

Wärmeversorgung für das Freibad und die Sporthalle in Maikammer

Auftraggeber Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt
Schloß
67705 Trippstadt

Auftragnehmer Innovations- und Transferinstitut Bingen GmbH
Leiter: Prof. Dr. G. Schaumann
Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) Christian Pohl
Dipl.-Ing. (FH) Anton Maier
Telefon: 06721 / 409 218
Telefax: 06721 / 409 129
Homepage: <http://tsb.fh-bingen.de>

Auftrags-Nr.: A020035/666

Datum Bingen, den 28. Juni 2002

.....
Dipl.-Ing. (FH) Anton Maier

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

.....
Prof. Dr. G. Schaumann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Ist-Analyse.....	5
	2.1 Lageplan	5
	2.2 Schwimmbad	6
	2.3 Sporthalle.....	8
3	Getrennte Wärmeversorgung	10
	3.1 Schwimmbad	10
	3.1.1 Erdgas-Brennwertkessel	10
	3.1.2 Solarabsorberanlage mit Erdgas-Brennwertkessel	11
	3.1.3 Solarabsorberanlage mit Erdgas BW-Kessel und Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung.....	15
	3.2 Sporthalle.....	18
	3.2.1 Erdgas-Brennwertkessel	18
	3.2.2 Erdgas-Brennwertkessel mit Klein-BHKW.....	19
	3.2.3 Heizkessel zur Verfeuerung von Holzpellets	21
4	Gemeinsame Wärmeversorgung	25
	4.1 Jahreswärmebedarf	25
	4.2 Nahwärmenetz / Heizzentrale	26
	4.3 Erdgas-Niedertemperaturkessel	28
	4.4 Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Klein-BHKW.....	28
	4.5 Holzhackschnitzelkessel (HHS-Kessel) mit Erdgas-Spitzenlastkessel	30
	4.6 Holzhackschnitzelkessel in Kombination mit einer Solarabsorberanlage....	35
5	CO₂-Vergleich.....	36

6	Wirtschaftlichkeit	37
6.1	Schwimmbad	37
6.1.1	Erdgas-Brennwertkessel	37
6.1.2	Solarabsorberanlage mit Erdgas-Brennwertkessel	39
6.1.3	Solarabsorberanlage mit Erdgas BW-Kessel und Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung.....	41
6.1.4	Vergleich der Varianten	42
6.2	Sporthalle.....	43
6.2.1	Erdgas-Brennwertkessel	44
6.2.2	Erdgas-Brennwertkessel mit Klein-BHKW.....	45
6.2.3	Heizkessel zur Verfeuerung von Holzpellets	48
6.2.4	Vergleich der Varianten	50
6.3	Gemeinsame Wärmeversorgung	51
6.3.1	Erdgas-Niedertemperaturkessel.....	51
6.3.2	Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Klein-BHKW	53
6.3.3	HHS-Kessel mit Erdgas-Spitzenkessel.....	55
6.3.4	HHS-Kessel in Kombination mit Solarabsorberanlage	57
6.3.5	Vergleich der Varianten	59
7	Zusammenfassung	60

1 Einleitung

Die Verbandsgemeinde Maikammer baut eine neue Sporthalle in unmittelbarer Nähe des Freibades. In Bezug auf die Energieversorgung sind Insellösungen, bei denen jedes Gebäude durch eine eigene Anlage beheizt wird oder ein Nahwärmenetz durch Zusammenschluss und Betrieb nur einer Heizzentrale für mehrere Gebäude denkbar. Hierbei kann die Nutzung von Solarenergie in Verbindung mit Biomasse zum Einsatz kommen.

Im vorliegenden Bericht werden aufbauend auf der Ist-Analyse die einzelnen Varianten beschrieben und dann wirtschaftlich sowie ökologisch bewertet. Die Varianten sind:

Getrennte Wärmeversorgung:

- Wärmeversorgung des Schwimmbades mit Erdgasbrennwertkessel
- Wärmeversorgung des Schwimmbades mit Erdgasbrennwertkessel in Kombination mit einer Solarabsorberanlage
- Wärmeversorgung des Schwimmbades mit Erdgasbrennwertkessel in Kombination mit einer Solarabsorberanlage und einer Kollektoranlage zur Warmwasser-Bereitung
- Wärmeversorgung der Sporthalle mit Erdgasbrennwertkessel
- Wärmeversorgung der Sporthalle mit Erdgasbrennwertkessel und Klein-BHKW
- Wärmeversorgung der Sporthalle mit Holzpellets

Gemeinsame Wärmeversorgung:

- Wärmeversorgung mit Erdgas-Niedertemperaturkessel
- Wärmeversorgung mit Erdgas-Niedertemperaturkessel und Klein-BHKW
- Wärmeversorgung mit Holzhackschnitzelkessel und Erdgas Spitzenkessel
- Wärmeversorgung mit Holzhackschnitzelkessel in Kombination mit einer Solarabsorberanlage

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung umfasst die Ermittlung der Investition und Berechnung der Jahreskosten anhand der Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten. Mit Hilfe der Jahreskosten lässt sich ein Wärmepreis bilden, der als Kriterium für den Vergleich der Varianten dient.

In einer abschließenden Zusammenfassung werden die Ergebnisse der Untersuchung noch einmal kurz dargestellt.

2 Ist-Analyse

2.1 Lageplan

Der Lageplan zeigt die Anordnung der jeweiligen Gebäude mit der derzeitigen Heizzentrale und Lage der Wärmetauscher für das Versorgungsnetz des Freibades.

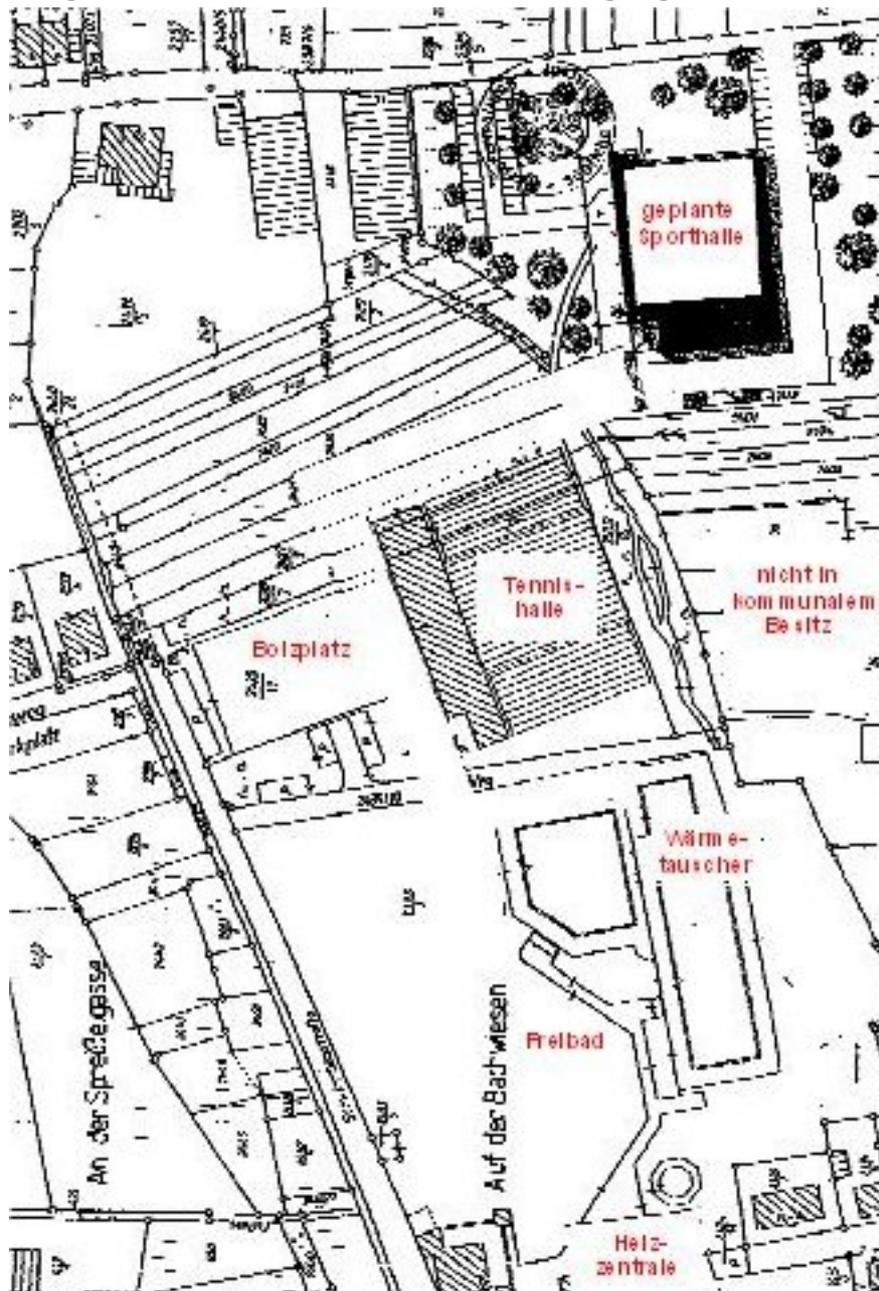


Bild 2-1: Lageplan

2.2 Schwimmbad

Die Wärmeversorgung des Schwimmbades umfasst das Freibad mit Gaststätte und separater Wohnung. Dabei sind für die Beckenwassererwärmung 2 Kessel und für die angeschlossene Gaststätte und Wohnung ein weiterer Kessel installiert.

Baujahr Objekt	:	1972
Freibad	:	3.500 m ³ Beckenwasser
Gaststätte und Wohnung	:	ca. 300 m ² beheizte Fläche
Baujahr Kessel	:	1972
Kesselleistung Beckenwassererwärmung	:	2 x 535 kW _{th}
Kesselleistung Gaststätte und Wohnung	:	85 kW _{th}

Das Freibad verfügt über ein Nichtschwimmerbecken, ein Schwimmerbecken, ein Sprungbecken und ein Planschbecken.

Nichtschwimmerbecken	Beckenfläche	:	ca. 600 m ²
	Beckentiefe	:	0,70 - 1,25 m
Schwimmerbecken	Beckenfläche	:	ca. 834 m ²
	Beckentiefe	:	1,80 - 2,10 m
Sprungbecken	Beckenfläche	:	ca. 256 m ²
	Beckentiefe	:	4,50 m
Planschbecken		:	9 m ³
Beckenwasseroberfläche		:	ca. 1.730 m²
Beckenwasservolumen		:	ca. 3.400 m³

Die Wärmeversorgung der Becken erfolgt über Wärmetauscher, die sich zwischen dem Sprung- und Schwimmerbecken befinden. Dabei werden das Nichtschwimmer- und Planschbecken jeweils über einen separaten Wasserkreislauf und das Sprung- und Schwimmerbecken zusammen über einen gemeinsamen Wasserkreislauf versorgt.

Die folgende Tabelle gibt den Gasverbrauch der Jahre 1993 - 2000 an (Haushaltsstelle VG Maikammer). Es handelt sich hierbei um den auf den oberen Heizwert bezogenen Gasverbrauch. Für die Umrechnung auf die verbrauchte Wärme wird ein Ho/Hu-Verhältnis von 1,1 und eine Jahresnutzungsgrad der Kessel von 85% angesetzt.

Tabelle 2-1: Energieverbrauch der Jahre 1993 - 2000

Jahr	Gasverbrauch [kWh _{BSho} /a]	Gasverbrauch [kWh _{BShu} /a]	Wärmeverbrauch [kWh _{th} /a]
1993	1.383.201	1.257.455	1.068.837
1994	850.879	773.526	657.497
1995	887.052	806.411	685.449
1996	955.571	868.701	738.396
1997	820.015	745.468	633.648
1998	933.962	849.056	721.698
1999	907.980	825.436	701.621
2000	1.034.833	940.757	799.644
Mittel		883.350	750.850

Anhand der vorliegenden Verbrauchsdaten lässt sich der Verlauf der Wärme über das Jahr darstellen. Bei den Wärmebedarfswerten handelt es sich dabei um die Mittelwerte der Jahre 1993 - 2000, die wie oben angegeben aus den monatlichen Gasverbräuchen bestimmt wurden.

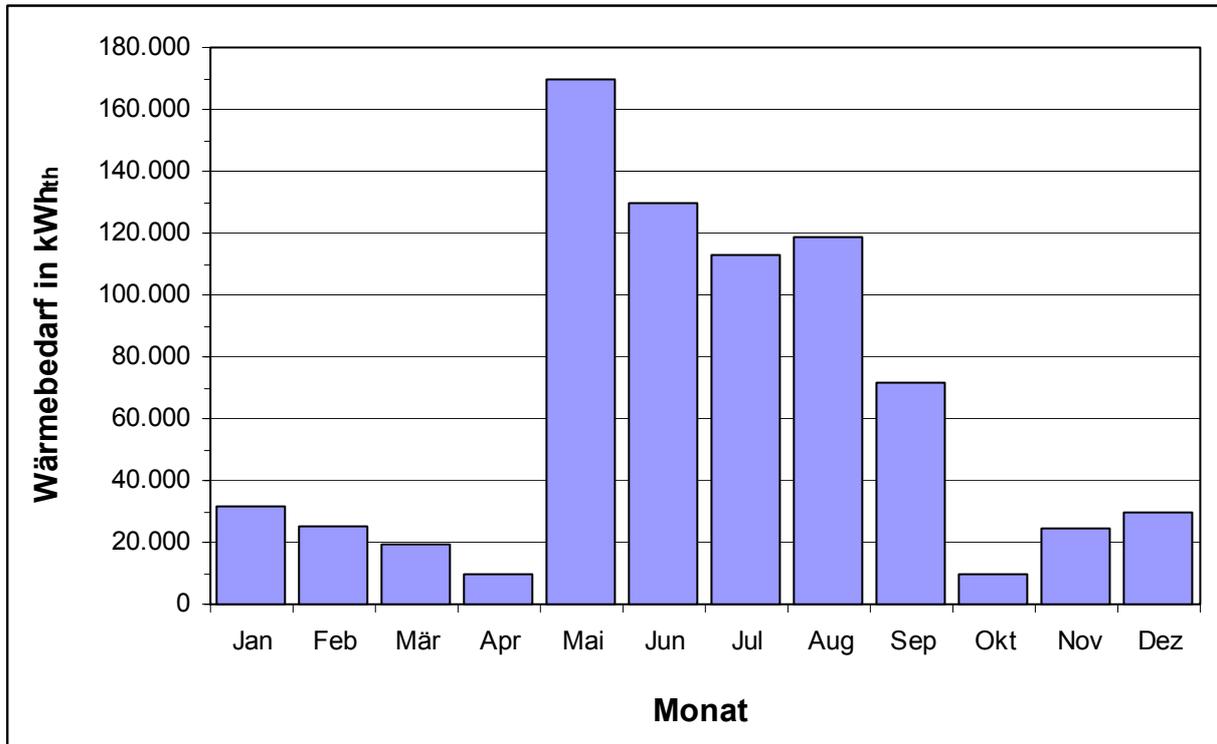


Bild 2-2: Jahresverlauf des Wärmeverbrauchs

Deutlich zu erkennen ist der in den Sommermonaten (Mai bis September) erhöhte Wärmebedarf durch den Betrieb des Freibades. Der Wärmeverbrauch der restlichen Monate resultiert aus dem Wärmebedarf der Gaststätte und der Wohnung, wobei hier die Abhängigkeit von der Außentemperatur zu erkennen ist.

Jahresbrennstoffbedarf	: ca. 883.350 kWh_{BShu}/a
Jahreswärmebedarf	: ca. 751.000 kWh_{th}/a
max. Wärmeleistungsbedarf	: ca. 1.155 kW_{th}
Vollbenutzungsstunden	: ca. 650 h/a

2.3 Sporthalle

Für die Sporthalle wird mit einem Verbrauch von 400.000 kWh_{th}/a gerechnet. Die folgende Abbildung zeigt die aus den vorliegenden Konzepten angenommenen Wärmebedarfswerte der einzelnen Monate.

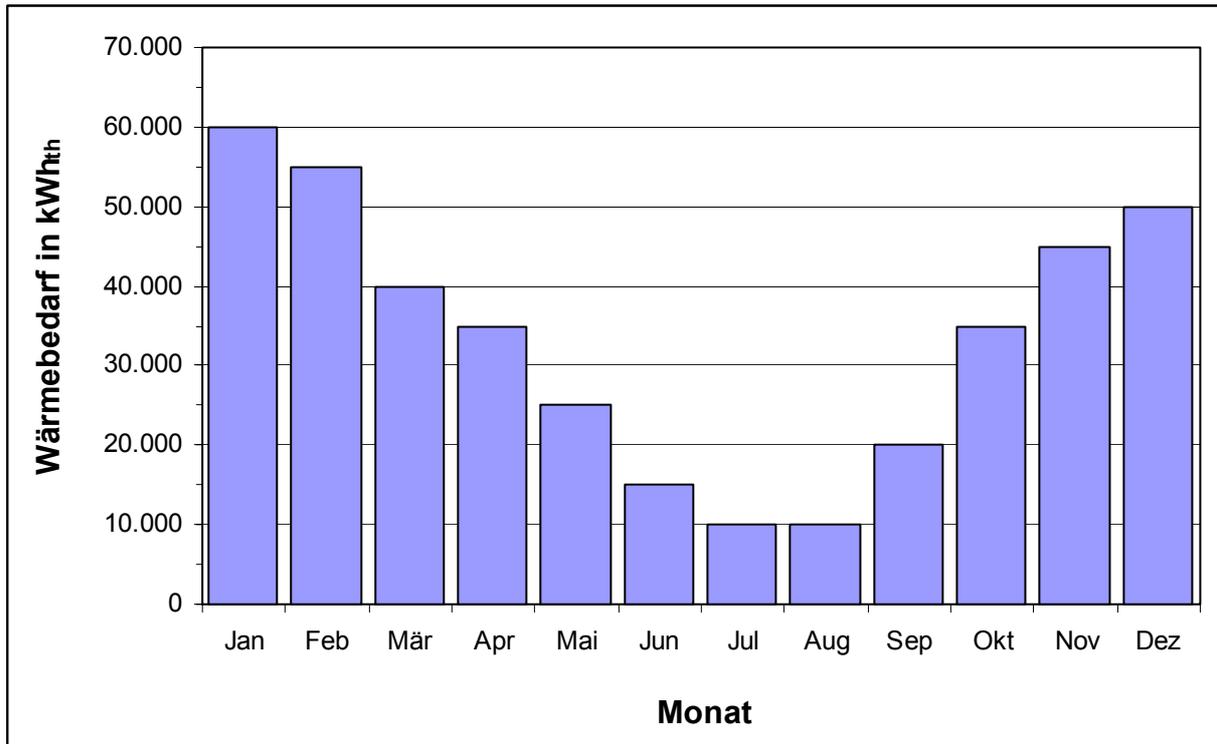


Bild 2-3: Angenommener Jahresgang des Wärmebedarfs für den Sporthallenneubau

Die maximale Wärmeleistung variiert in den einzelnen Konzepten zwischen 200 bis 250 kW_{th}. Für die weitere Betrachtung wird von folgenden Werten ausgegangen:

Jahreswärmebedarf	: ca. 400.000 kWh_{th}/a
max. Wärmeleistungsbedarf	: ca. 250 kW_{th}
Vollbenutzungsstunden	: ca. 1.600 h/a

3 Getrennte Wärmeversorgung

3.1 Schwimmbad

3.1.1 Erdgas-Brennwertkessel

Die vorhandenen Erdgaskessel haben das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht. Es wird daher nur die einfache Erneuerung der bestehenden Kessel betrachtet. Die Erneuerung beinhaltet dabei den Austausch der Kessel, der Brenner und der Kesselregelung.

Energie- und CO₂-Bilanz:

Die Energie- und CO₂-Bilanz wird für den Einsatz von Erdgas-Brennwertkesseln betrachtet. Es wird dabei ein Jahresnutzungsgrad der Kessel von 98% angenommen, da davon ausgegangen werden kann, dass die Auslegung der Heizsysteme für die Gaststätte und Hausmeisterwohnung noch mit Systemtemperaturen von 90/70°C erfolgte (Baujahr 1972) und daher nur in den Sommermonaten mit einer Brennwertnutzung zu rechnen ist.

Jahreswärmebedarf	:	751.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad	:	98 %
Jahresbrennstoffverbrauch	:	766.300 kWh_{BShu}/a
	=	842.930 kWh _{BSho} /a
CO₂-Emission	:	177.800 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	237 g/kWh _{th}

3.1.2 Solarabsorberanlage mit Erdgas-Brennwertkessel

Allgemeine Angaben:

Solarabsorber-Anlagen gehören in die Gruppe der thermischen Solaranlagen und sind im besonderen für die Bereitstellung von Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau geeignet. Anlagen dieser Bauart wandeln die auftreffende Solarstrahlung zu einem großen Teil in Wärme um und stellen diese einem Verbraucher zur Verfügung.

Solare Schwimmbadheizungen liefern in einer Saison etwa $250 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2$ Absorberfläche zu Wärmepreisen von 4 bis 6 Ct/ kWh_{th} . Diese Zahlen zeigen, dass im Bereich der Erwärmung von Freibädern ein beachtenswertes Potential für die Nutzung der Sonnenenergie vorhanden ist, das sich zudem noch betriebswirtschaftlich äußerst attraktiv realisieren lässt.

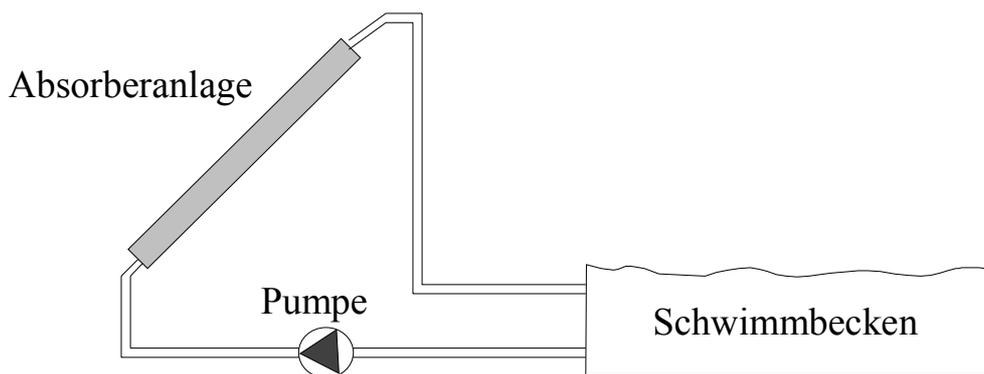


Bild 3-1: Prinzipschaltbild einer Schwimmbad-Absorberanlage

Die Absorber-Anlagen werden von dem Beckenwasser direkt durchströmt, so dass kein zusätzliches Wärmeträger-Medium notwendig ist. Da das Wasser durch den Restchlorgehalt sehr aggressiv ist, kommen deshalb fast ausschließlich Absorber aus Kunststoff zum Einsatz. Hergestellt werden sie in der Regel aus dem Kunststoff Polypropylen, wodurch sich eine hohe Lebensdauer und je nach konstruktiver Ausführung eine große Robustheit ergibt. Anlagen aus EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Monomere), ein sogenannter Kunstkautschuk, sind flexibel und frostfest (auch wassergefüllt), allerdings auch teurer als andere Kunststoffe. Dieser Kunststoff zeichnet sich durch eine hohe UV-Resistenz, eine hohe Temperaturbeständigkeit (max. $150 \text{ }^\circ\text{C}$) und eine sehr lange Lebensdauer aus.

Das durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Beckenwasser beinhaltet eine gewisse Wärmeenergie, die Nutzenergie. Der Wirkungsgrad einer solchen Absorberanlage, d.h. das Verhältnis von Nutzenergie zu eingestrahelter Sonnenenergie, ist abhängig von der Differenz von Verbraucher- und Umgebungstemperatur.

Je geringer die angestrebte Wassertemperatur der Solaranlage ist, desto eher kann diese durch die Sonneneinstrahlung erreicht werden. Ist diese gering, wie es bei der Beheizung von Schwimmbecken mit Wassertemperaturen von 20 °C - 25 °C der Fall ist, so arbeiten diese Systeme sehr effizient und haben damit einen guten Wirkungsgrad. Da die angestrebte Beckentemperatur ungefähr gleich ist mit der jeweiligen Außentemperatur, sind die thermischen Verluste der Absorber durch Wärmeabgabe an die Umgebung gering. Daher kann auf Dämmung und auf eine Abdeckung der Absorber mittels Glasscheibe, wie bei Flachkollektoren, verzichtet werden.

Besonders begünstigt wird die Beheizung eines Freischwimmbeckens mit einer Solarabsorber-Anlage durch den praktisch vollkommen synchronen Verlauf von Energieangebot und Energienachfrage was die folgende Abbildung verdeutlicht.

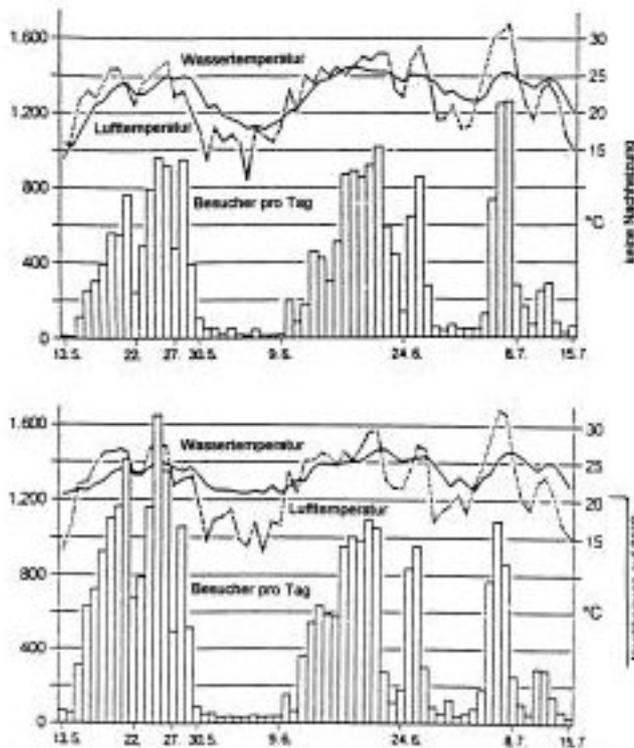


Bild 3-2: Zusammenhang zwischen Besucherverhalten und Luft- bzw. Wassertemperatur]

Betrachtet man das Badgastaufkommen eines Freibades in Abhängigkeit von der Außentemperatur und den Witterungsbedingungen und setzt diese mit dem Energiebedarf des Bades gleich, so lässt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Wetterqualität und dem Energiebedarf für die Beckenbeheizung feststellen. Rein solar erwärmte Schwimmbäder können in längeren Schlechtwetterperioden auch knapp unter 20°C Wassertemperatur liegen. In diesen Zeiten, in denen die Lufttemperatur niedrig ist, sind die Besucherzahlen sehr gering und bleiben dies auch bei Beckenwassernachheizung.

Herrscht dagegen gutes Wetter und damit eine entsprechend hohe Sonneneinstrahlung, so ist auch das Badgastaufkommen hoch. Die Solarabsorber-Anlage ist dann in der Lage, große Energiemengen bereit zu stellen.

In der Praxis lässt sich beobachten, dass eine ausreichend dimensionierte Absorberanlage in der Lage ist, ein während einer Schlechtwetterperiode abgekühltes Schwimmbecken bei guter Sonneneinstrahlung und Außentemperaturen über 20 °C im Laufe eines Tages wieder etwa auf die angestrebte Solltemperatur aufzuheizen. Hier hinkt also die Beckentemperatur dem Wetterverlauf um einen Tag nach. Dies hat auf den Badebetrieb jedoch keine negativen Auswirkungen, da auch das Badgastaufkommen bei solchen Wetteränderungen üblicherweise erst mit einem Tag Verzögerung wieder steigt. So kommen die meisten Besucher erst am zweiten schönen Tag nach einem Schlechtwettereinbruch. Die Absorberanlage hat daher im allgemeinen genügend Zeit, das Beckenwasser wieder aufzuheizen. Bei einer ausreichenden Dimensionierung der Anlage kann und soll zudem auf eine zusätzliche Beheizung des Beckenwassers mit herkömmlichen Energieträgern vollständig verzichtet werden.

Solarabsorber-Anlagen haben den Vorteil, dass sie bedingt durch ihren einfachen Aufbau sehr zuverlässig arbeiten und dementsprechend wartungsarm sind.

Dimensionierung:

Das Beckenwasser wird immer die Temperaturen anstreben, die aus dem Gleichgewicht der zugeführten und der abgegebenen Energiemenge resultiert, d.h. es stellt sich eine Temperatur ein, bei der sich die Wärmegewinne und -verluste sich die Waage halten.

Wärmegewinne sind die solare Einstrahlung auf das Becken, Wärmeleitung aus der Luft (sofern diese wärmer ist als das Beckenwasser), Wärmeabgabe der Schwimmer (Wärmeleistung je nach Bewegung zwischen 100 - 400 W pro Schwimmer) und die Zusatzheizung.

Wärmeverluste sind die Verdunstungskälte an der Oberfläche (besonders durch Windeinflüsse), Wärmeleitung (wenn die Luft kälter ist als das Beckenwasser), Abstrahlung an den Himmel (besonders stark bei klaren Tagen und Nächten).

Die größten Verluste entstehen an der Oberfläche der Becken. Deswegen wird bei der Dimensionierung die Fläche der Absorber auf die Beckenoberfläche bezogen. Als Faustformel gilt, dass etwa 50 bis 70 % der Beckenoberfläche als Absorberfläche installiert werden soll. Für die Dimensionierung von Solaranlagen für beheizte Freibäder ist die Faustformel nicht zuverlässig genug. Wenn das Freibad nur im Sommer (Mai - September) betrieben wird, wenig Wasser nachgespeist wird (insgesamt weniger als 100 l pro Badegast) und das Bad geschützt liegt, kann es bei zu groß dimensionierten Anlagen zu einer Überhitzung des Wassers kommen. Die Anlage müsste dann abgeschaltet werden, wenn die höchste Einstrahlung zu erwarten ist.

Das Beckenwasser wird auf einer Temperatur von 24°C gehalten. In der Schwimmbadanlage sind 600 m² Flachdachfläche vorhanden, die mit Absorbern bedeckt werden können. Mit Hilfe des Rechnerprogramms „Sw-Simu“ wurde mit den Klimadaten von Mannheim eine Simulation zur Ermittlung des solaren Energiebeitrags durchgeführt. Folgende Werte gehen als Eingangsgrößen in die Simulation ein.

Zeitraum	:	15. Mai - 15. September (124 Tage)
Globalstrahlung	:	615 kWh _{th} /m ²
Absorberfläche	:	600 m ²
Solaranlagenart	:	EPDM Schwimmbad-Absorber
Stütztemperatur	:	24 °C
Grenztemperatur	:	26 °C

Da das Sprung- und Schwimmerbecken über einen Wasserkreislauf betrieben werden, soll die Absorberanlage die solare Wärme in diesen Kreislauf abgeben. Dabei wird vorrangig in das Schwimmerbecken Wärme eingespeist und bei überschüssiger Wärme noch das Wasser im Sprungbecken erwärmt.

Schwimmerbecken	Wärmelieferung Solarabsorber	: ca. 112.100 kWh _{th} /a
	Nachheizung	: ca. 400 kW _{th}
Sprungbecken	Wärmelieferung Solarabsorber	: ca. 31.300 kWh _{th} /a
	Nachheizung	: ca. 180 kW _{th}
Nichtschwimmerbecken	Wärmelieferung Solarabsorber	: ca. 0 kWh _{th} /a
	Nachheizung	: ca. 350 kW _{th}

Um die Stütztemperatur der Becken von 24°C halten zu können, ist eine Nachheizleistung von rund 930 kW_{th} erforderlich. Diese Leistung reicht auch aus, um das Beckenwasser in genügend kurzer Zeit auf Temperatur zu bringen. Da es sich um eine Beheizung auf relativ geringem Temperaturniveau handelt, wird der Einsatz eines Brennwertkessels betrachtet. Die Leistung wird gleichmäßig auf zwei Kessel verteilt.

Energie- und CO₂-Bilanz:

Jahreswärmebedarf	: 751.000 kWh _{th} /a
Kessel	1 x 85 kW _{th} , 2 x 465 kW _{th}
Jahresnutzungsgrad BW-Kessel	: 98 %
Wärmelieferung Solarabsorber	: 143.400 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Kessel	: 607.600 kWh _{th} /a
Jahresbrennstoffverbrauch	: 620.000 kWh_{BShu}/a
	= 682.000 kWh _{BSho} /a
CO₂-Emission	: 143.800 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	: 191 g/kWh _{th}

3.1.3 Solarabsorberanlage mit Erdgas BW-Kessel und Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung

Derzeit ist nur ein 300 l Warmwasserspeicher installiert. Dieser reichte nach Aussage von Herrn Kiehl, Schwimmmeister nicht aus, um ausreichend Warmwasser zur Verfügung zu stellen. Aus diesem Grund wurden im Freibad Münzduschen eingebaut, um den Bedarf zu reduzieren. Im folgenden wird der Warmwasserbedarf abgeschätzt.

Gaststätte:

Die beheizte Fläche der beiden Gebäude beträgt 300 m². Für die Gaststätte wird im folgenden eine Fläche von 180 m² angenommen. Der Warmwasserbedarf von Gaststätten wird in der Literatur gewöhnlich auf die Anzahl von Gästen (8 - 20 l/d*Gast bei 60°C) oder Anzahl von Menüs (4 - 8 l/d*Menü bei 60°C) angegeben. In ¹ wird für die Warmwasserbereitung auf 60°C in Gaststätten ein Energiebedarf bis 25 kWh_{th}/m² beheizte Fläche angegeben.

Beheizte Fläche	:	180 m ²
Energiebedarf Warmwasser	:	25 kWh _{th} /m ² (60°C)
	:	ca. 210 l/d
Warmwasserbedarf	:	ca. 4.500 kWh_{th}/a

Wohnung:

Es werden folgende Annahmen getroffen:

WW-Bedarf	:	35 l/Pers*d (60°C)
Anzahl Personen	:	3
	:	ca. 100 l/d
Warmwasserbedarf	:	ca. 2.100 kWh_{th}/a

Freibad:

Es liegen keine Daten über Besucherzahlen oder Duschwasserverbrauch vor. Insgesamt sind 5 Duschen vorhanden. Pro Duschvorgang muss mit einer Entnahme von 50 l bei 40°C gerechnet werden. Ein Duschvorgang dauert ungefähr 6 Minuten, so dass der maximal mögliche Verbrauch 2.500 l/h beträgt.

Der tatsächliche Verbrauch hängt nun von der Anzahl der Duschvorgänge pro Stunde bzw. pro Tag ab. Die Hauptduschzeit wird dabei in den Mittagsstunden und späteren Abendstunden liegen. Geht man von 10 Duschvorgängen pro Stunde über eine Zeit von 6 Stunden aus, ergibt sich ein täglicher Warmwasserverbrauch von 3.000 l (40°C).

¹ Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, Brandenburgische Energie-Agentur

WW-Bedarf	:	3.000 l/d (40°C)
Saisondauer	:	124 Tage (15. Mai - 15. Sep.)
Warmwasserbedarf	:	ca. 13.000 kWh_{th}/Saison
Jahreswärmebedarf WW	:	ca. 19.600 kWh_{th}/a

Kollektorauslegung:

Da der Warmwasserbedarf des Freibades nur in den Sommermonaten auftritt, ist der Bedarf zwischen Winter- und Sommermonaten unterschiedlich. Für die Auslegung der Kollektoranlage ist der Warmwasserbedarf in den Sommermonaten maßgeblich.

- Tagesbedarf Freibad:
 $3.000 \text{ kg/d} * 1,163 \text{ Wh/(kgK)} * 30 \text{ K} = 105 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{d}$
- Tagesbedarf Gaststätte und Wohnung
 $310 \text{ kg/d} * 1,163 \text{ Wh/(kgK)} * 50 \text{ K} = 18 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{d}$
- Tagesbedarf Sommer
 $123 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{d} * 15 - 20\% \text{ Verluste} = 145 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{d}$

Die Auslegung erfolgt für ein Zweispeichersystem bei dem der Solarspeicher (Pufferspeicher) und der Warmwasserspeicher in Kaskade geschaltet sind. Die Solarwärme wird in den unteren Bereich des Pufferspeichers eingespeist. Der Warmwasserspeicher wird über einen Wärmetauscher aus dem Pufferspeicher beheizt. Der Pufferspeicher ist mit der Heizungsanlage verbunden und kann so bei zu geringer Solarleistung konventionell nachgeheizt werden (85 kW_{th} Kessel). Aufgrund des geringeren Warmwasserbedarfs in den Wintermonaten kann die überschüssige Wärme der Kollektoranlage in das Heizungsnetz eingespeist werden.

Mit Hilfe des Rechnerprogramms „GetSolar“ wurde mit den Klimadaten von Mannheim die erforderliche Kollektorgroße bestimmt. Folgende Werte wurden der Auslegung zugrunde gelegt.

Speichertyp : Flachkollektor

	$\eta_0 = 0,78$
	$k_1 = 2,641 \text{ W/m}^2\text{K}$
	$k_2 = 0,022 \text{ W/m}^2\text{K}^2$
Ausrichtung	: 35° Neigung 0° Südabweichung
Speichervolumen	: 4.000 l Pufferspeicher 500 l Warmwasserspeicher

Für die Kollektoranlage ergaben sich folgende Daten:

Größe	: 70 m ²
Deckungsrate Sommer	: 93 %
Spezifischer Kollektorertrag	: 466 kWh _{th} /m ² a
Jahresertrag	32.600 kWh_{th}/a

Energie- und CO₂-Bilanz:

Jahreswärmebedarf	: 751.000 kWh _{th} /a
Kessel	1 x 85 kW _{th} , 2 x 465 kW _{th}
Jahresnutzungsgrad BW-Kessel	: 98 %
Wärmelieferung Solarabsorber	: 143.400 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Kollektoranlage	: 32.600 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Kessel	: 575.000 kWh _{th} /a
Jahresbrennstoffverbrauch	: 586.700 kWh_{BShu}/a = 645.370 kWh_{BSho}/a
CO₂-Emission	: 136.100 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	: 181 g/kWh _{th}

3.2 Sporthalle

3.2.1 Erdgas-Brennwertkessel

Energie- und CO₂-Bilanz:

Die Energie- und CO₂-Bilanz wird für einen Erdgas-Brennwertkessels mit 250 kW_{th} betrachtet. Es wird ein Jahresnutzungsgrad von 100% angenommen.

Jahreswärmebedarf	:	400.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad	:	100 %
Jahresbrennstoffverbrauch	:	400.000 kWh_{BShu}/a
	=	440.000 kWh _{BSho} /a
CO₂-Emission	:	92.800 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	232 g/kWh _{th}

3.2.2 Erdgas-Brennwertkessel mit Klein-BHKW

Bei dieser Variante wird der oben betrachtete Erdgas-Brennwertkessel zusammen mit einem Klein-BHKW eingesetzt. Durch die Installation einer Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung kann der eingesetzte Brennstoff effizienter genutzt werden, da neben der Wärme auch hochwertiger Strom produziert wird.

Ein Blockheizkraftwerk (=BHKW) besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Die freiwerdende Wärme des Motors kann in das Wärmenetz eingespeist werden.

Der Betrieb des Klein-BHKW erfolgt wärmegeführt, d.h. Führungsgröße für den Betrieb der Anlage ist der Wärmebedarf. Es wird davon ausgegangen, dass der gesamte produzierte Strom in das öffentliche Netz eingespeist wird, da aufgrund des am 01. April 2002 in Kraft getretenen KWK-Gesetzes Mini-KWK-Anlage bis 50 kW_{el}, sofern sie im Zeitraum vom 01. April 2002 bis zum 31. Dezember 2005 in Dauerbetrieb gehen, eine Zuschlagszahlung in Höhe von 5,11 Ct/kWh_{el} über einen Zeitraum von 10 Jahren nach Inbetriebnahme der Anlage erhalten.



Bild 3-3: Klein-BHKW (Quelle: Fa. SenerTec)

Energie- und CO₂-Bilanz:

Das Klein-BHKW besitzt eine Nenn-Wärmeleistung von 12,5 kW_{th} und eine elektrische Leistung von 5,5 kW_{el}. Die Gesamteffizienz als Quotient aus Nenn-Wärmeleistung und Nenn-Stromleistung bezogen auf den Brennstoffbedarf beträgt 88%. Zur Berechnung der Energiebilanz können 6.000 Vollbenutzungsstunden angesetzt werden.

Bei der Bilanzierung der Kraft-Wärme-Kopplung muss der produzierte Strom beachtet werden. Die Stromproduktion des BHKW verdrängt Strom der sonst in konventionellen Kraftwerken erzeugt wird. Dies ist bei der Berechnung des Brennstoffeinsatzes und der CO₂-Freisetzung zu berücksichtigen. Ähnlich der Stromgutschrift bei der Wirtschaftlichkeitsberechnung wird hier die erzeugte Strommenge in der Bilanz der Kraft-Wärme-Kopplung gutgeschrieben. Es wird mit einem Kraftwerkswirkungsgrad von 39% gerechnet.

Jahreswärmebedarf	:	400.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad Kessel	:	100 %
Jahresnutzungsgrad BHKW	:	88 %

Wärmelieferung BHKW	:	75.000 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Kessel	:	325.000 kWh _{th} /a
Stromlieferung BHKW	:	33.000 kWh _{el} /a
Jahresbrennstoffverbrauch BHKW	:	122.700 kWh _{BShu} /a
Jahresbrennstoffverbrauch Kessel	:	325.000 kWh _{BShu} /a
Gutschrift Stromerzeugung	:	- 84.600 kWh _{BShu} /a
Jahresbrennstoffverbrauch	:	363.100 kWh_{BShu}/a
	=	399.410 kWh _{BSho} /a
CO ₂ -Emission BHKW	:	28.500 kg/a
CO ₂ -Emission Kessel	:	75.400 kg/a
Gutschrift Stromerzeugung	:	- 22.700 kg/a
CO₂-Emission	:	81.200 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	203 g/kWh _{th}

Bei Vollbenutzungsstunden von 6.000 h/a kann das Klein-BHKW rund 19% des Wärmebedarfs der Sporthalle decken. Gleichzeitig produziert die Mini-KWK-Anlage 33.000 kWh_{el}/a.

3.2.3 Heizkessel zur Verfeuerung von Holzpellets

Holzpellets haben einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm und werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder –spänen gefertigt. Als Klebemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin. Holzpellets unterliegen den Qualitätskriterien der DIN 51731 und müssen einen Heizwert von mindestens 4,9 kWh/kg, ein Schüttgewicht von 650 kg/Sm³ aufweisen und die Holzfeuchte darf 10% nicht überschreiten. Ein Schüttkubikmeter Holzpellets weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhaltes benötigen sie daher im Vergleich zu Holzackschnitzeln ein wesentlich geringeres Lagervolumen.



Abbildung 3-4: Holzpellets

Die Holzpellets werden mittels Silowagen angeliefert und mit einem Schlauch in den Vorratsraum eingeblasen. Dazu sind an der Außenmauer des Lagers ein Befüllstutzen und ein Stutzen zum Absaugen des Staubs während des Befüllvorganges anzubringen. Es handelt sich hierbei i.d.R. um DN 100 Rohre mit einem A-Kupplungsanschluss. Die Befüllstutzen werden mit dem Mauerwerk (Erdung) verbunden und sind daher nicht einzuschäumen.

Wie bei allen anderen Heizsystemen ist die Heizraumtür und die Tür des Lagerraumes als Brandschutztür (mind. T 30) auszuführen. Sie müssen nach außen aufgehen und mit einer Dichtung versehen sein. Bei der Tür des Pelletlagerraumes müssen auf der Innenseite der Türöffnung Holzbretter angebracht werden, damit die Pellets nicht gegen die Tür drücken. Eine zusätzliche Prallschutzmatte sorgt dafür, dass die Pellets beim Einblasen durch den Aufprall nicht zerkleinert werden. Im Pelletlagerraum dürfen sich keine Lichtschalter, Steckdosen, Lichtlampen oder Verteilerdosen und dergleichen befinden. Sind Leitungen, Schalter usw. absolut nicht zu vermeiden, müssen diese in explosionsgeschützter Ausführung montiert werden. Außerhalb des Heizraumes muss ein „Not-Aus-Schalter“ angebracht werden.

Für die Austragung der Holzpellets aus dem Lagerraum sind verschiedene Varianten möglich. Grundsätzlich sollte sich der Lagerraum neben dem Heizraum befinden, so dass über gerade, geknickte oder schräge Schnecken die vollautomatische Austragung erfolgen kann. Die folgende Abbildung zeigt ein Austragungssystem bei dem sich Lagerraum und Heizraum auf gleichem Niveau befinden. In den Lagerraum werden Schalungsbretter mit einem Bodengefälle von 30 - 40° eingebracht, so dass eine nahezu völlige Entleerung des Lagerraumes möglich ist. Über eine platzsparende Gelenkschnecke oder eine schräge Austragungsschnecke, deren Antrieb sich im Heizraum befindet, erfolgt der Brennstofftransport zum Kessel.

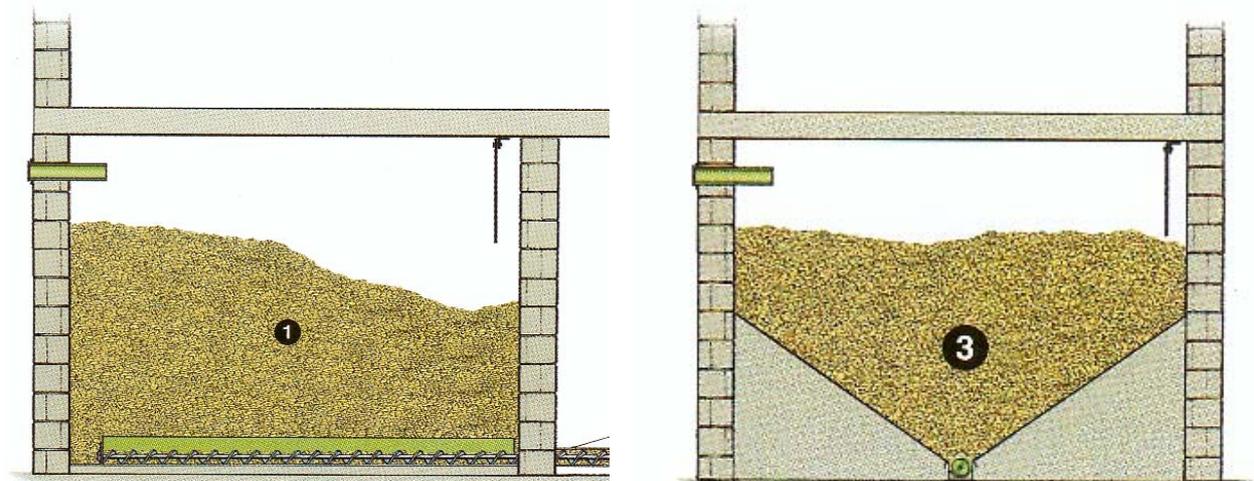


Abbildung 3-5: Mögliches Austragungssystem

Alternativ können die Holzpellets auch mit einem Federrührwerk oder über einen Schubboden ausgetragen werden.

Energie- und CO₂-Bilanz:

Es wird ein Heizkessel mit 250 kW_{th} zur Verfeuerung von Holzpellets in monovalenter Betriebsweise betrachtet. Der Kessel verfügt über eine gleitende Lastregelung von 30 - 100% unter Einhaltung der Emissionswerte. Dies wird durch die Kesselregelung bestehend aus vier vernetzten Regelkreisen sichergestellt (Vor-/Rücklauf­temperatur, Flammtemperatur, O₂-Wert, Brennkammer-Unterdruck). Es kann mit einem Jahresnutzungsgrad von 82% gerechnet werden.

Jahreswärmebedarf : 400.000 kWh_{th}/a
 Jahresnutzungsgrad : 82 %

Jahresbrennstoffverbrauch : **487.800 kWh_{BS}/a**
 = 153 Sm³/a = 100 t Holzpellets/a

CO₂-Emission : **33.200 kg/a**
 spezifische CO₂-Emission : 83 g/kWh_{th}

Lagerung Holzpellets:

Der Lagerraum sollte sich direkt neben dem Heizraum befinden. Zum jetzigen Zeitpunkt kann ein solcher Raum mit den entsprechenden Anforderungen noch in die Planungen eingearbeitet werden.

Es wird ein Lagerraum mit schrägen Schalungsbrettern betrachtet. Durch den Luftraum für die Einblas- und Ausblasstutzen und aufgrund der schrägen Zwischenböden können nur ca. 2/3 des Lagerraumes befüllt werden. Somit ergibt sich bei einem Lager volumen von 30 Sm^3 ein erforderlicher Rauminhalt von 45 m^3 . Mit dem Lager volumen lassen sich rund 13 Volllasttage überbrücken. Insgesamt muss der Raum pro Jahr ca. 5 mal befüllt werden.

4 Gemeinsame Wärmeversorgung

4.1 Jahreswärmebedarf

Neben dem Wärmebedarf der jeweiligen Objekte müssen hier noch Wärmeverluste des Nahwärmenetzes berücksichtigt werden. Diese können mit 8 - 10% des Wärmebedarfs angesetzt werden. Die folgende Abbildung zeigt den Verlauf des Wärmebedarfs der betrachteten Objekte mit den Netzverlusten, wobei diese gleichmäßig auf die Monate verteilt wurden.

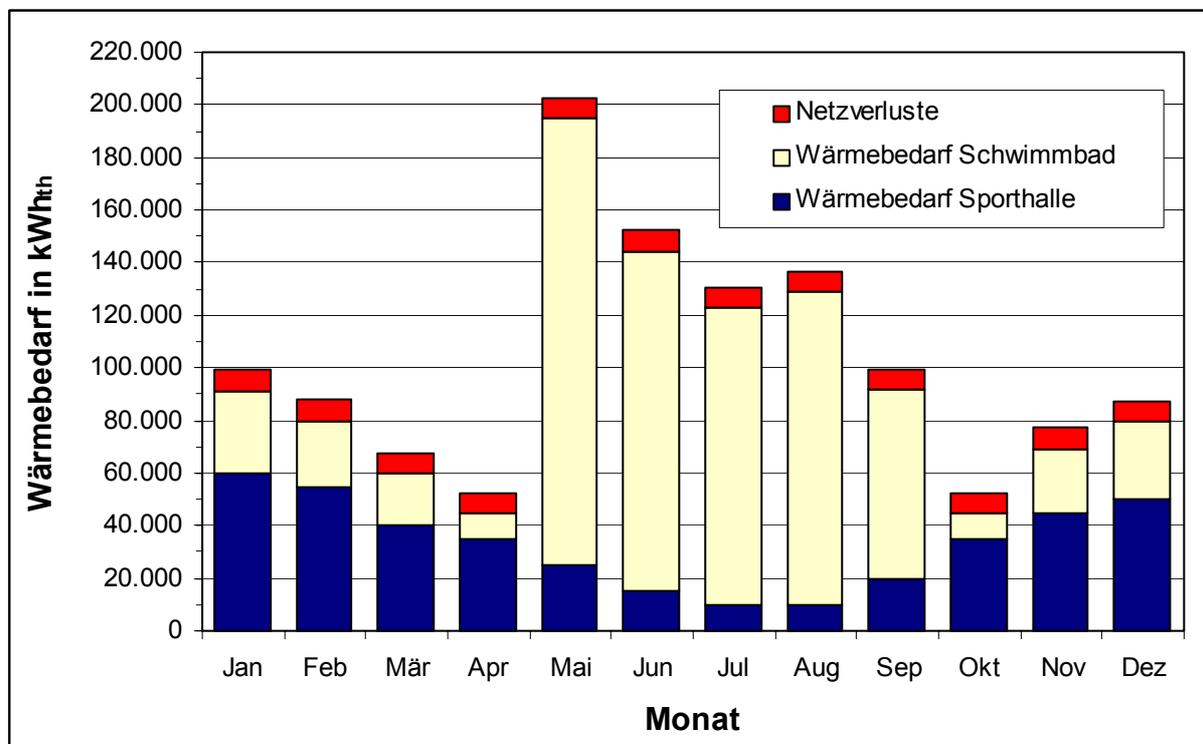


Bild 4-1: Jahresverlauf des Wärmeverbrauchs für Sporthalle und Schwimmbad

Zur Bestimmung des Wärmeleistungsbedarf sind die Sommermonate ausschlaggebend, da hier, vor allem im Mai bei erstmaliger Aufheizung des Beckenwassers, die maximale Wärmeleistung erforderlich ist. Während dieser Zeit wird für die Beheizung der Sporthalle sowie der Gaststätte und Hausmeisterwohnung keine oder nur noch geringe Wärmeleistung benötigt. Mit Berücksichtigung der Netzverluste wird daher im weiteren Verlauf ein maximaler Wärmeleistungsbedarf von 1.200 kW_{th} angesetzt.

Jahreswärmebedarf Sporthalle	:	ca.	400.000 kWh _{th} /a
Jahreswärmebedarf Schwimmbad	:	ca.	751.000 kWh _{th} /a
Verluste Nahwärmenetz	:	ca.	96.000 kWh _{th} /a
Gesamtjahreswärmebedarf	:	ca.	1.247.000 kWh_{th}/a
max. Wärmeleistungsbedarf	:	ca.	1.200 kW_{th}
Vollbenutzungsstunden	:	ca.	1.039 h/a

4.2 Nahwärmenetz / Heizzentrale

Nahwärmenetz:

Die gemeinsame Versorgung von Sporthalle und Schwimmbad erfordert aufgrund der sich geänderten Leistungswerte und des Alters der bestehenden Versorgungsleitung zu der Wärmeübergabestation des Freibades (30 Jahre) ein neues Nahwärmenetz.

Die Trasse des Nahwärmenetzes verläuft, wie im Konzept der DZE AG beschrieben, zwischen Tennishalle und Bolzplatz. Es wird angenommen, dass eine Erneuerung der Wärmetauscher des Freibades nicht erforderlich ist. Die Trassenlänge zwischen bestehender Heizzentrale und Heizraum Sporthalle beträgt ca. 420 m.

Heizzentrale:

Es wird davon ausgegangen, dass für die folgende Variante mit Erdgas NT-Kessel (jeweils mit und ohne Klein BHKW) die bestehende Heizzentrale weiter benutzt werden kann (ausreichend Platzbedarf).

Eine gemeinsame Wärmeversorgung mit einer HHS-Anlage erfordert jedoch aus Platz- und Logistikgründen eine neue Heizzentrale. Die Heizzentrale mit erforderlichem Bunker kann dabei wie im folgenden Lageplan dargestellt in bzw. an die geplanten Sporthalle integriert werden. In der Abbildung ist gleichzeitig die mögliche Trasse der Nahwärmeleitung eingezeichnet.

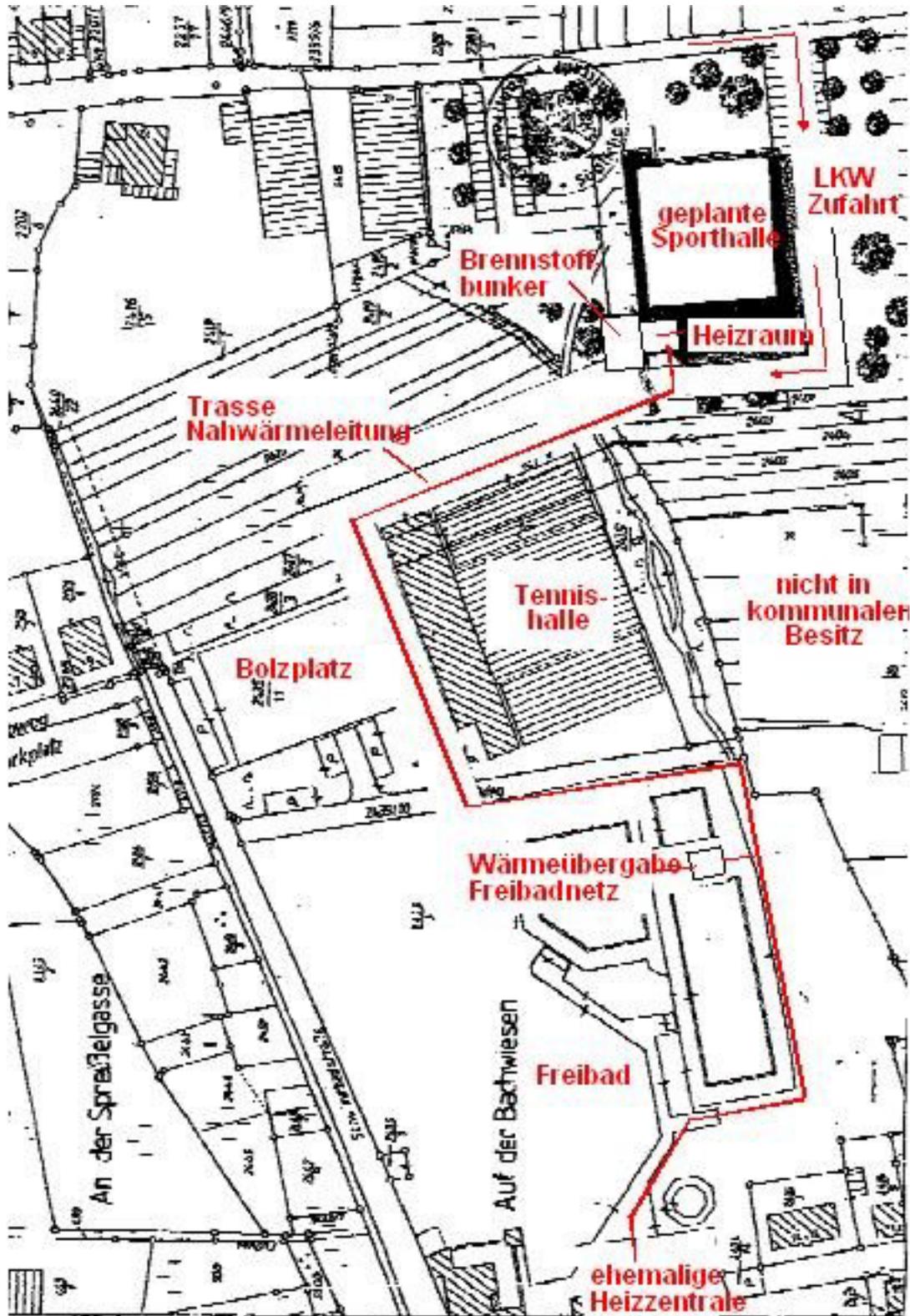


Bild 4-2: Lage der Heizzentrale und möglicher Verlauf der Nahwärmeleitung bei Wärmeversorgung mit einem HHS-Kessel

4.3 Erdgas-Niedertemperaturkessel

Energie- und CO₂-Bilanz:

Für die Nahwärmeversorgung werden Erdgas NT-Kessel betrachtet. Der Wärmebedarf der Sporthalle sowie der Gaststätte und Hausmeisterwohnung wird über einen Kessel mit 250 kW_{th} bereitgestellt. Der Kessel deckt damit die Grundlast ab und erreicht hohe Benutzungsstunden. Die Leistung zur Beckenwassererwärmung wird gleichmäßig auf zwei weitere Kessel aufgeteilt. Es wird bei allen Kessel ein Jahresnutzungsgrad von 92% angesetzt.

Jahreswärmebedarf	:	1.247.000 kWh _{th} /a
Kessel	:	1 x 250 kW _{th} 2 x 475 kW _{th}
Jahresnutzungsgrad	:	92 %
Jahresbrennstoffverbrauch	:	1.355.400 kWh_{BShu}/a = 1.490.940 kWh _{BSho}
CO₂-Emission	:	314.500 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	252 g/kWh _{th}

4.4 Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Klein-BHKW

Bei dieser Variante wird zusätzlich noch ein Klein-BHKW zur Deckung der Grundlast eingesetzt.

Energie- und CO₂-Bilanz:

Das betrachtete Klein-BHKW besitzt eine Nenn-Wärmeleistung von 32 kW_{th} und eine elektrische Leistung von 17 kW_{el}. Die Gesamteffizienz als Quotient aus Nenn-Wärmeleistung und Nenn-Stromleistung bezogen auf den Brennstoffbedarf beträgt 92%. Durch den Schwimmbadbetrieb und aufgrund der verhältnismäßig geringen thermischen Leistung des Klein-BHKW (ca. 3% von max. Wärmeleistungsbedarf) kann die KWK-Anlage nahezu ganzjährig betrieben werden. Für die Energiebilanz werden 7.000 Vollbenutzungsstunden angesetzt.

Jahreswärmebedarf	:	1.247.000 kWh _{th} /a
BHKW	:	17 kW _{el} , 32 kW _{th}
Kessel	:	1 x 220 kW _{th} 2 x 475 kW _{th}
Jahresnutzungsgrad Kessel	:	92 %
Jahresnutzungsgrad BHKW	:	92 %
Wärmelieferung BHKW	:	224.000 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Kessel	:	1.023.000 kWh _{th} /a
Stromlieferung BHKW	:	119.000 kWh _{el} /a
Jahresbrennstoffverbrauch BHKW	:	372.800 kWh _{BShu} /a
Jahresbrennstoffverbrauch Kessel	:	1.112.000 kWh _{BShu} /a
Gutschrift Stromerzeugung	:	- 305.100 kWh _{BShu} /a
Jahresbrennstoffverbrauch	:	1.179.700 kWh_{BShu}/a = 1.297.670 kWh_{BSho}/a
CO ₂ -Emission BHKW	:	86.500 kg/a
CO ₂ -Emission Kessel	:	258.000 kg/a
Gutschrift Stromerzeugung	:	- 82.000 kg/a
CO₂-Emission	:	262.500 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	211 g/kWh _{th}

Bei Vollbenutzungsstunden von 7.000 h/a kann das Klein-BHKW rund 18% des Wärmebedarfs der Sporthalle decken. Gleichzeitig produziert die KWK-Anlage 119.000 kWh_{el}/a.

4.5 Holzhackschnitzelkessel (HHS-Kessel) mit Erdgas-Spitzenlastkessel

Hackschnitzel sind etwa streichholzschachtelgroße Holzstücke, die mit speziellen Hackmaschinen aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung). Durch die Schütffähigkeit der HHS ist der Transport, die Lagerung und die Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Eine automatische Beschickung sowie eine automatische Entaschung und Regelung gewährleisten daher einen kontinuierlichen Betrieb der HHS-Anlage ohne großen Bedienungsaufwand.

Die Anforderungen an die Lagerung sowie die Größe des HHS-Lagers und die Wahl des Austragungssystems werden primär durch die Brennstofffeuchte, die zu lagernde Menge und sekundär durch die zur Verfügung stehenden Flächen und die örtlichen Gegebenheiten bestimmt. Das HHS-Lager kann als Silo (z.B. Fahr- bzw. Turmsilo), als Bunker oder als eigenes Gebäude ausgeführt werden. Alternativ dazu kann der Brennstoff auch in Containern geliefert werden.

Aus dem HHS-Lager werden kontinuierlich die Hackschnitzel zum Ofen transportiert. Hierzu werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragschnecken, die eine automatische Entleerung des Lagers ermöglichen, eingesetzt.

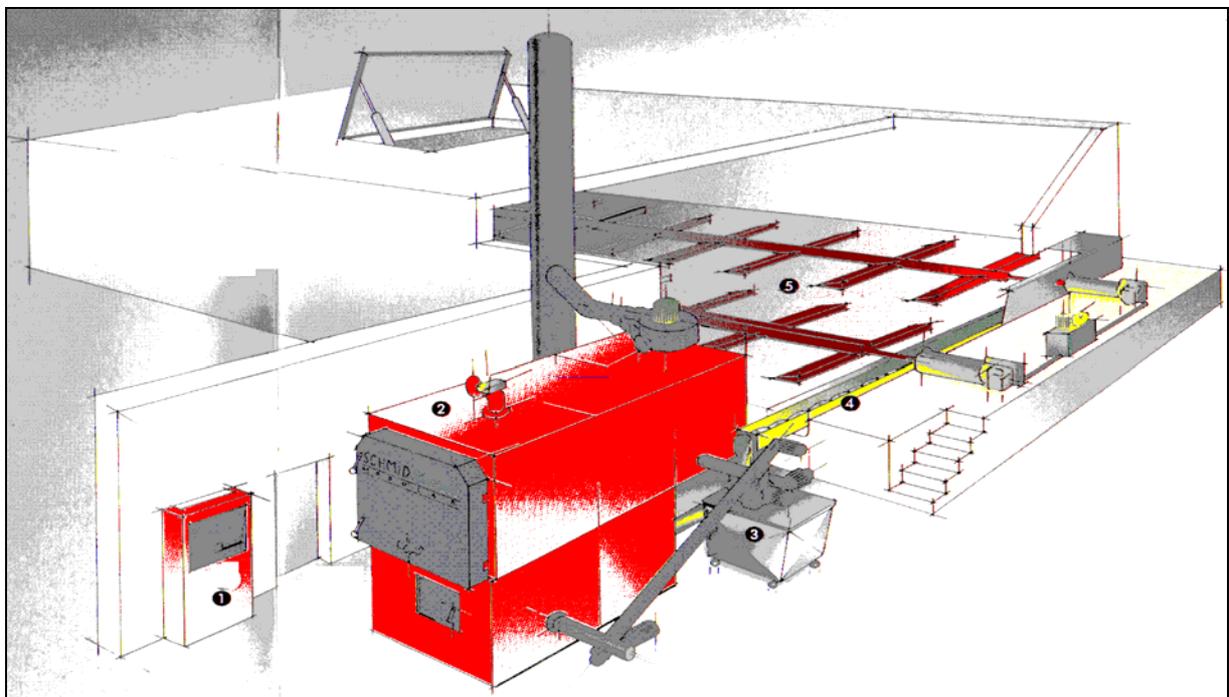


Bild 4-3: Schubbodenaustragung mit HHS-Heizung (Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

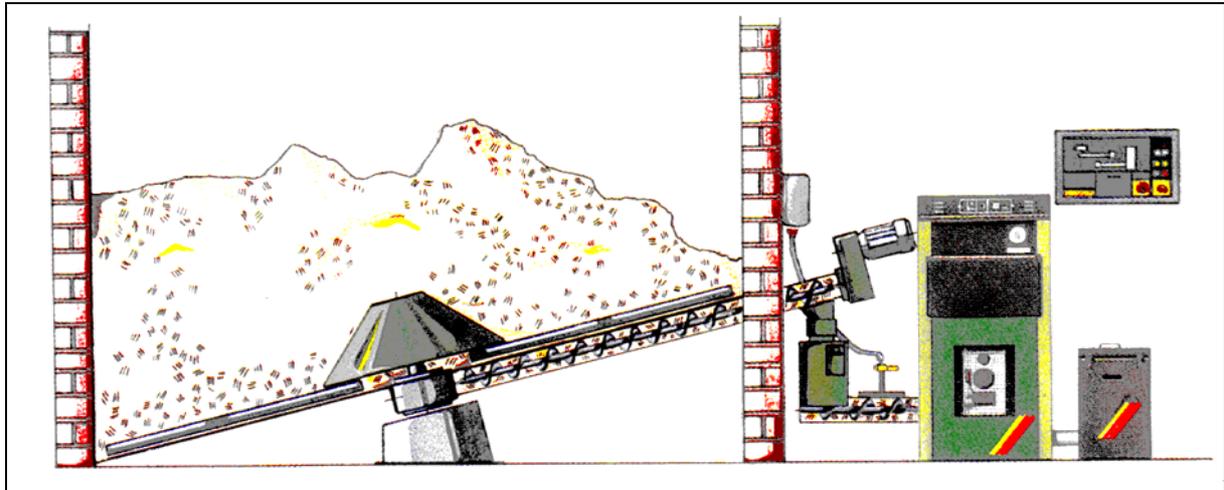


Bild 4-4: Austragschnecke mit HHS-Heizung (Fa. Herz, A-Sebersdorf)

Nach der Siloaustragung übernehmen Beschickungssysteme die Aufgabe, das Brennmaterial zur Feuerung zu befördern. Die letzte der Förderschnecken wird auch Dosierschnecke genannt, weil über diese Schnecke die Leistung der Heizung geregelt werden kann. Grundsätzlich sollte das Hackschnitzelsilo möglichst nah am Ofen angeordnet sein. Dadurch können die Transportschnecken kurz gehalten werden und das Risiko des „Brennstoffverklemmens“ sinkt.

Der mit der Dosierschnecke in die Brennkammer gebrachte Brennstoff wird in die Brennstoffmulde geschoben und dort unter Zufuhr von Luft verbrannt. Die Restverbrennung der Gase erfolgt unter Sekundärluftzugabe in der Brennkammer über der Mulde. Die heißen Brenngase übertragen dann über Wärmetauscher ihre Energie an das Heizmedium Wasser. Für den vorgesehenen Leistungsbereich werden bevorzugt Unterschub- und Vorofenfeuerung eingesetzt.

Zu einer modernen Holzfeuerungsanlage gehört auch ein Regelungskonzept. Man unterscheidet die Leistungsregelung, die auf die Anpassung der Wärmeproduktion an den geforderten Wärmebedarf zielt und die Verbrennungsregelung, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

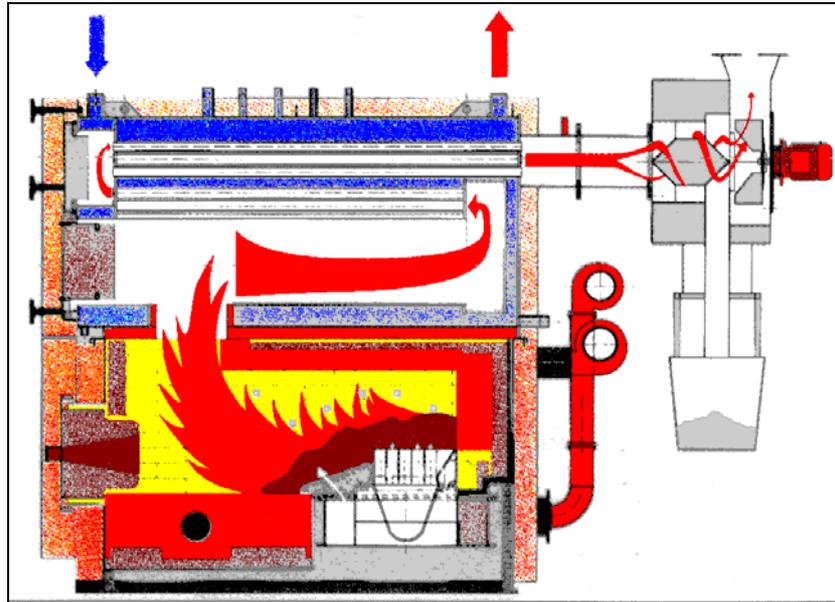


Bild 4-5: Verbrennungskammer, Kessel und Staubabscheider (Fa. Mawera, Lindau)

Die Staubabscheidung erfolgt je nach Leistungsgröße des Kessels mit einem oder mehreren Zyklonen. Zur Rauchgasreinigung bei Anlagen mit einer Kesselleistung ab ca. 500 kW_{th} werden zusätzlich Gewebe-, Elektrofilter oder eine Rauchgaskondensation eingesetzt.

Auslegung:

Da Holzessel etwa zweimal so teuer sind wie Gas/Ölessel, werden sie üblicherweise nur für den Grund- und Mittellastbedarf ausgelegt. Dies hat jährlich hohe Vollbenutzungsstunden des Holzessels zur Folge, so dass die Investitionssumme auf mehr Betriebsstunden verteilt wird und zu einer günstigen Amortisationszeit führt.

Es wird ein HHS-Kessel mit 250 kW_{th} betrachtet. Der Kessel ist über einen Bereich von 30 - 100% seiner Nennleistung regelbar, so dass davon ausgegangen werden kann, dass in der Heizperiode ohne Betrieb des Freibades der Wärmebedarf der Sporthalle sowie der Gaststätte und Hausmeisterwohnung nahezu vollständig durch den HHS-Kessel gedeckt wird. Es wird zusätzlich ein 8 m³ Pufferspeicher installiert, damit der HHS-Kessel bei einem Bedarf unter der minimalen Heizleistung nicht zu oft schaltet. Im folgenden wird davon ausgegangen, dass von Oktober bis April 90% des Wärmebedarfs durch den HHS-Kessel abgedeckt werden.

Zu Beginn des Freibadbetriebes muss das Beckenwasser aufgeheizt werden, wozu die maximale Wärmeleistung erforderlich ist. Dies ist jedoch nur zu einer sehr kurzen Zeit der Fall.

Freibad	:	3.400 m ³ Beckenwasser
Temperaturdifferenz Erwärmung	:	ca. 20 °C
Wärmebedarf	:	ca. 79.000 kWh _{th}
Kesselleistung	:	ca. 1.200 kW _{th}
Aufheizzeit	:	ca. 66 h

Nach erfolgter Aufheizung müssen von der Heizung lediglich die Wärmeverluste durch Konvektion, Abstrahlung und Verdunstung an der Wasseroberfläche ausgeglichen werden. Hierzu ist eine wesentlich geringere Leistung als die zu installierende Spitzenleistung erforderlich. Im folgenden wird davon ausgegangen, dass im Monat Mai mit einmaligen Aufheizvorgang 50% des Wärmebedarfs und in den folgenden Monaten mit Freibadbetrieb 30% des Wärmebedarfs über die Spitzenlastkessel bereitgestellt werden.

Oktober – April:	:	524.900 kWh_{th}
HHS-Kessel (90%)	:	472.400 kWh _{th}
Erdgas-Spitzenlastkessel (0%)	:	52.500 kWh _{th}
Mai:	:	202.600 kWh_{th}
HHS-Kessel (50%)	:	101.300 kWh _{th}
Erdgas-Spitzenlastkessel (50%)	:	101.300 kWh _{th}
Juni – September	:	519.500 kWh_{th}
HHS-Kessel (70%)	:	363.700 kWh _{th}
Erdgas-Spitzenlastkessel (30%)	:	155.800 kWh _{th}

Nach Aussage von Herrn Heine, Bauverwaltung VG-Verwaltung Maikammer ist für den Erdgasbezug kein Grund- bzw. Leistungspreis zu entrichten, so dass es sich bei dem Arbeitspreis um einen Mischpreis handelt. Aus diesem Grund wird für den Spitzenlastkessel der Brennstoff Erdgas eingesetzt. Es entfallen damit die Kosten für die Heizölbevorratung.

Energie- und CO₂-Bilanz:

Jahreswärmebedarf	:	1.247.000 kWh _{th} /a
HHS-Kessel	:	250 kWh _{th}
Spitzenlastkessel	:	2 x 475 kWh _{th}
Jahresnutzungsgrad HHS-Kessel	:	82 %
Jahresnutzungsgrad Spitzenkessel	:	92 %
Wärmelieferung HHS-Kessel	:	ca. 937.400 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Spitzenkessel	:	ca. 309.600 kWh _{th} /a
Jahresbrennstoffverbrauch Holz	:	1.143.200 kWh _{BShu} /a
	=	1.429 Sm ³ /a = 357 t HHS/a
Jahresbrennstoffverbrauch Erdgas	:	336.500 kWh _{BShu} /a
Jahresbrennstoffverbrauch	:	1.479.700 kWh_{BShu}/a
CO₂-Emission	:	115.800 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	93 g/kWh _{th}

Lagerung HHS:

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte das Holzhackschnitzellager direkt neben der Heizzentrale errichtet werden. Es wird ein unterirdischer Brennstoffbunker betrachtet, in den die HHS über eine verschließbare Befüllöffnung vom LKW in das Lager gekippt werden können. Die Zufahrt zum Hackschnitzellager erfolgt über die Straße „An der Steinmühle“.

Der HHS-Kessel deckt ca. 75% des Jahreswärmebedarfs. Hierzu sind bei einem Energieinhalt der HHS von 800 kWh_{BS}/Sm³ jährlich rund 1.430 Sm³ bzw. 360 t an HHS erforderlich. Die Austragung aus dem Bunker geschieht mittels hydraulischer Schubböden. Für die erforderliche Bunkergröße werden zwei Schubstangen eingesetzt, die wechselweise durch Vor- und Rückhub das Material aus dem Bunker in eine Querförderschnecke befördern. Die Anlieferung der HHS erfolgt in Volumen von 60 - 110 m³, so dass bei einer Brennstoffbevorratung von rund 90 Sm³ in etwa 10 Volllasttage überbrückt werden können. Über das Jahr betrachtet muss der Bunker ca. 16 mal befüllt werden.

4.6 Holzhackschnitzelkessel in Kombination mit einer Solarabsorberanlage

Es wird der vorhin beschriebene HHS-Kessel zusammen mit der 600 m² großen Solarabsorberanlage betrachtet. Die Solarabsorberanlage liefert in den Sommermonaten wieder die Grundlast für die Beheizung des Schwimm- und Sprungbeckens. Zur Nachheizung steht vorrangig der 250 kW_{th} HHS-Kessel zur Verfügung, der bei Spitzenlast von den Erdgas NT-Kesseln unterstützt wird.

Energie- und CO₂-Bilanz:

Jahreswärmebedarf	:	1.247.000 kWh _{th} /a
HHS-Kessel	:	250 kW _{th}
Spitzenlastkessel	:	2 x 465 kW _{th}
Jahresnutzungsgrad HHS-Kessel	:	82 %
Jahresnutzungsgrad Spitzenkessel	:	92 %
Wärmelieferung Solarabsorber	:	ca. 143.400 kWh _{th} /a
Wärmelieferung HHS-Kessel	:	ca. 794.000 kWh _{th} /a
Wärmelieferung Spitzenkessel	:	ca. 309.600 kWh _{th} /a
Jahresbrennstoffverbrauch Holz	:	968.300 kWh _{BShu} /a
	=	1.210 Sm ³ /a = 303 t HHS/a
Jahresbrennstoffverbrauch Erdgas	:	336.500 kWh _{BShu} /a
Jahresbrennstoffverbrauch	:	1.304.800 kWh_{BShu}/a
CO₂-Emission	:	110.100 kg/a
spezifische CO ₂ -Emission	:	88 g/kWh _{th}

Der HHS-Kessel deckt ca. 64% des Jahreswärmebedarfs ab. Hierzu sind bei einem Energieinhalt der HHS von 800 kWh_{BS}/Sm³ jährlich rund 1.210 Sm³ bzw. 300 t an HHS erforderlich. Insgesamt werden 75% des Wärmebedarfs mit regenerativer Energie bereitgestellt. Bei einer Brennstoffbevorratung von rund 90 Sm³ können in etwa 10 Volllasttage überbrückt werden. Über das Jahr betrachtet muss der Bunker ca. 13 mal befüllt werden.

5 CO₂-Vergleich

Die ökologische Bewertung der verschiedenen Varianten erfolgt anhand der CO₂-Emission. Die folgende Abbildung zeigt den jeweiligen CO₂-Ausstoß. Für einen Vergleich der getrennten Wärmeversorgung von Schwimmbad und Sporthalle (dunkle Balken oben) mit einer gemeinsamen Wärmeversorgung (helle Balken unten) sind nun verschiedene Kombinationen möglich.

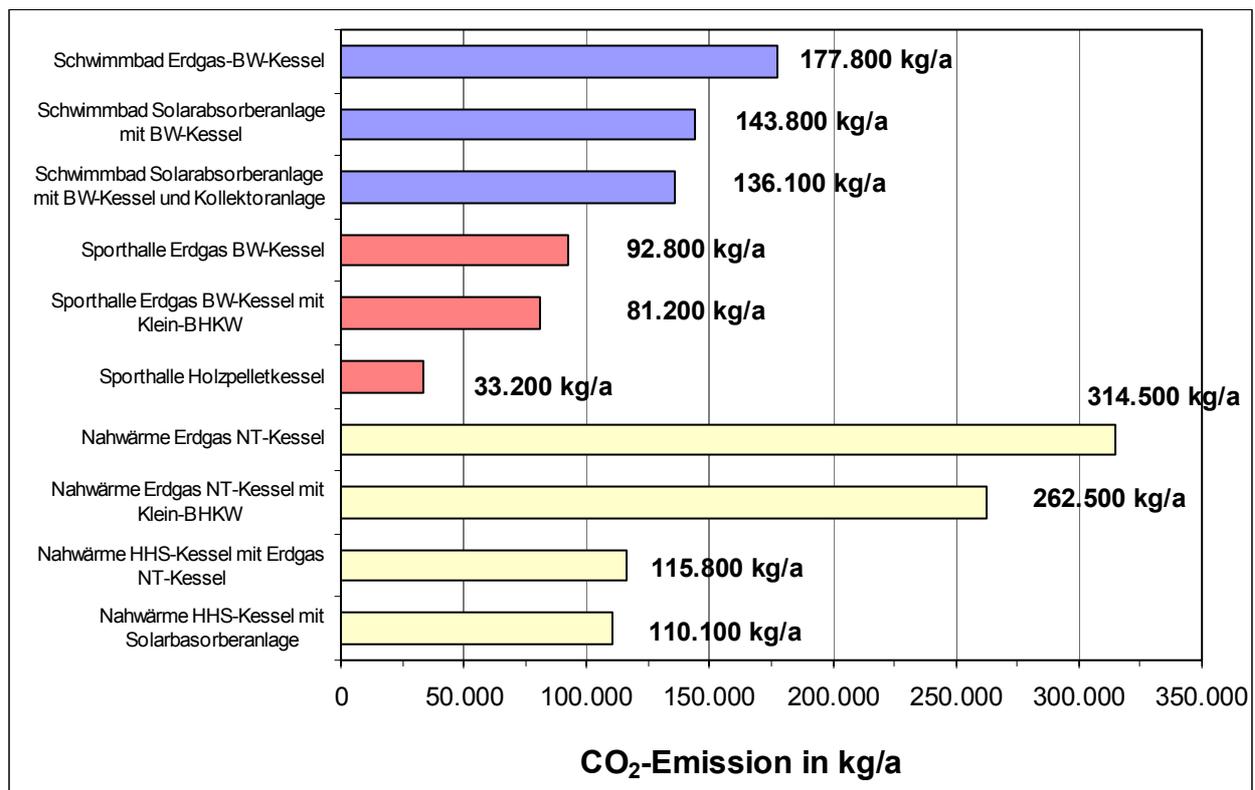


Bild 5-1: CO₂-Emissionen der verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten

Eine getrennte Wärmeversorgung mit Erdgas BW-Kessel verursacht CO₂-Emissionen in Höhe von 270.600 kg/a. Mit der Installation einer 600 m² großen Solarabsorberanlage kann diese Menge um ca. 13% auf 236.600 kg/a gesenkt werden. Die geringsten CO₂-Emission einer getrennten Wärmeversorgung verursachen unter den betrachteten Varianten die Solarabsorberanlage mit Erdgas BW-Kessel in Kombination mit einer Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung im Freibad und ein monovalent betriebener Kessel zur Verfeuerung von Holzpellets in der Sporthalle. Es ergeben sich hier Emissionen in Höhe von rund 169.300 kg/a.

Die gemeinsame Wärmeversorgung ist dann ökologisch günstig, wenn zur Wärmeerzeugung ein HHS-Kessel eingesetzt wird.

6 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2067 nach der die jährlichen Kosten über die kapital-, betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt werden. Mit Hilfe der Jahreskosten lässt sich der spezifische Wärmegestehungspreis für die Varianten bestimmen und miteinander vergleichen.

6.1 Schwimmbad

6.1.1 Erdgas-Brennwertkessel

Es wird hier nur die einfache Erneuerung der bestehenden Kessel gegen Erdgas-Brennwertkessel betrachtet. Die Erneuerung beinhaltet dabei den Austausch der Kessel, der Brenner und der Kesselregelung. Es wird angenommen, dass die Abgasführung über die vorhandenen Schornsteine erfolgen kann. Für die elektrische und hydraulische Einbindung der Kesselanlage werden pauschal 5.000 € und für die Demontage der alten Kessel pauschal 2.000 € angesetzt. Kosten für Planung und unvorhergesehene Ausgaben werden mit 10% der Investitionssumme berücksichtigt. Die folgende Tabelle listet die einzelnen Investitionsbeträge mit der jeweiligen rechnerischen Nutzungsdauer auf.

Tabelle 6-1: Investition Erdgas-Brennwertkessel

	Investition	Nutzungsdauer
Erdgas BW-Kessel (2 x 535 kW _{th} und 1 x 85 kW _{th}) mit Brenner, Regelung und Zubehör	78.800 EUR	20 Jahre
Elektrische und hydraulische Einbindung	5.000 EUR	20 Jahre
Demontage alter Kessel	2.000 EUR	30 Jahre
Bauliche Anpassungsarbeiten Heizraum	5.000 EUR	30 Jahre
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	9.100 EUR	30 Jahre
Mehrwertsteuer	15.980 EUR	
Gesamtinvestition	115.880 EUR	

Kapitalgebundene Kosten:



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten : 9.832 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die betriebsgebundenen Kosten beinhalten die Wartung und Instandhaltung der Heizkessel. Diese werden mit 1,5% der Investitionssumme (ohne Planung und Mehrwertsteuer) berechnet.

Betriebskosten : 1.362 €/a

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der Heizkessel. Der Erdgas-Arbeitspreis wurde der Gasabrechnung April 2002 entnommen. Nach Aussage von Herrn Heine, Bauverwaltung VG-Verwaltung Maikammer ist für den Erdgasbezug kein Grund- bzw. Leistungspreis zu entrichten, so dass es sich bei dem Arbeitspreis um einen Mischpreis handelt. Als Arbeitspreis für die elektrische Energie wurden 12 Ct/kWh_{el} angenommen. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um die Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie BW-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	21.635 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	2.931 €/a
Hilfsenergie	:	901 €/a
Mehrwertsteuer	:	4.075 €/a
Verbrauchskosten	:	29.542 €/a

6.1.2 Solarabsorberanlage mit Erdgas-Brennwertkessel

Für die Beheizung der Gaststätte und der Hausmeisterwohnung wird die einfache Erneuerung des vorhandenen Kessels betrachtet. Durch die Solarabsorberanlage können die Kessel für die Schwimmbadanlage etwas kleiner dimensioniert werden. Es wird wieder angenommen, dass die Abgasführung über die vorhandenen Schornsteine erfolgen kann. Für die Absorberanlage kann mit einem spezifischen Preis von 80 €/m² Absorberfläche gerechnet werden. Es handelt sich hier um einen Systempreis, d.h. alle Systemkomponenten einschließlich Verlegung der Bahnen mit Installation und Montage sind enthalten.

Tabelle 6-2: Investition Solarabsorberanlage mit Erdgas-Brennwertkessel

	Investition	Nutzungsdauer
Erdgas BW-Kessel (2 x 465 kW _{th} und 1 x 85 kW _{th}) mit Brenner, Regelung und Zubehör	69.000 EUR	20 Jahre
Elektrische und hydraulische Einbindung	5.000 EUR	20 Jahre
Demontage alter Kessel	2.000 EUR	30 Jahre
Bauliche Anpassungsarbeiten Heizraum	5.000 EUR	30 Jahre
Solarabsorberanlage (600 m ²)	51.000 EUR	20 Jahre
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	13.200 EUR	30 Jahre
Mehrwertsteuer	23.230 EUR	
Gesamtinvestition	168.430 EUR	

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten : 14.344 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Für Wartung und Instandhaltung der Kesselanlage werden wieder 1,5% und für die Solarabsorberanlage 1,0% der jeweiligen Investitionssumme angesetzt.

Betriebskosten : 1.725 €/a

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der Heizkessel und der Umwälzpumpen der Absorberanlage. Mit der Solarabsorberanlage können jährlich rund 143.400 kWh_{th} bzw. 146.300 kWh_{BShu} eingespart werden, so dass sich geringere Verbrauchskosten ergeben. Laut Simulationsprogramm ist für Umwälzung der Absorberanlage eine mechanische Energiemenge von ca. 720 kWh/a erforderlich. Bei einem Wirkungsgrad von 80% ergibt sich ein Energiebedarf für die Umwälzpumpe von 900 kWh_{el}/a. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie BW-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Umwälzpumpe Absorberanlage	:	900 kWh _{el} /a
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	17.504 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	2.371 €/a
Hilfsenergie	:	837 €/a
Mehrwertsteuer	:	3.314 €/a
Verbrauchskosten	:	24.026 €/a

6.1.3 Solarabsorberanlage mit Erdgas BW-Kessel und Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung

Die Investitionskosten für die Kesselanlage und die Absorberanlage entsprechen denen der vorangegangenen Variante. Für die Kollektoranlage kann mit einem Systempreis von 550 €/m² Kollektorfläche (ohne Planung) gerechnet werden. Hierin sind die Kosten für die Kollektoren einschließlich Zubehör, Puffer- und Warmwasserspeicher sowie Montage enthalten.

Über das Bundesamt für Wirtschaft kann im Rahmen des Marktanreizprogramms zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien eine Förderung in Höhe von 92 €/m² Kollektorfläche beantragt werden. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird daher mit und ohne Förderung gerechnet.

Tabelle 6-3: Investition Solarabsorberanlage mit Erdgas-Brennwertkessel und Kollektoranlage

	Investition	Nutzungsdauer
Erdgas BW-Kessel (2 x 465 kW _{th} und 1 x 85 kW _{th}) mit Brenner, Regelung und Zubehör	69.000 EUR	20 Jahre
Elektrische und hydraulische Einbindung	5.000 EUR	20 Jahre
Demontage alter Kessel	2.000 EUR	30 Jahre
Bauliche Anpassungsarbeiten Heizraum	5.000 EUR	30 Jahre
Solarabsorberanlage (600 m ²)	51.000 EUR	20 Jahre
Kollektoranlage (70 m ²)	38.500 EUR	20 Jahre
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	17.100 EUR	30 Jahre
Mehrwertsteuer	30.020 EUR	
Gesamtinvestition ohne Förderung	217.620 EUR	
Fördermittel aus Bundesprogramm	6.440 EUR	
Gesamtinvestition mit Förderung	211.180 EUR	

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten ohne Förderung	:	18.566 €/a
Kapitalkosten mit Förderung	:	17.915 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Für Wartung und Instandhaltung der Kesselanlage werden wieder 1,5% und für die Absorber- und Kollektoranlage 1,0% der jeweiligen Investitionssumme angesetzt.

Betriebskosten	:	2.110 €/a
----------------	---	-----------

Verbrauchsgebundene Kosten:

Mit der Kollektoranlage können zu der bereits betrachteten Absorberanlage nochmals rund 32.600 kWh_{th}/a bzw. 33.300 kWh_{BShU}/a eingespart werden. Der Energiebedarf für die Umwälzpumpe in der Solarstation wird mit 1,5% der gewonnenen Solarenergie angesetzt. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie BW-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Umwälzpumpe Absorberanlage	:	900 kWh _{el} /a
Umwälzpumpe Kollektoranlage	:	490 kWh _{el} /a
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	16.564 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	2.244 €/a
Hilfsenergie	:	857 €/a
Mehrwertsteuer	:	3.146 €/a
Verbrauchskosten	:	22.811 €/a

6.1.4 Vergleich der Varianten

In der folgenden Tabelle werden für die dargestellten Versorgungsvarianten des Schwimmbades die einzelnen Kostenblöcke zusammengestellt und daraus die Jahreskosten bestimmt. Über den Jahreswärmebedarf lassen sich die Wärmegestehungskosten als weiteres Kriterium für den Vergleich der Varianten bilden.

Tabelle 6-4: Vergleich der beiden Varianten

		Erdgas BW-Kessel	Absorberanlage mit BW-Kessel	Absorberanlage mit BW-Kessel + Kollektoranlage
Investition ohne Fördermittel	€	115.880	168.430	217.620
<i>Investition mit Förderung</i>	€			211.180
Kapitalkosten	€/a	9.832	14.344	18.566
<i>Kapitalkosten mit Förderung</i>	€/a			17.915
Betriebskosten	€/a	1.362	1.725	2.110
Verbrauchskosten	€/a	29.541	24.026	22.811
Jahreskosten	€/a	40.735	40.095	43.487
<i>Jahreskosten mit Förderung</i>	€/a			42.836
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	751.000	751.000	751.000
Spez. WGK ¹	Ct/kWh _{th}	5,4	5,3	5,8
<i>Spez WGK mit Förderung</i>	Ct/kWh _{th}			5,7

¹ WGK = Wärmegestehungskosten

Die Jahreskosten einer Solarabsorberanlage (600 m²) liegen im Vergleich zu einer reinen Versorgung mit Erdgas in etwa gleich hoch, so dass sich bei beiden Varianten ungefähr die gleichen Wärmegestehungskosten einstellen. Es lassen sich jedoch jährlich rund 5.100 - 5.200 € bei den Betriebs- und Verbrauchskosten einsparen, so dass die Mehrinvestition in die Absorberanlage nach rund 10 Jahren und damit innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet ist.

Eine zusätzliche Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung erhöht trotz Berücksichtigung der Fördermittel durch den Bund die Jahreskosten um jährlich ca. 2.700 €.

6.2 Sporthalle

6.2.1 Erdgas-Brennwertkessel

Für die separate Wärmeversorgung der Turnhalle werden in der Investitionssumme Kosten für Regeltechnik und Verkabelung, Verrohrung und Wärmedämmung, Schornstein sowie für einen Gasanschluss berücksichtigt (Gasanschluss einschließlich Verlegung von 50 m Leitung). Kosten für den Heizraum werden nicht angesetzt. Der betrachtete Brennwertkessel wird mit einem Körperschalldämpfenden Unterbau und einer Brenner-Schalldämpfhaube für eine geräuscharme Betriebsweise ausgestattet. Die folgende Tabelle listet die einzelnen Investitionsbeträge mit der jeweiligen rechnerischen Nutzungsdauer und den Faktoren für Wartung und Betrieb auf.

Tabelle 6-5: Investition Erdgas-Brennwertkessel

	Investition	Nutzungs- dauer	Betrieb, Wartung
Erdgas BW-Kessel (250 kW _{th}) mit Brenner und Zubehör	22.700 EUR	20 Jahre	2 %
Regeltechnik und Verkabelung	6.500 EUR	20 Jahre	2 %
Verrohrung und Wärmedämmung	15.000 EUR	20 Jahre	2 %
Schornstein	4.500 EUR	30 Jahre	1 %
Gasleitung und Gasanschluss	6.500 EUR	50 Jahre	1 %
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	5.500 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	9.710 EUR		
Gesamtinvestition	70.410 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten : 5.791 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden hier prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt (kein wesentlicher Mehraufwand).

Betriebskosten : 994 €/a

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der Heizkessel. Der Erdgas-Arbeitspreis wurde der Gasabrechnung April 2002 entnommen. Nach Aussage von Herrn Heine, Bauverwaltung VG-Verwaltung Maikammer ist für den Erdgasbezug kein Grund- bzw. Leistungspreis zu entrichten, so dass es sich bei dem Arbeitspreis um einen Mischpreis handelt. Als Arbeitspreis für die elektrische Energie wurden 12 Ct/kWh_{el} angenommen. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um die Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie BW-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	11.293 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	1.530 €/a
Hilfsenergie	:	480 €/a
Mehrwertsteuer	:	2.128 €/a
Verbrauchskosten	:	15.431 €/a

6.2.2 Erdgas-Brennwertkessel mit Klein-BHKW

Die Kosten für ein Klein-BHKW liegen bei 13.600 €. Darin sind Zubehörteile und die Installation inbegriffen. Aufgrund der kompakten Abmessungen des Klein-BHKW müssen keine zusätzlichen Investitionen in einen größeren Heizraum eingerechnet werden. Die Kosten für Planung und unvorhergesehene Ausgaben wurden der Variante mit Erdgas-Brennwertkessel entnommen.

Tabelle 6-6: Investition Erdgas-Brennwertkessel mit Klein-BHKW

	Investition	Nutzungsdauer	Betrieb, Wartung
Erdgas BW-Kessel (250 kW _{th}) mit Brenner und Zubehör	22.700 EUR	20 Jahre	2 %
Klein-BHKW (5,5 kW _{el} , 12,5 kW _{th})	13.600 EUR	15 Jahre	2,5 Ct/kWh _{el}
Regeltechnik und Verkabelung	6.500 EUR	20 Jahre	2 %
Verrohrung und Wärmedämmung	15.000 EUR	20 Jahre	2 %
Schornstein	4.500 EUR	30 Jahre	1 %
Gasleitung und Gasanschluss	6.500 EUR	50 Jahre	1 %
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	5.500 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	11.890 EUR		
Gesamtinvestition	86.190 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten : 7.416 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden wieder prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Für das Klein-BHKW werden 2,5 Ct/kWh_{el} angesetzt (Vollwartung). Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt (kein wesentlicher Mehraufwand).



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im

Betriebskosten : 1.819 €/a

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der beiden Wärmerezeuger. Der Erdgas-Arbeitspreis wurde der Gasabrechnung April 2002 entnommen. Die Erdgas-Steuer kommt hier nur für den Brennstoffbezug des Brennwertkessels zum Tragen. Als Arbeitspreis für die elektrische Energie wurden 12 Ct/kWh_{el} angenommen. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um die Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie BW-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Hilfsenergie Klein-BHKW	:	1,50 % der BS-Kosten
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	12.640 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	1.243 €/a
Hilfsenergie	:	598 €/a
Mehrwertsteuer	:	2.317 €/a
Verbrauchskosten	:	16.798 €/a

Bestimmung Erlöse BHKW für Stromerzeugung:

Es wird angenommen, dass der gesamte produzierte Strom in das öffentliche Netz (0,4 kV Netz) eingespeist wird, da aufgrund des am 01. April 2002 in Kraft getretenen KWK-Gesetzes Mini-KWK-Anlage bis 50 kW_{el}, sofern sie im Zeitraum vom 01. April 2002 bis zum 31. Dezember 2005 in Dauerbetrieb gehen, eine Zuschlagszahlung in

Höhe von 5,11 Ct/kWh_{el} über einen Zeitraum von 10 Jahren nach Inbetriebnahme der Anlage erhalten.

Die hier angegebenen Vergütungen entsprechen denen der Pfalzwerke AG.

Vermiedene Netzkosten Leistung	:	63,00 €/kW _{el}
Vermiedene Netzkosten Arbeit	:	0,44 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung	:	1,50 Ct/kWh _{el}
KWK-Gesetz	:	5,11 Ct/kWh _{el}
Erlöse Stromerzeugung	:	2.673 €/a

6.2.3 Heizkessel zur Verfeuerung von Holzpellets

Die Investitionssumme des Heizkessels berücksichtigt eine Unterschubfeuerung und Staubabscheider mit Rauchgasventilator sowie Kosten für Montage und Inbetriebnahme. In den Kosten für den Brennstofftransport ist eine Raumaustragungs- und eine Dosierschnecke sowie eine Brandschutzklappe zur Rückbrandsicherung und Druckabschirmung in den Stillstandsphasen enthalten. Für den zusätzlichen Lagerraum der Holzpellets werden 150 €/m³ umbauten Raum angesetzt.

Es besteht die Möglichkeit für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung von fester Biomasse beim Bundesamt für Wirtschaft eine Förderung zu beantragen. Danach werden Anlagen bis zu einer Nennwärmeleistung von 100 kW_{th} mit einem Zuschuss von 55 €/kW_{th} gefördert. Bei Errichtung von HHS-Anlagen mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} gibt es ebenfalls einen KfW-Teilschuldenerlass in Höhe von 55 €/kW_{th} (maximal werden 250.000 € gezahlt).

Ferner fördert auch das Land Rheinland-Pfalz über das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau Anlagen zur energetischen Nutzung fester Biomasse. Dabei wird für Heizungsanlagen mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 20 kW_{th} ein Betrag von 75 €/kW_{th} bewilligt.

Da die Förderung des Landes Rheinland-Pfalz mit anderen Förderprogrammen nicht kumulierbar ist, wird die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit dem Förderbetrag des Landes Rheinland-Pfalz gerechnet.

Tabelle 6-7: Investition Holzpelletkessel

	Investition	Nutzungs- dauer	Betrieb, Wartung
Heizkesselanlage (250 kW _{th})	27.000 EUR	15 Jahre	3,0 %
Brennstofftransport	6.000 EUR	20 Jahre	3,0 %
Regeltechnik und Verkabelung	9.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
Pufferspeicher (8 m ³)	7.500 EUR	20 Jahre	2,0 %
Verrohrung und Wärmedämmung	15.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
Schornstein	4.500 EUR	30 Jahre	1,0 %
Zusätzlicher Lagerraum	6.750 EUR	30 Jahre	1,0 %
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	7.600 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	12.890 EUR		
Gesamtinvestition ohne Förderung	96.690 EUR		
Fördermittel aus Landesprogramm	18.750 EUR		
Gesamtinvestition mit Förderung	77.940 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten ohne Förderung	:	8.606 €/a
Kapitalkosten mit Förderung	:	6.710 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden wieder prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt (kein wesentlicher Mehraufwand).

Betriebskosten	:	1.773 €/a
----------------	---	-----------

Verbrauchsgebundene Kosten:

Bei der in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Auslegung des Lagerraums werden pro Lieferung ca. 30 Sm³ bzw. rund 20 t Holzpellets angeliefert (bei vollständiger Entleerung des Lagerraums). Für den Bezug der Holzpellets werden 130 €/t angesetzt. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um Nettopreise. Es gilt hier jedoch zu berücksichtigen, dass für den Bezug der Holzpellets nur ein verminderter Mehrwertsteuersatz von 7% zum Tragen kommt.

Holzpelletpreis einschließlich Frachtkosten	:	130 €/t = 2,65 Ct/kWh _{BS}
Hilfsenergie Kessel + Brennstofftransport	:	0,02 kWh _{el} /kWh _{th}
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Kosten Holzpellets	:	12.942 €/a
Hilfsenergie	:	960 €/a
Mehrwertsteuer	:	1.060 €/a
Verbrauchskosten	:	14.962 €/a

6.2.4 Vergleich der Varianten

Die folgende Tabelle fasst die einzelnen Kostenblöcke der betrachteten Versorgungsvarianten für die Sporthalle wieder zusammen.

Tabelle 6-8: Vergleich der Varianten

		Erdgas BW-Kessel	Erdgas BW-Kessel und Klein-BHKW	Holzpellet
Investition ohne Fördermittel	€	70.410	86.190	96.690
<i>Investition mit Förderung</i>	€			77.940
Kapitalkosten	€/a	5.791	7.416	8.606
<i>Kapitalkosten mit Förderung</i>	€/a			6.710
Betriebskosten	€/a	994	1.819	1.733
Verbrauchskosten	€/a	15.431	16.798	14.962
Gutschrift Stromerlöse	€/a		- 2.673	
Jahreskosten	€/a	22.216	23.360	25.301
<i>Jahreskosten mit Förderung</i>	€/a			23.405
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	400.000	400.000	400.000
Spez. WGK ¹	Ct/kWh _{th}	5,6	5,8	6,3
<i>Spez WGK mit Förderung</i>	Ct/kWh _{th}			5,9

¹ WGK = Wärmegestehungskosten

Die Wärmegestehungskosten der betrachteten Varianten liegen dicht beieinander. Die günstigste Variante stellt die Wärmeversorgung mit Erdgas-Brennwertkessel dar. Bei einer Wärmeversorgung mit Klein-BHKW ergeben sich rund 1.100 - 1.200 € höhere Jahreskosten. Die Stromgutschrift kann hier die erhöhten Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten nicht vollends abdecken.

Bei Einsatz von Holzpellets ergeben sich unter Berücksichtigung der Fördermittel des Landes Rheinland-Pfalz ebenfalls ca. 1.100 – 1.200 € höhere Jahreskosten.

6.3 Gemeinsame Wärmeversorgung

6.3.1 Erdgas-Niedertemperaturkessel

Es wird davon ausgegangen, dass für die Installation der Niedertemperaturkessel der Platzbedarf in der bestehenden Heizzentrale des Schwimmbades ausreicht. Es wird ferner vorausgesetzt, dass die Abgasführung der beiden großen Kessel zur Behei-

zung des Freibades (2 x 475 kW_{th}) über die vorhandenen Schornsteine erfolgen kann. Für den 250 kW_{th} Kessel werden die Kosten für einen separaten Schornstein eingerechnet. Neben der Investition in das Nahwärmenetz müssen hier zusätzlich noch die Kosten für die Wärmeübergabestation in der Sporthalle berücksichtigt werden.

Tabelle 6-9: Investition Erdgas-Niedertemperaturkessel

	Investition	Nutzungsdauer	Betrieb, Wartung
Erdgas NT-Kessel (2 x 475 kW _{th} und 1 x 250 kW _{th}) mit Brenner, Regelung und Zubehör	54.600 EUR	20 Jahre	2 %
Elektrische und hydraulische Einbindung	5.000 EUR	20 Jahre	2 %
Schornstein	4.500 EUR	30 Jahre	1 %
Nahwärmenetz	126.000 EUR	30 Jahre	1 %
Wärmeübergabestation Sporthalle	6.000 EUR	30 Jahre	2 %
Demontage alter Kessel	2.000 EUR	30 Jahre	
Bauliche Anpassungsarbeiten Heizraum	5.000 EUR	30 Jahre	
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	20.300 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	35.740 EUR		
Gesamtinvestition	259.140 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten : 19.831 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt (kein wesentlicher Mehraufwand gegenüber jetziger Wärmeversorgung).

Betriebskosten	:	2.617 €/a
----------------	---	-----------

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der beiden Wärmeerzeuger. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um die Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie NT-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	38.266 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	5.184 €/a
Hilfsenergie	:	1.496 €/a
Mehrwertsteuer	:	7.191 €/a
Verbrauchskosten	:	52.137 €/a

6.3.2 Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Klein-BHKW

In den Kosten für das Klein-BHKW sind Zubehörteile und die Installation inbegriffen. Es wird davon ausgegangen, dass der Platzbedarf der Heizzentrale im Schwimmbad ausreicht, um das Klein-BHKW aufzustellen. Die Kosten für Planung und unvorhergesehene Ausgaben wurden der Variante mit Erdgas-Niedertemperaturkessel entnommen.

Tabelle 6-10: Investition Erdgas Niedertemperaturkessel mit Klein-BHKW

	Investition	Nutzungsdauer	Betrieb, Wartung
Erdgas NT-Kessel (2 x 475 kW _{th} und 1 x 220 kW _{th}) mit Brenner, Regelung und Zubehör	53.600 EUR	20 Jahre	2 %
Klein-BHKW (17 kW _{el} , 32 kW _{th})	32.300 EUR	15 Jahre	2 Ct/kWh _{el}
Elektrische und hydraulische Einbindung	5.000 EUR	20 Jahre	2 %
Schornstein	4.500 EUR	30 Jahre	1 %
Nahwärmenetz	126.000 EUR	30 Jahre	1 %
Wärmeübergabestation Sporthalle	6.000 EUR	30 Jahre	2 %
Demontage alter Kessel	2.000 EUR	30 Jahre	
Bauliche Anpassungsarbeiten Heizraum	5.000 EUR	30 Jahre	
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	20.300 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	40.750 EUR		
Gesamtinvestition	295.450 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten : 23.588 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden wieder prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Für das Klein-BHKW werden 2,5 Ct/kWh_{el} angesetzt (Vollwartung). Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt (kein wesentlicher Mehraufwand gegenüber jetziger Wärmeversorgung).

Betriebskosten : 5.572 €/a

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der Wärmeerzeuger. Die Erdgas-Steuer kommt hier nur für den Brennstoffbezug der Niedertemperaturkessel zum Tragen. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um die Nettopreise.

Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie NT-Kessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Hilfsenergie Klein-BHKW	:	1,50 % der BS-Kosten
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	41.920 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	4.253 €/a
Hilfsenergie	:	1.921 €/a
Mehrwertsteuer	:	7.695 €/a
Verbrauchskosten	:	55.789 €/a

Bestimmung Erlöse BHKW für Stromerzeugung:

Es wird wieder angenommen, dass der gesamte produzierte Strom in das öffentliche Netz (0,4 kV Netz) eingespeist wird, da aufgrund des am 01. April 2002 in Kraft getretenen KWK-Gesetzes Mini-KWK-Anlage bis 50 kW_{el}, sofern sie im Zeitraum vom 01. April 2002 bis zum 31. Dezember 2005 in Dauerbetrieb gehen, eine Zuschlagszahlung in Höhe von 5,11 Ct/kWh_{el} über einen Zeitraum von 10 Jahren nach Inbetriebnahme der Anlage erhalten.

Die hier angegebenen Vergütungen entsprechen denen der Pfalzwerke AG.

Vermiedene Netzkosten Leistung	:	63,00 €/kW _{el}
Vermiedene Netzkosten Arbeit	:	0,44 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung	:	1,50 Ct/kWh _{el}
KWK-Gesetz	:	5,11 Ct/kWh _{el}
Erlöse Stromerzeugung	:	9.461 €/a

6.3.3 HHS-Kessel mit Erdgas-Spitzenkessel

Eine gemeinsame Wärmeversorgung mit einer HHS-Anlage erfordert aus Platz- und Logistikgründen eine neue Heizzentrale. Aus diesem Grund werden in der Investitionssumme Kosten für Regeltechnik und Verkabelung, Verrohrung, Wärmedämmung und Pumpen, Schornstein sowie für einen Gasanschluss berücksichtigt (Gasanschluss einschließlich Verlegung von 50 m Leitung). Kosten für den Heizraum werden nicht angesetzt.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird ohne und mit dem Förderbetrag des Landes Rheinland-Pfalz gerechnet.

Tabelle 6-11: Investition HHS-Kessel mit Erdgas-Spitzenlastkessel

	Investition	Nutzungsdauer	Betrieb, Wartung
Erdgas NT-Kessel (2 x 475 kW _{th}) mit Brenner und Zubehör	38.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
HHS-Kessel (250 kW _{th})	27.000 EUR	15 Jahre	3,0 %
Brennstofftransport	24.100 EUR	20 Jahre	3,0 %
Regel- und MSR-Technik, Verkabelung	30.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
Pufferspeicher (8 m ³)	7.500 EUR	20 Jahre	2,0 %
Verrohrung, Wärmedämmung, Pumpen	48.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
Schornstein	19.200 EUR	30 Jahre	1,0 %
Bunker mit Schiebedeckel	36.000 EUR	30 Jahre	1,0 %
Nahwärmenetz	126.000 EUR	30 Jahre	1,0 %
Gasleitung und Gasanschluss	12.000 EUR	50 Jahre	1,0 %
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	36.800 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	64.740 EUR		
Gesamtinvestition ohne Förderung	469.340 EUR		
Fördermittel aus Landesprogramm	18.750 EUR		
Gesamtinvestition mit Förderung	450.590 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten ohne Förderung	:	37.407 €/a
Kapitalkosten mit Förderung	:	35.511 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden wieder prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt.

Betriebskosten	:	5.935 €/a
----------------	---	-----------

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der Heizzentrale. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um Nettopreise. Es gilt zu berücksichtigen, dass für den Bezug der Hackschnitzel nur ein verminderter Mehrwertsteuersatz von 7% zum Tragen kommt.

HHS-Preis einschließlich Frachtkosten	:	50 €/t = 12,50 €/Sm ³
Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSho}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSho}
Hilfsenergie HHS-Kessel	:	0,02 kWh _{el} /kWh _{th}
Hilfsenergie Spitzenlastkessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
HHS-Kosten	:	17.863 €/a
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	9.500 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	1.287 €/a
Hilfsenergie	:	2.622 €/a
Mehrwertsteuer	:	3.396 €/a
Verbrauchskosten	:	34.668 €/a

6.3.4 HHS-Kessel in Kombination mit Solarabsorberanlage

Es können die Investitionen der in Kapitel 6.3.3 betrachteten HHS-Anlage und der in Kapitel 6.1.2 betrachteten Absorberanlage angesetzt werden.

Tabelle 6-12: Investition HHS-Anlage in Kombination mit Solarabsorberanlage

	Investition	Nutzungsdauer	Betrieb, Wartung
Erdgas NT-Kessel (2 x 475 kW _{th}) mit Brenner und Zubehör	38.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
HHS-Kessel (250 kW _{th})	27.000 EUR	15 Jahre	3,0 %
Brennstofftransport	24.100 EUR	20 Jahre	3,0 %
Regel- und MSR-Technik, Verkabelung	30.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
Pufferspeicher (8 m ³)	7.500 EUR	20 Jahre	2,0 %
Verrohrung, Wärmedämmung, Pumpen	48.000 EUR	20 Jahre	2,0 %
Schornstein	19.200 EUR	30 Jahre	1,0 %
Bunker mit Schiebedeckel	36.000 EUR	30 Jahre	1,0 %
Nahwärmenetz	126.000 EUR	30 Jahre	1,0 %
Gasleitung und Gasanschluss	12.000 EUR	50 Jahre	1,0 %
Solarabsorberanlage	51.000 EUR	20 Jahre	1,0 %
Planung / Unvorhergesehenes (10%)	41.900 EUR	30 Jahre	
Mehrwertsteuer	73.710 EUR		
Gesamtinvestition ohne Förderung	534.410 EUR		
Fördermittel aus Landesprogramm	18.750 EUR		
Gesamtinvestition mit Förderung	515.660 EUR		

Kapitalgebundene Kosten:

Die Kapitalgebundenen Kosten werden als Annuität mit einem Zinssatz von 6 % und den entsprechenden Nutzungsdauern der Anlagenteile berechnet.

Kapitalkosten ohne Förderung	:	42.994 €/a
Kapitalkosten mit Förderung	:	41.098 €/a

Betriebsgebundene Kosten:

Die Kosten für Betrieb und Wartung werden wieder prozentual von der anteiligen Investition berechnet. Zusätzliche Personal- und etwaige Verwaltungskosten werden nicht berücksichtigt.

Betriebskosten	:	6.445 €/a
----------------	---	-----------

Verbrauchsgebundene Kosten:

Die verbrauchsgebundenen Kosten beinhalten die Brennstoffkosten sowie die Hilfsenergie zum Betrieb der Heizzentrale. Bei den angegebenen Preisen handelt es sich um Nettopreise. Es gilt hier jedoch zu berücksichtigen, dass für den Bezug der Hackschnitzel nur ein verminderter Mehrwertsteuersatz von 7% zum Tragen kommt.

HHS-Preis einschließlich Frachtkosten	:	50 €/t = 12,50 €/Sm ³
Erdgas Arbeitspreis	:	2,567 Ct/kWh _{BSHo}
Erdgas-Steuer	:	0,3476 Ct/kWh _{BSHo}
Hilfsenergie HHS-Kessel	:	0,02 kWh _{el} /kWh _{th}
Hilfsenergie Spitzenlastkessel	:	0,01 kWh _{el} /kWh _{th}
Strom Arbeitspreis	:	12,00 Ct/kWh _{el}
HHS-Kosten	:	15.130 €/a
Erdgaskosten Arbeitspreis	:	9.500 €/a
Erdgaskosten Steuer	:	1.287 €/a
Hilfsenergie	:	2.386 €/a
Mehrwertsteuer	:	3.167 €/a
Verbrauchskosten	:	31.470 €/a

6.3.5 Vergleich der Varianten

Die folgende Tabelle fasst die einzelnen Kostenblöcke der betrachteten Versorgungsvarianten wieder zusammen.

Tabelle 6-13: Vergleich der Varianten

		Erdgas NT-Kessel	Erdgas NT-Kessel und BHKW	HHS-Kessel mit Erdgas NT-Kessel	HHS-Kessel mit Solar- absorber
Investition ohne Fördermittel	€	259.140	295.450	469.340	534.410
<i>Investition mit Förderung</i>	€			450.590	515.660
Kapitalkosten	€/a	19.831	23.588	37.407	42.994
<i>Kapitalkosten mit Förderung</i>	€/a			35.511	41.098
Betriebskosten	€/a	2.617	5.572	5.935	6.445
Verbrauchskosten	€/a	52.137	55.789	34.668	31.470
Gutschrift Stromerlöse	€/a		- 9.461		
Jahreskosten	€/a	74.585	75.488	78.010	80.909
<i>Jahreskosten mit Förderung</i>	€/a			76.114	79.013
Jahreswärmebedarf	kWh _{th} /a	1.247.000	1.247.000	1.247.000	1.247.000
Spez. WGK ¹	Ct/kWh _{th}	6,0	6,1	6,3	6,5
<i>Spez WGK mit Förderung</i>	Ct/kWh _{th}			6,1	6,3

¹ WGK = Wärmegestehungskosten

Auch hier liegen die Wärmegestehungskosten der betrachteten Varianten relativ dicht beieinander. Durch die niedrigen Brennstoffkosten bei einer Heizzentrale mit HHS-Kessel kann der erhöhte Kapitalbedarf mit Berücksichtigung der Fördermittel des Landes Rheinland-Pfalz annähernd ausgeglichen werden. In Kombination mit einer Solarabsorberanlage verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit etwas, da zum einen der hohe Kapitalbedarf in die HHS-Anlage bleibt, auf der anderen Seite die Solarabsorberanlage aber den Wärmebeitrag der HHS-Anlage verdrängt, da diese wie die Absorberanlage den Grund- und Mittellastbereich abdeckt.

7 Zusammenfassung

Die Verbandsgemeinde Maikammer baut eine neue Sporthalle in unmittelbarer Nähe des Freibades. Darüber hinaus haben die Heizkessel zur Wärmeversorgung des Freibades mit angrenzender Hausmeisterwohnung und Gaststätte das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht. Der vorliegende Bericht beinhaltet die ökologische und ökonomische Bewertung verschiedener Wärmeversorgungsvarianten für den Sporthallenneubau und das Freibad.

Die Auslegung der Varianten erfolgte anhand folgender Werte und Verbrauchszahlen:

Freibad:

Beckenwasseroberfläche	: ca.	1.730 m ²
Beckenwasservolumen	: ca.	3.400 m ³
max. Wärmeleistungsbedarf	: ca.	1.155 kW _{th}
Jahreswärmebedarf	: ca.	751.000 kWh _{th} /a

Sporthalle:

max. Wärmeleistungsbedarf	: ca.	250 kW _{th}
Jahreswärmebedarf	: ca.	400.000 kWh _{th} /a

Gemeinsame Wärmeversorgung:

max. Wärmeleistungsbedarf	: ca.	1.200 kW _{th}
Gesamtjahreswärmebedarf	: ca.	1.247.000 kWh _{th} /a

Eine ökologische Bewertung der verschiedenen Varianten erfolgte anhand der CO₂-Emission. Die folgende Abbildung zeigt den jeweiligen CO₂-Ausstoß. Für einen Vergleich der getrennten Wärmeversorgung von Schwimmbad und Sporthalle (dunkle

Balken oben) mit einer gemeinsamen Wärmeversorgung (helle Balken unten) sind nun verschiedene Kombinationen möglich.

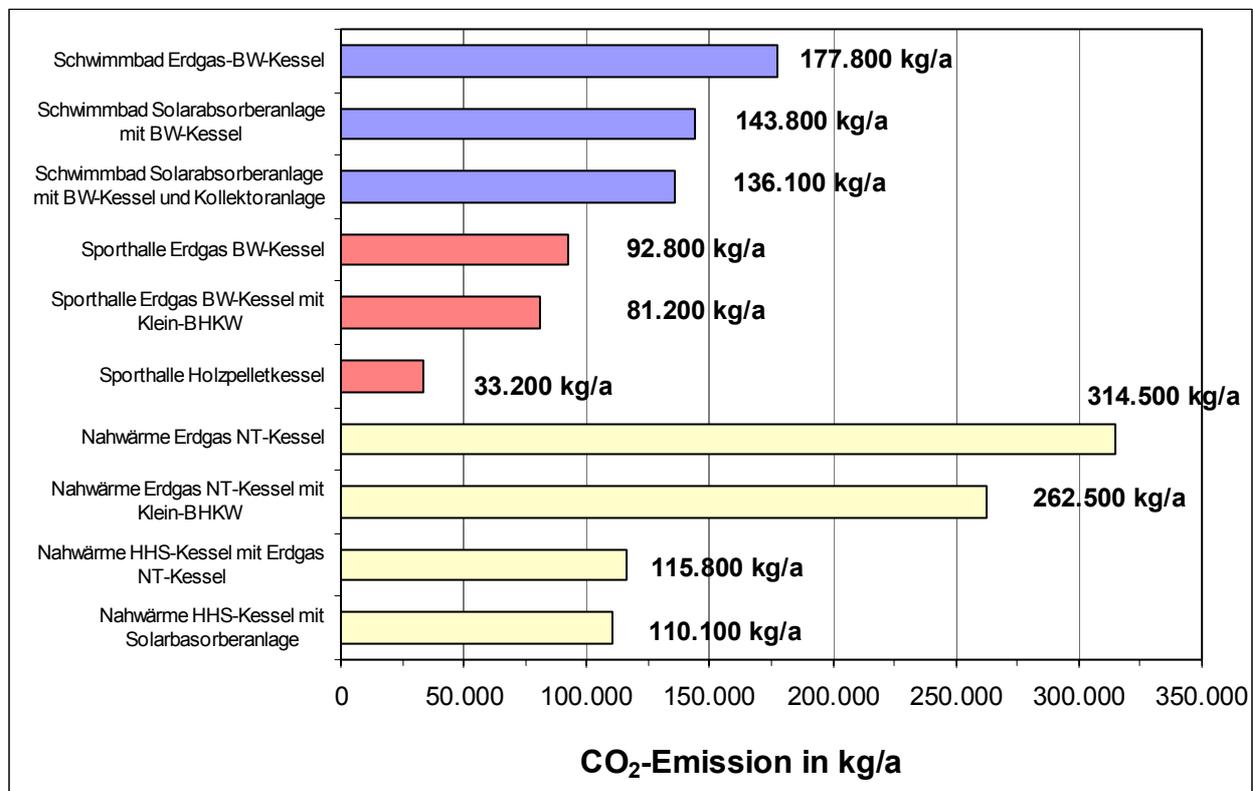


Bild 7-1: CO₂-Emissionen der verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten

Eine getrennte Wärmeversorgung mit Erdgas BW-Kessel verursacht CO₂-Emissionen in Höhe von 270.600 kg/a. Mit der Installation einer 600 m² großen Solarabsorberanlage kann diese Menge um ca. 13% auf 236.600 kg/a gesenkt werden. Die geringsten CO₂-Emission einer getrennten Wärmeversorgung verursachen unter den betrachteten Varianten die Solarabsorberanlage mit Erdgas BW-Kessel in Kombination mit einer Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung im Freibad und ein monovalent betriebener Kessel zur Verfeuerung von Holzpellets in der Sporthalle. Es ergeben sich hier Emissionen in Höhe von rund 169.300 kg/a.

Eine gemeinsame Wärmeversorgung ist dann ökologisch günstig, wenn zur Wärmeerzeugung ein HHS-Kessel eingesetzt wird. Es können hier im Vergleich zu der günstigsten getrennten Wärmeversorgung die Emissionen nochmals um 53.500 kg/a oder ca. 32% bzw. in Verbindung mit einer Solarabsorberanlage um 59.200 kg/a oder ca. 35% gesenkt werden.

Die folgende Abbildung zeigt die sich aus den Kapital-, Betriebs- und Verbrauchskosten zusammengesetzten Jahreskosten. Die Jahreskosten berücksichtigen dabei mögliche Fördermittel des Bundes (Solarkollektoren) und des Landes Rheinland-Pfalz (Holzpellet bzw. Holzhackschnitzel). Die Varianten mit BHKW enthalten die Vergütung durch den produzierten Strom einschließlich der Förderung durch das seit 1. April 2002 in Kraft getretenen KWK-Gesetzes.

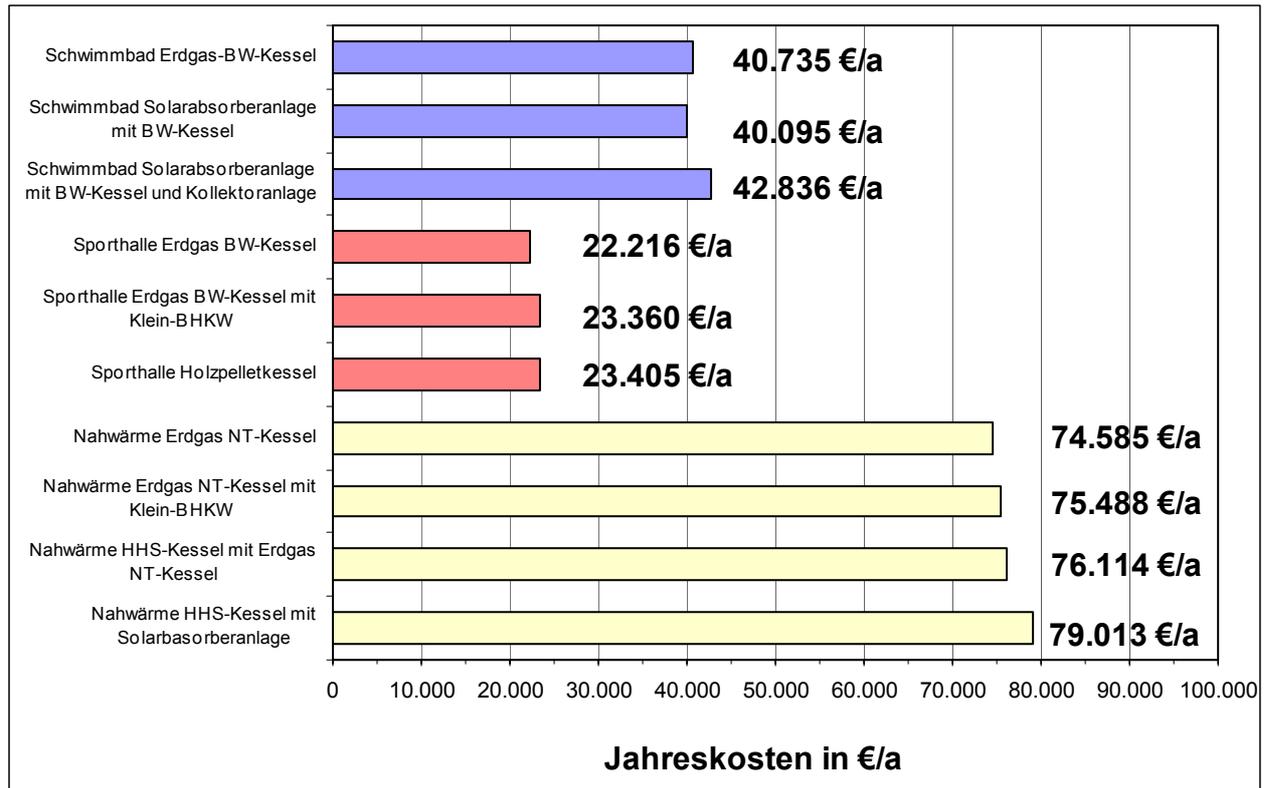


Bild 7-2: Jahreskosten der verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten

Eine separate Wärmeversorgung des Schwimmbades mit Erdgas BW-Kessel verursacht Jahreskosten in Höhe von rund 40.700 €/a bzw. Wärmegestehungskosten von 5,4 Ct/kWh_{th} (einfache Erneuerung).

Mit der Installation einer 600 m² großen Solarabsorberanlage ergeben sich Jahreskosten von rund 40.100 €/a (5,3 Ct/kWh_{th}). Insgesamt können mit der Absorberanlage jährlich rund 5.100 - 5.200 € bei den Betriebs- und Verbrauchskosten eingespart werden, so dass die Mehrinvestition in die Absorberanlage nach rund 10 Jahren und damit innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer zurückerwirtschaftet ist. Die Stützttemperatur in den Becken beträgt 24°C. Die Wirtschaftlichkeit der Absorberanlage könnte daher durch eine Senkung der Stützttemperatur verbessert werden, so dass bei gleichbleibender Investitionssumme der solare Energieertrag erhöht und der Brennstoffverbrauch der Kessel gesenkt wird.

Wird sowohl eine Absorberanlage als auch eine Kollektoranlage zur Warmwasserbereitung (70 m²) installiert, betragen die Jahreskosten mit Berücksichtigung von Fördermitteln des Bundes rund 42.800 € (5,7 Ct/kWh_{th}).

Bei der Sporthalle stellt der Erdgas BW-Kessel mit Jahreskosten von ca. 22.200 €/a (5,6 Ct/kWh_{th}) die günstigste Variante dar. Bei einer Wärmeversorgung mit zusätzlichem Klein-BHKW oder einem monovalent betriebenen Heizkessel zur Verfeuerung von Holzpellets erhöhen sich die Jahreskosten um rund 1.100 - 1.200 €/a (5,8 bzw. 5,9 Ct/kWh_{th}).

Die günstigste Variante einer gemeinsamen Wärmeversorgung wird mit rund 74.600 €/a (6,0 Ct/kWh_{th}) bei einer ausschließlichen auf Erdgas NT-Kessel basierenden Heizungsanlage erreicht. Mit dem zusätzlichen Einsatz eines Klein-BHKW erhöhen sich diese Kosten um ca. 900 €/a (6,1 Ct/kWh_{th}).

Bei der Variante mit HHS-Kessel und Erdgas Spitzenlastkessel wurde aus Platz- und Logistikgründen die Errichtung einer neuen Heizzentrale in der Sporthalle betrachtet, wodurch sich hier zusätzliche Investitionen ergaben. Insgesamt kann der damit verbundene erhöhte Kapitalbedarf durch die niedrigen Brennstoffkosten der Holzhackschnitzel nicht ganz ausgeglichen werden. Die Jahreskosten erhöhen sich daher im Vergleich zu der günstigsten Nahwärmevariante um ca. 1.500 €/a (6,1 Ct/kWh_{th}).

In Verbindung mit einer Solarabsorberanlage verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit nochmals um rund 2.900 €/a (6,3 Ct/kWh_{th}). Dies liegt daran, da zum einen der bereits hohe Kapitalbedarf sich um die Investition der Absorberanlage erhöht, auf der anderen Seite die Solarabsorberanlage aber den Wärmebeitrag der HHS-Anlage verdrängt, da diese wie die Absorberanlage den Grund- und Mittellastbereich abdeckt.

Bei sich steigenden fossilen Energiepreisen (ca. 2,7 Ct/kWh_{BSH0}) kann die HHS-Anlage jedoch die Wärmegestehungskosten der ausschließlich auf Erdgas NT-Kessel basierenden Variante erreichen.

Im Vergleich zu einer gemeinsamen Wärmeversorgung sind mit den angesetzten Rahmenwerten die betrachteten separaten Heizungsanlagen für das Freibad und die Sporthalle kostengünstiger. Ungünstig auf eine gemeinsame Wärmeversorgung wirkt sich die relativ hohe Investition in das Nahwärmenetz aus, das nur in den Sommermonaten beim Betrieb des Freibades voll genutzt wird. Durch den Anschluss weiterer Wärmeabnehmer an das Nahwärmenetz wie z.B. eine zwischen Freibad und Sporthalle gelegene Tennishalle oder bei Errichtung einer vorgesehenen Grundschule

kann der Wärmebedarf in den Wintermonaten erhöht werden, was zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit führen würde.

Unter den gegebenen Randbedingungen (Wärmeversorgung Freibad und Sporthalle) stellt die Installation einer Solarabsorberanlage auf den Dachflächen des Freibades mit einem Erdgas BW-Kessel oder auch einem Erdgas NT-Kessel sowie einem Heizkessel zur Verfeuerung von Holzpellets in der Sporthalle eine unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten sinnvolle Wärmeversorgung dar.