

Machbarkeitsstudie zum Einsatz erneuerbarer Energien beim Waldwarmfreibad Bruchmühlbach-Miesau

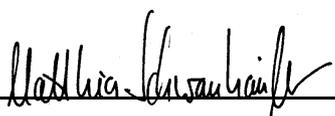
Auftraggeber SGD Süd Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft
Rheinland-Pfalz, Abt. D
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

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) Kerstin Kriebs
 Telefon: 06721 / 409 218
 Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwanhäußer
 Telefon: 06721 / 409 135
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: www.tsb-energie.de

Projektnummer: 1009

Datum: 29.03.2005



Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwanhäußer



Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs



Prof. Dr. Ralf Simon

Inhalt

Einleitung.....	3
1 Ist-Analyse	5
2 Vorstellung der Wärmeversorgungsvarianten	10
1.1 Variante 1: Bedarfsgerechte Erneuerung Heizölkessel und vorhandene Solarabsorberanlage.....	11
1.2 Variante 2: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzhackschnitzel und vorhandene Solarabsorberanlage	12
1.3 Variante 3: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und vorhandene Solarabsorberanlage.....	15
1.4 Variante 4: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und kleine Solarkollektoranlage.....	16
1.5 Variante 5: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und große Solarkollektoranlage.....	16
3 Energiebilanz.....	18
4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz.....	19
5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	21
6 Sensitivitätsbetrachtung	27
7 Maßnahmen zur Energieeinsparung	29
8 Solarthermische Wärmeversorgung.....	32
8.1 Mobile Heizzentrale, Solarabsorberanlage und Solarkollektoranlage	32
8.2 Solarabsorberanlage und Solarkollektoranlage	36
8.3 Solarabsorberanlage, Solarkollektoranlage und Heizöl-Brennwertkessel zur Frostfreihaltung	37
9 Einsatzmöglichkeiten einer Fotovoltaikanlage.....	41
10 Zusammenfassung.....	47
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	51
Anhang: Förderung Solarthermie 2000+	53

Einleitung

In Bruchmühlbach-Miesau befindet sich das Waldwarmfreibad, das 1971 errichtet und 1994 modernisiert wurde. Zur Wärmeversorgung ist ein Heizölkessel mit Baujahr 1970 und eine 12 Jahre alte Solarabsorberanlage installiert.

Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde ein Nahwärmenetz in Bruchmühlbach-Miesau im Frühjahr 2002 vom Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) im Auftrag der Verbandsgemeinde Bruchmühlbach-Miesau untersucht. Aufgrund der Erneuerungsbedürftigen Heizanlage im Waldwarmfreibad entstand die Überlegung, weitere kommunale Einrichtungen in dem Konzept für eine Nahwärmeversorgung zu berücksichtigen.

Im Unterschied dazu werden in dieser Machbarkeitsstudie für die Wärmeversorgung des Freibads Einsatzmöglichkeiten zur Nutzung regenerativer Energien untersucht. Dazu wird geprüft, ob nur mit Solarenergienutzung oder in Kombination mit anderen erneuerbaren Energien wie z. B. Erdwärme oder Biomasse die Wärmeversorgung möglich ist.

In der Nachbarschaft des Waldwarmfreibads befindet sich ein Sportlerheim und ein ganzjährig genutzter Campingplatz. Aufgrund dessen wird geprüft, ob eine gemeinsame Wärmeversorgung möglich ist.

Die in der vorangegangenen Studie für ein Nahwärmenetz in Bruchmühlbach-Miesau einbezogenen, kommunalen Einrichtungen werden aufgrund der zu niedrigen Wärmedichte (Verhältnis Wärmebedarf bezogen auf die Entfernung Wärmebedarf) nicht berücksichtigt, da dies sich nicht wirtschaftlich darstellen lässt.

Grundlage der Machbarkeitsstudie stellt eine Begehung mit Aufnahme der erforderlichen Daten zum Ist-Zustand dar. Darauf basiert die Energiebilanz der zuvor auf ihre Umsetzbarkeit untersuchten Varianten. Mit einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz werden die ökologischen Vorteile gegenüber dem Ist-Zustand dargestellt.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten, die sich aus Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten zusammensetzen, ermittelt. Mögliche Fördermittel werden berücksichtigt. Die wirtschaftliche Bewertung der Varianten erfolgt mit den jeweiligen Wärmepreisen, die sich aus den Jahreskosten bezogen auf den Wärmebedarf berechnen. Ergänzend zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Sensitivitätsanalyse der Brennstoffpreise durchgeführt.

Als weitere Nutzung regenerativer Energien wird der Einsatz einer Fotovoltaikanlage geprüft. Dazu werden die geeigneten Dachflächen mit dem theoretisch zu erwartenden Ertrag ausgewiesen.

Zusätzlich werden Maßnahmen zur Energieeinsparung auch in Hinblick auf den elektrischen Energieverbrauch vorgeschlagen.

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

1 Ist-Analyse

Das Waldwarmfreibad besteht aus einem Schwimmer-, Nichtschwimmer- und Planschbecken. Für die Wärmeversorgung sind das Schwimmer- und Nichtschwimmerbecken von Bedeutung.

		Schwimmerbecken	Nichtschwimmerbecken
Wasserfläche	m ²	970	900
mittlere Wassertiefe	m	2,15	1,02
Beckenwasservolumen	m ³	2.086	922

Tabelle 1-1 Geometriedaten Schwimmbecken

Das Freibad ist von Mitte Mai bis Mitte September geöffnet. Die Schwimmbecken werden außerhalb der täglichen Öffnungszeiten nicht abgedeckt, sodass entsprechende Verluste vorliegen.

Das Beckenwasser wird mit Solarabsorbern beheizt. Im Nichtschwimmerbecken wurde bisher durch Zuheizung eine Wassertemperatur von 24°C während der Öffnungszeit garantiert. Der mit Heizöl betriebene Kessel ist bereits im zweiten Jahr außer Betrieb.

Heizkessel	
Fabrikat	Viessmann
Bezeichnung	Turbomat
Wärmeleistung	1.163 kW _{th}
Baujahr	1970
Abgasverluste 01.06.2004	10 %
Brenner	
Fabrikat	Abig
Bezeichnung	AW 32
Baujahr	1982
Leistung	50 - 160 kg/h

Tabelle 1-2 Kenndaten Heizkessel

Der Heizkessel ist im Gebäude installiert, deren Brennstoff in einem erdverlegten 30.000 l Heizöltank gelagert wird.

Der vorhandene Heizölkessel entspricht nicht mehr dem Stand der Technik und ist auch aufgrund des Außer-Betrieb-Seins erneuerungsbedürftig. Auch der Heizöltank ist erneuerungsbedürftig. Nach der VDI Richtlinie 2067 beträgt die rechnerische Nutzungsdauer 15 Jahre für ein- oder doppelwandige Behälter aus Stahl für die unterirdische Lagerung DIN 6608.

Für die Warmwasserbereitung zur Versorgung der vier Duschen ist ein 500 l Trinkwarmwasserspeicher vorhanden, der mit 55 kW Dauerleistung 1.351 l/h Warmwasser zur Verfügung stellt. Der Trinkwarmwasserspeicher wird vom Heizkessel geladen.

Die Solarabsorberanlage liefert vorrangig die erforderliche Wärme zur Beckenwassererwärmung, während der Heizkessel zur Nachheizung eingesetzt wird, wenn die Beckenwassertemperatur unter 24°C liegt.

Solarabsorberanlage	
Absorberfläche	ca. 800 m ²
Baujahr	1992

Tabelle 1-3 Kenndaten Solarabsorberanlage

Bezogen auf 1.870 m² Wasserfläche beträgt die spezifische Absorberfläche ca. 0,43 m²/m². In unseren Breiten erreicht die Wassertemperatur ohne Beheizung selten mehr als 21°C. Für eine Temperaturerhöhung von 2 bis 4 K reichen in der Regel 0,8 m² Absorberfläche pro m² Wasserfläche aus, sodass für das Waldwarmfreibad zusätzlich zum vorhandenen Solarabsorber ein Heizkessel erforderlich ist.

Aus dem zur Verfügung gestellten Heizölverbrauch wird zunächst die Wärmeerzeugung des Heizkessels überschlägig wie folgt ermittelt.

durchschnittlicher Heizölverbrauch	40.000 l/a
Jahresnutzungsgrad Heizölkessel	75 %
Wärmeerzeugung Heizölkessel	300.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	1.163 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	258 h/a

Tabelle 1-4 Wärmeerzeugung Heizkessel

Auch außerhalb der Schwimmbadsaison werden ca. 3.000 l bis 5.000 l Heizöl zur Frostfreihaltung verbraucht.

Die niedrigen Vollbenutzungsstunden weisen auf eine Überdimensionierung der Kesselanlage hin. Mit der hohen, installierten Heizleistung ergibt sich eine Aufheizdauer zu Beginn der Freibadsaison von nur wenigen Tagen.

In der Biomassepotenzialstudie wird für das Waldwarmfreibad ein Bedarf von 400.000 kWh/a angegeben, dies ist der von der Verbandsgemeinde angegebene, jährliche Heizölverbrauch. Mit einem Heizwert für Heizöl von 10 kWh_{HU}/l ergibt sich mit 40.000 l durchschnittlichem Heizölverbrauch der Bedarf von 400.000 kWh_{HU}/a.

Zur Ermittlung der Wärmeerzeugung durch die Solarabsorberanlage wird ein rechnergestütztes Simulationsprogramm „Schwimmbad Simulation“ herangezogen. Dazu werden folgende Rahmenbedingungen zu Grunde gelegt.

	Becken 1 Schwimmerbecken	Becken 2 Nichtschwimmerbecken
Nutzungszeit	15. Mai - 15. September	
Wetterdatensatz	Wetterdatensatz Neustadt/Weinstraße	
Beckenlage	sehr freie Lage	
Windschutz	geringer Schutz	
Farbe	hell	
Beckenabdeckung	keine Beckenabdeckung	
Belastung	durchschnittliche Besucherzahl	
Beckenfläche	970 m ²	900 m ²
Beckentiefe	2,15	1,02
Beckenumfang	136	142
Starttemperatur	15°C	15°C
obere Grenztemperatur	22°C	35°C
Heizung	Nachheizung auf Stütztemperatur	
Heizleistung	1.163 kW _{th}	
Stütztemperatur	24°C	
Anlagenart	unverglaste EPDM-Absorber ohne Wärmetauscher	
Beckenzuordnung	Becken 1 Vorrang vor Becken 2	
Regelung	Differenztemperatur Absorber - Becken	
Absorberfläche	800 m ²	

Die Ergebnisse der Simulation sind im folgenden Diagramm abgebildet. Das Schwimmerbecken ist als Becken 1 und das Nichtschwimmerbecken ist als Becken 2 bezeichnet.

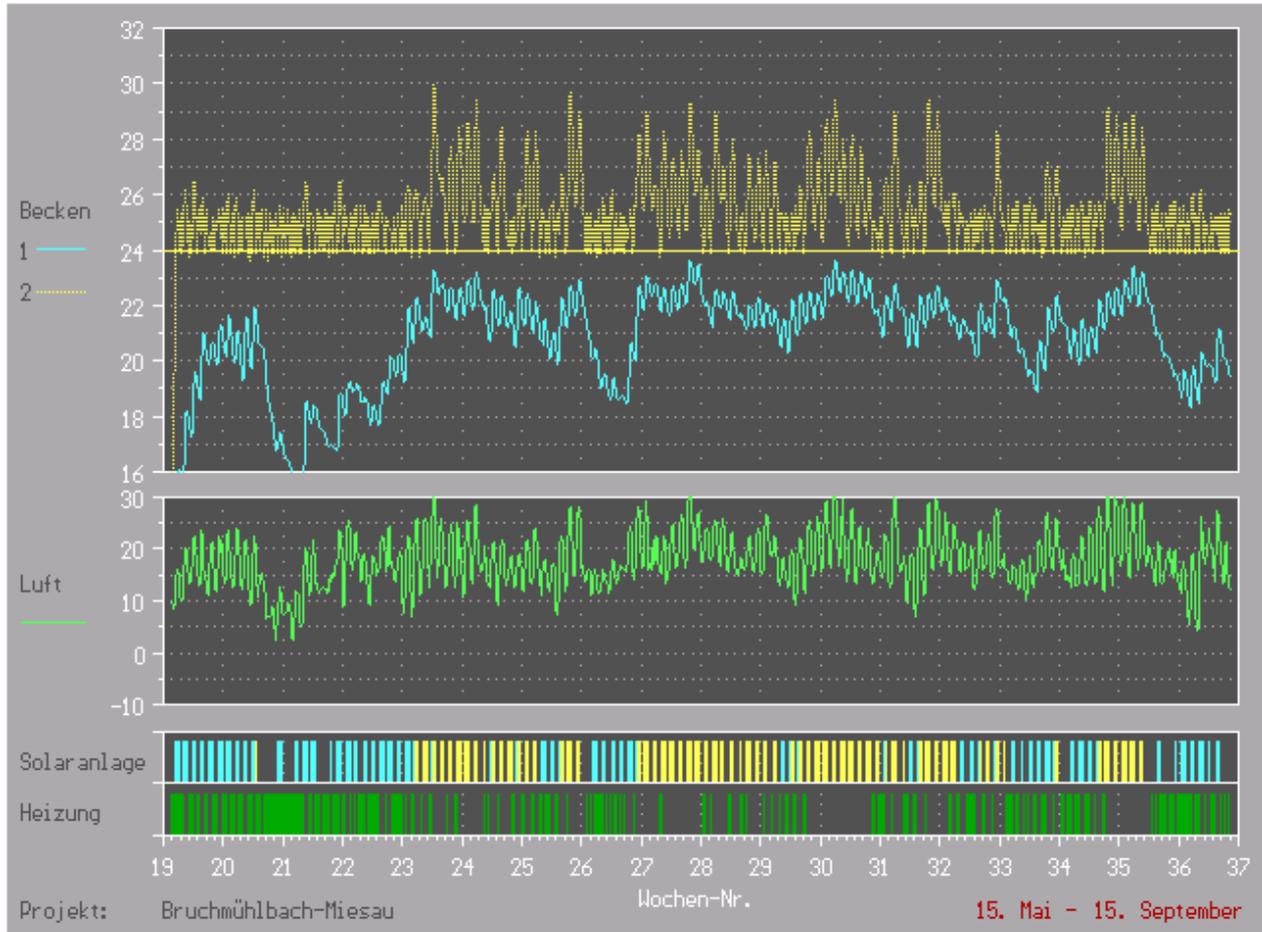


Abbildung 1-1 Ergebnis Simulation Solarabsorberanlage

		Schwimmerbecken + Nichtschwimmerbecken
Wärmeerzeugung Solarabsorberanlage	kWh _{th} /a	241.000
Wärmeerzeugung Heizkessel	kWh _{th} /a	464.000
Wärmebedarf Freibad	kWh _{th} /a	705.000

Tabelle 1-5 Wärmeerzeugung Solarabsorberanlage

Aufgrund der ausführlichen Datenabfrage des Simulationsprogramms ist das Ergebnis nicht auf andere Freibäder in der gleichen Größenordnung übertragbar, sodass dies nicht mit der ausgelegten Solarabsorberanlage für das Freibad in Maikammer nach einem weiteren Projekt¹ der TSB vergleichbar ist.

¹ TSB: Wärmeversorgung für das Freibad und die Sporthalle in Maikammer, Bingen, 2002

Die Wärmeerzeugung des Heizkessels nach der Simulation bezieht sich nur auf die Beckenwassererwärmung. Im Vergleich dazu beinhaltet die Wärmeerzeugung nach dem Heizölverbrauch neben der Beckenwassererwärmung, die Brauchwarmwasserbereitung für die Duschen und die Frostfreihaltung. Trotzdem ist die Wärmeerzeugung nach dem Heizölverbrauch niedriger.

Aufgrund dessen wird für die weiteren Berechnungen von folgendem Wärmebedarf ausgegangen.

Wärmeerzeugung Solarabsorberanlage	241.000 kWh _{th} /a
Wärmeerzeugung Heizkessel	300.000 kWh _{th} /a
<hr/>	
Wärmebedarf Freibad	541.000 kWh _{th} /a

Für die Dimensionierung eines neuen Heizkessels ist auf eine bedarfsgerechte Auslegung der Heizleistung zu achten. Der Heizkessel ist für die Aufheizung des Beckenwassers zu Beginn der Freibadsaison und zur Nachheizung des Beckenwassers im Falle geringer Solarstrahlung erforderlich. Damit der Heizkessel nicht fast ausschließlich im Teillastbereich betrieben wird, was zu einer schlechten Brennstoffnutzung und einem hohen Brennstoffverbrauch führt, ist eine deutlich geringe Heizleistung als derzeit installiert, auszuwählen. Mit einer niedrigeren Heizleistung erhöht sich die Aufheizdauer am Saisonbeginn.

Nach Literaturangaben¹ zum Wärmebedarf für Freibadheizung ohne Berücksichtigung des Gewinns durch Sonneneinstrahlung bei 22°C Wassertemperatur im Sommer von April bis September beträgt die spezifische Wärmeleistung maximal etwa 465 W_{th}/m². Für das Nichtschwimmerbecken des Waldwarmfreibads wird aufgrund dessen ca. 500 kW_{th} für eine neue Heizanlage angesetzt, sodass sich ca. eine Woche als Aufheizdauer zu Saisonbeginn ergibt.

¹ Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch Heizung + Klimatechnik 03/04, München, 2003

2 Vorstellung der Wärmeversorgungsvarianten

Das Sportlerheim befindet sich ca. 500 m entfernt vom Freibad. Dort ist ein heizölbeheizter Heizkessel mit einer Nennwärmeleistung von $115 \text{ kW}_{\text{th}}$ installiert. Für den etwa 300 m entfernten Campingplatz ist eine Flüssiggasheizung erneuert worden. Aufgrund dieser Gegebenheiten ist eine gemeinsame Wärmeversorgung aus wirtschaftlicher Sicht nicht umsetzbar. Die verhältnismäßig hohe Entfernung würde zu hohen Nahwärmeleitungsverlusten und die geringe Wärmeleistung zu einer ungünstigen Auslastung des Heizkessels führen.

Es wird im nachfolgenden nur verschiedene Varianten für die Wärmeversorgung des Waldwarmfreibads untersucht, da sich eine Nahwärmeversorgung mit dem Sportlerheim und dem Campingplatz nicht sinnvoll umsetzen lässt. Wir empfehlen daher, bei der notwendigen Erneuerung der Heizungsanlage des Sportlerheimes eine dezentrale Lösung eventuell mit einem Holzpelletkessel zu realisieren.

Um die Varianten mit der Nutzung regenerativer Energien bewerten zu können, dient die Variante 1 mit einer bedarfsgerechten Erneuerung des Heizölkessels und der vorhandenen Solarabsorberanlage als Vergleich.

Zunächst werden Varianten untersucht, die die vorhandene Solarabsorberanlage beibehalten. Anstelle des Heizölkessels wird ein Biomassekessel zur Nutzung erneuerbarer Energien mit der Solarabsorberanlage kombiniert. Hierbei wird zwischen den Brennstoffen Holzhackschnitzel und Holzpellets unterschieden.

Darauf aufbauend wird statt der vorhandenen Solarabsorberanlage unterschiedlich große Solarkollektoranlagen mit Röhrenkollektoren in Verbindung mit einem Biomassekessel betrachtet.

1.1 Variante 1: Bedarfsgerechte Erneuerung Heizölkessel und vorhandene Solarabsorberanlage

Die bedarfsgerechte Erneuerung des Heizölkessels und die vorhandene Solarabsorberanlage stellt die Vergleichsgrundlage für die übrigen Varianten dar.

Anstelle des 1.163 kW_{th}-Heizkessels wird ein heizölbefuehrter Brennwertkessel mit ca. 500 kW_{th} untersucht.

Zur Erwärmung des Beckenwassers auf 24°C genügt ein Heizsystem mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen, sodass hier die Voraussetzung für die Brennwerttechnik erfüllt ist. Ein Brennwertkessel nutzt zusätzlich die Kondensationswärme des Wasserdampfs im Abgas, sodass der eingesetzte Brennstoff im Vergleich zu Niedertemperaturkesseln effizienter genutzt wird. Mit einer Rücklauftemperatur auf einem niedrigen Niveau (<50°C) kann die Kondensation gewährleistet werden.

Wenn Wärme zur Warmwasserbereitung für die Duschen benötigt wird, liefert der Brennwertkessel auch eine höhere Vorlauftemperatur allerdings ohne Brennwertnutzung.

1.2 Variante 2: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holz hackschnitzel und vorhandene Solarabsorberanlage

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holz hackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holz hackschnitzel ist 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 Holz hackschnitzel 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 Holz hackschnitzel in Container geliefert werden.

Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holz hackschnitzel 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 Holz hackschnitzel vermieden werden.



Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holz hackschnitzel 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 Holz hackschnitzel mit einer etwas höheren Restfeuchte, indem der zugeführte Brennstoff von den Brenngasen, die über das Rost geführt werden, getrocknet wird.

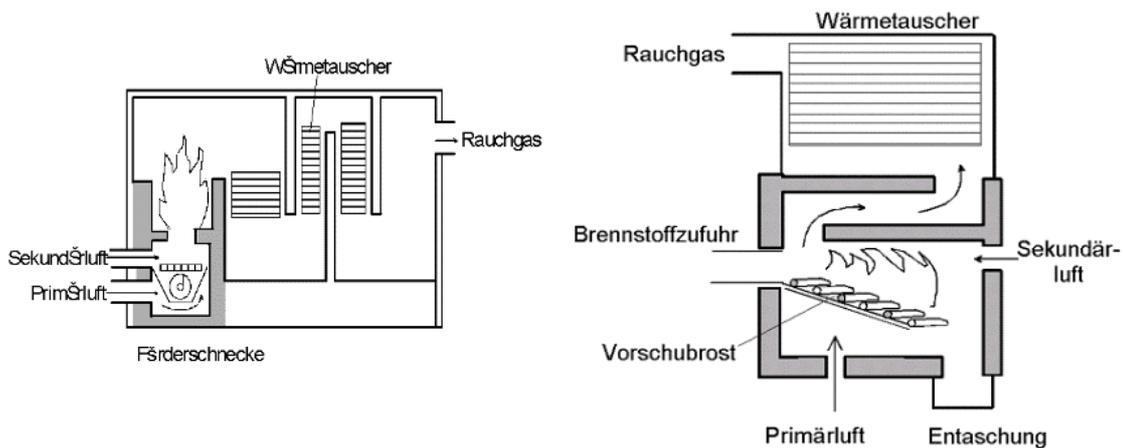


Abbildung 2-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)

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 Schalthäufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

Für das Freibad wird kein Pufferspeicher benötigt, da die Schwimmbecken praktisch als Pufferspeicher dienen, sodass das Beckenwasser abhängig vom Biomassekesselbetrieb um wenige Kelvin wärmer als gefordert ist.

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 heizölbefuenerter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird. Dies ist in einem Freibad nicht erforderlich.

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. Für das Freibad bietet es sich an, den Biomassekessel und das Brennstofflager in Containerbauweise zu realisieren.

Die Lagergröße berechnet sich in der Regel nach dem Brennstoffbedarf, der von einer Holzfeuerungsanlage für einen 5- bis 10tägigen Vollastbetrieb benötigt wird. Hier ergibt sich durch das Containervolumen das entsprechende Vorratsvolumen an Holzhackschnitzel. Das Containervolumen beträgt etwa 30 m³. Sinnvoll ist der Einsatz von zwei Brennstoffwechselcontainern. Während ein gefüllter Container neben dem Heizkesselcontainer zur Brennstoffversorgung dient, kann der andere Container zu dieser Zeit mit Holzhackschnitzeln befüllt werden.

1.3 Variante 3: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und vorhandene Solarabsorberanlage

Die Holzpellets werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder -spänen gefertigt. Sie besitzen einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm. Als Bindemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin und ggf. Speisestärke. In der DIN 51731 sind die Qualitätskriterien der Holzpellets festgelegt, so muss Ihr Heizwert mindestens 4,9 kWh_{BS}/kg betragen. Außerdem muss das Schüttgewicht 650 kg/Sm³ aufweisen und die Holzfeuchte darf 10 % nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhalts benötigen sie daher im Vergleich zu Holzhackschnitzel ein wesentlich geringeres Lagervolumen. Weitergehende Qualitätsanforderungen werden durch das DINplus-Zertifikat und die österreichische Norm M 7135 sichergestellt.

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

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

Bis auf die Lagerung und den Brennstofftransport der Holzpellets kann die übrige Technik, wie sie für Holzhackschnitzel eingesetzt wird, übernommen werden.

Lagerung der Holzpellets:

Auch hier sind lange Transportwege zu vermeiden, sodass das Lager möglichst nahe an der Heizzentrale platziert sein sollte.

Wie die Holzhackschnitzelvariante wird auch hier eine Containeranlage für den Biomassekessel und ein Silo als Holzpelletslager betrachtet. Die Auslegung des Lagervolumens orientiert sich ebenfalls am Holzpelletsbedarf, der für einen 5- bis 10tägigen Volllastbetrieb des Biomassekessels benötigt wird.

Aufgrund des LKW-Ladevolumens können zwischen etwa 40 und 80 Sm³ angeliefert werden. Dies wird in der Regel auch als Lagervolumen gewählt, um die Holzpellets zu einem günstigen Preis zu beziehen. Hier ergibt sich durch das Silovolumen von ca. 40 m³ das Holzpelletslagervolumen.

1.4 Variante 4: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und kleine Solarkollektoranlage

Gegenüber der Variante 3 wird nun anstelle der vorhandenen Solarabsorberanlage eine Solarkollektoranlage untersucht.

Dabei würde die vorhandene Absorberanlage abgebaut und die frei werdenden Dachflächen zur Installation einer Anlage mit aufgeständerten Kollektoren genutzt.

Mit dem Ziel, den Wärmebedarf (Forstfreihaltung) im Winter über die Kollektoren zu decken sind bei diesem Konzept Vakuumröhren-Kollektoren vorgesehen.

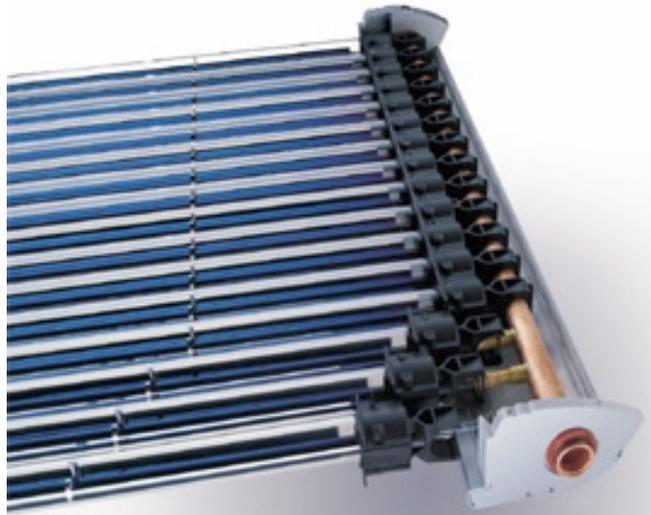


Abbildung 2-3 Schott Vakuumröhrenkollektor

Vakuumröhrenkollektoren zeichnen sich durch sehr gute Wärmeerträge bei niedrigen Außentemperaturen aus. Im ersten Schritt wird eine Solaranlage mit 200 m² berechnet. Die Begrenzung der Kollektorfläche auf zunächst 200 m² ist durch die Förderung nach dem Marktanreizprogramm bedingt. Für Anlagen größer als 200 m² verringern sich die Fördersätze von 110 €/m² auf 60 €/m².

1.5 Variante 5: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und große Solarkollektoranlage

Diese Variante unterscheidet sich lediglich in der Größe der Kollektorfläche die hier mit 400 m² angesetzt wird.

Förderwahrscheinlichkeit nach dem Programm Solarthermie 2000plus

Die Förderung von Solaranlagen zur Beckenwassererwärmung ist im Programm Solarthermie 200plus zunächst nicht vorgesehen. Auch die Kombination mit einem regenerativen Energieträger zur Abdeckung der Spitzenlast (in diesem Fall Holzhackschnitzel oder Holzpellets) führt nicht dazu, dass eine Förderung in Aussicht gestellt wird.

Wir empfehlen daher, für das Freibad keinen Antrag nach diesem Programm zu stellen sondern die Fördermöglichkeiten des Bundes nach dem Markteinführungsprogramm in Anspruch zu nehmen.

Dennoch sollte geprüft werden, inwieweit andere Objekte, die in die Zuständigkeit der VG fallen für ein Vorhaben nach dem Programm Solarthermie 2000 plus in Frage kommen.

3 Energiebilanz

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

		Variante 1 Heizkessel + Solarabsorber Heizöl	Variante 2 Heizkessel + Solarabsorber HHS	Variante 3 Heizkessel + Solarabsorber Holzpellets	Variante 4 Heizkessel + Solarkollektor Holzpellets	Variante 5 Heizkessel + Solarkollektor Holzpellets
Wärmebedarf	kWh _{tr} /a	541.000	541.000	541.000	541.000	541.000
Wärmeleistung	kW _{th}	500	500	500	500	500
Wärmeerzeugung						
Heizkessel	kWh _{tr} /a	300.000	300.000	300.000	468.000	395.000
Solarabsorber	kWh _{tr} /a	241.000	241.000	241.000	73.000	146.000
Solarkollektor	kWh _{tr} /a					
Jahresnutzungsgrad	%	90	80	85	85	85
Brennstoffbedarf						
Heizöl	kWh _{HU} /a	333.333				
Holz hackschnitzel	kWh _{HU} /a		375.000			
Holzpellets	kWh _{HU} /a			352.941	550.635	464.800
Brennstoffmenge						
Heizöl	l/a	33.333				
Holz hackschnitzel	Sm ³ /a		469			
Holzpellets	kg/a			70.588	110.127	92.960
	Sm ³ /a			109	169	143

Tabelle 3-1 Energiebilanz

4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Die ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt anhand der Kohlendioxid-Emissionen. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der zugehörigen, spezifischen CO₂-Emission der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet. Heizöl emittiert 317,7 g CO₂/kWh_{BS}. Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpellets und der Holz hackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für Holzpellets eine spezifische CO₂-Emission von 70,1 g CO₂/kWh_{BS} und für Holz hackschnitzel eine spezifische CO₂-Emission von 58,4 g CO₂/kWh_{BS}.

		Variante 1 Heizkessel + Solar- absorber Heizöl	Variante 2 Heizkessel + Solar- absorber HHS	Variante 3 Heizkessel + Solar- absorber Holzpellets	Variante 4 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets	Variante 5 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets
Heizölbedarf	kWh _{HU} /a	333.333				
HHS-Bedarf	kWh _{HU} /a		375.000			
Holzpelletsbedarf	kWh _{HU} /a			352.941	550.635	464.800
CO₂-Emissionen	t CO₂/a	106	22	25	39	33

Tabelle 4-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Durch den Einsatz von Anlagen, die regenerative Energien nutzen, erzielen diese Variante deutlich niedrigere Kohlendioxid-Emissionen. Die Einsparungen liegen in einem Bereich von 67 bis 84 t CO₂/a, sodass ca. 60 bis 80 % der CO₂-Emissionen eingespart werden.

Aus ökologischer Sicht ist die Variante 3 mit einem Holzpelletkessel und der großen Solarkollektoranlage am günstigsten.

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse in einem Diagramm dargestellt.

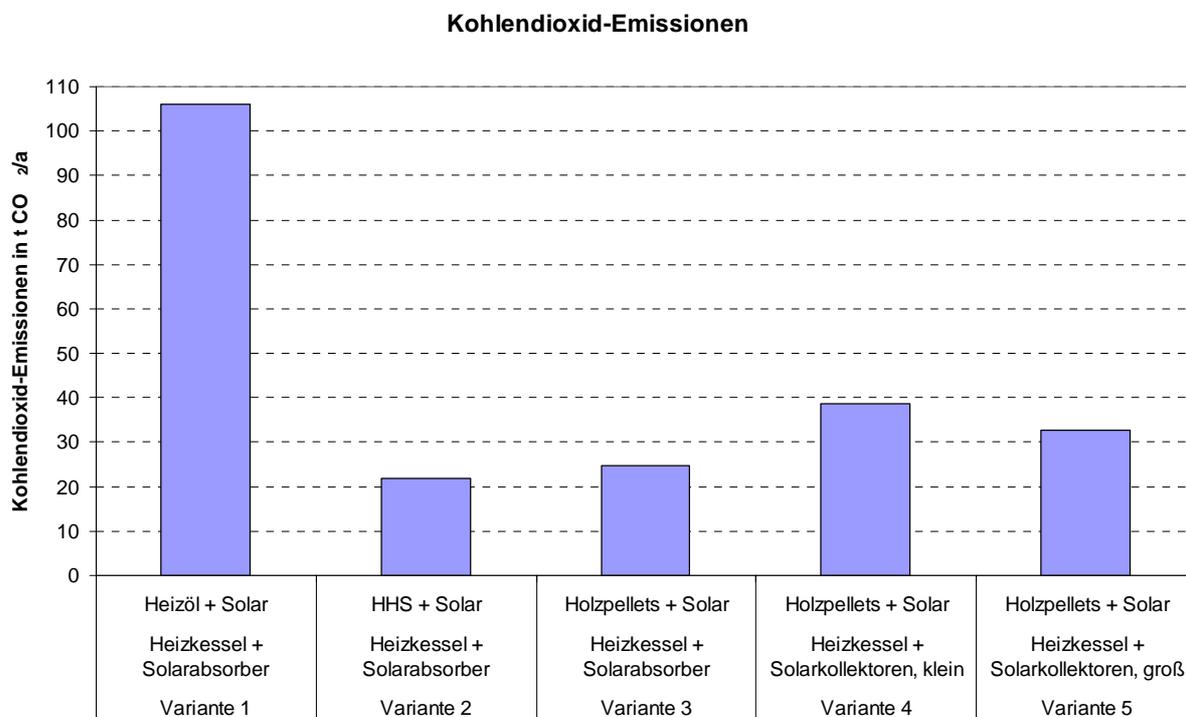


Abbildung 4-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der beiden Anlagenvarianten anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden für die verschiedenen Wärmeerzeuger 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 €) beantragt werden

Für die Errichtung einer Solarkollektoranlage kann ein Zuschuss nach dem Marktanreizprogramm beantragt werden. Es können nur Anlagen gefördert werden, deren jährlicher Kollektorsertrag 525 kWh/(m²a) und der Deckungsanteil 40 % beträgt. Außerdem müssen die Kriterien des Umweltzeichens RAL-UZ 73 erfüllt sein. Bei Anlagen mit einer Mindestgröße von 20 m² Röhrenkollektoren bzw. 30 m² Flachkollektoren ist mindestens ein Wärmemengenzähler im Kollektorkreislauf erforderlich. Solarkollektoren für Schwimmbäder sind förderwürdig; diese werden mit 80 % der Fördersätze bezuschusst. Für die Erstinstallation einer Solarkollektoranlage bis zu 200 m² beträgt der Zuschuss für Schwimmbäder 88 €/m² Bruttokollektorfläche (80 % von 110 €/m²). Ab 2005 ist eine degressive Ausgestaltung der Förderhöchstsätze beabsichtigt. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Mit dem Förderkonzept „Solarthermie2000plus“ wird das Ziel verfolgt, fossile Brennstoffe zur Wärmeerzeugung durch Solarthermie zu ersetzen, um einen wirksamen Klimaschutz zu erreichen. Mit dem Bau von mindestens 100 m² großen Anlagen sollen u. a. integrale Konzepte zur Kombination von Solarwärme, Geothermie, Abwärme und energetische Biomassenutzung eine weitgehend CO₂-neutrale Wärmeversorgung erprobt werden. Dazu sind die Planung, Errichtung, Erprobung und die Begleitforschung von fünf Jahren (Bauvorhaben) bzw. acht Jahren (Begleitforschung) förderfähig. Antragsberechtigt sind u. a. Einrichtungen des Bundes und der Länder einschließlich der nachgeordneten Einrichtungen. Der Zuschuss darf in der Regel 50 % nicht übersteigen.

Außerdem besteht die Möglichkeit, einen zinsgünstigen Kredit bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) nach dem KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“ für u. a. „Energieeinsparung und Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger“ zu beantragen. Ein nominaler Zinssatz beträgt 4 %, der für die ersten zehn Jahre fest ist. Danach werden neue Konditionen vereinbart. Die Laufzeit beträgt maximal 20 Jahre mit maximal drei tilgungsfreien Anlaufjahren.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz (Variante 1)	5 %
Zinssatz (KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds)	4 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik, Solaranlage	20 Jahre
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Sanierung / Stilllegung Erdtank	15 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten:

spez. Heizölpreis ¹	45 Ct/l (inkl. MwSt.)
spez. Holzhackschnitzelpreis (Waldrestholz)	14 €/Sm ³ (inkl. 7 % MwSt.)
spez. Holzpelletspreis	160 €/t (inkl. 7 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis ²	15 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

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

¹ durchschnittlicher Heizölpreis für 10.000 l aus: Heizölbörse, Raum Saabrücken, 39. Kalenderwoche

² Jahresrechnung Strom vom 16.02.2004: durchschnittlicher Strompreis aus Bruttobetrag und Stromverbrauch

In den beiden Tabellen sind die Investitionskosten inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	Variante 1 Heizölkessel + Solarabsorber	Variante 2 HHS-Kessel + Solarabsorber	Variante 3 Holzpelletskessel + Solarabsorber
Demontage			
Demontage Heizkessel	3.400 €	3.400 €	3.400 €
Sanierung Erdtank			
Sanierung Erdtank	3.600 €		
Stilllegung Erdtank			
Stilllegung Erdtank		1.800 €	1.800 €
Maschinentchnik			
Heizöl-Brennwertkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	51.100 €		
HHS-Containeranlage mit HHS-Wechselcontainer und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		197.900 €	
Holzpellets-Containeranlage mit Holzpellets-Silo und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme			127.700 €
Bautechnik			
Fundament Containeranlage		11.100 €	7.100 €
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	8.700 €	32.100 €	21.000 €
Gesamtinvestition	66.800 €	246.300 €	161.000 €
Teilschulderlass Biomassekessel		30.000 €	30.000 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung		216.300 €	131.000 €

Tabelle 5-1 Investitionskosten für Varianten 1 bis 3

	Variante 4 Holzpelletskessel + Solarkollektor	Variante 5 Holzpelletskessel + Solarkollektor
Demontage		
Demontage Heizkessel	3.400 €	3.400 €
Demontage Solarabsorber	4.400 €	4.400 €
Stilllegung Erdtank		
Stilllegung Erdtank	1.800 €	1.800 €
Maschinentchnik		
Holzpellets-Containeranlage mit Holzpelletssilo und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	127.700 €	127.700 €
Solarkollektoranlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	103.000 €	194.700 €
Bautechnik		
Fundament Containeranlage	7.100 €	7.100 €
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	31.400 €	31.500 €
Gesamtinvestition	241.000. €	335.700 €
Teilschulderlass Biomassekessel	30.000 €	30.000 €
Zuschuss Solarkollektoranlage	17.600 €	27.200 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung	249.700 €	359.500 €

Tabelle 5-2 Investitionskosten für die Varianten 4 und 5

Die Investitionskosten liegen unter Berücksichtigung von Fördermitteln für die untersuchten Varianten zwischen ca. 67.000 € und 359.500 €.

Die Ergebnisse inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die verschiedenen Varianten stellen sich wie folgt dar.

		Variante 1 Heizkessel + Solar- absorber Heizöl	Variante 2 Heizkessel + Solar- absorber HHS	Variante 3 Heizkessel + Solar- absorber Holzpellets	Variante 4 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets	Variante 5 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets
Heizleistung	kW_{th}	500	500	500	500	500
Investition	€	66.800	246.300	161.000	279.700	389.500
inkl. Förderung	€		216.300	131.000	249.700	359.500
Kapitalkosten	€/a	5.613	18.433	12.083	21.143	29.456
inkl. Förderung	€/a		16.226	9.876	18.936	25.389
Verbrauchskosten	€/a	15.450	7.688	12.419	19.249	16.284
Betriebskosten	€/a	2.480	5.239	3.700	4.000	6.120
Jahreskosten	€/a	23.543	31.360	28.202	44.377	51.858
inkl. Förderung	€/a		29.153	25.995	42.169	49.650
Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{tr}}/\text{a}$	541.000	541.000	541.000	541.000	541.000
Wärmepreis	$\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$	4,4	5,8	5,2	8,2	9,6
inkl. Förderung	$\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$		5,4	4,8	7,8	9,2

Tabelle 5-3 Wirtschaftlichkeit

Die Jahreskosten liegen unter Berücksichtigung von Fördermitteln in einem Bereich von etwa 23.500 €/a bis 51.000 €/a.

Die wirtschaftlich günstigste Variante ist mit einem Wärmepreis von 4,4 Ct/ kWh_{th} die Wärmeversorgung mit einem Heizölkessel in Verbindung mit der vorhandenen Solarabsorberanlage. Bei dem Einsatz von regenerativen Brennstoffen liegen die Varianten mit Holzhackschnitzeln und Holzpellets in vergleichbarer Größenordnung.

Dieses Ergebnis beruht darauf, dass Biomassekessel im Vergleich zu konventionellen Heizkesseln höhere Investitionen erfordern und ein verhältnismäßig geringer Wärmebedarf mit einem Heizkessel abgedeckt werden muss. Für die Heizkessel, die für ein Freibad in Kombination mit einer Solarabsorberanlage in erster Linie nur zur Aufheizung bei Saisonbeginn und zur Spitzenlastabdeckung eingesetzt werden, ergeben sich somit nur unter 1.000 h/a als Vollbenutzungsstunden.

Für den Einsatz von Biomassekesseln ist eine hohe Auslastung durch die Abdeckung eines verhältnismäßig hohen Wärmebedarfs für deren Wirtschaftlichkeit von entscheidender Bedeutung, denn die höheren Investitionskosten können nur mit niedrigeren Brennstoffkosten gegenüber konventionellen Heizkesseln ausgeglichen werden. Deswegen werden Biomassekessel zur Grundlastabdeckung eingesetzt, um mit hohen Vollbenutzungsstunden eine hohen Auslastung zu erzielen.

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit in einem Diagramm abgebildet.

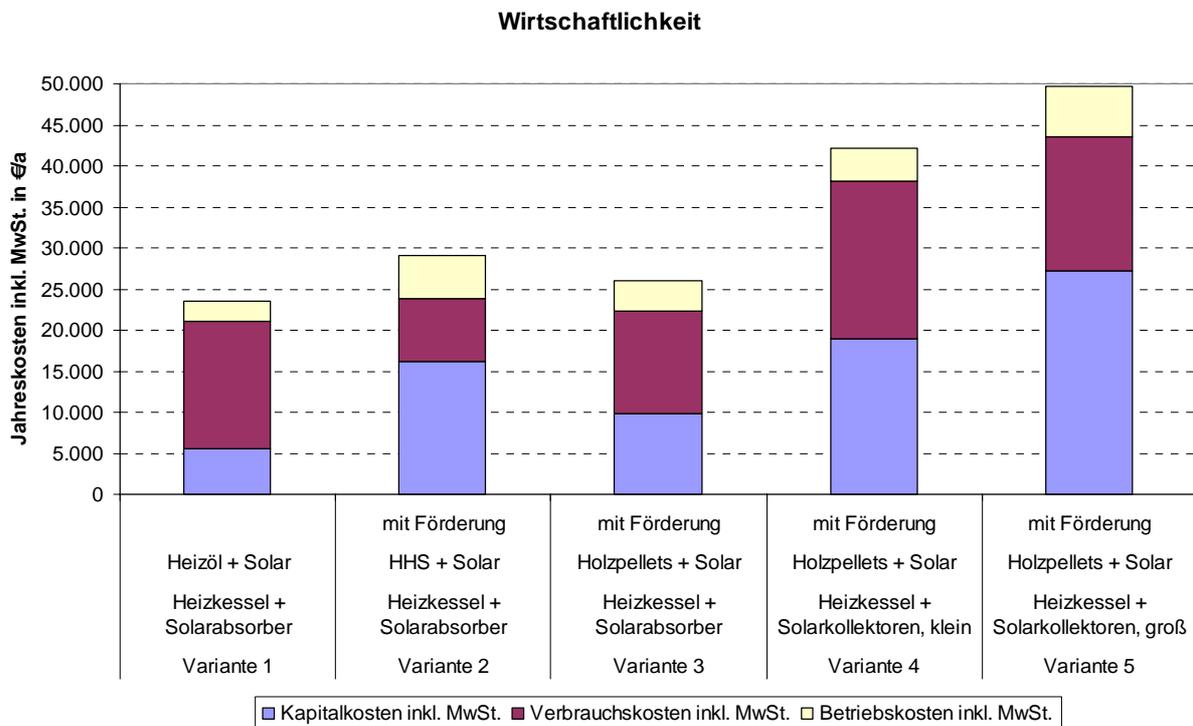


Abbildung 5-1 Wirtschaftlichkeit

In einem anderen Projekt¹ „Wärmeversorgung für das Freibad und die Sporthalle in Maikammer“ wurde u. a. auch die Erneuerung der Wärmeversorgung für ein Freibad untersucht. Die dort ermittelten Wärmepreise sind nicht mit denen von Bruchmühlbach-Miesau vergleichbar, da die Wärmeversorgung für Maikammer mit einem Erdgas-Brennwertkessel und für Bruchmühlbach-Miesau mit einem Heizöl-Brennwertkessel betrachtet wurde. Auch die Varianten aus Biomassekessel und vorhandenem Solarabsorber für Bruchmühlbach-Miesau können ebenfalls nicht mit den Solarabsorbervarianten verglichen werden, weil es sich in Bruchmühlbach-Miesau um eine vorhandene Solarabsorberanlage und in Maikammer um eine neue Anlage mit entsprechenden Investitionskosten handelt.

¹ TSB: Wärmeversorgung für das Freibad und die Sporthalle in Maikammer, Bingen, 2002

6 Sensitivitätsbetrachtung

Die Brennstoffpreise nehmen einen verhältnismäßig großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Varianten ein. 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.

Zum Vergleich mit der dezentralen Basisvariante wird auch die Sensitivitätsbetrachtung für diese Variante einbezogen.

Es wird eine Preisspanne von -40 % bis +40 % für die Brennstoffpreise inkl. MwSt. untersucht. Daraus ergeben sich folgende Preise.

Heizölpreis -40 % in Ct/l	Heizölpreis 0 % in Ct/l	Heizölpreis +40 % in Ct/l
27	45	63
HHS-Preis -40 % in €/Sm ³	HHS-Preis -40 % in €/Sm ³	HHS-Preis -40 % in €/Sm ³
8,4	14,0	19,6
Holzpelletpreis -40 % in €/t	Holzpelletpreis 0 % in €/t	Holzpelletpreis +40 % in €/t
96	160	224

Ein HHS-Preis von rund 9 €/Sm³ ist für Holzhackschnitzel aus Industrierestholz üblich.

Das Ergebnis der Sensitivitätsbetrachtung ist im folgenden Diagramm dargestellt.

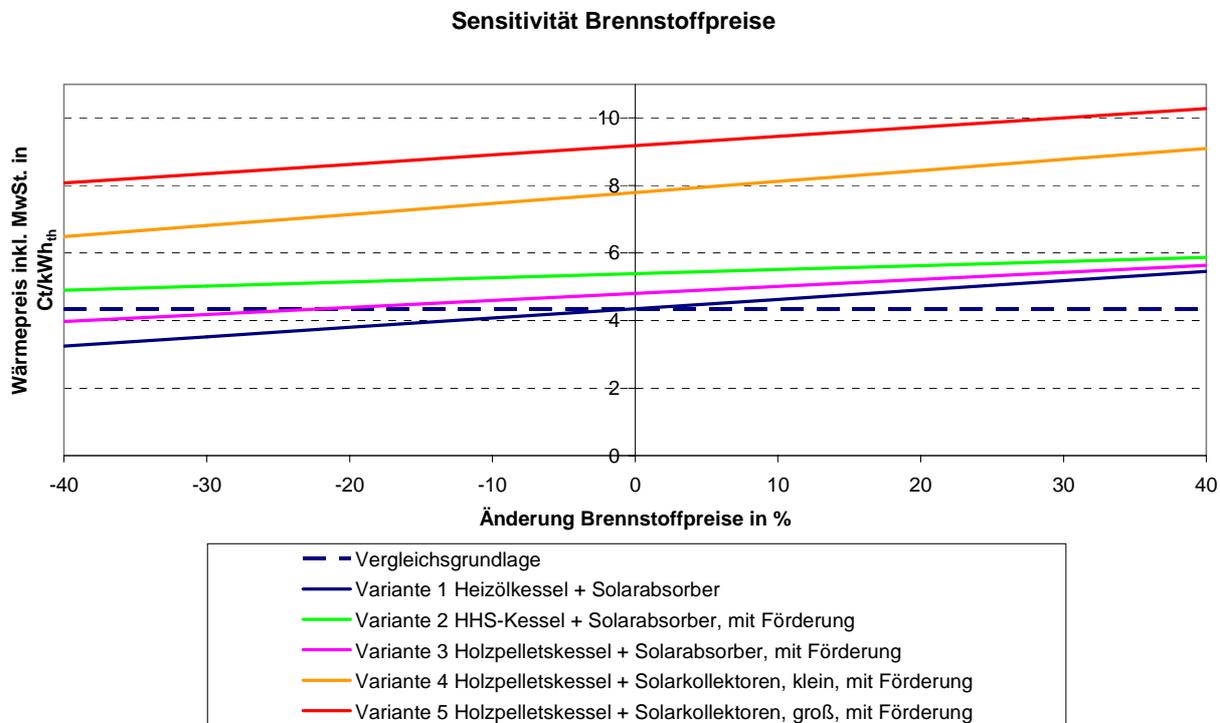


Abbildung 6-1 Sensitivität Brennstoffpreise

Durch die z. T. verhältnismäßig geringe Differenz in der Wirtschaftlichkeit ergeben sich Schnittpunkte im untersuchten Bereich. Diese Punkte sind entscheidend für die Bewertung der Varianten hinsichtlich von Energiepreisänderungen.

Es werden die Schnittpunkte mit der Geraden „Vergleichsgrundlage“ untersucht. Bis zu diesem Schnittpunkt sind die aufgeführten Varianten günstiger als die „Vergleichsgrundlage“, was die Variante 1 mit 4,4 Ct/kWh_{th} als Wärmepreis nach der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darstellt.

		Schnittpunkt 1 Variante 3 Heizkessel + Solarabsorber Holzpellets
Preisänderung	%	-21,7
Holzpelletspreis inkl. MwSt.	Ct/l	125
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	4,4

Tabelle 6-1 Sensitivität Brennstoffpreise

7 Maßnahmen zur Energieeinsparung

Für das Waldwarmfreibad ist eine Modernisierung in zwei Schritten angedacht. Zuerst ist die Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage. Im Anschluss daran ist die Erneuerung der Rohrleitungen zur Beckenversorgung geplant, da hier die Gefahr eines Rohrbruchs besteht.

Im Zuge dieser Modernisierung bietet es sich an, Maßnahmen zur Energieeinsparung (Wärme und Strom) mit umzusetzen. Dazu werden folgende Vorschläge vorgestellt.

Beckenabdeckung:

Die Schwimmbecken des Waldwarmfreibads sind nicht mit einer Beckenabdeckung ausgestattet.

Durch eine Beckenabdeckung werden die nächtlichen Wärmeverluste durch Verdunstung und Abstrahlung soweit reduziert, dass die Wassertemperatur kaum noch absinkt. Es kann so eine Wärmebedarfseinsparung von rund insgesamt 56 % nach einer Simulationsberechnung für das Waldwarmfreibad erreicht werden. Die Wärmeerzeugung durch den Heizkessel für die Beckenwassererwärmung würde sich um ca. 76 % reduzieren, sodass sich die Beckenabdeckung über die eingesparten Brennstoffkosten von jährlich etwa 17.500 €/a innerhalb eines kurzen Zeitraums amortisiert.

Auf dem Markt sind unterschiedliche Systeme wie z. B. Kunststoffplanen oder Rollläden erhältlich. Die Aufwickelvorrichtung ist mit Elektromotoren ausgestattet. Dennoch ist der Auf- und Abwickelvorgang am Abend und am Morgen zu steuern und überwachen. Außerdem ist die Abdeckung sturm- und unfallsicher zu befestigen. Dies nimmt etwa 15 Minuten pro Becken in Anspruch. Ein Nebeneffekt der Abdeckung besteht darin, dass sich die Arbeit der Beckenreinigung verringert, da am Morgen weniger Verunreinigungen wie z. B. Blätter zu entfernen sind.

Schwallwasserbehälter:

Der Wasserverbrauch in Freibädern nimmt einen hohen Anteil der jährlichen Kosten für den Schwimmbadbetrieb ein. Deswegen dürfen Schwallwasserbehälter, die das am Beckenrand überlaufende Wasser auffangen und in den Wasserkreislauf zurückführen, nirgendwo fehlen. Fachleute empfehlen, diese auch in bestehenden Freibädern nachzurüsten.

Durch die Wasserverdrängung werden jedes Mal, wenn ein Badegast ins Wasser steigt, ca. 70 l Wasser, die einem durchschnittlichen Badegast entsprechen, verdrängt. Beim fehlenden Schwallwasserbehälter werden so etwa 7.000 m³ bis 8.000 m³ ungenutzt in die Kanalisation abgeführt, sodass entsprechend hohe Abwassergebühren vorliegen.

Filterrückspülung:

Die Filterrückspülung mit Wasser aus dem Sammelbehälter anstelle von Frischwasser führt ebenfalls zur Wassereinsparung.

Pumpen zur Beckenwasserumwälzung:

Die Pumpen, die noch aus der Erstausrüstung des Waldwarmfreibads stammen, sind vermutlich überdimensioniert und benötigen einen entsprechend hohen Strombedarf. Im Zuge der Modernisierungsmaßnahmen ist bei der Erneuerung der Umwälzpumpen auf eine bedarfsgerechte Auslegung und auf effiziente Pumpen zu achten. Es sind vollautomatische, drehzahlgeregelte Umwälzpumpen, die die elektrische Leistungsaufnahme in Abhängigkeit von der Zeit, der Temperatur und der Druckdifferenz an den tatsächlichen Bedarf anpassen, zu bevorzugen.

Inzwischen wurden Pumpen mit EC-Motor (elektronisch kumutierter Synchronmotor) entwickelt, die sowohl unter Vollast als auch unter Teillast einen hohen elektrischen Wirkungsgrad aufweisen. Diese Hocheffizienzpumpen sind stufenlos regelbar. Der Stromverbrauch zum Betrieb der Pumpen geht deutlich zurück. Der Mehrpreis der hocheffizienten Pumpe gegenüber der einfachen Erneuerung kann leicht durch die Einsparung finanziert werden.

Weitere Einsparungen im Stromverbrauch kann durch eine Reduzierung der Beckenwasserumwälzung während der Nacht oder bei geringem Besucherandrang erreicht werden.

Wasseraufbereitung:

Neben einer Optimierung der Wasseraufbereitung mit Chlorgas sind auch andere Techniken zur Reduzierung der Betriebskosten einsetzbar.

Zur Chlordosierung wird ununterbrochen laufendes Treibwasser benötigt, das mit einem Endschalter am Dosierventil mit Beendigung der Chlorzugabe abgeschaltet wird. Alternativ dazu kann die Chlordosierung mit einer Vakuumanlage nach dem Prinzip der Wasserstrahlpumpe erfolgen. Dadurch reduziert sich der Wasserverbrauch.

Über eine Elektrolyse mit Salztabs kann ebenfalls die Wasseraufbereitung erfolgen, sodass sich zunächst die mit dem Transport und der Lagerung der Chlorgasflaschen verbundenen Gefahren vermeiden lassen. Weiterhin liegt ein Einsparpotential für Betriebskosten im Bereich von 50 % vor.

Wasserspararmaturen:

Durch den Einsatz von Wasserspararmaturen in den Duschen im Zuge von den Modernisierungsmaßnahmen kann der Wasserverbrauch gesenkt werden.

8 Solarthermische Wärmeversorgung

Im Gegensatz zu den vorherigen Wärmeversorgungsvarianten mit Heizkessel und Solaranlage wird nun untersucht, inwieweit eine solare Wärmeversorgung möglich ist.

8.1 Mobile Heizzentrale, Solarabsorberanlage und Solarkollektoranlage

Im folgenden wird die Beckenwassererwärmung ausschließlich mit Solarabsorberanlage während der Badesaison und mit einer mobilen Heizzentrale in der Aufheizphase zu Saisonbeginn betrachtet. Es wird eine Beckenabdeckung außerhalb der Öffnungszeiten angenommen. Hier ist zu berücksichtigen, dass die Solltemperatur des Beckenwassers im Nichtschwimmerbecken mit einer Solarabsorberanlage nicht mehr garantiert werden kann.

Zur Duschwassererwärmung wird eine Solarkollektoranlage in Verbindung mit einem Pufferspeicher, der mit einem zusätzlichen Elektroheizstab ausgestattet ist, untersucht, um eine möglichst hohe solare Deckungsrate zu erreichen.

Zur Beckenwassererwärmung wird die vorhandene Solarabsorberanlage und während der Aufheizphase eine mobile Heizzentrale betrachtet.

Wärmebedarf Beckenwassererwärmung Aufheizphase	39.500 kWh _{th} /a
Nutzungsgrad mobile Heizzentrale	90 %
Heizölbedarf	43.889 kWh _{HU} /a
Heizölmenge	4.389 l/a
Wärmebereitstellung Solarabsorberanlage	53.400 kWh _{th} /a
direkte Solargewinne in Becken	916.300 kWh _{th} /a
Verluste (Verdunstung, Emission, Konvektion, Erdreich)	1.003.400 kWh _{th} /a

Tabelle 8-1 Wärmebedarf Beckenwassererwärmung

Es ist zu berücksichtigen, dass die Solltemperatur des Beckenwassers im Nichtschwimmerbecken mit einer Solarabsorberanlage nicht mehr garantiert werden kann. Dies zeigt auch die Simulation der Beckenwassertemperaturen für die Badesaison von 15. Mai bis 15. September. Die Aufheizphase Anfang Mai ist nicht dargestellt.

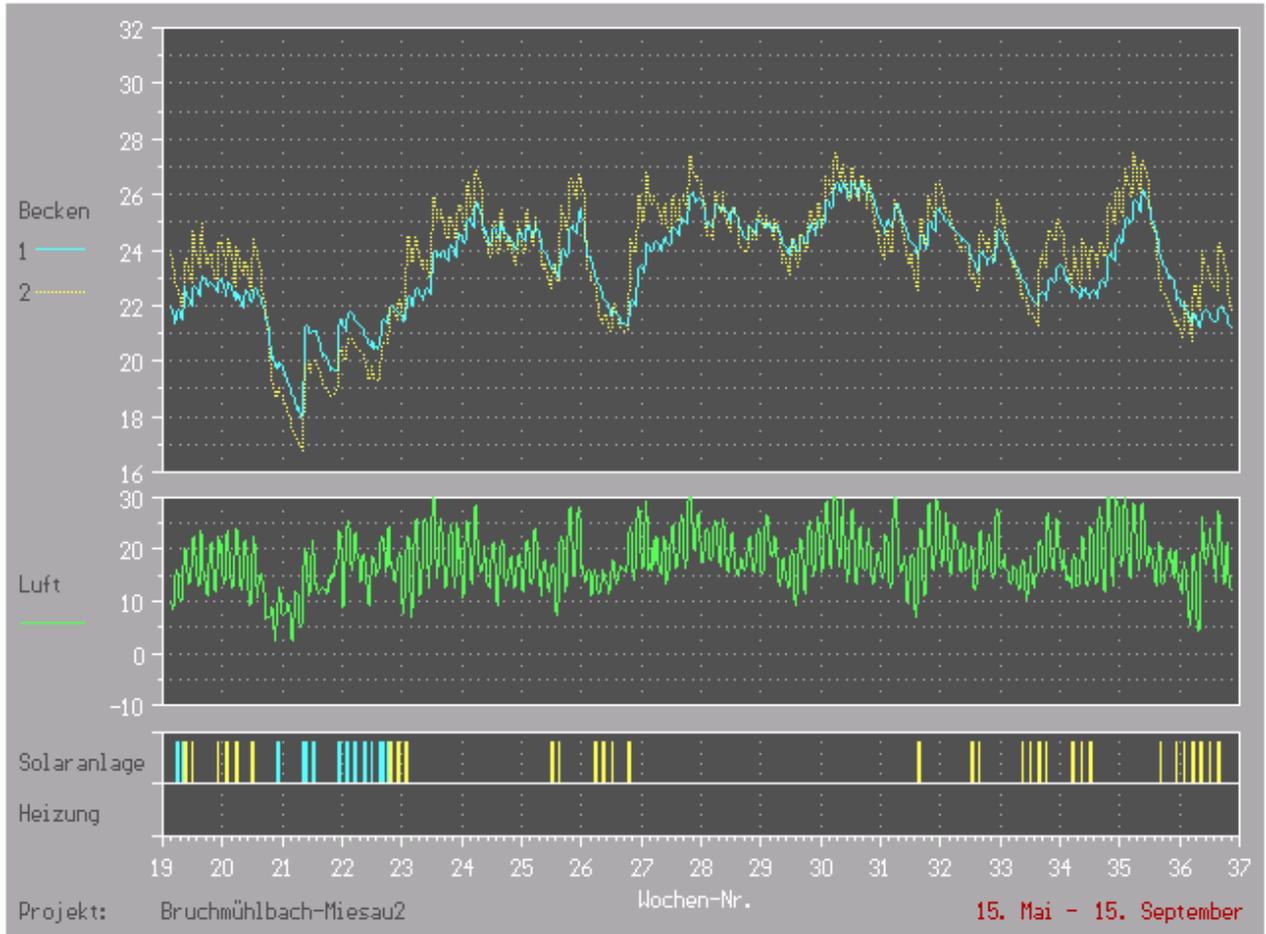


Abbildung 8-1 Verlauf Beckenwassertemperatur nach Simulation

In Kombination dazu wird für die Duschwassererwärmung eine Solarkollektoranlage untersucht, wobei zwischen Flachkollektoren und Vakuumröhrenkollektoren unterschieden wird.

Für die Auslegung einer Solarkollektoranlage wird zunächst der Wärmebedarf zur Duschwarmwasserbereitung nach Annahmen überschlägig ermittelt.

vorliegende Angaben	
Anzahl Duschen	4 Stück
Inhalt Brauchwarmwasserspeicher	500 l
Annahmen	
Badesaison	123 d/a
Stundenzahl Duschbenutzung	7 h/d
Duschbelegung	15 min/h
max. Auslastung Duschen	112 Personen/d
Anteil duschende Personen	30 %
Anzahl duschende Personen	4.000 Personen/a
mittlerer WWB Sportler Duschen (bei 60°C) ¹	25 l/Person
Warmwasserverbrauch (bei 60°C)	100.000 l/a
Wärmebedarf Warmwasserbereitung	5.800 kWh _{th} /a

Tabelle 8-2 Wärmebedarf Warmwasserbereitung

Für die solarunterstützte Brauchwarmwasserbereitung wurden folgende Kollektoranlagen betrachtet. Das Pufferspeichervolumen beträgt rund 5 m³ für Anlagen in dieser Größenordnung.

		Flachkollektor	Röhrenkollektor
Fläche	m ²	76	40
solare Deckungsrate	%	83	82
solare Wärmebereitstellung	kWh _{th} /a	4.825	4.757
elektrische Wärmeerzeugung	kWh _{th} /a	975	1.043

Tabelle 8-3 Ertrag Solarkollektoren zur Duschwassererwärmung

¹ Buderus: Planungsunterlage, Größenbestimmung und Auswahl von Speicher-Wassererwärmern, 11/98

Da die vorhandene Dachflächen schon mit der Solarabsorberanlage belegt ist, steht keine Dachfläche für eine Solarkollektoranlage zur Verfügung.

Aufgrund dessen ist auch keine Erweiterung der vorhandenen Solarabsorberanlage möglich.

Für den Betrieb einer mobilen Heizzentrale mit einem Heizölkessel von 500 kW_{th} für die Beckenwassererwärmung zu Saisonbeginn und einer Solarabsorberanlage für die Beckenwassererwärmung sowie einer Solarkollektoranlage für die Duschwassererwärmung während der Badesaison ergibt sich folgende Energiebilanz.

mobile Heizzentrale + Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage	
Wärmebereitstellung mobile Heizzentrale	39.500 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Solarabsorberanlage	53.400 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Flachkollektoranlage	4.800 kWh _{th} /a

Tabelle 8-4 Energiebilanz Wärmeversorgung
mobile Heizzentrale + Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage

Gegenüber der derzeitigen Wärmeversorgung entfallen die Kosten für den Heizölkessel, sodass nur die Mietkosten für eine mobile Heizzentrale mit Heizölkessel und Tank für einen Zeitraum von zwei Wochen und Investitionen für die Flachkollektoranlage aufzuwenden sind.

Nach dem Marktanreizprogramm können Solarkollektoranlagen für Schwimmbäder mit 80 % des Zuschusses von 110 €/je angefangenem m² gefördert werden.

Demontage	
Demontage Heizkessel	3.400 €
Stilllegung Erdtank	
Stilllegung Erdtank	1.800 €
Maschinentchnik	
Solarkollektoranlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	47.700 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	7.900 €
Gesamtinvestition	60.800 €
Fördermittel	7.040 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung	53.760 €

Tabelle 8-5 Investitionskosten Wärmeversorgung mit Flachkollektoranlage

Die Wirtschaftlichkeit stellt sich wie folgt dar.

Investition	€	60.800
Investition inkl. Förderung	€	53.760
Kapitalkosten	€/a	5.090
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a	4.525
Verbrauchskosten inkl. Mietkosten mobile Heizzentrale	€/a	4.363
Betriebskosten	€/a	1.286
Jahreskosten	€/a	10.738
Jahreskosten inkl. Förderung	€/a	10.173

Tabelle 8-6 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung
mobile Heizzentrale + Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage

Es ist zu berücksichtigen, dass während der Badesaison die Solltemperatur im Nicht-Schwimmerbecken nur mit der Solarabsorberanlage nicht garantiert werden kann.

8.2 Solarabsorberanlage und Solarkollektoranlage

Als weitere Variante wird die Wärmeversorgung nur auf solarer Basis mit Solarabsorber und Solarkollektoren betrachtet. Die zugehörige Energiebilanz stellt sich wie folgt dar.

Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage	
Wärmebereitstellung Solarabsorberanlage	53.400 kWh _{th} /a
direkte Solargewinne in Becken	916.300 kWh _{th} /a
Verluste (Verdunstung, Emission, Konvektion, Erdreich)	1.003.400 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Flachkollektoranlage	4.800 kWh _{th} /a

Tabelle 8-7 Energiebilanz Wärmeversorgung Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage

Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die Solltemperatur des Beckenwassers im Nichtschwimmerbecken mit einer Solarabsorberanlage nicht mehr garantiert werden kann. Es liegt derselbe Verlauf der Beckenwassertemperatur wie in der oben dargestellten Simulation vor.

Für die Wirtschaftlichkeit liegen dieselben Investitionskosten vor wie in der vorherigen Betrachtung. Die Mietkosten und Heizölkosten für die mobile Heizzentrale entfallen hier.

Investition	€	60.800
Investition inkl. Förderung	€	53.760
Kapitalkosten	€/a	5.090
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a	4.525
Verbrauchskosten	€/a	
Betriebskosten	€/a	1.286
Jahreskosten	€/a	6.375
Jahreskosten inkl. Förderung	€/a	5.810

Tabelle 8-8 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage

Da sich durch Anlagenzusammenstellung unterschiedliche Wärmebilanzen ergeben sind diese beide Varianten nicht miteinander vergleichbar.

8.3 Solarabsorberanlage, Solarkollektoranlage und Heizöl-Brennwertkessel zur Frostfreihaltung

Derzeit liegt im Winter ein Heizölverbrauch von 3.000 bis 5.000 l Heizöl zur Frostfreihaltung vom Technikraum mit den Filtern und damit vom gesamten Gebäude vor.

Heizölmenge Frostfreihaltung	5.000 l/a
Heizölverbrauch Frostfreihaltung	50.000 kWh _{HU} /a
Kesselnutzungsgrad Frostfreihaltung	50 %
Wärmebedarf Frostfreihaltung	25.000 kWh _{th} /a
Gebäudefläche Frostfreihaltung	330 m ²
spez. Wärmebedarf Frostfreihaltung	76 kWh _{th} /m ² a

Tabelle 8-9 Wärmebedarf zur Frostfreihaltung

Zur Bewertung des spezifischen Wärmebedarfs zur Frostfreihaltung der Gebäudeteile wird der spezifische Energiebedarf zur Raumheizung von Lagerhallen, die eine Raumtemperatur von ca. 10°C benötigen, herangezogen, der nach Literaturangaben¹ zwischen 80 und 110 kWh/m²a liegt.

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

Durch eine Dämmung der Bauteile wird sich der Wärmebedarf zur Frostfreihaltung reduzieren, allerdings wird in jedem Fall eine Wärmeerzeugung im Winter erforderlich sein. Ob dies nach einer Dämmung durch eine elektrische Beheizung abgedeckt werden kann, ist aus wirtschaftlicher Sicht zu prüfen.

Für die Wärmeversorgung auf solarer Basis wird grob geprüft, ob die Frostfreihaltung auch mit der Solarkollektoranlage eventuell in Verbindung mit einem Latentwärmespeicher möglich ist.

Zunächst wird die solare Wärmebereitstellung der Solarkollektoranlagen in den Wintermonaten überschlägig ermittelt.

		Flachkollektor	Röhrenkollektor
Fläche	m ²	76	40
solare Wärmebereitstellung Mitte September bis Mitte Mai	kWh _{th} /a	5.884	7.657
solare Wärmebereitstellung November bis Februar	kWh _{th} /a	1.979	2.264

Tabelle 8-10 Wärmebereitstellung Solarkollektoranlage zur Frostfreihaltung

Die solare Wärmebereitstellung durch Solarkollektoranlagen kann maximal etwa ein Drittel des Wärmebedarfs zur Frostfreihaltung bereitstellen, sodass auch keine Wärme in einem Latentwärmespeicher zwischen gespeichert werden kann.

Eine größere Solarkollektoranlage für die Frostfreihaltung würde eine Überdimensionierung für die solare Warmwasserbereitung für die Duschen bedeuten.

Die großen Solarkollektoranlagen mit 200 m² (Variante 4) und 400 m² (Variante 5) wären für die Frostfreihaltung besser geeignet. Allerdings stellen sich die beiden Varianten in Verbindung mit einem Holzpelletkessel nicht wirtschaftlich dar.

Da die Differenz zwischen dem Wärmebedarf für die Frostfreihaltung und der Wärmebereitstellung durch die Solarkollektoranlage weit über 20.000 kWh_{th}/a liegt, ist eine elektrische Beheizung aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen nicht sinnvoll.

Um die Frostfreihaltung für die technischen Anlagen sicher stellen zu können, bietet sich der Einsatz eines heizölbefeuerten Brennwertkessels mit ca. 20 kW_{th} an. Zusammen mit einer Solarkollektoranlage für die Duschwassererwärmung kann der Heizkessel über den Pufferspeicher von rund 5 m³ Wärme zur Frostfreihaltung bereitstellen.

Der Standort des vorhandenen Heizölkessels bietet ausreichend Platz für die Installation eines kleinen Brennwertkessels und eines Heizöltanks mit weniger als 5.000 l Inhalt, für den kein separater Tankraum erforderlich ist.

Damit ergeben sich diese Investitionskosten.

Demontage	
Demontage Heizkessel	3.400 €
Stilllegung Erdtank	
Stilllegung Erdtank	1.800 €
Maschinentechnik	
Heizöl-Brennwertkessel mit Tankanlage und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	12.200 €
Solarkollektoranlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	47.700 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	9.800 €
Gesamtinvestition	74.900 €
Fördermittel	7.040 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung	67.860 €

Tabelle 8-11 Investitionskosten Wärmeversorgung mit Frostfreihaltung

Die Wirtschaftlichkeit stellt sich wie folgt dar.

Investition	€	74.900
Investition inkl. Förderung	€	67.860
Kapitalkosten	€/a	6.252
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a	5.687
Verbrauchskosten	€/a	928
Betriebskosten	€/a	1.992
Jahreskosten	€/a	9.172
Jahreskosten inkl. Förderung	€/a	8.607

Tabelle 8-12 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung mit Frostfreihaltung

Wenn eine rein solare Wärmeversorgung für das Schwimmbad umgesetzt werden soll, ist beim derzeitigen Wärmebedarf zur Frostfreihaltung der Einsatz einer Heizkesselanlage sinnvoll.

Für die Wärmeversorgung nur auf Basis von regenerativen Energien wäre gegebenenfalls Rapsöl als Brennstoff zum Einsatz in einem Heizkessel denkbar.

9 Einsatzmöglichkeiten einer Fotovoltaikanlage

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.

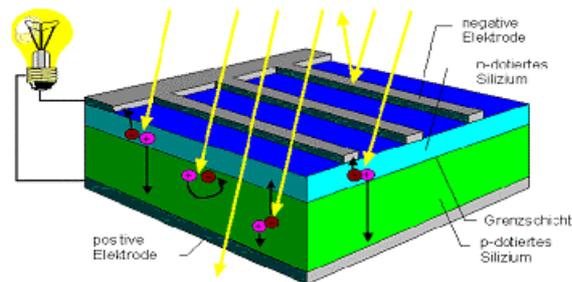


Abbildung 9-1 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

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

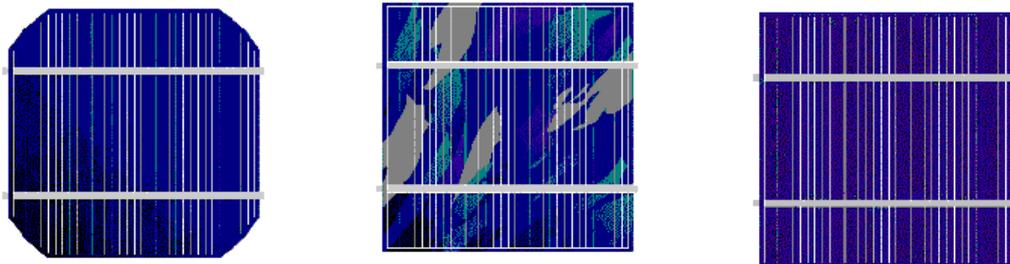


Abbildung 9-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

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 gleichbleibenden 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 sogenannte 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.

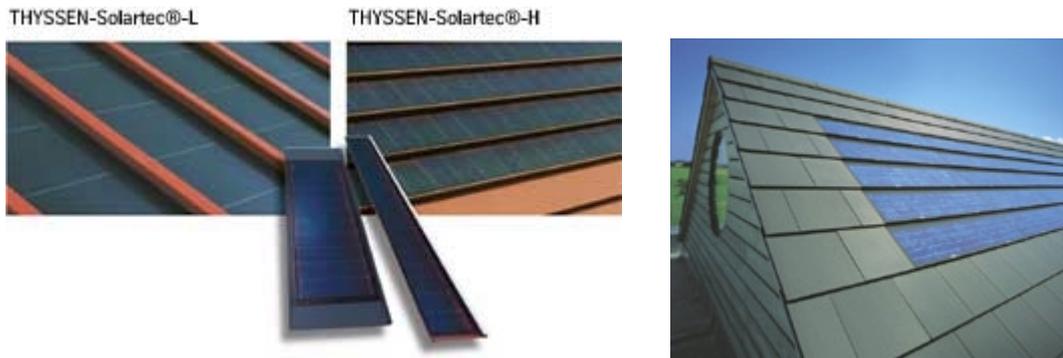


Abbildung 9-3 Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

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 9-4 Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

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° :

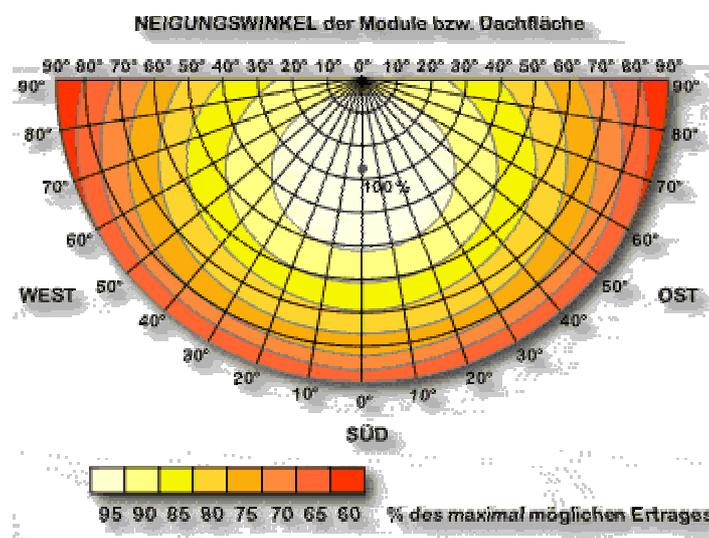


Abbildung 9-5 Anlagenenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators
(Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund $750 - 850\text{ kWh je } kW_{Peak}$, in Süddeutschland unter optimalen Bedingung können über $900\text{ kWh je } kW_{Peak}$ geerntet 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.

Einsatzmöglichkeiten Waldwarmfreibad

Für den Fall, dass anstelle des derzeit installierten Solarabsorbers eine Kollektoranlage installiert wird, könnte ein Photovoltaikanlage ca. 20 kW peak auf den Gebäudedächern montiert werden. Durch die derzeitigen günstigen Kreditkonditionen für eine derartige Anlage und die Einspeisevergütung nach dem EEG ist mit ersten Überschüssen innerhalb von 10 Jahren zu rechnen. Da der Markt für Photovoltaikmodule seit Anfang dieses Jahres sehr an Dynamik gewonnen hat, ist eine genauere Untersuchung der Wirtschaftlichkeit anhand konkreter Angebote für Module sinnvoll.

Investition	110.000,00 €		
max. Flächen	156,82 m ²		
Neigung	35,00 °		
Ausrichtung	Süd		
Anlagengröße	19,38 kW _{peak}		
Preis pro kW	5.677,42 €		
Investition	110.000,00 €		
		kWh / kW _{peak}	
Ertrag pro kW	850,00 a		
Ertrag der Anlage	16.468,75 kWh / a		
Einspeisevergütung Sockelbetrag	0,434 EURO/kWh _{el}		für Anlagen bis 30 kWp Inbetriebnahme 2005
Einspeisevergütung Zuschlag für Gebäude	0,117 EURO/kWh _{el}		für Anlagen bis 30 kWp
Vergütung	0,551 €/ kWh		
Erlöse	9.074,28 €/ a		

In der folgenden Grafik ist die Liquidität der Beispielrechnung dargestellt. Dabei würden ab dem neunten Jahr Überschüsse erwirtschaftet werden.



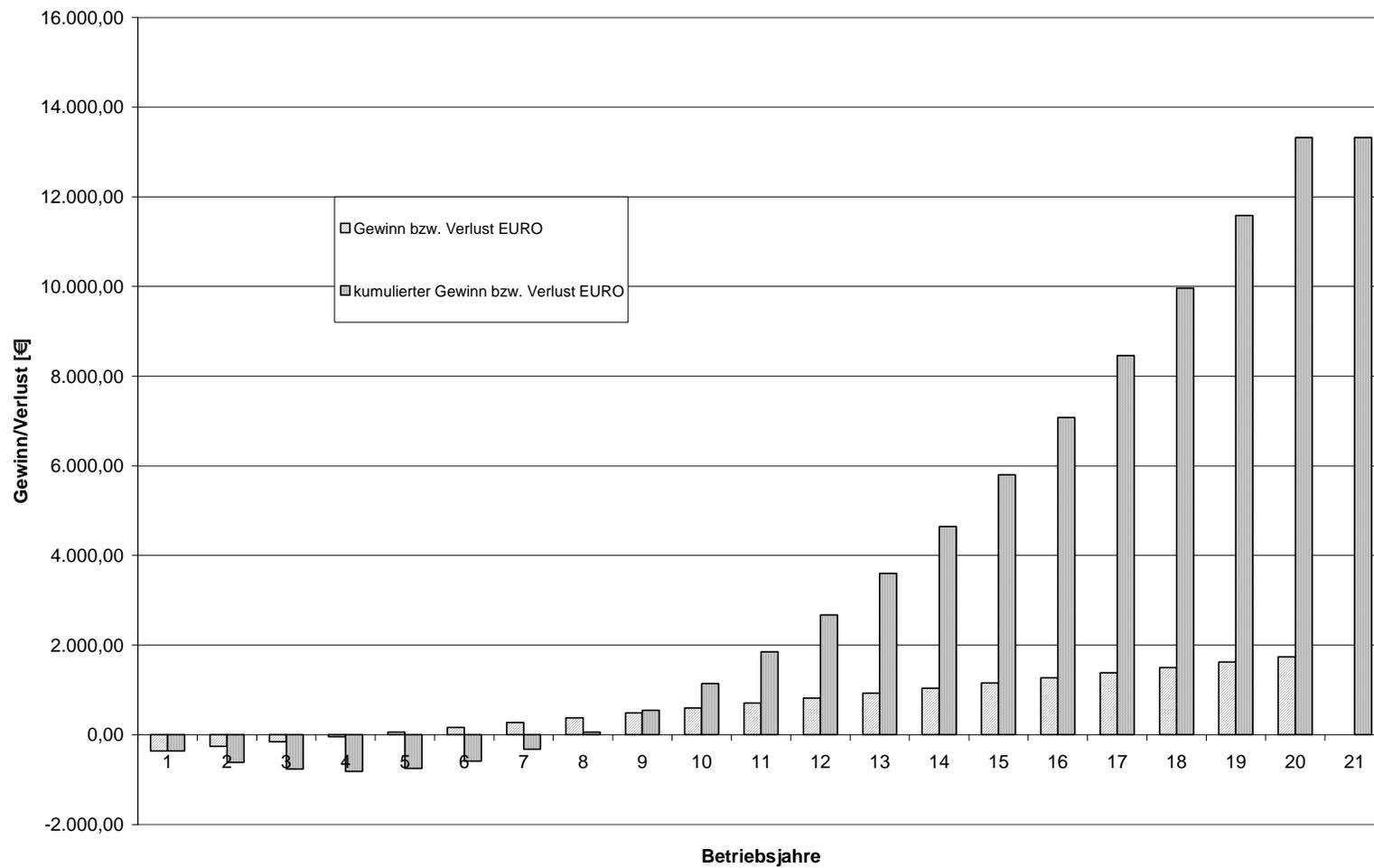
Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



ITB



Liquidität



10 Zusammenfassung

In der Machbarkeitsstudie wurde für die angedachte Modernisierung des Waldwarmfreibads in Bruchmühlbach-Miesau der Einsatz von erneuerbarer Energien geprüft.

Es ist vorgesehen, dass die Modernisierung in zwei Schritten erfolgt. Zunächst soll die Wärmeversorgung erneuert werden und im Anschluss daran die Rohrleitungen der Beckenversorgung des Freibads saniert werden.

Der Ist-Zustand wurde anhand einer Begehung und von zur Verfügung gestellten Daten dokumentiert. Zur Ermittlung des Wärmebedarfs wurde neben den Verbrauchsdaten auch eine rechnergestützte Simulation herangezogen. Für die Untersuchung verschiedener Wärmeversorgungsvarianten wird ein Wärmebedarf von 541.000 kWh_{th}/a zu Grunde gelegt.

Für die Erneuerung der Wärmeversorgung im Freibad bestand die Überlegung, das sich in der Nähe befindliche Sportlerheim und ein ganzjährig genutzter Campingplatz zusammen mit dem Freibad mit Wärme zu versorgen. Dies ist aufgrund der hohen Entfernung im Verhältnis zur benötigten Heizleistung und wegen einer erneuerten Heizanlage auf dem Campingplatz wirtschaftlich und ökologisch nicht sinnvoll.

Um die unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten bewerten zu können, wurde auch eine Erneuerung des Heizölkessels betrachtet. Folgende Varianten wurden untersucht.

Variante 1: Bedarfsgerechte Erneuerung Heizölkessel und vorhandene Solarabsorberanlage

Variante 2: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzhackschnitzel und vorhandene Solarabsorberanlage

Variante 3: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und vorhandene Solarabsorberanlage

Variante 4: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und kleine Solarkollektoranlage

Variante 5: Biomassekessel zur Verfeuerung von Holzpellets und große Solarkollektoranlage

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab folgende Jahreskosten für die einzelnen Wärmeversorgungsvarianten.

		Variante 1 Heizkessel + Solar- absorber Heizöl	Variante 2 Heizkessel + Solar- absorber HHS	Variante 3 Heizkessel + Solar- absorber Holzpellets	Variante 4 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets	Variante 5 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets
Investition	€	66.800	246.300	161.000	279.700	389.500
inkl. Förderung	€		216.300	131.000	249.700	359.500
Jahreskosten	€/a	23.543	31.360	28.202	44.377	51.585
inkl. Förderung	€/a		29.153	25.995	42.169	49.650
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	4,4	5,8	5,2	8,2	9,6
inkl. Förderung	Ct/kWh _{th}		5,4	4,8	7,8	9,2

Tabelle 10-1 Wirtschaftlichkeit mit garantierter Beckenwassertemperatur

Die Jahreskosten liegen unter Berücksichtigung von Fördermitteln zwischen ca. 23.500 €/a und 49.650 €/a. Als günstigste Variante stellt sich die bedarfsgerechte Erneuerung des Heizölkessels dar.

Um den Einfluss der Energiepreise auf die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen, wurde eine Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich einer Änderung der Energiepreise durchgeführt. Anhand von den daraus erstelltem Diagramm kann für von den Rahmenbedingungen abweichende Energiepreise der entsprechende Wärmepreis ermittelt werden.

Zur ökologischen Bewertung der Varianten wurde eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz herangezogen.

		Variante 1 Heizkessel + Solar- absorber Heizöl	Variante 2 Heizkessel + Solar- absorber HHS	Variante 3 Heizkessel + Solar- absorber Holzpellets	Variante 4 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets	Variante 5 Heizkessel + Solar- kollektor Holzpellets
CO₂-Emissionen	t CO ₂ /a	106	22	25	39	33

Tabelle 10-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Durch den Einsatz von Anlagen, die regenerative Energien nutzen, erzielen diese Variante deutlich niedrigere Kohlendioxid-Emissionen. Gegenüber der bedarfsgerechten Erneuerung des Heizölkessels können ca. 60 bis 80 % der CO₂-Emissionen eingespart werden.

Aus ökologischer Sicht ist die Variante 2 mit einem Holzhackschnitzelkessel und der bestehenden Absorberanlage am günstigsten.

Im Zuge der geplanten Modernisierung im Waldwarmfreibad bietet der derzeitige Schwimmbadbetrieb Einsparpotential. So ermöglicht z. B. eine Schwimmbeckenabdeckung die Reduzierung der Verdunstungs- und Abstrahlungsverluste. Weitere Vorschläge sind dem entsprechenden Kapitel zu entnehmen.

Im Gegensatz zu den vorherigen Wärmeversorgungsvarianten mit Heizkessel und Solaranlage wurde untersucht, inwieweit eine solare Wärmeversorgung möglich ist. Für diese Untersuchungen wurde eine Beckenabdeckung außerhalb der Öffnungszeiten vorausgesetzt.

Zur Beckenwassererwärmung wurde zunächst eine mobile Heizzentrale für die Aufheizphase zu Saisonbeginn und die vorhandene Solarabsorberanlage während der Badesaison betrachtet. Es ist zu berücksichtigen, dass die Solltemperatur des Beckenwassers im Nichtschwimmerbecken während der Badesaison nicht mehr garantiert werden kann. Zur Duschwassererwärmung wurde eine Solarkollektoranlage in Verbindung mit einem Pufferspeicher, der mit einem zusätzlichen Elektroheizstab ausgestattet ist, untersucht, um eine möglichst hohe solare Deckungsrate zu erreichen. Die Wirtschaftlichkeit zeigte, dass sich gegenüber den zuvor betrachteten Varianten die Jahreskosten halbieren würden, allerdings handelt es sich nicht um eine gleichwertige Wärmebereitstellung.

Ohne eine mobile Heizzentrale ergaben sich für die Wärmeversorgung ausschließlich mit Solarabsorberanlage und Solarkollektoranlage nochmals niedrigere Jahreskosten. Für diese Wärmebereitstellung ist zu beachten, dass die Solltemperatur im Nichtschwimmerbecken nicht gewährleistet werden kann.

		mobile Heizzentrale + Solarabsorber + Solarkollektor Heizöl	Solarabsorber + Solarkollektor
Investition	€	60.800	60.800
Investition inkl. Förderung	€	53.760	53.760
Jahreskosten	€/a	10.738	6.375
Jahreskosten inkl. Förderung	€/a	10.173	5.810

Tabelle 10-3 Wirtschaftlichkeit ohne garantierter Beckenwassertemperatur

Da derzeit im Winter ein Heizölverbrauch zwischen 3.000 und 5.000 l zur Frostfreihaltung des Technikraums und damit des gesamten Gebäudes vorliegt, wurde geprüft, ob dies mit einer Solarkollektoranlage zur Duschwassererwärmung in Verbindung mit einem Latentwärmespeicher umgesetzt werden kann. Die Solarerträge wären zu gering, sodass eine Solarkollektoranlage in Verbindung mit einem Heizöl-Brennwertkessel mit rund 20 kW_{th} sinnvollere wäre als eine elektrische Beheizung. Um das Schwimmbad ausschließlich mit regenerativ erzeugter Wärme zu versorgen wäre gegebenenfalls der Brennstoff Rapsöl für den Heizkessel denkbar.

Zusätzlich wurde die Nutzung von Solarenergie mit einer Fotovoltaikanlage geprüft. Sollte eine Röhrenkollektoranlage eingesetzt werden, stehen Dachflächen für die Montage zur Verfügung. Für den Fall, dass die Absorberanlage weiter betrieben wird könnte eine Freiflächen-Anlage realisiert werden. Die dafür notwendigen Voraussetzungen bezüglich der Nutzung von Teilen der Liegewieseflächen müssten in diesem Fall gesondert untersucht werden.

Fazit:

Aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten stellt die Variante 1 die zu bevorzugende Lösung dar. Wir empfehlen, die Umsetzung der Variante 2, da die Mehrkosten unter den in der Studie angegebenen Bedingungen verhältnismäßig gering sind. Hinzu kommt, dass eine erhebliche CO₂-Einsparung realisiert werden kann. Für den Einsatz von Holzhackschnitzeln spricht zudem, dass ein regional verfügbarer Brennstoff eingesetzt wird und damit weiter positive Effekte in der Region erzielt werden können.

Wenn keine garantierte Beckenwassertemperatur gefordert wird, ist die Wärmeversorgung mit Solarenergie möglich.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Ergebnis Simulation Solarabsorberanlage	8
Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon).....	12
Abbildung 2-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)	13
Abbildung 2-3 Schott Vakuumröhrenkollektor.....	16
Abbildung 4-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	20
Abbildung 5-1 Wirtschaftlichkeit.....	26
Abbildung 6-1 Sensitivität Brennstoffpreise	28
Abbildung 8-1 Verlauf Beckenwassertemperatur nach Simulation	33
Abbildung 9-1 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)	41
Abbildung 9-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)	41
Abbildung 9-3 Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas).....	42
Abbildung 9-4 Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)	42
Abbildung 9-5 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators	43

Tabellenverzeichnis

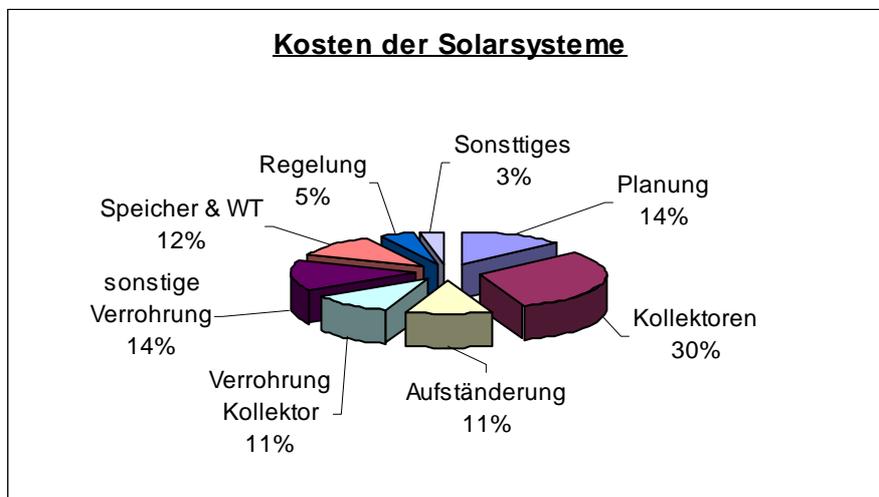
Tabelle 1-1 Geometriedaten Schwimmbecken	5
Tabelle 1-2 Kenndaten Heizkessel	5
Tabelle 1-3 Kenndaten Solarabsorberanlage	6
Tabelle 1-4 Wärmeerzeugung Heizkessel	6
Tabelle 1-5 Wärmeerzeugung Solarabsorberanlage	8
Tabelle 3-1 Energiebilanz	18
Tabelle 4-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	19
Tabelle 5-1 Investitionskosten für Varianten 1 bis 3	23
Tabelle 5-2 Investitionskosten für die Varianten 4 und 5	24
Tabelle 5-3 Wirtschaftlichkeit	25
Tabelle 6-1 Sensitivität Brennstoffpreise	28
Tabelle 8-1 Wärmebedarf Beckenwassererwärmung	32
Tabelle 8-2 Wärmebedarf Warmwasserbereitung	34
Tabelle 8-3 Ertrag Solarkollektoren zur Duschwassererwärmung	34
Tabelle 8-4 Energiebilanz Wärmeversorgung mobile Heizzentrale + Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage	35
Tabelle 8-5 Investitionskosten Wärmeversorgung mit Flachkollektoranlage	35
Tabelle 8-6 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung mobile Heizzentrale + Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage	36
Tabelle 8-7 Energiebilanz Wärmeversorgung Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage	36
Tabelle 8-8 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung Solarabsorberanlage + Solarkollektoranlage	37
Tabelle 8-9 Wärmebedarf zur Frostfreihaltung	37
Tabelle 8-10 Wärmebereitstellung Solarkollektoranlage zur Frostfreihaltung	38
Tabelle 8-11 Investitionskosten Wärmeversorgung mit Frostfreihaltung	39
Tabelle 8-12 Wirtschaftlichkeit Wärmeversorgung mit Frostfreihaltung	40
Tabelle 10-1 Wirtschaftlichkeit mit garantierter Beckenwassertemperatur	48
Tabelle 10-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	48
Tabelle 10-3 Wirtschaftlichkeit ohne garantierter Beckenwassertemperatur	49

Anhang: Förderung Solarthermie 2000+

Solarthermie2000

Das Förderprogramm Solarthermie2000 ist in drei Bereiche unterteilt. Im ersten Teil wurden ab 1993 an ausgewählten Solaranlagen aus den Jahren 1978 – 1983 Untersuchungen zum Betriebsverhalten und zu Alterungserscheinungen durchgeführt. Diese Anlagen wurden Anfang der 80er Jahre im Rahmen des Zukunftsinvestitionsprogrammes Solartechnik (ZIP) gebaut und waren seitdem im Einsatz. Hiernach konnte eine Lebenserwartung der Solaranlagen von über 20 Jahren nachgewiesen werden.

Da bei großen Solarsystemen über 100 m² die solaren Wärmekosten um den Faktor 2 bis 3 niedriger sind als bei Kleinanlagen, beinhaltete das zweite Teilprogramm die Förderung von 60 mittelgroßen Demonstrationsanlagen zur aktiven thermischen Nutzung der Sonnenenergie mit mindestens 100 m² Kollektorfläche. Weiterhin wurden die Anlagen mit allen Komponenten unter wissenschaftlicher Begleitung bezüglich ihres Betriebsverhaltens und ihrer Wirtschaftlichkeit untersucht.



Kostenaufteilung der Solarsysteme

Einen Auszug aus dem Ergebnis vom zweiten Teilprogramm zeigt die obige Abbildung. Die Materialkosten der Kollektoren betragen nahezu ein Drittel der Gesamtkosten.

Das Teilprogramm 3 behandelte die solar unterstützte Nahwärmeversorgung von bisher acht Neubaugebieten mit saisonaler Wärmespeicherung durch Langzeitwärmespeicher und förderte den Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen. Dadurch sollte die Technik weiterentwickelt und die Systemkosten reduziert werden. Ziel war eine solare Deckungsrate von über 50 % des Gesamtwärmebedarfes.

Die Ziele aus dem Förderprogramm Solarthermie2000 wurden weitestgehend erreicht und können heute als Stand der Technik angenommen werden. Durch das nun folgende Programm Solarthermie2000 plus wird die Entwicklung weiter vorangetrieben und die Komponenten- und Systemhersteller, Anlagenplaner und Installationsfirmen werden die Solartechnik in der Zukunft weiter zu verbessern und zu sinkenden Preisen anbieten können.

Solarthermie2000plus

Die Ergebnisse aus Solarthermie2000 haben gezeigt, dass bei einer effizienten Systemauslegung günstige solare Erträge und solare Nutzwärmekosten nahe der Wirtschaftlichkeit erreichbar sind. Daher sind Großanlagen zur reinen Trinkwassererwärmung grundsätzlich nicht mehr Gegenstand der Forschungsförderung. Ziel des neuen Förderprogramms ist es, durch forschungsbegleitende Pilot- und Demonstrationsobjekte technische und rechtliche Voraussetzungen zu schaffen, um einen deutlich höheren Beitrag am Wärmemarkt zur Substitution fossiler Brennstoffe leisten zu können. Die Fördermaßnahme Solarthermie2000plus konzentriert sich auf kombinierte Systeme zur Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung auch ohne saisonalen Wärmespeicher.

Die solaren Wärmekosten sind außer von der Anlagengröße und den Randbedingungen wesentlich vom solaren Deckungsanteil abhängig. Daher ist die Orientierung der Wärmegestehungskosten am solaren Deckungsanteil ein wichtiges Strukturelement bei der Auswahl der Projekte. Folgende Konzepte der solarthermischen Nutzung sollen mit dem Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen erprobt werden:

Kombinierte Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung mit mittleren solaren Deckungsanteilen am Gesamtwärmebedarf der versorgten Gebäude

Kombinierte Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung und Heizungsunterstützung für Gebäude, Liegenschaften und Siedlungen mit mittelgroßem Wärmespeicher bei solaren Deckungsanteilen von über 10% des Gesamtwärmebedarfes

Solar unterstützte Wärmenetze und zentrale Wärmespeicherung, einschließlich deren Kombinationen mit anderen umweltfreundlichen Wärmequellen wie energetischer Biomassenutzung, Geothermie und Abwärme aus hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung zur weitgehend CO₂ – neutralen Wärmeversorgung

Zielgruppe und Auswahlkriterien

- Die Fördermaßnahme „Solarthermie2000plus“ richtet sich an die Eigentümer entsprechend großer Liegenschaften und hat den Bau von Pilot- und Demonstrationsanlagen zum Ziel. Antragsberechtigt sind Einrichtungen des Bundes und der Länder, Gebietskörperschaften, Stadtwerke, Anstalten und Stiftungen, Wohnungsbaugenossenschaften, sowie Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft. Folgende Auswahlkriterien müssen erfüllt sein:
- Minderung von CO₂ – Emissionen und Einsparung fossiler Brennstoffe
- Die solaren Nutzwärmekosten müssen die in Abhängigkeit vom solaren Deckungsanteil geltenden oberen Grenzwerte unterschreiten. Als Eckwerte sind 0,15 €/kWh bei 10% und maximal 0,30 €/kWh bei 60% solarem Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf festgelegt.
- Maßgebend ist der Pilot- und Demonstrationscharakter einer Anlage
- Maßnahmen wie die durchgeführte Sanierung alter Heizungsanlagen oder die bauliche Gebäudesanierung (Wärmeschutz nach EnEV) müssen zeitnah erfolgen oder bereits realisiert sein.
- Der verbleibende Wärmebedarf muss die Einrichtung einer Solaranlage mit mindestens 100 m² rechtfertigen
- Weiterhin hat sich der Antragsteller zur Teilnahme am Wissenschaftlichen Mess- und Auswerteprogramm zu verpflichten. Dies erfolgt in Zusammenarbeit mit der dafür ausgewählten wissenschaftlichen Einrichtung und wird über einen Zeitraum von mindestens fünf Jahren nach Errichtung der Anlage durchgeführt. Der Antragsteller muss die erforderlichen Wartungs- und Optimierungsmaßnahmen an der Anlage mit eigenen Mitteln durchführen lassen.

Umfang, Höhe und Verfahren der Förderung

Die Projektförderung erfolgt in Form eines nicht rückzahlbaren Zuschusses in Höhe von 30 und 50% der Bau- und Planungskosten des Solarsystems. Die Förderquote kann bei besonderem Pilotcharakter auch darüber liegen. Die Mess-, Daten- und Anzeigetechnik wird mit 100% gefördert, wobei die gemittelte Förderquote in der Regel 50% nicht überschreiten darf. Ausgaben für Betrieb, Wartung und Verbrauch sowie für die ergänzende Heizungs- und Gebäudetechnik sind nicht förderfähig.

Die Planung und Ausführung der Anlagen muss entsprechend dem in der HOAI Leistungsumfanges durchgeführt werden, die Ausschreibung und Vergabe erfolgt nach VOB.

Da nur eine begrenzte Anzahl von Pilot- und Demonstrationsvorhaben gefördert werden kann, erfolgt die Projektauswahl in einem mehrstufigen Begutachtungsverfahren. Zunächst muss ein Fragebogen zur Vorauswahl sowie ein Energiekonzept zur Beurteilung der Eignung des Objektes eingereicht werden. Nach fachlicher Begutachtung durch den Projektträger PTJ wird die förmliche Antragstellung empfohlen. Bei positivem Zuwendungsbescheid des BMBF erfolgt die schrittweise Auszahlung der Mittel nach Projektfortschritt und Prüfung der Verwendung durch PTJ. Abschließend ist dem BMBF ein Abschlußbericht vorzulegen.