

Machbarkeitsstudie Holzwärmeversorgung Trifels-Gymnasium in Annweiler

Mit freundlicher Unterstützung des



Rheinland-Pfalz

**Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber	Ministerium für Umwelt, Forsten Rheinland-Pfalz
Projektnummer	1251
Datum	27.07.2006

Transferstelle Bingen · Berlinstr. 109 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

Tel: 06721 / 409 229

Fax: 06721 / 409 129

wirtz@tsb-energie.de

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

Tel: 06721 / 409 228

Fax: 06721 / 409 129

schmidt-sercander@tsb-energie.de

im

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Ist-Analyse	4
3	Ist-Zustand und Erneuerung	6
3.1	Energiebilanz	6
3.2	Kohlendioxidemissionsbilanz.....	6
3.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	7
4	Holz-Wärmeversorgung	9
4.1	Vorstellung Holzhackschnitzelkessel.....	9
4.2	Standort des Holzhackschnitzellagers.....	11
4.3	Energiebilanz	12
4.4	Kohlendioxidemissionsbilanz.....	13
4.5	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	14
5	Vergleich der Wärmeversorgungsvarianten	17
5.1	Vergleich der Kohlendioxid-Emissionen	17
5.2	Vergleich Wirtschaftlichkeit	19
6	Sensitivitätsbetrachtung	21
7	Einsatz von Solartechnik.....	24
7.1	Photovoltaik	24
7.2	Solarthermie.....	26
8	Zusammenfassung.....	28

1 Einleitung

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wird für das Trifels-Gymnasium in Annweiler die Umsetzungsmöglichkeit eines Holzheizwerkes untersucht.

Die Wärmeversorgung des Trifels-Gymnasiums in Annweiler erfolgt derzeit durch zwei Heizölkessel, die mittel- bis langfristig 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.

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

2 Ist-Analyse

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.

	Kessel 1	Kessel 2
Fabrikat	Ygnis	Ygnis
Bezeichnung	Pyrotherm	Pyrotherm
Baujahr	1983	1983
Nennwärmeleistung	830 kW _{th}	830 kW _{th}

Tabelle 2-1 Daten der installierten Heizungsanlage

Mit dem Heizölverbrauch wird der Wärmebedarf der Gebäude überschlägig ermittelt.

Trifels Gymnasium		
Heizölverbrauch, gemittelt 2002 - 2005	204.680 l/a	
Jahresnutzungsgrad	83 %	
Jahresheizwärmebedarf	1.698.800 kWh _{th} /a	
installierte Heizleistung	1.660 kW _{th}	
Vollbenutzungsstunden	1.023 h/a	
beheizte Fläche	12.125 m ²	
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	140 kWh _{th} /(m ² *a)	
spez. Heizleistung	137 W _{th} /m ²	
gebäudetypische Werte		
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh _{th} /(m ² *a)	¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ²	¹
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 - 1.370 h/a	¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a	¹

Tabelle 2-2 Ist-Daten Trifels Gymnasium

Die Vollbenutzungsstunden und die spezifische Heizleistung zeigen im Vergleich zu gebäudetypischen Werten, dass die Heizungsanlage leicht überdimensioniert ist. Da es sich bei dem Trifels-Gymnasium um ein Internat handelt, in dem auch gewohnt und gekocht wird,

¹ Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

können die Vollbenutzungsstunden hier mindestens bis in den Bereich des zweischichtigen Schulbetriebs erhöht werden.

Für die weiteren Berechnungen wird eine Wärmeleistung von $1.200 \text{ kW}_{\text{th}}$ zu Grunde gelegt. Die spezifische installierte Leistung beträgt dann $99 \text{ W}_{\text{th}}/\text{m}^2$ und die Vollbenutzungsstunden 1.416 h/a .

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 _{th} /a	Jahresnutzungsgrad %	Heizölbedarf	
		kWh _{Hu} /a	l/a
1.698.800	90	1.887.600	188.760

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 CO₂-Emission nach GEMIS bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für Heizöl beträgt die spezifische CO₂-Emission 317,7 g CO₂/kWh_{Hu} und die für Strom 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

	Bedarf kWh _{Hu} /a	CO ₂ -Emission t CO ₂ /a
Heizöl	1.887.600	600
Strom	16.990	12
Summe		611

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 28 (www.heizoelboerse.de)	59,33 Ct/l ohne MwSt.
Strompreis (Trifels-Gymnasium)	9,52 Ct/kWh _{el} ohne. MwSt.

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

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

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	Basisvariante Heizölkessel
Heizleistung Heizölkessel	(2*600) kW _{th} 1.200
Maschinentechnik Heizölkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	157.900 €
Bautechnik Demontage Heizkessel	5.800 €
Planung, Unvorhergesehenes Planung, Unvorhergesehenes (15%)	24.600 €
Gesamtinvestition	188.300 €

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.

	Kapitalkosten	Verbrauchs- kosten	Betriebs- kosten	Jahreskosten	Wärmepreis
	€/a	€/a	€/a	€/a	Ct/kWh _{th}
Heizölkessel	14.350	131.790	5.770	151.910	8,9

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 unterirdischen 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 Trifels-Gymnasium 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 Schüttfähigkeit der Holzhackschnitzel sind deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienaufwand gewährleistet.

Das Lager der Holzhackschnitzel 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 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, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnitzel vermieden werden.

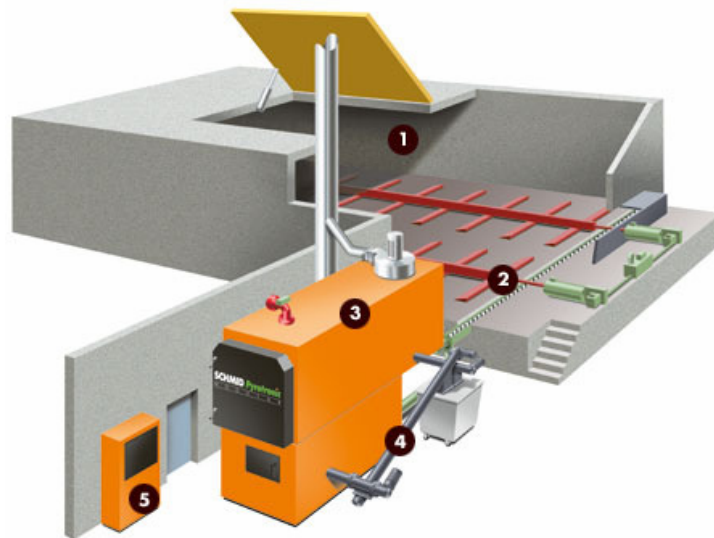


Abbildung 4-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung
(Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

Die Dosierschnecke oder der Hydraulikzylinder fördern die Holzhackschnitzel 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 Holzhackschnitzeln 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_{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 Schalzhäufigkeit, 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 unbehandeltes Industrierestholz kann auch zerkleinertes Landschaftspflegegrün zur Verfeuerung in einem Biomassekessel eingesetzt werden.

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte sich das Holzhackschnitzzellager 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 Volllast zu betreiben. Aufgrund des LKW-Ladevolumens können zwischen etwa 40 und 80 Sm³ angeliefert werden.

4.2 Standort des Holzhackschnitzzellagers

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

Wird ein Bunker errichtet, so besteht die Möglichkeit diesen auf der Wiese neben dem Gebäude zu errichten. Anfahrende LKW's können über den Parkplatz neben der Aula und die bereits betonierte Fläche neben dem Parkplatz an den Bunker heranfahren, um die HHS abzukippen.

Diese betonierte Fläche, die zurzeit nicht genutzt wird, steht alternativ auch für die Aufstellung der HHS-Container zur Verfügung. Anfahrende LKW's können rückwärts an die Fläche heranfahren und die Container darauf abstellen.

Bei beiden Lagervarianten müssen die Abfallcontainer neben dem Parkplatz versetzt werden, um die Zufahrt an das Lager zu gewährleisten.



Abbildung 4-2 Standort des Holzhackschnitzzellagers

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.

Holzhackschnitzelkessel 400 kW_{th}

Heizölkessel 800 kW_{th}

Dazu wird ein Pufferspeicher mit rund 3.200 l kombiniert.

		Variante 1 / 2 HHS-Kessel
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	1.698.800
Wärmeleistung	kW _{th}	1.200
Nennleistung Biomassekessel	kW _{th}	400
Nennleistung Heizölkessel	kW _{th}	800
Deckungsgrad Leistung Biomassekessel	%	33
Deckungsgrad Wärme Biomassekessel	%	85
Wärmeerzeugung Biomassekessel	kWh _{th} /a	1.443.980
Wärmeerzeugung Heizölkessel	kWh _{th} /a	254.820
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel	%	80
Jahresnutzungsgrad Heizölkessel	%	90
Brennstoffbedarf Biomasse	kWh _{Hu} /a	1.805.000
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh _{Hu} /a	283.100
Heizwert Holzhackschnitzel	kWh _{Hu} /Sm ³	800
Heizwert Heizöl	kWh _{Hu} /l	10
Brennstoffmenge Biomasse	Sm ³ /a	2.256
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	28.310
Asche aus Biomasse	kg/a	2.780

Tabelle 4-1 Energiebilanz Holz- Wärmeversorgung

Um ein Vorratsvolumen für einen sechstägigen Volllastbetrieb von etwa 85 Sm³ vorhalten zu können, ist ein Lagervolumen mit ca. 115 m³ 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 drei Container mit einem Volumen von je 34 m³ in Frage. Das geringere Volumen reicht hier für die Bevorratung der Holzhackschnitzel 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 CO₂-Emission nach GEMIS bezogen auf den unteren Heizwert des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Unter Anrechnung der CO₂-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 CO₂-Emission von 58,4 g CO₂/kWh_{Hu}. Die spezifische CO₂-Emission von Heizöl beträgt 317,7 g CO₂/kWh_{Hu} und die spezifische CO₂-Emission von Strom 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

		Variante 1 HHS-Kessel
Brennstoffbedarf Holzhackschnitzel	kWh _{Hu} /a	1.805.000
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh _{Hu} /a	283.100
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	31.430
CO ₂ -Emission Holzhackschnitzel	kg CO ₂ /a	105.410
CO ₂ -Emission Heizöl	kg CO ₂ /a	89.940
CO ₂ -Emission Strom	kg CO ₂ /a	21.450
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	217

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 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_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (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-CO₂-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.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

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

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Spez. HHS-Preis (Waldholz)	18 €/Sm ³ ohne MwSt.
(auf HHS wird eine Mwst. von 7 % erhoben)	
Regionaler. Heizölpreis KW 28 (www.heizoelboerse.de)	59,33 Ct/l ohne MwSt.
Strompreis (Trifels-Gymnasium)	9,52 Ct/kWh _{el} 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 angegeben.

		Variante 1 HHS-Kessel Bunker	Variante 2 HHS-Kessel Container
Heizleistung Biomassekessel	kW_{th}	400	400
Heizleistung Heizölkessel	kW_{th}	800	800
Maschinentechnik:			
Biomassekessel und Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	113.400	113.400
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	101.900	101.900
Bautechnik			
Holzhackschnitzellager inkl. Brennstofftransport	€	57.200	87.000
Demontage			
Demontage Heizkessel	€	5.800	5.800
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes (15%)	€	41.700	46.200
Gesamtinvestition	€	320.000	354.300
Teilschulderlass Biomassekessel	€	24.000	24.000
Gesamtinvestition mit Teilschulderlass	€	296.000	330.300

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

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

		Variante 1	Variante 2
		HHS-Kessel Bunker	HHS-Kessel Container
Wärmeleistung Biomassekessel	kW_{th}	400	400
Wärmeleistung Heizölkessel	kW_{th}	800	800
Investition	€	320.000	354.300
Investition inkl. Teilschulderlass	€	296.000	330.300
Kapitalkosten	€/a	22.780	26.920
Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass	€/a	21.010	25.150
Verbrauchsdaten	€/a	66.410	66.410
Betriebskosten	€/a	11.180	11.420
Jahreskosten	€/a	100.370	104.750
Jahreskosten inkl. Teilschulderlass	€/a	98.600	102.980
Jahreswärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.698.800	1.698.800
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	5,9	6,2
Wärmepreis inkl. Teilschulderlass	Ct/kWh_{th}	5,8	6,1

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

Aufgrund der niedrigeren Investitionskosten für das Holzhackschnitzzellager erweist sich die Variante 1 günstiger. Der Wärmepreis liegt 0,3 Ct/kWh_{th} niedriger als bei Variante 2 mit dem Containern.

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.

		Basisvariante Heizölkessel	Variante 1 HHS-Kessel Bunker	Variante 2 HHS-Kessel Container
Brennstoffbedarf HHS	kWh _{Hu} /a		1.805.000	1.805.000
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh _{Hu} /a	1.887.600	283.100	283.100
Hilfsenergiebedarf Strom	kWh _{el} /a	16.990	31.430	31.430
spez. CO ₂ -Emission HHS	g CO ₂ /kWh _{Hu}		58,4	58,4
spez. CO ₂ -Emission Heizöl	g CO ₂ /kWh _{Hu}	317,7	317,7	317,7
spez. CO ₂ -Emission Strom	g CO ₂ /kWh _{el}	682,6	682,6	682,6
CO₂-Emission	t CO₂/a	611	217	217

Tabelle 5-1 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen

Durch die Wärmeversorgung des Trifels-Gymnasiums in Annweiler auf Basis von Biomasse können 394 t CO₂/a eingespart werden, was 65 % Einsparung im Vergleich zur Basisvariante entspricht.

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt.

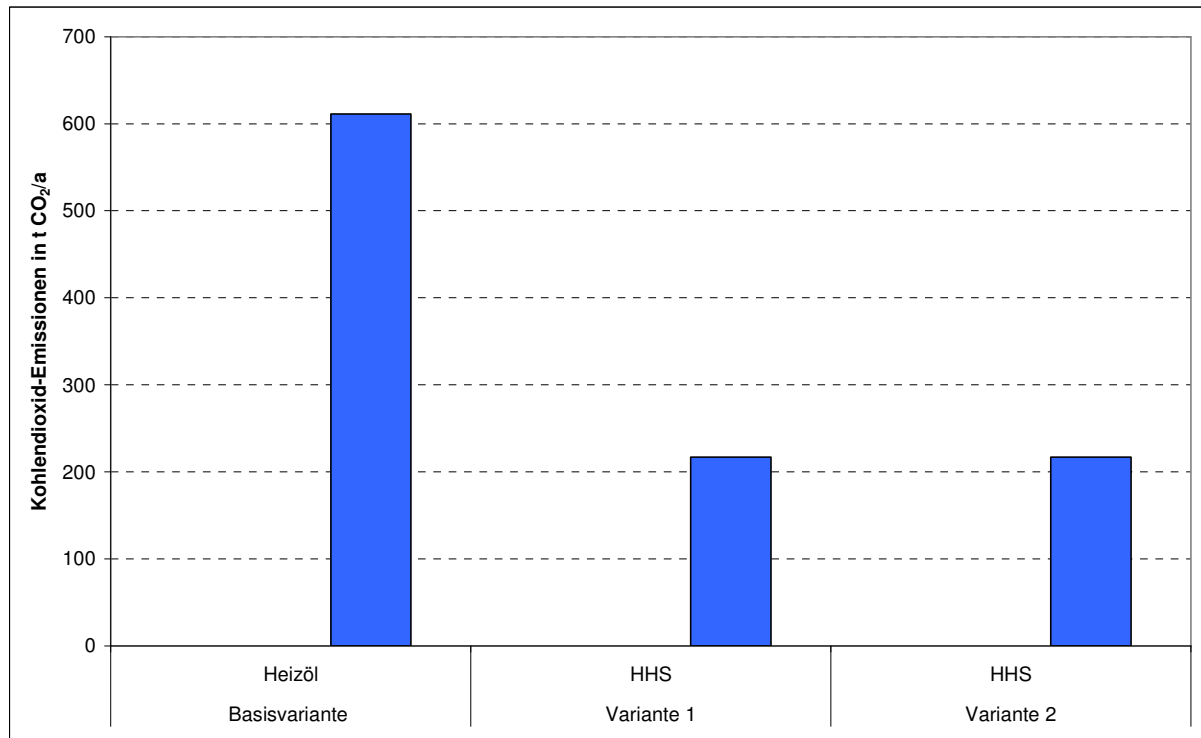


Abbildung 5-1 Vergleich Kohlendioxid-Emissionen

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 eingespart werden.

5.2 Vergleich Wirtschaftlichkeit

Die Daten zur Wirtschaftlichkeit der dezentralen und zentralen Wärmeversorgung sind in folgender Tabelle aufgeführt.

		Basisvariante Heizölkessel	Variante 1 HHS-Kessel Bunker	Variante 2 HHS-Kessel Container
Investition	€	188.300	320.000	354.300
Investition inkl. Teilschulderlass	€		296.000	330.300
Kapitalkosten	€/a	14.350	22.780	26.920
Kapitalkosten inkl. Teilschulderlass	€/a		21.010	25.150
Verbrauchskosten	€/a	131.790	66.410	66.410
Betriebskosten	€/a	5.770	11.180	11.420
Jahreskosten	€/a	151.910	100.370	104.750
Jahreskosten inkl. Teilschulderlass	€/a		98.600	102.980
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	1.698.800	1.698.800	1.698.800
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	8,9	5,9	6,2
Wärmepreis inkl. Teilschulderlass	Ct/kWh _{th}		5,8	6,1

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.

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

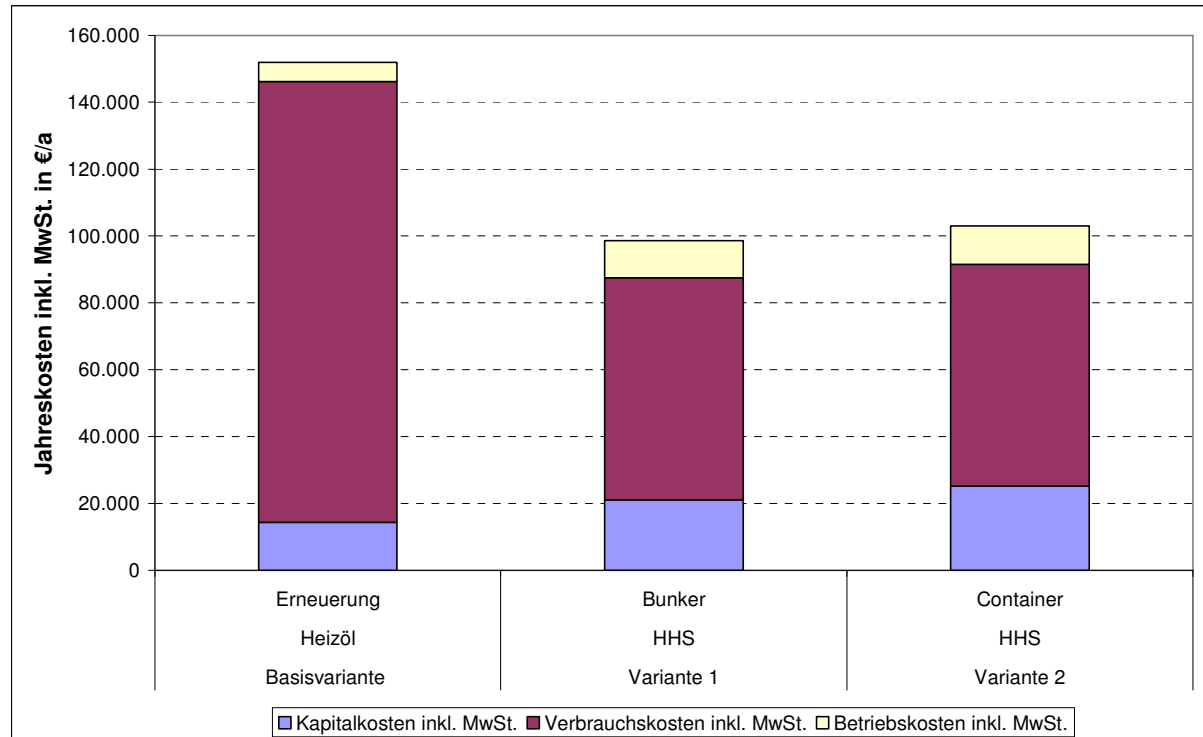


Abbildung 5-2 Vergleich Jahreskosten inkl. MwSt. der Wärmeversorgungsvarianten

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 ³
-50 %	29,67	9,00
-40 %	35,60	10,80
-30 %	41,53	12,60
-20 %	47,46	14,40
-10 %	53,40	16,20
0 %	59,33	18,00
10 %	65,26	19,80
20 %	71,20	21,60
30 %	77,13	23,40
40 %	83,06	25,20
50 %	89,00	27,00
60 %	94,93	28,80
70 %	100,86	30,60
80 %	106,79	32,40
90 %	112,73	34,20
100 %	118,66	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.

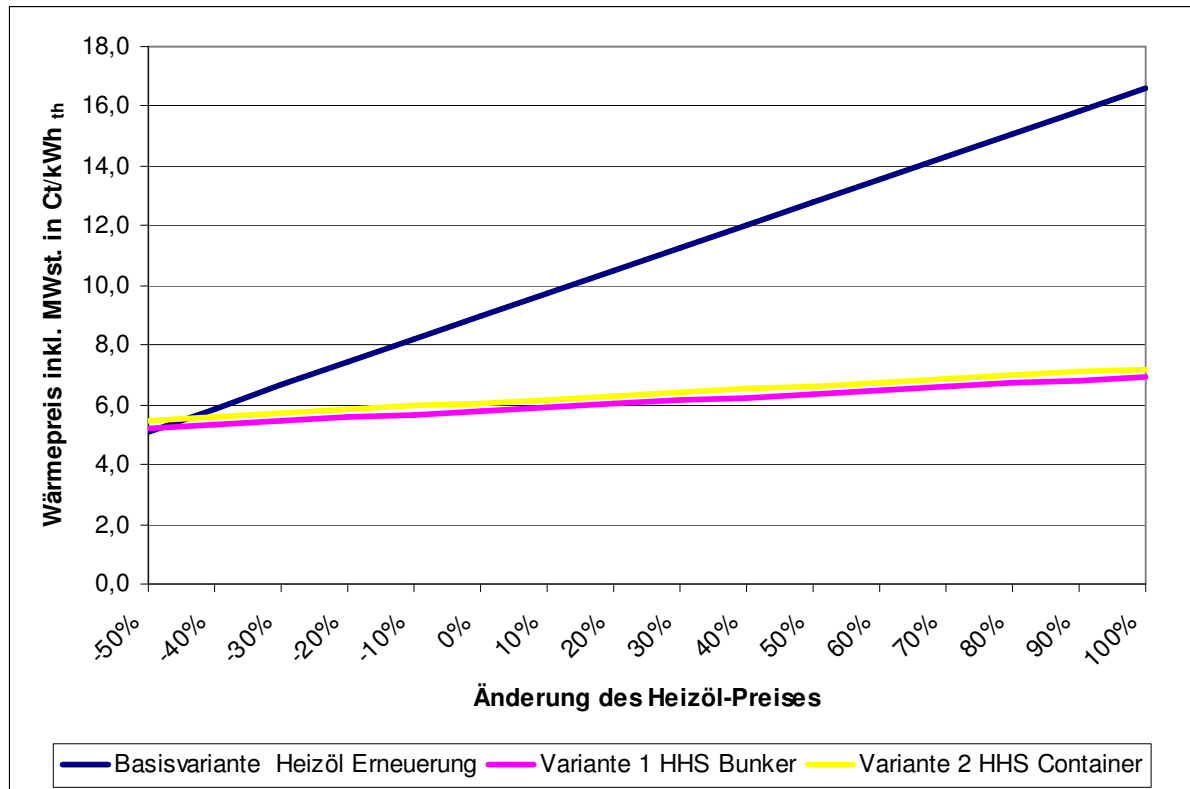


Abbildung 6-1 Wärmepreis abhängig vom Heizölpreis

Bei einem Anstieg des Heizölpreises erweist sich die Wärmeversorgung auf Basis von Holzhackschnitzeln zunehmend günstiger als die Wärmeversorgung auf Basis von fossilem Brennstoff.

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

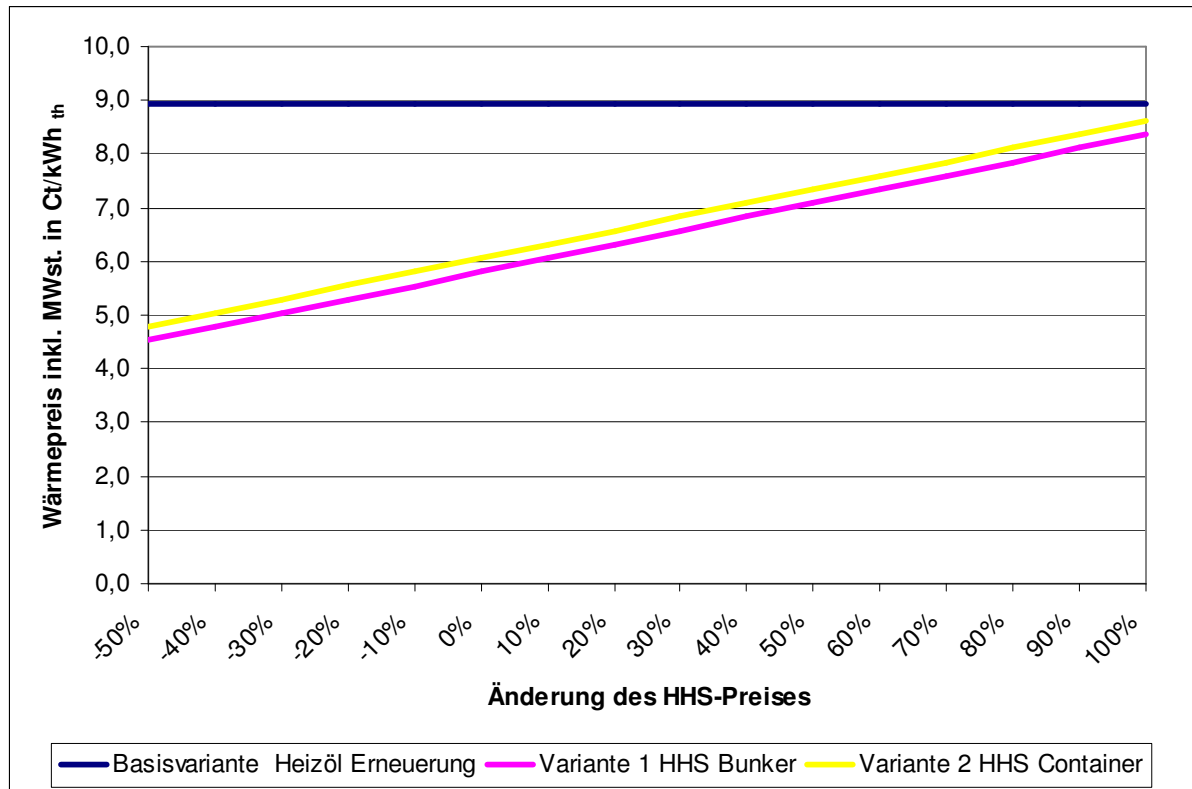


Abbildung 6-2 Wärmepreis abhängig vom Holzhackschnitzelpreis

Selbst bei einer Steigerung des Holzpreises um bis zu 100 % erreicht die Wärmeversorgung auf Basis des regenerativen Brennstoffes nicht den Wärmepreis der Wärmeversorgung auf Basis von Heizöl.

7 Einsatz von Solartechnik

7.1 Photovoltaik

Aufgrund der Südausrichtung der Dachflächen eignen sich folgende Gebäude des Trifels-Gymnasiums für die Anbringung einer Photovoltaikanlage:

- Internatsgebäude K2
- Aula
- Schulgebäude
- Wirtschaftsgebäude
- Kleine Sporthalle



Abbildung 7-1 Südseite des Gebäudes K2 und der Aula

Im Folgenden werden die Kosten und Erträge der Anlagen beispielhaft für die ersten drei der genannten Gebäude dargestellt. Dabei konnten Dachflächen und Dachneigungen aufgrund fehlender Unterlagen teilweise nur grob abgeschätzt werden.

Bei der Installation einer Photovoltaikanlage kann auf 10 m^2 ca. $1 \text{ kW}_{\text{Peak}}$ elektrische Leistung installiert werden. Der Ertrag einer südgerichteten Anlage beträgt rund $750 - 850 \text{ kWh}_{\text{el}}$ je kW_{Peak} , in Süddeutschland können unter optimalen Bedingungen über $900 \text{ kWh}_{\text{el}}$ je kW_{Peak} geerntet werden.

Der erzeugte Strom der Anlagen wird nach dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) vergütet. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die Photovoltaikanlagen 2007 errichtet werden. Das bedeutet; dass der erzeugte Strom für 20 Jahre garantiert mit $49,21 \text{ Ct/kWh}_{\text{el}}$ 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.

		K2	Aula	Schulgebäude
Dachfläche (südgerichtet)	m ²	ca. 350	1.817	ca. 520
Azimut		17°	0°	0°
Neigung		ca. 35-45°	20°	ca. 35°
Leistung	kW _{Peak}	27,3	186,2	33,0
Ertrag	kWh _{el} /a	24.365	165.235	30.720
Investitionskosten	€	136.500	930.000	165.000
Betriebskosten	€/a	955	6.520	1.155
Einspeisevergütung (Inbetriebnahme 2007)	€/a	12.240	82.600	15.540
Mindestlaufzeit der Anlage	a	19,0	19,4	17,9
Stromgestehungskosten	Ct/kWh _{el}	85	82	78

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 durch die von den Vereinen genutzten Duschen ein hoher Bedarf an Warmwasser, der zum Teil durch eine Solarthermieanlage abgedeckt werden kann.

Das Flachdach zwischen den beiden Turnhallen bietet sich aufgrund der günstigen Anbindeposition zu den Wasserleitungen für die Aufstellung von Solarkollektoren an.



Abbildung 7-2 Übergang zwischen kleiner und großer Turnhalle

Die betrachtete Anlage ist mit 21 m² Kollektorfläche so dimensioniert, dass damit ca. 50 % des Warmwasserbedarfs gedeckt werden. Die Anlage wird durch einen Solarspeicher mit einem Fassungsvermögen von 1.000 l ergänzt. Mit der Anlage wird ein spezifischer Kollektorsertrag von ca. 470 kWh_{th}/(m²*a) erzielt.

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

Nach dem Marktanreizprogramm zu Gunsten Erneuerbarer Energien (MAP) wird für Solar Kollektoranlagen zur Warmwasserbereitung bis zu einer Bruttokollektorfläche von 200 m² zurzeit ein Zuschuss von 54,60 € je angefangenem m² 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-CO₂-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 2 % ausgegangen.

Kollektorfläche	m ²	21
Speicher	l	1.000
Deckungsrate BWW	%	53,0
spez. Anlagenjahresertrag	kWh _{th} /m ²	468
Solarertrag	kWh_{th}	9.828
Investition	€	15.000
Förderung	€	1.147
Investition mit Förderung	€	13.900
Kapitalkosten	€/a	890
Kapitalkosten mit Förderung	€/a	820
Verbrauchs-kosten	€/a	10
Betriebskosten (Wartung).	€/a	150
Jahresgesamtkosten	€/a	1.050
Jahresgesamtkosten mit Förderung	€/a	910
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	10,7
Wärmepreis mit Förderung	Ct/kWh_{th}	9,7

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

Die Anlage im Sportbereich erweist sich aufgrund des hohen spezifischen Kollektorertrags mit einem Wärmepreis von 9,7 Ct/kWh_{th} inkl. Mwst. und Förderung relativ wirtschaftlich. Dennoch liegt der Wärmepreis höher als der durch die Heizzentrale erreichte Wärmepreis, auch wenn man diese auf Basis fossiler Brennstoffe weiterlaufen lässt. Der ökologische Effekt einer Solarthermieanlage lässt sich jedoch auch nicht durch Holz als Brennstoff ausgleichen, da dadurch eine Brennstoffeinsparung erzielt wird.

8 Zusammenfassung

Die Machbarkeitsstudie der Holz-Wärmeversorgung des Trifels-Gymnasiums in Annweiler 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. Dabei konnte man erkennen, dass die vorhandenen $1.660 \text{ kW}_{\text{th}}$ auf ca. $1.200 \text{ MW}_{\text{th}}$ reduziert werden können.

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 $400 \text{ kW}_{\text{th}}$ ca. 65 % der Emissionen eingespart werden können. Die Einsparungen sind auf die 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 ca. bei 150.000 €/a inkl. MwSt. und für den Einsatz eines Holzhackschnitzelkessels bei 98.600 €/a bis 103.000 €/a inkl. MwSt. und Teilschulderlass. Dadurch erreicht die Wärmeversorgung mit fossilen Brennstoffen einen Wärmepreis von $8,9 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ und mit Biomasse einen Wärmepreis von $5,8 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ inkl. Teilschulderlass bei einem Betonbunker als Lager und von $6,1 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ bei einem Containerlager.

Um den Einfluss der Veränderung der Brennstoffpreise auf die Wirtschaftlichkeit zu ermitteln, wurde eine Sensitivitätsbetrachtung durchgeführt. Dabei wurde deutlich, dass sich ein Holzheizwerk bei einem Anstieg der Heizölpreises zunehmend günstiger darstellt als die Wärmeversorgung mit dem fossilen Brennstoff.

Das Gymnasium verfügt über große südausgerichtete Dachflächen, die grundsätzlich für den Einsatz von Fotovoltaik gut geeignet sind und sich im Lauf ihrer Lebenszeit auch amortisieren und schließlich Gewinn abwerfen.

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 nicht wirtschaftlich.

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 zu den Erdölkesseln aus.

Das Lager mit einem Betonbunker ist aufgrund der hohen Investitionskosten für die Holzhackschnitzelcontainer zu bevorzugen.