Machbarkeitsstudie Holznahwärme Schulzentrum und Seniorenzentrum in Altenahr

Mit freundlicher Unterstützung des:

Rheinland-Pfalz
Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz

Auftraggeber	SGD Süd Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz, Abt. D
Datum	08.08.2006

Transferstelle Bingen · Berlinstr. 109 · 55411 Bingen · www.tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
Tel: 06721 / 409 229
Fax: 06721 / 409 129
wirtz@tsb-energie.de

Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Kriebs
Tel: 06721 / 409 296
Fax: 06721 / 409 184
kriebs@tsb-energie.de

im
Institut für Innovation, Transfer und Beratung GmbH · Berlinstraße 107a · 55411 Bingen am Rhein

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 3

1 Ist-Analyse 4

1.1 Schulzentrum Altenahr-Altenburg 5

1.2 Neubau Seniorenzentrum 7

1.3 Wärmebedarf der Liegenschaften 8

2 Dezentrale Wärmeversorgung 9

2.1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung 9

2.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung 10

2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentrale Wärmeversorgung 11

3 Zentrale Wärmeversorgung 14

3.1 Variante 1: Holzhackschnitzel-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel 16

3.2 Variante 2: Heizöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel 19

3.3 Variante 3: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel 20

3.4 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung 21

3.5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz zentrale Wärmeversorgung 22

3.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zentrale Wärmeversorgung 24

3.7 Sensitivitätsanalyse 33

4 Zusammenfassung 36

Einleitung

Im Schulzentrum von Altenahr-Altenburg besteht schon ein Nahwärmeverbund zwischen der Regionalen Schule, der Turnhalle und der Grundschule. Die beiden Heizölkessel in der Heizzentrale sind mit Baujahr 1982 kurz- bis mittelfristig zu erneuern.

Neben dem Schulzentrum plant ein privater Träger den Neubau eines Seniorenzentrums mit ca. 100 Betten. Aufgrund dessen besteht zwischen der Verbandsgemeindeverwaltung Altenahr und dem privaten Träger die Überlegung, die Liegenschaften über eine Heizzentrale mit Wärme zu versorgen.

Für die gemeinsame Wärmeversorgung werden folgende Varianten untersucht.

Variante 1: Holzhackschnitzel-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel

Variante 2: Heizöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Variante 3: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Um die Varianten bewerten zu können, werden diese dem vorhandenen, kleinen Nahwärmeverbund des Schulzentrums und einer dezentralen Kesselanlage im geplanten Seniorenzentrum gegenübergestellt. Dazu werden die Liegenschaften zu einer Variante, die als Basisvariante bezeichnet wird, zusammengefasst.

In einer Ist-Analyse wird anhand der Energieverbrauchsdaten und der Anlagendaten der Jahresgesamtwärmebedarf des Schulzentrums abgeschätzt. Für den geplanten Neubau des Seniorenzentrums wird der Jahresgesamtwärmebedarf mithilfe von Kennwerten überschlägig berechnet, da zum Zeitpunkt der Studie keine Jahresheizwärmebedarfsberechnung vorlag. Die in der Ist-Analyse ermittelten Werte dienen als Grundlage für die weiteren Berechnungen.

In einer Energiebilanz werden die Energie- und Brennstoffmengen für die Basisvariante und die Varianten zur zentralen Wärmeversorgung bestimmt. Darauf basiert eine Kohlenstoffdioxid-Emissionsbilanz zur ökologischen Bewertung der Varianten.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten berechnet. Daran schließt sich eine Sensitivitätsanalyse an, die Wirtschaftlichkeit der Varianten abhängig vom Brennstoffpreis darstellt.

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

1 Ist-Analyse

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlage für die Schulgebäude aus.

Mit gebäudetypischen Werten aus der Literatur zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung werden die vorliegenden Daten überprüft und für den geplanten Neubau des Seniorenzentrums der Jahresgesamtwärmebedarf überschlägig abgeschätzt, da zum Zeitpunkt der Studie keine Jahresheizwärmebedarfsberechnung vorlag. Zur Auslegung der gemeinsamen Wärmeversorgung werden die neu berechneten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

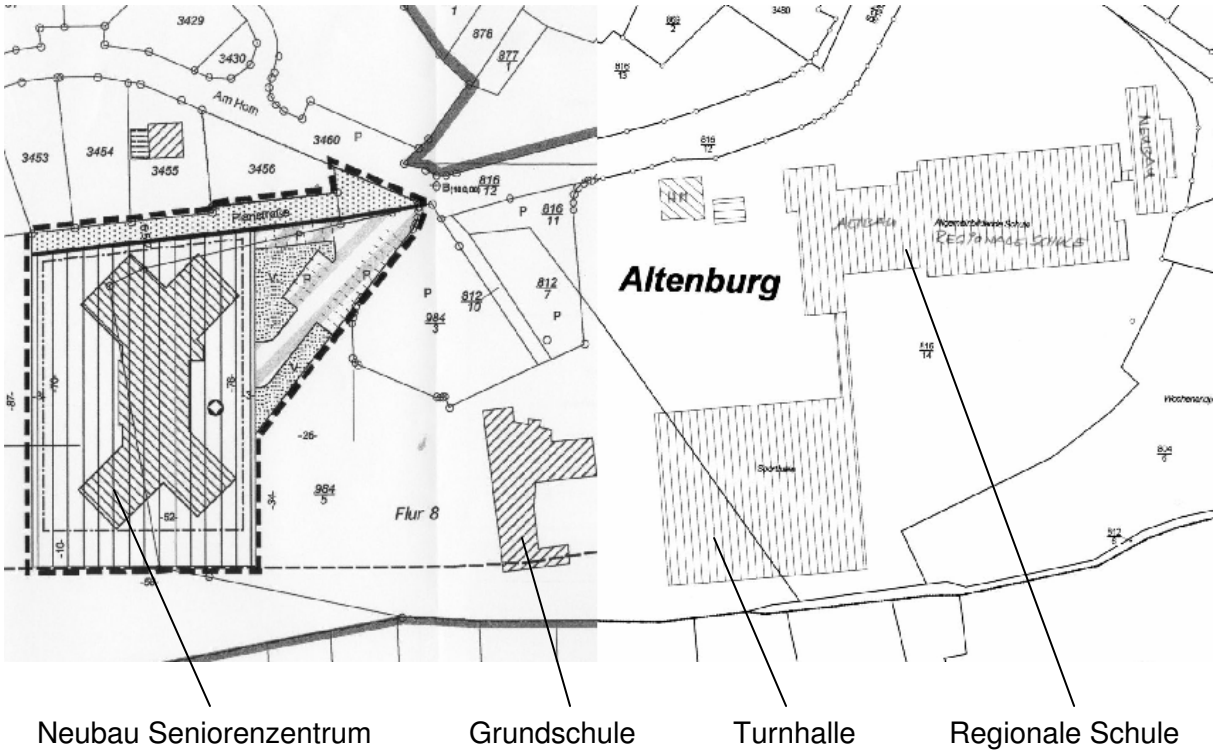

Abbildung 1-1 Lageplan Schulzentrum mit geplantem Seniorenzentrum im Altenahr-Altenburg

1.1 Schulzentrum Altenahr-Altenburg

Das Schulzentrum in Altenahr-Altenburg besteht aus der Regionalen Schule, der Turnhalle und der Grundschule.

Die Gebäude werden über eine Heizzentrale, die sich in der Regionalen Schule befindet, mit Wärme versorgt. Dort sind zwei heizölbefeuerte Niedertemperaturkessel installiert.

	Kessel links	Kessel recht
Fabrikat	Viessmann	Viessmann
Wärmeleistung	280 kW_{th}	581 kW_{th}
Baujahr	1982	1982
Abgasverluste 17.06.2004	9 %	10 %
Brenner		
Fabrikat	Weishaupt	Weishaupt
Bezeichnung		Monarch
Baujahr	1983	1973
Leistung	9 – 30 kg/h	15 – 78 kg/h

Die 24 Jahre alten Heizkessel sind kurz- bis mittelfristig zu erneuern. Sie haben ihre rechnerische Nutzungsdauer von 20 Jahren überschritten. Außerdem weisen die beiden Kessel hohe Abgasverluste auf.

Mit dem Heizölverbrauch wird der Jahresgesamtwärmebedarf des kleinen Nahwärmeverbunds überschlägig ermittelt.

Nahwärmeverbund Schulzentrum			
Heizölverbrauch, gemittelt 2002 - 2005	141.200	l/a	
Jahresnutzungsgrad	86	%	
Jahresgesamtwärmebedarf	1.214.000	kWh_{th}/a	
installierte Heizleistung	861	kW_{th}	
Vollbenutzungsstunden	1.410	h/a	
beheizte Fläche	6.689	m²	
spez. Heizenergiebedarf	211	$kWh_{Hu}/(m^2*a)$	
spez. Heizleistung	129	W_{th}/m^2	
gebäudetypische Werte für Schulen			
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	75 - 250	$kWh_{Hu}/(m^2*a)$	1
spez. Heizenergiebedarf (Mittel-, Modalwert)			
Grundschule	138	$kWh_{Hu}/(m^2*a)$	2
Hauptschule	150	$kWh_{Hu}/(m^2a)$	2
Grund- und Hauptschule	111	$kWh_{Hu}/(m^2a)$	2
Schule mit Turnhalle	78	$kWh_{Hu}/(m^2a)$	2
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
gebäudetypische Werte für Schulsporthallen			
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	33 - 358	$kWh_{Hu}/(m^2a)$	1
spez. Heizenergiebedarf (Mittel-, Modalwert)	143	$kWh_{Hu}/(m^2a)$	2
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 1-1 Ist-Daten Nahwärmeverbund Schulzentrum

Trotz der verhältnismäßig hohen, spezifischen Heizleistung und des hohen, spezifischen Heizenergiebedarfs ist die Kesselanlage mit 1.410 h/a Vollbenutzungsstunden bedarfsgerecht ausgelegt. Der hohe spezifische Heizenergiebedarf ist hauptsächlich auf den Wärmedämmstandard zur Zeit der Errichtung zurückzuführen. Dies deutet auch auf ein entsprechendes Einsparpotenzial bei der Gebäudedämmung bzw. der Heizungsregelung hin.

Für die weiteren Berechnungen wird ebenfalls eine Wärmeleistung von etwa 850 kW_{th} zu Grunde gelegt.

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

[2] ages GmbH, Verbrauchskennwerte 1996, Energie- und Wasserverbrauchskennwerte von Gebäuden in der Bundesrepublik Deutschland, 1997, Münster

1.2 Neubau Seniorenzentrum

Ein privater Träger plant, ein Seniorenzentrum neben das Schulzentrum in Altenahr-Altenburg zu errichten. Es sind rund 108 Betten und eine Nutzfläche von 7.200 m² geplant.

Da zum Zeitpunkt der Studie keine Berechnungen zum Jahresheizwärmebedarf und zur Heizlast vorlagen, werden der Jahresgesamtwärmebedarf und die Wärmeleistung nach Kennwerten aus der Literatur und nach den einzuhaltenden Vorgaben der Energieeinsparverordnung (EnEV) abgeschätzt. Der Niedrigenergiehaus-Standard (NEH-Standard) wird in der EnEV gefordert.

Neubau Seniorenzentrum			
Bettenzahl	108		
Nutzfläche	7.200	m²	
gebäudetypische Werte Gebäudebestand			
spez. Heizenergiebedarf Raumheizung	90 - 300	$kWh_{Hu}/(m^2*a)$	[1]
spez. Heizenergiebedarf Warmwasserbereitung	30	$kWh_{Hu}/(m^2*a)$	[2]
spez. Wärmeleistung Raumheizung	40 - 110	W_{th}/m^2	[1]
spez. Wärmeleistung Warmwasserbereitung	bis 15	W_{th}/m^2	[1]
Vollbenutzungsstunden Heizung	2.200 – 2.500	h/a	[1]
Kennwerte in Anlehnung an EnEV			
spez. Jahresheizwärmebedarf NEH	30 - 70	$kWh_{th}/(m^2*a)$	
Abschätzung			
Annahme spez. Jahresheizwärmebedarf	70	$kWh_{th}/(m^2*a)$	[2]
Annahme spez. Nutz-Wärmebedarf WWB	30	$kWh_{th}/(m^2*a)$	[2]
Annahme spez. Wärmeleistung Raumheizung	50	W_{th}/m^2	[2]
Annahme spez. Wärmeleistung Warmwasserbereitung	10	W_{th}/m^2	[2]
abgeschätzter Jahresheizwärmebedarf	504.000	kWh_{th}/a	
abgeschätzter Nutz-Wärmebedarf WWB	216.000	kWh_{th}/a	
abgeschätzter Jahresgesamtwärmebedarf	720.000	kWh_{th}/a	
abgeschätzte Wärmeleistung Raumheizung	360	kW_{th}	
abgeschätzte Wärmeleistung Warmwasserbereitung	72	kW_{th}	
abgeschätzte Wärmeleistung	432	kW_{th}	
Vollbenutzungsstunden	1.667	h/a	

Tabelle 1-2 Abschätzung Jahreswärmebedarf Neubau Seniorenzentrum

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

[2] Annahme TSB

In den weiteren Berechnungen werden ein abgeschätzter Jahresgesamtwärmebedarf in Höhe von 720.000 kWh_{th}/a und eine abgeschätzte Wärmeleistung von 432 kW_{th} angesetzt.

Durch den in der Energieeinsparverordnung geforderten Niedrigenergiehaus-Standard wird der Jahresgesamtwärmebedarf eines neu gebauten Seniorenzentrums deutlich niedriger sein als Seniorenheime im Bestand. Daraus resultieren auch die geringeren Vollbenutzungsstunden.

1.3 Wärmebedarf der Liegenschaften

Die Ist-Analyse überprüfte mit gebäudespezifischen Werten zum Wärmebedarf und zur Wärmeleistung die installierte Heizleistung in der Heizzentrale des Schulzentrums. Für das geplante Seniorenzentrum wurde der Wärmebedarf abgeschätzt. Zur Auslegung der Heizzentrale für eine gemeinsame Wärmeversorgung werden die ermittelten Daten herangezogen, um eine Überdimensionierung zu vermeiden.

In der folgenden Tabelle sind die Daten zum Wärmebedarf der Liegenschaften zusammengefasst. Für das Schulzentrum sind die abgeschätzten Nahwärmeverluste abgezogen.

Liegenschaft	Jahreswärmebedarf	Wärmeleistung	Vollbenutzungsstunden
Schulzentrum	1.180.700 kWh_{th}/a	850 kW_{th}	1.389 h/a
Seniorenzentrum	720.000 kWh_{th}/a	432 kW_{th}	1.667 h/a

Tabelle 1-3 Wärmebedarf und Wärmeleistung der Liegenschaften

2 Dezentrale Wärmeversorgung

Damit die gemeinsame Wärmeversorgung des Schulzentrums und des geplanten Seniorenzentrums bewertet werden kann, werden die derzeitige Wärmeversorgung des Schulzentrums und eine Heizkesselanlage im geplanten Seniorenzentrum als dezentrale Wärmeversorgung zu einer Basisvariante zusammengefasst.

Die Auslegung der neuen Kesselanlagen erfolgt mit den in der Ist-Analyse ermittelten Werten.

Während im vorhandenen Nahwärmeverbund des Schulzentrums Niedertemperaturkessel zum Einsatz kommen, bietet sich für das geplante Seniorenzentrum nach der EnEV im Niedrigenergiehaus-Standard ein Brennwertkessel an. Der durch ein Heizsystem mit niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen den Brennstoff effizienter nutzt als ein Niedertemperaturkessel.

Die Kohlendioxid-Emissionsbilanz wird sowohl für die vorhandene Heizanlage im Schulzentrum als auch für die Erneuerung der Heizanlage jeweils in Verbindung mit einem neuen Heizkessel im Seniorenzentrum erstellt.

Für die Erneuerung der Heizkessel im Schulzentrum und ein neuer Heizkessel im Seniorenzentrum wird eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt.

2.1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung

In der Energiebilanz sind die umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen für die dezentrale Wärmeversorgung des Schulzentrums und des geplanten Seniorenzentrums aufgeführt. Für die Gegenüberstellung zur gemeinsamen Wärmeversorgung werden alle Daten zu einer Basisvariante zusammengefasst.

		Schulzentrum Nahwärmeverbund NT-Kessel Heizöl	**Neubau Seniorenzentrum** BW-Kessel Heizöl	**Basisvariante** NT- und BW-Kessel Heizöl
Jahreswärmebedarf inkl. Nahwärmeverluste	kWh_{th}/a kWh_{th}/a	1.180.700 1.214.000	720.000	1.900.700 1.934.000
Wärmeleistung	kW_{th}	854	430	1.284
Wärmeleistung Heizkessel	kW_{th}	865	430	1.295
Jahresnutzungsgrad	%	90	93	
Heizölbedarf	l/a	134.889	77.419	212.308

Tabelle 2-1 Energiebilanz dezentrale Wärmeversorgung

2.2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung

Eine ökologische Bewertung der Wärmeversorgung erfolgt mithilfe einer Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Zunächst wird der Ist-Zustand mit dem derzeitigen Energieverbrauch des Schulzentrums und des abgeschätzten Energieverbrauchs für das geplante Seniorenzentrum dargestellt. Durch die Erneuerung der Heizkessel ergeben sich niedrigere Emissionen.

Die spezifische CO_2-Emission[1] für Heizöl beträgt 317,7 g CO_2/kWh_{Hu} und für Strom 682,6 g CO_2/kWh_{Hu}.

Ist-Zustand		**Schulzentrum Nahwärme-verbund** NT-Kessel Heizöl	**Neubau Senioren-zentrum** BW-Kessel Heizöl	**Basis-variante** NT- und BW-Kessel Heizöl
Heizölbedarf	kWh_{Hu}/a	1.412.000	774.194	2.186.194
Hilfsenergiebedarf	kWh_{el}/a	18.210	7.200	25.410
CO_2-Emissionen	t CO_2/a	461	251	712

Tabelle 2-2 Kohlendioxid-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung – Ist-Zustand

Erneuerung		**Schulzentrum Nahwärme-verbund** NT-Kessel Heizöl	**Neubau Senioren-zentrum** BW-Kessel Heizöl	**Basis-variante** NT- und BW-Kessel Heizöl
Heizölbedarf	kWh_{Hu}/a	1.348.889	774.194	2.123.082
Hilfsenergiebedarf	kWh_{el}/a	18.210	7.200	25.410
CO_2-Emissionen	t CO_2/a	441	251	692

Tabelle 2-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz dezentrale Wärmeversorgung – Erneuerung

Eine Erneuerung der Heizkesselanlage im Schulzentrum führt gegenüber der bestehenden Kesselanlage zu etwa 4 % Einsparung an CO_2-Emissionen.

[1] Umweltbundesamt: Ergebnisse aus GEMIS 4.14, September 2002

2.3 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dezentrale Wärmeversorgung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berechnet für die Erneuerung der Heizanlage im Schulzentrum und einen Heizkessel im geplanten Seniorenzentrum 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 Kommune	4 %
Zinssatz Privat	5 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Heizöltank	30 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

spez. Heizölpreis	60 Ct/l inkl. MwSt.
durchschnittlicher Strompreis	16 Ct/kWh$_{el}$ inkl. MwSt.

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizkessel)
Personalkosten	35 €/h inkl. MwSt.
Emissionsüberwachung Heizölkessel	90 €/a inkl. MwSt.
sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung, Steuern, allgemeine Abgaben)	0,5 % der Gesamtinvestition

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.
Es werden für den Neubau des Seniorenzentrums nur die für die Wärmeerzeugung relevanten Investitionskosten berücksichtigt. Die Investitionskosten für die Wärmeverteilung, die Heizfläche, den Trinkwarmwasserspeicher usw. sind unabhängig von der Wärmeerzeugung in jedem Fall aufzuwenden.

		Schulzentrum	Neubau Seniorenzentrum
Wärmeleistung Heizkessel	kW_{th}	295 + 570	430
Demontage			
Demontage Heizkessel	€	5.000	
Maschinentechnik			
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€	110.800	
Heizöl-Brennwertkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	€		60.700
Heizöltank			
Erdverlegter Heizöltank	€		15.500
Bautechnik			
Raumbedarf Kessel im Heizraum, Schornstein und Tiefbau Heizöltank	€		23.900
Planung, Unvorhergesehenes			
Planung, Unvorhergesehenes	€	17.400	15.000
Gesamtinvestition	**€**	**133.200**	**115.100**

Tabelle 2-4 Investition dezentrale Wärmeversorgung

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

		Schulzentrum Nahwärme-verbund NT-Kessel Heizöl	**Neubau Senioren-zentrum** BW-Kessel Heizöl	**Basis-variante** NT- und BW-Kessel Heizöl
Wärmeleistung	kW_{th}	865	430	1.295
Investitionskosten	**€**	**133.200**	**115.100**	**248.300**
Kapitalkosten	€/a	10.168	8.633	18.801
Verbrauchskosten	€/a	83.847	47.604	131.451
Betriebskosten	€/a	3.821	2.469	6.290
Jahreskosten	**€/a**	**97.836**	**58.706**	**156.542**
Jahresgesamtwärmebedarf	kWh_{th}/a	1.180.700	720.000	1.900.700
Wärmepreis	Ct/kWh_{th}	8,3	8,2	8,2

Tabelle 2-5 Wirtschaftlichkeit dezentrale Wärmeversorgung

3 Zentrale Wärmeversorgung

Zur zentralen Wärmeversorgung des Schulzentrums und des geplanten Seniorenzentrums in Altenahr-Altenburg werden verschiedene Varianten untersucht.

Variante 1: Holzhackschnitzel-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel

Variante 2: Heizöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Variante 3: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Unabhängig von den Varianten wird im ersten Schritt 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. Für alle Varianten ist eine neue Heizzentrale notwendig, die als günstiger Standort zwischen dem Schulzentrum und dem geplanten Seniorenzentrum zu errichten ist.

Die Technik und Vorschläge zur möglichen Umsetzung der Wärmeversorgungsvarianten werden kurz erläutert.

Anschließend wird eine Energiebilanz aufgestellt, die die Grundlage der Kohlendioxidemissionsbilanz und der Wirtschaftlichkeit ist. Zur Beurteilung der Varianten zur gemeinsamen Wärmeversorgung werden die entsprechenden Werte auch für die Basisvariante der dezentralen Wärmeversorgung mit aufgeführt.

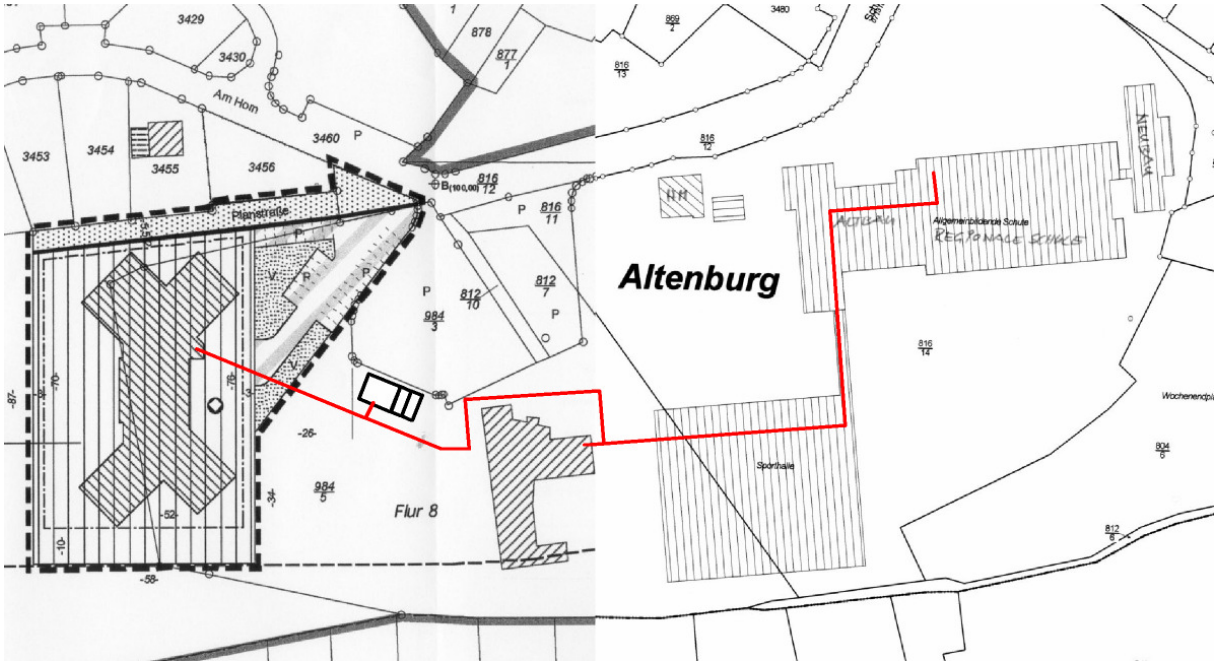

Abbildung 3-1 Lageplan mit Vorschlag Trassenführung Nahwärmenetz

Da die Dimension der vorhandenen Nahwärmeleitungen zwischen Grundschule und Turnhalle nicht für die Wärmelieferung von der Heizzentrale zur Regionalen Schule ausreicht, wird angenommen, dass die vorhandenen Nahwärmeleitungen erneuert werden.

	Wärmebedarf kWh_{th}/a	**Wärmeleistung** kW_{th}
Schulzentrum	1.180.700	850
Neubau Seniorenzentrum	720.000	430
Summe	1.900.700	1.280
Nahwärmeverluste	70.900	8
Summe	1.971.600	1.288
gleichzeitige Spitzenleistung		1.288

Tabelle 3-1 Wärmebedarf und Wärmeleistung Nahwärmeverbund

Um den gesamten Wärmebedarf im Nahwärmeverbund abdecken zu können, sind von der Heizzentrale insgesamt rund 1.300 kW_{th} als Wärmeleistung bereitzustellen.

3.1 Variante 1: Holzhackschnitzel-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel

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

Das Lager der Holzhackschnitzel wird nach dem gewählten Austragungssystems, 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.

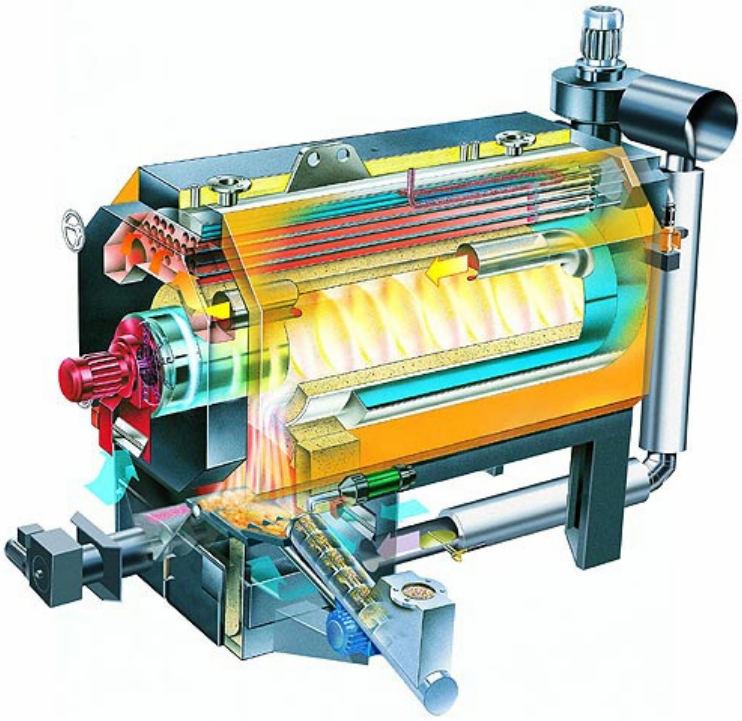

Abbildung 3-2 Biomassekessel (Quelle: Köb & Schäfer GmbH)

Abbildung 3-3 Holzhackschnitzelcontainer
(Quelle: Mawera Holzfeuerungsanlagen Gesellschaft mbH)

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 den Rost geführt werden, getrocknet wird.

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 heizölbefeuerter 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 Sm^3 angeliefert werden.

Als Standort der Heizzentrale mit dem Holzhackschnitzelkessel bietet sich die Fläche zwischen der Grundschule und dem geplanten Seniorenzentrum an. Neben dem Heizhaus können zwei Holzhackschnitzel-Wechselcontainer installiert werden. Zum Nachfüllen kann ein dritter Wechselcontainer eingesetzt werden, sodass immer ein Container zur Brennstoffversorgung gefüllt ist und neben dem Heizhaus steht. Die Zufahrt zum Austauschen der Brennstoff-Wechselcontainer ist über die Schulstraße möglich.
Im Heizhaus werden der Biomassekessel, die heizölbefeuerten Spitzenlastkessel, der Pufferspeicher und die übrige Technik installiert. Zur Heizöllagerung bietet sich ein erdverlegter Heizöltank an.

Die erforderliche Wärmeleistung der Heizzentrale wird wie folgt aufgeteilt.

Holzhackschnitzelkessel: ca. 400 kW_{th}

Heizölkessel: ca. 2 x 450 kW_{th}

Dazu werden zwei Pufferspeicher mit jeweils rund 7.500 l Volumen kombiniert.

3.2 Variante 2: Heizöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

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/oder 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.

Abbildung 3-4 Motor-BHKW (Quelle: Giese Energie- und Regeltechnik GmbH)

Auch für das Heizöl-BHKW und die Heizöl-Spitzenlastkessel ist die Errichtung eines Heizhauses erforderlich. Zur Heizöllagerung bietet sich ein erdverlegter Heizöltank an.

Die notwendige Wärmeleistung der Heizzentrale wird wie folgt aufgeteilt.

Heizöl-BHKW: ca. 70 kW_{th} (45 kW_{el})

Heizölkessel: ca. 2 x 660 kW_{th}

Zum Heizöl-BHKW wird ein Pufferspeicher mit rund 3.500 l Volumen kombiniert.

3.3 Variante 3: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Auch Pflanzenöl kann wie Heizöl als Brennstoff in einem pflanzenöltauglichen BHKW mit Hubkolbenverbrennungsmotoren eingesetzt werden.

Das Pflanzenöl stammt von direkt in der Landwirtschaft erzeugte Ölfrüchte, die durch mechanisches Abpressen ohne zusätzliche, chemische Zwischenschritte in Öle und Ölkuchen getrennt werden. Es enthält somit keine Verunreinigungen durch Schwefel und Schwermetalle wie mineralische Öle. Toxizität, Wassergefährdung und Feuergefährlichkeit ist bei reinen Pflanzenölen nicht gegeben. Das Problem der sehr hohen und auch noch temperaturabhängig wechselnden Viskosität ist mittlerweile in allen ihren motortechnischen Auswirkungen beherrschbar.

Da Pflanzenöl bei tiefen Temperaturen zähflüssig wird, sollte die Brennstofflagerung frostsicher erfolgen. Das Pflanzenöl unterliegt stärker als mineralische Öle mit Additiven Alterungsvorgängen. Um die Alterung nicht zu beschleunigen, sind Brennstofftank und Brennstoffleitungen nur aus Stahl oder aus Edelstahl einzusetzen.

Ein Pflanzenöl-BHKW unterscheidet sich in Auslegung und Betrieb nicht von einem Heizöl-BHKW.

Durch den Einsatz von Pflanzenöl als regenerativer Energieträger wird der Strom bei Einspeisung ins öffentliche Stromnetz nicht nach dem KWK-Gesetz sondern nach dem EEG (Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004) durch eine Einspeisevergütung vergütet. Die Einspeisevergütung ist nach dem EEG deutlich höher, was in der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt wird.

Auch für das Rapsöl-BHKW und die Heizöl-Spitzenlastkessel ist die Errichtung eines Heizhauses erforderlich. Zur Heizöllagerung bietet sich ein erdverlegter Heizöltank an, während der Rapsöltank mit Isolierung im Freien aufgestellt werden kann.

Die notwendige Wärmeleistung der Heizzentrale wird wie folgt aufgeteilt.

Rapsöl-BHKW: ca. 70 kW_{th} (45 kW_{el})

Heizölkessel: ca. 2 x 660 kW_{th}

Zum Rapsöl-BHKW wird ein Pufferspeicher mit rund 3.500 l Volumen kombiniert.

3.4 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung

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

		Basis-variante NT- und BW-Kessel Heizöl	**Variante 1** NT-Kessel HHS + Heizöl	**Variante 2** BHKW + NT-Kessel Heizöl	**Variante 3** BHKW + NT-Kessel Rapsöl + Heizöl
Jahreswärmebedarf[1]	kWh_{th}/a	1.934.000	1.971.600	1.971.600	1.971.600
Wärmeleistung	kW_{th}	1.284	1.289	1.289	1.289
Nennwärmeleistung					
Heizöl-Kessel	kW_{th}	1.295	910	1.320	1.320
HHS-Kessel	kW_{th}		400		
Heizöl-BHKW	kW_{th}			70	
Rapsöl-BHKW	kW_{th}				70
Summe	kW_{th}	1.295	1.310	1.390	1.390
Wärmeerzeugung					
Heizöl-Kessel	kWh_{th}/a	1.934.000	394.300	1.481.600	1481.600
HHS-Kessel	kWh_{th}/a		1.577.300		
Heizöl-BHKW	kWh_{th}/a			490.000	490.000
Rapsöl-BHKW	kWh_{th}/a				
Summe	kWh_{th}/a	1.934.000	1.971.600	1.971.600	1.971.600
Heizölbedarf Kessel	l/a	212.308	43.811	164.622	164.622
HHS-Bedarf	Sm^3/a		2.465		
Heizölbedarf BHKW	l/a			100.000	
Rapsölbedarf BHKW	l/a				89.463
elektrische Leistung					
Heizöl-BHKW	kW_el			45	
Rapsöl-BHKW	kW_{el}				45
Stromerzeugung	kWh_{el}/a			315.000	315.000

Tabelle 3-2 Energiebilanz zentrale Wärmeversorgung

Die Bevorratung von Holzhackschnitzel in zwei Wechselcontainern in der Heizzentrale reicht für einen sechstägigen Volllastbetrieb des Biomassekessels aus.

[1] Im Nahwärmeverbund inklusive Nahwärmeverluste

3.5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz zentrale Wärmeversorgung

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

Unter Anrechnung der CO_2-Neutralität der Biomasse Holz und unter der Berücksichtigung der zur Herstellung sowie Transport der Holzhackschnitzel benötigten Energie ergibt sich für Holzhackschnitzel eine spezifische CO_2-Emission von 58,4 g $CO_2/kWh_{BS.}$ Die spezifische CO_2-Emission für Heizöl beträgt 317,7 g CO_2/kWh_{Hu}, für Rapsöl 222,8 g CO_2/kWh_{Hu} und für Strom 682,6 g CO_2/kWh_{el}.

		Basis-variante NT- und BW-Kessel Heizöl	**Variante 1** NT-Kessel HHS + Heizöl	**Variante 2** BHKW + NT-Kessel Heizöl	**Variante 3** BHKW + NT-Kessel Rapsöl + Heizöl
Heizölbedarf Kessel	kWh_{Hu}/a	2.123.082	438.111	1.646.222	1.646.222
HHS-Bedarf	kWh_{Hu}/a		1.971.625		
Heizölbedarf BHKW	kWh_{Hu}/a			1.000.000	
Rapsölbedarf BHKW	kWh_{Hu}/a				859.649
Hilfsenergiebedarf	kWh_{el}/a	25.410	49.290	33.517	33.517
Stromerzeugung BHKW	kWh_{el}/a			315.000	315.000
CO_2-Emissionen	t CO_2/a	692	288	649	522

Tabelle 3-3 Kohlendioxid-Emissionsbilanz zentrale Wärmeversorgung

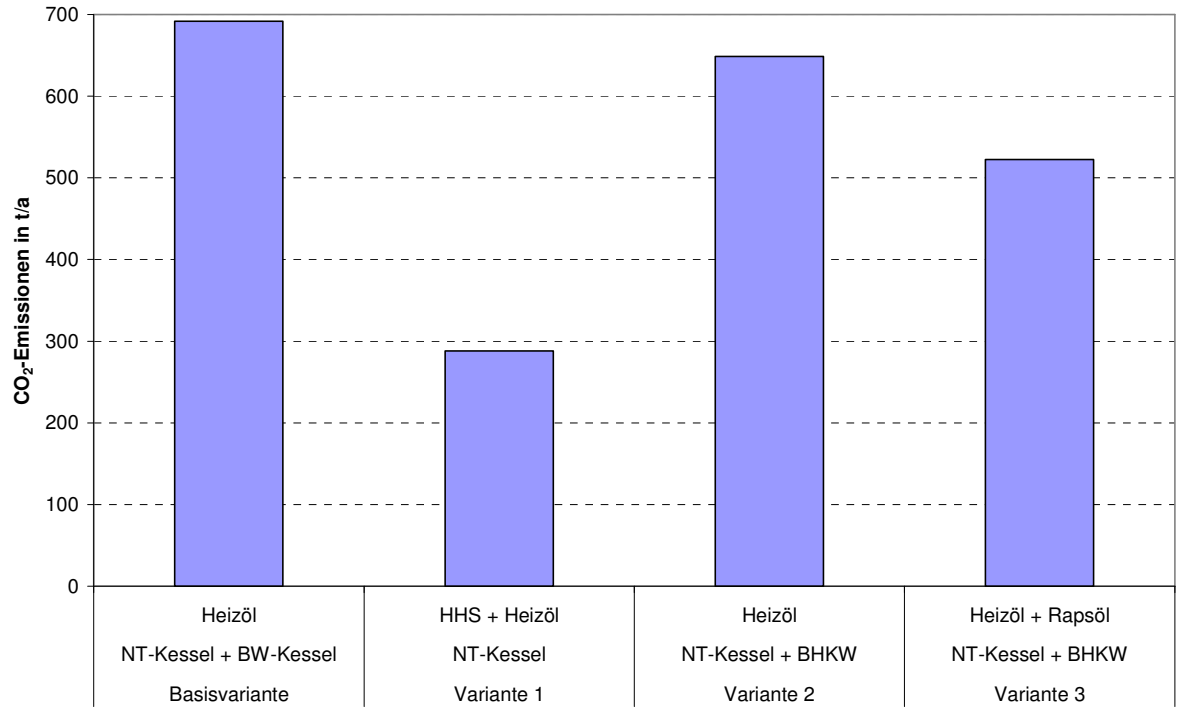

Abbildung 3-5 Kohlendioxid-Emissionsbilanz zentrale Wärmeversorgung

Im Vergleich zu den derzeitigen Kohlendioxidemissionen des Schulzentrums mit den Kohlendioxidemissionen einer Kesselanlage im geplanten Seniorenzentrum spart ein Holz-Nahwärmeverbund etwa 60 % ein. Eine gemeinsame Wärmeversorgung mit einem Heizöl-BHKW und Heizöl-Spitzenlastkessel würde die CO_2-Emissionen um ca. 9 % reduzieren, während eine zentrale Wärmeversorgung mit Rapsöl-BHKW und Heizöl-Spitzenlastkessel eine Einsparung in Höhe von rund 27 % erreichen würde.

3.6 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. Als Erlös wird die Vergütung der mit den BHKW erzeugten Strommenge berücksichtigt.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 17. Juni 2005“ 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 27.07.2006) 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 4,33 % effektivem Zinssatz.

Allerdings besteht seit Januar 2006 ein vorläufiger Antragsstop, sodass bisher nur noch die Anträge, die bis zum 31.12.2005 eingegangen sind, noch berücksichtigt wurden. Die KfW Förderbank gibt auf ihrer Internetseite bekannt, wann wieder Fördermittel zur Verfügung stehen.
Da der Bundeshaushalt in diesem Jahr vermutlich erst im Juli oder August in Kraft tritt, kann die Bundesregierung erst dann das Förderprogramm wieder bzw. zu geänderten Bedingungen öffnen. Damit Investoren trotzdem mit der Umsetzung beginnen zu können, um die Zeitplanung einzuhalten, bietet die KfW-Bank eine befristete Ausnahme hinsichtlich einer fristgemäßen Antragstellung an.
Nach der Programmrichtlinie des Marktanreizprogramms darf erst nach der Antragstellung mit dem Vorhaben begonnen werden, was als Abschluss eines Lieferungs- und Leistungsvertrags definiert wird. Aufgrund der derzeitigen Situation kann zunächst bei der Hausbank ein formloser Antrag auf Förderung hinsichtlich des beantragten Kredits gestellt werden. Danach kann das geplante Vorhaben begonnen werden. Nachdem der Bundeshaushalt dann in Kraft getreten ist, sind die vollständigen Kreditunterlagen innerhalb der ersten 4 Wochen nach In-Kraft-Treten an die KfW-Bank weiterzuleiten. Für Anträge, die erst nach 4 Wochen bei der KfW-Bank eingehen, gelten die Regelung zur fristgemäßen Antragstellung nach der Programmrichtlinie des Marktanreizprogramms. Die KfW-Bank gibt auf ihrer Internetseite bekannt, wann wieder Fördermittel zur Verfügung stehen.

Alle neu zu verlegenden Nahwärmeleitungen sind in Bezug auf den Mindestwärmeabsatz förderfähig.

Aufgrund des vorläufigen Antragsstops wird die Wirtschaftlichkeit für den Holz-Nahwärmeverbund ohne und mit Fördermittel berechnet.

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz Kommune	4 %
Zinssatz KfW-Kredit	4 %
Abschreibungsdauer Demontage	15 Jahre
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Heizöltank, Rapsöltank	30 Jahre
Abschreibungsdauer HHS-Wechselcontainer	10 Jahre
Abschreibungsdauer Bautechnik	50 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmenetz	25 Jahre
Abschreibungsdauer Wärmeübergabestation	30 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

spez. Heizölpreis	60 Ct/l inkl. MwSt.
spez. HHS-Preis	19 €/Sm³ inkl. 7 % MwSt.
spez. Rapsölpreis	72 Ct/l inkl. 7 % MwSt.
durchschnittlicher Strompreis	16 Ct/kWh$_{el}$ inkl. MwSt.

Bis zum 31.12.2007 bleibt Pflanzenöl von der Energiesteuer befreit. Ab 2008 wird bis 2012 die Energiesteuer auf Pflanzenöl von 10 auf 45 Ct/l schrittweise angehoben.
Da nach dem Energiesteuergesetz KWK-Anlagen mit einer Gesamteffizienz von über 70 % vollständig von der Energiesteuer (früher Mineralölsteuer) befreit sind, wird in der Berechnung der Nettopreis für Rapsöl ohne die Steuer angesetzt. Deswegen wird die Rückerstattung der Steuer für die Rapsölvariante nicht separat ausgewiesen.

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung / Instandhaltung Heizkessel	2 % der Investition (Heizkessel)
Wartung / Instandhaltung Heizöl-BHKW	2,55 Ct/kWh$_{el}$ inkl. MwSt.
Wartung / Instandhaltung Rapsöl-BHKW	3,48 Ct/kWh$_{el}$ inkl. MwSt.
Personalkosten	35 €/h inkl. MwSt.
Emissionsüberwachung Heizölkessel	90 €/a inkl. MwSt.
Emissionsüberwachung HHS-Kessel	120 €/a inkl. MwSt.
Ascheentsorgung	150 €/t inkl. MwSt.
sonstige Kosten (Verwaltung, Versicherung, Steuern, allgemeine Abgaben)	0,5 % der Gesamtinvestition

Bestimmung Rückerstattung Energiesteuer Heizöl-BHKW

Nach dem Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006, das zum 1. August 2006 in Kraft getreten ist, ist Heizöl energiesteuerbefreit, wenn Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung einen Monatsnutzungsgrad oder einen Jahresnutzungsgrad von mindestens 70 % aufweisen. Dies wurde aus dem außer Kraft getretenen Mineralölsteuergesetz übernommen.

Energiesteuer Heizöl	6,135 Ct/l

Bestimmung Erlöse Stromerzeugung Heizöl-BHKW

Es wird angenommen, dass der gesamte erzeugte Strom des Heizöl-BHKW in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird.

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 der durchschnittliche Preis aus den letzten vier Quartalen von III 2005 bis II 2006 angesetzt.

Einspeisevergütung EVU[1]	5,194 Ct/kWh_{el}
Einsparung durch vermiedene Netznutzung	0,500 Ct/kWh_{el}
Zuschlag nach KWK-Gesetz	5,110 Ct/kWh_{el}
Gesamteinspeisevergütung	10,804 Ct/kWh_{el}

Bestimmung Erlöse Stromerzeugung Rapsöl-BHKW

Auch hier wird angenommen, dass der gesamte erzeugte Strom des Rapsöl-BHKW in das öffentliche Stromnetz eingespeist wird.

Nach dem „Gesetz zur Neuregelung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004“ (EEG) erhalten stromerzeugende Anlagen, in denen Biomasse eingesetzt wird, eine Einspeisevergütung. Die Mindesteinspeisevergütung ist nach der elektrischen Leistung gestaffelt. Für ein Pflanzenöl-BHKW gibt es einen Aufschlag für nachwachsende Rohstoffe und für Kraft-Wärme-Kopplung. Die Mindesteinspeisevergütung hängt vom Inbetriebnahmejahr ab. Hier wird 2007 als Zeitpunkt der Inbetriebnahme gewählt.

Einspeisevergütung nach EEG	18,99 Ct/kWh_{el}

[1] EEX: Durchschnittspreis Baseload-Strom 1. Quartal 2006

Die abgeschätzten Investitionskosten sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

Variante 1: HHS-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel		
Nennwärmeleistung Heizöl-Kessel Nennwärmeleistung HHS-Kessel	910 400	kW_{th} kW_{th}
Demontage		
Demontage Heizkessel	5.000	€
Demontage vorhandene Nahwärmeleitungen	900	€
Demontage unterirdische Heizöltanks	7.000	€
Maschinentechnik		
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	113.200	€
HHS-Kessel mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	159.200	€
Öltanklager		
Heizöltankanlage	31.400	€
HHS-Lager		
3 Wechselcontainer mit Schubbodenaustragung und Hydraulik	42.100	€
Bautechnik		
Heizhaus	73.100	€
Tiefbau unterirdischer Heizöltank	12.500	€
Fundament Brennstofflager, Zufahrt und Außenanlage Heizzentrale	26.700	€
Nahwärmenetz		
Nahwärmenetz inkl. Erdarbeiten, Verlegung und Wiederherstellung der Oberfläche	129.800	€
Wärmeübergabestation		
Indirekte Hausübergabestation mit Zubehör inkl. Montage	33.200	€
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes	95.100	€
Gesamtinvestition	**729.200**	**€**
Teilschulderlass Biomassekessel	24.000	€
Teilschulderlass Nahwärmenetz	39.500	€
Gesamtinvestition inkl. Förderung	**665.700**	**€**

Tabelle 3-4 Investitionskosten Variante 1 zentrale Wärmeversorgung

Variante 2: Heizöl-BHKW +Heizöl-NT-Kessel	
Nennwärmeleistung Heizöl-Kessel Nennwärmeleistung Heizöl-BHKW	1.320 kW_{th} 70 kW_{th}
Demontage	
Demontage Heizkessel	5.000 €
Demontage vorhandene Nahwärmeleitungen	900 €
Demontage unterirdische Heizöltanks	7.000 €
Maschinentechnik	
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	144.500 €
Heizöl-BHKW mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	110.800 €
Öltanklager	
Heizöltankanlage	46.400 €
Bautechnik	
Heizhaus	60.900 €
Fundament Brennstofflager, Zufahrt und Außenanlage Heizzentrale	17.900 €
Nahwärmenetz	
Nahwärmenetz inkl. Erdarbeiten, Verlegung und Wiederherstellung der Oberfläche	129.800 €
Wärmeübergabestation	
Indirekte Hausübergabestation mit Zubehör inkl. Montage	33.200 €
Planung, Unvorhergesehenes	
Planung, Unvorhergesehenes	83.400 €
Gesamtinvestition	**639.800 €**

Tabelle 3-5 Investitionskosten Variante 2 zentrale Wärmeversorgung

Variante 3: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel		
Nennwärmeleistung Heizöl-Kessel Nennwärmeleistung Rapsöl-BHKW	1.320 70	kW_{th} kW_{th}
Demontage		
Demontage Heizkessel	5.000	€
Demontage vorhandene Nahwärmeleitungen	900	€
Demontage unterirdische Heizöltanks	7.000	€
Maschinentechnik		
Heizöl-Niedertemperaturkessel mit Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	144.500	€
Rapsöl-BHKW mit Pufferspeicher und Zubehör inkl. Montage und Inbetriebnahme	107.700	€
Öltanklager		
Heizöltankanlage	46.400	€
Rapsöltankanlage	109.600	€
Bautechnik		
Heizhaus	60.900	€
Fundament Brennstofflager, Zufahrt und Außenanlage Heizzentrale	26.900	€
Nahwärmenetz		
Nahwärmenetz inkl. Erdarbeiten, Verlegung und Wiederherstellung der Oberfläche	129.800	
Wärmeübergabestation		
Indirekte Hausübergabestation mit Zubehör inkl. Montage	33.200	€
Planung, Unvorhergesehenes		
Planung, Unvorhergesehenes	100.800	€
Gesamtinvestition	**772.700**	**€**

Tabelle 3-6 Investitionskosten Variante 3 zentrale Wärmeversorgung

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

		Basis-variante NT- und BW-Kessel Heizöl	**Variante 1** NT-Kessel HHS + Heizöl	**Variante 2** BHKW + NT-Kessel Heizöl	**Variante 3** BHKW + NT-Kessel Rapsöl + Heizöl
Wärmeleistung	kW_{th}	1.285	1.289	1.289	1.289
Investitionskosten **inkl. Förderung**	**€** **€**	**248.300**	**729.200** **667.200**	**639.800**	**772.700**
Kapitalkosten inkl. Förderung	€/a €/a	18.801	52.220 48.411	43.316	52.121
Verbrauchskosten	€/a	131.451	80.999	164.136	168.549
Betriebskosten	€/a	6.290	14.205	16.474	20.061
Summe Kosten inkl. Förderung	€/a €/a	156.542	147.424 143.615	223.926	240.731
Gutschrift Rückerstattung Mineralölsteuer	€/a			6.135	
Gutschrift Einspeisevergütung Strom	€/a			34.033	59.819
Summe Erlöse	€/a			40.168	59.819
Jahreskosten **inkl. Förderung**	**€/a** **€/a**	**156.542**	**147.424** **143.615**	**183.758**	**180.912**
Jahresgesamtwärmebedarf		1.900.700	1.900.700	1.900.700	1.900.700
Wärmepreis inkl. Förderung	Ct/kWh_{th} Ct/kWh_{th}	8,2	7,8 7,6	9,7	9,5

Tabelle 3-7 Wirtschaftlichkeit zentrale Wärmeversorgung

Die Jahreskosten der verschiedenen Varianten liegen in einer Größenordnung zwischen ca. 144.000 €/a und 184.000 €/a.

Im direkten Vergleich sind die Jahreskosten für den Holznahwärmeverbund um etwa 6 % bzw. 8 % niedriger als die dezentrale Wärmeversorgung, während die BHKW-Varianten um rund 17 % bzw. 16 % höhere Jahreskosten aufweisen. Dieses Verhältnis spiegelt sich auch im Wärmepreis wider.

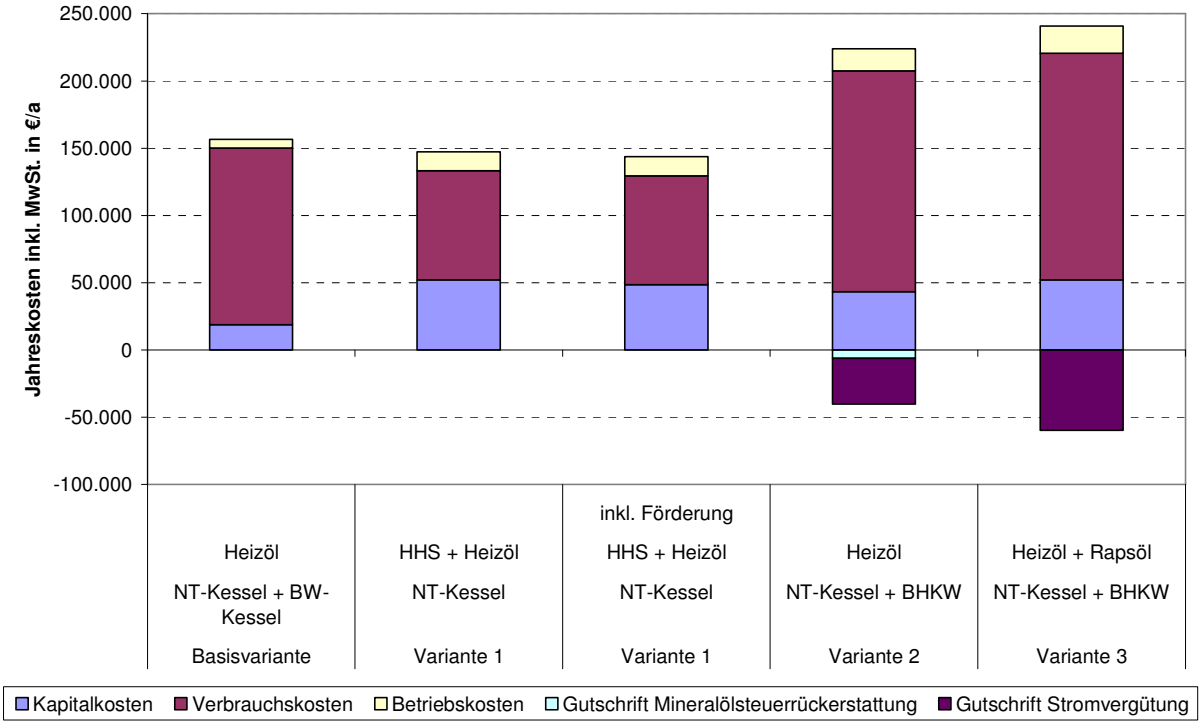

Abbildung 3-6 Aufteilung der Jahreskosten zentrale Wärmeversorgung

Das Diagramm veranschaulicht, dass in den Jahreskosten der Basisvariante die Verbrauchskosten den größten Anteil einnehmen, während für den Holznahwärmeverbund die höheren Kapitalkosten durch den günstigen Brennstoffpreis für Holzhackschnitzel ausgeglichen werden und sich daraus die niedrigeren Jahreskosten ergeben.
Die Erlöse in den BHKW-Varianten sind als negative Jahreskosten im Diagramm dargestellt, da sie von der Summe der Kosten abzuziehen sind.

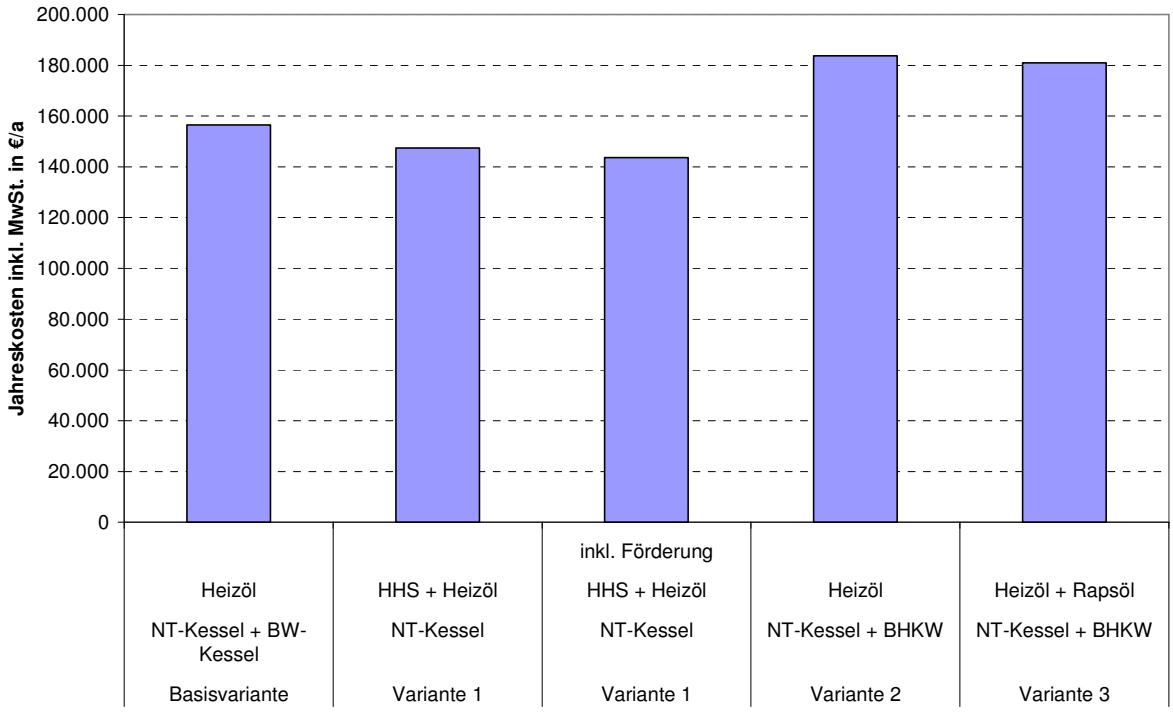

Abbildung 3-7 Jahreskosten zentrale Wärmeversorgung

In der Abbildung können die Jahresgesamtkosten der einzelnen Wärmeversorgungsvarianten direkt miteinander verglichen werden.

3.7 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 die Varianten, in denen zwei verschiedene Brennstoffe (Holzhackschnitzel und Heizöl oder Rapsöl und Heizöl) eingesetzt werden, wird jeweils nur ein Brennstoffpreis variiert.

Die Ergebnisse der Analyse sind in Form eines Diagramms dargestellt.

Aus der gewählten Preisspanne ergeben sich folgende Brennstoffpreise inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer.

Dezentrale Wärmeversorgung

	Preisänderung -40 %	Preisänderung 0 %	Preisänderung +40 %
Heizölpreis in Ct/l	36	60	84

Zentrale Wärmeversorgung

	Preisänderung -40 %	Preisänderung 0 %	Preisänderung +40 %
HHS-Preis in €/Sm³	11,4	19	26,6
Heizölpreis in Ct/l	36	60	84
Rapsölpreis in Ct/l	43,2	72	100,8

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 vor, wie sie in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ermittelt wurden.

Da die Brennstoffpreise nicht aneinander gebunden sind wie z. B. der Erdgaspreis an den Heizölpreis gekoppelt ist, sind die Preisänderungen unabhängig voneinander zu sehen. So kann z. B. der Heizölpreis zunehmen, während der Holzhackschnitzelpreis konstant bleibt.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind sowohl die Steigung der Geraden als auch deren gemeinsamer Schnittpunkt entscheidenden. Die Steigung ist ein Maß für die Höhe des Einflusses durch den Brennstoffpreis auf die Wirtschaftlichkeit. Der Wärmepreis in der dezentralen Wärmeversorgung ist aus wirtschaftlichen Gründen die obere Grenze der neuen Wärmeversorgung.

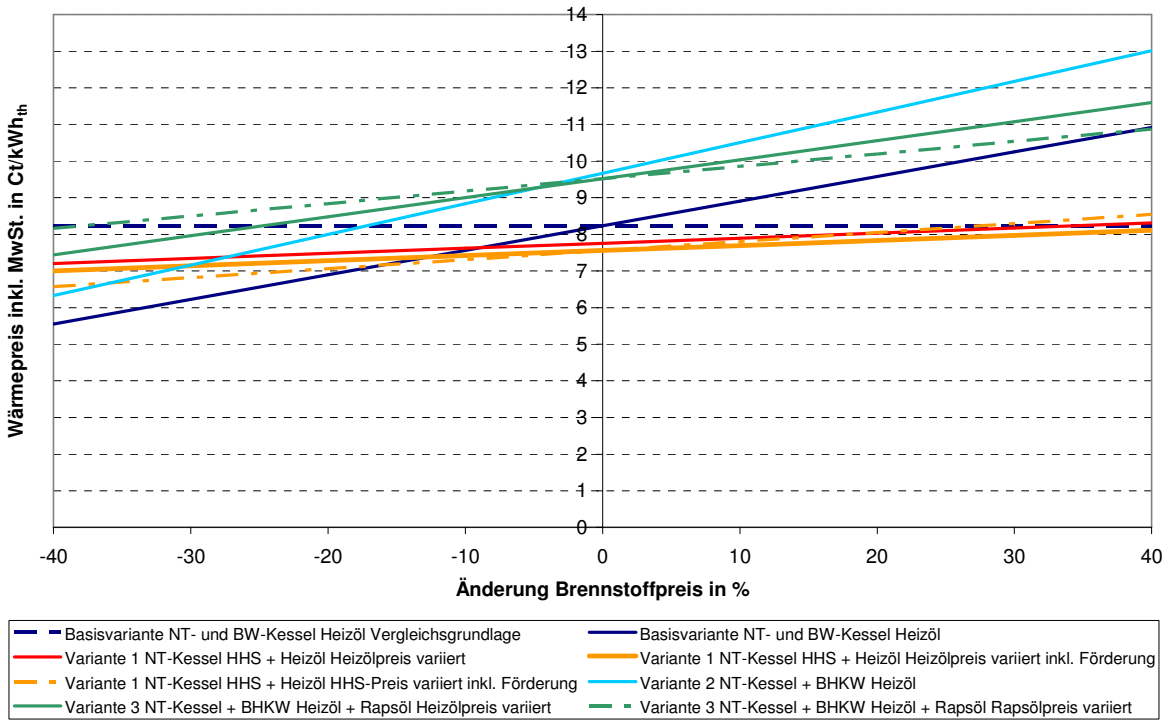

Abbildung 3-8 Sensitivitätsanalyse dezentrale und zentrale Wärmeversorgung

Im folgenden Ausschnitt des oben dargestellten Diagramms sind die Schnittpunkte mit den Geraden der Wärmeversorgungsvarianten und der Geraden mit dem Wärmepreis der Basisvariante nach der Wirtschaftlichkeitsberechnung markiert.

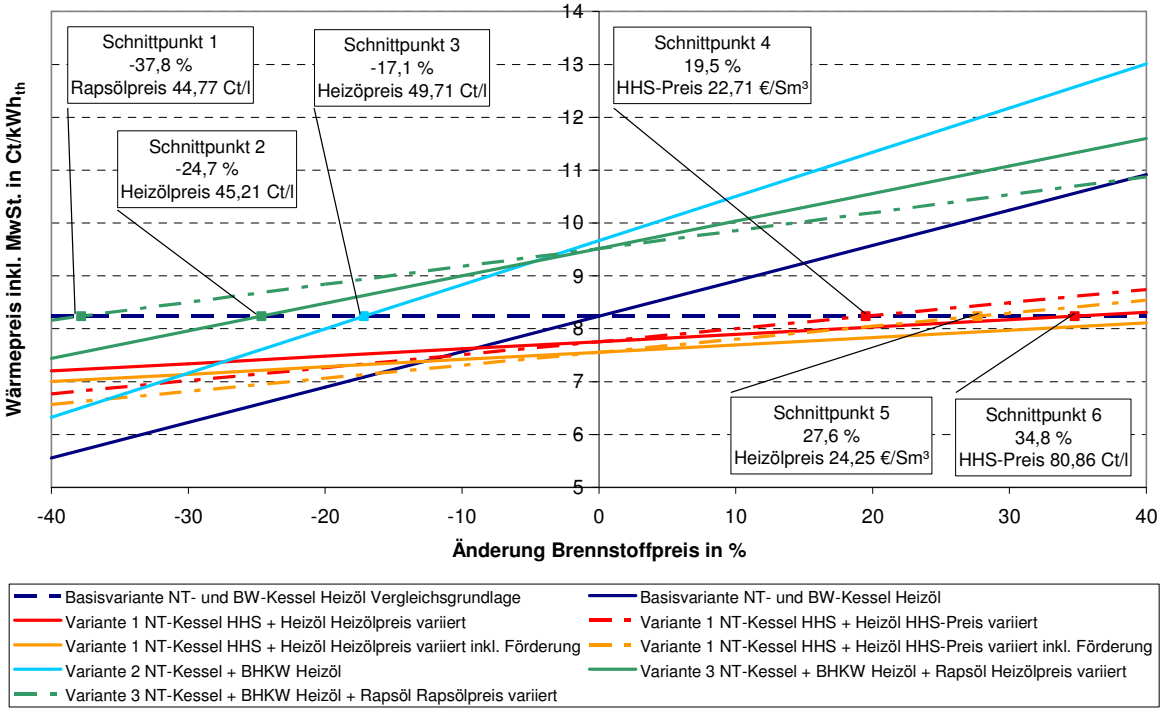

Abbildung 3-9 Ausschnitt Sensitivitätsanalyse

Aus den Schnittpunkten ergeben sich die erforderlichen Brennstoffpreise, um den Wärmepreis der dezentralen Wärmeversorgung in Höhe von 8,2 Ct/kWh$_{th}$ aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung zu erreichen. Für einige Varianten sind höhere oder niedrigere Brennstoffpreise als die in den Rahmenbedingungen festgelegten Brennstoffpreise notwendig.

	Änderung Brennstoffpreis	Brennstoffpreis inkl. MwSt.	Brennstoff
Schnittpunkt1: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel	-37,8 %	44,77 Ct/l	Rapsöl
Schnittpunkt 2: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel	-24,7 %	45,21 Ct/l	Heizöl
Schnittpunkt 3: Heizöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel	-17,1 %	49,71 Ct/l	Heizöl
Schnittpunkt 4: HHS-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel	+19,5 %	22,71 €/Sm³	HHS
Schnittpunkt 5: HHS-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel inkl. Förderung	+27,6 %	24,25 €/Sm³	HHS
Schnittpunkt 6: HHS-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel	+34,8 %	80,86 Ct/l	Heizöl

Tabelle 3-8 Sensitivitätsanalyse

Die Ergebnisse zeigen, dass die BHKW-Varianten einen z. T. wesentlich günstigeren als in den Rahmenbedingungen zu Grunde gelegten Brennstoffpreis benötigen, um den gleichen Wärmepreis wie die Basisvariante zu erreichen, während dazu für den Holznahwärmeverbund auch noch höhere Brennstoffpreise möglich sind.

4 Zusammenfassung

Im Schulzentrum von Altenahr-Altenburg sind die beiden Heizölkessel im Nahwärmeverbund mit Baujahr 1982 kurz- bis mittelfristig erneuerungsbedürftig. Da neben dem Schulzentrum ein privater Träger den Neubau eines Seniorenzentrums mit ca. 100 Betten plant, entstand zwischen der Verbandsgemeindeverwaltung Altenahr und dem privaten Träger die Überlegung zu einer gemeinsamen Wärmeversorgung der Liegenschaften.

Für die gemeinsame Wärmeversorgung wurden folgende Varianten untersucht.

Variante 1: Holzhackschnitzel-NT-Kessel + Heizöl-NT-Kessel

Variante 2: Heizöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Variante 3: Rapsöl-BHKW + Heizöl-NT-Kessel

Zur Bewertung der Varianten werden der vorhandene, kleine Nahwärmeverbund des Schulzentrums und eine separate Kesselanlage im geplanten Seniorenzentrum zur Basisvariante zusammengefasst.

In einer Ist-Analyse wurde mit den zur Verfügung gestellten Energieverbrauchsdaten und Anlagendaten der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung des Schulzentrums abgeschätzt. Für den geplanten Neubau des Seniorenzentrums wurde der Jahresgesamtwärmebedarf mithilfe von Kennwerten überschlägig berechnet, da zum Zeitpunkt der Studie keine Jahresheizwärmebedarfsberechnung vorlag. 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 Kohlendioxidemissionen des Schulzentrums mit den Kohlendioxidemissionen einer Kesselanlage im geplanten Seniorenzentrum spart ein Holz-Nahwärmeverbund etwa 60 % ein. Eine gemeinsame Wärmeversorgung mit einem Heizöl-BHKW und Heizöl-Spitzenlastkessel würde die CO_2-Emissionen um ca. 9 % reduzieren, während eine zentrale Wärmeversorgung mit Rapsöl-BHKW und Heizöl-Spitzenlastkessel eine Einsparung in Höhe von rund 27 % erreichen würde.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Jahreskosten aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten sowie die Erlöse aus dem BHKW-Betrieb berechnet. Die Jahreskosten der verschiedenen Varianten liegen in einer Größenordnung zwischen ca. 144.000 €/a und 184.000 €/a. Im direkten Vergleich sind die Jahreskosten für den Holznahwärmeverbund um etwa 6 % bzw. 8 % niedriger als die dezentrale Wärmeversorgung, während die BHKW-Varianten um rund 17 % bzw. 16 % höhere Jahreskosten aufweisen. Durch den günstigen Brennstoffpreis für Holzhackschnitzel werden die höheren Kapitalkosten unabhängig von einer Förderung nach dem Marktanreizprogramm ausgeglichen, sodass daraus niedrigere Jahreskosten resultieren.

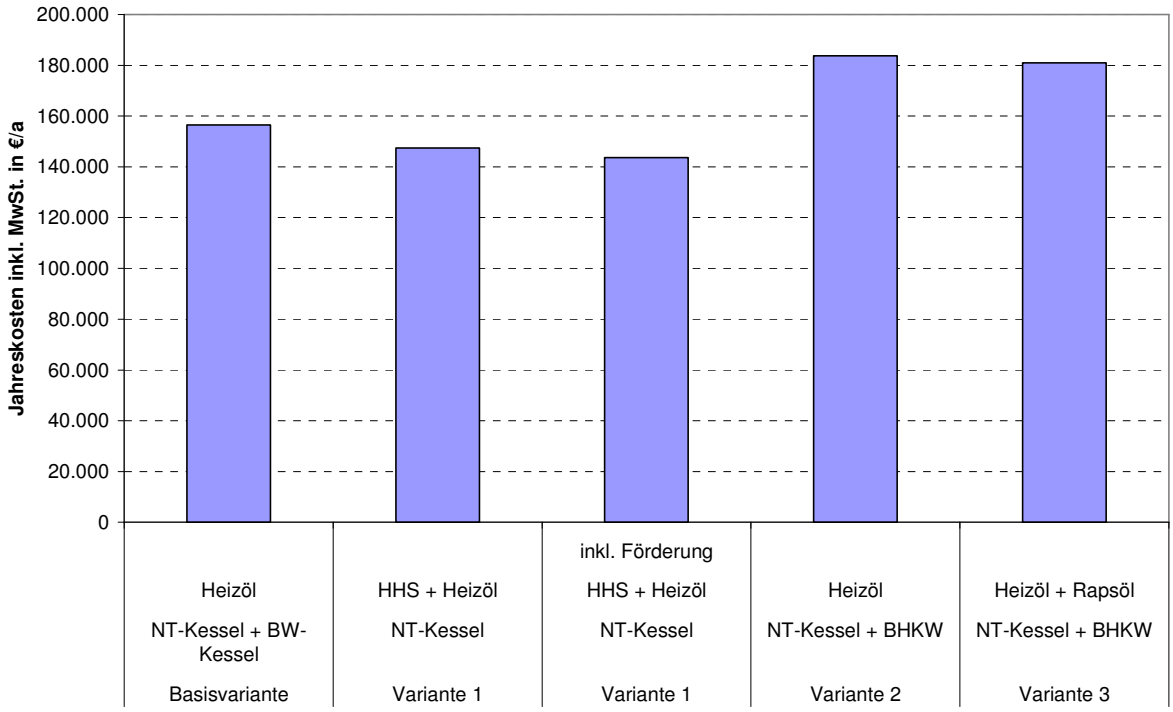

Abbildung 4-1 Vergleich Jahreskosten dezentrale zentrale Wärmeversorgung

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.

Fazit:

Unter den angesetzten Rahmenbedingungen ergeben sich für den Holznahwärmeverbund etwas niedrigere Jahreskosten als für die dezentrale Wärmeversorgung, sodass aus wirtschaftlicher Sicht die Umsetzung eines Holznahwärmeverbunds möglich ist.

Aus ökologischer Sicht zeigt sich deutlich der Vorteil des CO_2-neutralen Brennstoffs Holz gegenüber dem fossilen Energieträger Heizöl. Auch die BHKW-Varianten sparen Kohlendioxid-Emissionen ein.