



**Umwelt-Campus
Birkenfeld**

IfaS Institut
für
angewandtes
Stoffstrommanagement

Forschungsbericht:

Beckenwassererwärmung im Freibad Wörrstadt mit Solarhybridkollektoren



Im Auftrag des:



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR
UMWELT, FORSTEN UND
VERBRAUCHERSCHUTZ

Birkenfeld, Juli 2009

Projektleitung:

Prof. Dr. Peter Heck

Erstellt von:

Dipl. Wirt.-Ing. Antti Olbrisch

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1 Einleitung.....	1
2 Freibad Wörrstadt.....	2
2.1 Ist Zustand	2
2.2 Untersuchungsvarianten	4
2.3 Wärmebedarf.....	4
2.4 Technik	5
2.4.1 Abdeckfolie	5
2.4.2 Solarabsorbermatten	5
2.4.3 Solarhybrid	5
2.4.4 Portables Blockheizkraftwerk.....	6
2.4.5 Wärmepumpe	10
2.5 Wirtschaftlichkeit	10
2.5.1 Abdeckfolie	11
2.5.2 Solarabsorber.....	11
2.5.3 Solarhybrid	11
2.5.4 Blockheizkraftwerk	12
2.5.5 Wärmepumpe	14
3 Duschen	14
3.1 Solarthermie.....	14
3.2 Solarhybrid	15
3.3 Wärmepumpe.....	15
4 Empfehlung	16
5 Anhang	18

1 Einleitung

Die Beheizung von Beckenwasser in Schwimmbädern erfordert eine große Energiemenge. Gerade in Freibädern stimmt der Hauptnutzungszeitraum mit dem Zeitraum des größten solaren Strahlungsangebotes überein. Gerade deswegen bietet sich die Nutzung der solarthermischen Energie zur Beckenwassererwärmung an. Solarabsorbermatten werden bereits seit langer Zeit hierfür genutzt. Mit Solarhybridkollektoren wird zusätzlich zu Wärme auch noch Strom produziert. Dieser wird nach den Vorgaben des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG) vergütet und kann selbst genutzt werden. Überschüssige Strommengen können in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Der produzierte Strom kann zur Deckung des allgemeinen Strombedarfs genutzt werden oder beispielsweise zum Betrieb einer Wärmepumpe als Zusatzheizung für das Beckenwasser. Durch die Nutzung der Wärme werden die Solarzellen gekühlt, was zu einer Effizienzsteigerung dieser führt. In dieser Studie wird der Einsatz von Solarhybridkollektoren anhand des Beispiels des Freibades Wörrstadt auf seine Wirtschaftlichkeit untersucht. Hierbei wird der Einsatz der Solarhybridkollektoren in Kombination mit einem mobilen Blockheizkraftwerk (BHKW) untersucht. Alternativ wird der Einsatz einer Wärmepumpe angenommen. Im Freibad Wörrstadt wird die Solarenergie zurzeit mit Hilfe von Solarabsorbermatten genutzt. Da diese das Beckenwasser nur unzureichend erwärmen, wird nach einer zusätzlichen Lösung zur Beheizung des Beckenwassers gesucht. Zusätzlich wird eine Möglichkeit zur Erwärmung des Duschwassers gesucht.

Diese Studie ersetzt nicht die konkrete Planung der Anlagen und Maßnahmen, sondern soll dazu dienen, vorab Entscheidungen bezüglich der Durchführung bestimmter Maßnahmen sowie der Wahl der Energieträger treffen zu können.

2 Freibad Wörrstadt

2.1 Ist Zustand

Das Freibad Wörrstadt besteht aus drei Schwimmbecken:

- Kinderbecken
- Kombibecken (Schwimmer- und Springerbecken)
- Nichtschwimmerbecken

Das Kombibecken hat eine Oberfläche von 470 m², das Nichtschwimmerbecken etwa 420 m² und das Kinderbecken etwa 115 m².



Abbildung 1: Kombibecken und Schwimmbadgebäude

Es gibt ein Schwimmbadgebäude. Hierin untergebracht sind Lagerräume für Spiele und Geräte, Umkleideräume für Damen und Herren, Toiletten für Damen und Herren sowie jeweils zwei Duschen für Damen und Herren. Zusätzlich gibt es einen Raum für Personal und den Kassenbereich. Im Untergeschoss sind die Pumpenanlagen für die Schwimmbecken untergebracht. Hier ist auch die Anbindung der Solaranlage an den Wasserkreislauf zu finden. Das Gebäude hat ein Flachdach, auf dem die Solarabsorberanlage zu finden ist. Die Dachfläche umfasst 240 m². Diese Anlage ist zurzeit die

einzigste Beheizung für das Beckenwasser. Die Anlage ist etwa 20 Jahre alt. Das Duschwasser wird mittels elektrischer Durchlauferhitzer erwärmt. Die Badesaison geht über 120 Tage (Mai bis September).



Abbildung 2: Absorberanlage

2.2 Zielsetzung

Ziel dieser Studie ist es Möglichkeiten der Beckenwassererwärmung mit verschiedenen Energieträgern aufzuzeigen. Die bisherige Erwärmung ist nicht ausreichend, um eine ausreichende Wassertemperatur auch in den Übergangszeiten zu erreichen. Als grobes Ziel soll eine Wassertemperatur von 24°C erreicht werden.

Zusätzlich wird ebenfalls die Erwärmung des Duschwassers untersucht. Hier sollen nach Möglichkeit die vorhandenen elektrischen Heizgeräte ersetzt werden.

2.3 Untersuchungsvarianten

Es werden unterschiedliche Maßnahmen zur Beheizung des Beckenwassers untersucht. Zunächst wird der Einsatz einer Abdeckfolie untersucht, welche die thermischen Verluste durch Verdunstung stark reduziert. Anschließend wird die Sanierung der Solarabsorbermatten und der Einsatz von Solarhybridanlagen berechnet und verglichen. Als Kombination hierzu werden der Einsatz eines portablen BHKWs sowie der Einsatz einer Luftwärmepumpe berechnet.

Zur Erwärmung des Duschwassers wird die Installation von Solarhybridkollektoren mit dem Einsatz normaler solarthermischer Anlagen sowie einer Wärmepumpe verglichen.

2.4 Wärmebedarf

Der Wärmebedarf um das Beckenwasser durchgängig auf etwa 24° C zu halten ergibt sich zu insgesamt etwa 400 MWh pro Saison. Er setzt sich zusammen aus dem Wärmebedarf für die Beckenfüllung, dem Wasserersatz (Schleppwasser, Verdunstung tags und nachts) sowie davon abgezogen die solaren Erträgen die sich ergeben.

Durch die Nutzung einer Schwimmbadfolie wird dieser in Kombination mit Absorbermatten auf 170 MWh pro Saison gesenkt und in Kombination mit Solarhybrid auf 232 MWh gesenkt.

Geht man von einer über die Saison gleich verteilten Wärmeabnahme aus, so ergeben sich die benötigten zusätzlichen Heizleistungen wie folgt:

Benötigte Heizleistung		
	Absorber	Solarhybrid
ohne Folie	111 kW	132 kW
mit Folie	59 kW	80 kW

Tabelle 1: benötigte Heizleistung

2.5 Technik

2.5.1 Abdeckfolie

Deckt man das Schwimmbad mit einer Folie nachts ab, so werden erhebliche Mengen an Energie eingespart. Angesetzt werden hier die berechneten nächtlichen Verdunstungsverluste. Diese betragen 150 MWh/Saison.

2.5.2 Solarabsorbermatten

Mit Solarabsorbermatten, wie sie zurzeit auf dem 240 m² großen Dach vorhanden sind, können etwa 80 MWh Wärme pro Saison produziert werden.

2.5.3 Solarhybrid

Der Ertrag der Solarhybridanlage ist auf die Grundfläche bezogen deutlich geringer als der, der Absorbermatten, da die Bezugsfläche der Solarhybridkollektoren lediglich 1,106 von 2,51 m² beträgt. Weiterhin ist aufgrund der photovoltaischen Nutzung eine Aufständigung der Module notwendig. Dies führt ebenfalls zu einer Verringerung der Bezugsfläche, da ein Mindestabstand der Modulreihen eingehalten werden muss, um gegenseitige Verschattungen zu vermeiden. Trotz eines guten solarthermischen Wirkungsgrades liegt der Ertrag somit letztlich bei etwa 21 MWh/Saison¹ im Gegensatz zu mehr als 80 MWh/Saison mit Absorbermatten. Wäre die Anlage durchgängig das ganze Jahr über in Betrieb, so würden ca. 37 MWh jährlich produziert werden.

Zusätzlich zur Wärme werden von der Anlage etwa 5.800 kWh Strom jährlich produziert. Zur Berechnung wurde ein spezifischer Jahresertrag von 850 kWh/kWp angenommen. Der produzierte Strom wird im Gegensatz zur Wärme das ganze Jahr hinweg genutzt.

¹ Berechnung mit Software T*Sol

2.5.4 Portables Blockheizkraftwerk

Ein portables Blockheizkraftwerk kann dort eingesetzt werden, wo zwei Wärmeabnehmer einen gegenläufigen Wärmebedarf haben. Also der eine im Sommer und der andere im Winter. Hier wird die gemeinsame Nutzung eines BHKWs durch das Schwimmbad sowie eine Schule betrachtet.

Beim Einsatz einer Folie zur nächtlichen Abdeckung des Schwimmbades, kombiniert mit der Solarabsorbermatte, werden zusätzliche 170 MWh Wärme in der Saison benötigt, um das Schwimmbad auf 24°C zu heizen. Geht man von einem durchgängigen Betrieb der Anlage während der Saison aus und einem konstanten Verlauf der Außentemperaturen, so können diese mit einer Heizanlage mit einer installierten Leistung von 60 kW produziert werden. Da ein Blockheizkraftwerk seine Wirtschaftlichkeit durch eine hohe Volllaststundenzahl erreicht (man spricht hier von mindestens 5.000 Stunden im Jahr), ist die Anlage anhand beider Wärmeabnehmer (Sommer und Winter) auszulegen. Die kleinsten handelsüblichen portablen Anlagen haben Leistungen von 80 kW_{th}. Diese könnten am Schwimmbad eingesetzt werden, benötigten aber aus wirtschaftlicher Sicht im Winter einen Wärmeabnehmer, der eine Spitzenleistung von mehr als 200 kW abfragt. Die Schule kommt aufgrund der zu geringen Leistungsabfrage nicht in Frage.



Abbildung 3: Möglicher Standort BHKW

Es wird ein portables Blockheizkraftwerk der Firma Sokratherm ($80 \text{ kW}_{\text{th}}$ $50 \text{ kW}_{\text{el}}$) angenommen. Bis auf einen Nachschalldämpfer sind alle Installationen auf dem Hänger vorhanden, sodass keine doppelten Kosten entstehen. Der Einsatz unterschiedlicher Brennstoffe (Flüssiggas und Erdgas) ist problemlos technisch realisierbar und in diesen Richtkosten abgedeckt. Zusätzlich ist ein Flüssiggastank am Schwimmbad zu errichten. Der Transport und der Anschluss des BHKWs an den jeweiligen Standort ist in diesen Kosten nicht berücksichtigt und wird in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung als Pauschale mit betrachtet. Als Standort für das BHKW wird der Platz außerhalb des Freibadgeländes hinter dem Pumpenraum empfohlen. (siehe Abbildung 4)

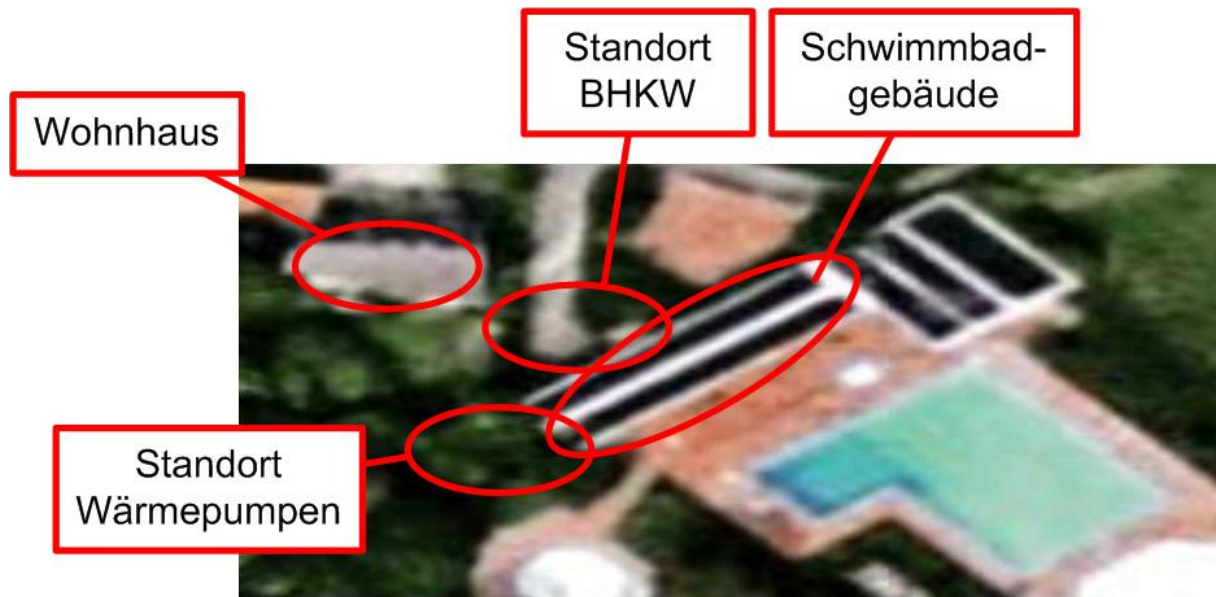


Abbildung 4: Luftbild mit Standorten der Anlagen

2.5.4.1 Flüssiggastank

Zum Betrieb des BHKWs ist die Errichtung eines Flüssiggastanks notwendig. Ein oberirdischer Tank mit einem Inhalt von 6.400 Litern hat eine Länge von 5,5 m und einen Durchmesser von 1,25 m. Benötigt werden pro Saison etwa 23.000 Liter, so dass vier Lieferungen erforderlich sind, wenn kein weiterer Tank installiert wird.

2.5.4.2 Schallschutz

Der Betrieb des BHKWs ist mit Schallemissionen verbunden. Da sich in direkter Nachbarschaft am möglichen Standort der Anlage, außerhalb des Schwimmbades, direkt am Pumpenraum, ein Wohnhaus befindet, sollen die Schallemissionen auf ein Minimum reduziert werden.



Abbildung 5: Möglicher Standort Wärmepumpen mit benachbartem Haus

Zu diesem Zweck wird für das BHKW eine Garage mit angeboten, die an dieser Stelle errichtet werden müsste.

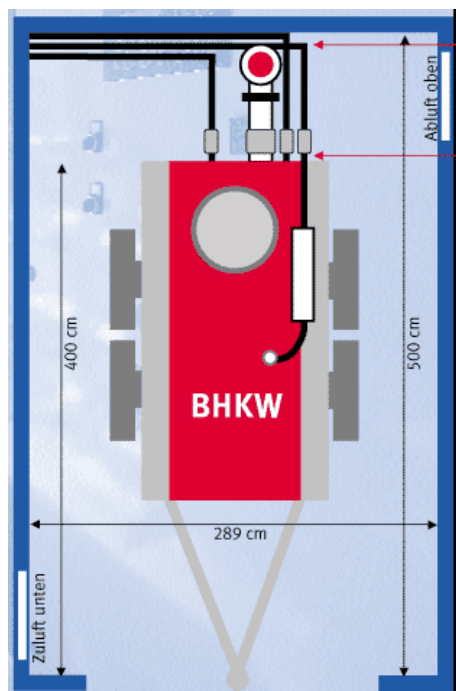


Abbildung 6: Die BHKWmobil-Garage²

² Quelle: http://www.sokratherm.de/02_bhkw/bhkwmobil/garage.html; besucht am 29.5.2009

2.5.5 Wärmepumpe

Zur Erwärmung des Beckenwassers können Luft-Wärmepumpen eingesetzt werden. Hier werden Wärmepumpen der Firma Schmidt Energietechnik eingesetzt. Eine Pumpe hat eine Heizleistung von 27,6 kW. Es werden mindestens zwei Wärmepumpen eingesetzt, um das Beckenwasser zu erwärmen. Die vom Hersteller angegebene Leistungszahl³ beträgt 5,4. Diese ist jedoch nur bei optimalen Bedingungen erreichbar. Da die Schwimmbadnutzung jedoch bei vergleichsweise hohen Außentemperaturen stattfindet, wird hier dennoch mit einer Leistungszahl von 4 gerechnet. Bei ganzjährig genutzten Luftwärmepumpen liegt die Leistungszahl oftmals noch deutlich unter 3.

Eine Wärmepumpe hat eine Größe von 80 * 70 * 204 cm. Als Standort wird der Platz innerhalb des Geländes neben dem Pumpenraum vorgeschlagen. (siehe Abbildung 4)

Im Falle der Wärmepumpe ist eine Außenaufstellung vorgesehen. Als Standort würde sich hier die Fläche neben dem Pumpenraum anbieten, da hier zusätzlich Schallschutzmaßnahmen in Form einer Holzwand mit schallabsorbierenden Lamellen durchgeführt werden können.⁴ Die Schallemissionen betragen etwa 54 dB(A).

2.6 Wirtschaftlichkeit

Zunächst werden hier die Investitionskosten der verschiedenen Maßnahmen und der daraus resultierenden Varianten dargestellt. Mit Hilfe der Annuitätenmethode werden diese auf eine Laufzeit von 20 Jahren umgelegt und ergeben zusammen mit den Betriebs- und Verbrauchskosten der Anlagen die Jahreskosten. Hieraus resultierend werden die Wärmepreise je produzierter kWh Wärme dargestellt.

³ Die Leistungszahl gibt das Verhältnis von erzeugter Wärmeenergie zum aufgewendeten Strom an. Eine Leistungszahl von fünf bedeutet z.B., dass mit einer kWh elektrischer Energie fünf kWh Wärme erzeugt werden können.

⁴ Siehe: <http://solar-sicherheit.de/2009-waerme/wp-schall.htm>

2.6.1 Abdeckfolie

Die Kosten für die Folie wurden dem Katalog der Firma Aquapool entnommen. Inklusive vier motorisierter Aufrollvorrichtungen und einem geschätzten Montagepreis ergeben sich Investitionskosten in Höhe von etwa 65.700 €. Hierin enthalten ist die Abdeckung des Kombi- sowie des Nichtschwimmerbeckens.

Bei einer angenommenen Vermeidung der nächtlichen Verdunstung werden mit der Plane pro Saison 150 MWh Nutzenergie eingespart. Die Amortisation der Folie ist vom Wärmepreis der zur Verfügung stehenden Wärme abhängig. Setzt man den Wärmepreis des BHKWs ein, so amortisiert sich die Folie statisch nach etwa 3,3 Jahren. Die Haltbarkeit einer solchen Folie beträgt mehr als zehn Jahre.

2.6.2 Solarabsorber

Es wird eine komplette Neuinstallation der Solarabsorber angenommen. Der Preis für die Anlagen wird hier mit 150 €/m² angenommen. Bei einer vollständigen Auslegung der Dachflächen (240 m²) entstehen so Kosten in Höhe von etwa 36.000 €. Geht man von einer Nutzungsdauer von 10 Jahren für den Solarabsorber aus, so ergibt sich der Wärmepreis zu 8,73 Cent/kWh.

2.6.3 Solarhybrid

Für die Solarhybridanlage wird die Belegung der gesamten Dachflächen angenommen. Die Kosten ergeben sich zu etwa 85.000 €. Für die Solarhybridanlagen der Solarhybrid AG werden über die Zwischenhändler 8% Markteinführungsrabatt gewährt, da die Fördermittel des Bundes noch nicht an die Anlagen angepasst sind und eine Förderung über die Bafa somit noch nicht möglich ist.⁵ Somit bleiben als reine Investitionskosten etwa 78.000 €. Hinzu kommen Planungskosten, die mit 10% der Investitionssumme angesetzt werden, sodass letztlich 85.500 € investiert werden müssen.

⁵ Telefonat mit Solarhybrid AG am 12.5.2009

Bei einer Laufzeit von 20 Jahren und einer Finanzierung mit einem Zinssatz von 4,5 % ergeben sich Jahreskosten in Höhe von etwa 11.400 €. Hierin enthalten sind die Erlöse für den mit Photovoltaik erzeugten Strom in Höhe von etwa 2.500 € (Vergütungssatz 2009: 0,4301 Cent pro kWh). Der Wärmepreis, der sich für die Solarhybridekollektoren ergibt, beträgt 52,72 Cent/kWh. Der hohe Wärmepreis ergibt sich vor allem aus der auf 120 Tage begrenzten Nutzungsdauer des solarthermischen Anteils der Anlage, auch wenn dieser dem Zeitraum mit den höchsten solaren Erträgen entspricht.

Geht man von einer Förderung der Hälfte der Investitionskosten aus, so entsteht bei ansonsten gleichbleibenden Faktoren ein Wärmepreis von 15,14 Cent pro kWh.

Geht man von einer Nutzung des Schwimmbades über das ganze Jahr hinweg aus und ansonsten gleichbleibenden Faktoren, so ergibt sich eine Wärmelieferung von etwa 37 MWh jährlich. Der Wärmepreis liegt dann ohne eine Förderung bei ca. 30 Cent/kWh produzierter Wärme.

2.6.4 Blockheizkraftwerk

Ein portables Blockheizkraftwerk der Firma Sokratherm (80 kW_{th}) würde inklusive aller Anschlüsse nach telefonischer Auskunft etwa 120.000 € kosten. Die Kosten für einen Flüssiggastank betragen 2.500 € zuzüglich Lieferung und Montage.⁶ Für die Garage werden weitere Kosten in Höhe von 5.000 € angesetzt. Zusätzlich werden Planungskosten in Höhe von 10.000 € angesetzt.

Voraussetzungen für eine Zuschussförderung nach der Richtlinie zur Förderung von Mini-KWK-Anlagen sind unter anderem:

- eine installierte elektrische Leistung von nicht mehr als 50 kW_{el}

⁶ <http://www.fluessiggas-profi.de/modules.php?name=Fluessiggastanks>; besucht am 7.5.2009

- ein Vollwartungsvertrag des Herstellers
- ein wärmegeführter Betrieb der Anlage
- ein Zielwert von 5.000 Vollbenutzungsstunden jährlich.

Im Folgenden wird von der Einhaltung aller Kriterien ausgegangen. Daraus ergibt sich ein Zuschuss in Höhe von 12.125 €. Die zu leistenden Investitionskosten lägen somit bei ca. 125.000 €.

Über das Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) wird der erzeugte Strom mit einer Mindestvergütung gefördert. Bei Anlagen, mit einer installierten Leistung von nicht mehr als 50 kW_{el} wird über zehn Jahre eine Vergütung in Höhe von 5,11 Cent pro kWh garantiert, unabhängig davon, ob der Strom eingespeist oder selbst genutzt wird. Dieser Preis wird zum Baseload Preis der Strombörse aus dem letzten Quartal, bei Eigennutzung zu den vermiedenen Netzkosten addiert. Unter Bezug zum ersten Quartal 2009 ergibt sich ein Vergütungssatz von ca. 12,61 Cent / kWh.⁷

Durch die Nutzung des BHKWs entstehen bei einer angenommenen Laufzeit von 20 Jahren und einem Zinssatz von 4,5% Jahreskosten in Höhe von insgesamt etwa 54.000 €. Diese beinhalten die Kosten für die Nutzung an zwei Standorten. Wobei es an einem Standort mit Erdgas und an dem anderen mit Flüssiggas betrieben wird. Neben den Kosten für den Brennstoff sind betriebsgebundene Kosten, wie die Instandhaltung und Wartung in der Rechnung beinhaltet. Die Stromproduktion ist mit einem Vergütungssatz von 12,61 Cent je Kilowattstunde in diesen Kosten ebenfalls berücksichtigt. Sie beträgt etwa 31.500 € jährlich. Es ergibt sich ein Wärmepreis von 13,04 Cent pro Kilowattstunde Nutzwärme.

⁷ <http://www.messerschmid-energiesysteme.de/strom-einspeiseverguetung.php>, besucht am 25.5.2009

2.6.5 Wärmepumpe

Eine Wärmepumpe kostet inklusive Lieferung und Montage etwa 14.600 €. Ein Holz-zaun zur Verringerung der Schallemissionen auf das Wohnhaus wird mit 2.000 € an-gesetzt, sodass sich für den Einsatz von zwei Wärmepumpen Investitionskosten in Höhe von ca. 56.600 € und mit drei Wärmepumpen in Höhe von ca. 85.000 € erge-ben. Hierin enthalten sind weiterhin 10% Planungskosten sowie eine Pauschale in Höhe von 10.000 € für die Erweiterung des Leitungssystems und sonstige bauliche Maßnahmen.

Die Wärmepumpen werden ebenfalls über einen Zeitraum von 20 Jahren hinweg be-trachtet. Bei einer Arbeitszahl von 4 und einer Volllaststundenzahl von 1.500 Stunden ergibt sich unter Berücksichtigung der Betriebs- und Verbrauchskosten ein Wärme-preis von 13,43 Cent pro genutzter Kilowattstunde Wärme.

3 Duschen

Im Schwimmbad befinden sich jeweils zwei Duschen für Männer und Frauen. Diese werden zurzeit elektrisch beheizt. Es wird von durchschnittlich 10 Duschgängen täg-lich, mit einem Wasserverbrauch von 50 Litern/Duschgang ausgegangen. Die Du-schen werden zurzeit elektrisch beheizt. Hierdurch entstehen Kosten in Höhe von rund 30 Cent pro kWh Wärme. Nicht berücksichtigt sind die Investitionskosten für die Dusche und den Durchlauferhitzer, sondern lediglich die Kosten für den Strom und die Instandhaltung der Anlage.

3.1 Solarthermie

Mit einer Kollektorfläche von rund 7,5 m² und einem Warmwasserspeicher mit einer Größe von 350 Litern, können etwa 80% des Warmwasserbedarfs gedeckt werden.

Bei Installationskosten von 800 €/m² und Fördermitteln in Höhe von 60 €/m² erge-ben sich Investitionskosten in Höhe von 6.600 € inklusive 10% Planungskosten. Die Jahreskosten für die Anlage betragen ca. 1.000 €. Die abgegebene Wärmemenge beläuft sich auf fast 3 MWh pro Saison. Der Wärmepreis ergibt sich daraus zu etwa

35 Cent pro kWh. Auch hier erklärt sich der hohe Wärmepreis durch die begrenzte Nutzungsdauer von 120 Tagen. Die vorhandenen elektrischen Durchlauferhitzer sollten für eine eventuelle Nachheizung weiter erhalten bleiben. Da es nach Aussage des Betreibers sehr selten vorkommt, dass die Duschen stark genutzt werden, ist eine Auslegung zur 100%igen Deckung des Wärmebedarfs wirtschaftlich nicht sinnvoll.

3.2 Solarhybrid

Bei der Nutzung von Solarhybridkollektoren muss die Kollektorfläche auf etwa 15 m² erweitert werden. Hierdurch können etwa 75% des Warmwasserbedarfs gedeckt werden. Der produzierte Strom kann selbst genutzt werden und, wenn er nicht benötigt wird, in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Die Investitionskosten betragen etwa 15.000 €. Der Wärmepreis ergibt sich zu ca. 71 Cent pro kWh Wärme. Geht man von der Hälfte der Investitionskosten aus, so liegt der Wärmepreis bei etwa 41 Cent pro kWh.

Betrachtet man die Anlage über einen Nutzungszeitraum von einem ganzen Jahr, so werden ca. 3.600 kWh Wärme produziert. Der Wärmepreis ohne Fördermittel reduziert sich von etwa 71 Cent auf etwa 48 Cent je kWh produzierter Wärme.

3.3 Wärmepumpe

Alternativ hierzu kann eine Luftwärmepumpe eingesetzt werden, mit der das Wasser für die Duschen erwärmt wird. Analog wird mit den Grundlagen aus der Berechnung der Wärmepumpe für die Beckenwassererwärmung gerechnet. Als Investitionskosten werden hier insgesamt 8250 € angesetzt. Es ergibt sich daraus ein Wärmepreis von fast 41 Cent pro kWh zur Erwärmung des Duschwassers.

4 Empfehlung

Um das Beckenwasser durchgängig auf eine Temperatur von etwa 24 °C zu beheizen werden pro Saison etwa 400 MWh Wärme benötigt

Aus energetischer Sicht empfiehlt sich zunächst die Nutzung einer Abdeckplane für die Schwimmbecken. Dadurch werden etwa 150 MWh an thermischen Verlusten vermieden. Auch wirtschaftlich ist diese Möglichkeit mit Investitionskosten in Höhe von etwa 65.000 €, die sich nach etwa 3,3 Jahren amortisiert haben als positiv zu bewerten.

Durch den Einsatz von Solarhybridkollektoren können zusätzlich etwa 3,5 MWh bei einem Wärmepreis von etwa 50 Cent je kWh produziert werden. Der hohe Wärmepreis der Solaranlagen erklärt sich vor allem durch die zeitlich begrenzte Nutzung dieser Anlagen. Obwohl die Nutzung in der sonnenreichen Zeit liegt, wird die Anlage etwa 8 Monate lang nicht genutzt und alle in dieser Zeit anstehenden Erträge bleiben ungenutzt.

Den größeren thermischen Effekt haben die vorhandenen Absorbermatten. In der Saison 2008 wurden mit dieser etwa 110 MWh Wärme erzeugt. Bei einer Anlagensimulation mit T*Sol wurde ein durchschnittlicher Jahresertrag von 83 MWh berechnet. Um die Anlagen vergleichbar zu machen, wurde von einer Neuinstallation der gesamten Anlage ausgegangen. Hierbei fallen Investitionskosten in Höhe von etwa 36.000 € an. Diese führen zu einem Wärmepreis von 8,73 Cent pro Kilowattstunde.

Wenn ein weiterer Wärmeabnehmer vorhanden ist, der im Winter eine Grundlast im Leistungsbereich 80 kW abfragt, dann ist die Nutzung eines portablen BHKWs eine sinnvolle Variante. Die Investitionskosten hierfür betragen etwa 125.000 €. Der Wärmepreis beträgt dann 13,04 Cent.

Alternativ zum BHKW können Luft-Wärmepumpen genutzt werden, mit denen ein Wärmepreis von 13,43 Cent pro kWh zu erreichen ist. Hierbei ist eine vergleichsweise hohe Arbeitszahl von 4 zugrunde gelegt.

Betrachtet man die Effizienz und die Kosten der verschiedenen Anlagen, so ist die Erweiterung der Anlage mit Solarhybridkollektoren nicht zu empfehlen. Allerdings sollte in jedem Fall eine Abdeckfolie für die Schwimmbecken installiert werden. Hierdurch werden unabhängig von einer weiteren Zuführung von Brennstoff Temperaturverluste verringert. Die weitere Aufheizung des Beckens kann durch ein BHKW geschehen, sofern ein zweiter Wärmeabnehmer im Winter vorhanden ist. Ansonsten können Wärmepumpen zur Erwärmung des Beckenwassers eingesetzt werden. Möchte man diesen Strom regenerativ Erzeugen um ein 100% regeneratives Freibad zu betreiben, so ist eine Fotovoltaikanlage von etwa 25 kW_p notwendig.

Zur Erwärmung des Duschwassers wird die Errichtung einer Solarthermischen Anlage empfohlen. Der Wärmepreis liegt leicht über dem der jetzigen elektrischen Erwärmung. Allerdings sind in diesem keine Investitionskosten für die Sanierung der Anlage enthalten und mit einer solarthermischen Anlage ist man bis auf den Energieverbrauch für die Nachheizung des Wassers (~700 kWh / a) unabhängig von Strompreissteigerungen.

Für die Erwärmung des Beckenwassers wird also der Einsatz einer Abdeckfolie in Kombination mit Absorbermatten und einem portablen BHKW empfohlen, sofern eine Abnahme der Wärme im Winter gegeben ist. Zur Erwärmung des Duschwassers wird eine Solarthermieanlage empfohlen.

5 Anhang

Solarhybrid			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	85.800 €		
Betrachtungsdauer	20 Jahre		
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			6.596 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%		2.145 €
sonstiges			
Versicherung	3%		2.574 €
Sicherheitsabschlag	3%		2.574 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			13.889 €
Erträge			
Jahreserlös FV			-2.501
Jahreskosten			11.388 €
Einsparung Wärme	21.600 kWh/a		
Wärmepreis			0,5272 €

Solarhybrid gefördert			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	42.900 €		
Betrachtungsdauer	20 Jahre		
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			3.298 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%	geschätzt	2.145 €
sonstiges			
Versicherung	3%	geschätzt	2.574 €
Sicherheitsabschlag	3%	geschätzt	2.574 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			10.591 €
Erträge			
Jahreserlös FV			-2.501
Jahreskosten			8.090 €
Einsparung Wärme	53.450 kWh/a		
Wärmepreis			0,1514 €

Solarhybrid ganzjährig			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	85.800 €		
Betrachtungsdauer	20 Jahre		
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			6.596 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%		2.145 €
sonstiges			
Versicherung	3%		2.574 €
Sicherheitsabschlag	3%		2.574 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			13.889 €
Erträge			
Jahreserlös FV			-2.501
Jahreskosten			11.388 €
Einsparung Wärme	37.160 kWh/a		
Wärmepreis			0,3065 €

Wärmepumpe			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	56.630 €		
Betrachtungsdauer	20 Jahre		
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			4.353 €
Wärmepumpe			
Leistung	55,2 kW		
Arbeitszahl	4		
Auslastung	1500 h		
Wärmeertrag			
Nutzenergie	82.800 kWh		
Verbrauchs-kosten			
Strom			
Menge	20700 kWh		
spezifische Kosten	0,1629 €/kWh		
Gesamtkosten			3.372 €
Betriebskosten			
Instandhaltung	1,50%		849 €
sonstiges			
Versicherung	1,5%		849 €
Sicherheitszuschlag	3%		1.699 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			11.123 €
Jahreskosten			11.123 €
Wärmepreis			0,1343 €

BHKW			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	125.375 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			9.638 €
BHKW			
elektrische Leistung	50 kW		
thermische Leistung	82 kW		
Auslastung	5000 h		
Wärmeertrag			
Nutzenergie	410.000 kWh		
Verbrauchskosten			
Erdgas			
Menge	365.044 kWh		
spezifische Kosten	0,0670 €/kWh		
Gesamtkosten			24.458 €
Flüssiggas			
Menge	365.044 kWh		
spezifische Kosten	0,0821 €/kWh		
Gesamtkosten			29.970 €
Betriebskosten			
Instandhaltung	9,00%		11.284 €
sonstiges			
Versicherung	1,5%		1.881 €
Sicherheitszuschlag	3%		3.761 €
Transport			4.000 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			84.992 €
Stromertrag			
Stromeinspeisung	250.000 kWh		
Vergütungssatz	0,1261 €/kWh		
Vergütung			31.525 €
Jahreskosten			53.467 €
Wärmepreis			0,1304 €

Solarabsorber			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	36.000 €	150 €/m ²	
Betrachtungsdauer	10	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,1264		
jährl. Kapitalkosten			4.550 €
Betriebskosten			
Instandhaltung	3,00%		1.080 €
sonstiges			
Versicherung	2%		540 €
Sicherheitszuschlag	3%		1.080 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			7.250 €
Jahreskosten			
Einsparung Wärme	83.000	kWh/a	
Wärmepreis			0,0873 €

Solarthermie Duschen			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	6.600 €		
Fördermittel	450 €		
Kosten	6.150 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			473 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%	geschätzt	165 €
sonstiges			
Versicherung	2%	geschätzt	99 €
Sicherheitsabschlag	3%	geschätzt	198 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			1.065 €
Jahreskosten			
Einsparung Wärme	2.988	kWh/a	
Wärmepreis			0,3565 €

Wärmepumpe Duschen			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	8.250 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			634 €
Wärmepumpe			
Leistung	6	kW	
Arbeitszahl	4		
Auslastung	500	h	
Wärmeertrag			
Nutzenergie	3.000	kWh	
Verbrauchskosten			
Strom			
Menge	750	kWh	
spezifische Kosten	0,1629 €	/kWh	
Gesamtkosten			122 €
Betriebskosten			
Instandhaltung	1,50%		124 €
sonstiges			
Versicherung	1,5%		124 €
Sicherheitszuschlag	3%		248 €
Transport			
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			1.251 €
Jahreskosten			1.251 €
Wärmepreis			0,4171 €

Elektro Duschen			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	0 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			0 €
Wärmepumpe			
Leistung	6	kW	
Arbeitszahl	1		
Auslastung	500	h	
Wärmeertrag			
Nutzenergie	3.000	kWh	
Verbrauchskosten			
Strom			
Menge	3000	kWh	
spezifische Kosten	0,1629 €	/kWh	
Gesamtkosten			489 €
Betriebskosten			
Instandhaltung	1,50%		100 €
sonstiges			
Versicherung	1,5%		100 €
Sicherheitszuschlag	3%		200 €
Transport			
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			889 €
Jahreskosten			889 €
Wärmepreis			0,2962 €

Solarhybrid Duschen			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	14.850 €		
Förderung	1.188 €		
Investitionskosten	13.662 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			1.050 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%		371 €
sonstiges			
Versicherung	3%		446 €
Sicherheitsabschlag	3%		446 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			2.313 €
Erträge			
Jahreserlös FV			416
Jahreskosten			1.897 €
Einsparung Wärme	2.667	kWh/a	
Wärmepreis			0,7111 €

Solarhybrid Duschen gefördert			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	7.425 €		
Förderung	594 €		
Investitionskosten	3.416 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			263 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%		371 €
sonstiges			
Versicherung	3%		446 €
Sicherheitsabschlag	3%		446 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			1.525 €
Erträge			
Jahreserlös FV			416
Jahreskosten			1.109 €
Einsparung Wärme	2.667	kWh/a	
Wärmepreis			0,4158 €

Solarhybrid Duschen ganzjährig			
Kapitalkosten			
Investitionskosten	14.850 €		
Betrachtungsdauer	20	Jahre	
realer Zinssatz	4,50%		
Annuitätenfaktor	0,0769		
jährl. Kapitalkosten			1.050 €
Betriebskosten			
W&I	2,50%		371 €
sonstiges			
Versicherung	1%		149 €
Sicherheitsabschlag	1%		149 €
Gesamtkosten			
Gesamtkosten			1.719 €
Erträge			
Jahreserlös FV			
Jahreskosten			1.719 €
Einsparung Wärme	3.600	kWh/a	
Wärmepreis			0,4774 €

