition

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben. Es wurde bereits die Mehrwertsteuer von 19 % berücksichtigt.

		<b>Dezentral</b> Erdgas	<b>Zentral</b> HHS
Heizleistung Biomassekessel	kW <sub>th</sub>		300
Heizleistung Erdgaskessel	kW <sub>th</sub>	1117	939
<b>Maschinentechnik:</b>			
Biomassekessel und Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€		121.700
Erdgas-Kessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	27.900	
<b>Bautechnik</b>			
Holz hackschnitzellager inkl. Brennstofftransport	€		35.600
Nahwärmeleitungen	€	89.000	188.400
<b>Demontage</b>			
Demontage Heizkessel	€	2.500	2.500
<b>Planung, Unvorhergesehenes</b>			
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€	17.900	52.200
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>€</b>	<b>137.300</b>	<b>400.400</b>

Tabelle 3-11 Investitionen (inkl. MwSt.)

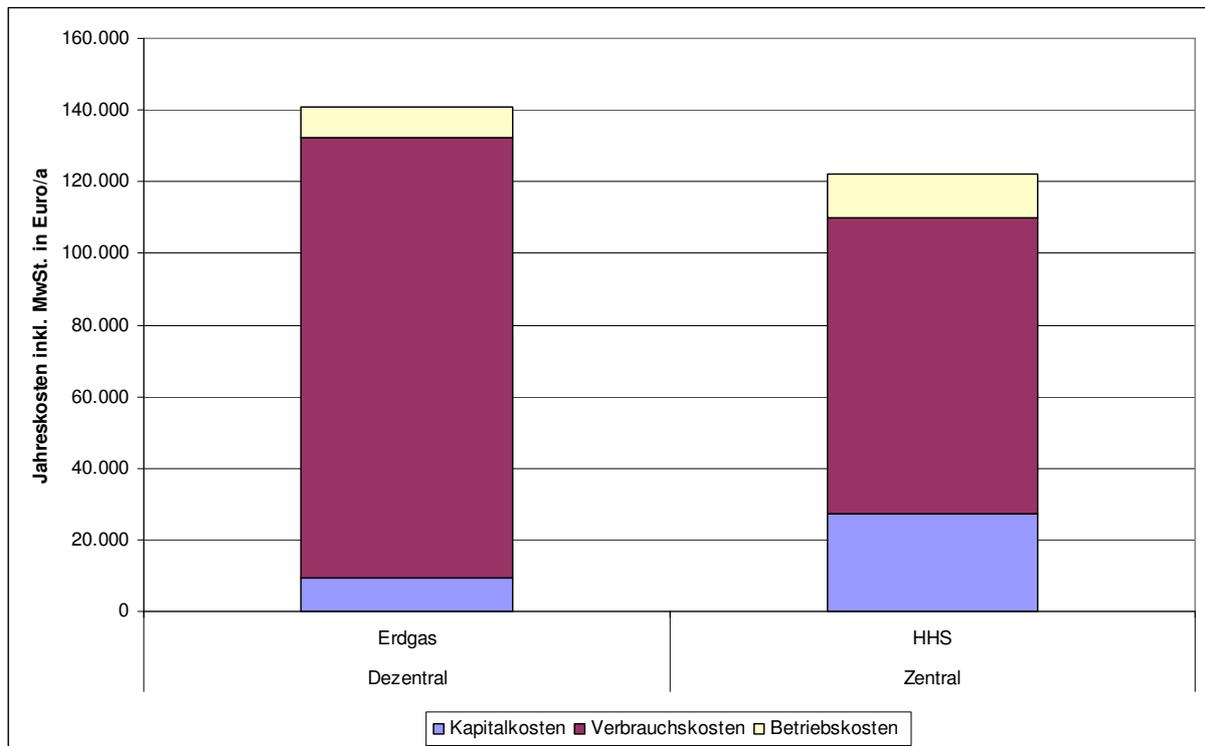
Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt.

		<b>Dezentral</b> Erdgas	<b>Zentral</b> HHS
Wärmeleistung Biomassekessel	$\text{kW}_{\text{th}}$		300
Wärmeleistung Erdgaskessel	$\text{kW}_{\text{th}}$	1.117	939
<b>Investition</b>	<b>€</b>	<b>137.300</b>	<b>400.400</b>
Kapitalkosten	€/a	9.390	27.970
Verbrauchs-kosten	€/a	123.040	82.370
Betriebskosten	€/a	8.390	12.460
<b>Jahreskosten</b>	<b>€/a</b>	<b>140.820</b>	<b>122.800</b>
Jahreswärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.741.500	1.741.500
<b>Wärmepreis</b>	<b>Ct/kWh<sub>th</sub></b>	<b>8,1</b>	<b>7,1</b>

**Tabelle 3-12 Wirtschaftlichkeit (inkl. MwSt.)**

Die Wärmeversorgungsvariante auf Basis von Holzhackschnitzeln stellt sich deutlich günstiger dar als die Wärmeversorgung mit Erdgas. Der Wärmepreis liegt um 1,0 Ct/kWh<sub>th</sub> niedriger. Die Jahreskosten der Holzhackschnitzelvariante liegen um 13 % niedriger als bei der Basisvariante.

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



**Abbildung 3-6 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.

## 4 Photovoltaik Goldbergschule

### 4.1 Photovoltaik - Strom von der Sonne

In der Photovoltaik ermöglichen Solarzellen die direkte Umwandlung von Sonnenenergie in elektrische Energie.

#### Prinzip

Die Solarzellen sind Halbleiter-Bauelemente, die die Solarstrahlung absorbieren. Sie bestehen überwiegend aus Silizium. Durch das Einbringen von Fremdatomen werden zwei Schichten mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften erzeugt. An der Grenzfläche entsteht ein elektrisches Feld, das von außen nicht feststellbar ist. Wenn Licht auf die Solarzelle trifft, erzeugt dies unter Abgabe von Energie freie Ladungsträger. Diese werden durch das innere elektrische Feld an der Grenzfläche getrennt. An den äußeren Kontakten entsteht eine elektrische Spannung, sodass bei Anschluss eines Verbrauchers Strom fließt.

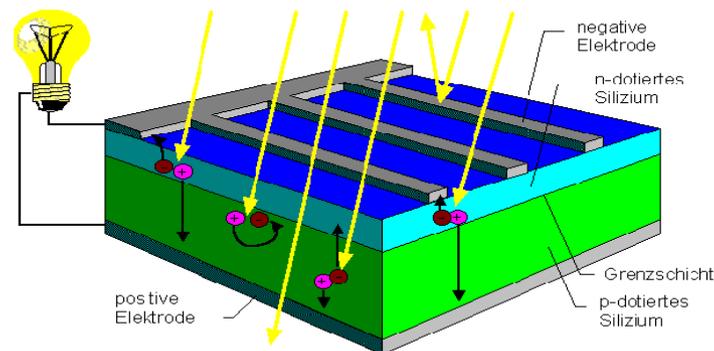


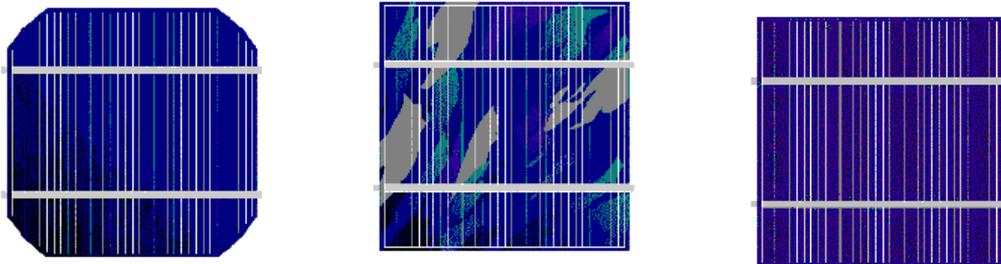
Abbildung 4-1 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

#### Von der Solarzelle zum Photovoltaikmodul

Bei den Solarzellen unterscheidet man nach drei Typen: monokristalline, polykristalline und Dünnschicht-Solarzellen. Als Grundmaterial wird derzeit fast ausschließlich Silizium eingesetzt. Rund 80 % aller weltweit produzierten Photovoltaikmodule setzen mono- oder polykristalline Solarzellen ein. Rund 20 % der Photovoltaikmodule bestehen aus Dünnschichtzellen, wovon amorphes Silizium den weitaus größten Teil abdeckt. Dünnschichtzellen kommen meist bei autarken Anwendungen (Taschenrechnern, Uhren usw.) zum Einsatz. Sie können sogar in flexible Lamine integriert werden und so z.B. auf Booten oder nicht planaren Flächen aufgeklebt werden. Der Aufbau eines kristallinen PV – Moduls setzt sich von unten nach oben zusammen aus a) Glas chemisch gehärtet/alternativ Folie b) Folie gefärbt oder hochtransparent oder Gießharzschicht c) Solarzellenverbund d) Folie hochtransparent oder Gießharzschicht e) Weißglas chemisch gehärtet und geschliffen.

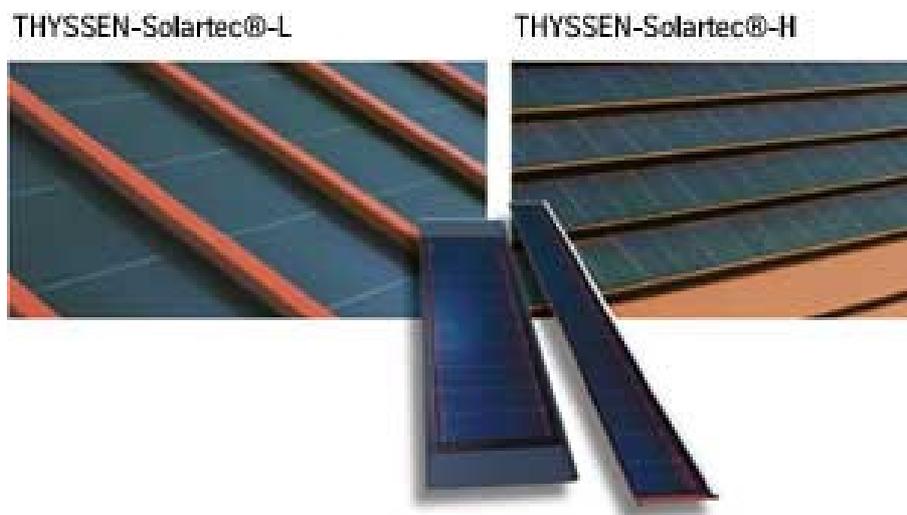
Neben Solarzellen aus polykristallinem Silizium, deren Wirkungsgrad 15 % beträgt, erreichen Solarzellen aus amorphem Germanium-Silizium einen Wirkungsgrad von 12 %.

Um den erzeugten Strom technisch anwenden zu können, besteht ein Solarmodul aus mehreren Solarzellen. Für eine Photovoltaikanlage können beliebig viele Solarmodule zusammengeschaltet werden. Ein vorgeschalteter Wechselrichter wandelt die Gleichspannung in Wechselspannung um.



**Abbildung 4-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen**  
(Quelle: CD Solarenergie)

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt ab 250 verschiedene PV-Module auf dem Markt. Diese unterscheiden sich durch ihre Abmaße, Leistung, Zelltypen und nicht zuletzt durch ihren Rahmen und die Einbindung in Montagesysteme (z.B. Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleichbleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Photovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Photovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann. Photovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m<sup>2</sup> angeboten. Mit 10 – 15 kg/m<sup>2</sup> stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden Maßnahmen an der Dachstatik. Es gibt auch sogenannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Mittlerweile sind komplette Dachelemente als PV-Modul ausgebildet. Die einzelnen Photovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solargenerator.



**Abbildung 4-3 PV-System der Fa. Thyssen**

Photovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden.

### Inselanlagen

Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solargenerator (bestehend aus den Photovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher. Insellösungen werden dann realisiert, wenn der Anschluss an das öffentliche Stromnetz nicht möglich oder zu teuer wäre, etwa bei Berghütten, sehr abgelegenen Bauernhöfen oder bei Raumstationen im Weltall.

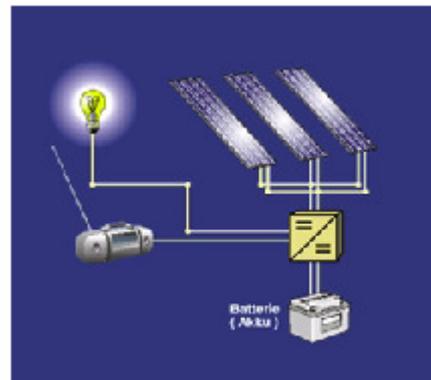


Abbildung 4-4 PV – Inselanlage  
(Quelle: CD Solarenergie)

### Netzgekoppelte Systeme

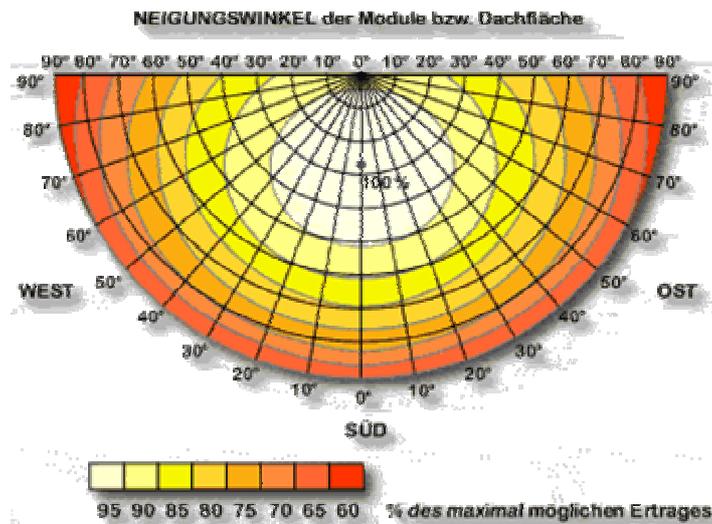
Sie sind über den Wechselrichter mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Der Strom aus der Photovoltaikanlage wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und vom Stromversorger vergütet. Eine netzgekoppelte Anlage benötigt keine Batteriespeicher und ist daher wesentlich kostengünstiger als eine Inselanlage.



Abbildung 4-5 Eine netzgekoppelte Anlage speist den Solarstrom ins öffentliche Netz ein  
(Quelle: CD Solarenergie)

### Leistung

Eine Photovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung ( $kW_{Peak}$ ) eine Dachfläche von rund  $10\text{ m}^2$  (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Der meiste Solarstrom wird erzeugt, wenn das Dach nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von  $30^\circ$  hat. Eine Ausrichtung der Photovoltaikmodule nach Süd-West oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10 %. Das gleiche gilt für Dachneigung von  $10^\circ$  bzw.  $60^\circ$ :



**Abbildung 4-6 Anlagenenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators**  
(Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund  $750 - 850\text{ kWh je } kW_{Peak}$ , in Süddeutschland unter optimalen Bedingungen können über  $900\text{ kWh je } kW_{Peak}$  geerntet werden. Eine Verschattung der Photovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird.

## 4.2 Anlagenkonzeption

Aufgrund der Südausrichtung der Dachflächen eignet sich der Neubau der Goldbergschule zur Anbringung einer Photovoltaikanlage. Die Dachfläche beträgt 252 m<sup>2</sup>. Da das Dach aufgrund des Walmdachs nicht komplett mit Standard-Modulen ausgelegt werden kann, wird hier davon ausgegangen, dass man einen Solargenerator mit 18 kW<sub>Peak</sub> Leistung auf dem Dach installieren kann. Die Ertragssimulation sowie die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt mit PV-Sol.



**Abbildung 4-7 Südseite Neubau Goldbergschule**

Der erzeugte Strom der Anlage wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die Photovoltaikanlage 2007 errichtet wird. Das bedeutet, dass der erzeugte Strom für 20 Jahre garantiert mit 49,21 Ct/kWh<sub>el</sub> vergütet wird. Für jedes Jahr, das die Anlage später errichtet wird, beträgt die Einspeisevergütung 5 % weniger.

Bei der wirtschaftlichen Betrachtung der Anlage wird davon ausgegangen, dass die Finanzierung ohne Eigenmittel nur mit Krediten durchgeführt wird.

Es besteht die Möglichkeit, ein zinsgünstiges Darlehen bis zu 50.000 € über das KfW-Programm „Solarstrom erzeugen“ zu erhalten. Der nominale Zinssatz beträgt zurzeit 3,45 - 4,00 % und die Laufzeit des Darlehens 10 oder 20 Jahre mit zwei oder drei tilgungsfreien Anlaufjahren (Stand 20.10.2006).

Zur Berechnung der Amortisation wurde von einem nominalen Zinssatz von 4 % für den KfW-Kredit<sup>1</sup> ausgegangen. Durch den KfW-Kredit können nur 50.000 € der Investitionskosten abgedeckt werden. Die restliche Investitionssumme kann durch einen Kredit der Hausbank abgedeckt werden. Auch hier wird von einem Zinssatz von 4 %<sup>2</sup> ausgegangen.

---

<sup>1</sup> KfW-Förderbank: Solarstrom erzeugen Stand 20.10.2006: max. 20 Jahre Laufzeit, max. 3 tilgungsfreie Anlaufjahre, max. 10 Jahre Zinsbindungsfrist, 96 % Auszahlung

<sup>2</sup> 20 Jahre Laufzeit, 0 tilgungsfreie Anlaufjahre, 100 % Auszahlung

Die Bruttokosten der Anlage werden so gewählt, dass sich die Anlage nach 20 Jahren Laufzeit und 5 % Degradation des Anlagenertrags in 10 Jahren Laufzeit amortisiert. Bei den spezifischen Investitionskosten handelt es sich also um den Maximalpreis, bei dem der wirtschaftliche Betrieb der Anlage noch dargestellt werden kann.

		<b>Neubau</b>
Generatorfläche	m <sup>2</sup>	152
Azimut		17°
Neigung		22°
Leistung	kW <sub>Peak</sub>	18
Ertrag	kWh <sub>el</sub> /a	16.230
Einspeisevergütung (Inbetriebnahme 2007)	€/a	7.990
<b>Max. spez. Investitionskosten</b>	<b>€/kW<sub>el</sub></b>	<b>5.750</b>
Max. Investitionskosten	€	103.500
Mindestlaufzeit der Anlage	a	19,9

**Tabelle 4-1 Photovoltaikanlagendaten und Investitionskosten (exkl. MwSt.)**

Kann die Anlage günstiger erworben werden als für 5.750 €/kW<sub>Peak</sub>, so kann mit der Anlage innerhalb von 20 Jahren Gewinn erzielt werden. Der Marktpreis für Photovoltaikanlagen liegt zurzeit bei ca. 5.000 €/kW<sub>Peak</sub>. Besteht die Möglichkeit die Anlage teilweise mit Eigenmitteln zu finanzieren, so erhöht sich der Gewinn, da der Zins für die Tilgung der Kreditraten entfällt.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie zum verstärkten Einsatz von regenerativen Energien wurde ein Konzept für die Wärmedämmung der Goldbergschule erstellt sowie die Umsetzungsmöglichkeit eines Holzheizwerkes für die drei Schulen in Osthofen untersucht.

Die Goldbergschule ist wärmetechnisch in einem schlechten Zustand.

Durch die Dämmung der Außenwände, die Aufstockung der Dämmung der obersten Geschossdecke und den Austausch der Fenster kann der Wärmebedarf des Altbaus der Goldbergschule um 55 % und der Leistungsbedarf des Gebäudes um 50 % gesenkt werden. Innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer amortisiert sich jedoch nur die Dämmung der Außenwände und des Daches.

Der Wärmebedarf der Goldbergschule wird zurzeit durch zwei Erdgaskessel, die kurz- bis mittelfristig auszutauschen sind, abgedeckt. Realschule, Wonnegauschule, Sporthalle mit Schwimmbecken und Aula sind bereits zu einem Nahwärmenetz zusammengeschlossen, dass durch ein Erdgasbrennwertgerät und einen Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Wärme gespeist wird. Die Anlage mit  $939 \text{ kW}_{\text{th}}$  kann noch einige Zeit beibehalten werden.

In der Studie wurden der Austausch der Heizkessel in der Goldbergschule sowie der Betrieb der Neuanlage und des bestehenden Nahwärmenetzes der Holzwärmeversorgung gegenübergestellt. Für die Holzwärmeversorgung wurden die Erweiterung des Nahwärmenetzes durch die Goldbergschule und der Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels zur Abdeckung der Grundlast der Schulen betrachtet. Die vorhandenen Erdgaskessel in der Realschule wurden bei der Konzeption zur Abdeckung der Spitzenlast beibehalten.

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

Die Kohlendioxid-Emissionsbilanz ergab, dass die mit einem Holzhackschnitzelkessel mit  $300 \text{ kW}_{\text{th}}$  ca. 52 % der Emissionen eingespart werden können.

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 Anlage in der Goldbergschule ca. bei  $140.800 \text{ €/a}$  inkl. MwSt. und für den Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels bei  $122.800 \text{ €/a}$  inkl. MwSt.. Dadurch erreicht die Wärmeversorgung mit fossilen Brennstoffen einen Wärmepreis von  $8,1 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$  und mit Biomasse einen Wärmepreis von  $7,1 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ .

Auf dem Neubau der Goldbergschule bietet sich die südausgerichtete Dachfläche für den Einsatz einer Photovoltaikanlage an. Bei Finanzierung durch 100 % Fremdkapital mit einem Zinssatz von 4 % dürfen die spezifischen Investitionskosten höchstens bei  $5.750 \text{ €/kW}_{\text{Peak}}$  inkl. MwSt. liegen, damit die Anlage sich nach 20 Jahren amortisiert.

**Fazit:**

Aus ökologischer Sicht stellt sich vor allem die Wärmedämmung des Altbaus der Goldbergschule sinnvoll dar. Der Jahreswärmeverbrauch und die Wärmeleistung des Gebäudes können stark reduziert werden und dadurch Brennstoff eingespart werden. Die Außenwanddämmung bietet das größte Einsparpotential.

Auch durch den Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels können die Kohlendioxid-Emissionen im Vergleich zur bisherigen Wärmeversorgung auf Basis von fossilen Brennstoffen deutlich reduziert werden. Aus wirtschaftlicher Sicht erweist sich der Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels ebenfalls günstig. Die niedrigen Verbrauchskosten des Holzhackschnitzelkessels gleichen auf lange Sicht die höheren Investitionskosten im Vergleich zu den Erdgaskesseln aus.

Kann eine Photovoltaikanlage für weniger als  $5.750 \text{ €/kW}_{\text{Peak}}$  erworben werden, kann diese wirtschaftlich auf dem Süddach des Neubaus der Goldbergschule betrieben werden.