

Machbarkeitsstudie

Holz-Nahwärme am Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ in Simmern

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

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

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

Datum 08.11.2005

Inhalt

Einleitung.....	4
1 Ist-Analyse	5
1.1 Berufsbildende Schule I.....	6
1.2 Berufsbildende Schule II.....	8
1.3 Berufsbildende Schule III.....	10
1.4 Herzog-Johann-Gymnasium	11
1.5 Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium.....	14
1.6 Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule	15
1.7 Sporthalle Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule.....	16
1.8 Regionale Schule.....	17
1.9 Sporthalle Regionale Schule.....	20
1.10 Kindergarten	21
1.11 Wärmebedarf der Liegenschaften	22
2 Wärmeversorgung gesamtes Schulzentrum	23
2.1 Dezentrale Wärmeversorgung.....	23
2.1.1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung.....	23
2.1.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung	25
2.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentrale Wärmeversorgung.....	26
2.2 Zentrale Wärmeversorgung.....	29
2.2.1 Vorstellung Holzhackschnitzelkessel	32
2.2.2 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung.....	35
2.2.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz zentrale Wärmeversorgung	36
2.2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zentrale Wärmeversorgung.....	38
2.2.5 Sensitivitätsanalyse	44
3 Wärmeversorgung Herzog-Johann-Gymnasium mit Sporthalle und Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle.....	47
3.1 Vorstellung Motor-BHKW	47
3.2 Energiebilanz bestehender Nahwärmeverbund.....	48
3.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz bestehender Nahwärmeverbund	49
3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bestehender Nahwärmeverbund.....	51



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im

4	Nutzungsmöglichkeiten Solarenergie.....	55
4.1	Solarthermie	55
4.2	Fotovoltaik	59
5	Zusammenfassung	64
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	66

Einleitung

Im Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ von Simmern befinden sich ein Kindergarten, die Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule (Grundschule) mit Sporthalle, die Regionale Schule mit Sporthalle, das Herzog-Johann-Gymnasium mit Sporthalle und mehrere Gebäude der Berufsbildenden Schule. In einigen Gebäuden sind die Wärmeversorgungsanlagen erneuerungsbedürftig. Aufgrund dessen wird eine gemeinsame Versorgung über einen Nahwärmeverbund untersucht. Dies erfolgt auf Basis des Brennstoffs Holz.

Zur Beurteilung wird die Holz-Nahwärme der derzeitigen Wärmeversorgung mit den erforderlichen Erneuerungen gegenübergestellt.

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

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

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

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

Neben der Holz-Nahwärme wird als weiterer Punkt die Einsatzmöglichkeit von Solarthermie und Fotovoltaik geprüft und der zu erwartende Ertrag ermittelt.

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

1 Ist-Analyse

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

Mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur 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.



Abbildung 1-1 Lageplan Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ in Simmern

1.1 Berufsbildende Schule I

Die Berufsbildende Schule I besteht aus vier Gebäudeteilen, die 1953, 1967, 1969 und 1985 errichtet wurden. In drei Gebäudeteilen erfolgt die Wärmeversorgung über zwei Heizkessel, während im Bauteil C elektrische Nachtspeicheröfen installiert sind. Beide Erdgaskessel wurden im Juli 2005 demontiert. Ein gebrauchter Heizkessel mit neuem Brenner dient ab der nächsten Heizperiode der Wärmeversorgung. Die beiden Brenner der demontierten Kessel werden als Reserve aufgehoben.

	Kessel 1 demontiert	Kessel 2 demontiert	Kessel gebraucht
Fabrikat	Buderus	Buderus	Buderus
Bezeichnung			G 515
Wärmeleistung	301 kW _{th}	301 kW _{th}	520 kW _{th}
Baujahr	1984	1984	1996
Brenner			
Fabrikat	Weishaupt	Weishaupt	
Bezeichnung	G 1/1 E	G 1/1 E	
Baujahr	1986	1986	
Leistung	60 – 335 kW _{th}	60 – 335 kW _{th}	

Durch den Einbau des gebrauchten Erdgaskessels ist in der Berufsbildenden Schule I erst mittel- bis langfristig einer Erneuerung notwendig.

Sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus energetischen Gründen wird in der Machbarkeitsstudie davon ausgegangen, dass die elektrischen Nachtspeicheröfen im Bauteil C durch eine Warmwasserheizung ersetzt werden.

Die Warmwasserbereitung erfolgt über einen elektrischen Durchlauferhitzer und einen elektrischen Boiler mit 160 l.

Zu den elektrischen Nachtspeicheröfen im Bauteil C liegen nur Angaben zum Stromverbrauch vor. Zusammen mit dem Erdgasverbrauch wird der Wärmebedarf und die erforderliche Gesamtwärmeleistung berechnet.

Da nur Verbrauchsdaten der demontierten Kesselanlage vorliegen, wird deren Wärmeleistung zu Grunde gelegt.

Berufsbildende Schule I	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	513.000 kWh _{Ho} /a
Jahresnutzungsgrad	82 %
Wärmebedarf	382.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	602 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	635 h/a
beheizte Fläche (Warmwasserheizung)	3.835 m ²
spez. Wärmebedarf (RH)	100 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Heizleistung	157 W _{th} /m ²
Stromverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	255.000 kWh _e /a
Jahresnutzungsgrad	95 %
Wärmebedarf	242.000 kWh _{th} /a
beheizte Fläche (Nachtspeicherheizung)	3.765 m ²
spez. Wärmebedarf (RH)	64 kWh _{th} /(m ² a)
Wärmebedarf, gesamt	624.000 kWh _{th} /a
spez. Wärmebedarf, gesamt	82 kWh _{th} /(m ² a)
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh _{th} /(m ² a) ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ¹

Tabelle 1-1 Ist-Daten Berufsbildende Schule I

Die niedrigen Vollbenutzungsstunden der demontierten Heizkessel deuten auf eine Überdimensionierung hin. Auch mit dem Einbau eines gebrauchten Erdgaskessels liegt die spezifische Wärmeleistung mit 136 W_{th}/m² noch sehr hoch. Zur Wärmeversorgung des gesamten Gebäudekomplexes mit Bauteil C, in dem sich Nachtspeicheröfen befinden, wird eine Gesamtwärmeleistung von 600 kW_{th} zu Grunde gelegt. Daraus ergeben sich 79 W_{th}/m² als spezifische Wärmeleistung und 1.040 h/a Vollbenutzungsstunden.

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

Berufsbildende Schule I	
beheizte Fläche	7.600 m ²
Wärmebedarf	624.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	600 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.040 h/a
spez. Wärmebedarf	82 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Wärmeleistung	79 W _{th} /m ²

Tabelle 1-2 Abschätzung Wärmeleistung Berufsbildende Schule I

1.2 Berufsbildende Schule II

Die Berufsbildende Schule II befindet sich im ehemaligen Gebäude der IHK, das auf der anderen Straßenseite von der Berufsbildenden Schule I liegt. Es besteht aus zwei Bauteilen, die 1986 und 2000 errichtet wurden. Ein Teil des Gebäudes wird noch von der IHK genutzt.

Zur Wärmeversorgung ist ein Erdgaskessel installiert. Über einen Wärmemengenzähler wird der Wärmeverbrauch der IHK abgerechnet.

Zur Warmwasserbereitung sind zwei elektrische Boiler mit jeweils 15 l installiert.

Fabrikat	Buderus
Bezeichnung	SB 705 M
Wärmeleistung	270 kW _{th}
Baujahr	1986
Abgasverluste 09.09.2004	5 %
Brenner	
Fabrikat	Weishaupt
Bezeichnung	WG 40 N
Baujahr	2002
Leistung	15 – 500 kW _{th}

Mit 19 Jahren ist die technische Nutzungsdauer des Heizkessels fast erreicht, allerdings ist 2002 ein neuer Brenner installiert und es liegen mit 5 % niedrige Abgasverluste vor, sodass die Anlage mittelfristig zu erneuern ist.

Mit dem Erdgasverbrauch wird der Wärmebedarf des Gebäudes überschlägig ermittelt.

Berufsbildende Schule II	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	150.000 kWh _{Ho} /a
Jahresnutzungsgrad	80 %
Wärmebedarf	109.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	270 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	404 h/a
beheizte Fläche	1.907 m ²
spez. Wärmebedarf (RH)	57 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Heizleistung	142 W _{th} /m ²
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh _{th} /(m ² a) ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ¹

Tabelle 1-3 Ist-Daten Berufsbildende Schule II

Sowohl die niedrigen Vollbenutzungsstunden als auch die hohe, spezifische Wärmeleistung deuten auf eine Überdimensionierung hin.

Für eine Erneuerung des Wärmeerzeugers ist eine bedarfsgerechte Auslegung notwendig.

Berufsbildende Schule II	
beheizte Fläche	1.907 m ²
Wärmebedarf	109.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	150 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	727 h/a
spez. Wärmebedarf	82 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Wärmeleistung	79 W _{th} /m ²

Tabelle 1-4 Abschätzung Wärmeleistung Berufsbildende Schule II

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

1.3 Berufsbildende Schule III

Die Berufsbildende Schule III besteht aus dem Bauteil F, das an die Berufsbildende Schule I im Jahr 2003 angebaut wurde. Dort wurde eine Erdgasbrennwerttherme mit integrierter Warmwasserbereitung installiert.

Wärmeleistung	66 kW _{th}
Baujahr	2003
Abgasverluste 03.12.2004	2,8 %

Der Wärmebedarf des Gebäudes wird anhand des Erdgasverbrauchs berechnet.

Berufsbildende Schule III	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	75.000 kWh _{Ho} /a
Jahresnutzungsgrad	97 %
Wärmebedarf	66.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	66 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.000 h/a
beheizte Fläche	1.162 m ²
spez. Wärmebedarf (RH)	57 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Heizleistung	57 W _{th} /m ²
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh _{th} /(m ² a) ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ¹

Tabelle 1-5 Ist-Daten Berufsbildende Schule III

Die Kennwerte zeigen, dass die Erdgasbrennwerttherme mit Baujahr 2003 bedarfsgerecht ausgelegt ist. In den weiteren Berechnungen wird die installierte Wärmeleistung weiter zu Grunde gelegt.

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

1.4 Herzog-Johann-Gymnasium

Das Herzog-Johann-Gymnasium wurde 1980 errichtet. Da die vorhandenen Räume nicht ausreichen, wurde zusätzlich ein Klassencontainer aufgestellt, der elektrisch beheizbar ist.

Die Fassade des Gymnasiums wurde saniert und es sind neue Fenster eingebaut.

Ein Erdgaskessel dient der Wärmeversorgung des Gymnasiums. Außerdem werden mit dieser Kesselanlage seit dem Jahr 2000 über ein Nahwärmenetz die Sporthalle des Gymnasiums sowie die Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule (Grundschule) mit Sporthalle beheizt. Zur Abrechnung sind Wärmemengenzähler installiert.

Fabrikat	Viessmann
Bezeichnung	PT – 112
Wärmeleistung	1.120 kW _{th}
Baujahr	2000
Abgasverluste 28.10.2004	5 %
Brenner	
Fabrikat	Weishaupt
Bezeichnung	G 7/1-D
Baujahr	1986
Leistung	300 – 1.760 kW _{th}

Es liegen der gesamte Erdgasverbrauch sowie die Daten der Wärmemengenzähler vor. Allerdings wurden die Zähler Anfang 2005 wegen fehlerhafter Messungen ausgetauscht. Aufgrund dessen kann der bisherige Wärmeverbrauch nicht nach den Wärmemengenzählern herangezogen werden. Deswegen wird mithilfe von spezifischen Kennwerten der Wärmebedarf auf die vier Gebäude im kleinen Nahwärmeverbund aufgeteilt.

Herzog-Johann-Gymnasium		
Erdgasverbrauch, gemittelt 2001 - 2003	1.901.000 kWh _{Ho} /a	
Jahresnutzungsgrad	92 %	
Wärmebedarf Nahwärmeverbund	1.590.000 kWh _{th} /a	
Wärmebedarf Nahwärmeverbund ohne Nahwärmeverluste	1.567.000 kWh _{th} /a	
installierte Heizleistung	1.120 kW _{th}	
Vollbenutzungsstunden	1.399 h/a	
beheizte Fläche, gesamt	21.112 m ²	
spez. Wärmebedarf	74 kWh _{th} /(m ² a)	
spez. Wärmeleistung	53 W _{th} /m ²	
gebäudetypische Werte Schule		
spez. Wärmebedarf 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	
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a	¹
Gebäudetypische Werte Sporthalle		
spez. Wärmebedarf Raumheizung	33 - 358 kWh _{th} /(m ² a)	¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	85 - 115 W _{th} /m ²	¹
Vollbenutzungsstunden einschichtig	1.018 h/a	¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.510 h/a	¹

Tabelle 1-6 Ist-Daten kleiner Nahwärmeverbund Herzog-Johann-Gymnasium

Der Heizkessel zur Versorgung des Nahwärmeverbunds ist mit rund 1.400 h/a Auslastung bedarfsgerecht ausgelegt.

Sowohl der durchschnittliche, spezifische Wärmebedarf als auch die durchschnittliche, spezifische Wärmeleistung sind im Vergleich zu Kennwerten sehr niedrig.

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

Mit Kennwerten wird der Wärmebedarf für das Gymnasium und die erforderliche Wärmeleistung überschlägig berechnet. Erst mit den neu installierten Wärmemengenzählern kann der tatsächliche Wärmeverbrauch im Gymnasium bestimmt werden.

Herzog-Johann-Gymnasium	
beheizte Fläche	16.190 m ²
spez. Wärmebedarf	70 kWh _{th} /(m ² a)
Wärmebedarf	1.133.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	750 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.511 h/a
spez. Wärmeleistung	46 W _{th} /m ²

Tabelle 1-7 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Herzog-Johann-Gymnasium

Mit einer angenommenen Wärmeleistung von 750 kW_{th} ergibt sich eine sehr niedrige, spezifische Wärmeleistung.

1.5 Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium

Die Sporthalle des Herzog-Johann-Gymnasiums wurde 1983 gebaut. Über eine Nahwärmeleitung wird die Sporthalle vom Heizkessel im Gymnasium versorgt. Den Wärmeverbrauch nimmt ein Wärmemengenzähler auf, der Anfang 2005 erneuert wurde. Das Warmwasser wird einem 1.500 l Speicher in der Heizperiode über die Nahwärme und außerhalb der Heizperiode elektrisch bereitete.

Die Sporthalle wird auch in den Schulferien von Vereinen genutzt.

Aufgrund fehlerhafter Zählermessungen wird wie für das Gymnasium auch hier der Wärmebedarf mit Kennwerten abgeschätzt.

Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium	
beheizte Fläche	1.928 m ²
spez. Wärmebedarf	113 kWh _{th} /(m ² a)
Wärmebedarf	218.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	150 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.453 h/a
spez. Wärmeleistung	78 W _{th} /m ²

Tabelle 1-8 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium

1.6 Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule

Die Grundschule wurde 1996 errichtet. Sie ist zusammen mit der zugehörigen Sporthalle über Nahwärmeleitungen an die Heizzentrale im Gymnasium angebunden. Die Abrechnung erfolgt über einen Wärmemengenzähler, sodass ein getrennter Wärmeverbrauch für die Grundschule und die Sporthalle nicht vorliegt. Auch dieser Zähler wurde Anfang 2005 ausgetauscht.

Da nur der gemeinsame Wärmeverbrauch der Grundschule und der Sporthalle vorliegt und der auf fehlerhafte Zählermessungen beruht, wird für die Grundschule der Wärmebedarf mit Kennwerten abgeschätzt.

Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule	
beheizte Fläche	2.994 m ²
spez. Wärmebedarf	70 kWh _{th} /(m ² a)
Wärmebedarf	160.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	150 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.067 h/a
spez. Wärmeleistung	65 W _{th} /m ²

Tabelle 1-9 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule

1.7 Sporthalle Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule

Die Sporthalle wurde 2000 errichtet. Auch sie ist über Nahwärmeleitungen an die Heizzentrale im Gymnasium angebunden. Die Abrechnung erfolgt über einen gemeinsamen Wärmemengenzähler, sodass ein getrennter Wärmeverbrauch für die Grundschule und die Sporthalle nicht vorliegt.

Zur Warmwasserbereitung ist ein Trinkwarmwasserspeicher mit 500 l in der Sporthalle installiert. Während der Heizperiode wird der Speicher mit Nahwärme und im Sommer elektrisch aufgeheizt.

Da nur der gemeinsame Wärmeverbrauch der Grundschule und der Sporthalle vorliegt und der auf fehlerhafte Zählermessungen beruht, wird für die Grundschule der Wärmebedarf mit Kennwerten abgeschätzt.

Sporthalle Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule	
beheizte Fläche	702 m ²
spez. Wärmebedarf	80 kWh _{th} /(m ² a)
Wärmebedarf	56.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	50 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.120 h/a
spez. Wärmeleistung	71 W _{th} /m ²

Tabelle 1-10 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Sporthalle Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule

1.8 Regionale Schule

1970 wurde die Regionale Schule gebaut und 2000 durch einen Anbau erweitert. Zur Schule gehört noch eine Sporthalle.

In der Regionalen Schule befinden sich zwei Erdgaskessel. Diese versorgen über eine Nahwärmeleitung auch die zugehörige Sporthalle.

	Kessel 1	Kessel 2
Fabrikat	Viessmann	Viessmann
Bezeichnung	PD-037	PD-037
Wärmeleistung	430 kW _{th}	430 kW _{th}
Baujahr	1987	1987
Abgasverluste 29.08.05	5 %	5 %
Brenner		
Fabrikat	Weishaupt	Weishaupt
Bezeichnung	G 3/1-E	G 3/1-E
Baujahr	1987	1987
Leistung	60 – 680 kW _{th}	60 – 680 kW _{th}

Aus dem Erdgasverbrauch wird der Gesamtwärmebedarf berechnet. Durch den Wärmemengenzähler für die Sporthalle liegt mit der Differenz der Wärmeverbrauch der Regionalen Schule vor.

Regionale Schule	
Erdgasverbrauch, gemittelt 2002 - 2004	1.018.000 kWh _{HO} /a
Jahresnutzungsgrad	90 %
Wärmebedarf Nahwärmeverbund	914.000 kWh _{th} /a
Wärmebedarf Nahwärmeverbund ohne Nahwärmeverluste	906.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	860 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.063 h/a
beheizte Fläche, gesamt	8.918 m ²
spez. Wärmebedarf	102 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Wärmeleistung	96 W _{th} /m ²
<hr/>	
Wärmeverbrauch Sporthalle inkl. Nahwärme	425.000 kWh _{th} /a
<hr/>	
Wärmeverbrauch Regionale Schule	489.000 kWh _{th} /a
beheizte Fläche Gymnasium	6.835 m ²
spez. Wärmebedarf (RH)	72 kWh _{th} /(m ² a)
<hr/>	
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Raumheizung	75 - 250 kWh _{th} /(m ² a) ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	75 - 150 W _{th} /m ² ¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.130 - 1.510 h/a ¹

Tabelle 1-11 Ist-Daten kleiner Nahwärmeverbund Regionale Schule

Die beiden Heizkessel zur Versorgung des Nahwärmeverbunds sind mit rund 1.060 h/a Auslastung geringfügig überdimensioniert.

Mit 72 kWh_{th}/(m²a) liegt der spezifische Wärmebedarf der Regionalen Schule mit Baujahr 1970/2000 sehr niedrig.

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

Mit Kennwerten wird die erforderliche Wärmeleistung für die Regionale Schule überschlägig berechnet.

Regionale Schule	
beheizte Fläche	6.835 m ²
Wärmebedarf	489.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	450 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.087 h/a
spez. Wärmebedarf	72 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Wärmeleistung	66 W _{th} /m ²

Tabelle 1-12 Abschätzung Wärmeleistung Regionale Schule

1.9 Sporthalle Regionale Schule

Im Nahwärmeverbund mit der Regionalen Schule wird die Sporthalle mit Wärme versorgt. Den Wärmeverbrauch nimmt ein Wärmemengenzähler auf.

Das Warmwasser wird einem 1.000 l Speicher in der Heizperiode über die Nahwärme und außerhalb der Heizperiode elektrisch bereitet.

Die Sporthalle wird auch in den Schulferien von Vereinen genutzt.

Sporthalle Regionale Schule		
Wärmeverbrauch Sporthalle 2002 - 2004	413.000 kWh _{th} /a	
Nahwärmeverluste	12.000 kWh _{th} /a	
Wärmebedarf Sporthalle	425.000 kWh _{th} /a	
beheizte Fläche Sporthalle	2.083 m ²	
spez. Wärmebedarf (RH + WWB)	198 kWh _{th} /(m ² a)	
gebäudetypische Werte		
spez. Wärmebedarf Raumheizung	33 - 358 kWh _{th} /(m ² a)	¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	85 - 115 W _{th} /m ²	¹
Vollbenutzungsstunden zweischichtig	1.510 h/a	¹

Tabelle 1-13 Ist-Daten Sporthalle Regionale Schule

Mit Kennwerten wird die erforderliche Wärmeleistung überschlägig berechnet.

Sporthalle Regionale Schule	
beheizte Fläche	2.083 m ²
Wärmebedarf	413.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	300 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.390 h/a
spez. Wärmebedarf	198 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Wärmeleistung	144 W _{th} /m ²

Tabelle 1-14 Abschätzung Wärmeleistung Sporthalle Regionale Schule

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

1.10 Kindergarten

Der Kindergarten wurde 2004 im Schulzentrum in Simmern errichtet. Eine Erdgasbrennwerttherme dient der Wärmeversorgung

Fabrikat	Buderus
Bezeichnung	Loganoplus GB 142-15
Wärmeleistung	15 kW _{th}
Baujahr	2004
Abgasverluste 06.07.2004	1 %
Brenner	
Fabrikat	Buderus
Baujahr	2004

Zur Ermittlung des Wärmebedarfs kann nur der Erdgasverbrauch vom 27.05. bis zum 10.01.2004 herangezogen werden. Die Hochrechnung auf einen Jahresverbrauch wurde nach dem prozentualen Anteil je Monat nach der VDI 2067 durchgeführt.

Kindergarten	
Erdgasverbrauch	22.000 kWh _{Ho} /a
Jahresnutzungsgrad	97 %
Wärmebedarf	19.000 kWh _{th} /a
installierte Heizleistung	15 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.267 h/a
beheizte Fläche, gesamt	292 m ²
spez. Wärmebedarf	65 kWh _{th} /(m ² a)
spez. Wärmeleistung	51 W _{th} /m ²
gebäudetypische Werte	
spez. Wärmebedarf Raumheizung	190 - 315 kWh _{th} /(m ² a) ¹
spez. Wärmeleistung Raumheizung	60 - 100 W _{th} /m ² ¹

Tabelle 1-15 Ist-Daten Kindergarten

Die Kennwerte zeigen, dass die Erdgasbrennwerttherme mit Baujahr 2004 bedarfsgerecht ausgelegt ist. In den weiteren Berechnungen wird die installierte Wärmeleistung weiter zu Grunde gelegt.

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

1.11 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 Heizzentrale für eine gemeinsame Wärmeversorgung werden die neu ermittelten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

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

Liegenschaft	Wärmebedarf	Wärmeleistung	Vollbenutzungsstd.
	kWh _{th} /a	kW _{th}	h/a
Berufsbildende Schule I	624.000	600	1.040
Berufsbildende Schule II	109.000	150	727
Berufsbildende Schule III	66.000	66	1.000
Herzog-Johann-Gymnasium	1.133.000	750	1.511
Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium	218.000	150	1.453
Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle	216.000	200	1.080
Regionale Schule	489.000	450	1.087
Sporthalle Regionale Schule	413.000	300	1.377
Kindergarten	19.000	15	1.267

Tabelle 1-16 Wärmebedarf und Wärmeleistung der Liegenschaften

2 Wärmeversorgung gesamtes Schulzentrum

Für das gesamte Schulzentrum wird im Folgenden die Wärmeversorgung untersucht.

2.1 Dezentrale Wärmeversorgung

Damit der Holz-Nahwärmeverbund bewertet werden kann, wird die dezentrale Wärmeversorgung der einzelnen Liegenschaften zu einer Basisvariante zusammengefasst.

Dazu wird zunächst für jedes Gebäude die derzeitige Wärmeversorgung bzw. bei Erneuerungsbedarf eine neue Wärmeversorgung dargestellt. Die Auslegung der erneuerungsbedürftigen Kesselanlagen erfolgt mit den in der Ist-Analyse ermittelten Werten.

2.1.1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die dezentrale Wärmeversorgung der Liegenschaften bzw. zwei kleine Nahwärmenetze im Schulzentrum Simmern aufgeführt. Für die Gegenüberstellung zur gemeinsamen Wärmeversorgung werden alle Daten zu einer Basisvariante zusammengefasst.

		BBS I	BBS II	BBS III
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	624.000	109.000	66.000
Wärmeleistung	kW _{th}	600	150	66
Wärmeleistung Heizkessel	kW _{th}	600	150	66
Jahresnutzungsgrad	%	92	90	97
Erdgasbedarf	kWh _{HU} /a	678.261	118.478	68.041
Erdgasbedarf	kWh _{HO} /a	746.087	130.326	74.845
Erdgasmenge	m ³ /a	67.826	11.848	6.804

Tabelle 2-1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung Berufsbildende Schule

		Gymnasium Sporthalle Grundschule Sporthalle	Regionale Schule Sporthalle	Kindergarten
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	1.567.000	902.000	19.000
Wärmeleistung	kW _{th}	1.100	750	15
Wärmebedarf inkl. Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	1.578.000	914.000	
Wärmeleistung inkl. Nahwärmeverluste	kW _{th}	1.102	752	
Wärmeleistung Heizkessel	kW _{th}	1.120	750	15
Jahresnutzungsgrad	%	84	92	97
Erdgasbedarf	kWh _{Hu} /a	1.872.086	993.478	19.588
Erdgasbedarf	kWh _{Ho} /a	2.059.294	1.092.826	21.546
Erdgasmenge	m ³ /a	187.209	99.348	1.959

Tabelle 2-2 Energiebilanz kleiner Nahwärmeverbund Gymnasium, Regionale Schule und dezentrale Wärmeversorgung Kindergarten

Die Basisvariante zur Bewertung der zu untersuchenden zentralen Wärmeversorgung stellt die Summe der einzelnen Liegenschaften dar.

		Basisvariante
Wärmebedarf	kWh _{th} /a	3.287.000
Wärmeleistung	kW _{th}	2.681
Wärmebedarf inkl. Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	3.310.000
Wärmeleistung inkl. Nahwärmeverluste	kW _{th}	2.686
Wärmeleistung Heizkessel	kW _{th}	2.701
Erdgasbedarf	kWh _{Hu} /a	3.749.932
Erdgasbedarf	kWh _{Ho} /a	4.124.925
Erdgasmenge	m ³ /a	374.993

Tabelle 2-3 Energiebilanz Basisvariante

2.1.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Zunächst wird der Ist-Zustand mit dem derzeitigen Energieverbrauch dargestellt.

Durch die Erneuerung mancher Heizkessel bzw. Umstellung von einer elektrischen Beheizung auf eine Warmwasserheizung ergeben sich niedrigere Emissionen.

Die spezifische CO₂-Emission für Erdgas beträgt 254,1 g CO₂/kWh_{Hu} und für Strom 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

Liegenschaft	Ergasbedarf kWh _{Hu} /a	Heizstrombedarf kWh _{el} /a	CO ₂ -Emission t CO ₂ /a
BBS I	466.000	255.000	292
BBS II	136.000		35
BBS III	68.000		17
Gymnasium + Sporthalle, Grundschule + Sporthalle	1.901.000		483
Regionale Schule + Sporthalle	1.016.000		258
Kindergarten	20.000		5
Ist-Zustand	3.607.000	255.000	1.091

Tabelle 2-4 CO₂-Emissionsbilanz Ist-Zustand

Liegenschaft	Erdgasbedarf kWh _{Hu} /a	CO ₂ -Emission t CO ₂ /a
BBS I	678.261	172
BBS II	118.478	30
BBS III	68.041	17
Gymnasium + Sporthalle, Grundschule + Sporthalle	1.872.086	476
Regionale Schule + Sporthalle	993.478	252
Kindergarten	19.588	5
Ist-Zustand	3.749.932	953

Tabelle 2-5 CO₂-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung

2.1.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentrale Wärmeversorgung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3,5 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Warmwasserheizung	20 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Berufsbildende Schule I, II, III	
Arbeitspreis Erdgas (Stand Oktober 05)	4,1496 Ct/kWh _{Ho} (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas bis 150 kW (Stand Oktober 05)	20,30 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas über 150 kW (Stand Oktober 05)	9,1326 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
durchschnittlicher Strompreis (Stand Januar 05)	13,20 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)
Gymnasium (mit Grundschule und Sporthallen)	
Arbeitspreis Erdgas (Stand Oktober 05)	3,9723 Ct/kWh _{Ho} (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas bis 150 kW (Stand Oktober 05)	20,30 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas über 150 kW (Stand Oktober 05)	9,1326 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
durchschnittlicher Strompreis (Stand Juni 05)	13,89 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)
Regionale Schule mit Sporthalle ¹	
Arbeitspreis Erdgas	3,9580 Ct/kWh _{Ho} (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas bis 150 kW	20,30 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas über 150 kW	9,1326 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
durchschnittlicher Strompreis (Stand 04)	9,725 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)

¹ Annahme 3 % Steigerung Arbeitspreis wie Gymnasium und dieselben Grundpreise wie Berufsbildende Schule bzw. Gymnasium

Kindergarten¹

Arbeitspreis Erdgas

4,6029 Ct/kWh_{Ho} (inkl. MwSt.)

Grundpreis Erdgas

301,60 €/a (inkl. MwSt.)

durchschnittlicher Strompreis (Annahme TSB)

14,0 Ct/kWh_{el} (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:

2 % der Investition (Heizanlage)

Personalkosten

35,00 €/h (inkl. MwSt.)

Die abgeschätzten Investitionskosten der erneuerungsbedürftigen Anlagen sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	BBS I	BBS II	Regionale Schule Sporthalle
	600 kW _{th}	150 kW _{th}	300 + 450 kW _{th}
Demontage			
Demontage Heizkessel	3.200 €	1.600 €	5.000 €
Demontage elektrische Nachtspeicheröfen	43.700 €		
Maschinenteknik			
Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	45.500 €	15.800 €	53.700 €
Umstellung auf Warm- wasserheizung	209.900 €		
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes	45.300 €	2.600 €	8.800 €
Gesamtinvestition	347.600 €	20.000 €	67.500 €

Tabelle 2-6 Investitionskosten dezentrale Wärmeversorgung

¹ Annahme 3 % Steigerung Arbeitspreis wie Gymnasium und insgesamt 11 % Steigerung Erdgaskosten wie Berufsbildende Schule II

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in den folgenden Tabellen inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt.

		BBS I	BBS II	BBS III
Nennwärmeleistung	kW_{th}	600	150	66
Investitionskosten	€	347.600	20.000	0
Kapitalkosten	€/a	25.975	1.476	0
Verbrauchskosten	€/a	38.938	8.641	4.533
Betriebskosten	€/a	3.233	1.298	1.003
Jahreskosten	€/a	68.146	11.415	5.536
Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	624.000	109.000	66.000
Wärmepreis	$\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$	10,9	10,5	8,4

Tabelle 2-7 Wirtschaftlichkeit dezentrale Wärmeversorgung Berufsbildende Schule

		Gymnasium Sporthalle Grundschule Sporthalle	Regionale Schule Sporthalle	Kindergarten
Nennwärmeleistung	kW_{th}	1.120	750	15
Investitionskosten	€	0	67.500	0
Kapitalkosten	€/a	0	4.977	0
Verbrauchskosten	€/a	95.713	52.668	1.320
Betriebskosten	€/a	4.412	3.339	808
Jahreskosten	€/a	100.125	60.984	2.128
Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.567.000	902.000	19.000
Wärmepreis	$\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$	6,4	6,8	11,2

Tabelle 2-8 Wirtschaftlichkeit kleiner Nahwärmeverbund Gymnasium, Regionale Schule und dezentrale Wärmeversorgung Kindergarten

Die Basisvariante zur Bewertung der zu untersuchenden zentralen Wärmeversorgung stellt die Summe der einzelnen Liegenschaften dar.

		Basisvariante
Nennwärmeleistung	kW_{th}	2.701
Investitionskosten	€	435.100
Kapitalkosten	€/a	32.428
Verbrauchskosten	€/a	201.813
Betriebskosten	€/a	14.092
Jahreskosten	€/a	248.333
Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	3.287.000
Wärmepreis	$\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$	7,6

Tabelle 2-9 Wirtschaftlichkeit Basisvariante

2.2 Zentrale Wärmeversorgung

Zur zentralen Wärmeversorgung des Schulzentrums in Simmern wird ein Holz-Nahwärmeverbund untersucht.

Zuerst wird eine Trassenführung ausgewählt, um die Nahwärmeverluste bestimmen zu können. Damit können dann der Gesamtwärmebedarf inklusive der Verluste und die erforderliche Wärmeleistung im Nahwärmeverbund bestimmt werden.

Die Technik und Vorschläge zur möglichen Umsetzung eines Biomassekessels werden kurz erläutert.

Anschließend wird eine Energiebilanz aufgestellt, die die Grundlage der Kohlendioxid-emissionsbilanz und der Wirtschaftlichkeit ist. Zur Beurteilung des Holz-Nahwärmeverbunds werden die entsprechenden Werte auch für die Basisvariante der dezentralen Wärmeversorgung mit aufgeführt.

Für die unten abgebildete Trassenführung werden der Wärmebedarf und die Wärmeleistung der Heizzentrale bestimmt.



Abbildung 2-1 Lageplan mit Vorschlag Trassenführung Nahwärmenetz

	Wärmebedarf kWh _{th} /a	Wärmeleistung kW _{th}
BBS I	624.000	600
BBS II	109.000	150
BBS III	66.000	66
Herzog-Johann-Gymnasium	1.133.000	750
Sporthalle (Gymnasium)	218.000	150
Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle	216.000	200
Regionale Schule	489.000	450
Sporthalle (Regionale Schule)	413.000	300
Kindergarten	19.000	15
Summe	3.287.000	2.681
Gleichzeitige Spitzenleistung		2.413
Nahwärmeverluste	193.000	39
Summe	3.480.000	2.451

Tabelle 2-10 Wärmebedarf und Wärmeleistung Nahwärmeverbund

Um den gesamten Wärmebedarf im Nahwärmeverbund abdecken zu können, ist von der Heizzentrale insgesamt rund 2.450 kW_{th} als Wärmeleistung bereitzustellen.

Der vorhandene Heizkessel im Gymnasium mit 1.120 kW_{th} und Baujahr 2000 als ein Spitzenlastkessel im Nahwärmeverbund weiter betrieben werden. Die beiden neuen Erdgasthermen mit niedriger Wärmeleistung (BBS III: 66 kW_{th}, 2003 und Kindergarten: 15 kW_{th}, 2004) können im Nahwärmenetz nicht weiter betrieben werden und stehen für andere Liegenschaften zur Verfügung.

2.2.1 Vorstellung Holzhackschnitzelkessel

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.

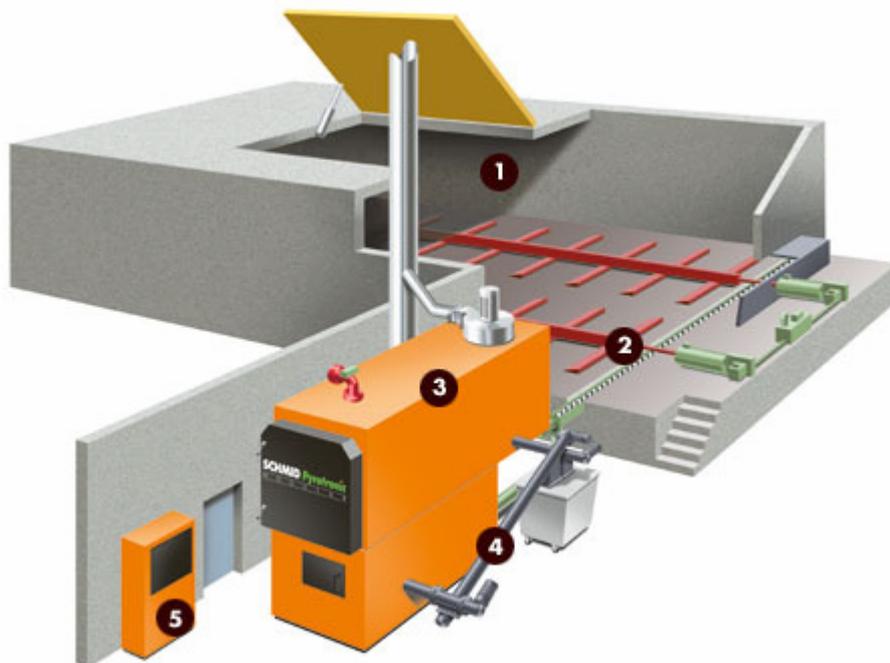


Abbildung 2-2 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

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.

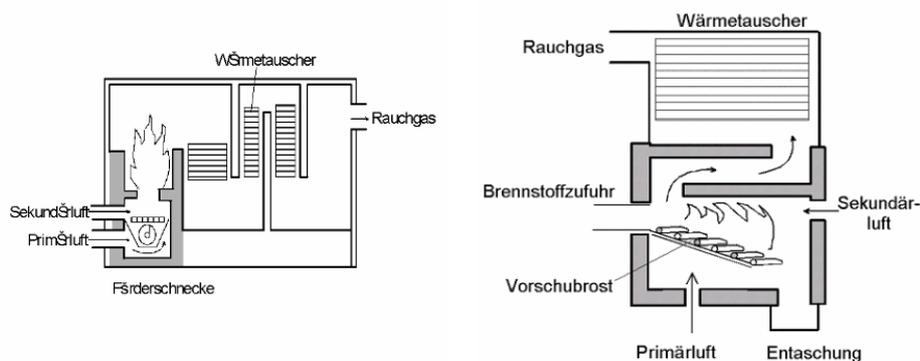


Abbildung 2-3 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung
(Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.)

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 heizölbefuerter 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.

Für einen Holzhackschnitzelkessel ist als Standort das Grundstück neben dem Kindergarten in Hanglage angedacht. Zur Lagerung der Holzhackschnitzel bietet sich ein Erdbunker mit Schubstangenausragung an, der in den Hang neben das zu errichtende Heizhaus gebaut werden kann. Damit wird das Abkippen des Brennstoffs in den Erdbunker erleichtert. Die Zufahrt des Sattelschleppers ist über den auszubauenden Weg hinter der Sporthalle (Grundschule) möglich.

Als kostengünstigere Variante bietet sich eine Containerlösung an. Auf dem Grundstück kann auch ein Technikcontainer mit installiertem Holzhackschnitzelkessel aufgestellt werden. Auch die Holzhackschnitzel werden in einem Container gelagert, der mit einer Schubstangenausragung ausgestattet ist. Durch den Einsatz von Wechselcontainern kann ein gefüllter Container zur Brennstoffversorgung neben dem Heizcontainer stehen, während ein zweiter mit Holzhackschnitzel beim Lieferant befüllt wird. Für den rund 12 m³ großen Pufferspeicher ist eine wetterfeste Aluminiumhülle oder eine separate Einhausung z. B. mit einer Holzverschalung vorzusehen.

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

Erdgas-Niedertemperaturkessel 1.120 kW_{th} (vorhanden, Gymnasium)

Erdgas-Niedertemperaturkessel ca. 750 kW_{th} (Standort BBS I)

Holzhackschnitzelkessel ca. 600 kW_{th}

2.2.2 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen sowohl für die zentrale als auch die Zusammenfassung der dezentralen Wärmeversorgung als Basisvariante aufgeführt.

		Basisvariante dezentral NT-Kessel Erdgas	Holznahwärme- verbund zentral NT-Kessel HHS + Erdgas
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	3.310.000	3.480.000
Wärmeleistung	kW _{th}	2.681	2.451
Nennwärmeleistung			
Erdgaskessel	kW _{th}	2.701	1.870 (1.120+750)
Holz hackschnitzelkessel	kW _{th}		600
Summe	kW _{th}	2.701	2.470
Deckungsgrad Leistung			
Erdgaskessel	%	100	76
Holz hackschnitzelkessel	%		24
Wärmeerzeugung			
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	3.310.000	870.000
Holz hackschnitzelkessel	kWh _{th} /a		2.610.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung			
Erdgaskessel	%	100	25
Holz hackschnitzelkessel	%		75
Vollbenutzungsstunden			
Erdgaskessel	h/a	1.225	465
Holz hackschnitzelkessel	h/a		4.350
Jahresnutzungsgrad			
Erdgaskessel	%		92
Holz hackschnitzelkessel	%		80
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{Hu} /a	3.749.932	945.652
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{Ho} /a	4.124.925	1.040.217
Holz hackschnitzelbedarf	kWh _{Hu} /a		3.262.500
Erdgasmenge	m ³ /a	374.993	94.565
Holz hackschnitzelmenge	Sm ³ /a		4.078

Tabelle 2-11 Vergleich Energiebilanz dezentrale und zentrale Wärmeversorgung Schulzentrum

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

Um ein Vorratsvolumen für einen siebentägigen Volllastbetrieb von etwa 160 Sm³ vorhalten zu können, ist ein Lagervolumen mit ca. 210 m³ erforderlich. Damit ist die Größe des Erdbunkers festgelegt.

In der Containerlösung ist das Vorratsvolumen durch die Containergröße vorgegeben. Ein Containervolumen von 61,5 m³ reicht etwa für einen zweieinhalbtagigen Volllastbetrieb aus.

2.2.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz zentrale Wärmeversorgung

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

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}.

Die spezifische CO₂-Emission für Erdgas beträgt 254,1 g CO₂/kWh_{HU}.

In der Tabelle sind die Kohlendioxidemissionen der zentralen Wärmeversorgung den Emissionen der dezentralen Wärmeversorgung gegenübergestellt.

		Ist-Zustand	Basisvariante	Holznahwärmeverbund
		dezentral Erdgas + Strom	dezentral Erdgas	zentral HHS + Erdgas
Erdgasbedarf	kWh _{HU} /a	3.607.000	3.749.932	945.652
Heizstrombedarf	kWh _{el} /a	255.000		
HHS-Bedarf	kWh _{HU} /a			3.262.500
CO ₂ -Emissionen	t CO ₂ /a	1.091	953	431

Tabelle 2-12 Vergleich CO₂-Emissionsbilanz dezentrale und zentrale Wärmeversorgung Schulzentrum

Kohlendioxid-Emissionsbilanz Schulzentrum "Auf dem Füllkasten"

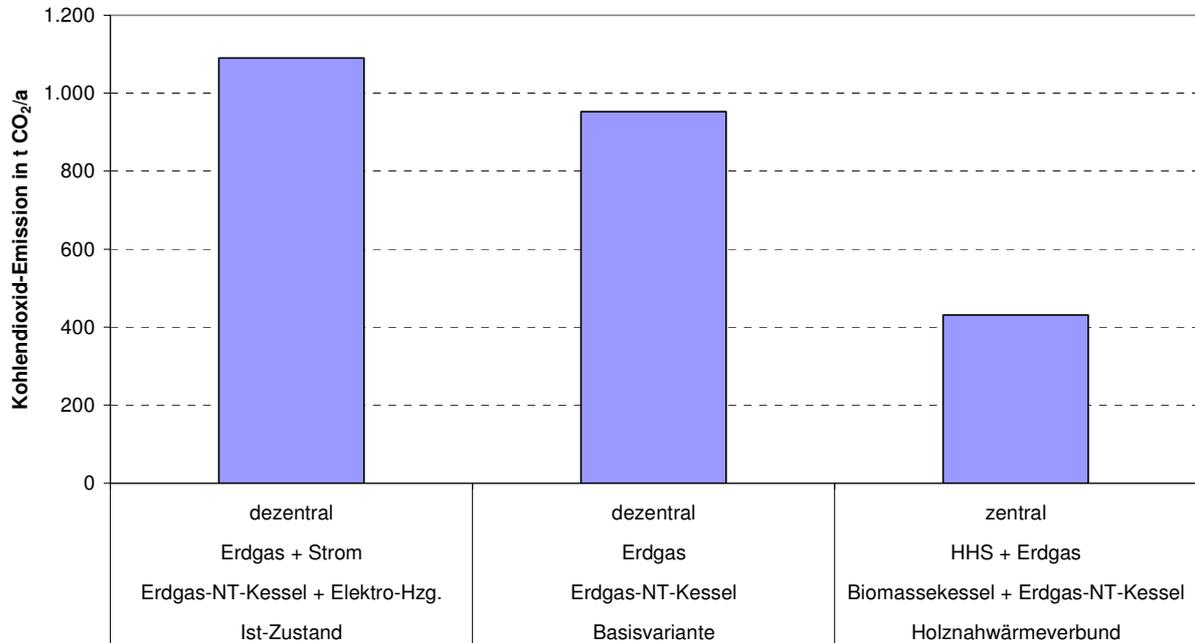


Abbildung 2-4 Vergleich CO₂-Emissionen Schulzentrum

Im Vergleich zu den derzeitigen Kohlendioxidemissionen spart die Erneuerung der Erdgaskessel und Umstellung der elektrischen Nachtspeicherheizungen etwa 13 % der CO₂-Emissionen ein, während ein Holznahwärmeverbund eine Einsparung in Höhe von ca. 60 % erreichen würde.

2.2.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zentrale Wärmeversorgung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

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 €) 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 €) auf das KfW-Darlehen beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe. Aktuelle Konditionen (Stand 06.10.2005) zum KfW-Darlehen „Förderung erneuerbare Energien“ sind für private Antragsteller und Kommunen u. a. eine maximale Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren und 3,38 % effektivem Zinssatz.

Bis auf die Anschlussleitungen des Kindergartens sind alle übrigen, neu zu verlegenden Nahwärmeleitungen in Bezug auf den Mindestwärmeabsatzes förderfähig.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3,38 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Warmwasserheizung	20 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmeleitungen	40 Jahre
Abschreibungsdauer Hausübergabestation	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Berufsbildende Schule I	
Arbeitspreis Erdgas (Stand Oktober 05)	4,1496 Ct/kWh _{Ho} (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas bis 150 kW (Stand Oktober 05)	20,30 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas über 150 kW (Stand Oktober 05)	9,1326 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)

Gymnasium (mit Grundschule und Sporthallen)

Arbeitspreis Erdgas (Stand Oktober 05) 3,9723 Ct/kWh_{Ho} (inkl. MwSt.)

Grundpreis Erdgas bis 150 kW (Stand Oktober 05) 20,30 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)

Grundpreis Erdgas über 150 kW (Stand Oktober 05) 9,1326 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)

Spez. HHS-Preis (Waldholz) 15,00 €/Sm³ (inkl. 7 % MwSt.)

Spez. Durchschnittlicher Strompreis 13 Ct/kWh_{el}/a (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel: 2 % der Investition (Heizanlage)

Personalkosten 35,00 €/h (inkl. MwSt.)

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	Holznahwärmeverbund Heizhaus
Wärmeleistung Holzhackschnitzelkessel	600 kW _{th}
Wärmeleistung Erdgaskessel, gesamt	1.870 (1.120 + 750) kW _{th}
Demontage	
Demontage Heizkessel	7.700 €
Demontage elektrische Nachtspeicheröfen	43.700 €
Maschinentechnik	
Umstellung auf Warmwasserheizung	209.900 €
Erdgas-Niedertemperaturkessel (750 kW _{th}) mit Kamin- sanierung und Zubehör inkl. Montage und Inbetrieb- nahme	50.100 €
Holzhackschnitzelkessel mit Pufferspeicher, Austrag- ung und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	171.500 €
Bautechnik	
Heizhaus mit Kamin	138.000 €
HHS-Lager, LkW-Zufahrt	96.200 €
Nahwärmeleitungen	
Nahwärmeleitungen mit Zubehör inkl. Erdarbeiten, Verlegung und Inbetriebnahme	381.300 €
Hausübergabestation	
Indirekte Hausübergabestationen mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	54.400 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	175.200 €
Gesamtinvestition	1.328.000 €
Förderung Biomassekessel	36.000 €
Förderung Nahwärmeleitungen	54.500 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung	1.237.500 €

Tabelle 2-13 Investitionskosten zentrale Wärmeversorgung mit Heizhaus

	Holznahwärmeverbund Heizcontainer
Wärmeleistung Holzhackschnitzelkessel	600 kW _{th}
Wärmeleistung Erdgaskessel, gesamt	1.870 (1.120 + 750) kW _{th}
Demontage	
Demontage Heizkessel	7.700 €
Demontage elektrische Nachtspeicheröfen	43.700 €
Maschinentechnik	
Umstellung auf Warmwasserheizung	209.900 €
Erdgas-Niedertemperaturkessel (750 kW _{th}) mit Kamin- sanierung und Zubehör inkl. Montage und Inbetrieb- nahme	50.100 €
Holzhackschnitzelkessel mit Pufferspeicher und Zube- hör inkl. Montage und Inbetriebnahme	133.800 €
Container bzw. Holzbau	
Heizcontainer mit Kamin	28.600 €
HHS-Container	31.600 €
Holzbau für Pufferspeicher	2.500 €
Bautechnik	
Containerfundamente und Lkw-Zufahrt	26.100 €
Nahwärmeleitungen	
Nahwärmeleitungen mit Zubehör inkl. Erdarbeiten, Verlegung und Inbetriebnahme	381.300 €
Hausübergabestation	
Indirekte Hausübergabestationen mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	54.400 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	145.400 €
Gesamtinvestition	1.115.100 €
Förderung Biomassekessel	36.000 €
Förderung Nahwärmeleitungen	54.500 €
Gesamtinvestition inkl. Förderung	1.024.600 €

Tabelle 2-14 Investitionskosten zentrale Wärmeversorgung mit Containeranlage

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt. Zur Bewertung sind die jeweiligen Kosten für die dezentrale Wärmeversorgung als Basisvariante angegeben.

		Basisvariante	Holznahwärmeverbund Heizhaus	Holznahwärmeverbund Heizcontainer
Gesamtwärmeleistung	kW_{th}	2.551	2.320	2.320
Investitionskosten	€	435.100	1.328.000	1.115.100
inkl. Förderung	€		1.237.500	1.024.600
Kapitalkosten	€/a	32.428	76.379	70.003
inkl. Förderung	€/a		71.875	65.498
Verbrauchskosten	€/a	201.813	130.390	130.390
Betriebskosten	€/a	14.092	16.784	16.042
Jahreskosten	€/a	248.333	223.553	216.435
inkl. Förderung	€/a		219.049	211.930
Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	3.287.000	3.287.000	3.287.000
Wärmepreis	Ct/ kWh_{th}	7,6	6,8	6,6
inkl. Förderung	Ct/ kWh_{th}		6,6	6,4

Tabelle 2-15 Vergleich Wirtschaftlichkeit dezentrale und zentrale Wärmeversorgung

Wirtschaftlichkeit Schulzentrum "Auf dem Füllkasten"

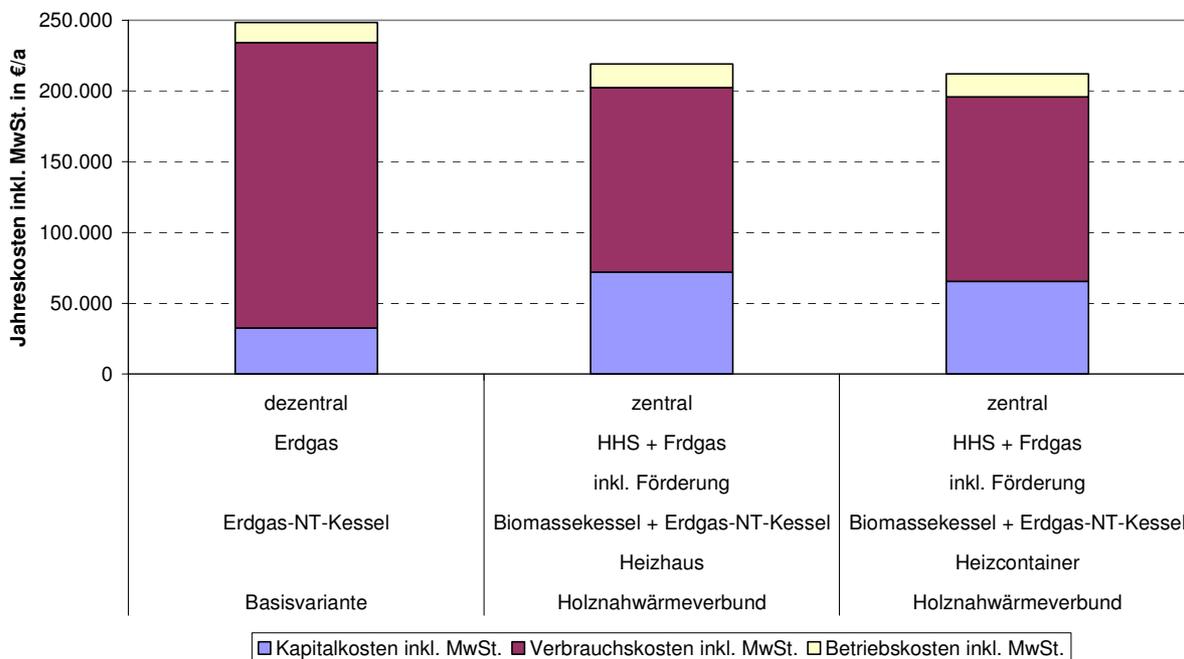


Abbildung 2-5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentrale und zentrale Wärmeversorgung

Durch den günstigen Brennstoffpreis für Holzhackschnitzel können die höheren Investitionskosten bzw. Kapitalkosten ausgeglichen werden, sodass sich auch ohne den Teilschulderlass für Biomassekessel und Nahwärmenetz niedrigere Jahreskosten als die dezentrale Wärmeversorgung ergeben. Mit einer Containerlösung ergeben sich nochmals geringere Jahreskosten durch etwas niedrigere Investitionskosten.

2.2.5 Sensitivitätsanalyse

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

Für den Nahwärmeverbund, in dem zwei verschiedene Brennstoffe (Holzhackschnitzel und Erdgas) 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 inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer.

Dezentrale Wärmeversorgung

Liegenschaft	Erdgaspreis	Erdgaspreis	Erdgaspreis
	-40 % in Ct/kWh _{H0}	0 % in Ct/kWh _{H0}	+40 % in Ct/kWh _{H0}
Berufsbildende Schule I, II, III	2,4897	4,1496	5,8094
Herzog-Johann-Gymnasium mit Sporthalle + Grundschule mit Sporthalle	2,3834	3,9723	5,5612
Regionale Schule mit Sporthalle	2,3748	3,9580	5,5413
Kindergarten	2,7617	4,6029	6,4440

Zentrale Wärmeversorgung

Liegenschaft	Erdgaspreis	Erdgaspreis	Erdgaspreis
	-40 % in Ct/kWh _{H0}	0 % in Ct/kWh _{H0}	+40 % in Ct/kWh _{H0}
Vorhandener Spitzenlastkessel BBS I	2,4897	4,1496	5,8094
Neuer Spitzenlastkessel Herzog-Johann-Gymnasium	2,3834	3,9723	5,5612
	HHS-Preis	HHS-Preis	HHS-Preis
	-40 % in €/Sm ³	0 % in €/Sm	+40 % in €/Sm
Heizzentrale	9	15	21

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 „Basisvariante“ 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 Holzhackschnittelpreis konstant bleibt.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind 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. Denn der Wärmepreis in der dezentralen Wärmeversorgung ist aus wirtschaftlichen Gründen die obere Grenze der neuen Wärmeversorgung.

Sensitivität Schulzentrum "Auf dem Füllkasten"

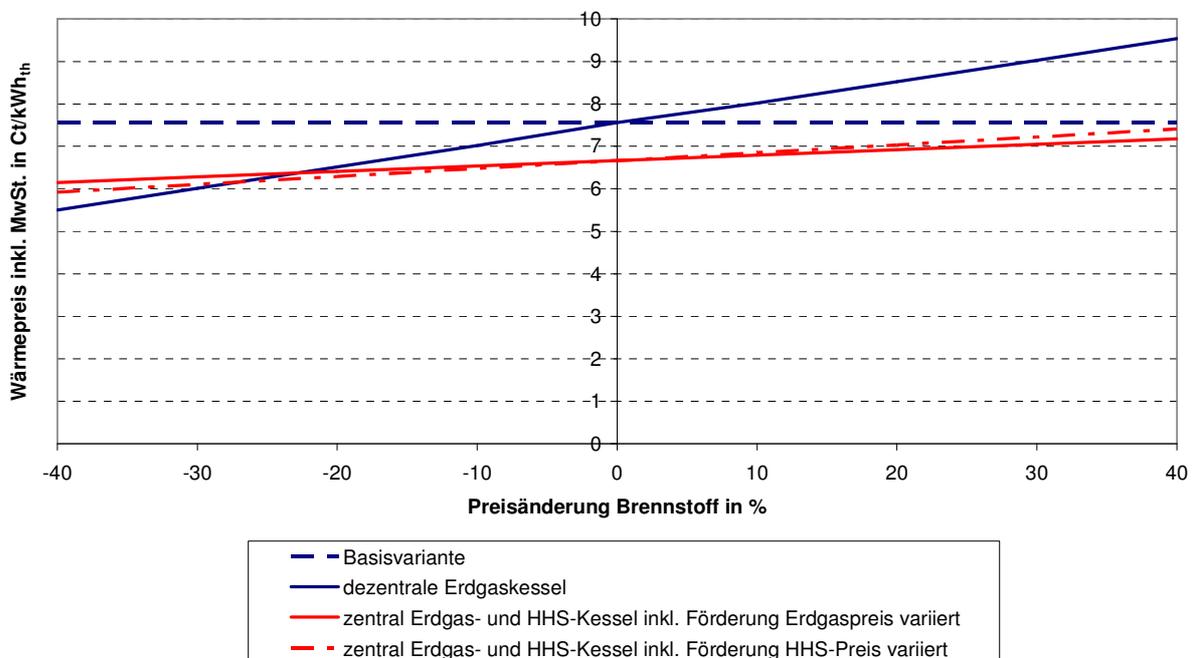


Abbildung 2-6 Sensitivität dezentrale und zentrale Wärmeversorgung Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“

Unter Annahme eines spezifischen Holzhackschnitzelpreises von 15,00 €/Sm³ inkl. MwSt. ist bis zu einem Erdgas-Arbeitspreis von ca. 3,2 Ct/kWh_{H0} (-23 %) günstiger als der Holznahmewärmeverbund. Für einen höheren Erdgas-Arbeitspreis, wie er derzeit vorliegt, ist der Holznahmewärmeverbund wirtschaftlicher.

Mit einem spezifischen HHS-Preis von bis zu 22,70 €/Sm³ ist der Holznahmewärmeverbund

Um mit dem Holznahmewärmeverbund den gleichen Wärmepreis der dezentralen Wärmeversorgung mit 7,6 Ct/kWh_{th} zu erhalten, kann der spezifische HHS-Preis bis zu 22,20 €/Sm³ steigen, was einer Steigerung um 48 % entspricht. Bis zu diesem HHS-Preis ist der Holznahmewärmeverbund günstiger als die dezentrale Wärmeversorgung auf Basis von Erdgas.

3 Wärmeversorgung Herzog-Johann-Gymnasium mit Sporthalle und Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle

Als Alternative zu einem Holznahmwärmeverbund wird für den bestehenden Nahwärmeverbund des Herzog-Johann-Gymnasiums mit Sporthalle und der Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle der Einsatz eines erdgasbetriebenen Motor-BHKW in Verbindung mit dem vorhandenen Erdgaskessel betrachtet.

3.1 Vorstellung Motor-BHKW

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 KWKG-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.



Abbildung 3-1 Motor-BHKW (Quelle: Fa. Comuna Metall)

3.2 Energiebilanz bestehender Nahwärmeverbund

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die Wärmeversorgung des bestehenden Nahwärmeverbunds mit Erdgaskessel sowie für die Variante mit Erdgas-BHKW und Erdgaskessel aufgeführt.

		NT-Kessel Erdgas	NT-Kessel + BHKW Erdgas
Wärmebedarf ¹	kWh _{th} /a	1.578.000	1.578.000
Wärmeleistung	kW _{th}	1.100	1.100
Nennwärmeleistung			
Erdgaskessel	kW _{th}	1.120	1.120
Erdgas-BHKW	kW _{th}		97
Summe	kW _{th}	1.120	1.217
Wärmeerzeugung			
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	1.578.000	1.093.000
Erdgas-BHKW	kWh _{th} /a		485.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung			
Erdgaskessel	%	100	69
Erdgas-BHKW	%		31
Vollbenutzungsstunden			
Erdgaskessel	h/a	1.409	976
Erdgas-BHKW	h/a		5.000
Jahresnutzungsgrad			
Erdgaskessel	%	84	84
Thermischer Wirkungsgrad			
Erdgas-BHKW	%		60
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{Hu} /a	1.878.571	1.301.190
Erdgasbedarf Kessel	kWh _{Ho} /a	2.066.429	1.431.310
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{Hu} /a		808.333
Erdgasbedarf BHKW	kWh _{Ho} /a		889.167
Erdgasmenge Kessel	m ³ /a	187.857	130.119
Erdgasmenge BHKW	m ³ /a		80.833
Elektrische Leistung BHKW	kW _{el}		50
Stromerzeugung	kWh _{el} /a		250.000

Tabelle 3-1 Energiebilanz bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen

¹ Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

3.3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz bestehender Nahwärmeverbund

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz.

Die spezifische CO₂-Emission für Erdgas beträgt 254,1 g CO₂/kWh_{HU}. Durch die dezentrale Stromerzeugung mit einem BHKW vermindern sich durch die verringerte Stromerzeugung im deutschen Kraftwerkmix die globalen Kohlendioxid-Emissionen. Die spezifische CO₂-Emission für Strom aus dem deutschen Kraftwerkmix beträgt 682,6 g CO₂/kWh_{el}.

In der Tabelle sind die Kohlendioxidemissionen der beiden Varianten gegenübergestellt.

		NT-Kessel Erdgas	NT-Kessel + BHKW Erdgas
Erdgasbedarf	kWh _{HU} /a	1.878.571	2.109.524
Vermiedene Stromerzeugung Kraftwerksmix	kWh _{el} /a		250.000
CO ₂ -Emissionene	t CO ₂ /a	477	365

Tabelle 3-2 Vergleich CO₂-Emissionen bestehender Nahwärmeverbund
Gymnasium, Grundschule und Sporthallen

Trotz höherem Erdgasverbrauch reduzieren sich die CO₂-Emissionen für die Kombination aus Erdgaskessel und Erdgas-BHKW durch die vermiedenen CO₂-Emissionen im Kraftwerkmix.

Kohlendioxid-Emissionsbilanz bestehender Nahwärmeverbund Herzog-Johann-Gymnasium mit Sporthalle und Dr. Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle

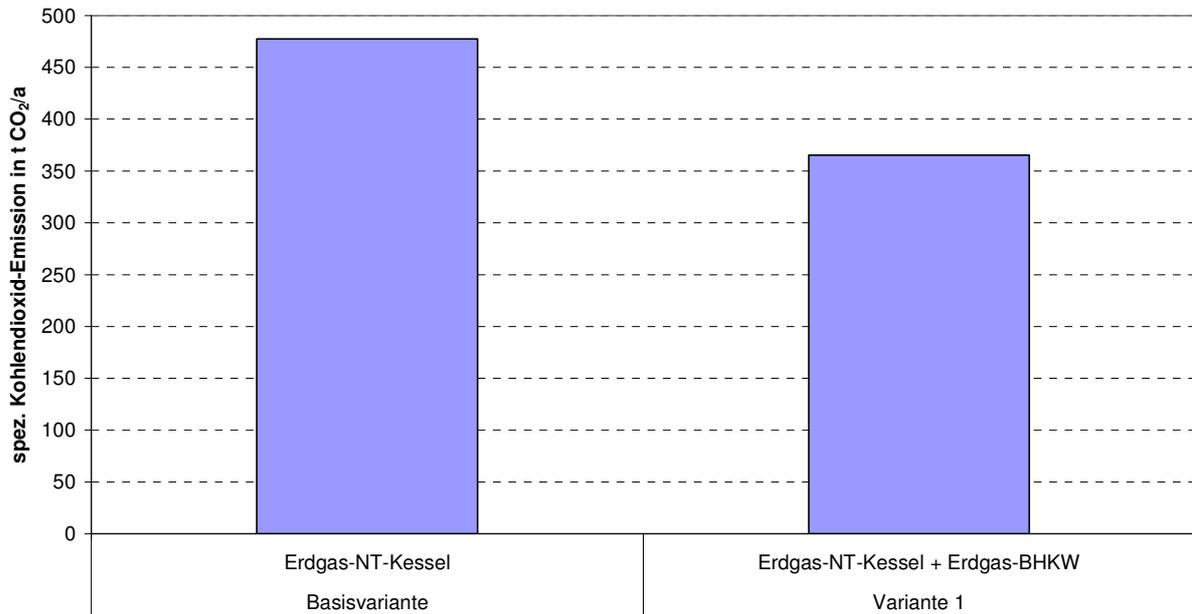


Abbildung 3-2 Vergleich CO₂-Emissionen bestehender Nahwärmeverbund
Gymnasium, Grundschule und Sporthallen

Im Vergleich zur Wärmeversorgung ausschließlich mit Erdgaskessel spart die Kombination aus Erdgaskessel und Erdgas-BHKW etwa 23 % der CO₂-Emissionen ein.

3.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bestehender Nahwärmeverbund

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067 aus den überschlägig ermittelten Investitionskosten die Kapitalkosten, die zusammen mit den Verbrauchs- und Betriebskosten die Jahreskosten ergeben. Zur Ermittlung der Kapitalkosten werden überschlägige Investitionskosten zu Grunde gelegt.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz	3,5 %
Abschreibungsdauer BHKW	10 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

Gymnasium (mit Grundschule und Sporthallen)	
Arbeitspreis Erdgas Heizkessel (Stand Oktober 05)	3,9723 Ct/kWh _{Ho} (inkl. MwSt.)
Arbeitspreis Erdgas BHKW (Stand Oktober 05)	3,4223 Ct/kWh _{Ho} (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas bis 150 kW (Stand Oktober 05)	20,30 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
Grundpreis Erdgas über 150 kW (Stand Oktober 05)	9,1326 €/(kW*a) (inkl. MwSt.)
durchschnittlicher Strompreis (Stand Juni 05)	13,89 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel:	2 % der Investition (Heizanlage)
Wartung / Instandhaltung BHKW	2,34 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)
Personalkosten	35,00 €/h (inkl. MwSt.)

Bestimmung Erlöse Stromerzeugung

Es wird angenommen, dass 60 % des erzeugten Stroms im Herzog-Johann-Gymnasium verbraucht wird und 40 % des erzeugten Stroms ins Netz des Energieversorgungsunternehmens eingespeist wird.

Durch die Stromeinspeisung ins Hausnetz werden entsprechend Kosten für den Strombezug aus dem öffentlichen Netz vermieden.

durchschnittlicher Strompreis	13,89 Ct/kWh _{el} (inkl. MwSt.)
-------------------------------	--

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 kleine Anlagen bis 50 kW_{el} (Inbetriebnahme zwischen 01.04.2002 und 31.12.2008) eine Zuschlagszahlung für einen Zeitraum von 10 Jahren. 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 dritten Quartal 2005 angesetzt.

Einspeisevergütung EVU ¹	4,387 Ct/kWh _{el}
Einsparung durch vermiedene Netznutzung	0,50 Ct/kWh _{el}
Zuschlag nach KWK-Gesetz	5,110 Ct/kWh _{el}
Gesamteinspeisevergütung	9,997 Ct/kWh _{el}

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

	Bestehender Nahwärmeverbund
Thermische Leistung Erdgas-BHKW	97 kW _{th}
Elektrische Leistung Erdgas-BHKW	50 kW _{el}
BHKW	
Erdgas-BHKW mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	78.300 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	11.700 €
Gesamtinvestition	90.000 €

Tabelle 3-3 Investitionskosten bestehender Nahwärmeverbund
Gymnasium, Grundschule und Sporthallen

¹ EEX: Durchschnittspreis Baseload-Strom 3. Quartal 2005

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind in der folgenden Tabelle inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer aufgeführt.

		NT-Kessel Erdgas	NT-Kessel + BHKW Erdgas
Gesamtwärmeleistung	kW_{th}	1.100	1.100
Investitionskosten	€	0	90.000
Kapitalkosten	€/a	0	10.431
Verbrauchskosten	€/a	96.040	102.266
Betriebskosten	€/a	4.412	6.048
Erlöse Strom	€/a		-27.952
Jahreskosten	€/a	100.452	90.793
Wärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	1.567.000	1.567.000
Wärmepreis	$\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$	6,4	5,8

Tabelle 3-4 Wirtschaftlichkeit bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen

Um es mit dem Wärmepreis für die gesamte Wärmeversorgung des Schulzentrums vergleichen zu können, wurde der Wärmepreis für die BHKW-Variante im Verbund des Gymnasiums sowie die dezentrale Wärmeversorgung der übrigen Gebäude im Schulzentrum zu 6,2 $\text{Ct}/\text{kWh}_{\text{th}}$ berechnet. Damit ist diese Wärmeversorgung etwas günstiger als der untersuchte Holznahwärmeverbund.

Wirtschaftlichkeit bestehender Nahwärmeverbund Herzog-Johann-Gymnasium mit Sporthalle und Dr. Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle

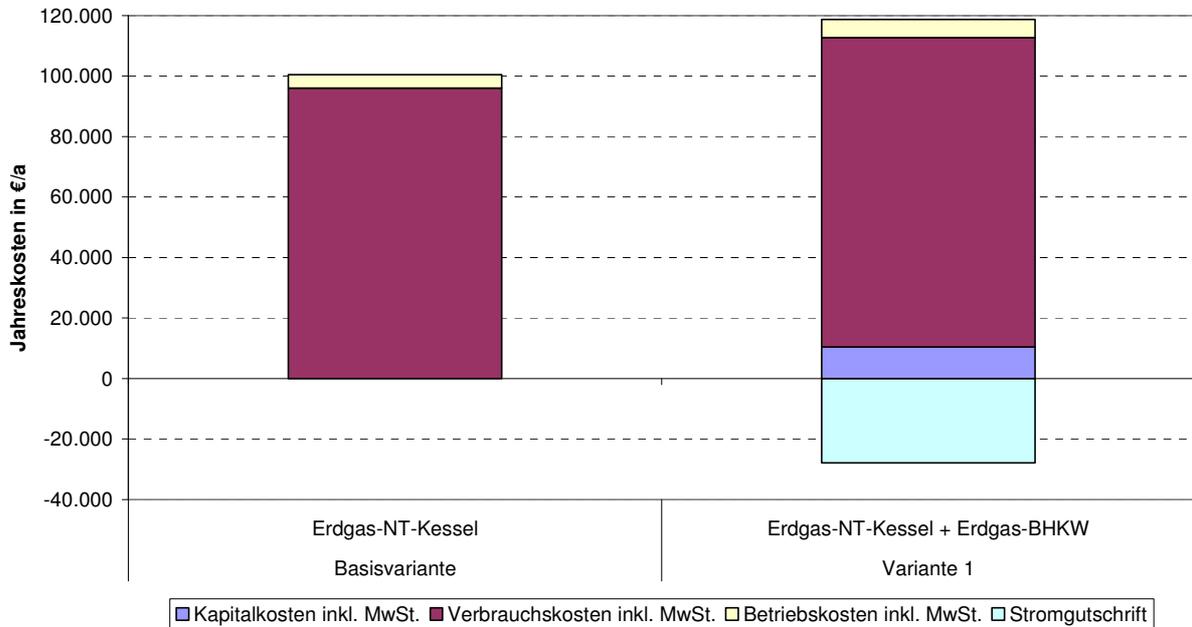


Abbildung 3-3 Wirtschaftlichkeit bestehender Nahwärmeverbund
Gymnasium, Grundschule und Sporthallen

Durch die Stromvergütung werden sowohl die Investitionskosten bzw. Kapitalkosten als auch die höheren Verbrauchskosten ausgeglichen, sodass sich für die Kombination aus Erdgaskessel und Erdgas-BHKW niedrigere Jahreskosten ergeben.

4 Nutzungsmöglichkeiten Solarenergie

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

4.1 Solarthermie

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

Die Solarstrahlung trifft mit einer Leistung von $1,36 \text{ kW/m}^2$ (sog. Solarkonstante) auf die äußere Erdatmosphäre. Durch Reflexion, Streuung und Absorption in der Atmosphäre trifft direkte und diffuse Strahlung auf die Erdoberfläche. In unseren Regionen kann durchschnittlich eine Energiemenge von 1.000 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.

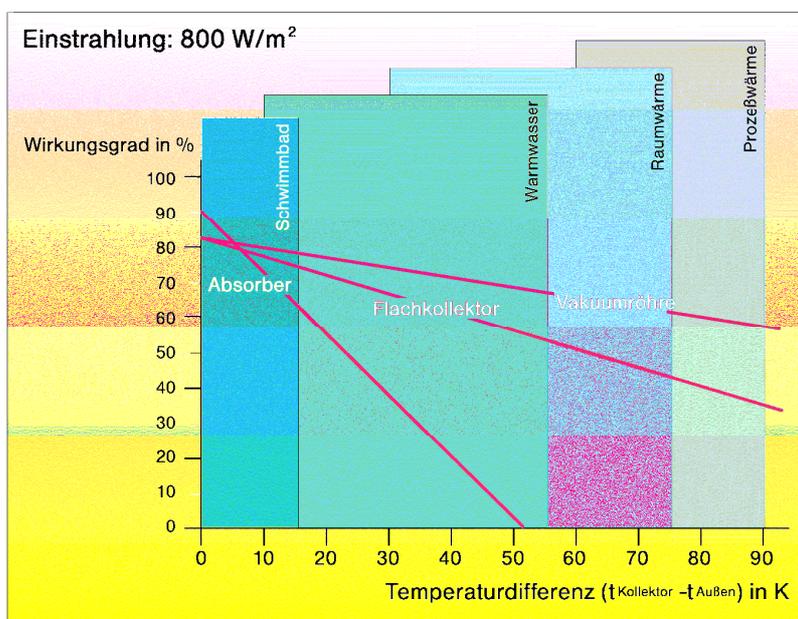
Um eine möglichst hohe Ausbeute über ein Jahr zu erzielen, ist eine Neigung der Kollektormodule von 30 bis 45° notwendig. Die Abweichung der Kollektorebene aus der Südrichtung (Azimut) sollte 45° nicht überschreiten. Zur überschlägigen Berechnung der Kollektorfläche eines Flachkollektors kann davon ausgegangen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



Thermische Solaranlagen, Marktübersicht, © Öko-Institut 1997

Abbildung 4-1 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.

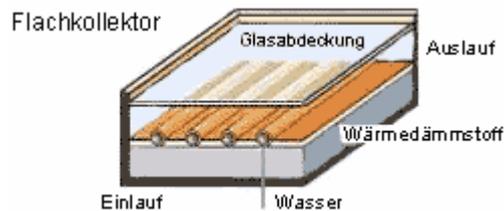


Abbildung 4-2 Flachkollektor (Quelle: Solarserver)

Vakuüm-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.

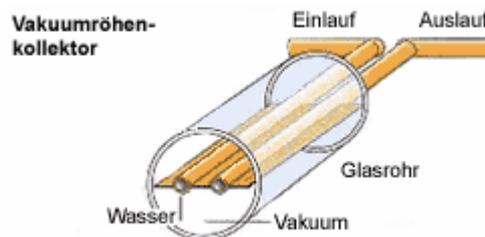


Abbildung 4-3 Vakuüm-Röhrenkollektor (Quelle: Solarserver)

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

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

Einsatzmöglichkeit im Schulzentrum Simmern

Eine Voraussetzung für den Einsatz einer solarthermischen Anlage ist, dass zu Zeiten großer Solarerträge, also in den Sommermonaten, ein Wärmebedarf in den Liegenschaften des Schulzentrums vorliegt. Bis auf die Sporthallen, die auch in den Sommerferien von Vereinen genutzt werden und somit auch Wärme zur Trinkwassererwärmung benötigen, ist in den weiteren Schulgebäuden kein sommerlicher Wärmebedarf vorhanden. Sowohl die Sporthalle des Herzog-Johann-Gymnasiums als auch der Regionalen Schule sind im Sommer von Vereinen belegt.

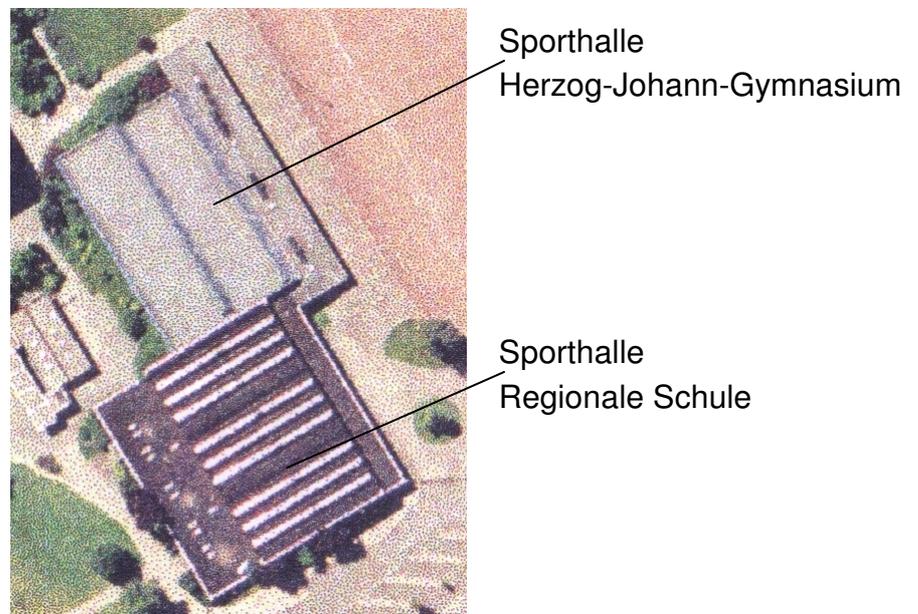


Abbildung 4-4 Luftbild Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium und Sporthalle Regionale Schule

Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium

Das Flachdach der Sporthalle ist für die Installation von Solarkollektoren geeignet. Es wird nur durch zwei Lichtbänder unterbrochen. Da für eine hohe Ausbeute eine Neigung der Kollektormodule von 45° erforderlich ist, müssen die Solarkollektoren unter diesem Winkel nach Süden auf dem Dach aufgeständert werden.

Der vorhandene Warmwasserspeicher weist ein Volumen von 1.500 l auf. Anhand einer überschlägigen Berechnung kann mit einer rund 20 m^2 großen Solarkollektoranlage etwa 1.400 l Warmwasser bereitet werden. Mit einem durchschnittlichen, spezifischen Solarertrag von $400 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^2\text{a}$ ergibt sich ein jährlicher Solarertrag von ca. $8.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$.

Nach dem Stromverbrauch des Elektro-Heizstabs zur Warmwasserbereitung im Winter beträgt der Wärmebedarf etwa $8.700 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$.

Es ist zu prüfen, ob die Statik der Sporthalle eine zusätzliche Dachlast zulässt.

Sporthalle Regionale Schule

Aufgrund der Lichtkuppeln im Flachdach der Sporthalle ist es nur bedingt für eine Installation von Solarkollektoren geeignet. Auf dem westlichen Flachdachbereich können Solarkollektoren installiert werden.

Der vorhandene Warmwasserspeicher weist ein Volumen von 1.000 l auf. Nach einer überschlägigen Berechnung kann eine ca. 15 m² große Solarkollektoranlage etwa 1.000 l Warmwasser bereiten. Der jährliche Solarertrag würde etwa 6.000 kWh_{th}/m²a betragen.

Es ist zu prüfen, ob die Statik der Sporthalle eine zusätzliche Dachlast zulässt.

4.2 Fotovoltaik

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

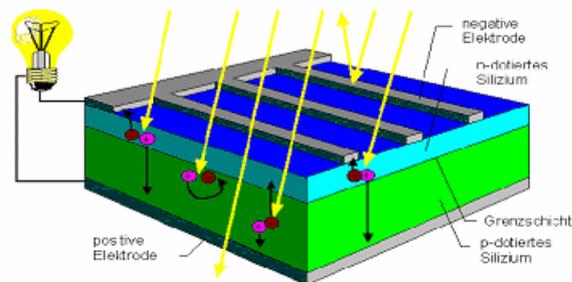


Abbildung 4-5 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

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

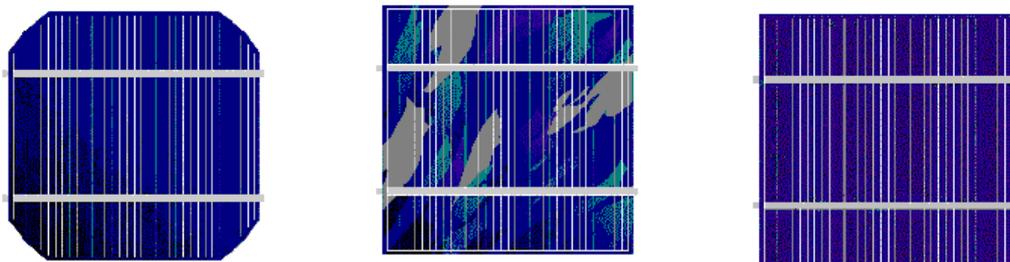


Abbildung 4-6 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt über 250 verschiedene PV-Module auf dem Markt. Diese unterscheiden sich durch ihre Abmaße, Leistung, Zelltypen und nicht zuletzt durch ihren Rahmen und die Einbindung in Montagesysteme (z.B. Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleichbleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Fotovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann.

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

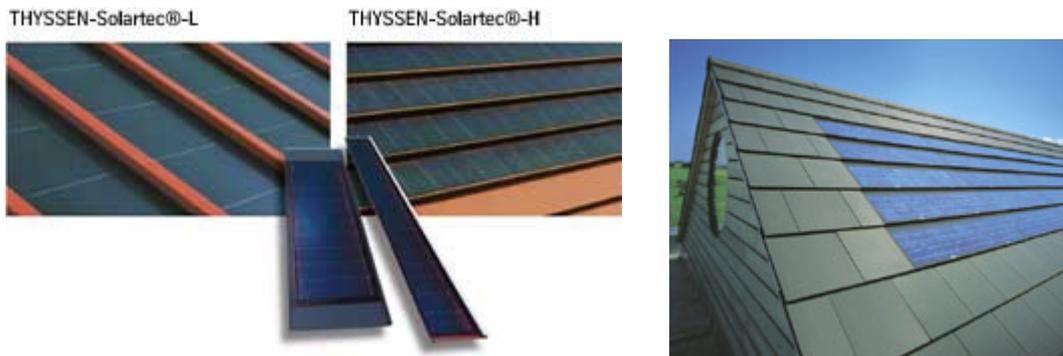


Abbildung 4-7 Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden.

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

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

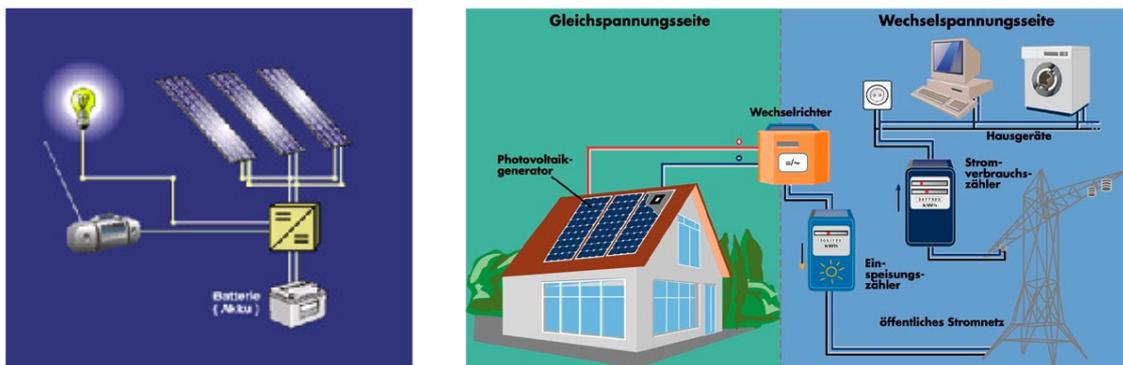


Abbildung 4-8 Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

Leistung und Ertrag

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung (kW_{Peak}) eine Dachfläche von rund 10 m^2 (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Der meiste Solarstrom wird erzeugt, wenn das Dach nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von 30° hat. Eine Ausrichtung der Fotovoltaikmodule nach Süd-West oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10 %. Das gleiche gilt für Dachneigung von 10° bzw. 60° :

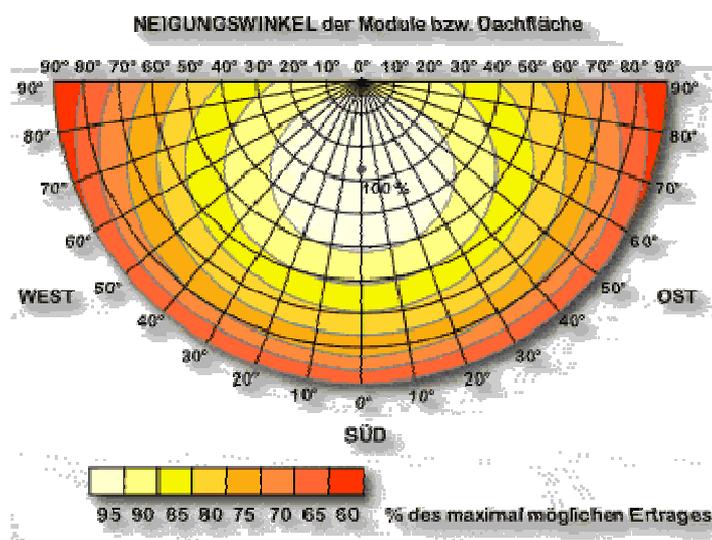


Abbildung 4-9 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators
(Quelle: CD Solarenergie)

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

Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

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

Einsatzmöglichkeit im Schulzentrum Simmern

Anhand des Lageplans und einer Luftbildaufnahme werden die geeigneten Dachflächen im Schulzentrum für die Installation von Fotovoltaikmodulen grob ermittelt.

Bis auf das strukturierte Dach der Grundschule sind die Dachflächen für die Installation von Fotovoltaikmodulen geeignet. Abhängig von der Dachgestaltung wie z. B. Dachform, Anordnung von Dachfenstern und verschiedene Höhen der Gebäudeteile verringert sich die Aufstellfläche der Module. Auch hier ist zu prüfen, ob die Gebäudestatik eine zusätzliche Dachlast in Form von Fotovoltaikmodulen erlaubt.

Auf ca. 24.000 m² Dachfläche des Schulzentrums ohne Grundschule können insgesamt etwa 8.400 m² Fotovoltaikmodule mit 840 kW_P installiert werden. Der zu erwartende Jahresertrag beträgt rund 683.000 kWh_{el}/a.

5 Zusammenfassung

Im Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ in Simmern sind manche Heizkessel erneuerungsbedürftig. Im Gegensatz zur Erneuerung dieser Erdgaskessel wurde eine gemeinsame Wärmeversorgung auf Basis des Brennstoffs Holz untersucht. Zur ökologischen und wirtschaftlichen Bewertung des Holznahwärmeverbunds wird diese der dezentralen Wärmeversorgung gegenübergestellt.

In einer Ist-Analyse wurde mit den zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten und Anlagendaten der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung abgeschätzt. Darauf basierte eine Energiebilanz zu den notwendigen Energie- und Brennstoffmengen für die dezentrale und zentrale Wärmeversorgung.

Mit energiespezifischen Werten wurden die Kohlendioxidemissionen ermittelt. Im Vergleich zu den derzeitigen CO₂-Emissionen spart eine Erneuerung der dezentralen Erdgaskessel und der Austausch der elektrischen Nachtspeicherheizungen gegen eine Warmwasserheizung etwa 13 % der CO₂-Emissionen ein, während ein Holznahwärmeverbund eine Einsparung in Höhe von ca. 60 % erreichen würde.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Durch den günstigen Brennstoffpreis für Holzhackschnitzel können die höheren Investitionskosten bzw. Kapitalkosten ausgeglichen werden, sodass sich auch ohne den Teilschulderlass für Biomassekessel und Nahwärmenetz niedrigere Jahreskosten als die dezentrale Wärmeversorgung ergeben. Während die dezentrale Wärmeversorgung einen Wärmepreis von 7,6 Ct/kWh_{th} inkl. MwSt. erreichen würde, würde für den Holznahwärmeverbund der Wärmepreis unter Einbeziehung von Fördermitteln 6,7 Ct/kWh_{th} inkl. MwSt. für die Heizhausvariante und 6,4 Ct/kWh_{th} inkl. MwSt. für die Containervariante betragen.

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

Als Alternative zu einem Holznahwärmeverbund wurde für den bestehenden Nahwärmeverbund des Herzog-Johann-Gymnasiums mit Sporthalle und der Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule mit Sporthalle der Einsatz eines erdgasbetriebenen Motor-BHKW in Verbindung mit dem vorhandenen Erdgaskessel betrachtet.

Trotz höherem Erdgasverbrauch reduzieren sich die CO₂-Emissionen für die Kombination aus Erdgaskessel und Erdgas-BHKW um 23 % durch die vermiedenen CO₂-Emissionen im Kraftwerkmix bei der Stromerzeugung.

Durch die Stromvergütung werden sowohl die Investitionskosten bzw. Kapitalkosten als auch die höheren Verbrauchskosten ausgeglichen, sodass sich für die Kombination aus Erdgaskessel und Erdgas-BHKW niedrigere Jahreskosten ergeben. In Bezug auf das gesamte Schulzentrum beträgt der Wärmepreis für die derzeitige Wärmeversorgung mit Erdgaskessel $7,6 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ während sich für die BHKW-Variante $6,2 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ ergeben.

Neben der Holz-Nahwärme und der BHKW-Variante wurde als weiterer Punkt die Einsatzmöglichkeit von Solarthermie und Fotovoltaik geprüft und der zu erwartende Ertrag ermittelt.

Für den Einsatz von thermischen Solaranlagen bieten sich im Schulzentrum Simmern nur die beiden Sporthallen des Herzog-Johann-Gymnasiums und der Regionalen Schule an, da auch in den Sommerferien Vereine die Sporthallen nutzen. Mit einer 20 m^2 großen Solarkollektoranlagen auf dem Flachdach der Sporthalle Gymnasium stellen sich rund $8.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$ als Solarertrag ein. Der Solarertrage einer 15 m^2 großen, thermischen Solaranlage auf dem Flachdach der Sporthalle Regionale Schule beträgt etwa $6.000 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{a}$. Es ist zu prüfen, ob die Statik der Sporthallen eine zusätzliche Dachlast zulässt.

Mit den Dachflächen im Schulzentrum, die zur Installation von Fotovoltaikmodulen geeignet sind, wurden die mögliche, umsetzbare Spitzenleistung und der Solarertrag überschlägig bestimmt. Bis auf das strukturierte Dach der Grundschule kann auf den übrigen Dachflächen unter Berücksichtigung der Statik im Hinblick auf die zusätzliche Dachlast eine Fotovoltaikanlage errichtet werden. Insgesamt könnte eine Spitzenleistung von ca. 840 kW_p mit einem Solarertrag von rund $683.000 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$ erreicht werden.

Fazit:

Unter den angesetzten Rahmenbedingungen liegen die Jahreskosten des Holznahwärmeverbands um ca. 10 bis 15 % und die BHKW-Variante um etwa 18 % niedriger zu den Jahreskosten der dezentralen Wärmeversorgung, sodass aus wirtschaftlicher Sicht sowohl die Umsetzung eines Holznahwärmeverbands als auch eines Erdgas-BHKW im Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ in Simmern möglich ist. Die Wärme wäre um ca. $1,3 \text{ Ct/kWh}_{\text{th}}$ günstiger als die Erneuerung der dezentralen Wärmeversorgung.

Aus ökologischer Sicht zeigt sich deutlich der Vorteil des CO_2 -neutralen Brennstoffs Holz gegenüber den fossilen Energieträgern. Auch die BHKW-Variante spart Kohlendioxid-Emissionen ein.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lageplan Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“ in Simmern	5
Abbildung 2-1 Lageplan mit Vorschlag Trassenführung Nahwärmenetz.....	30
Abbildung 2-2 Biomassekessel mit Schubbodenaustragung (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon).....	32
Abbildung 2-3 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.).....	33
Abbildung 2-4 Vergleich CO ₂ -Emissionen Schulzentrum	37
Abbildung 2-5 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentrale und zentrale Wärmeversorgung.....	43
Abbildung 2-6 Sensitivität dezentrale und zentrale Wärmeversorgung Schulzentrum „Auf dem Füllkasten“	45
Abbildung 3-1 Motor-BHKW (Quelle: Fa. Comuna Metall)	47
Abbildung 3-2 Vergleich CO ₂ -Emissionen bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen.....	50
Abbildung 3-3 Wirtschaftlichkeit bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen.....	54
Abbildung 4-1 Wirkungsgrad verschiedener Systeme (Quelle: Öko-Institut).....	56
Abbildung 4-2 Flachkollektor (Quelle: Solarserver)	57
Abbildung 4-3 Vakuumröhrenkollektor (Quelle: Solarserver)	57
Abbildung 4-4 Luftbild Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium und Sporthalle Regionale Schule	58
Abbildung 4-5 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS).....	59
Abbildung 4-6 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)	59
Abbildung 4-7 Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)	60
Abbildung 4-8 Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)	61
Abbildung 4-9 Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators	62

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1 Ist-Daten Berufsbildende Schule I	7
Tabelle 1-2 Abschätzung Wärmeleistung Berufsbildende Schule I	8
Tabelle 1-3 Ist-Daten Berufsbildende Schule II	9
Tabelle 1-4 Abschätzung Wärmeleistung Berufsbildende Schule II	9
Tabelle 1-5 Ist-Daten Berufsbildende Schule III	10
Tabelle 1-6 Ist-Daten kleiner Nahwärmeverbund Herzog-Johann-Gymnasium	12
Tabelle 1-7 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Herzog-Johann-Gymnasium	13
Tabelle 1-8 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Sporthalle Herzog-Johann-Gymnasium	14
Tabelle 1-9 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule	15
Tabelle 1-10 Abschätzung Wärmebedarf und Wärmeleistung Sporthalle Dr.-Kurt-Schöllhammer-Schule	16
Tabelle 1-11 Ist-Daten kleiner Nahwärmeverbund Regionale Schule	18
Tabelle 1-12 Abschätzung Wärmeleistung Regionale Schule	19
Tabelle 1-13 Ist-Daten Sporthalle Regionale Schule	20
Tabelle 1-14 Abschätzung Wärmeleistung Sporthalle Regionale Schule	20
Tabelle 1-15 Ist-Daten Kindergarten	21
Tabelle 1-16 Wärmebedarf und Wärmeleistung der Liegenschaften	22
Tabelle 2-1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung Berufsbildende Schule	23
Tabelle 2-2 Energiebilanz kleiner Nahwärmeverbund Gymnasium, Regionale Schule und dezentrale Wärmeversorgung Kindergarten	24
Tabelle 2-3 Energiebilanz Basisvariante	24
Tabelle 2-4 CO ₂ -Emissionsbilanz Ist-Zustand	25
Tabelle 2-5 CO ₂ -Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung	25
Tabelle 2-6 Investitionskosten dezentrale Wärmeversorgung	27
Tabelle 2-7 Wirtschaftlichkeit dezentrale Wärmeversorgung Berufsbildende Schule	28
Tabelle 2-8 Wirtschaftlichkeit kleiner Nahwärmeverbund Gymnasium, Regionale Schule und dezentrale Wärmeversorgung Kindergarten	28
Tabelle 2-9 Wirtschaftlichkeit Basisvariante	29
Tabelle 2-10 Wärmebedarf und Wärmeleistung Nahwärmeverbund	31
Tabelle 2-11 Vergleich Energiebilanz dezentrale und zentrale Wärmeversorgung Schulzentrum	35

Tabelle 2-12 Vergleich CO ₂ -Emissionsbilanz dezentrale und zentrale Wärmeversorgung Schulzentrum.....	36
Tabelle 2-13 Investitionskosten zentrale Wärmeversorgung mit Heizhaus	40
Tabelle 2-14 Investitionskosten zentrale Wärmeversorgung mit Containeranlage.....	41
Tabelle 2-15 Vergleich Wirtschaftlichkeit dezentrale und zentrale Wärmeversorgung	42
Tabelle 3-1 Energiebilanz bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen	48
Tabelle 3-2 Vergleich CO ₂ -Emissionen bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen.....	49
Tabelle 3-3 Investitionskosten bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen.....	52
Tabelle 3-4 Wirtschaftlichkeit bestehender Nahwärmeverbund Gymnasium, Grundschule und Sporthallen.....	53