

Energiekonzept

Waldbreitbacher Franziskanerinnen e.V.

Auftraggeber SGD Süd, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft
Rheinland-Pfalz, Abt. D
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Auftragnehmer Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH
Transferstelle Bingen
Berlinstraße 109
55411 Bingen

Leiter	Prof. Dr. Ralf Simon
Bearbeiter	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz Telefon: 06721 / 409 229 Dipl.-Ing. (FH) Marco Stallmann Telefon: 06721 / 409 228
Telefax	06721 / 409 129
Homepage	www.tsb-energie.de

Projektnummer 1134

Datum 16.12.2005

Inhalt

Einleitung.....	3
1 Ist-Analyse	4
1.1 Wärmeerzeugung	4
1.2 Wärmeverteilung.....	6
2 Realisierungsmöglichkeiten	7
2.1 Vorstellung der Varianten für Energiezentrale 1	7
2.1.1 Basisvariante	7
2.1.2 Variante 1	7
2.1.3 Variante 2	10
2.2 Vorstellung der Varianten für Energiezentrale 2	12
2.2.3 Basisvariante	12
2.2.4 Variante 1	12
3 Vergleich der Varianten aus Energiezentrale 1	13
3.1 Energiebilanz	13
3.2 Kohlendioxid-Emissions-Bilanz	14
3.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	16
3.4 Sensitivitätsanalyse	20
4 Vergleich der Varianten aus Energiezentrale 2.....	23
4.1 Energiebilanz	23
4.2 Kohlendioxid-Emissions-Bilanz	23
4.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	25
5 Nutzungsmöglichkeit Solarenergie.....	28
5.1 Solarthermie.....	28
5.2 Fotovoltaik	31
5.3 Einsatzmöglichkeit an Bildungszentrum und Mutterhaus.....	34
5.3.1 Solarthermie.....	34
5.3.2 Fotovoltaik.....	35
6 Zusammenfassung	36

Einleitung

Die Liegenschaften auf dem Gelände der Waldbreitbacher Franziskanerinnen werden derzeit aus zwei Energiezentralen mit Wärme versorgt. Da die beiden Gebäude in 450 Metern Entfernung voneinander stehen, ist die Verbindung der beiden Energiezentralen zu einem Nahwärmeverbund unwirtschaftlich, da der Wärmebedarf von Energiezentrale 2 nicht ausreicht, um die hohen Investitionskosten der Nahwärmeleitung durch günstige Verbrauchskosten decken zu können. Der Amortisationszeitpunkt für die Investition würde erst nach der Lebensdauer der Nahwärmeleitung liegen.

Als zusätzlicher Punkt kommt die Unklarheit über die Bodenbeschaffenheit im Bereich der Trasse zum Tragen. Vermutlich befindet sich direkt unter der Oberfläche Felsstruktur, zur Bestimmung der notwendigen Investitionskosten für den Bau der Nahwärmeleitung ist ein zusätzliches Bodengutachten erforderlich.

In dieser Analyse wird daher zunächst die Möglichkeit geprüft, Energiezentrale 1 (E1), welche Mutterhaus, Haus Bethanien und das Bildungshaus versorgt zu optimieren.

Zur Umrüstung von E1 werden neben der Basisvariante (Erneuerung der vorhandenen Heizkessel) die Variante 1 (Holzhackschnitzelkessel mit Heizöl-Spitzenkessel) und die Variante 2 (Pflanzenöl-BHKW mit Heizöl-Spitzenkessel) untersucht.

Für die Energiezentrale 2 (E2) wird der Einsatz eines BHKW untersucht. Hierbei wird die bedarfsgerechte Erneuerung der bestehenden Heizzentrale durch Erdgas-Niedertemperatur-Kessel angenommen.

Zunächst wird in einer Ist-Analyse anhand der Energieverbrauchsdaten und der Anlagendaten der Wärmebedarf abgeschätzt. Dies ist die Grundlage der weiteren Berechnungen.

In einer Energiebilanz werden die Energie- und Brennstoffmengen für die zentrale Wärmeversorgung ermittelt. Darauf basiert eine Kohlenstoffdioxid-Emissionsbilanz zur ökologischen Bewertung der Varianten.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Als Ergänzung wird der Wärmepreis angegeben, der einen anschaulichen Vergleich ermöglicht.

Weiterhin wird eine Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich der Brennstoffpreise durchgeführt. Damit kann der Einfluss einer Preissteigerung auf die Wirtschaftlichkeit der beiden Wärmeversorgungsvarianten dargestellt werden.

Neben der Wärmeversorgung mit regenerativen Energien wird als weiterer Punkt die Einsatzmöglichkeit von Solarthermie und Fotovoltaik geprüft und der zu erwartende Ertrag ermittelt.

In der abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung dargestellt.

1 Ist-Analyse

1.1 Wärmeerzeugung

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Verbrauchsdaten der installierten Anlagen aus.

	Energiezentrale 1	Energiezentrale 2
Brennstoff	Erdgas/Heizöl	Erdgas/Heizöl
Kessel 1	Viessmann 13052-54	Buderus SE 705/75
Wärmeleistung [kW]	700	750
Baujahr	1975	1990
Brenner 1	Weishaupt GI 5/1 - D	Weishaupt GI 7/1 - D
Baujahr	1981	1981
Leistung, Erdgas [kW]	200 - 970	300 - 1750
Leistung, Heizöl [kg/h]	17 - 83	26 - 150
Kessel 2	Viessmann 13052-54	Buderus 06 NH 640
Wärmeleistung [kW]	700	755
Baujahr	1975	1981
Brenner 2	Weishaupt GI 5/1 - D	Weishaupt GI 7/1 - D
Baujahr	1981	1981
Leistung, Erdgas [kW]	200 - 970	300 - 1750
Leistung, Heizöl [kg/h]	17 - 83	26 - 150
Kessel 3	Viessmann 13052-54	
Wärmeleistung [kW]	1120	
Baujahr	1975	
Brenner 3	Weishaupt GI 7/1 - D	
Baujahr	1981	
Leistung, Erdgas [kW]	300 - 1750	
Leistung, Heizöl [kg/h]	26 - 150	
Kessel 4	Viessmann 13052-54	
Wärmeleistung [kW]	1070	
Baujahr	1975	
Brenner 4	Weishaupt GI 7/1 - D	
Baujahr	1981	
Leistung, Erdgas [kW]	300 - 1750	
Leistung, Heizöl [kg/h]	26 - 150	

Tabelle 1: Ist-Analyse

Zur Beurteilung der installierten Anlagen wird der Brennstoffverbrauch der letzten 5 Jahre gemittelt und damit der Wärmebedarf für jedes der Gebäude neu berechnet. Anhand der spezifischen Wärmeleistung und der Zahl der Vollbenutzungsstunden wird überprüft, ob und wo Überdimensionierungen in der Wärmeerzeugung vorliegen. Schließlich wird anhand der überschlägigen Kennwerte nach *Kubessa*¹ eine Neudimensionierung der nötigen Heizlasten vorgenommen. Mit diesen neuen Daten werden später die verschiedenen Varianten berechnet und untereinander verglichen.

	Einheit	Energiezentrale 1	Energiezentrale 2
Brennstoffverbrauch Erdgas Mittelwert 2002 - 2005	kWh _{Ho} /a	3.261.000	1.121.000
Brennstoffverbrauch Heizöl Mittelwert 2002 - 2005	kWh _{Hu} /a	1.700	600
Jahresnutzungsgrad	%	81	79
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	2.643.000	886.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	736	589
spez. Wärmebedarf	kWh _{th} /(m ² *a)	193	354
spez. Wärmeleistung	W _{th} /m ²	262	602

Tabelle 2: Ist-Zustand

Die vorstehende Tabelle 2 zeigt anhand der Vollbenutzungsstunden und der spezifischen Wärmeleistung eindeutig, dass beide Energiezentralen deutlich überdimensioniert sind.

Anhand üblicher Kennwerte nach *Kubessa*¹ wird eine Neudimensionierung durchgeführt. Demnach gelten die in der Tabelle 3 dargestellten Werte.

	Einheit	Energiezentrale 1	Energiezentrale 2
spez. Wärmebedarf	kWh _{th} /(m ² *a)	90 bis 260	90 bis 260
spez. Wärmeleistung	W _{th} /m ²	87 bis 145	87 bis 145
ermittelter Wärmebedarf	kWh _{th} /a	2.643.000	886.000
Vollbenutzungsstunden	h/a	1.510	1.477
spez. Wärmebedarf	kWh _{th} /(m ² *a)	193	354
spez. Wärmeleistung	W _{th} /m ²	128	240
installierte Wärmeleistung	kW _{th}	3.600	1.500
neu dimensionierte Wärmeleistung	kW _{th}	1.750	600

Tabelle 3: Neudimensionierung nach *Kubessa*

¹ *Kubessa*: „Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb“

Für den mittleren Stromverbrauch ergeben sich folgende Werte:

	Einheit	Energiezentrale 1	Energiezentrale 2
Stromverbrauch Mittelwert 2002 - 2005	kWh _{el} /a	759.000	249.000
Strompreis	Ct/kWh _{el}	10,5	10,5
Stromkosten	€/a	79.695	26.145

Tabelle 4: Stromverbrauch

1.2 Wärmeverteilung

Wärmeerzeugung und Brauchwarmwasserbereitung erfolgen zentral in der Heizzentrale. Von dort aus wird die Wärme mittels eines Nahwärmenetzes verteilt. Die Rohrleitungen aus Stahl verlaufen zum Teil in Kellern oder in Kanälen und sind überwiegend mit einer Isolierung gedämmt.

Teilweise sind Schäden durch Korrosion und Durchfeuchtung zu erkennen, viele Ventile in allen Bereichen des Komplexes sind nicht mehr zu stellen. Fast alle Heizpumpen sind nicht geregelt und können deshalb nicht bedarfsgerecht betrieben werden, was daher erhebliche Energieverluste vor allem in nur schwach genutzten Bereichen des Komplexes bedeutet.

Die Steuerung und Regelung der Wärmeverteilung kann nicht zentral erfolgen; um Einstellungen vorzunehmen, müssen die Mitarbeiter des technischen Personals einen hohen Aufwand und große Wege in Kauf nehmen.

In großen Bereichen der verschiedenen Gebäude entspricht der bauliche Zustand der Wärmeverteilungsanlagen nicht mehr den heutigen Anforderungen, sie sollte deshalb dringend einer umfassenden Untersuchung unterzogen - und in ein Sanierungskonzept eingebunden werden.

In der Sanierung der Wärmeverteilung ist ein erhebliches Einsparungspotential des Energieverbrauchs vorhanden.

2 Realisierungsmöglichkeiten

Zur Umgestaltung der Heizungsanlage in den Energiezentralen 1 und 2 werden drei verschiedene Varianten erstellt und untereinander verglichen in Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Ökologie (CO₂-Ausstoß) und die Sensitivität der Brennstoffpreise.

2.1 Vorstellung der Varianten für Energiezentrale 1

Als Basisvariante wird der Austausch der bislang eingebauten Heizkessel bezeichnet. Alle weiteren Varianten setzen sich wie folgt zusammen:

	Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Wärmeversorgungsart	zentral	zentral	zentral
Brennstoff	Erdgas + Heizöl	Holzpellets + Heizöl	Pflanzenöl + Heizöl
Ausführungsart	bivalent	bivalent	bivalent
Spitzenlastkessel	nein	ja	ja

Tabelle 5: Vorstellung der Varianten für die Energiezentrale 1

Im weiteren Verlauf werden diese Varianten nun detaillierter in ihrer Ausführung und im Hinblick auf Unterschiede/Gemeinsamkeiten vorgestellt.

2.1.1 Basisvariante

In der *Basisvariante* wird die Möglichkeit, die in der Energiezentrale 1 vorhandenen Zweistoffkessel durch zwei modernere Niedertemperatur-Zweistoffkessel mit insgesamt 1.460 kW_{th} zu ersetzen, durchgerechnet.

2.1.2 Variante 1

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holzhackschnitzel sind deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage möglich. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienungsaufwand 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 Container 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 einen 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 2-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid AG)

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

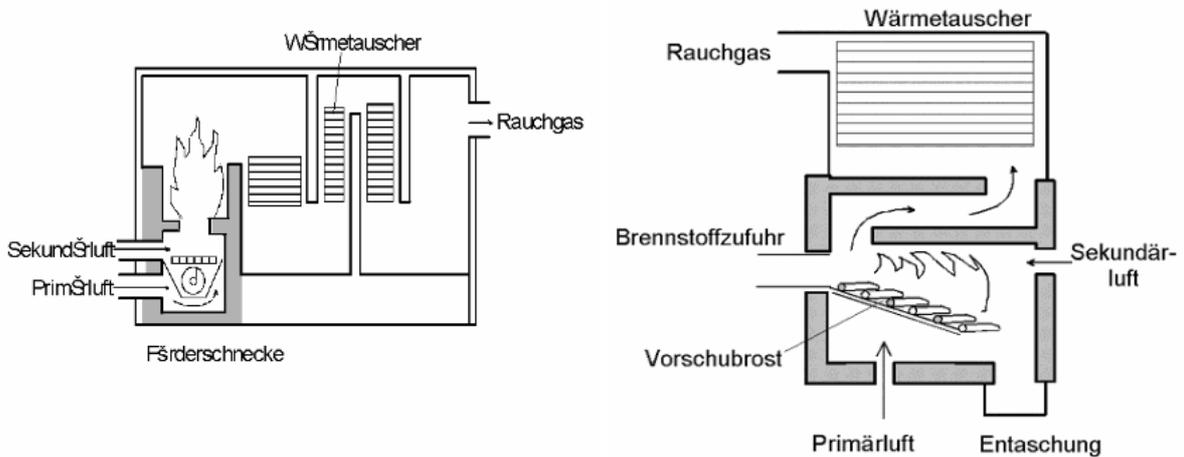


Abbildung 2-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: FNR)

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 Schalt häufigkeit, 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 als Waldholz oder unbehandeltes Industrierestholz kann auch zerkleinertes Landschaftspflegegrün zur Verfeuerung in einem Biomassekessel eingesetzt werden.

Lagerung der Holzhackschnitzel:

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte sich das Holzhackschnitzellager direkt neben dem Heizraum befinden.

Die Lagergröße berechnet sich in der Regel nach dem Brennstoffbedarf, der von einer Holzfeuerungsanlage für einen 5- bis 10tägigen Volllastbetrieb benötigt wird. Hier ergibt sich durch das Lagervolumen das entsprechende Vorratsvolumen an Holzhackschnitzel.

Variante 1 beinhaltet die Errichtung einer neuen Heizzentrale auf der Wiese oberhalb der derzeitigen Heizzentrale für einen Holzhackschnitzelkessel (HHS - Holzhackschnitzel) mit $600 \text{ kW}_{\text{th}}$, der 35% des Wärmeleistungsbedarfs und 75% des Gesamtwärmebedarfs abdecken würde. Diese Anlage würde in Massivbauweise ausgeführt; das HHS-Lager wäre ein Erdbunker. Auf dem angedachten Standort soll in absehbarer Zeit ein neuer Wasserbehälter in den Untergrund eingelassen werden, sodass dort beim Bau der Anlagen durchaus Synergieeffekte zu erwarten sind. In der bisherigen Heizzentrale würden zwei Heizöl-Niedertemperaturkessel mit je $590 \text{ kW}_{\text{th}}$ zur Abdeckung von Spitzenlasten errichtet.

2.1.3 Variante 2

Hier wird die Möglichkeit betrachtet, ein Pflanzenöl-BHKW zur Erzeugung von Strom und Wärme aus regenerativer Energie einzusetzen. Da das BHKW für den Grundlastbetrieb so ausgelegt ist, dass es die Wärme im Sommer komplett zur Brauchwassererwärmung abgeben kann und somit eine hohe Vollbenutzungsstundenzahl pro Jahr gewährleistet wird, werden auch hier zwei Heizöl-Spitzenkessel mit je $730 \text{ kW}_{\text{th}}$ eingesetzt.

Bei den hier zum Einsatz kommenden pflanzlichen Ölen handelt es sich um direkt in der Landwirtschaft erzeugte Ölfrüchte. Diese werden durch mechanisches Abpressen in Öle und Ölkuchen getrennt, ohne auf zusätzliche chemische Zwischenschritte zurückgreifen zu müssen. Unter dem Aspekt der zunehmenden CO_2 -Belastung der Atmosphäre und schwer kalkulierbarer Preise auf den Rohstoffmärkten bedeutet dies die Möglichkeit des Einsatzes von Naturstoffen für technische Prozesse in regionalen Stoffkreisläufen.

Das Pflanzenöl wird äquivalent zu Heizöl in Blockheizkraftwerken (BHKW) verwendet. Hierzu sind die BHKW's entsprechend aufzurüsten und der Wartungsumfang wird angepasst.

Eigenschaften und Technik

In den ersten Jahrzehnten der Entwicklung des Dieselmotors wurden pflanzliche Öle genauso eingesetzt wie mineralische Öle. Die Frage des Kraftstoffes war am Beginn der Dieselmotorentwicklung nicht entschieden. Erst das Auffinden umfangreicher, billiger, leicht erschließbarer mineralischer Ölquellen (Texas, Naher Osten) ermöglichte einen weltweiten massenhaften Konsum dieser Öle. Folglich wurden pflanzliche Öle als Treibstoff, als Schmierstoff und als Chemie-Grundstoff in ihrer Bedeutung zurückgedrängt. Heute geht man jedoch davon aus, dass die Hälfte der billig und leicht abschöpfbaren mineralischen Öle verbraucht sind, so dass etwa ab 2005 eine zunehmende Preissteigerung der Restmengen erfolgt. Die ersten Tendenzen in diese Richtung sind bereits zu spüren.

Pflanzliches Öl kann in den verschiedensten entwickelten technischen Systemen vielfältig Mineralöl substituieren. Damit steht dem Menschen eine CO₂-neutrale, wieder herstellbare Energieressource zur Verfügung. Der Wiederherstellungspreis der Ressource bewegt sich bei Pflanzenöl zurzeit im Rahmen heutiger Mineralölpreise.

Pflanzliche Öle haben volumenbezogen einen vergleichbaren Energieinhalt wie Mineralöle, wobei pflanzliche Öle deutlich mehr Wasserstoff binden.

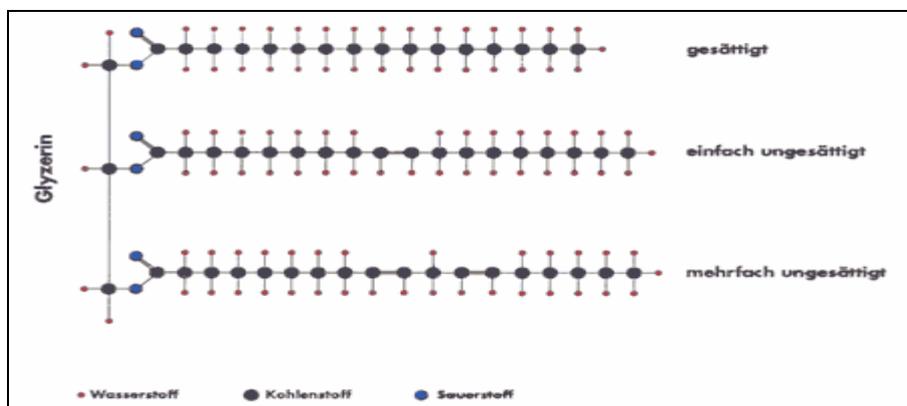


Abbildung 3: Beispiel eines pflanzlichen Ölmoleküls [Quelle: VWP]

Verbrennungstechnisch haben pflanzliche Öle einige Vorteile. Sie verbrennen bei gleichmäßigerer Druckabgabe in kürzerer Zeit. Gewinnungs- und herstellungstechnisch sind pflanzliche Öle den mineralischen Ölen überlegen. Es gibt keine Verunreinigungen durch Schwefel und Schwermetalle. Der Energiebedarf zur Herstellung von pflanzlichen Ölen liegt niedriger als bei der Benzin- und Dieselherstellung.

Die einfach zu handhabende Lagertechnik (Transport, Tankstelle, Pkw-Tank) spricht eindeutig für pflanzliche Öle. Toxizität, Wassergefährdung und Feuergefährlichkeit, bei anderen Kraftstoffen hoch problematische Themen, sind bei reinem Pflanzenöl gleich Null. Das Problem der sehr hohen und auch noch temperaturabhängig wechselnden Viskosität ist mittlerweile in allen ihren motortechnischen Auswirkungen beherrschbar.

Pflanzliche Öle sind volumenbezogen der dichteste verfügbare, reproduzierbare Energiespeicher in flüssiger Form. Dieser Energiespeicher dient als motorisches Antriebsmittel und kann überdies reproduziert werden. Bei schwindenden Mineralölreserven gewinnen die natürlichen Pflanzenöle an Aufmerksamkeit. Es ist damit zu rechnen, dass zunehmend motorische Verbrennungssysteme für pflanzliche Öle konzipiert werden. [Quelle: Vereinigte Werke für Pflanzenöltechnologie]

2.2 Vorstellung der Varianten für Energiezentrale 2

Die Kesselanlagen in Energiezentrale 2 sind ebenfalls ca. 25 Jahre alt und erneuerungsbedürftig. Im Folgenden werden zwei Möglichkeiten einer Erneuerung dieser Heizungsanlagen vorgestellt.

	Basisvariante	Variante 1
Wärmeversorgungsart	zentral	zentral
Brennstoff	Erdgas + Heizöl	Erdgas + Heizöl
Ausführungsart	bivalent	bivalent

Tabelle 6: Vorstellung der Varianten für Energiezentrale 2

2.2.3 Basisvariante

Als Basisvariante wird der bedarfsgerechte Austausch der vorhandenen Zweistoffkessel durch zwei neue Zweistoffkessel mit je 300 kW_{th} mit Erdgas als primärem Brennstoff bezeichnet.

2.2.4 Variante 1

In Variante 1 wird zusätzlich zu zwei – gegenüber der Basisvariante entsprechend kleineren – neuen Zweistoffkesseln mit je 280 kW_{th} ein Erdgas-BHKW mit 25 kW_{el} und 53 kW_{th} berechnet.

3 Vergleich der Varianten aus Energiezentrale 1

3.1 Energiebilanz

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

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Wärmebedarf, gesamt	kWh _{th} /a	2.643.000	2.643.000	2.643.000
Wärmeleistung, gesamt	kW _{th}	1.750	1.750	1.750
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel	%	92		
Jahresnutzungsgrad Heizölkessel	%		90	90
Jahresnutzungsgrad HHS-kessel	%		85	
Gesamteffizienz BHKW	%			84
Erdgas-Bedarf	kWh _{Ho} /a	3.261.000		
Heizöl-Bedarf	kWh _{Hu} /a	1.700	734.170	1.174.700
HHS-Bedarf	kWh _{Hu} /a		2.332.060	
Pflanzenöl-Bedarf	kWh _{Hu} /a			3.447.400
Erdgas-Menge	m ³ /a	307.640		
Heizöl-Menge	l/a	170	73.420	117.470
HHS-Menge	Sm ³ /a		2.750	
Pflanzenöl-Menge	l/a			377.180

Tabelle 7: Energiebilanz für Energiezentrale 1

3.2 Kohlendioxid-Emissions-Bilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mit Hilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Zunächst wird der Ist-Zustand mit dem derzeitigen Energieverbrauch dargestellt. Durch die Erneuerung von Heizkesseln bzw. den Austausch von Heizkesseln und die Umstellung auf eine Nahwärmeversorgung ergeben sich niedrigere Emissionen.

Die spezifische CO₂-Emission beträgt für Erdgas 231 g CO₂/kWh_{Hu}, für Heizöl 317,7 g CO₂/kWh_{Hu} für HHS 58,4 g CO₂/kWh_{Hu}, für Pflanzenöl (PÖL) 60 g CO₂/kWh_{Hu} und für Strom 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

Variante	IST-Zustand	Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Erdgasbedarf kWh _{Hu} /a	3.261.000	3.261.000		
Heizölbedarf kWh _{Hu} /a			734.170	1.174.700
HHS-Bedarf kWh _{Hu} /a			2.332.060	
PÖL-Bedarf kWh _{Hu} /a				3.447.400
Heizstrombedarf kWh _{el} /a	26.430	26.430	46.250	26.430
CO ₂ -Emissionen t CO ₂ /a	772	772	401	72

Tabelle 8: CO₂-Bilanz für Energiezentrale 1

Das günstige Abschneiden von Variante 2 bei der CO₂ – Emissionsbilanz rührt von der Tatsache her, dass der im BHKW erzeugte Strom mit seinem spezifischen CO₂-Ausstoß multipliziert vom Gesamt-CO₂-Ausstoß subtrahiert wird, da durch die Kraft-Wärme-Kopplung die Erzeugung des so eingespeisten Stromes in einem Kraftwerk vermieden wird. Variante 2 ermöglicht 91% CO₂-Einsparung und Variante 1 ermöglicht 48% CO₂-Einsparung gegenüber der Basisvariante und dem Ist-Zustand.

Die obigen Ergebnisse finden sich im nachfolgenden Diagramm noch einmal visualisiert:

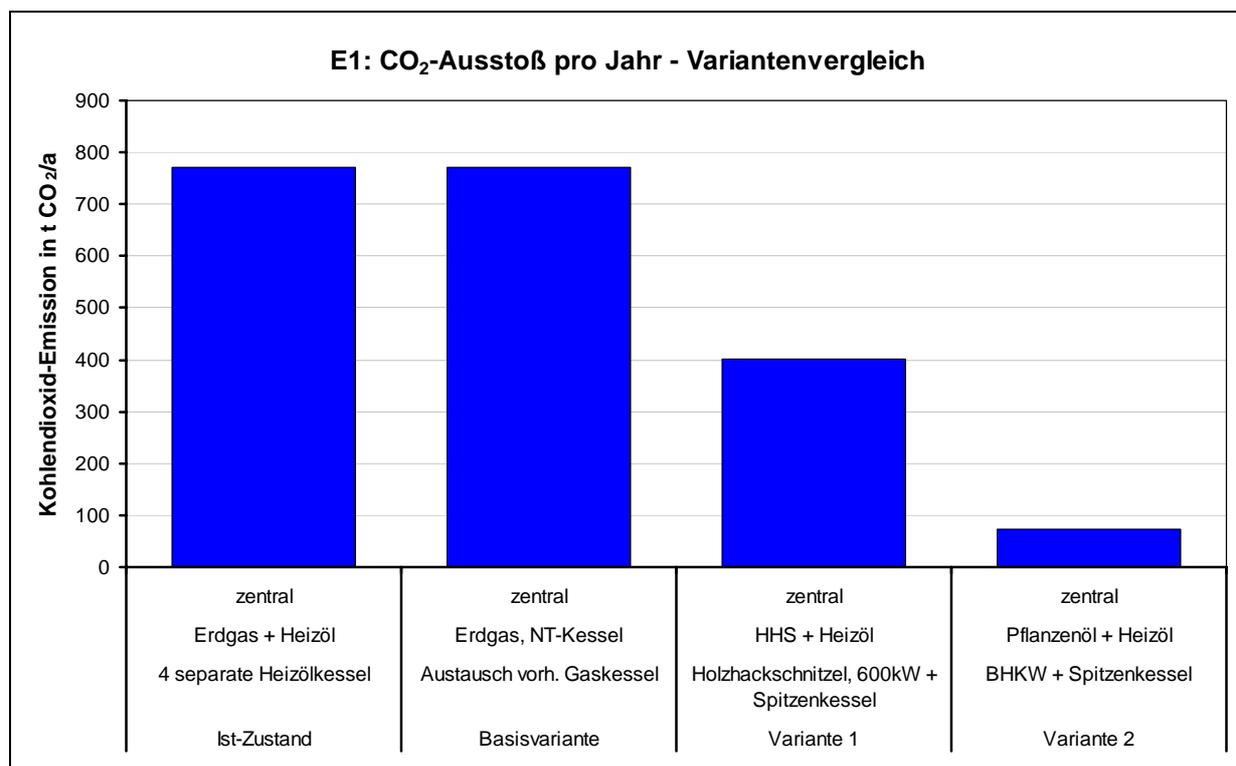


Abbildung 4: CO₂-Bilanz für Energiezentrale 1

3.3 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.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Erdgaspreis, Stand 06/2005	
- Arbeitspreis	3,552 Ct/kWh _{Ho}
- Leistungspreis	126,55 €/Monat
Heizölpreis, Stand: 20.11.2005	48 Ct/l exkl. MwSt.
HHS-Preis, Stand: 15.11.2005	16 €/Sm ³
PÖL-Preis	58 Ct/l
Strompreis (gemittelt aus HT und NT)	10,5 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	2 % der Investition (Heisanlage)
Personalkosten	35 €/h (inkl. MwSt.)

Die abgeschätzten Investitionskosten sind exklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Demontage				
Demontage Heizkessel	€	18.000	18.000	18.000
Maschinentechnik				
Erdgaskessel	€	79.700		
Heizölkessel	€		67.700	76.180
HHS-Kessel	€		160.700	
Pflanzenöl-BHKW	€			171.000
Bautechnik				
Heizhaus	€		37.500	
HHS-Lager	€		45.000	
Planung, Unvorhergesehenes				
Planung, Unvorhergesehenes	€	14.600	49.300	39.800
Gesamtinvestition	€	112.300	378.200	304.900

Tabelle 9: Investition Wärmeversorgung für Energiezentrale 1

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in den folgenden Tabellen exklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt:

		Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Nennwärmeleistung	kW _{th}	1.750	1.750	1.750
Investitionskosten	€	112.300	378.200	304.900
Investitionsk. incl. Förderung	€		342.200	
Kapitalkosten	€/a	10.100	30.900	27.400
Kapitalkosten incl. Förderung	€/a		27.600	
Verbrauchskosten	€/a	119.200	84.200	278.200
Betriebskosten	€/a	8.600	15.800	11.900
Erlöse aus Stromeinspeisung	€/a			- 148.000
Jahreskosten	€/a	137.900	130.900	169.600
Jahreskosten incl. Förderung	€/a		127.600	
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	2.643.000	2.643.000	2.643.000
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,2	5,0	6,4
Wärmepreis incl. Förderung	Ct/kWh _{th}		4,8	

Tabelle 10: Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung für Energiezentrale 1

In grafischer Form ergibt sich aus diesen Daten folgendes Diagramm:

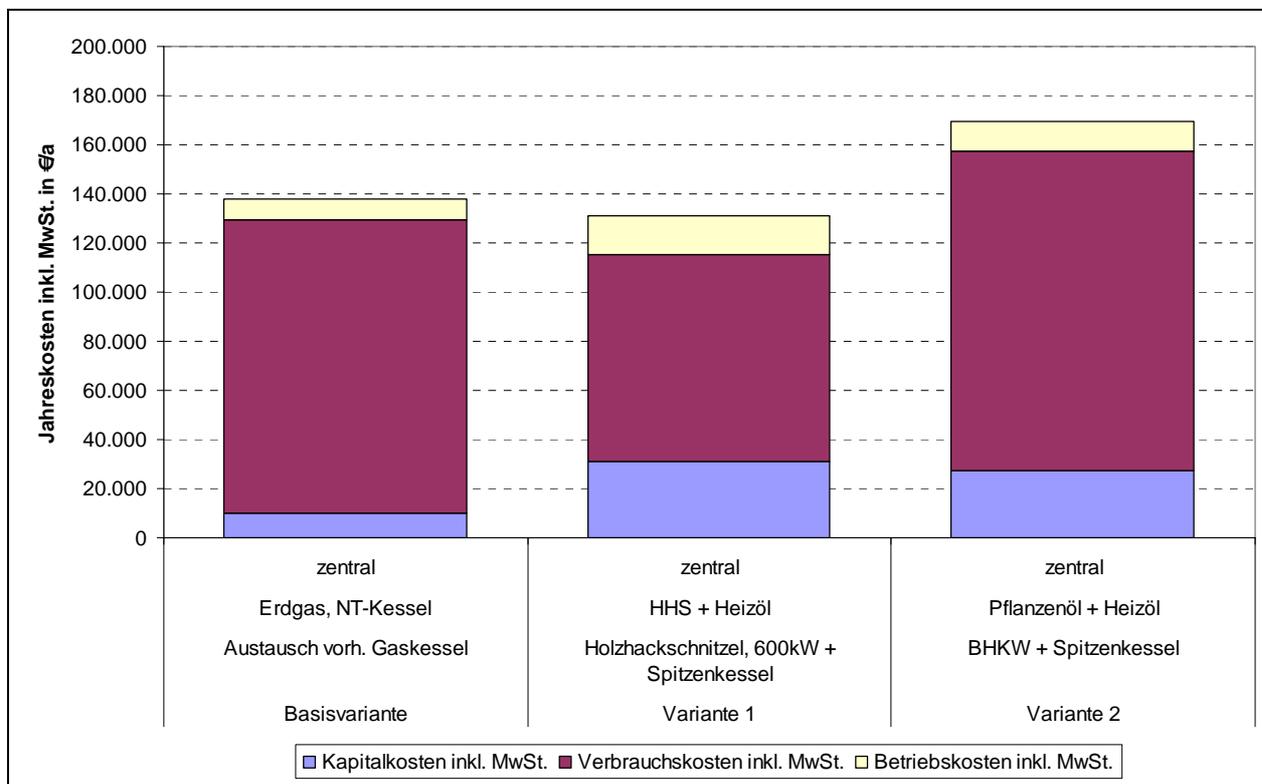


Abbildung 5: Diagramm: Wirtschaftlichkeit für Energiezentrale 1

Das Diagramm zeigt deutlich, dass die Variante 2 mit dem HHS-Kessel die günstigste Variante darstellt: die Verbrauchskosten sind am geringsten, die Betriebskosten bewegen sich im gleichen Bereich wie bei den beiden anderen Varianten. Die im Vergleich zu den beiden anderen Varianten höheren Kapitalkosten kommen daher, dass zur Realisierung dieser Variante die größten Investitionen getätigt werden müssen.

3.4 Sensitivitätsanalyse

Zusätzlich zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die Brennstoffpreise durchgeführt. Für eine Änderung der Brennstoffpreise gegenüber der in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise innerhalb einer Preisspanne von -40 % bis +40 % werden die Wärmepreise der Varianten ermittelt.

Für Variante 1 und Variante 2, in denen zwei verschiedene Brennstoffe eingesetzt werden, werden jeweils beide Brennstoffpreise variiert.

Die Ergebnisse der Analyse sind in Form eines Diagramms dargestellt.

Aus der gewählten Preisspanne ergeben sich folgende Brennstoffpreise inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer.

Heizölpreis -40 % in Ct/l	Heizölpreis 0 % in Ct/l	Heizölpreis +40 % in Ct/l
29	48	67
HHS-Preis -40 % in €/Sm ³	HHS-Preis -40 % in €/Sm ³	HHS-Preis -40 % in €/Sm ³
9,6	16	22,4
Pflanzenöl-Preis -40 % in €/Ct/l	Pflanzenöl-Preis 0 % in Ct/l	Pflanzenöl-Preis +40 % in Ct/l
34,8	58	81,2
Erdgaspreis -40% in €/kWh _{Hu}	Erdgaspreis 0% in €/kWh _{Hu}	Erdgaspreis +40% in €/kWh _{Hu}
2,1	3,5	4,9

Im nachfolgenden Diagramm ist der Wärmepreis abhängig von der Brennstoffpreisänderung aufgetragen:

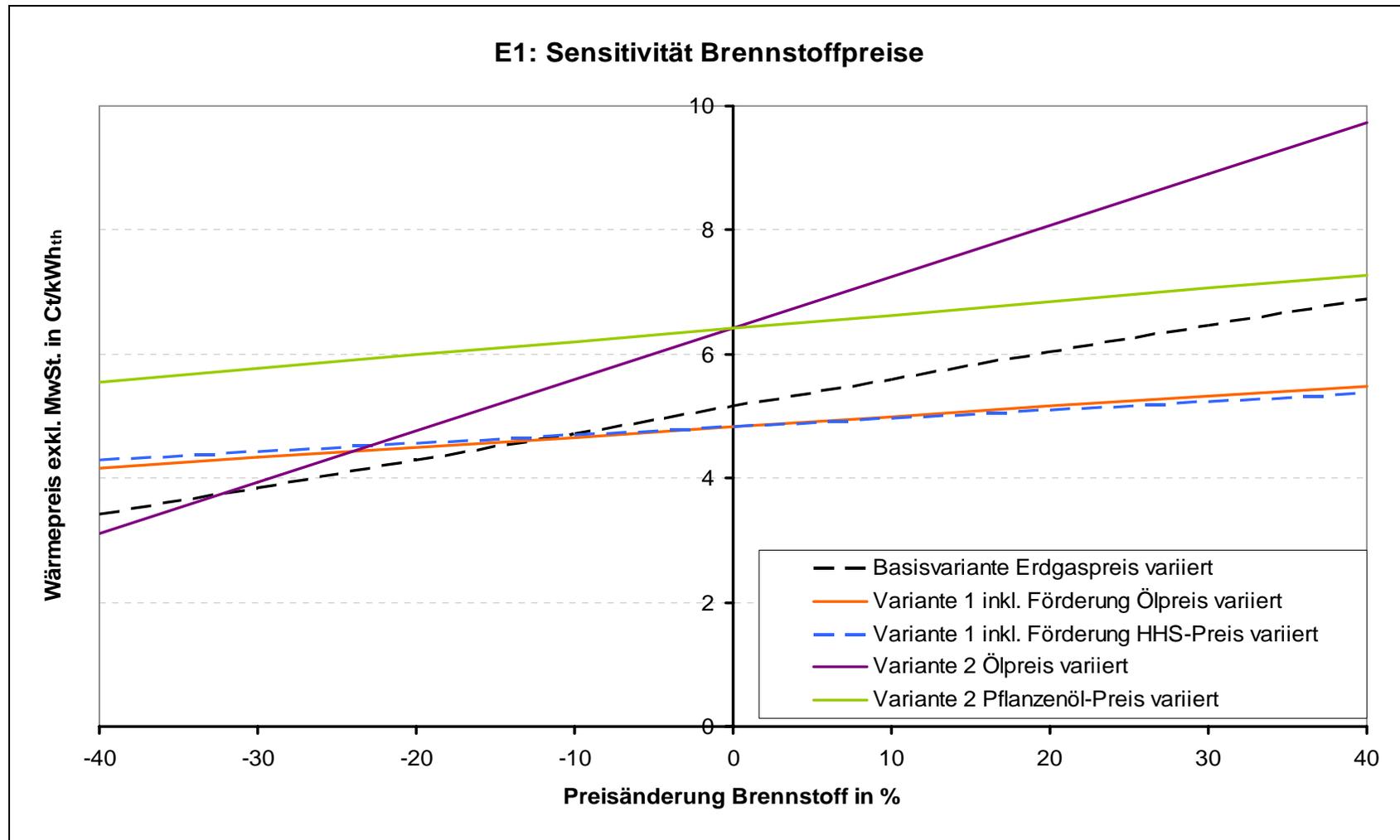


Abbildung 6: Sensitivitätsanalyse für Energiezentrale 1

Aus wirtschaftlicher Sicht sind die Steigungen der Geraden und deren Achsenabschnitt entscheidend: die Steigung ist ein Maß für die Höhe des Einflusses durch den Brennstoffpreis auf die Wirtschaftlichkeit, der Achsenabschnitt gibt Auskunft über den „heutigen“ Wärmepreis.

Aus dem Diagramm geht nun eindeutig hervor, dass Variante 1 den niedrigsten Wärmepreis bei gleichzeitig kleinster Wärmepreissteigerungsrate bietet, weshalb die Umsetzung von Variante 1 zu empfehlen ist. Diese Erkenntnis deckt sich mit dem Ergebnis aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

4 Vergleich der Varianten aus Energiezentrale 2

4.1 Energiebilanz

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

		Basisvariante	Variante 1
Wärmebedarf, gesamt	kWh _{th} /a	886.000	886.000
Wärmeleistung, gesamt	kW _{th}	600	600
Jahresnutzungsgrad Erdgaskessel	%	92	92
Gesamteffizienz BHKW	%		93
Erdgas-Bedarf	kWh _{Ho} /a	963.050	1.188.860
Erdgas-Menge	m ³ /a	90.850	112.160

Tabelle 11: Energiebilanz für Energiezentrale 2

4.2 Kohlendioxid-Emissions-Bilanz

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mit Hilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Zunächst wird der Ist-Zustand mit dem derzeitigen Energieverbrauch dargestellt. Durch die Erneuerung von Heizkesseln bzw. den Austausch von Heizkesseln und die Umstellung auf eine Nahwärmeversorgung ergeben sich niedrigere Emissionen.

Die spezifische CO₂-Emission beträgt für Erdgas 231 g CO₂/kWh_{Hu}, für Heizöl 317,7 g CO₂/kWh_{Hu} für HHS 58,4 g CO₂/kWh_{Hu}, für Pflanzenöl (PÖL) 60 g CO₂/kWh_{Hu} und für Strom 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

Variante	IST-Zustand	Basisvariante	Variante 1
Erdgasbedarf kWh _{Ho} /a	1.121.520	963.050	1.188.860
Heizstrombedarf kWh _{el} /a	8.860	8.860	8.860
CO ₂ -Emissionen t CO ₂ /a	265	229	178

Tabelle 12: CO₂-Bilanz für Energiezentrale 2

Die Basisvariante ermöglicht 14% CO₂-Einsparung und Variante 1 ermöglicht 33% CO₂-Einsparung gegenüber dem Ist-Zustand.

Die Ergebnisse finden sich im folgenden Diagramm noch einmal grafisch dargestellt:

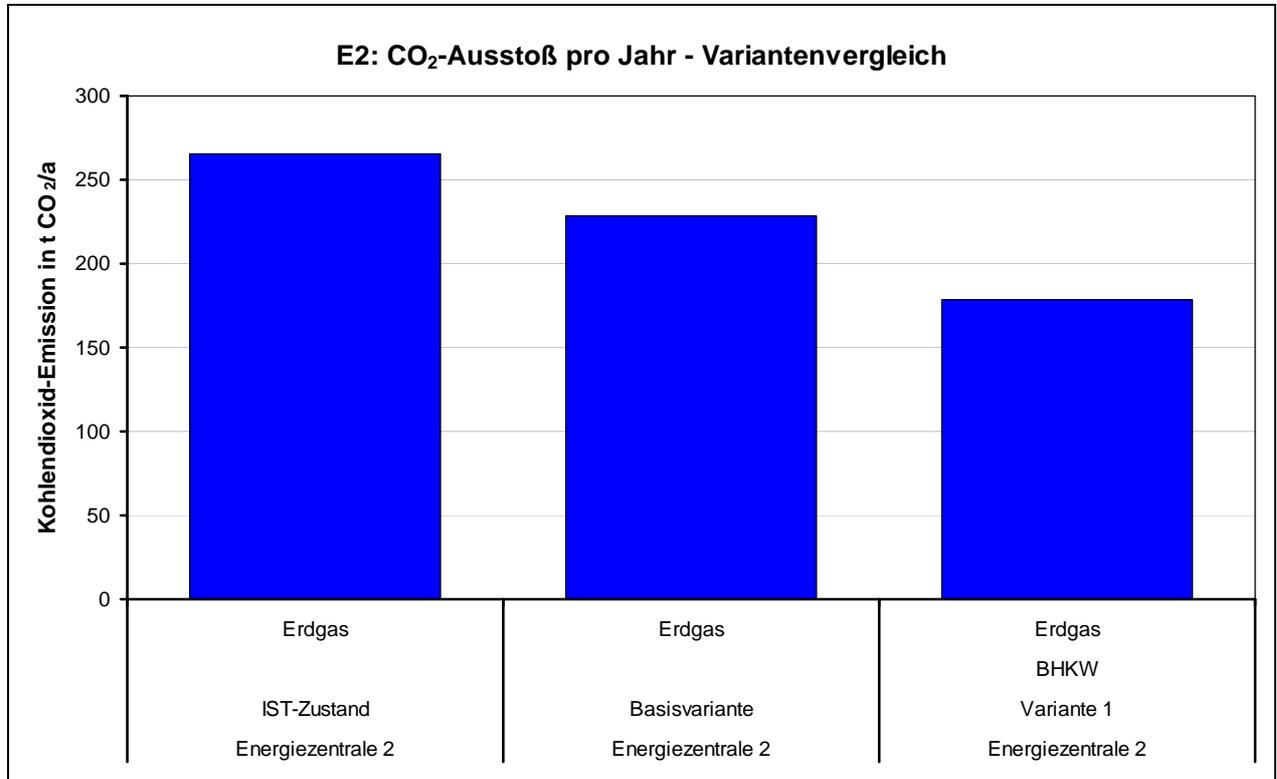


Abbildung 7: CO₂-Bilanz für Energiezentrale 2

Aus ökologischer Sicht ist die Variante 1 am sinnvollsten. Sie schneidet wegen der Emissionsgutschrift für den erzeugten Strom besser ab, wenngleich sie erheblich mehr Brennstoffbedarf hat.

4.3 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.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Erdgaspreis, Stand 06/2005	
- Arbeitspreis	3,552 Ct/kWh _{Ho}
- Leistungspreis	126,55 €/Monat
Strompreis (gemittelt aus HT und NT)	10,5 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	2 % der Investition (Heisanlage)
Personalkosten	35 €/h (inkl. MwSt.)

Die abgeschätzten Investitionskosten sind exklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Basisvariante	Variante 1
Demontage			
Demontage Heizkessel	€	7.500	7.500
Maschinentechnik			
Erdgaskessel	€	41.630	36.970
BHKW	€		47.250
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes	€	7.400	13.800
Gesamtinvestition	€	56.500	105.500

Tabelle 13: Investition Wärmeversorgung für Energiezentrale 2

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in den folgenden Tabellen exklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt:

		Basisvariante	Variante 1
Nennwärmeleistung	kW _{th}	600	600
Investitionskosten	€	56.500	105.500
Kapitalkosten	€/a	5.100	9.500
Verbrauchskosten	€/a	36.400	44.300
Betriebskosten	€/a	6.100	7.000
vermiedene Stromkosten	€/a		16.000
Jahreskosten	€/a	47.600	44.800
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	886.000	886.000
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,4	5,1

Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung für Energiezentrale 2

In grafischer Form ergibt sich aus diesen Daten folgendes Diagramm:

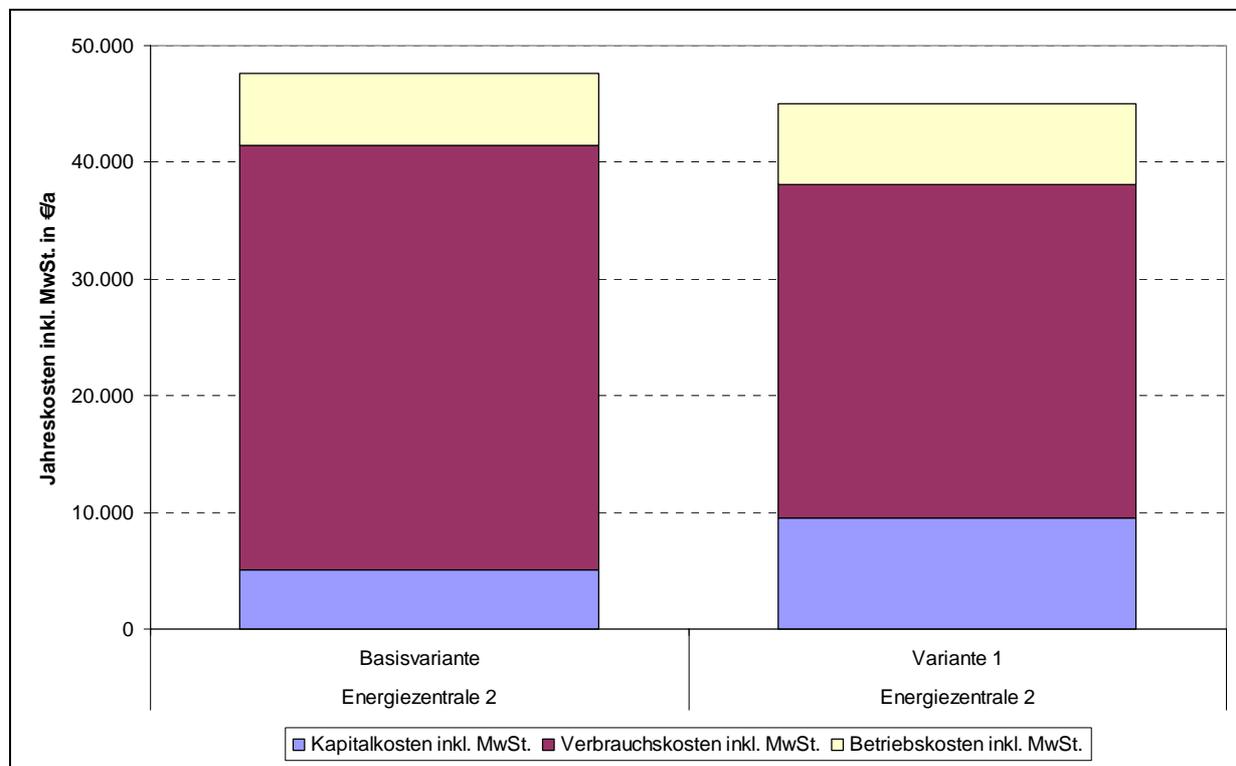


Abbildung 8: Diagramm: Wirtschaftlichkeit für Energiezentrale 2

Das Diagramm zeigt deutlich, dass die Variante 1 aufgrund höherer Investitions- und Verbrauchskosten wirtschaftlich wenig sinnvoll ist.

Mit der Basisvariante kann ein Wärmepreis von 5,4 Ct/kWh – und mit der Variante 1 kann ein Wärmepreis von 5,1 Ct/kWh erzielt werden.

5 Nutzungsmöglichkeit Solarenergie

Zusätzlich zur Erneuerung der Wärmeversorgung wird geprüft, ob Solarenergie mit Solarthermie und Fotovoltaik im Bereich der Liegenschaften genutzt werden kann. Dazu wird die zugehörige Technik kurz vorgestellt und der zu erwartende Jahresertrag ermittelt.

5.1 Solarthermie

Bei der Solarthermie wird die Sonnenstrahlung zur Wärmeerzeugung genutzt. Die Nutzung erfolgt hauptsächlich zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung; die Solarwärme kann aber beispielsweise auch zur Trocknung, Kühlung oder zur Erzeugung von Prozesswärme eingesetzt werden.

Die Solarstrahlung trifft mit einer Leistung von $1,36 \text{ kW/m}^2$ (sog. Solarkonstante) auf die äußere Erdatmosphäre. Durch Reflexion, Streuung und Absorption in der Atmosphäre trifft direkte und diffuse Strahlung auf die Erdoberfläche. In unseren Regionen kann durchschnittlich eine Energiemenge von $1.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$ thermisch genutzt werden. Der tatsächliche Ertrag hängt neben der Einstrahlung am Standort v. a. vom Kollektortyp sowie der Neigung und Ausrichtung ab.

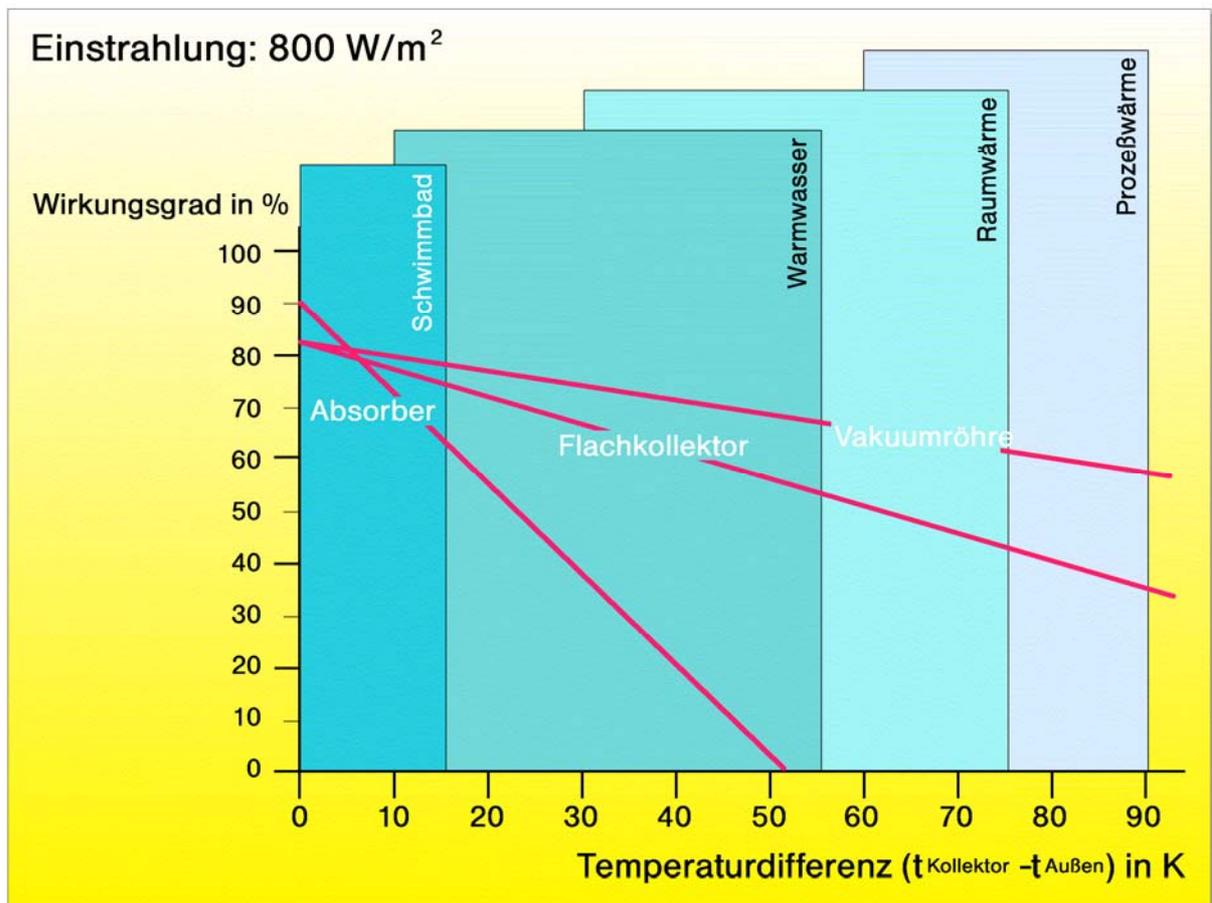
Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 bis 45° notwendig. Die Abweichung der Kollektorebene aus der Südrichtung (Azimut) sollte 45° nicht überschreiten. Zur überschlägigen Berechnung der Kollektorfläche eines Flachkollektors kann davon ausgegangen werden, dass ein Quadratmeter Kollektorfläche etwa 70 l Warmwasser bereitet.

Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben. Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich. Das Speichervolumen sollte für Wohnhäuser auf mindestens 50 l/m^2 ausgelegt sein. Hiermit sollte der Bedarf von 1 bis 2 Tagen gespeichert werden.

Besonders günstig ist die Nutzung von Solarenergie bei Anwendungen, bei denen der Energiebedarf mit dem Energieangebot übereinstimmt (z. B. Schwimmbadabsorber). Wenn dies nicht der Fall ist, kann die gewonnene Solarenergie mit entsprechenden Speichersystemen zwischengespeichert werden und / oder die Solaranlage mit einem zusätzlichen Energieerzeuger zu einem bivalenten System kombiniert werden.

Üblicherweise kann eine Solaranlage in Wohngebäuden bis zu 60 % des jährlichen Warmwasserbedarfs decken (solare Deckungsrate). Die Anlage sollte so dimensioniert werden, dass der Wärmebedarf im Sommer gedeckt wird.

Auf dem Markt sind verschiedene Systeme zu Solarkollektoren verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis. Die Abbildung zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Systeme in Abhängigkeit von der nutzbaren Temperaturdifferenz bzw. dem benötigten Temperaturniveau für verschiedene Nutzungen. Verluste entstehen durch Reflexion an der Scheibe sowie durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung (Wärmeabgabe an die Umgebung).



Thermische Solaranlagen, Marktübersicht, © Öko-Institut 1997

Abbildung 9: Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut)

Beim **Flachkollektor** dient ein flaches schwarz beschichtetes Kupferblech als Absorber. Auf der Rückseite sind kupferne Leitungen angebracht, welche direkt vom Wärmeträger durchflossen werden. Dieses System befindet sich meist in einem gedämmten Gehäuse, welches mit einer Glasplatte abgedeckt ist. Zur Dimensionierung der Kollektoranlage kann man von 1,5 bis 2 m² Kollektorfläche pro Person ausgehen.

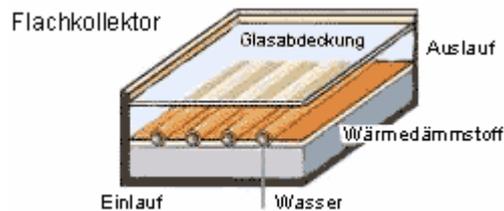


Abbildung 10: Flachkollektor (Quelle: Solarserver)

Vakuüm-Röhrenkollektoren bestehen aus mehreren evakuierten Glasröhren mit innen liegendem Absorber. Die Wärmeverluste werden minimiert. Bei gleicher Fläche liefern Röhrenkollektoren bis zu 40 % mehr Ertrag als Flachkollektoren. Pro Person sollte ca. 1 m² an Kollektorfläche installiert werden.

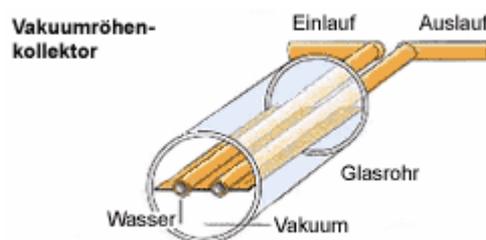


Abbildung 11: Vakuüm-Röhrenkollektor (Quelle: Solarserver)

Im **Marktanreizprogramm** „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003“ des Bundes-Wirtschaftsministeriums sind Förderungen für Solarkollektoranlagen vorgesehen. Ab dem 01.07.2005 gelten geänderte Fördesätze. Für Solaranlagen zur kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung kann ein Zuschuss in Höhe von 135 € je angefangener m² installierter Gesamtbruttokollektorfläche bis zu einer Fläche von 200 m² beantragt werden. Der Zuschuss für Solaranlagen nur zur Warmwasserbereitung betragen 105 €/m².

Vorraussetzung für die Förderung ist, dass der jährliche Kollektorertrag von 525 kWh_{th}/a bei einem solaren Deckungsanteil von 40 % beträgt und der Kollektor mit dem „Blauen Engel“ (siehe www.blauer-engel.de) ausgezeichnet ist.

5.2 Fotovoltaik

Fotovoltaik ist der Weg, Licht direkt in elektrischen Strom umzuwandeln. Wird Silizium dem Licht ausgesetzt, entsteht eine elektrische Spannung. Forscher machten diese Entdeckung nutzbar und entwickelten die ersten Solarzellen.

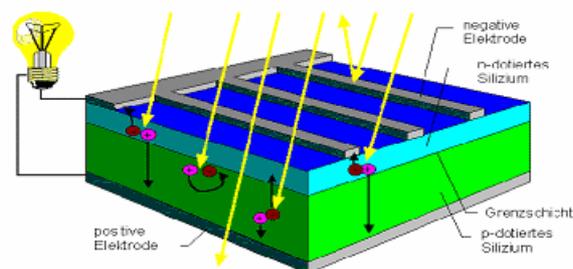


Abbildung 12: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

Bei den Solarzellen unterscheidet man nach drei Typen: monokristalline, polykristalline und amorphe (Dünnschicht) Solarzellen.

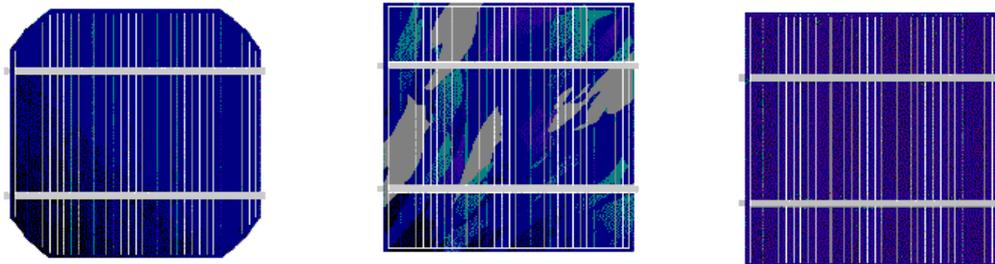


Abbildung 13: monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt über 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 gleich bleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Fotovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann.

Fotovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m² angeboten. Mit 10 – 15 kg/m² stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden Maßnahmen an der Dachstatik. Es gibt auch so genannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Mittlerweile sind komplette Dachelemente als PV-Modul ausgebildet. Die einzelnen Fotovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solar-generator.

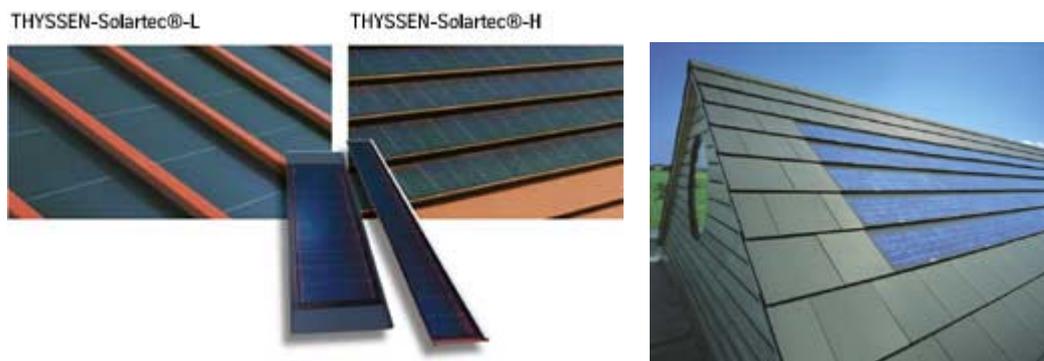


Abbildung 14: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden.

Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solar-generator (bestehend aus den Fotovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher.

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

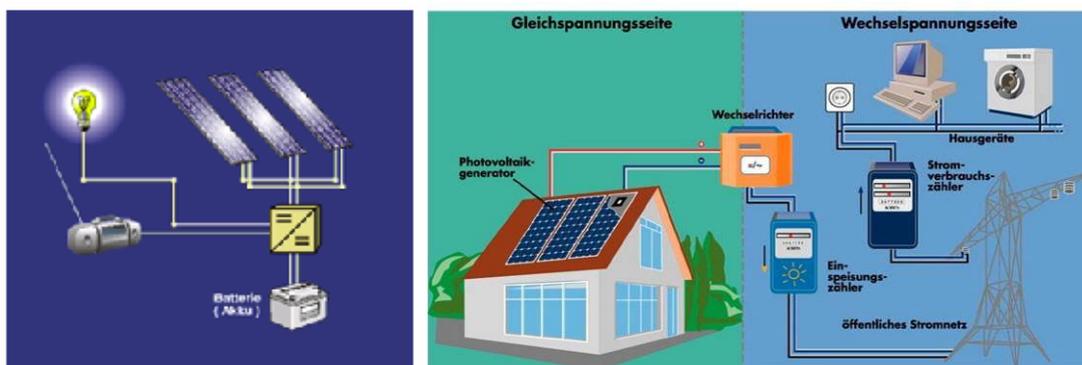


Abbildung 15: Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage

Leistung und Ertrag

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung (kW_{Peak}) eine Dachfläche von rund 10 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° hat. Eine Ausrichtung der Fotovoltaikmodule nach Süd-West oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10% . Das gleiche gilt für Dachneigung von 10° bzw. 60° :

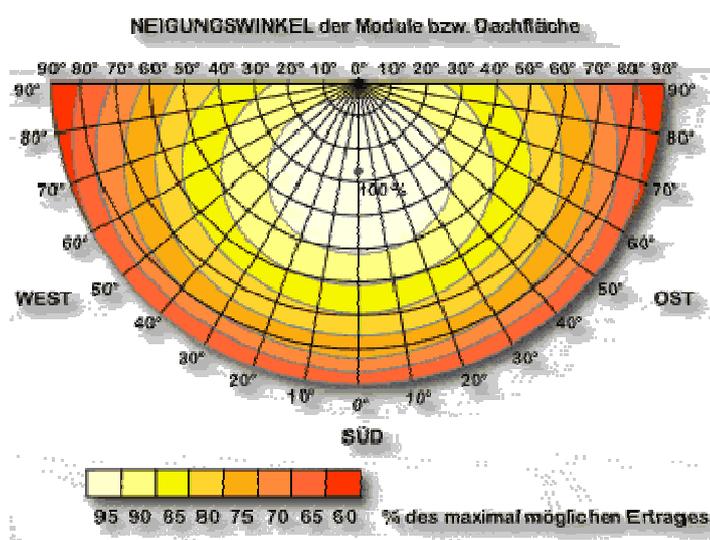


Abbildung 16: Anlagenertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung des Solargenerators

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

Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

Die Montage von Fotovoltaikanlagen muss nicht genehmigt werden. Wie auch bei thermischen Solaranlagen sollte die Errichtung der Baubehörde formlos angezeigt werden. Ist das Gebäude denkmalgeschützt, ist eine Genehmigung einzuholen. Der Installateur meldet die PV-Anlage beim zuständigen Energieversorger an.

5.3 Einsatzmöglichkeit an Bildungszentrum und Mutterhaus

5.3.1 Solarthermie

Prinzipiell ist der Einsatz von Solarthermie im Bereich des Klosters der Franziskanerinnen denkbar und auch realisierbar. Gerade in Verbindung mit der unter Kapitel 3 favorisierten Variante 1 machte eine Nutzung von Sonnenenergie zur Brauchwassererwärmung Sinn. Auf dem Dach des HHS-Bunkers und im vorderen Bereich des Bildungshauses (siehe Bild) könnten jeweils ca. 50 m² an Kollektorfläche untergebracht werden. Diese beiden Standorte wurden ausgewählt, da hier jeweils in unmittelbarer Nähe ein Brauchwasserspeicher zur Verfügung steht.

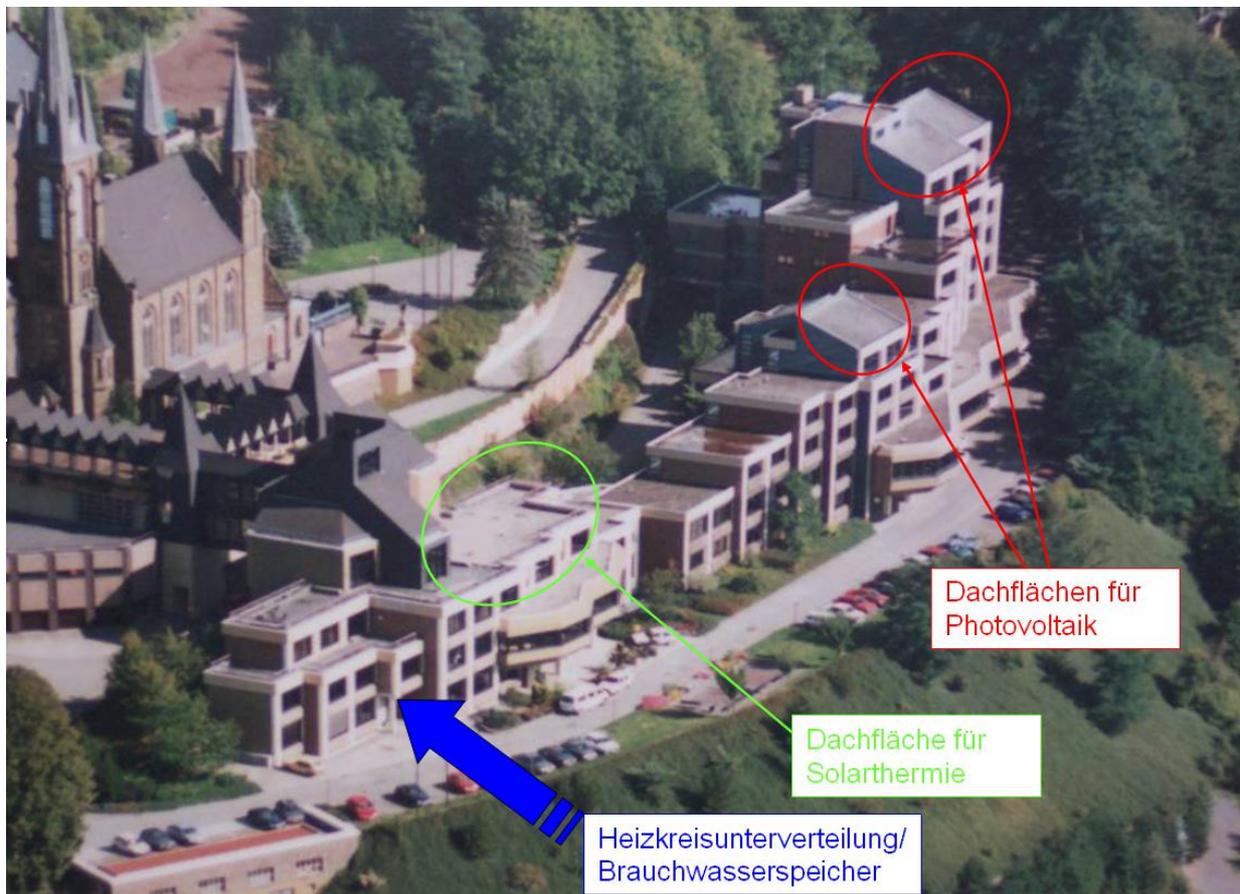


Abbildung 17: Installationsmöglichkeiten

Gemäß dem Wetterdatensatz der Region Waldbreitbach könnte in den Sommermonaten ein Ertrag von ca. 1.600 kWh_{th} pro Tag erzielt werden. Derzeit werden für die Brauchwassererwärmung in den Sommermonaten ca. 1.300 kWh_{th} pro Tag benötigt. somit ist klar, dass der Wärmebedarf für Brauchwarmwasser im Sommer alleine durch die solarthermische Anlage gedeckt werden kann und somit die Benutzung des Heizölkessels im Sommer, der ansonsten die Brauchwarmwasserversorgung sicherstellen müsste, nahezu entfallen kann, was sich zusätzlich positiv auf den Wärmepreis auswirkt.

5.3.2 Fotovoltaik

Anhand von Abbildung 14 wird ersichtlich, dass am Bildungshaus auch Dachflächen vorhanden sind, die zur Installation einer Photovoltaikanlage geeignet wären. Auf diesen Dachflächen könnten insgesamt ca. 80 m² Modulfläche mit ca. 8 kW_{Peak} Leistung installiert werden, die bei reiner Südausrichtung einen Jahresertrag von ca. 6.800 kWh_{el} erzielen könnte. Hieraus ergibt sich mit der Einspeisevergütung für das Jahr 2006 mit 51,8 Ct/kWh_{el} einen Ertrag von 3.522 € pro Jahr.

Nach der Sanierung verschiedener kleinerer Flachdächer ist deren Nutzungsmöglichkeit für Fotovoltaik durchaus gegeben, die Wirtschaftlichkeit hängt aber wesentlich vom erzielbaren Preis für die Anlagen ab.

Aufgeständerte Fotovoltaikanlagen dieser Größenordnung sind zurzeit nur sehr schwierig wirtschaftlich zu betreiben.

6 Zusammenfassung

Abschließend werden nun die betrachteten Varianten anhand vorstehender Analysen noch einmal bewertend betrachtet.

Zunächst noch einmal eine Aufzählung der Varianten für die Energiezentrale 1:

Basisvariante	Erneuerung der Erdgaskessel durch moderne Erdgas-Niedertemperatur-Kessel
Variante 1	Holzhackschnitzelkessel für die Grundlastversorgung mit Heizöl-Spitzenkessel
Variante 2	Pflanzenöl-BHKW für die Deckung der Grund-Wärmelast und Einspeisung von Strom aus regenerativer Energie mit Heizöl-Spitzenkessel

Aus ökologischer Sicht stellt die Variante 2 die sinnvollste Alternative dar. Aber nur, da hierbei der CO₂-Ausstoß des im BHKW erzeugten Stroms vom Gesamt-CO₂-Ausstoß der Heizungsanlage subtrahiert wird. Grund dafür ist die Tatsache, dass durch diese dezentrale Stromerzeugung aus regenerativer Energie eine entsprechende Stromerzeugung im Kraftwerk mit dem zugehörigen CO₂-Äquivalent vermieden wird. Allerdings hat Variante 2 durch die hohen Investitions- und Verbrauchskosten einen hohen Wärmepreis.

Aus ökonomischer Sicht und aus der Sicht der Preissteigerung bei den Brennstoffen ist Variante 1 am sinnvollsten. Hier wird der geringste Wärmepreis erzielt und die Preissteigerungsrate ist im Vergleich am niedrigsten. Die Anlage sollte um eine solarthermische Anlage erweitert werden, um damit in den Sommermonaten den Brauchwarmwasserbedarf abdecken zu können. Da der Holzhackschnitzelkessel zu diesem Zweck nur im Teillastbereich arbeiten würde, verwendet man deshalb bei bivalenten Systemen im Sommer zur Brauchwarmwasserbereitung den Heizölkessel.

Weiterhin ist Variante 1 zu empfehlen, da durch den Einsatz des regional im Westerwald ausreichend vorhanden regenerativen Brennstoffs Holz zusätzliche Wertschöpfung in die Region eingebracht werden kann. Dies kann weitere positive Synergieeffekte hervorrufen.

Als ergänzender Hinweis sei hier gesagt, dass die Investitionskosten für Variante 1 weiter gesenkt werden könnten, wenn die Fläche oberhalb der Heizölkessel nicht für die Heizölanlieferung benötigt wird. In diesem Fall könnte die gesamte Heizanlage statt als Massivbau in kostengünstiger Containerbauweise realisiert werden.

Im Folgenden werden die Varianten für Energiezentrale 2 zusammengefasst:

Basisvariante bedarfsgerechte Erneuerung der Erdgaskessel

Variante 1 bedarfsgerechte Erneuerung der Erdgaskessel + Erdgas-BHKW

Die Betrachtungen für die Energiezentrale 2 ergeben, dass die sinnvollste Lösung eine bedarfsgerechte Erneuerung der Erdgaskessel in Kombination mit einem BHKW darstellt.

Diese Variante ist aus ökologischer Sicht am sinnvollsten. Zudem ist sie wirtschaftlicher als die ausschließliche Kesselerneuerung.

Abgesehen von der Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlagen sollte aber im Bereich der betrachteten Liegenschaften unbedingt über eine Erneuerung der Wärmeverteilungs- und -übergabestationen nachgedacht werden. Hier ist auch noch erhebliches Potential – auch im Hinblick auf den Einbau geregelter Pumpen – abzusehen.

Eine entsprechende Analyse sollte in einem Folgeauftrag durchgeführt werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid AG) .8	8
Abbildung 2-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: FNR).....9	9
Abbildung 3: Beispiel eines pflanzlichen Ölmoleküls [Quelle: VWP]..... 11	11
Abbildung 4: CO ₂ -Bilanz für Energiezentrale 1 15	15
Abbildung 5: Diagramm: Wirtschaftlichkeit für Energiezentrale 1 19	19
Abbildung 6: Sensitivitätsanalyse für Energiezentrale 121	21
Abbildung 7: CO ₂ -Bilanz für Energiezentrale 2.....24	24
Abbildung 8: Diagramm: Wirtschaftlichkeit für Energiezentrale 227	27
Abbildung 9: Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut)29	29
Abbildung 10: Flachkollektor (Quelle: Solarserver).....30	30
Abbildung 11: Vakuumröhrenkollektor (Quelle: Solarserver)30	30
Abbildung 12: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS).....31	31
Abbildung 13: monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen.....31	31
Abbildung 14: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas).....32	32
Abbildung 15: Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage.....32	32
Abbildung 16: Anlagenertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung des Solargenerators...33	33
Abbildung 17: Installationsmöglichkeiten34	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ist-Analyse	4
Tabelle 2: Ist-Zustand.....	5
Tabelle 3: Neudimensionierung nach <i>Kubessa</i>	5
Tabelle 4: Stromverbrauch	6
Tabelle 5: Vorstellung der Varianten für die Energiezentrale 1.....	7
Tabelle 6: Vorstellung der Varianten für Energiezentrale 2	12
Tabelle 7: Energiebilanz für Energiezentrale 1	13
Tabelle 8: CO ₂ -Bilanz für Energiezentrale 1	14
Tabelle 8: Investition Wärmeversorgung für Energiezentrale 1	17
Tabelle 10: Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung für Energiezentrale 1	18
Tabelle 11: Energiebilanz für Energiezentrale 2	23
Tabelle 12: CO ₂ -Bilanz für Energiezentrale 2	23
Tabelle 13: Investition Wärmeversorgung für Energiezentrale 2	26
Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung für Energiezentrale 2	26