



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



Machbarkeitsstudie Nahwärmeverbund in Bad Sobernheim

Auftraggeber	Verbandsgemeindeverwaltung Bad Sobernheim Poststraße 26 55566 Bad Sobernheim
Auftragnehmer	Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH Transferstelle Bingen Berlinstraße 109 55411 Bingen Leiter Prof. Dr. Ralf Simon Bearbeiter Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz Telefon (06721) 409 229 Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs Telefon (06721) 409 228 Telefax (06721) 409 129 Homepage www.tsb-energie.de
Projektnummer	1102
Datum	15. August 2005

Inhalt

Einleitung.....	4
1 Ist-Analyse	7
1.1 Saunarium	7
1.2 Erlebnisbad.....	8
1.3 Dr.-Werner-Dümmeler-Halle.....	10
1.4 Schulzentrum.....	12
1.5 Wärmebedarf der Liegenschaften	14
2 Kleiner Nahwärmeverbund.....	15
2.1 Zentrale Wärmeversorgung.....	16
2.2 Energiebilanz	20
2.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	21
2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	22
2.5 Sensitivitätsbetrachtung.....	25
3 Mittlerer Nahwärmeverbund.....	27
3.1 Dezentrale Wärmeversorgung Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium	27
3.2 Zentrale Wärmeversorgung	29
3.3 Energiebilanz	32
3.4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	34
3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	35
3.6 Sensitivitätsbetrachtung.....	41
4 Großer Nahwärmeverbund	44
4.1 Dezentrale Wärmeversorgung Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum.....	44
4.2 Zentrale Wärmeversorgung.....	46
4.3 Energiebilanz	50
4.4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	52
4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	53
4.6 Sensitivitätsbetrachtung.....	58
5 Einsatzmöglichkeiten von Solaranlagen zur Beheizung des Erlebnisbads und der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle.....	61
5.1 Solarabsorberanlage	61



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im

5.2	Solarkollektoranlage	65
5.3	Energiebilanz Solaranlagen	73
5.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Solaranlagen	74
6	Zusammenfassung	77
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	83

Einleitung

Zwischen dem Erlebnisbad, dem Saunarium und der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle in Bad Sobernheim besteht ein Nahwärmeverbund. Derzeit wird nur noch der erdgasbefeuerte Brennwertkessel im Saunarium betrieben, während das Motor-BHKW stillgelegt wurde und der erdgasbefeuerte Brennwertkessel im Erlebnisbad defekt ist.

Aufgrund des kurzfristigen Erneuerungsbedarfs einer Kesselanlage und des Sanierungsbedarfs in der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle ist von der Verbandsgemeinde angedacht, die Wärmeerzeugung für den bestehenden Nahwärmeverbund neu aufzubauen. Aus organisatorischen Gründen ist auch im Gespräch, das Saunarium mit einem separaten Wärmeerzeuger unabhängig vom Nahwärmenetz zu versorgen.

In der Nähe der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle befindet sich das Schulzentrum in Bad Sobernheim. Dort sind zwei erdgasbefeuerte Heizkessel mit Baujahr 1986 und 1992 installiert. Damit hat ein Heizkessel die technische Nutzungsdauer erreicht und ist ebenfalls erneuerungsbedürftig. Aufgrund dessen wird auch eine Erweiterung des Nahwärmeverbunds mit dem Schulzentrum untersucht.

Zunächst wird in einer Ist-Analyse die derzeitige Wärmeversorgung der Objekte dokumentiert und der Wärmebedarf mithilfe von Verbrauchsdaten überschlägig ermittelt. Darauf basiert dann die Auslegung der Wärmeerzeuger.

Die Basisvarianten stellen die derzeitige Wärmeversorgung inklusive der erneuerungsbedürftigen Heizkessel in der entsprechenden Zusammenfassung wie für die unterschiedlich großen Nahwärmenetze dar. Da das Erlebnisbad und die Dr.-Werner-Dümmeler-Halle immer über eine Heizanlage gemeinsam mit Wärme versorgt werden, wird dafür keine Basisvariante benötigt.

Saunarium	vorhandener Erdgas-Brennwertkessel
Schulzentrum	vorhandener Erdgas-Brennwertkessel + neuer Erdgas-Niedertemperaturkessel

Basisvariante mittlerer Nahwärmeverbund:

Erlebnisbad und Dr.-Werner-Dümmeler-Halle
Saunarium

Basisvariante großer Nahwärmeverbund:

Erlebnisbad und Dr.-Werner-Dümmeler-Halle
Saunarium
Schulzentrum

Da die Überlegung besteht den Nahwärmeverbund auf das Erlebnisbad und die Dr.-Werner-Dümmeler-Halle zu verkleinern, wird für diesen kleinen Nahwärmeverbund folgende Variante untersucht:

- | | |
|------------|--|
| Variante 1 | kleiner Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle)
Erdgas-Brennwertkessel |
| Variante 2 | kleiner Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle)
Holzpelletskessel |

Zur Wärmeversorgung des bestehenden Nahwärmeverbunds, im weiteren als mittlere Nahwärmeverbund bezeichnet, werden folgende Varianten gegenübergestellt:

- | | |
|------------|---|
| Variante 1 | mittlerer Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle + Saunarium)
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Saunarium) +
Erdgas-Niedertemperaturkessel |
| Variante 2 | mittlerer Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle + Saunarium)
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Saunarium) +
Erdgas-Brennwertkessel +
Erdgas-BHKW |
| Variante 3 | mittlerer Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle + Saunarium)
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Saunarium) +
Holzpelletskessel |

Für eine Erweiterung des bestehenden Nahwärmeverbunds durch das Schulzentrum, als großer Nahwärmeverbund bezeichnet, werden diese Varianten untersucht.

- | | |
|------------|--|
| Variante 1 | großer Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle + Saunarium +
Schulzentrum)
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Saunarium) +
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Schulzentrum) +
Erdgas-Niedertemperaturkessel +
Erdgas-BHKW |
| Variante 2 | großer Nahwärmeverbund
(Erlebnisbad + Dr.-Werner-Dümmeler-Halle + Saunarium +
Schulzentrum)
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Saunarium) +
vorhandener Erdgas-Brennwertkessel (Schulzentrum) +
Holzhackschnitzelkessel |

Für alle Varianten wird eine Energiebilanz durchgeführt, die die Grundlage für die ökologische Bewertung in Form von einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz sowie für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist.

Zur Bewertung der Varianten werden die Basisvarianten als derzeitige Wärmeversorgung gegenübergestellt.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung umfasst eine Sensitivitätsbetrachtung, in der der Einfluss von Brennstoffpreisänderungen auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten gezeigt wird.

Für den kleinen Nahwärmeverbund aus Erlebnisbad und Sporthalle wird die Einsatzmöglichkeit von Solaranlagen zur solarunterstützten Wärmeversorgung geprüft. Dazu wird zwischen einer Solarabsorberanlage und einer Solarkollektoranlage unterschieden.

Die Ergebnisse der Studie werden in der Zusammenfassung dargestellt, sodass diese als Entscheidungshilfe beitragen.

1 Ist-Analyse

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlagen in den Gebäuden aus.

Mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur, wenn vorhanden, zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung werden die vorliegenden Daten überprüft. Zur Auslegung der gemeinsamen Wärmeversorgung werden die neu berechneten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

1.1 Saunarium

Das Saunarium ist an den bestehenden Nahwärmeverbund angebunden. Dort befindet sich ein erdgasbefuerter Brennwertkessel zur zentralen Wärmeversorgung.

Über Wärmemengenzähler wird der Wärmeverbrauch erfasst und abgerechnet. Als Wärmeabnehmer werden Saunarium, Lüftung Gaststätte, Lüftung Küche, Fußbodenheizung und Wohnung getrennt erfasst.

Der installierte Heizkessel weist folgende Kenndaten auf:

	Erdgas-Brennwertkessel
Fabrikat	Viessmann
Wärmeleistung	460 kW _{th}
Baujahr	1996
	Erdgasbrenner
Fabrikat	Weishaupt
Wärmeleistung	80 - 550 kW _{th}
Baujahr	1996

Anhand der Wärmemengenzähler wird der Wärmebedarf ermittelt.

Wärmeverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	1.152.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	460 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	2.504 h/a

Tabelle 1-1 Ist-Daten Saunarium

Da keine Literaturwerte zu Saunarien vorliegen, wird auch weiterhin von **460 kW_{th}** als Wärmeleistung zur Abdeckung des Wärmebedarfs von **1.152.000 kWh_{th}/a** angesetzt. Die verhältnismäßig hohen Vollbenutzungsstunden und die spezifische Heizleistung erscheinen plausibel.

1.2 Erlebnisbad

Im Freibad befindet sich ein Springer-, Schwimmer-, Nichtschwimmer- und Kinderbecken. Die Wärmeversorgung erfolgt ebenfalls über den Nahwärmeverbund. Bisher dienten ein erdgasbefuerter Brennwertkessel, der defekt ist, und ein erdgasbefuerter Motor-BHKW, das stillgelegt ist, zusammen mit dem Erdgaskessel im Saunarium zur Wärmeerzeugung im Nahwärmeverbund.

Der installierte Heizkessel weist folgende Kenndaten auf:

	Erdgas-Brennwertkessel
Fabrikat	Viessmann
Wärmeleistung	285 kW _{th}
Baujahr	1994
	Erdgasbrenner
Fabrikat	Weishaupt
Wärmeleistung	60 - 335 kW _{th}
Baujahr	1995

Auch für das Freibad wird der Wärmeverbrauch mit einem Wärmemengenzähler erfasst.

Wärmeverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	520.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	285 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.825 h/a
Beckenfläche	948 m ²
spez. Wärmebedarf	549 kWh _{th} /(m ² *a)
spez. Heizleistung	301 W _{th} /m ²
objekttypische Werte	
spez. Wärmebedarf	280 kWh _{th} /(m ² *a) ¹

Tabelle 1-2 Ist-Daten Erlebnisbad

Derzeit ist keine Beckenabdeckung vorhanden. Mithilfe eines Simulationsprogramms wird ein Wärmebedarf mit einer Beckenabdeckung in Höhe von 341.000 kWh_{th}/a abgeschätzt. Eine Abdeckung der Schwimmbecken außerhalb der Öffnungszeiten führt zu einer Reduzierung des Wärmebedarfs um ca. 66 %. Der spezifische Wärmebedarf würde dann 189 kWh_{th}/(m²*a) betragen.

Die maximale Wärmeleistung wird in dem Freibad nur zum Aufheizen des Beckenwassers zu Saisonbeginn benötigt. Mit einer niedrigeren Wärmeleistung würde sich eine etwas längere Aufheizzeit ergeben.

Für die Auslegung der unterschiedlichen Wärmeversorgungsvarianten wird eine Wärmeleistung weiterhin von **285 kW_{th}** und ein Wärmebedarf von **520.000 kWh_{th}/a** angesetzt.

¹ VDI 380 Blatt 2: Energieverbrauchswerte für Gebäude, 1998

1.3 Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

Die Dr.-Werner-Dümmeler-Halle ist als Dreifachsporthalle ausgeführt. Derzeit besteht Sanierungsbedarf im Bereich des Dachs und des Fußbodens.

Nach dem derzeitigen Planungsstand ist der Aufbau eines Pultdachs auf das vorhandenen Flachdach vorgesehen. Es besteht die Überlegung weitere Dämmmaßnahmen durchzuführen, allerdings wurde bisher noch keine Entscheidung getroffen.

Die Sporthalle ist ebenfalls an den Nahwärmeverbund angeschlossen. In der Halle befindet sich kein Wärmeerzeuger zur zentralen Wärmeversorgung.

Zur Warmwasserbereitung befinden sich drei Trinkwasserspeicher mit je 600 l Inhalt, die mit elektrischen Heizstäben ausgestattet sind. Wenn keine Nahwärme geliefert wird, erfolgt die Warmwasserbereitung elektrisch.

Der Wärmeverbrauch wird mit einem Wärmemengenzähler erfasst. Die Verbrauchsdaten werden für den Fall, dass nur Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden, herangezogen. Für die mögliche Umsetzung von umfassenden Dämmmaßnahmen wird der niedrigere Wärmebedarf abgeschätzt.

Wärmeverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	292.000 kWh _{th} /a	
Wärmeleistung	480 kW _{th}	¹
Vollbenutzungsstunden	608 h/a	
beheizte Fläche	1.865 m ²	
spez. Wärmebedarf (RH + WWB)	157 kWh _{th} /(m ² *a)	
spez. Heizleistung	257 W _{th} /m ²	
objekttypische Werte		
spez. Energiebedarf Raumheizung	33 - 358 kWh _{th} /(m ² *a)	²
spez. Leistung Raumheizung	85 - 115 W _{th} /m ²	¹
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 h/a	¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.510 h/a	¹

Tabelle 1-3 Ist-Daten Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

Für die weiteren Berechnungen wird ein Wärmebedarf von **292.000 MWh_{th}/a** und unter Annahme von 1.200 h/a Vollbenutzungsstunden eine Wärmeleistung von **240 kW_{th}** für den Ist-Zustand zu Grunde gelegt. Daraus ergibt sich eine spezifische Wärmeleistung von 129 W_{th}/m².

¹ Wärmeleistung des demontierten Erdgaskessels nach Angaben von Ingenieurbüro Becker, 1996

² Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

Um den Wärmebedarf zur Raumheizung für den verbesserten Dämmstandard bestimmen zu können, wird der Gesamtwärmebedarf im Ist-Zustand nach der Abschätzung¹ durch die Verbandsgemeindewerke Bad Sobernheim auf die Raumheizung und Warmwasserbereitung aufgeteilt.

Wärmebedarf, gesamt	292.000 kWh _{th} /a
spez. Wärmebedarf Warmwasserbereitung	1,7 kWh _{th} /Person
Anzahl Personen, geschätzt	7.500 Personen/a
Wärmebedarf Warmwasserbereitung	13.000 kWh _{th} /a
Wärmebedarf Raumheizung	279.000 kWh _{th} /a
spez. Wärmebedarf Raumheizung	150 kWh _{th} /(m ² *a)

Tabelle 1-4 Aufteilung Wärmebedarf Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

Zur Verbesserung des Dämmstandards wird ein 12 cm starkes Wärmedämmverbundsystem für die Außenwand und 18 cm Zwischensparrendämmung in den neuen Pultdächern angenommen. Aufgrund unvollständiger Unterlagen und Daten zur Sporthalle werden für die fehlenden Daten Annahmen getroffen. Nach den DIN-Vorgaben zur Wärmebedarfsberechnung ergibt sich für den Ist-Zustand ein höherer Wärmebedarf im Vergleich zu den Verbrauchsdaten durch das Nutzerverhalten. Deswegen wird die berechnete Einsparung zwischen dem Ist-Zustand und dem modernisierten Zustand aus der Wärmebedarfsberechnung von 33 % auf 30 % verringert.

Wärmebedarf Raumheizung	196.000 kWh _{th} /a
Wärmebedarf Warmwasserbereitung	13.000 kWh _{th} /a
Wärmebedarf, gesamt	209.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	174 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.200 h/a
beheizte Fläche	1.865 m ²
spez. Wärmebedarf Raumheizung	105 kWh _{th} /(m ² *a)
spez. Heizleistung	93 W _{th} /m ²

Tabelle 1-5 Daten modernisierte Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

Erst wenn die Planung zur Modernisierung der Sporthalle fest steht, kann mit den genau festgelegten Maßnahmen anhand einer Wärmebedarfsberechnung der zugehörige Wärmebedarf ermittelt werden. Deswegen sind die oben ermittelten Werte nur als Orientierungshilfe zu betrachten.

¹ Verbandsgemeindewerke Bad Sobernheim: Abschätzung Wärmebedarf Dr.-Werner-Dümmeler-Halle, 13.02.2003

1.4 Schulzentrum

Das Schulzentrum befindet sich in der Nachbarschaft der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle in Bad Sobernheim.

Derzeit erfolgt die Wärmeversorgung mit einem erdgasbefeuerten Brennwertkessel und einem Niedertemperaturkessel. Der NT-Kessel mit Baujahr 1986 hat seine technische Nutzungsdauer erreicht und ist kurz- bis mittelfristig zu erneuern.

Die Heizkessel weisen folgende Kenndaten auf:

	Kessel 1	Kessel 2
	Erdgas-Brennwertkessel	Erdgas-Niedertemperaturkessel
Fabrikat	Viessmann	Fröling
Bezeichnung	VSB 46	
Wärmeleistung	460 kW _{th}	465 kW _{th}
Baujahr	1992	1986
	Erdgasbrenner	Erdgasbrenner
Fabrikat	Weishaupt	Mainflamme
Bezeichnung	WG 40N/1A2M	R.B.L.
Wärmeleistung	50 - 550 kW _{th}	155 - 660 kW _{th}
Baujahr	1998	1986

Anhand des Erdgasverbrauchs wird der Wärmebedarf überschlägig ermittelt:

Erdgasverbrauch, gemittelte 2002 - 2004	1.066.000 kWh _{Ho} /a
Jahresnutzungsgrad	90 %
Wärmebedarf	872.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	925 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	943 h/a
beheizte Fläche	11.355 m ²
spez. Energiebedarf	85 kWh _{th} /(m ² *a)
spez. Heizleistung	81 W _{th} /m ²
objekttypische Werte	
spez. Energiebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh _{th} /(m ² *a) ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ¹
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 - 1.370 h/a ¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ¹

Tabelle 1-6 Ist-Daten Schulzentrum

Die etwas niedrigen Vollbenutzungsstunden deuten auf eine Überdimensionierung der Heizkesselanlage hin. Allerdings liegt eine geringe spezifische Heizleistung vor.

Deswegen werden für die weiteren Berechnungen Vollbenutzungsstunden in Höhe von 1.000 h/a angesetzt, sodass demnach eine Wärmeleistung von **870 kW_{th}** ausreicht, um den Wärmebedarf von **872.000 kWh_{th}/a** abdecken zu können. Daraus resultiert eine spezifische Wärmeleistung von 77 W_{th}/m².

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

1.5 Wärmebedarf der Liegenschaften

Die Ist-Analyse überprüfte mit gebäudespezifischen Werten zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung die installierte Heizleistung in den einzelnen Gebäuden. Zur Auslegung der unterschiedlich großen Heizzentralen für eine gemeinsame Wärmeversorgung werden die neu ermittelten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

In der folgenden Tabelle sind die Daten zum Wärmebedarf der Liegenschaften zusammengefasst.

Liegenschaft	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Wärmeleistung kW _{th}	Vollbenutzungsstd. h/a
Saunarium	1.152.000	460	2.504
Erlebnisbad	520.000	285	1.825
Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	292.000	240	1.217
Schulzentrum	872.000	870	1.002

Tabelle 1-7 Wärmebedarf und Wärmeleistung der Liegenschaften

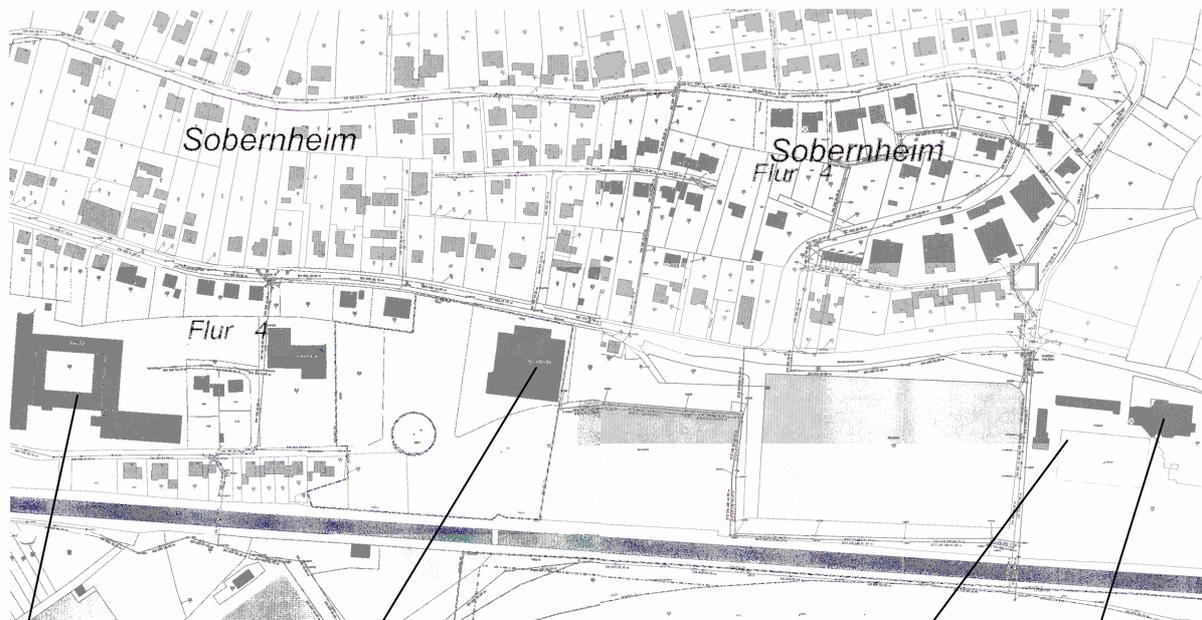


Abbildung 1-1 Lageplan

Schulzentrum

Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

Erlebnisbad

Saunarium

2 Kleiner Nahwärmeverbund

Da aus organisatorischen Gründen im Gespräch ist, das Saunarium mit einem separaten Wärmeerzeuger unabhängig vom Nahwärmenetz zu versorgen, wird in diesem Kapitel die Wärmeversorgung des Erlebnisbads und der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle im kleinen Nahwärmeverbund untersucht.

Für die Wärmeversorgung werden zwei Varianten unterschieden.

Variante 1: Erdgas-Brennwertkessel

Variante 2: Holzpelletskessel

Die Auslegung der Kesselanlage erfolgt nach den Werten aus der Ist-Analyse. Weil es sich hier um einen Nahwärmeverbund handelt und das Erlebnisbad im Sommer und die Halle im Winter Wärme benötigt, wird zur Auslegung der Heizleistung die größere Wärmeleistung des Freibads herangezogen. In den Übergangszeiten, also Mai und September, kann es zu Überschneidungen im Wärmebedarf kommen. Zu berücksichtigen ist, dass die maximale Heizleistung des Freibads zu Saisonbeginn benötigt wird. Mit einer vorrangigen Wärmeversorgung der Sporthalle würde sich nur die Aufheizdauer des Freibads etwas verlängern.

Die überschlägige Dimensionierung einer neuen Kesselanlage kann aus der Tabelle entnommen werden.

	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Wärmeleistung kW _{th}
Erlebnisbad	520.000	285
Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	292.000	240
Summe	812.000	525
Gleichzeitige Spitzenleistung		285
Nahwärmeverluste	79.000	16
Summe	891.000	301

Tabelle 2-1 Wärmebedarf kleiner Nahwärmeverbund

2.1 Zentrale Wärmeversorgung

Die beiden zu untersuchenden Varianten werden kurz vorgestellt.

Variante 1: Erdgas-Brennwertkessel

Da der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Erlebnisbad defekt ist, wird eine Erneuerung durch einen Erdgas-Brennwertkessel betrachtet.

Für die weiteren Berechnungen wird ein Erdgas-Brennwertkessel mit 300 kW_{th} angenommen.

Im Zuge der Erneuerung der Wärmeversorgung ist die Warmwasserbereitung in der Sporthalle ebenfalls zu erneuern. Da in der Sporthalle hauptsächlich abends von den Vereinen Warmwasser verbraucht wird, ist aus hygienischen Gründen eine Warmwasserbereitung mit Ladespeicher sinnvoller als nach dem bisherigen Speichersystem.

Beim Ladesystem wird der Speicher von oben nach unten mit einer Ladepumpe aufgeheizt, sodass sich eine Temperaturschichtung einstellt. Der Wärmetauscher befindet sich entweder innerhalb oder außerhalb des Speichers. Bei vollständiger Aufheizung schaltet die Ladepumpe ab. Hier ist der externe Wärmetauscher zu bevorzugen, denn geringe Zapfungen können über den externen Wärmetauscher als Durchflusserwärmer und Spitzenzapfungen über den Speicher erfolgen. Der externe Wärmetauscher kann entweder seitlich oder auf den Speicher angebracht werden.

Mit der Auswahl eines Ladespeichers mit weniger als 400 l sind keine besonderen Maßnahmen hinsichtlich Legionellen, wie z. B. eine gleichmäßige Erwärmung des Speichers einmal täglich auf 60 °C, aufgrund des geringen Risikos erforderlich. Durch ein geringes Speichervolumen und den Durchflusserwärmer wird das Trinkwarmwasser bedarfsgerecht erwärmt.

Variante 1: Holzpelletskessel

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

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

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

Unterschiedliche Austragungssysteme abhängig vom Holzpelletslager transportieren die Holzpellets aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Austragungsschnecken, Rührfederaustragung und Pendelschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen.

Die Dosierschnecke oder Hydraulikzylinder fördert die Holzpellets in die Brennstoffmulde, wo sie unter Luftzufuhr während der Verbrennung zunächst Holzgas bilden. Unter Zugabe von Sekundärluft verbrennt das Holzgas, und die dabei erzeugte Wärme wird über Wärmetauscher an das Heizmedium Wasser abgegeben.

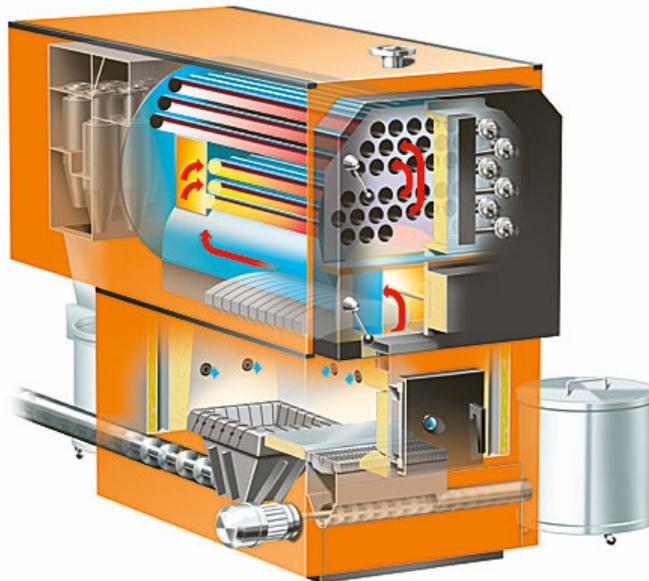


Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Unterschubfeuerung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärmeproduktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungsregelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

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

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalthäufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrieben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig zu halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und Mittellast ausgelegt, während ein erdgas- oder heizölbefuerter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

Bis zu einer Leistungsgröße von etwa 400 kW_{th} wird ein Holzpelletkessel auch monovalent betrieben. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird der Biomassekessel in der Regel mit einem zusätzlichen, aufschwenkbaren Ölbrenner ausgestattet. Da hier allerdings ein Nahwärmeverbund vorhanden ist, kann die weiter betriebene Kesselanlage im Saunarium bei Bedarf Wärme liefern. Deswegen ist die Nahwärmeleitung zwischen Saunarium und Freibad so abzuschlebern, dass im Bedarfsfall Wärme vom Saunarium bezogen werden kann.

Zur Abrechnung sind für das Erlebnisbad, die Sporthalle und das Saunarium Wärmemengenzähler zu installieren.

Aufgrund des begrenzten Platzangebots in den vorhandenen Heizräumen ist eine Containeranlage, die neben die Sporthalle auf der Gebäudeseite des Technikraums aufgestellt werden kann, sinnvoll. Durch die Aufstellung neben den Technikraum ergeben sich kurze Anbindungsleitungen an das bestehende Heiznetz. In einer solchen Containeranlage ist ein Holzpelletskessel inklusive der erforderlichen Armaturen, Anschlüsse und Kamin integriert.



Abbildung 2-2 Holzpelletscontaineranlage mit Holzpelletsilo (Quelle: Köb & Schäfer GmbH)
Ansicht Sporthalle mit Technikraum und Kamin

Zur Lagerung der Holzpellets kann neben dem Container ein Silo mit 40 m³ Volumen, wie es auch in der Landwirtschaft eingesetzt wird, aufgestellt werden. Dadurch ergeben sich kurze Transportwege vom Lager zum Kessel.

2.2 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Stoffströme angegeben.

Erlebnisbad Sporthalle		Variante 1 Brennwertkessel Erdgas	Variante 2 Holzpelletskessel Holzpellets
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	891.000	891.000
Wärmeleistung	kW _{th}	301	301
Nennwärmeleistung Heizkessel	kW _{th}	310	300
Wärmeerzeugung Heizkessel	kWh _{th} /a	891.000	891.000
Jahresnutzungsgrad	%	99	90
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Hu} /a	900.000	
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	990.000	
Brennstoffbedarf Holzpellets	kWh _{Hu} /a		990.000
Brennstoffmenge Erdgas	m ³ /a	90.000	
Brennstoffmenge Holzpellets	t/a		202
Brennstoffmenge Holzpellets	Sm ³ /a		311

Tabelle 2-2 Energiebilanz kleiner Nahwärmeverbund

In der Tabelle wird vom derzeitigen Wärmedämmstandard der Sporthalle ausgegangen.

Wenn eine Dämmung erfolgen sollte, würde der Erdgasverbrauch auf etwa 898.000 kWh_{Ho}/a bzw. der Holzpelletsverbrauch auf rund 183 t/a (282 Sm³/a) absinken. Dies entspricht einer Verringerung um ca. 10 %.

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

2.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Die ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt anhand der Kohlendioxid-Emissionen. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Emission des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO₂-Emission 254,1 g CO₂/kWh_{BS}.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpellets benötigten Energie ergibt sich eine spezifische CO₂-Emission von 70,1 g CO₂/kWh_{BS}.

Erlebnisbad Sporthalle		Variante 1 Brennwertkessel Erdgas	Variante 2 Holzpelletskessel Holzpellets
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{HU} /a	900.000	
Brennstoffbedarf Holzpellets	kWh _{HU} /a		990.000
CO₂-Emissionen	t CO₂/a	229	69

Tabelle 2-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz kleiner Nahwärmeverbund

Im Vergleich zur Basisvariante mit Erdgas als Brennstoff ergibt sich für die Holzpelletsvariante eine CO₂-Einsparung um 70 %. Dies trifft auch für einen besseren Dämmstandard der Sporthalle zu.

2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der dezentralen Wärmeversorgung anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden für den erneuerungsbedürftigen Heizkessel überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurden die aktuellsten Energiepreise ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer entnommen. Zur Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten werden Investitionen für die Heizkessel nach spezifischen Kennziffern und Herstellerpreisen herangezogen.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (maximal 275.000 €) beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Erlebnisbad / Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	
Einheitspreis Erdgas Heizkessel ¹	4,0118 Ct/kWh _{Ho}
Allgemeiner Strompreis ²	8,487 Ct/kWh _{el}

¹ Pfalzgas: Preise ab 01.07.2005

² RWE: Stromrechnung Mai 2005

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heisanlage)
Personalkosten	30 €/h

Die Investitionskosten der erneuerungsbedürftigen Heizkessel sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

	Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel	Variante 2 Holzpelletskessel
Heizleistung	310 kW _{th}	300 kW _{th}
Demontage		
Demontage Erdgaskessel	1.400 €	1.400 €
Demontage Trinkwarmwasserspeicher	900 €	900
Maschinentechnik		
Erdgas-Brennwertkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	26.400 €	
Holzpelletskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		62.900 €
Ladespeicher, externer Wärmetauscher inkl. Montage	4.800 €	4.800 €
Bautechnik		
Erdaushub, Bodenplatte, Container mit Kamin, Pelletsilo, Leitungen und Durchbrüche		36.500 €
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	5.000 €	16.000 €
Gesamtinvestition	38.500 €	122.500 €
Gesamtinvestition inkl. MwSt.	44.600 €	142.100 €
Förderung Biomassekessel		18.000 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung		104.500 €
Gesamtinvestition inkl. MwSt. + Förderung		124.100 €

Tabelle 2-4 Investitionskosten kleiner Nahwärmeverbund

In der Tabellen sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit für die Varianten aufgeführt. Wegen der verschiedenen Mehrwertsteuersätze der Brennstoffe werden die Jahreskosten zusätzlich noch inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben. In allen Varianten wird für die Sporthalle der Wärmebedarf im derzeitigen Zustand angesetzt.

kleiner Nahwärmeverbund		Variante 1	Variante 2
Erlebnisbad, Sporthalle		Brennwertkessel Erdgas	Holzpelletskessel Holzpellets
Heizleistung Heizkessel	kW _{th}	310	300
Investition	€	38.500	122.500
inkl. Förderung	€		104.500
Kapitalkosten	€/a	2.709	7.502
inkl. Förderung	€/a		6.292
Verbrauchskosten	€/a	40.473	32.887
Betriebskosten	€/a	1.918	3.481
Jahreskosten	€/a	45.100	43.870
inkl. Förderung	€/a		42.660
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	52.310	48.090
inkl. Förderung und MwSt.	€/a		46.880
Jahreswärmebedarf ohne Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	812.000	812.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	5,6	5,4
inkl. Förderung	Ct/kWh_{th}		5,3
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh_{th}	6,4	5,9
inkl. MwSt. und Förderung	Ct/kWh_{th}		5,8

Tabelle 2-5 Wirtschaftlichkeit kleiner Nahwärmeverbund

Beide Wärmeversorgungsvarianten erzielen vergleichbare Jahreskosten, sodass beide aus wirtschaftlicher Sicht umsetzbar sind.

Bei einer Verbesserung des Wärmebedämmstandards (Abschätzung) in der Sporthalle betragen die Jahreskosten für die Variante 1 etwa 41.300 €/a (rund 47.900 €/a inkl. MwSt.) und für die Variante 2 ca. 39.600 €/a inklusive Förderung (etwa 43.600 €/a inkl. Förderung und MwSt.).

2.5 Sensitivitätsbetrachtung

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

Aus der gewählten Preisspanne ergeben sich folgende Brennstoffpreise.

	Erdgaspreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Variante 1: Erdgas-Brennwertkessel	2,4071	4,0118	5,6165

	Holzpelletspreis -40 % in €/t	Holzpelletspreis 0 % in €/t	Holzpelletspreis +40 % in €/t
Variante 1: Holzpelletskessel	92	154	216

In dem Diagramm ist der Wärmepreis abhängig von der Brennstoffpreisänderung aufgetragen.

Um die wirtschaftlichen Entwicklungen einordnen zu können, ist der Verlauf für die dezentrale Wärmeversorgung mit aufgeführt. Eine gestrichelte Gerade, die als „Vergleichsgrundlage“ bezeichnet ist, markiert den Wärmepreis der dezentralen Wärmeversorgung aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Für 0 % Preisänderung des Brennstoffs liegen die Wärmepreise, wie sie in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt wurden, vor.

Da die Holzpreise nicht an fossilen Brennstoffpreisen gebunden sind, sind die Preisänderungen unabhängig voneinander zu sehen. So kann z. B. der Erdgaspreis zunehmen, während der Holzpelletspreis konstant bleibt.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist sowohl die Steigung der Geraden und deren gemeinsamer Schnittpunkt entscheidenden. Die Steigung ist ein Maß für die Höhe des Einflusses durch den Brennstoffpreis auf die Wirtschaftlichkeit. Da nicht alle Kombinationsmöglichkeiten untersucht werden können, wird nur der Schnittpunkt der zentralen Wärmeversorgung mit dem Wärmepreis der Basisvariante betrachtet. Denn der Wär-

mepreis in der dezentralen Wärmeversorgung ist aus wirtschaftlichen Gründen die obere Grenze der neuen Wärmeversorgung.

Für den kleinen Nahwärmeverbund ergibt sich dieses Diagramm.

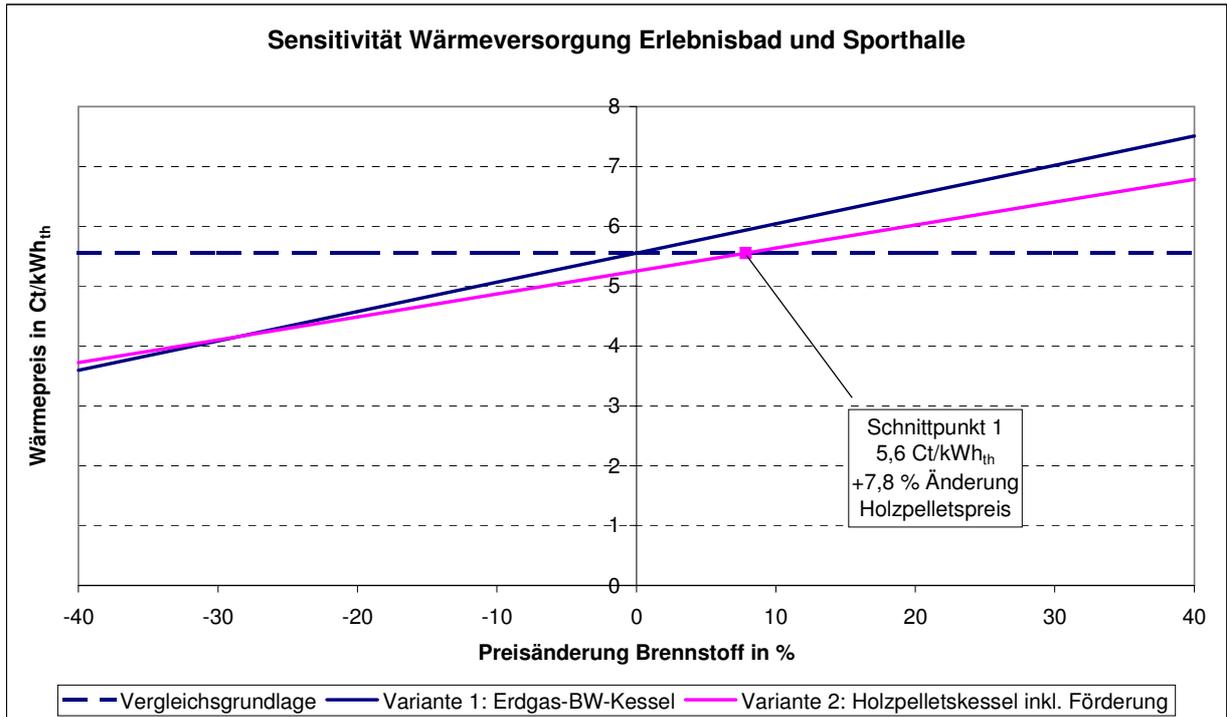


Abbildung 2-3 Sensitivität kleiner Nahwärmeverbund

Bis zum folgenden Brennstoffpreis ist die Holzpelletsvariante günstiger als die Erdgasvariante mit einem Wärmepreis von 5,6 Ct/kWh_{th}.

		Schnittpunkt 1 Variante 2 Holzpelletskessel
Preisänderung	%	+7,8
Holzpelletspreis	Ct/kWh _{Ho}	166
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,6

Tabelle 2-6 Sensitivität kleiner Nahwärmeverbund

Durch die geringere Steigung der Holzpelletsvarianten beeinflusst der Holzpelletspreis nicht in dem Maße die Wirtschaftlichkeit wie der Erdgaspreis in der Variante 1.

3 Mittlerer Nahwärmeverbund

Der mittlere Nahwärmeverbund bezieht sich auf das bestehende Nahwärmenetz zwischen Erlebnisbad, Dr.-Werner-Dümmeler-Halle und Saunarium.

Da aus organisatorischen Gründen im Gespräch ist, das Saunarium mit einem separaten Wärmeerzeuger unabhängig vom Nahwärmenetz zu versorgen, wird als dezentrale Wärmeversorgung das Saunarium separat vom Erlebnisbad und Sporthalle betrachtet.

Für die Wärmeversorgung werden diese Varianten untersucht. Die dezentrale Variante wird als Basisvariante bezeichnet.

- Basisvariante: Erdgas-Brennwertkessel
- Variante 1: Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel
- Variante 2: Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel + Erdgas-BHKW
- Variante 3: Erdgas-Brennwertkessel + Holzpelletskessel

3.1 Dezentrale Wärmeversorgung Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium

Da der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Erlebnisbad defekt ist, wird eine Erneuerung durch einen Erdgas-Brennwertkessel betrachtet. Über diese Kesselanlage wird das Erlebnisbad und die Sporthalle gemeinsam versorgt.

Für die weiteren Berechnungen wird ein Erdgas-Brennwertkessel mit 300 kW_{th} angenommen.

Durch den vorhandenen Erdgas-Brennwertkessel mit 460 kW_{th} und Baujahr 1996 ist die dezentrale Wärmeversorgung des Saunariums schon gegeben.

Zum Vergleich mit der zentralen Wärmeversorgung werden die Energiebilanz, die Kohlendioxid-Emissionsbilanz und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der dezentralen Wärmeversorgung zur Basisvariante zusammengefasst.

		Erlebnisbad + Sporthalle	Saunarium	Basisvariante
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	891.000	1.152.000	2.043.000
Wärmeleistung	kW _{th}	301	460	761
Nennleistung Erdgaskessel	kW _{th}	310	460	770
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh _{th} /a	891.000	1.152.000	2.043.000
Jahresnutzungsgrad	%	99	90	
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{HU} /a	900.000	1.280.000	2.180.000
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{HO} /a	990.000	1.408.000	2.398.000
Brennstoffmenge Erdgas	m ³ /a	90.000	128.000	218.000

Tabelle 3-1 Energiebilanz Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium

		Erlebnisbad + Sporthalle	Saunarium	Basisvariante
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{HU} /a	900.000	1.280.000	2.180.000
CO₂-Emissionen	t CO₂/a	229	325	554

Tabelle 3-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium

		Erlebnisbad + Sporthalle	Saunarium	Basisvariante
Heizleistung Erdgaskessel	kW _{th}	310	460	770
Investition	€	38.500	0	35.200
Kapitalkosten	€/a	2.709	0	2.709
Verbrauchs-kosten	€/a	40.473	57.464	97.937
Betriebskosten	€/a	1.918	2.189	4.107
Jahreskosten	€/a	45.100	59.653	104.753
Jahreswärmebedarf ohne Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	812.000	1.152.000	1.964.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	5,6	5,2	5,3

Tabelle 3-3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

3.2 Zentrale Wärmeversorgung

Die Auslegung der Kesselanlage erfolgt nach den Werten aus der Ist-Analyse. In der gemeinsamen Versorgung des Freibads, der Sporthalle und des Saunarium benötigen während der Heizperiode die Sporthalle und das Saunarium gleichzeitig Wärme. Daraus ergibt sich in der Spitze eine Wärmeleistung von 700 kW_{th}, während im Sommer durch das Freibad nur eine Spitzenwärmeleistung von 285 kW_{th} benötigt wird. Deswegen wird die Wärmeleistung der Heizzentrale hier auf 700 kW_{th} zuzüglich der Nahwärmeverluste ausgelegt.

Die überschlägige Dimensionierung einer neuen Kesselanlage kann aus der Tabelle entnommen werden.

	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Wärmeleistung kW _{th}
Erlebnisbad	520.000	285
Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	292.000	240
Saunarium	1.152.000	460
Summe	1.964.000	985
Gleichzeitige Spitzenleistung		700
Nahwärmeverluste	87.000	17
Summe	2.051.000	717

Tabelle 3-4 Wärmebedarf mittlerer Nahwärmeverbund

Variante 1

Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel

Für die Variante 1 wird der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Saunarium mit einem Erdgas-Niedertemperaturkessel kombiniert.

Um die Funktion eines Brennwertkessels nutzen zu können, sind niedrige Rücklauf-temperaturen erforderlich. Die niedrigen Rücklauf-temperaturen ermöglichen die Aus-nutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes im Abgas (Brennwertnut-zung), sodass der eingesetzte Brennstoff effizient genutzt wird.

Deswegen wird für den Nahwärmeverbund der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Saunarium mit einem Erdgas-Niedertemperaturkessel kombiniert. Als Standort für den neuen Niedertemperatur-Kessel bietet sich das Freibad an.

Die erforderliche Wärmeleistung teilt sich wie folgt auf die beiden Heizkessel auf.

Erdgas-Brennwertkessel 460 kW_{th} (vorhanden, Saunarium)

Erdgas-Niedertemperaturkessel ca. 260 kW_{th} (295 kW_{th})

Variante 2

Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel + Erdgas-BHKW

Für die zweite Variante wird der neuere Brennwertkessel im Saunarium und das derzeit stillgelegte Erdgas-BHKW im Erlebnisbad herangezogen. Um die benötigte Wärmeleistung abdecken zu können, ist noch ein zusätzlicher Erdgas-Niedertemperaturkessel erforderlich, der im Freibad installiert werden kann.

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem Verbrennungsmotor, der einen Generator antreibt. Die freiwerdende Wärme des Motors kann in das Wärmenetz eingespeist werden. Die Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht eine effizientere Nutzung des eingesetzten Brennstoffs, da zusätzlich zur Stromerzeugung die entstehende Abwärme nutzbar ist.

Ein wärmegeführter Betrieb des Blockheizkraftwerks ermöglicht eine Grundlastabdeckung des Wärmebedarfs; der gleichzeitig erzeugte Strom kann ins Hausnetz zum Eigenverbrauch und der Überschussstrom ins öffentliche Netz eingespeist werden. Durch den Eigenverbrauch des erzeugten Stromes reduzieren sich die Stromkosten. Für die Einspeisung ins öffentliche Netz zahlt das zuständige Energieversorgungsunternehmen eine Einspeisevergütung. Außerdem erhält der Betreiber nach dem KWK-Gesetz eine Zuschlagszahlung für den eingespeisten Strom.

Um ein Blockheizkraftwerk wirtschaftlich zu betreiben, wird es so ausgelegt, dass sich möglichst hohe Vollbenutzungsstunden ergeben. Damit dies erreicht werden kann, ist ein Pufferspeicher vorzusehen, der vom Blockheizkraftwerk geladen werden kann, wenn keine Wärmeabnahme vom Heizsystem stattfindet.

Für das vorhandene BHKW mit 188 kW_{th} Wärmeleistung und 112 kW_{el} sind zwei Pufferspeicher mit jeweils 1.000 l installiert.

Die erforderliche Wärmeleistung teilt sich wie folgt auf die Anlagen auf.

Erdgas-Brennwertkessel	460 kW _{th} (vorhanden, Saunarium)
Erdgas-BHKW	188 kW _{th} (vorhanden, Erlebnisbad)
Erdgas-Niedertemperaturkessel	ca. 70 kW _{th} (105 kW _{th})

Variante 3

Erdgas-Brennwertkessel + Holzpelletskessel

In Ergänzung zur Holzpelletsvariante im kleinen Nahwärmeverbund des Erlebnisbads und der Sporthalle wird für die Erweiterung um das Saunarium ebenfalls eine Variante mit Holzpellets betrachtet.

Die allgemeinen Informationen zu Holzpelletskessel können aus der Kurzvorstellung im vorangegangenen Kapitel „Kleiner Nahwärmeverbund“ entnommen werden.

Als Standort für den Holzpelletskessel bietet sich ebenfalls eine Containeranlage mit Holzpelletssilo neben der Sporthalle an. Während der Biomassekessel zur Grundlastabdeckung eingesetzt wird, dient der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel der Spitzenlastabdeckung.

Die erforderliche Wärmeleistung teilt sich wie folgt auf die Anlagen auf.

Erdgas-Brennwertkessel	460 kW _{th} (vorhanden, Saunarium)
Holzpelletskessel	ca. 260 kW _{th} (300 kW _{th})

3.3 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Stoffströme angegeben.

Erlebnisbad Sporthalle Saunarium		Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		BW-Kessel Erdgas	BW-Kessel + NT-Kessel Erdgas	BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW Erdgas	BW-Kessel + Holzpelletskessel Erdgas + Holzpellets
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	2.043.000	2.051.000	2.051.000	2.051.000
Wärmeleistung	kW _{th}	761	717	717	717
Nennwärmeleistung					
Erdgaskessel	kW _{th}	770	755	565	460
BHKW	kW _{th}			188	
Holzpelletskessel	kW _{th}				300
Summe	kW _{th}	770	755	753	760
Wärmeerzeugung					
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	2.043.000	2.051.000	641.000	205.100
BHKW	kWh _{th} /a			1.410.000	1.845.900
Holzpelletskessel	kWh _{th} /a				
Jahresnutzungsgrad					
Erdgaskessel	%		91	90	90
Holzpelletskessel	%				90
thermischer Wirkungsgrad BHKW	%			54,6	
Vollbenutzungsstunden					
Erdgaskessel	h/a	2.653	2.717	1.135	446
BHKW	h/a			7.500	
Holzpelletskessel	h/a				6.153
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{HU} /a	2.180.000	2.253.846	712.222	227.889
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{HO} /a	2.398.000	2.479.231	783.444	250.678
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{HU} /a			2.582.418	
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{HO} /a			2.840.659	
Holzpelletsbedarf	kWh _{HU} /a				2.051.000
Erdgasmenge Kessel	m ³ /a	218.000	225.385	71.222	22.789
Erdgasmenge BHKW	m ³ /a			258.242	
Holzpelletsmenge	t/a				419
Holzpelletsmenge	Sm ³ /a				644
BHKW elektrische Leistung	kW _{el}			112	
Stromerzeugung	kWh _{el} /a			840.000	

Tabelle 3-5 Energiebilanz mittlerer Nahwärmeverbund

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

In der Regel wird die Lagergröße für Holzpellets für einen fünf- bis zehntägigen Voll-
lastbetrieb des Biomassekessels ausgelegt. Durch die Auswahl eines Silos mit rund
40 m³ Volumen ist das Lagervolumen somit vorgegeben, was einem Fassungsvermö-
gen von etwa 26 t Holzpellets entspricht.

Falls die Sporthalle einen besseren Dämmstandard im Zuge der Modernisierung er-
halten sollte, ergibt sich folgender Brennstoffbedarf unter Annahme des abgeschätz-
ten Wärmebedarfs.

Basisvariante	2.305.778 kWh _{H0} /a Erdgas-Kessel
Variante 1	2.405.333 kWh _{H0} /a Erdgas-Kessel
Variante 2	674.505 kWh _{H0} /a Erdgas-Kessel
	2.840.659 kWh _{H0} /a Erdgas-BHKW
Variante 3	402 t/a bzw. 618 Sm ³ /a Holzpellets

Damit verringert sich der Brennstoffbedarf um ca. 3 %.

3.4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Die ökologischen Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt anhand der Kohlendioxid-Emissionen. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Emission des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für die Wärmeversorgungsvariante mit einem BHKW werden die durch die dezentrale Stromerzeugung CO₂-Emissionen in den Kraftwerken vermieden. Diese Gutschrift wird in der Kohlendioxid-Emissionsbilanz berücksichtigt.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO₂-Emission 254,1 g CO₂/kWh_{BS}.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzpellets benötigten Energie ergibt sich für Holzpellets eine spezifische CO₂-Emission von 70,1 g CO₂/kWh_{BS}.

Für die vermiedene Stromerzeugung in den Kraftwerken beträgt die spezifische CO₂-Emission 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

Erlebnisbad Sporthalle Saunarium		Basisvarinate	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		BW-Kessel	BW-Kessel + NT-Kessel	BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW	BW-Kessel + Holzpellets-kessel
		Erdgas	Erdgas	Erdgas	Erdgas + Holzpellets
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{HU} /a	2.180.000	2.253.846	712.222	227.889
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{HU} /a			2.582.418	
Holzpelletsbedarf	kWh _{HU} /a				2.051.000
Stromerzeugung BHKW	kWh _{el} /a			840.000	
CO₂-Emissionen	t CO₂/a	554	573	264	202

Tabelle 3-6 Kohlendioxid-Emissionsbilanz mittlerer Nahwärmeverbund

Bis auf die Variante 1 führen die übrigen Varianten zu einer deutlichen Verringerung der Kohlendioxid-Emissionen um 55 % bzw. 64 %. Durch die Kombination aus Brennwert- und Niedertemperaturkessel mit einem niedrigeren, mittleren Jahresnutzungsgrad ergibt sich ein höherer Brennstoffbedarf als Brennwertkessel.

Für eine besser gedämmte Sporthalle ergeben sich die gleichen, prozentualen Einsparungen.

3.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der zentralen Wärmeversorgung anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Für die BHKW-Variante werden die Erlöse für den erzeugten Strom als Gutschrift einbezogen. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder. Zu Ermittlung der Kapitalkosten werden nur für die neuen Anlagen überschlägig Investitionskosten zu Grunde gelegt. Für den weiter betriebenen Heizkessel bleiben die zugehörigen Kapitalkosten unberücksichtigt.

Aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurden die aktuellsten Energiepreise ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer entnommen. Zu beachten ist, dass für die Holzpellets ein verminderter Mehrwertsteuersatz von 7 % gilt. Der Erdgaspreis für BHKW ist von der Mineralölsteuer (0,184 Ct/kWh_{H0}) und der Öko-Mineralölsteuer (0,366 Ct/kWh_{H0}) befreit, wenn die BHKW-Anlage einen Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % aufweist. Zur Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten werden Investitionen für die Heizkessel nach spezifischen Kennziffern und Herstellerpreisen herangezogen.

Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (maximal 275.000 €) beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Generalüberholung BHKW	15 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Erlebnisbad / Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	
Einheitspreis Erdgas Heizkessel ¹	4,0118 Ct/kWh _{Ho}
Einheitspreis Erdgas BHKW	3,4618 Ct/kWh _{Ho}
Saunarium	
Einheitspreis Erdgas ¹	4,0118 Ct/kWh _{Ho}
Allgemeiner Strompreis ²	8,487 Ct/kWh _{el}
spez. Holzpelletspreis	154 €/t (zzgl. 7 % MwSt.)
Einblaspauschale Holzpellets	20 €/Lieferung

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizanlage)
Wartung / Instandhaltung BHKW	1,64 Ct/kWh _{el}
Personalkosten	30 €/h

Bestimmung Erlöse Stromerzeugung BHKW

Es wird angenommen, dass ein Teil des erzeugten Stroms im Erlebnisbad und Saunarium verbraucht wird unabhängig von der Größe des Nahwärmenetzes, denn der Standort des BHKW befindet sich im Erlebnisbad. Dort wird der Strom ins Hausnetz zum Eigenverbrauch und der Überschussstrom ins Netz des Energieversorgungsunternehmens eingespeist. Die Abdeckung des Strombedarfs in der Sporthalle oder im Schulzentrum würde eine aufwendige Verbindung der Hausnetze erfordern. Es wird angenommen, dass der erzeugte Strom innerhalb von 4.500 h/a Vollbenutzungsstunden zur Abdeckung des Strombedarfs im Erlebnisbad und Saunarium beiträgt. Dadurch werden entsprechend Kosten für den Strombezug aus dem öffentlichen Netz vermieden.

Allgemeiner Strompreis (vermiedener Strombezug)³ 8,487 Ct/kWh_{el}

Für die Einspeisung des Überschussstroms ins Netz des Energieversorgers wird eine Vergütung gezahlt. Aufgrund des am 01. April 2002 in Kraft getretene KWK-Gesetz erhalten neue Bestandsanlagen (Inbetriebnahme einer neuen Anlage oder einer mit mindestens 50 % Kostenaufwand modernisierten Anlage zwischen 01.01.1990 und 31.03.2002) bis 2009 eine degressive Zuschlagszahlung. Die Einspeisevergütung vom

¹ Pfalzgas: Preise ab 01.07.2005

² RWE: Stromrechnung Mai 2005

³ RWE: Stromrechnung Mai 2005

Energieversorger ist mit dem durchschnittlichen Preis für Baseload-Strom des jeweils letzten Quartals festgesetzt. Dadurch ändert sich die Einspeisevergütung alle drei Monate. Hier wird allerdings nur der Preis aus dem zweiten Quartal 2005 angesetzt.

Einspeisevergütung EVU ¹	4,152 Ct/kWh _{el}
Einsparung durch vermiedene Netznutzung	0,500 Ct/kWh _{el}
Zuschlag nach KWK-Gesetz	1,044 Ct/kWh _{el}
Gesamteinspeisevergütung	5,696 Ct/kWh _{el}

Die Investitionskosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

Für die dezentrale Wärmeversorgung sind wie beim kleinen Nahwärmeverbund nur Investitionskosten für einen neuen Brennwertkessel im Erlebnisbad erforderlich, da der Heizkessel im Saunarium nicht erneuerungsbedürftig ist.

¹ EEX: Durchschnittspreis Baseload-Strom 2. Quartal 2005

Zur gemeinsamen Wärmeversorgung des mittleren Nahwärmenetzes wird der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Saunarium mit 460 kW_{th} einbezogen. In der Aufteilung der Heizleistung wird dieser zwar benannt, allerdings werden keine Investitionskosten für ihn aufgestellt. Die Investitionskosten sind ohne gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

mittlerer Nahwärmeverbund	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium	BW-Kessel + NT-Kessel	BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW	BW-Kessel + Holzpelletskessel
Heizleistung Erdgaskessel	460 + 295 kW _{th}	460 + 105 kW _{th}	460 kW _{th}
Heizleistung BHKW		188 kW _{th}	
Heizleistung Holzpelletskessel			300 kW _{th}
Heizleistung gesamt	755 kW _{th}	753 kW _{th}	760 kW _{th}
Demontage			
Demontage Heizkessel	1.400 €	1.400 €	1.400 €
Demontage Trinkwarmwasserspeicher	900 €	900 €	900 €
Maschinentchnik			
Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	18.200 €	10.800 €	
Holzpelletskessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme			62.900 €
Ladespeicher, externer Wärmetauscher inkl. Montage	4.800 €	4.800 €	4.800 €
Generalüberholung BHKW			
Generalüberholung BHKW		22.800 €	
Bautechnik			
Erdaushub, Bodenplatte, Container mit Kamin, Pelletsilos, Leitungen und Durchbrüche			36.500 €
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	3.800 €	6.100 €	16.000 €
Gesamtinvestition	29.100 €	46.800 €	122.500 €
Gesamtinvestition inkl. MwSt.	33.700 €	54.200 €	142.100 €
Förderung Biomassekessel			18.000 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung			104.500 €
Gesamtinvestition inkl. MwSt. + Förderung			124.100 €

Tabelle 3-7 Investition mittlerer Nahwärmeverbund

In der Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit aufgeführt. Wegen der verschiedenen Mehrwertsteuersätze der Brennstoffe werden die Jahreskosten zusätzlich noch inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben. In allen Varianten wird für die Sporthalle der Wärmebedarf im derzeitigen Zustand angesetzt.

mittlerer Nahwärmeverbund		Basisvariante	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Erlebnisbad Sporthalle Saunarium		BW-Kessel Erdgas	BW-Kessel + NT-Kessel Erdgas	BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW Erdgas	BW-Kessel + Holzpelletskessel Erdgas + Holzpellets
Heizleistung					
Erdgaskessel	kW _{th}	460 + 310	460 + 295	460 + 105	460
BHKW	kW _{th}			188	
Holzpelletskessel	kW _{th}				300
gesamt	kW _{th}	770	755	753	760
Investition	€	38.500	29.100	46.800	122.500
inkl. Förderung	€				104.500
Kapitalkosten	€/a	2.709	2.057	3.662	7.502
inkl. Förderung	€/a				6.292
Verbrauchskosten	€/a	97.937	101.202	131.509	78.184
Betriebskosten	€/a	4.107	3.808	18.350	5.671
Stromgutschrift	€/a			-61.913	
Jahreskosten	€/a	104.753	107.067	91.608	91.357
inkl. Förderung	€/a				90.147
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	121.508	124.193	109.320	100.173
inkl. Förderung und MwSt.	€/a				99.633
Jahreswärmebedarf ohne Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	1.964.000	1.964.000	1.964.000	1.964.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	5,3	5,5	4,7	4,7
inkl. Förderung	Ct/kWh_{th}				4,6
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh_{th}	6,2	6,3	5,6	5,1
inkl. MwSt. + Förderung	Ct/kWh_{th}				5,1

Tabelle 3-8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mittlerer Nahwärmeverbund

Die Jahreskosten liegen in der Größenordnung von etwa 90.000 bis 107.000 €/a. Sowohl die BHKW-Variante als auch die Holzpelletsvariante stellen sich zur Wärmeversorgung des mittleren Nahwärmeverbunds günstig dar.

Wenn der Wärmedämmstandard der Sporthalle in Höhe der Abschätzung verbessert wird, ergeben sich für die Varianten diese Jahreskosten:

Basisvariante	ca. 101.000 €/a (ca. 117.100 €/a inkl. MwSt.)
Variante 1	ca. 104.000 €/a (ca. 120.700 €/a inkl. MwSt.)
Variante 2	ca. 87.200 €/a (ca. 104.200 €/a inkl. MwSt.)
Variante 3	ca. 87.000 €/a inkl. Förderung (ca. 95.500 €/a inkl. Förderung und MwSt.)

3.6 Sensitivitätsbetrachtung

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

Für die Variante, in denen zwei verschiedene Brennstoffe eingesetzt werden, wird jeweils nur ein Brennstoffpreis variiert.

Die Ergebnisse der Analyse ist in Form eines Diagrammen für die verschiedenen Nahwärmenetze dargestellt.

Aus der gewählten Preisspanne ergeben sich folgende Brennstoffpreise.

dezentrale Wärmeversorgung

Liegenschaft	Erdgaspreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Erlebnisbad, Sporthalle	2,4071	4,0118	5,6165
Saunarium	2,4071	4,0118	5,6165

zentrale Wärmeversorgung: Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium

	Erdgaspreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Variante 1: Erdgas-BW- und NT- Kessel	2,4071	4,0118	5,6165
Variante 2: Erdgas-BW-Kessel + BHKW	Kessel: 2,4071 BHKW: 1,8571	Kessel: 4,0118 BHKW: 3,4618	Kessel: 5,6165 BHKW: 5,0665
Variante 3: Erdgas-BW-Kessel + Holzpelletsessel	2,4071	4,0118	5,6165
	Holzpelletspreis -40 % in €/t	Holzpelletspreis 0 % in €/t	Holzpelletspreis +40 % in €/t
Variante 3: Erdgas-BW-Kessel + Holzpelletsessel	92	154	216

In dem Diagramm ist der Wärmepreis abhängig von der Brennstoffpreisänderung aufgetragen.

Um die wirtschaftlichen Entwicklungen einordnen zu können, ist der Verlauf für die jeweilige, dezentrale Wärmeversorgung mit aufgeführt. Eine gestrichelte Gerade, die als „Vergleichsgrundlage“ bezeichnet ist, markiert den Wärmepreis der dezentralen Wärmeversorgung aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Für 0 % Preisänderung des Brennstoffs liegen die Wärmepreise, wie sie in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt wurden, vor.

Da die Holzpreise nicht an fossilen Brennstoffpreisen gebunden sind, sind die Preisänderungen unabhängig voneinander zu sehen. So kann z. B. der Erdgaspreis zunehmen, während der Holzpelletspreis konstant bleibt.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist sowohl die Steigung der Geraden und deren gemeinsamer Schnittpunkt entscheidend. Die Steigung ist ein Maß für die Höhe des Einflusses durch den Brennstoffpreis auf die Wirtschaftlichkeit. Da nicht alle Kombinationsmöglichkeiten untersucht werden können, wird nur der Schnittpunkt der zentralen Wärmeversorgung mit dem Wärmepreis der Basisvariante betrachtet. Denn der Wärmepreis in der dezentralen Wärmeversorgung ist aus wirtschaftlichen Gründen die obere Grenze der neuen Wärmeversorgung.

Die Sensitivität für den mittleren Nahwärmeverbund stellt sich wie folgt dar.

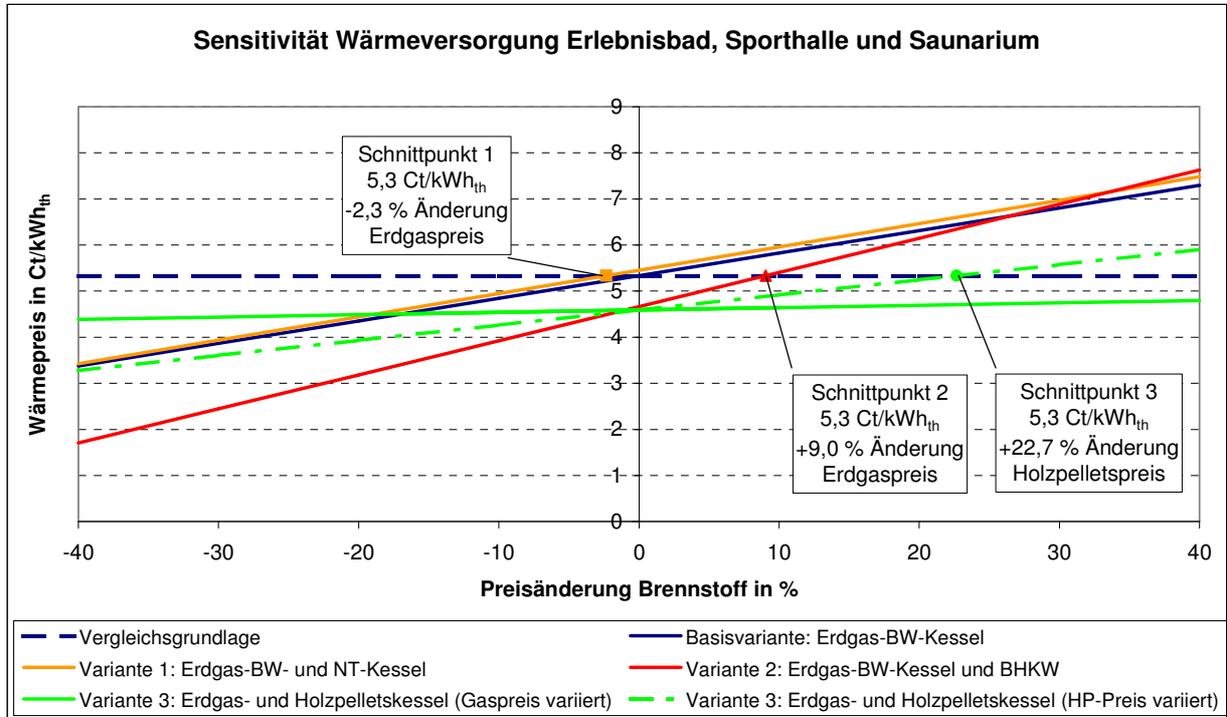


Abbildung 3-1 Sensitivität mittlerer Nahwärmeverbund

Um den Wärmepreis von 5,3 Ct/kWh_{th} der Basisvariante zu erreichen, sind diese Brennstoffpreisänderungen der zentralen Wärmeversorgungsvarianten erforderlich.

	Schnittpunkt 1 Variante 1 Erdgas-BW-Kessel + Erdgas-NT- Kessel	Schnittpunkt 2 Variante 2 Erdgas-BW- + BHKW	Schnittpunkt 3 Variante 3 Erdgas-BW-Kessel + Holzpellets- kessel (HP-Preis variiert)	
Preisänderung	%	-2,3	+9,0	+22,7
Erdgaspreis Kessel	Ct/kWh _{Ho}	3,9184	4,3746	
Erdgaspreis BHKW	Ct/kWh _{Ho}		3,8246	
Holzpelletspreis	€/t			189
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,3	5,3	5,3

Tabelle 3-9 Sensitivität mittlerer Nahwärmeverbund

Bis auf die Holzpelletsvariante sind etwas niedrigere Brennstoffpreise notwendig, um den Wärmepreis der Basisvariante einhalten zu können.

4 Großer Nahwärmeverbund

Der große Nahwärmeverbund betrachtet die Erweiterung des bestehenden Nahwärmenetzes durch die Anbindung des Schulzentrums.

Da aus organisatorischen Gründen im Gespräch ist, das Saunarium mit einem separaten Wärmeerzeuger unabhängig vom Nahwärmenetz zu versorgen, wird als dezentrale Wärmeversorgung das Saunarium separat vom Erlebnisbad und Sporthalle betrachtet.

Für die Wärmeversorgung werden diese Varianten untersucht. Die dezentrale Variante wird als Basisvariante bezeichnet.

Basisvariante: Erdgas-Brennwertkessel und Erdgas-Niedertemperaturkessel

Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel + Erdgas-BHKW

Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Holzhackschnitzelkessel

4.1 Dezentrale Wärmeversorgung Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum

Da der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Erlebnisbad defekt ist, wird eine Erneuerung durch einen Erdgas-Brennwertkessel betrachtet. Über diese Kesselanlage wird das Erlebnisbad und die Sporthalle gemeinsam versorgt.

Für die weiteren Berechnungen wird ein Erdgas-Brennwertkessel mit $300 \text{ kW}_{\text{th}}$ angenommen.

Durch den vorhandenen Erdgas-Brennwertkessel mit $460 \text{ kW}_{\text{th}}$ und Baujahr 1996 ist die dezentrale Wärmeversorgung des Saunariums schon gegeben.

Der erdgasbefeuerte Brennwertkessel mit $460 \text{ kW}_{\text{th}}$ und Baujahr 1992 kann auch weiterhin zur Wärmeversorgung des Schulzentrums beitragen, während der ältere Heizkessel zu erneuern ist. Nach der Abschätzung der erforderlichen Wärmeleistung von insgesamt rund $870 \text{ kW}_{\text{th}}$ in der Ist-Analyse ergibt sich für einen neuen Erdgas-Niedertemperaturkessel $450 \text{ kW}_{\text{th}}$ als Wärmeleistung.

Zum Vergleich mit der zentralen Wärmeversorgung werden die Energiebilanz, die Kohlendioxid-Emissionsbilanz und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der dezentralen Wärmeversorgung zur Basisvariante zusammengefasst.

		Erlebnisbad + Sporthalle	Saunarium	Schulzentrum	Basisvariante
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	891.000	1.152.000	872.000	2.915.000
Wärmeleistung	kW _{th}	301	460	870	1.631
Nennleistung Erdgaskessel	kW _{th}	310	460	460 + 455	1.685
Wärmeerzeugung Erdgaskessel	kWh _{th} /a	891.000	1.152.000	872.000	2.915.000
Jahresnutzungsgrad	%	99	90	90	
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Hu} /a	900.000	1.280.000	968.889	3.148.889
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Ho} /a	990.000	1.408.000	1.065.778	3.463.778
Brennstoffmenge Erdgas	m ³ /a	90.000	128.000	96.889	314.889

Tabelle 4-1 Energiebilanz Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum

		Erlebnisbad + Sporthalle	Saunarium	Schulzentrum	Basisvariante
Brennstoffbedarf Erdgas	kWh _{Hu} /a	900.000	1.280.000	968.889	3.148.889
CO₂-Emissionen	t CO₂/a	229	325	246	800

Tabelle 4-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum

		Erlebnisbad + Sporthalle	Saunarium	Schulzentrum	Basisvariante
Heizleistung Erdgaskessel	kW _{th}	310	460	915 (460 + 455)	1.685
Investition	€	38.500	0	33.000	71.500
Kapitalkosten	€/a	2.709	0	2.327	5.036
Verbrauchskosten	€/a	40.473	57.464	44.744	142.681
Betriebskosten	€/a	1.918	2.189	4.170	8.277
Jahreskosten	€/a	100	59.653	51.241	155.995
Jahreswärmebedarf ohne Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	812.000	1.152.000	872.000	2.836.000
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	5,6	5,2	5,9	5,5

Tabelle 4-3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

4.2 Zentrale Wärmeversorgung

Der Wärmebedarf und die Wärmeleistung, die von der Heizzentrale bereitzustellen ist, werden anhand der Ist-Analyse, abgeschätzten Nahwärmeverlusten und einer Gleichzeitigkeit ermittelt.

In der großen Variante beträgt die Spitzenwärmeleistung während der Heizperiode für die Sporthalle, das Saunarium und das Schulzentrum 1.570 kW_{th}. Dem steht die Spitzenwärmeleistung von 285 kW_{th} im Sommer durch das Freibad gegenüber, sodass die Auslegung der Heizzentrale sich nach dem Leistungsbedarf in der Heizperiode orientiert.

	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Wärmeleistung kW _{th}
Erlebnisbad	520.000	285
Dr.-Werner-Dümmler-Halle	292.000	240
Saunarium	1.152.000	460
Schulzentrum	872.000	870
Summe	2.836.000	1.855
Gleichzeitige Spitzenleistung		1.570
Nahwärmeverluste	149.000	30
Summe	2.985.000	1.600

Tabelle 4-4 Wärmebedarf großer Nahwärmeverbund

Variante 1

2 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel + Erdgas-BHKW

Mit der Vergrößerung des Nahwärmeverbunds durch das Schulzentrum ist mit dem vorhandenen BHKW ein weiterer Heizkessel erforderlich wie für den mittleren Nahwärmeverbund.

Die erforderliche Wärmeleistung teilt sich wie folgt auf die Anlagen auf.

Erdgas-Brennwertkessel	460 kW _{th} (vorhanden, Saunarium)
Erdgas-Brennwertkessel	460 kW _{th} (vorhanden, Schulzentrum)
Erdgas-BHKW	188 kW _{th} (vorhanden, Erlebnisbad)
Erdgas-Niedertemperaturkessel	ca. 500 kW _{th} (510 kW _{th})

Variante 2

2 Erdgas-Brennwertkessel + Holzhackschnitzelkessel

Im Gegensatz zu den kleineren Nahwärmenetzen ist zur Grundlastabdeckung der Wärmeleistung im großen Nahwärmeverbund aus technischer und wirtschaftlicher Sicht ein Holzhackschnitzelkessel sinnvoller als ein Holzpelletskessel, sodass als Biomassevariante hier ein Holzhackschnitzelkessel betrachtet wird.

Aus Waldrestholz (Schwachholz aus Schlagabraum, Durchforstung) oder aus unbehandeltem Industrierestholz werden mit speziellen Hackmaschinen Holzhackschnitzel in etwa Streichholzschachtelgröße hergestellt. Durch die Schütffähigkeit der Holzhackschnitzel ist deren Transport, die Lagerung und die automatische Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Aufgrund dessen ist ein kontinuierlicher Betrieb eines Biomassekessels ohne großen Bedienungsaufwand gewährleistet.

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystem, der Brennstofffeuchte und die zu lagernde Menge bestimmt. Außerdem sind die örtlichen Gegebenheiten für die Anforderungen an das Lager zu berücksichtigen. Neben Silos (z. B. Fahr- bzw. Tunnelsilo) und Bunker kann der Brennstoff im Gebäude gelagert werden. Alternativ dazu können die Holzhackschnitzel in Container geliefert werden. Unterschiedliche Austragungssysteme transportieren die Holzhackschnitzel aus dem Lager zur Brennstoffzuführung des Biomassekessels. Zur automatischen Austragung werden Schubböden, Teleskopfräsen oder Austragungsschnecken eingesetzt. Diese beschicken die Förderschnecke, die auch als Dosierschnecke bezeichnet wird, da mit ihr die Kesselleistung geregelt werden kann, oder einen Kratzkettenförderer zum Kessel. Das Brennstofflager sollte sich möglichst nahe an der Kesselanlage befinden, um eine geringe Länge der Transportschnecken zu benötigen. Dadurch kann die Gefahr des Zusetzens der Förderschnecke durch die Holzhackschnitzel vermieden werden.

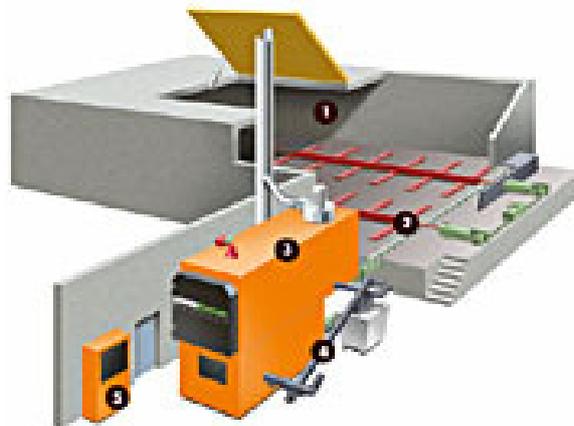


Abbildung 4-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid Ag, CH-Eschlikon)

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

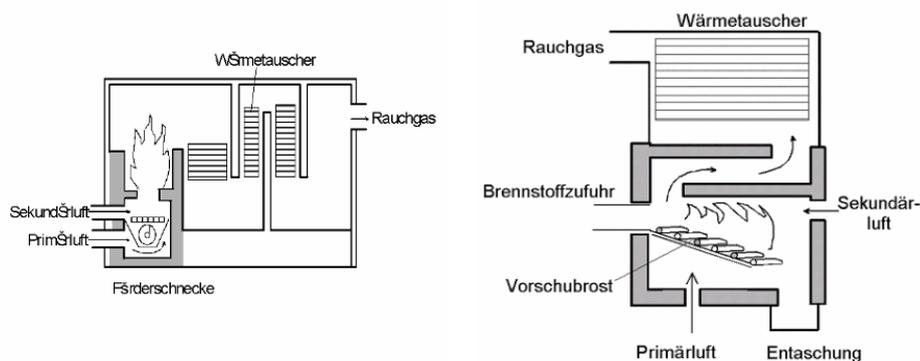


Abbildung 4-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind mit einer Leistungsregelung zur Anpassung der Wärmeproduktion auf den benötigten Wärmebedarf ausgestattet. Außerdem ist eine Verbrennungsregelung notwendig, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

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

Da die Kesselleistung der Biomassekessel zwischen 30 % und 100 % seiner Nennleistung regelbar ist, kann eine Teillast kleiner als 30 % der Nennleistung mit einem Pufferspeicher abgedeckt werden. Dadurch reduziert sich die sonst notwendige Schalthäufigkeit, und die Holzfeuerungsanlage wird effizienter genutzt.

In der Regel wird ein Biomassekessel bivalent mit einem konventionellen Heizkessel betrieben, um eine Notversorgung zu gewährleisten und die Investitionskosten möglichst niedrig zu halten. Der Biomassekessel wird zur Abdeckung einer Grund- und

Mittellast ausgelegt, während ein erdgas- oder heizölbefuehrter Kessel als Spitzenlastkessel eingesetzt wird.

Neben Holzhackschnitzel als Waldholz oder unbehandeltes Industrierestholz kann auch zerkleinertes Landschaftspflegegrün zur Verfeuerung in einem Biomassekessel eingesetzt werden.

Um lange Transportwege zu vermeiden, sollte sich das Holzhackschnitzellager direkt neben der Heizzentrale befinden.

Die erforderliche Lagergröße berechnet sich nach dem Brennstoffbedarf, der notwendig ist, um die Holzfeuerungsanlage an 5 bis 10 Tagen unter Volllast zu betreiben. Aufgrund des LKW-Ladevolumens können zwischen etwa 40 und 80 Sm³ angeliefert werden.

Auch für einen Holzhackschnitzelkessel ist der Standort einer Containeranlage neben der Dr.-Werner-Dümmler-Halle sinnvoll. Zur Lagerung der Holzhackschnitzel bietet sich ein Erdbunker mit Schubstangenausragung an, der in den leicht ansteigenden Hang gebaut werden kann. Damit wird das Abkippen des Brennstoffs in den Erdbunker erleichtert. Die Zufahrt des Sattelschleppers ist über die Staudernheimer Straße möglich. Dazu ist der Hang aufzuschütten und zu befestigen, damit Sattelschlepper über eine befahrbare Fläche rückwärts zum Lager fahren und den Brennstoff abkippen kann.

Die erforderliche Wärmeleistung teilt sich wie folgt auf die Anlagen auf.

Erdgas-Brennwertkessel	460 kW _{th} (vorhanden, Saunarium)
Erdgas-Brennwertkessel	460 kW _{th} (vorhanden, Schulzentrum)
Holzhackschnitzelkessel	ca. 700 kW _{th} (700 kW _{th})

4.3 Energiebilanz

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Stoffströme angegeben.

Erlebnisbad Sporthalle Saunarium Schulzentrum		Basisvariante BW-Kessel + NT- Kessel Erdgas	Variante 1 BW-Kessel + NT- Kessel + BHKW Erdgas	Variante 2 BW-Kessel + HHS-Kessel Erdgas + HHS
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	1.631	1.600	1.600
Wärmeleistung	kW _{th}	2.915.000	2.985.000	2.985.000
Nennwärmeleistung				
Erdgaskessel	kW _{th}	1.685	1.430	920
BHKW	kW _{th}		188	
Holz hackschnitzelkessel	kW _{th}			700
Summe	kW _{th}	1.685	1.618	1.620
Wärmeerzeugung				
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	2.915.000	1.481.000	298.500
BHKW	kWh _{th} /a		1.504.000	
Holz hackschnitzelkessel	kWh _{th} /a			2.686.500
Jahresnutzungsgrad				
Erdgaskessel	%		91	90
Holz hackschnitzelkessel	%			85
thermischer Wirkungsgrad	%		54,6	
BHKW				
Vollbenutzungsstunden				
Erdgaskessel	h/a	1.730	1.036	324
BHKW	h/a		8.000	
Holz hackschnitzelkessel	h/a			3.838
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{Hu} /a	3.148.889	1.627.473	331.667
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{Ho} /a	3.463.778	1.790.220	364.833
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{Hu} /a		2.754.579	
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{Ho} /a		3.030.037	
Holz hackschnitzelbedarf	kWh _{Hu} /a			3.160.588
Erdgasmenge Kessel	m ³ /a	314.889	162.747	33.167
Erdgasmenge BHKW	m ³ /a		275.458	
Holz hackschnitzelmenge	Sm ³ /a			3.951
BHKW				
elektrische Leistung	kW _{el}		112	
Stromerzeugung	kWh _{el} /a		896.000	

Tabelle 4-5 Energiebilanz großer Nahwärmeverbund

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

Auch die zu bevorratende Holzhackschnitzelmenge wird für einen fünf- bis zehntägigen Volllastbetrieb des Biomassekessels ausgelegt. Für einen siebentägigen Volllastbetrieb ergibt sich ein Lagervolumen von 216 m³, in dem etwa 170 Sm³ Holzhackschnitzel bevorratet werden können.

Mit einem besseren Dämmstandard der Sporthalle würde sich der Brennstoffbedarf in den einzelnen Varianten etwas reduzieren. Unter Annahme des abgeschätzten Wärmebedarfs würde sich folgender Brennstoffbedarf einstellen.

Basisvariante:	3.371.556 kWh _{Ho} /a Erdgas-Kessel
Variante 1:	1.689.890 kWh _{Ho} /a Erdgas-Kessel
	3.030.037 kWh _{Ho} /a Erdgas-BHKW
Variante 3:	354.689 kWh _{Ho} /a Erdgas-Kessel
	3.841 Sm ³ /a Holzhackschnitzel

Gegenüber des schlechteren Wärmedämmstandards würde der Brennstoffbedarf um ca. 2 % niedriger liegen.

4.4 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Die ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt anhand der Kohlendioxid-Emissionen. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und der spezifischen CO₂-Emission des eingesetzten Brennstoffs der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet.

Für die Wärmeversorgungsvariante mit einem BHKW werden die durch die dezentrale Stromerzeugung CO₂-Emissionen in den Kraftwerken vermieden. Diese Gutschrift wird in der Kohlendioxid-Emissionsbilanz berücksichtigt.

Für Erdgas beträgt die spezifische CO₂-Emission 254,1 g CO₂/kWh_{BS}.

Unter Anrechnung der CO₂-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzhackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für Holzhackschnitzel eine spezifische CO₂-Emission von 58,4 g CO₂/kWh_{BS}.

Für die vermiedene Stromerzeugung in den Kraftwerken beträgt die spezifische CO₂-Emission 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

Erlebnisbad Sporthalle Saunarium Schulzentrum		Basisvariante 3 BW-Kessel + NT-Kessel Erdgas	Variante 1 BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW Erdgas	Variante 2 BW-Kessel + HHS-Kessel Erdgas + HHS
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{HU} /a	3.148.889	1.627.473	331.667
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{HU} /a		2.754.579	
Holzhackschnitzelbedarf	kWh _{HU} /a			3.160.588
Stromerzeugung BHKW	kWh _{el} /a		896.000	
CO₂-Emissionen	t CO₂/a	800	502	269

Tabelle 4-6 Kohlendioxid-Emissionsbilanz großer Nahwärmeverbund

Mit den beiden Nahwärmevarianten können gegenüber der dezentralen Wärmeversorgung 37 % mit Einsatz eines BHKW bzw. 66 % mit Holzhackschnitzel als Brennstoff der CO₂-Emissionen eingespart werden.

4.5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der zentralen Wärmeversorgung anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Für die BHKW-Varianten werden die Erlöse für den erzeugten Strom als Gutschrift einbezogen. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Zu Ermittlung der Kapitalkosten werden nur für die neuen Anlagen überschlägig Investitionskosten zu Grunde gelegt. Für die weiter betriebenen Heizkessel bleiben die zugehörigen Kapitalkosten unberücksichtigt.

Aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurden die aktuellsten Energiepreise ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer entnommen. Zu beachten ist, dass für die Holzhackschnitzel ein verminderter Mehrwertsteuersatz von 7 % gilt. Der Erdgaspreis für BHKW ist von der Mineralölsteuer (0,184 Ct/kWh_{H0}) und der Öko-Mineralölsteuer (0,366 Ct/kWh_{H0}) befreit, wenn die BHKW-Anlage einen Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % aufweist. Zur Ermittlung der Wartungs- und Instandhaltungskosten werden Investitionen für die Heizkessel nach spezifischen Kennziffern und Herstellerpreisen herangezogen.

Nach dem Marktanzreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 26. November 2003 Bundesanzeiger Nr. 234 ausgegeben am 13. Dezember 2003“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (maximal 275.000 €) sowie für die Nahwärmeleitung bei einer Wärmeabnahme von mehr als 1,5 MWh_{th}/(m*a) ein Teilschulderlass von 50 € je m Rohrlänge (maximal 600.000 €) beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe.

Der Mindestwärmeabsatz für die neu zu verlegenden Nahwärmeleitungen von der Sporthalle zum Schulzentrum ist mit etwa 1 MWh_{th}/(m*a), der sich aus dem Wärmebedarf von 872 MWh_{th}/a bezogen auf einer abgeschätzten Leitungslänge von 800 m berechnet, für die zusätzliche Förderung zu gering, sodass nur die Fördermittel für den Holzhackschnitzelkessel angesetzt werden.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Generalüberholung BHKW	15 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmeleitungen	25 Jahre
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Planung	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Erlebnisbad / Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	
Einheitspreis Erdgas Heizkessel ¹	4,0118 Ct/kWh _{Ho}
Einheitspreis Erdgas BHKW	3,4618 Ct/kWh _{Ho}
Saunarium	
Einheitspreis Erdgas ¹	4,0118 Ct/kWh _{Ho}
Schulzentrum	
Einheitspreis Erdgas ²	4,1288 Ct/kWh _{Ho}
Allgemeiner Strompreis ³	8,487 Ct/kWh _{el}
spez. Holzhackschnitzelpreis (Waldholz)	14 €/Sm ³ (zzgl. 7 % MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizanlage)
Wartung / Instandhaltung BHKW	1,64 Ct/kWh _{el}
Personalkosten	30 €/h

Bestimmung Erlöse Stromerzeugung BHKW

Es wird angenommen, dass ein Teil des erzeugten Stroms im Erlebnisbad und Saunarium verbraucht wird unabhängig von der Größe des Nahwärmenetzes, denn der Standort des BHKW befindet sich im Erlebnisbad. Dort wird der Strom ins Hausnetz zum Eigenverbrauch und der Überschussstrom ins Netz des Energieversorgungsunternehmens eingespeist. Die Abdeckung des Strombedarfs in der Sporthalle oder im

¹ Pfalzgas: Preise ab 01.07.2005

² Pfalzgas: Preise Rechnung Mai 2005

³ RWE: Stromrechnung Mai 2005

Schulzentrum würde eine aufwendige Verbindung der Hausnetze erfordern. Es wird angenommen, dass der erzeugte Strom innerhalb von 4.500 h/a Vollbenutzungsstunden zur Abdeckung des Strombedarfs im Erlebnisbad und Saunarium beiträgt. Dadurch werden entsprechend Kosten für den Strombezug aus dem öffentlichen Netz vermieden.

Allgemeiner Strompreis (vermiedener Strombezug)¹ 8,487 Ct/kWh_{el}

Für die Einspeisung des Überschussstroms ins Netz des Energieversorgers wird eine Vergütung gezahlt. Aufgrund des am 01. April 2002 in Kraft getretene KWK-Gesetz erhalten neue Bestandsanlagen (Inbetriebnahme einer neuen Anlage oder einer mit mindestens 50 % Kostenaufwand modernisierten Anlage zwischen 01.01.1990 und 31.03.2002) bis 2009 eine degressive Zuschlagszahlung. Die Einspeisevergütung vom Energieversorger ist mit dem durchschnittlichen Preis für Baseload-Strom des jeweils letzten Quartals festgesetzt. Dadurch ändert sich die Einspeisevergütung alle drei Monate. Hier wird allerdings nur der Preis aus dem zweiten Quartal 2005 angesetzt.

Einspeisevergütung EVU ²	4,152 Ct/kWh _{el}
Einsparung durch vermiedene Netznutzung	0,500 Ct/kWh _{el}
Zuschlag nach KWK-Gesetz	1,044 Ct/kWh _{el}
Gesamteinspeisevergütung	5,696 Ct/kWh _{el}

Die Investitionskosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

Zur gemeinsamen Wärmeversorgung des großen Nahwärmenetzes wird der vorhandene Erdgas-Brennwertkessel im Saunarium mit 460 kW_{th} und im Schulzentrum mit 460 kW_{th} einbezogen, allerdings sind keine Investitionskosten für diese erforderlich.

¹ RWE: Stromrechnung Mai 2005

² EEX: Durchschnittspreis Baseload-Strom 2. Quartal 2005

großer Nahwärmeverbund	Variante 1	Variante 2
Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium, Schulzentrum	BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW	BW-Kessel + HHS-Kessel
Heizleistung Erdgaskessel	460 + 460 + 510 kW _{th}	460 + 460 kW _{th}
Heizleistung BHKW	188 kW _{th}	
Heizleistung HHS-Kessel		700 kW _{th}
Heizleistung gesamt	1.618 kW _{th}	1.620 kW _{th}
Demontage		
Demontage Heizkessel	3.800 €	3.800 €
Demontage Trinkwarmwasserspeicher	900 €	900 €
Maschinentechnik		
Erdgas-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	28.700 €	
Holz hackschnitzelkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		131.900 €
Ladespeicher, externer Wärmetauscher inkl. Montage	4.800 €	4.800 €
Generalüberholung BHKW		
Generalüberholung BHKW	22.800 €	
Bautechnik		
Erdaushub, Bodenplatte, Container mit Kamin, HHS-Bunker mit Schiebedeckel und Schubodenaustragung, Leitungen und Durchbrüche		132.700 €
LKW-Zufahrt mit Hangstützmauer, Verfüllung und befahrbare Fläche		15.000 €
Nahwärmeleitungen		
Nahwärmeleitungen Schulzentrum inkl. indirekter Hausübergabestation	226.700 €	226.700 €
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	43.200 €	77.400 €
Gesamtinvestition	330.900 €	593.200 €
Gesamtinvestition inkl. MwSt.	383.800 €	688.100 €
Förderung Biomassekessel		42.000 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung		551.200 €
Gesamtinvestition inkl. MwSt. + Förderung		646.100 €

Tabelle 4-7 Investition großer Nahwärmeverbund

In der Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit aufgeführt. Wegen der verschiedenen Mehrwertsteuersätze der Brennstoffe werden die Jahreskosten zusätzlich noch inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben. In allen Varianten wird für die Sporthalle der Wärmebedarf im derzeitigen Zustand angesetzt.

großer Nahwärmeverbund		Basisvariante	Variante 1	Variante 2
Erlebnisbad Sporthalle Saunarium Schulzentrum		BW-Kessel + NT-Kessel Erdgas	BW-Kessel + NT-Kessel + BHKW Erdgas	BW-Kessel + HHS-Kessel Erdgas + HHS
Investition	€	71.500	330.900	593.200
inkl. Förderung	€			551.200
Kapitalkosten	€/a	5.036	21.193	34.825
inkl. Förderung	€/a			32.002
Verbrauchskosten	€/a	142.681	180.661	74.974
Betriebskosten	€/a	8.278	22.623	11.364
Stromgutschrift	€/a		-65.103	
Jahreskosten	€/a	155.995	159.374	121.163
inkl. Förderung	€/a			118.340
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	180.951	188.441	135.570
inkl. Förderung und MwSt.	€/a			132.747
Jahreswärmebedarf ohne Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	2.836.000	2.836.000	2.836.000
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,5	5,6	4,3
inkl. Förderung	Ct/kWh _{th}			4,2
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	6,4	6,6	4,8
inkl. MwSt. + Förderung	Ct/kWh _{th}			4,7

Tabelle 4-8 Wirtschaftlichkeit großer Nahwärmeverbund

Die Jahreskosten für den großen Nahwärmeverbund bewegen sich zwischen ca. 118.000 und 159.000 €/a. Hier ist die Biomassevariante aus wirtschaftlicher Sicht günstig.

Mit einem niedrigeren Wärmebedarf nach einer Abschätzung durch Verbesserung des Dämmstandards in der Sporthalle ergeben sich diese Jahreskosten.

Basisvariante ca. 152.300 €/a (ca. 176.600 €/a inkl. MwSt.)

Variante 1 ca. 155.200 €/a (ca. 183.600 €/a inkl. MwSt.)

Variante 2 ca. 116.500 €/a inkl. Förderung (ca. 130.700 €/a inkl. Förderung und MwSt.)

4.6 Sensitivitätsbetrachtung

Zusätzlich zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf die Brennstoffpreise durchgeführt. Für eine Änderung der Brennstoffpreise gegenüber den in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Preise innerhalb einer Preisspanne von -40 % bis +40 % werden die Wärmepreise der Varianten ermittelt. Für die Varianten, in denen zwei verschiedene Brennstoffe eingesetzt werden, wird jeweils nur ein Brennstoffpreis variiert.

Die Ergebnisse der Analyse ist in Form eines Diagramms dargestellt.

Aus der gewählten Preisspanne ergeben sich folgende Brennstoffpreise.

dezentrale Wärmeversorgung

Liegenschaft	Erdgaspreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Erlebnisbad, Sporthalle	2,4071	4,0118	5,6165
Saunarium	2,4071	4,0118	5,6165
Schulzentrum	2,4773	4,1288	5,7803

zentrale Wärmeversorgung: Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium, Schulzentrum

	Erdgaspreis -40 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis 0 % in Ct/kWh _{H0}	Erdgaspreis +40 % in Ct/kWh _{H0}
Variante 1: Erdgas-BW- und NT- Kessel	Freibad: 2,4071 Schule: 2,4773	Freibad: 4,0118 Schule: 4,1288	Freibad: 5,6165 Schule: 5,7803
Variante 2: Erdgas-BW-Kessel + BHKW	Freibad: 2,4071 Schule: 2,4773 BHKW: 1,8571	Freibad: 4,0118 Schule: 4,1288 BHKW: 3,4618	Freibad: 5,6165 Schule: 5,7803 BHKW: 5,0665
Variante 3: Erdgas-BW-Kessel + Holzhackschnitzelkessel	Freibad: 2,4071 Schule: 2,4773	Freibad: 4,0118 Schule: 4,1288	Freibad: 5,6165 Schule: 5,7803
	HHS-Preis -40 % in €/Sm ³	HHSpreis 0 % in €/Sm ³	HHSpreis +40 % in €/Sm ³
Variante 3: Erdgas-BW-Kessel + Holzpelletskessel	8,4	14	19,6

Im Diagramm ist der Wärmepreis abhängig von der Brennstoffpreisänderung aufgetragen.

Um die wirtschaftlichen Entwicklungen einordnen zu können, ist der Verlauf für die jeweilige, dezentrale Wärmeversorgung mit aufgeführt. Eine gestrichelte Gerade, die als „Vergleichsgrundlage“ bezeichnet ist, markiert den Wärmepreis der dezentralen Wärmeversorgung aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Für 0 % Preisänderung des Brennstoffs liegen die Wärmepreise, wie sie in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt wurden, vor.

Da die Holzpreise nicht an fossilen Brennstoffpreisen gebunden sind, sind die Preisänderungen unabhängig voneinander zu sehen. So kann z. B. der Erdgaspreis zunehmen, während der Holzhackschnitzelpreis konstant bleibt.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist sowohl die Steigung der Geraden und deren gemeinsamer Schnittpunkt entscheidenden. Die Steigung ist ein Maß für die Höhe des Einflusses durch den Brennstoffpreis auf die Wirtschaftlichkeit. Da nicht alle Kombinationsmöglichkeiten untersucht werden können, wird nur der Schnittpunkt der zentralen Wärmeversorgung mit dem Wärmepreis der Basisvariante betrachtet. Denn der Wärmepreis in der dezentralen Wärmeversorgung ist aus wirtschaftlichen Gründen die obere Grenze der neuen Wärmeversorgung.

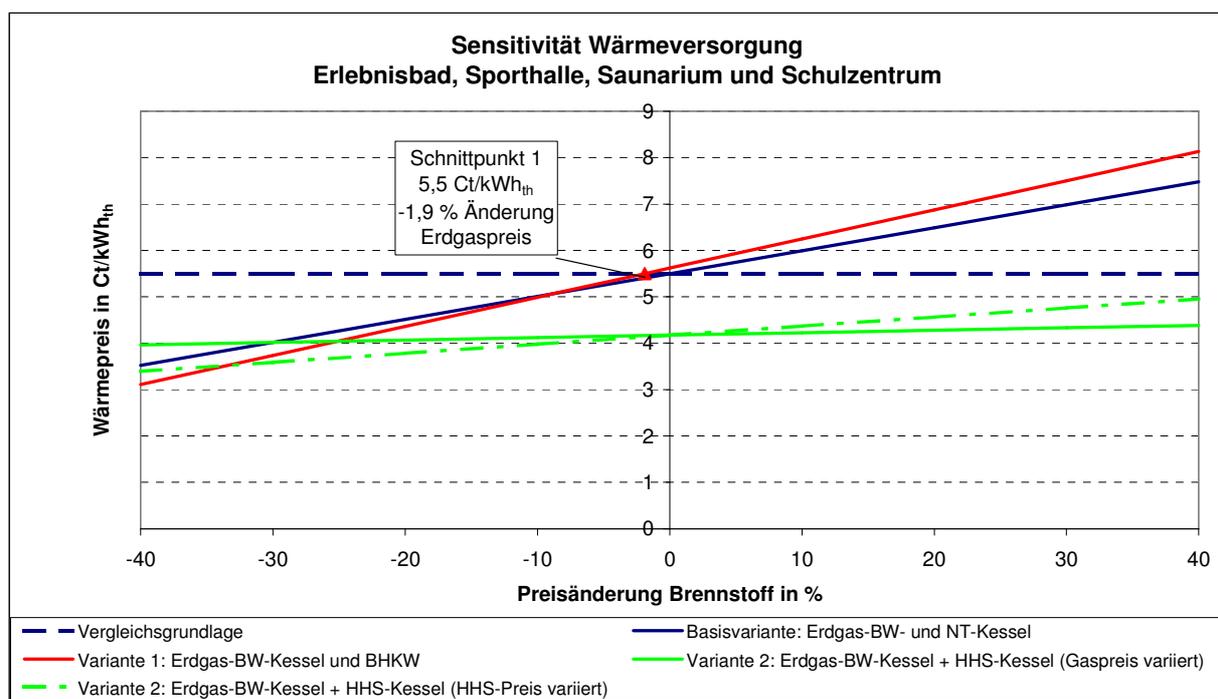


Abbildung 4-3 Sensitivität großer Nahwärmeverbund

Um den Wärmepreis von 5,5 Ct/kWh_{th} der Basisvariante zu erreichen, sind diese Brennstoffpreisänderungen der zentralen Wärmeversorgungsvarianten erforderlich.

		Schnittpunkt 1 Variante 1 Erdgas-BW-Kessel + BHKW
Preisänderung	%	-1,9
Erdgaspreis Kessel Erlebnisbad	Ct/kWh _{Ho}	3,9357
Erdgaspreis Kessel Schulzentrum	Ct/kWh _{Ho}	4,0504
Erdgaspreis BHKW	Ct/kWh _{Ho}	3,3961
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,5

Tabelle 4-9 Sensitivität großer Nahwärmeverbund

Während die Holzhackschnitzelvariante mit einer Preissteigerung von weit über 40 % den Wärmepreis der Basisvariante erreicht, sind für die BHKW-Variante geringfügig niedrigere Erdgaspreise notwendig.

5 Einsatzmöglichkeiten von Solaranlagen zur Beheizung des Erlebnisbads und der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

Für eine solarunterstützte Wärmeversorgung des kleinen Nahwärmeverbunds aus Erlebnisbad und Sporthalle wird der Einsatz einer Solarabsorberanlage und einer Solarkollektoranlage geprüft.

Die beiden Anlagen werden kurz mit den zu erwartenden Erträgen vorgestellt. Eine Bewertung erfolgt ebenfalls hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit.

5.1 Solarabsorberanlage

Um den Brennstoffbedarf im Freibad zu verringern, bietet sich der Einsatz eines Solarabsorbers an. Damit die Wärmeversorgung der Sporthalle und die Aufheizung des Beckenwassers zu Saisonbeginn gewährleistet ist, ist ein Heizkessel weiterhin notwendig.

Eine Solarabsorberanlage gehört zu den thermischen Solaranlagen, die die auftretende solare Einstrahlung in Wärme umwandeln. Solarabsorber liefern Wärme auf einem niedrigen Temperaturniveau.

Je niedriger die angestrebte Wassertemperatur der Solaranlage ist, desto eher kann diese durch die solare Einstrahlung erreicht werden. Da die Wassertemperatur im Nichtschwimmerbecken 26 °C und im Schwimmerbecken 24 °C betragen soll, bietet sich eine Solarabsorberanlage zur Schwimmbadwassererwärmung an.

Dazu wird die Absorberanlage direkt vom Beckenwasser durchströmt, sodass kein Wärmetauscher und kein zusätzliches Wärmeträgermedium notwendig ist. Das durch die Sonneneinstrahlung erwärmte Beckenwasser beinhaltet eine gewisse Wärmeenergie. Das Verhältnis dieser Nutzenergie zur eingestrahlten Sonnenenergie stellt den Wirkungsgrad der Anlage dar. Dieser Wirkungsgrad ist abhängig von der Differenz von Verbraucher- und Umgebungstemperatur.

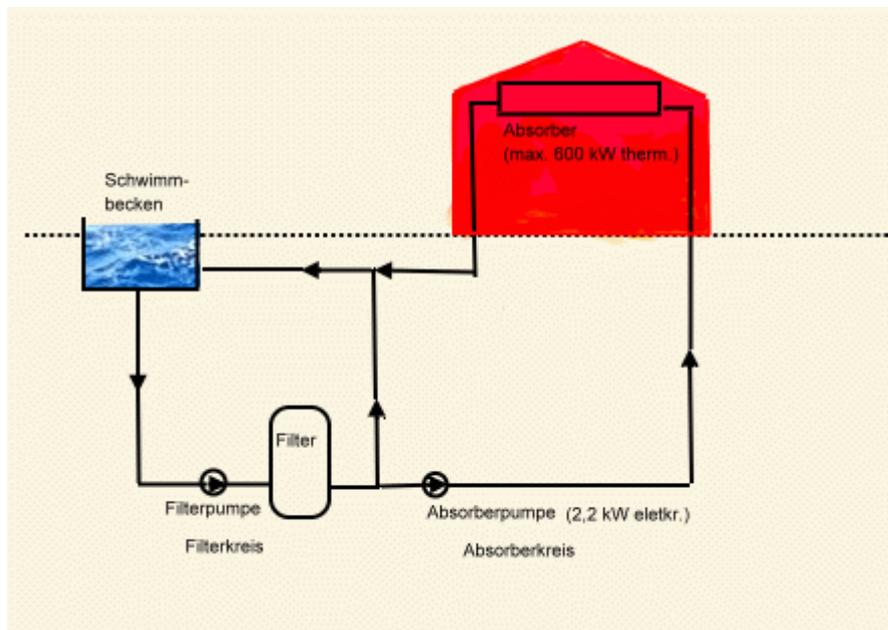


Abbildung 5-1 Schema der Solarabsorberanlage im Freibad Aquamar in Marburg

Aufgrund des geringen Temperaturunterschieds zwischen Beckenwasser und Umgebungstemperatur treten kaum thermische Verluste des Absorbers an die Umgebung auf. So kann auf Dämmung und auf eine Abdeckung des Absorbers durch eine Glasscheibe, wie bei Flachkollektoren, verzichtet werden.

Durch den Restchlorgehalt ist das Schwimmbadwasser sehr aggressiv, sodass hauptsächlich Absorber aus Kunststoff eingesetzt werden. Hierbei handelt es sich um Polypropylen, der eine hohe Lebensdauer und je nach konstruktiver Ausführung eine große Robustheit aufweist. 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 UV-Beständigkeit, eine hohe Temperaturbeständigkeit (max. 150 °C) und eine sehr lange Lebensdauer aus.

Die meisten Badegäste besuchen das Freibad, wenn eine hohe Außentemperatur und günstige Wetterbedingungen vorliegen. Dies tritt meist mit einer gleichzeitig hohen solaren Einstrahlung auf, sodass ein Solarabsorber die Wärme zur notwendigen Beckenwassertemperatur liefern kann. 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.

Solarabsorberanlagen arbeiten wegen des einfachen Aufbaus zuverlässig und dementsprechend wartungsarm.

Dimensionierung

Das Beckenwasser wird immer die Temperatur 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 die Waage halten.

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

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

Die größten Verluste entstehen an der Wasseroberfläche der Becken. Deswegen wird bei der Dimensionierung die Fläche der Absorber auf die Beckenwasseroberfläche 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 (hier Juni bis August) betrieben wird, wenig Wasser nachgespeist wird 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 Wasser im Nichtschwimmerbecken soll 26 °C und im Schwimmerbecken 24 °C betragen. Die beiden Pultdächer im Freibad bietet eine Fläche von rund 660 m² zur Installation der Solarabsorbermatten.

Mithilfe des Rechenprogramms „Sw-Simu“ wurde mit den Klimadaten von Bad Kreuznach eine Simulation zur Ermittlung des solaren Energiebeitrags durchgeführt. Folgende Werte gehen als Eingangsgröße in die Simulation ein.

Zeitraum	15. Mai - 15. September
Absorberfläche	ca. 660 m ²
Solaranlagenart	EPDM Schwimmbad-Absorber

Es wurde eine Regelung der Solarabsorberanlage gewählt bei der zunächst das Nichtschwimmerbecken vom Absorber gespeist wird und bei Erreichen der oberen Grenztemperatur die Solarabsorberanlage auf das Schwimmerbecken umgeschaltet wird.

Wärmebedarf Erlebnisbad	520.000 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Solarabsorber	92.000 kWh _{th} /a
solare Deckungsrate	18 %

Mit einer 660 m² großen Solarabsorberanlage kann rund 18 % des Wärmebedarfs im Freibad abgedeckt werden.

Durch eine Beckenabdeckung außerhalb der Öffnungszeiten verringert sich der Wärmebedarf, sodass mit einer Solarabsorberanlage eine solare Deckungsrate von etwa 42 % erreicht wird.

5.2 Solarkollektoranlage

Anstelle einer Solarabsorberanlage kann auch eine Solarkollektoranlage Solarenergie zur Wärmeerzeugung nutzen. Da das Dach der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle saniert wird, bietet es sich an, im Zuge dessen eine Solarkollektoranlage dort zu installieren. Das nach Süden orientierte Pultdach auf dem Umkleidebereich, das zur Sanierung auf dem Flachdach aufgebaut wird, ist für die Installation von Solarkollektoren geeignet.

Damit kann in den Übergangszeiten die Solarwärme auch zur Wärmeversorgung der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle eingesetzt werden, wenn im Erlebnisbad keine Wärme benötigt wird.

Im Sommer, außerhalb der Heizperiode, ist es sinnvoll, die Solarwärme vorrangig zur Warmwasserbereitung in der Sporthalle zu nutzen und die Überschüsse über das vorhandene Nahwärmenetz zum Freibad zu transportieren.

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

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

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

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

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

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

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

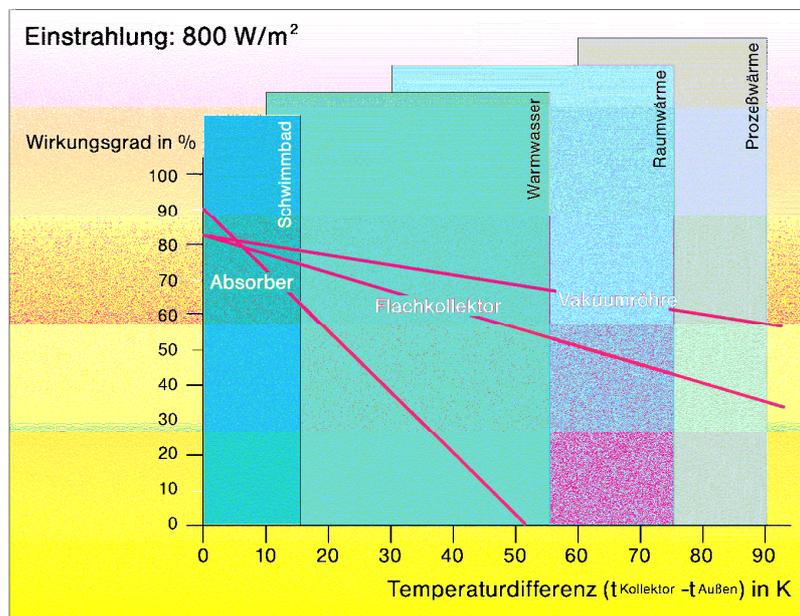


Abbildung 5-2 Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut)

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

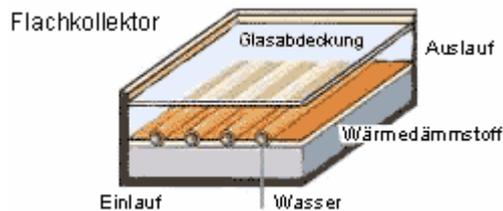


Abbildung 5-3 Flachkollektor (Quelle: Solarserver)

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

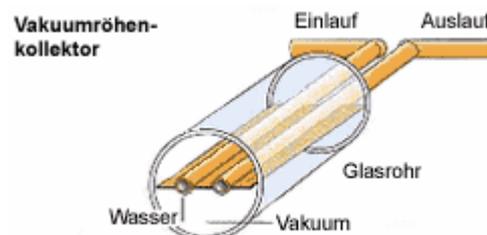


Abbildung 5-4 Vakuumröhrenkollektor (Quelle: Solarserver)

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

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

Solarkollektoranlagen für Schwimmbäder werden mit 80 % der Fördersätze gefördert.

Solarthermie 2000plus

Das Ziel des Programms „Solarthermie 2000plus“ ist, mit höheren solaren Deckungsanteilen durch kombinierte Trinkwassererwärmung und Raumheizungsunterstützung auf dem Wärmemarkt eine höhere Substitution fossiler Brennstoffe zu erreichen. Eine solare Deckungsrate von 10 bis 30 % am Gesamtwärmebedarf bzw. bis 60 % bei Einsatz einer saisonalen Speicherung ist vorgesehen. Durch die Senkung der solaren Wärmepreise soll die Wirtschaftlichkeit verbessert werden. Dazu sollen sich die Wärmepreise an der solaren Deckungsrate orientieren. Anhand von solaren Großanlagen als Pilot- und Demonstrationsanlagen soll dies erforscht werden.

Deswegen können Fördermittel für die Planung, Errichtung und Erprobung von Pilot- und Demonstrationsanlagen von Solaranlagen mit mindestens 100 m² Kollektorfläche beantragt werden. So kann u. a. die Einbindung von solarthermischen Anlagen in Fernwärmenetze gefördert werden. Der Zuschuss für die Solaranlagen beträgt in der Regel 30 bis 50 % der Investitionskosten für Planung, Bau und Messtechnik. Antragsberechtigt sind Einrichtungen des Bundes und der Länder einschließlich ihrer nachgeordneten Einrichtungen, Gebietskörperschaften einschließlich kommunaler Betreiber-gesellschaften, Stadtwerke, kommunale sowie eingetragene Wohnungsbaugenossen-schaften, Anstalten und Stiftungen sowie Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft. Zu den wesentlichen Auswahlkriterien gehören die Minderung von CO₂-Emissionen, der solare Wärmepreis und Pilot- und Demonstrationscharakter.

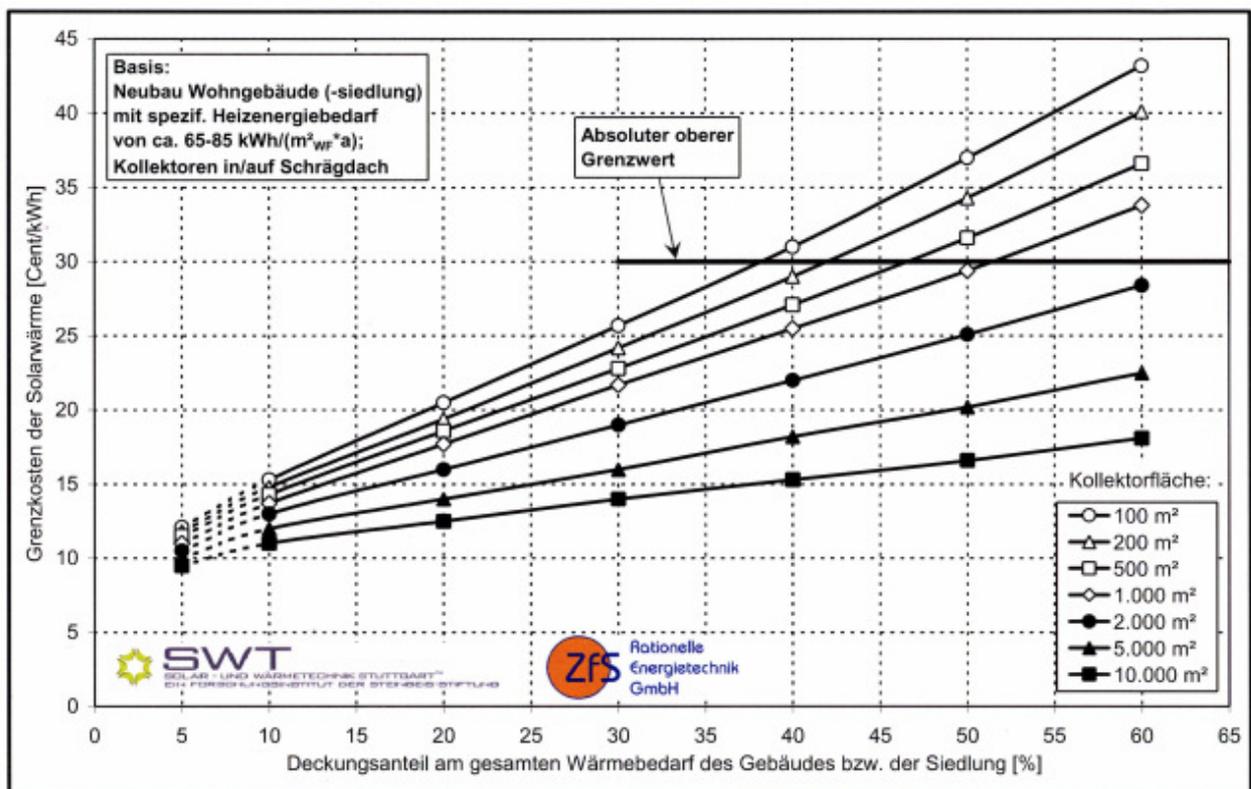


Abbildung 5-5 Grenzkostendiagramm solare Großanlagen (Quelle: Solarthermie 2000plus)

Dimensionierung

Die Dimensionierung der Solarkollektoranlage erfolgt mit dem Ziel, einen niedrigen, solaren Wärmepreis zu erreichen, sodass die solare Wärme möglichst kostengünstig bereitgestellt werden kann. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich hohe Systemnutzungsgrade bei niedrigen, solaren Deckungsgraden im Bereich von 10 bis 45 %. Es wird zwischen zwei unterschiedlich großen Solarkollektoranlagen unterschieden. Zunächst wird eine 200 m² große Anlage auf dem Dach des Umkleidebereichs betrachtet. Da mit einem Solar-Roof-System grundsätzlich das gesamte Pultdach des Umkleidebereichs mit Kollektormodulen ausgeführt werden kann, wird eine Solarkollektoranlage von rund 700 m² auf der gesamten Dachfläche zusätzlich untersucht.

Sowohl eine 200 m² als auch eine 700 m² große Solarkollektoranlage führen zu einem niedrigen, solaren Deckungsgrad in einem Bereich von etwa 10 bis 30 %. Für diesen Deckungsgrad wird mit einem spezifischen Speichervolumen von 30 bis 50 l/m² Kollektorfläche der Speicher ausgelegt. Unter Berücksichtigung der ökonomischen Möglichkeiten und des Raumangebots ist das Speichervolumen auf den oberen Wert zu dimensionieren. Die Pufferspeicher für die beiden unterschiedlich großen Solarkollektoranlagen werden mit 35 l/m² als spezifisches Speichervolumen ausgelegt.

Die 200 m² große Solarkollektoranlage wird somit mit insgesamt 7 m³ Speichervolumen und die 700 m² große Solarkollektoranlage mit insgesamt 25 m³ Speichervolumen kombiniert. Das Speichervolumen kann auf mehrere Speicher verteilt werden, allerdings sollten es nicht mehr als vier sein. In dem Pufferspeicher wird kein Trinkwarmwasser sondern nur Heizungswasser gespeichert.



Abbildung 5-6 Pufferspeicher (Quelle: Jenni Energietechnik AG, CH)

Bei einem niedrigen, solaren Deckungsgrad spielt die Speichergröße eine untergeordnete Rolle. Der Pufferspeicher ist im Verhältnis zum solaren Deckungsgrad nicht zu groß auszuwählen, damit keine langen Ladezeiten vorliegen und der Speicher nicht schnell auskühlt. Außerdem stellen die Schwimmbecken ebenfalls einen Pufferspeicher dar.

Um die Leitungsverluste zwischen Solarkollektoren und Pufferspeicher möglichst gering zu halten, ist als Standort die Sporthalle zu wählen. Das 7 m³ Speichervolumen kann auf drei Pufferspeicher verteilt werden, sodass diese noch im Technikraum der Sporthalle aufgestellt werden können, der sich unter dem Pultdach mit den Solarkollektoren befinden würde. Voraussetzung ist die Demontage der vorhandenen Trinkwarmwasserspeicher und eine Erneuerung der Warmwasserbereitung.

Mit einer Raumhöhe von etwa 2,50 m und begrenzten Platzangebot ist der Technikraum für den 25 m³ Pufferspeicher ungeeignet. Es besteht die Möglichkeit, das Speichervolumen auf zwei Speicher zu verteilen und diese neben den Technikraum außerhalb des Gebäudes zu installieren. Mit einer Holz- oder Blechverkleidung wird die Dämmung der Speicher gegen Witterungseinflüsse geschützt. Für die Anbindung der Pufferspeicher an das Heizsystem über Leitungen ist ein Wanddurchbruch notwendig.

Bei der Erneuerung der Warmwasserbereitung bietet sich in Verbindung mit den Pufferspeichern ein Speicherladesystem mit Nachheizung in einen Bereitschaftsspeicher an.

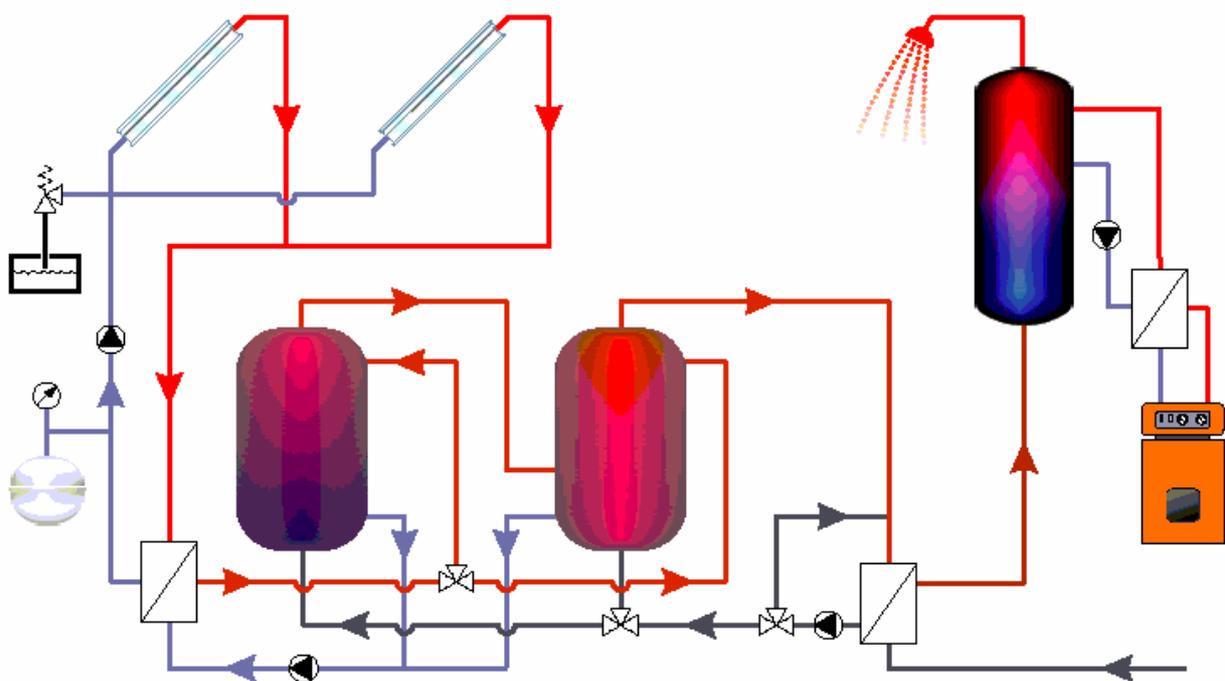


Abbildung 5-7 Pufferspeicher mit Speicherladeprinzip und Nachheizung in den Bereitschaftsspeicher
(Quelle: Solarpraxis)

Die Erwärmung des Trinkwassers im Bereitschaftsspeicher erfolgt über zwei externe Wärmetauscher, die vom Pufferspeicher und von der Heizkesselanlage bzw. Nahwärme versorgt werden. Im unteren Bereich des Bereitschaftsspeichers erfolgt die Beladung durch die Solaranlage und im oberen Bereich die Nachheizung mit der Kesselanlage oder Nahwärme. Daraus resultieren hohe Systemnutzungsgrade, denn der untere Bereich des Bereitschaftsspeichers ist immer für die Aufnahme der Solarwärme bereit.

Dadurch ist die Entladung des Pufferspeichers unabhängig vom momentanen Warmwasserverbrauch möglich und der Wärmetauscher zum Entladen des Pufferspeichers kann relativ klein ausgelegt werden, da über den Wärmetauscher nicht die Spitzenleistung zur Verfügung gestellt werden muss, wie es bei einem Durchflusswassererwärmer der Fall wäre.

Die Regelung der Pufferentladung ist in Verbindung mit einem Bereitschaftsspeicher aufwendiger, da eine zu hohe Rücklauftemperatur im Entladekreis und damit zu hohe Temperaturen im kälteren Bereich des Pufferspeichers den Solarertrag vermindert.

Da die Ausführung des nach Süden ausgerichteten Pultdachs noch nicht geplant ist, wurde eine Neigung von 15° angenommen.

Mithilfe der beiden Simulationsprogramme „Sw-Simu“ und „GetSolar“ ergeben sich folgende Erträge. Die Wärmebereitstellung der Solarkollektoranlage von Mitte Mai bis Mitte September wird abzüglich der Wärmebereitstellung zur Warmwasserbereitung in der Sporthalle dem Erlebnisbad zugeordnet.

	200 m ²	700 m ²
Wärmebedarf Erlebnisbad	520.000 kWh _{th} /a	520.000 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Solarkollektor	62.000 kWh _{th} /a	163.000 kWh _{th} /a
solare Deckungsrate	12 %	31 %
Wärmebedarf Sporthalle	292.000 kWh _{th} /a	292.000 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Solarkollektor	28.000 kWh _{th} /a	86.000 kWh _{th} /a
solare Deckungsrate	10 %	29 %
Wärmebedarf gesamt inkl. Nahwärmeverluste	891.000 kWh _{th} /a	891.000 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung gesamt	90.000 kWh _{th} /a	249.000 kWh _{th} /a
solare Deckungsrate gesamt	10 %	28 %

Durch eine Beckenabdeckung kann mit einem Solarertrag in vergleichbarer Größenordnung durch den geringeren Wärmebedarf eine höhere, solare Deckungsrate erzielt werden.

	200 m ²	700 m ²
Wärmebedarf Erlebnisbad	179.000 kWh _{th} /a	179.000 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung Solarkollektor	62.000 kWh _{th} /a	163.000 kWh _{th} /a
solare Deckungsrate	29 %	72 %
Wärmebedarf gesamt inkl. Nahwärmeverluste	821.000 kWh _{th} /a	821.000 kWh _{th} /a
Wärmebereitstellung gesamt	90.000 kWh _{th} /a	249.000 kWh _{th} /a
solare Deckungsrate gesamt	11 %	30 %

5.3 Energiebilanz Solaranlagen

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Stoffströme angegeben. Es werden nur die für die Solaranlage relevanten Energiedaten berücksichtigt.

		Solarabsorber 660 m ²	Solarkollektor 200 m ²	Solarkollektor 700 m ²
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	812.000	812.000	812.000
Wärmebedarf mit Nahwärmeverlusten	kWh _{th} /a	891.000	891.000	891.000
Wärmeleistung	kW _{th}	301	301	301
Wärmebereitstellung Solar	kWh _{th} /a	92.000	90.000	249.000
Wärmebereitstellung Kessel	kWh _{th} /a	799.000	801.000	642.000
solarer Deckungsgrad	%	11	10	28
Hilfsenergiebedarf Solaranlage	kWh _{el} /a	7.990	16.020	12.840

Tabelle 5-1 Energiebilanz Solaranlagen

Mit den ausgewählten Solaranlagengrößen resultiert ein niedriger, solarer Deckungsgrad. Dadurch ergibt sich ein günstiger Wärmepreis, was in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung näher untersucht wird.

5.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Solaranlagen

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten und die Wärmepreise der Solaranlagen anhand von Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 berechnet. Der Wärmepreis gibt das Verhältnis der Jahreskosten in Bezug auf den Jahreswärmebedarf wieder.

Zu Ermittlung der Kapitalkosten werden Investitionskosten für die Solaranlagen überschlägig ermittelt. Für die Kesselanlage werden keine Kapitalkosten berücksichtigt.

Aus den zur Verfügung gestellten Unterlagen wurden die aktuellsten Energiepreise ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer entnommen.

Nach dem „Förderkonzept Solarthermie2000plus“ des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit können für große Solarkollektoranlagen u. a. zur Einbindung in Nahwärmenetze ein Zuschuss in Höhe von 30 bis 50 % der Kosten für Planung, Bau und Messtechnik eines Solarsystems beantragt werden.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3 %
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Planung	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Allgemeiner Strompreis ¹	8,487 Ct/kWh _{el}
-------------------------------------	----------------------------

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Solarabsorberanlage	1 % der Investition
Wartung / Instandhaltung Solarkollektoranlage	2 % der Investition
Personalkosten	30 €/h

¹ RWE: Stromrechnung Mai 2005

Die Investitionskosten sind ohne die gesetzliche Mehrwertsteuer angegeben.

	Solarabsorber	Solarkollektor	Solarkollektor
Fläche Solaranlage	660 m ²	200 m ²	700 m ²
Maschinentechnik			
Solarabsorberanlage mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	60.500 €		
Solarkollektoranlage mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme		92.200 €	300.400 €
Bautechnik			
Bodenplatte, Speicherverkleidung, Leitungen und Durchbrüche			5.100 €
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes (15 %)	700 €	13.800 €	45.800 €
Gesamtinvestition	61.200 €	106.000 €	351.300 €
Förderung Solarkollektor (30 %)		31.800 €	105.400 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung		74.200 €	245.900 €

Tabelle 5-2 Investition Solaranlagen

In der Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeit für die verschiedenen Solaranlagen aufgeführt.

		Solarabsorber 660 m ²	Solarkollektor 200 m ²	Solarkollektor 700 m ²
Investition	€	61.200	106.000	351.300
inkl. Förderung	€		74.200	245.900
Kapitalkosten	€/a	4.117	7.353	24.226
inkl. Förderung	€/a		5.216	17.142
Verbrauchskosten	€/a	78	76	211
Betriebskosten	€/a	550	1.682	5.468
Jahreskosten	€/a	4.745	9.111	29.905
inkl. Förderung	€/a		6.974	22.821
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	5.506	10.572	34.690
inkl. Förderung und MwSt.	€/a		8.434	27.606
Solare Wärmebereitstellung	kWh _{th} /a	92.000	90.000	249.000
Wärmepreis	Ct/kWh _{th}	5,2	10,1	12,0
inkl. Förderung	Ct/kWh _{th}		7,7	9,2

Tabelle 5-3 Wirtschaftlichkeit Solaranlagen

Eine Solarabsorberanlage zur solarunterstützten Beckenwassererwärmung erzielt einen vergleichbaren Wärmepreis wie die Wärmeversorgung mit einer Heizkesselanlage (5,6 bzw. 5,3 Ct/kWh_{th}), sodass die Umsetzung einer Solarabsorberanlage sinnvoll ist. Durch die solarunterstützte Beckenwassererwärmung wird der entsprechende Brennstoffverbrauch in der Kesselanlage vermieden.

Die aufwendigere Technik von Solarkollektoranlagen führt zu höheren Jahreskosten. Allerdings liegen die Wärmepreise für die beiden Varianten unter den Grenzkosten der Solarwärme nach dem Programm „Solarthermie 2000plus“. Nach dem Grenzkostendiagramm für solare Großanlagen betragen die Grenzkosten für eine 200 m² große Solarkollektoranlage mit 10 % Deckungsanteil am gesamten Wärmebedarf etwa 15 Ct/kWh_{th} und für eine 700 m² große Solarkollektoranlage mit 28 % Deckung rund 20 Ct/kWh_{th}.

6 Zusammenfassung

Das Erlebnisbad, das Saunarium und die Dr.-Werner-Dümmeler-Halle in Bad Sobernheim befinden sich in einem Nahwärmeverbund. Aufgrund des kurzfristigen Erneuerungsbedarfs einer Kesselanlage und des Sanierungsbedarfs in der Sporthalle ist von der Verbandsgemeinde angedacht, die Wärmeerzeugung für den bestehenden Nahwärmeverbund neu aufzubauen. Es besteht die Überlegung, das Saunarium mit einem separaten Wärmeerzeuger unabhängig vom Nahwärmenetz zu versorgen. Im Gegensatz zur Verkleinerung wäre mit der Anbindung des Schulzentrums auch eine Vergrößerung möglich.

Für die Liegenschaften wurde in einer Ist-Analyse die derzeitige Wärmeversorgung zusammen mit den Verbrauchsdaten dokumentiert. Darauf baute dann die Ermittlung des Wärmebedarfs und die Auslegung der Wärmeerzeuger auf.

Um die Wärmeversorgung der verschiedenen großen Nahwärmenetze bewerten zu können, wurde die dezentrale Wärmeversorgung in den entsprechenden Liegenschaften zu einer Basisvariante zusammengefasst.

kleiner Nahwärmeverbund

Erlebnisbad und Dr.-Werner-Dümmeler-Halle

mittlerer Nahwärmeverbund

Erlebnisbad, Dr.-Werner-Dümmeler-Halle und Saunarium

großer Nahwärmeverbund

Erlebnisbad, Dr.-Werner-Dümmeler-Halle, Saunarium und Schulzentrum

Zur Wärmeversorgung der verschiedenen Nahwärmenetze wurden unterschiedliche Wärmeversorgungsvarianten untersucht.

kleiner Nahwärmeverbund

Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel

Variante 2 Holzpelletskessel

mittlerer Nahwärmeverbund

Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel

Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-BHKW

Variante 3 Erdgas-Brennwertkessel + Holzpelletskessel

großer Nahwärmeverbund

Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel
+ Erdgas-BHKW

Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Holzhackschnitzelkessel

Für alle Varianten wurde eine Energiebilanz durchgeführt, die die Grundlage für die Kohlendioxid-Emissionsbilanz als ökologische Bewertung und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung darstellte.

	CO ₂ -Emissionen t CO ₂ /a
Erlebnisbad, Sporthalle / kleiner Nahwärmeverbund	
Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel	229
Variante 2 Holzpelletskessel	69
Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium / mittlerer Nahwärmeverbund	
Basisvariante Erdgas-Brennwertkessel	554
Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel	573
Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel + Erdgas-BHKW	264
Variante 3 Erdgas-Brennwertkessel + Holzpelletskessel	202
Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium, Schulzentrum / großer Nahwärmeverbund	
Basisvariante Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel	800
Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperaturkessel + Erdgas-BHKW	502
Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Holzhackschnitzelkessel	269

Tabelle 6-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Die Varianten auf Basis von Biomasse als Brennstoff erzielen die niedrigsten Kohlendioxidemissionen. Auch durch den Einsatz eines BHKW werden CO₂-Emissionen gegenüber den Basisvarianten eingespart.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung setzen sich die Jahreskosten aus Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten zusammen. Für die BHKW-Varianten wird außerdem eine Wärmegutschrift einbezogen. Zuschüsse nach Förderprogrammen wurden berücksichtigt. Die Werte sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	Investition €	Jahreskosten €/a	Jahreskosten inkl. Förderung €/a	Wärmepreis Ct/kWh _{th}	Wärmepreis inkl. Förderung Ct/kWh _{th}
Erlebnisbad, Sporthalle					
Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel	44.600	52.310		6,4	
Variante 2 Holzpelletsessel	124.100 inkl. Förderung	48.090	46.880	5,9	5,8
Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium					
Basisvariante Erdgas-Brennwertkessel	44.600	121.508		6,2	
Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperatur- kessel	33.700	124.193		6,3	
Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperatur- kessel + BHKW	54.200	109.320		5,6	
Variante 3 Erdgas-Brennwertkessel + Holzpelletsessel	124.100 inkl. Förderung	100.173	99.633	5,1	5,1
Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium, Schulzentrum					
Basisvariante Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperatur- kessel	82.900	180.951		6,4	
Variante 1 Erdgas-Brennwertkessel + Erdgas-Niedertemperatur- kessel + BHKW	383.800	188.441		6,6	
Variante 2 Erdgas-Brennwertkessel + Holzhackschnitzelkessel	646.100 inkl. Förderung	135.570	132.747	4,8	4,7

Tabelle 6-2 Wirtschaftlichkeit

Für die unterschiedlich großen Nahwärmenetze und der entsprechenden, dezentralen Wärmeversorgung ergeben sich vergleichbare Jahreskosten. Im mittleren Nahwärmeverbund sind die Jahreskosten für die BHKW-Variante und für die Biomassevariante

am günstigsten. Im großen Nahwärmeverbund liegen die Jahreskosten für die BHKW-Varianten in der gleichen Größenordnung wie die dezentrale Varianten, während sich die Biomassevariante günstiger darstellt.

Da noch nicht entschieden ist, ob im Zuge der Sporthallensanierung auch der Wärmedämmstandard verbessert wird, wurde der Wärmebedarf für einen besseren Wärmedämmstandard abgeschätzt, um die Jahreskosten der Wärmeversorgungsvarianten für diesen Fall grob ermitteln zu können.

kleiner Nahwärmeverbund:

- | | |
|------------|--|
| Variante 1 | ca. 47.900 €/a inkl. MwSt. |
| Variante 2 | ca. 43.600 €/a inkl. Förderung und MwSt. |

mittlerer Nahwärmeverbund:

- | | |
|---------------|--|
| Basisvariante | ca. 117.100 €/a inkl. MwSt. |
| Variante 1 | ca. 120.700 €/a inkl. MwSt. |
| Variante 2 | ca. ca. 104.200 €/a inkl. MwSt. |
| Variante 3 | ca. 95.500 €/a inkl. Förderung und MwSt. |

großer Nahwärmeverbund

- | | |
|---------------|---|
| Basisvariante | ca. 176.700 €/a inkl. MwSt. |
| Variante 1 | ca. 183.600 €/a inkl. MwSt. |
| Variante 2 | ca. 130.700 €/a inkl. Förderung und MwSt. |

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde durch eine Sensitivitätsanalyse ergänzt, in der der Einfluss von Brennstoffpreisänderungen auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten gezeigt wurde. Aus dem zugehörigen Kapitel können die Ergebnisse in Form von Diagrammen entnommen werden.

Auch hier stellen sich die Varianten auf Basis von Biomasse etwas vorteilhafter als die übrigen Varianten dar. Der Holzpelletspreis und der Holzhackschnitzelpreis beeinflussen nicht in dem Maße die Wirtschaftlichkeit wie der Erdgaspreis, was anhand der geringeren Steigung in dem Diagramm sichtbar ist.

Für eine solarunterstützte Wärmeversorgung im kleinen Nahwärmeverbund aus Erlebnisbad und Sporthalle wurde der Einsatz einer Solarabsorberanlage und einer Solarkollektoranlage geprüft.

Zur solarunterstützten Beckenwassererwärmung im Freibad bietet sich eine Solarabsorberanlage an, die auf den beiden Pultdächern installiert werden kann. Um die Aufheizung zu Saisonbeginn gewährleisten zu können, ist weiterhin ein Heizkessel erforderlich. Dieser wird auch zur Wärmeversorgung der Sporthalle benötigt.

Mit einem rund 660 m² großen Solarabsorber kann etwa 18 % des Wärmebedarfs im Freibad abgedeckt werden. Durch eine Beckenabdeckung außerhalb der Öffnungszeiten verringert sich der Wärmebedarf, sodass mit einer Solarabsorberanlage eine solare Deckungsrate von etwa 42 % erreicht wird.

Eine Solarabsorberanlage zur solarunterstützten Beckenwassererwärmung erzielt einen vergleichbaren Wärmepreis wie die Wärmeversorgung mit einer Heizkesselanlage (5,6 bzw. 5,3 Ct/kWh_{th}), sodass die Umsetzung einer Solarabsorberanlage sinnvoll ist. Durch die solarunterstützte Beckenwassererwärmung wird der entsprechende Brennstoffverbrauch in der Kesselanlage vermieden.

Um auch in der Sporthalle Solarenergie zur Wärmeversorgung nutzen zu können, wurde eine Solarkollektoranlage betrachtet. Durch die Dachsanierung auf der Sporthalle bietet sich im Zuge dessen die Installation einer Kollektoranlage an. Das nach Süden orientierte Pultdach auf dem Umkleidebereich, das zur Sanierung auf dem Flachdach aufgebaut wird, ist für die Installation von Solarkollektoren geeignet.

Damit kann in den Übergangszeiten die Solarwärme auch zur Wärmeversorgung der Dr.-Werner-Dümmeler-Halle eingesetzt werden, wenn im Erlebnisbad keine Wärme benötigt wird. Im Sommer, außerhalb der Heizperiode, ist es sinnvoll, die Solarwärme vorrangig zur Warmwasserbereitung in der Sporthalle zu nutzen und die Überschüsse über das vorhandene Nahwärmenetz zum Freibad zu transportieren.

Die Dimensionierung der Solarkollektoranlage erfolgte mit dem Ziel, einen niedrigen, solaren Wärmepreis zu erreichen, sodass die solare Wärme möglichst kostengünstig bereitgestellt werden kann. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich hohe Systemnutzungsgrade bei niedrigen, solaren Deckungsgraden im Bereich von 10 bis 45 %.

Es wurde zwischen einer 200 m² großen Anlage auf dem Dach des Umkleidebereichs und einem Solar-Roof-System unterschieden, das als Dacheindeckung ausschließlich aus Kollektormodulen besteht und somit rund 700 m² auf der gesamten Pultdachfläche bei 15° Neigung installiert werden können.

Die solaren Deckungsraten ergaben für die kleinere Anlage ca. 10 % und für die größere Anlage etwa 29 %. Unter Annahme eines besseren Wärmedämmstandards der Sporthalle lagen die Deckungsraten mit rund 13 % für die kleinere und mit ungefähr 39 % für die größere Anlage entsprechend höher.

Die aufwendigere Technik von Solarkollektoranlagen führt zu höheren Jahreskosten. Allerdings liegen die Wärmepreise für die beiden Varianten unter den Grenzkosten der Solarwärme nach dem Programm „Solarthermie 2000plus“, das Fördermittel für große Solaranlagen bereitstellt.

Grundsätzlich ist das Sporthallendach für eine Fotovoltaikanlage geeignet. Für einen hohen Ertrag sind die Module aufzuständern.

Fazit

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigten, dass im Zuge der Erneuerung sowohl eine dezentrale als auch eine zentrale Wärmeversorgung unabhängig von der Größe des Nahwärmeverbunds umsetzbar ist. Für den kleinen Nahwärmeverbund ergaben sich vergleichbare Jahreskosten, sodass beide Varianten umsetzbar sind. Im mittleren Nahwärmeverbund stellten sich die BHKW-Variante und die Holzpelletsvariante am günstigsten dar. Für den großen Nahwärmeverbund erzielte die Holzhackschnitzelvariante die niedrigsten Jahreskosten.

Aus ökologischer Sicht stellen sich die BHKW-Varianten und die Biomassevarianten vorteilhafter als die dezentrale Wärmeversorgung dar.

Empfehlenswert ist die Umsetzung des großen Nahwärmeverbunds, sodass sich die Anzahl der zu betreuenden Heizanlagen reduziert. Hier ist dann zu prüfen, ob die Turnhalle des Sportvereins, die sich zwischen der Sporthalle und dem Schulzentrum befindet, ebenfalls an das Nahwärmenetz angeschlossen werden kann. Unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten wäre die Holzhackschnitzelvariante zu bevorzugen.

Falls eine BHKW-Variante umgesetzt wird, besteht grundsätzlich die Möglichkeit das BHKW mit anderen Stromerzeugungsanlagen in ein virtuelles Kraftwerk einzubinden. Ein virtuelles Kraftwerk fasst dezentrale Energieanlagen, die unabhängig voneinander arbeiten, zu einer nach außen hin gemeinsam wirkenden Einheit zusammen. Bei diesen dezentralen Energieanlagen handelt es sich um regenerative und fossile Energiesysteme. Ein virtuelles Kraftwerk hat den Vorteil, dass damit der schwankende Energiebeitrag von einzelnen Anlagen zur Deckung des Gesamtbedarfs von anderen Anlagen innerhalb des virtuellen Kraftwerkes ausgeglichen werden kann. Dadurch kann eine kontinuierliche Deckung des Bedarfs erreicht werden. Gleichzeitig können im Einkauf von teurer Regelenergie Spitzen reduziert werden.

Grundsätzlich ist bei bestehenden Gebäuden der Wärmedämmstandard unter den Vorgaben der Energieeinsparverordnung zu verbessern, sodass im Zuge der Sanierungsmaßnahmen in der Sporthalle der Dämmstandard erhöht werden muss.

Zur Umsetzung einer Solaranlage ist eine Solarabsorberanlage für das Freibad aus wirtschaftlicher Sicht am effektivsten.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lageplan.....	14
Abbildung 2-1 Biomassekessel mit Unterschubfeuerung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon).....	18
Abbildung 2-2 Holzpelletscontaineranlage mit Holzpelletsilo (Quelle: Köb & Schäfer GmbH) Ansicht Sporthalle mit Technikraum und Kamin	19
Abbildung 2-3 Sensitivität kleiner Nahwärmeverbund	26
Abbildung 3-1 Sensitivität mittlerer Nahwärmeverbund	43
Abbildung 4-1 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid Ag, CH-Eschlikon)	47
Abbildung 4-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)	48
Abbildung 4-3 Sensitivität großer Nahwärmeverbund	59
Abbildung 5-1 Schema der Solarabsorberanlage im Freibad Aquamar in Marburg	62
Abbildung 5-2 Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut).....	66
Abbildung 5-3 Flachkollektor (Quelle: Solarserver)	67
Abbildung 5-4 Vakuumröhrenkollektor (Quelle: Solarserver)	67
Abbildung 5-5 Grenzkostendiagramm solare Großanlagen (Quelle: Solarthermie 2000plus).....	68
Abbildung 5-6 Pufferspeicher (Quelle: Jenni Energietechnik AG, CH).....	69
Abbildung 5-7 Pufferspeicher mit Speicherladeprinzip und Nachheizung in den Bereitschaftsspeicher (Quelle: Solarpraxis)	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Ist-Daten Saunarium.....	8
Tabelle 1-2 Ist-Daten Erlebnisbad	9
Tabelle 1-3 Ist-Daten Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	10
Tabelle 1-4 Aufteilung Wärmebedarf Dr.-Werner-Dümmeler-Halle.....	11
Tabelle 1-5 Daten modernisierte Dr.-Werner-Dümmeler-Halle	11
Tabelle 1-6 Ist-Daten Schulzentrum	13
Tabelle 1-7 Wärmebedarf und Wärmeleistung der Liegenschaften	14
Tabelle 2-1 Wärmebedarf kleiner Nahwärmeverbund.....	15

Tabelle 2-2 Energiebilanz kleiner Nahwärmeverbund	20
Tabelle 2-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz kleiner Nahwärmeverbund	21
Tabelle 2-4 Investitionskosten kleiner Nahwärmeverbund	23
Tabelle 2-5 Wirtschaftlichkeit kleiner Nahwärmeverbund.....	24
Tabelle 2-6 Sensitivität kleiner Nahwärmeverbund	26
Tabelle 3-1 Energiebilanz Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium	28
Tabelle 3-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium...	28
Tabelle 3-3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Erlebnisbad, Sporthalle und Saunarium ..	28
Tabelle 3-4 Wärmebedarf mittlerer Nahwärmeverbund	29
Tabelle 3-5 Energiebilanz mittlerer Nahwärmeverbund.....	32
Tabelle 3-6 Kohlendioxid-Emissionsbilanz mittlerer Nahwärmeverbund.....	34
Tabelle 3-7 Investition mittlerer Nahwärmeverbund	38
Tabelle 3-8 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mittlerer Nahwärmeverbund.....	39
Tabelle 3-9 Sensitivität mittlerer Nahwärmeverbund	43
Tabelle 4-1 Energiebilanz Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum	45
Tabelle 4-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum	45
Tabelle 4-3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Erlebnisbad, Sporthalle, Saunarium und Schulzentrum	45
Tabelle 4-4 Wärmebedarf großer Nahwärmeverbund.....	46
Tabelle 4-5 Energiebilanz großer Nahwärmeverbund	50
Tabelle 4-6 Kohlendioxid-Emissionsbilanz großer Nahwärmeverbund	52
Tabelle 4-7 Investition großer Nahwärmeverbund.....	56
Tabelle 4-8 Wirtschaftlichkeit großer Nahwärmeverbund.....	57
Tabelle 4-9 Sensitivität großer Nahwärmeverbund	60
Tabelle 5-1 Energiebilanz Solaranlagen.....	73
Tabelle 5-2 Investition Solaranlagen	75
Tabelle 5-3 Wirtschaftlichkeit Solaranlagen	76
Tabelle 6-1 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	78
Tabelle 6-2 Wirtschaftlichkeit	79