

Machbarkeitsstudie

Holz-Wärmeverbund in Kastellaun

Kurzfassung

Auftraggeber **SGD Süd Abteilung D**
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (RLP)
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Verbandsgemeindeverwaltung Kastellaun
Kirchstraße 1
56284 Kastellaun

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) Matthias Schwanhäußer
Telefon 06721 / 409 135

Telefax 06721 / 409 129
Homepage <http://www.tsb-energie.de>

Projektnummer 973

Datum 28. Oktober 2004

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Matthias Schwanhäußer'.

.....
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Schwanhäußer

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jörg Wirtz'.

.....
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Prof. Dr. Ralf Simon'.

.....
Prof. Dr. Ralf Simon

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Ist-Analyse	5
1.1	Wärmeerzeuger im bestehenden Nahwärmeverbund	5
1.2	Hallenbad „AQUA fit“	9
1.3	Ambulantes Reha-Zentrum	10
1.4	Ärzte-Haus	10
1.5	Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle	11
1.6	Turnhalle „Spesenrother Weg“	11
3	Wärmeversorgungsvarianten	13
4	Energiebilanzen.....	17
5	CO ₂ -Emission.....	20
6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	23
7	Zusammenfassung.....	27
8	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	29

1 Einleitung

In Kastellaun werden das Hallenbad, das Ambulante Reha-Zentrum Hunsrück, die Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle und die Turnhalle „Spesenrother Weg“ über einen Verbund mit Wärme, der durch ein BHKW und drei weitere Kesselanlagen gespeist wird, versorgt.

In dieser Machbarkeitsstudie wird die Erweiterung des bestehenden Nahwärmeverbunds zur Versorgung weiterer kommunaler und kirchlicher Liegenschaften untersucht. Die Überlegung entstand aufgrund der räumlichen Nähe der Liegenschaften und des kurz- bis mittelfristige Erneuerungsbedarfs der vorhandenen Kesselanlagen.

Es werden unterschiedlich große Nahwärmenetze sowie verschiedene Wärmeerzeuger auch auf Basis von regenerativen Energien betrachtet.

Folgende Liegenschaften werden in der Studie mit einbezogen:

- Hallenbad „AQUA fit“ Kastellaun
- Ambulante Reha-Zentrum Hunsrück
- Ärztehaus
- Integrierte Gesamtschule Kastellaun mit Sporthalle
- Turnhalle „Spesenrother Weg“
- Alte Mädchen-Berufsschule
- Grundschule Kastellaun
- Evangelischer Kindergarten Kastellaun „Regenbogenland“
- eventuell geplantes Wohnheim
- Theodor-Heuss-Schule Sonderschule G Kastellaun
- Förderkindergarten
- Seniorenzentrum Kastellaun

In der Studie werden zunächst anhand von vorliegenden Verbrauchsdaten und Daten zu den vorhandenen Heizanlagen der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung ermittelt. Darauf basiert dann die Energiebilanz mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen sowie eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz. Die gemeinsame Wärmeversorgung mit einer Heizzentrale wird zum Vergleich der dezentralen Wärmeversorgung gegenübergestellt.

Folgende Varianten werden für den bestehenden Wärmeverbund untersucht:

- Basisvariante: Erdgas-BHKW + Spitzenlastkessel
- Variante 1: HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 2: BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 3: Pflanzenöl-BHKW + Spitzenlastkessel

Folgende Varianten werden für die Erweiterung des bestehenden Wärmeverbunds untersucht:

- Variante 4: Holzgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 5: Pflanzenöl-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 6: Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel
- Variante 7: Stroh-Heizwerk + Spitzenlastkessel
- Variante 8: Stroh-Heizkraftwerk + Spitzenlastkessel

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Kapitalkosten anhand von abgeschätzten Investitionskosten berechnet. Aus den Kapital-, Verbrauchs- und Betriebskosten setzen sich die Jahreskosten zusammen. Zusätzlich wird der Wärmepreis aus den Jahreskosten ermittelt.

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

2 Ist-Analyse

Die Ist-Analyse wertet zunächst die Energieverbrauchsdaten und die Kenngrößen der installierten Heizanlagen in den zu untersuchenden Gebäuden aus. Der Wärmebedarf der Liegenschaften wird anhand dieser Daten überschlägig ermittelt.

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

1.1 Wärmeerzeuger im bestehenden Nahwärmeverbund

Ein BHKW und drei Heizkesselanlagen speisen in den vorhandenen Nahwärmeverbund ein. Das Hallenbad, das Ambulante Reha-Zentrum, die Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle und die Turnhalle „Spesenrother Weg“ sind an das bestehende Nahwärmenetz angeschlossen.

Das BHKW ist neben dem Gebäude des Hallenbads in einem Container untergebracht. Als Brennstoff kann sowohl Erdgas als auch Heizöl eingesetzt werden.

Hallenbad	BHKW
Fabrikat, Bezeichnung	Mothermik
Baujahr	1997
thermische Leistung BHKW	300 kW _{th}
elektrische Leistung BHKW	300 kW _{el}

Aus den Verbrauchsdaten der letzten vier Jahre ergeben sich, die in der Tabelle 2-1 aufgeführten Werte.

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	396.000 m ³ /a
Heizölverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	47.000 l/a
Brennstoffverbrauch, gesamt	4.350.800 kWh _{HU} /a
Wärmeerzeugung	1.463.000 kWh _{th} /a
Stromerzeugung	1.507.000 kWh _{el} /a
thermischer Nutzungsgrad	33 %
elektrischer Nutzungsgrad	34 %
thermische Leistung	300 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	4.877 h/a

Tabelle 2-1 Ist-Daten BHKW

Die über die Jahre 2000 bis 2003 gemittelte Gesamteffizienz des BHKWs wurde mit 67 % berechnet. **Dieser Wert liegt unterhalb dem Wert von 70 %, der für die Befreiung von der Mineralölsteuer vom Zollamt gefordert wird.** Als Ursache für die niedrige Gesamteffizienz des BHKWs könnten zu hohe Rücklauftemperaturen im Heizungsnetz in Frage kommen, die durch Probleme mit der hydraulischen Einbindung des BHKWs auftreten.

In der Integrierten Gesamtschule (IGS) mit Sporthalle befinden sich drei Heizkesselanlagen. Die beiden mit Zweistoffbrennern ausgestatteten Heizkessel im Altbau sind erneuerungsbedürftig, während der erdgasbefeuerte Heizkessel in der Sporthalle mittelfristig zu erneuern ist. Die beiden mit Erdgas betriebenen Brennwertkessel im Neubau F sind in einem sehr guten Zustand.

Die Anlagendaten und Verbrauchsdaten für die Heizkesselanlage im IGS Altbau sind unten aufgeführt.

IGS Altbau	Heizkessel 1	Heizkessel 2
Fabrikat, Bezeichnung	Buderus Lollar 505	Buderus Lollar 505
Wärmeleistung	301 kW _{th}	301 kW _{th}
Baujahr	1984	1984
Abgasverluste	6,0 %	7,0 %

Aus dem mittleren Brennstoffverbrauch der letzten vier Jahre wird die erzeugte Wärmemenge ermittelt, die in das Nahwärmenetz und in den Altbau eingespeist wurden.

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	37.300 m ³ /a
Heizölverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	4.700 l/a
Brennstoffverbrauch, gesamt	412.500 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	89 %
Wärmeerzeugung	367.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	602 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	610 h/a

Tabelle 2-2 Ist-Daten Heizkesselanlage IGS Altbau

Die beiden Heizkessel im Altbau weisen relativ niedrige Vollbenutzungsstunden auf. Ein Teil des Wärmebedarfs wird durch das BHKW im Hallenbad gedeckt.

Für die Heizkesselanlage im IGS Neubau liegen folgende Anlagenkenndaten und Verbrauchsdaten vor.

IGS Neubau	Heizkessel 1	Heizkessel 2
Fabrikat, Bezeichnung	Viessmann Vertomat	Viessmann Vertomat
Wärmeleistung	460 kW _{th}	460 kW _{th}
Baujahr	1993	1993
Abgasverluste	1,0 %	2,0 %

Mit dem mittleren Brennstoffverbrauch der letzten vier Jahre wird die erzeugte Wärmemenge ermittelt, die in das Nahwärmenetz und in den Neubau eingespeist wurden.

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	84.700 m ³ /a
Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	830.000 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	93,5 %
Wärmeerzeugung	776.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	920 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	843 h/a

Tabelle 2-3 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Neubau

Die beiden Brennkessel im Neubau weisen akzeptable Vollbenutzungsstunden auf. Es kann davon ausgegangen werden, dass sie einen wesentlichen Teil des Wärmebedarfs der IGS und die Spitzenlast im Hallenbad abdecken.

Die Heizkesselanlage in der Sporthalle ist durch folgende Kenndaten und Verbrauchsdaten gekennzeichnet.

IGS Sporthalle	Heizkessel
Fabrikat, Bezeichnung	Buderus G 505
Wärmeleistung	465 kW _{th}
Baujahr	1989
Abgasverluste	7,0 %

Mit dem mittleren Brennstoffverbrauch der letzten vier Jahre wird die erzeugte Wärmemenge ermittelt, die in das Nahwärmenetz und in die Sporthalle eingespeist wurden.

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	7.800 m ³ /a
Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	76.400 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	88 %
Wärmeerzeugung	67.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	465 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	144 h/a

Tabelle 2-4 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Sporthalle

Da beim Heizkessel der Sporthalle nur sehr niedrige Vollbenutzungsstunden erreicht werden, kann davon ausgegangen werden, dass dieser nur zur Spitzenlastabdeckung in der Sporthalle benötigt wird. Der größte Teil des Wärmebedarfs wird durch das BHKW im Hallenbad gedeckt.

1.2 Hallenbad „AQUA fit“

Das Hallenbad ist an den bestehenden Nahwärmeverbund angeschlossen und bezieht die erforderliche Wärme vollständig aus dem Netz. Es liegen Wärmeverbrauchsdaten, die von einem Wärmemengenzähler aufgenommen werden, der Jahre 2000 bis 2003 vor. Da durch Energieeinsparmaßnahmen bzw. durch die Optimierung des Betriebs die Wärmeabnahme deutlich gesunken ist, wird für die weiteren Untersuchungen der Wärmeverbrauch von 2003 zu Grunde gelegt.

Wärmeverbrauch Hallenbad, 2003	636.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad	100 %
Wärmebedarf	636.000 kWh _{th} /a
Beckenfläche	ca. 250 m ²
spez. Wärmebedarf bez. auf beheizte Fläche	2.544 kWh _{th} /(m ² *a)
gebäudetypische Werte Hallenbäder bis 250 m ²	bezogen auf Beckenfläche
spez. Wärmebedarf Richtwert	2.045 kWh _{th} /(m ² *a) ¹
spez. Wärmebedarf Mittelwert	3.820 kWh _{th} /(m ² *a) ¹

Tabelle 2-5 Ist-Daten Hallenbad

Der für das Jahr 2003 ermittelte spezifische Wärmebedarf, der auf die Beckenfläche bezogen wird, liegt mit 2.544 kWh_{th}/(m²*a) im unteren Drittel des Bereiches vergleichbarer Objekte. Zielwert für weitere Maßnahmen sollte der Richtwert von ca. 2.000 kWh_{th}/(m²*a) sein.

Eine überschlägige Wärmebedarfsberechnung für das Hallenbad ergibt eine Wärmeleistung von ca. 730 kW_{th}, die sich wie folgt aufteilt:

Verdunstung	40 kW _{th}
Heizung	250 kW _{th}
Lüftung	189 kW _{th}
Frischwasser	22 kW _{th}
Duschen	227 kW _{th}
Summe	728 kW_{th}

¹ VDI-Richtlinie 3807 Blatt 2

1.3 Ambulantes Reha-Zentrum

Auch das Reha-Zentrum wird über den vorhandenen Nahwärmeverbund beheizt und die verbrauchte Wärme über einen Wärmemengenzähler abgerechnet. Die für die Abrechnung verwendeten Daten der Jahre 2000 bis 2003 werden als Grundlage für die weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt.

Wärmeverbrauch Reha-Zentrum, gemittelt 2000 - 2003	265.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad	100 %
Wärmebedarf	265.000 kWh _{th} /a
Annahme Wärmeleistung	80 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	3.313 h/a
gebäudetypische Werte Krankenhäuser	
spez. Wärmebedarf Raumheizung	105...350 kWh _{th} /(m ² a) ¹
spez. Wärmebedarf Warmwasserbereitung	30 kWh _{th} /(m ² a) ¹
Vollbenutzungsstunden Heizung	2.000...3.50 h/a ¹ 0

Tabelle 2-6 Ist-Daten Reha-Zentrum

Die spezifischen Daten vergleichbarer Objekte zeigen, dass die hohen Vollbenutzungsstunden durchaus realistisch sind. Der hohe Wärmebedarf wird durch die medizinischen Anwendungen im Reha-Zentrum verursacht.

1.4 Ärzte-Haus

Zwei Erdgas-Brennwertkessel versorgen das Ärzte-Haus, das sich neben dem Ambulanten Reha-Zentrum befindet, mit Wärme.

Fabrikat, Bezeichnung	Viessmann Vitodens
Wärmeleistung	2 * 26 (52) kW _{th}
Baujahr	2002
Abgasverluste	2,0 %

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

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	11.300 m ³ /a
Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	110.700 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	93 %
Wärmeerzeugung	103.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	52 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.981 h/a

Tabelle 2-7 Ist-Daten Ärzte-Haus

Der gute Jahresnutzungsgrad und die hohen Vollbenutzungsstunden zeigen, dass die installierte Wärmeleistung passend ausgelegt ist.

1.5 Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle

Die Wärmeversorgung der Integrierten Gesamtschule mit Sporthalle erfolgt über drei Heizkesselanlagen und eine Nahwärmeanbindung.

Die Heizkesselanlagen sind im Kapitel 1.1 mit den Anlagenkennwerten vorgestellt. Für die Ermittlung des Wärmebedarfs wird die erzeugte Wärme und die bezogene Nahwärme herangezogen. Im Bauteil D und E sind elektrische Nachtspeicheröfen mit insgesamt etwa 290 kW_{el} installiert, mit deren Stromverbrauch auf den Wärmebedarf geschlossen werden kann.

Wärmeerzeugung Nachtspeicheröfen	349.000 kWh _{th} /a
Nahwärme, gemittelt 2000 - 2003	472.000 kWh _{th} /a
Wärmeerzeugung Kesselanlagen	1.210.000 kWh _{th} /a
Einspeisung Nahwärme	-110.000 kWh _{th} /a
Wärmeverbrauch, gesamt	1.921.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung, gesamt	2.277 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	844 h/a

Tabelle 2-8 Ist-Zustand Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle

1.6 Turnhalle „Spesenrother Weg“

Die Wärmeversorgung der Turnhalle erfolgt ausschließlich über den bestehenden Nahwärmeverbund. Da noch keine Verbrauchsdaten für ein gesamtes Jahr vorliegen, wird die vorhandene Wärmebedarfsberechnung herangezogen. Allerdings wird ein geringerer Wärmebedarf zur Warmwasserbereitung als angegeben angenommen. Die Erfahrung zeigt, dass meist keine Schüler sondern nur Vereine die Waschräume nutzen.

Der Wärmebedarf setzt sich wie folgt zusammen:

statische Heizung	141.920 kWh _{th} /a
Lüftung Halle	16.991 kWh _{th} /a
Lüftung Nebenräume	15.291 kWh _{th} /a
Brauch-Wassererwärmung	5.798 kWh _{th} /a
<hr/> Summe	<hr/> 180.000 kWh _{th} /a

3 Wärmeversorgungsvarianten

Zunächst werden die drei Nahwärmevarianten a, b und c unterschieden. Des weiteren werden insgesamt acht Varianten der Wärmeerzeugung betrachtet.

Durch den bestehenden Nahwärmeverbund werden zur Zeit folgende Liegenschaften mit Wärme versorgt:

- Hallenbad
- Reha-Zentrum
- Integrierte Gesamtschule (IGS)
 - Altbau (Bauteil A)
 - Neubau (Bauteil F)
 - Sporthalle
- Turnhalle Spesenrother Weg

Für die weiteren Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die erneuerungsbedürftigen Kessel im Altbau und in der Sporthalle durch einen neuen Heizölkessel in der Heizzentrale im Neubau ersetzt werden. Dies bietet sich an, da in der Heizzentrale noch ausreichend Stellplätze vorhanden sind. Des weiteren wird das BHKW im Hallenbad je nach Variante durch ein neues ersetzt oder stillgelegt.

Außerdem wird davon ausgegangen, dass auch der derzeit noch mit Strom beheizte Gebäudeteil der IGS (Bauteil D und E) an das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz a) angeschlossen wird.

Folgende Liegenschaften werden zur Zeit durch dezentrale Heizkessel mit Wärme versorgt:

- Ärztehaus
- Sonderschule G
- Förderkindergarten
- Grundschule
- Alte Mädchen Berufsschule
- Evangelischer Kindergarten
- Seniorenheim

Außerdem wird von Seiten des Rhein-Hunsrück-Kreises über den Neubau eines Wohnheims auf der Freifläche zwischen Sporthalle und Sonderschule nachgedacht. Der geschätzte Wärmeleistungsbedarf von $80 \text{ kW}_{\text{th}}$ wird in die nachfolgenden Betrachtungen mit einbezogen. In den Basisvarianten wird davon ausgegangen, dass zur Wärmeversorgung ein dezentraler Erdgas-Brennwertkessel vorgesehen würde.

Als eine mögliche Erweiterungsvariante wird der Anschluss der bisher dezentralen Liegenschaften ohne das Seniorenheim betrachtet (Nahwärmenetz b).

Als dritte Variante wird die Nahwärmeversorgung aller betrachteten Liegenschaften inkl. Seniorenheim betrachtet (Nahwärmenetz c).

Folgende Varianten werden für den bestehenden Wärmeverbund (Hallenbad, Reha-Zentrum, IGS, Sporthalle, Turnhalle) untersucht:

- **Basisvariante a Erdgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 1 Erdgas-BHKW (195 kW_{el} / 300 kW_{th}) am Hallenbad
 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 1 Heizölkessel (1.050 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 1 HHS-Kessel + Spitzenlastkessel**
 1 HHS-Kessel (800 kW_{th}) im Bauteil A der IGS
 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 1 Heizölkessel (550 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 2a Erdgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel**
 1 Erdgas-BHKW (195 kW_{el} / 300 kW_{th}) am Hallenbad
 1 HHS-Kessel (500 kW_{th}) im Bauteil A der IGS
 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 1 Heizölkessel (550 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 2b Erdgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel**
 1 Erdgas-BHKW (100 kW_{el} / 50 kW_{th}) am Hallenbad
 1 HHS-Kessel (700 kW_{th}) im Bauteil A der IGS
 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 1 Heizölkessel (550 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 3 Pflanzenöl-BHKW + Spitzenlastkessel**
 1 Pflanzenöl-BHKW (250 kW_{el} / 280 kW_{th}) am Hallenbad
 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 1 Heizölkessel (1.050 kW_{th}) im Bauteil F der IGS

Die meisten der dezentralen Heizungsanlagen in den nicht an das Nahwärmenetz angeschlossenen Liegenschaften sind erneuerungsbedürftig. Für folgende Liegenschaften wird eine Kesselerneuerung mit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einbezogen:

	Kesselleistung (neu)	installierte Kesselleistung
▪ Evtl. geplantes Wohnheim	80 kW _{th}	
▪ Sonderschule G	280 kW _{th}	290 kW _{th}
▪ Förderkindergarten	40 kW _{th}	40 kW _{th}
▪ Alte Mädchenberufsschule	50 kW _{th}	56 kW _{th}
▪ Evangelischer Kindergarten	64 kW _{th}	80 kW _{th}
▪ Seniorenheim	115 (130+42) kW _{th}	116+130+42 kW _{th}

Die Heizkessel (2*26 kW_{th}) im Ärztehaus sind Baujahr 2002 und werden weiter genutzt. Ebenso kann der neuere der beiden Kessel (233 kW_{th}, 1985; 230 kW_{th}, 1996) in der Grundschule weiter betrieben werden.

Eine mögliche Variante zur Erweiterung des Nahwärmenetzes ist der Anschluss der bisher dezentral mit Wärme versorgten Liegenschaften ohne das Seniorenheim (Nahwärmenetz b).

Folgende Varianten werden für die Erweiterung des bestehenden Wärmeverbunds untersucht:

- **Basisvariante b Erdgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 1 Erdgas-BHKW (195 kW_{el} / 300 kW_{th}) am Hallenbad
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (1.050 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - dezentrale Heizkessel
- **Variante 4a Holzgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel**
 - 1 Holzgas-BHKW (160 kW_{el} / 155 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 1 HHS-Kessel (950 kW_{th}) im Bauteil A der IGS
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (1.050 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 4b Holzgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel**
 - 1 Holzgas-BHKW (265 kW_{el} / 245 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 1 HHS-Kessel (950 kW_{th}) im Bauteil A der IGS
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (1.050 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 5 Pflanzenöl-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel**
 - 1 Pflanzenöl-BHKW (250 kW_{el} / 280 kW_{th}) am Hallenbad
 - 1 HHS-Kessel (700 kW_{th}) im Bauteil A der IGS
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (1.050 kW_{th}) im Bauteil F der IGS

Bei den Varianten 4a und 4b wird im alten Milchwerk mit der Abwärme des Holzgas-BHKWs die Holzhackschnitzel (HHS) für den HHS-Kessel im Bauteil A der IGS getrocknet.

Die bisher dezentral beheizten Liegenschaften werden an das Nahwärmenetz angeschlossen und mit Hausübergabestationen (HÜS) ausgestattet. Hierfür ist die Erweiterung des Stranges über den Spesenrother Weg hinweg in Richtung Alte Mädchenberufsschule, Grundschule bzw. evangelischer Kindergarten sowie von der Sporthalle der IGS in Richtung Sonderschule bzw. Förderkindergarten.

Für das Seniorenheim wird eine Kesselerneuerung mit in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einbezogen:

	Kesselleistung (neu)	installierte Kesselleistung
▪ Seniorenheim	115 (130+42) kW _{th}	116+130+42 kW _{th}

Die dritte Variante des Nahwärmenetzes berücksichtigt den Anschluss aller betrachteten Liegenschaften (Nahwärmenetz c). Hierbei wird eine weitere Trasse zwischen Sporthalle IGS und Sonderschule hindurch, unter der Südstraße hindurch und dann parallel zu ihr in Richtung Seniorenheim verlegt. Außerdem wird auch die Verbindung zum alten Milchwerk hergestellt, so dass Wärme von hieraus in das Nahwärmenetz eingespeist werden kann.

Folgende Varianten werden für die große Variante des Wärmeverbunds untersucht:

- **Basisvariante c Erdgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 1 Erdgas-BHKW ($195 \text{ kW}_{\text{el}} / 300 \text{ kW}_{\text{th}}$) am Hallenbad
 - 2 Erdgaskessel ($2 \cdot 460 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel ($1.050 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
 - dezentrale Heizkessel
- **Variante 6a Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 1 Holzgas-BHKW ($265 \text{ kW}_{\text{el}} / 245 \text{ kW}_{\text{th}}$) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel ($2 \cdot 460 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel ($2.000 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
- **Variante 6b Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 2 Holzgas-BHKW ($2 \cdot 265 \text{ kW}_{\text{el}} / 245 \text{ kW}_{\text{th}}$) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel ($2 \cdot 460 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel ($1.800 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
- **Variante 7 Stroh-Heizwerk + Spitzenlastkessel**
 - 1 Stroh-HW ($2.000 \text{ kW}_{\text{th}}$) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel ($2 \cdot 460 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel ($450 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
- **Variante 8 Stroh-Heizkraftwerk + Spitzenlastkessel**
 - 1 Stroh-HKW ($500 \text{ kW}_{\text{el}} / 2.000 \text{ kW}_{\text{th}}$) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel ($2 \cdot 460 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel ($450 \text{ kW}_{\text{th}}$) im Bauteil F der IGS

Somit sind bei dieser Variante des Nahwärmenetzes alle betrachteten Liegenschaften über Hausübergabestationen (HÜS) an das Nahwärmenetz angeschlossen.

4 Energiebilanzen

In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte für die Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 1 bis 3, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz a) beziehen, aufgeführt.

		Basis a	Variante 1	Variante 2a	Variante 2b	Variante 3
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + Erdgas + Heizöl
Wärmeleistung						
Erdgas-BHKW	kW _{th}	300		300	100	
Pflanzenöl-BHKW	kW _{th}					280
Biomassekessel	kW _{th}		800	500	700	
Erdgaskessel	kW _{th}	920	920	920	920	920
Heizölkessel	kW _{th}	1.050	550	550	550	1.050
Summe	kW_{th}	2.270	2.270	2.270	2.270	2.250
Wärmeerzeugung						
Erdgas-BHKW	kWh _{th} /a	1.350.000		1.200.000	650.000	
Pflanzenöl-BHKW	kWh _{th} /a					1.344.000
Biomassekessel	kWh _{th} /a		2.283.950	1.209.150	1.746.550	
Erdgas-Kessel	kWh _{th} /a	1.127.000	326.050	200.850	213.450	1.133.000
Heizöl-Kessel	kWh _{th} /a	210.000	77.000	77.000	77.000	210.000
Summe	kWh_{th}/a	2.687.000	2.687.000	2.687.000	2.687.000	2.687.000
Brennstoffbedarf						
Erdgas	kWh _{Ho} /a	4.135.427	384.300	2.731.919	1.603.143	1.335.414
Heizöl	l/a	22.826	8.370	8.370	8.370	22.826
Pflanzenöl	l/a					363.636
HHS	Sm ³ /a		3.359	1.778	2.568	
Bunkervolumen	m ³		176	110	154	
Stromerzeugung						
elektrische Leistung	kW _{el}	195		195	50	250
Vollbenutzungsstunden	h/a	4.500		4.000	6.500	4.800
Stromerzeugung	kWh_{el}/a	877.500		780.000	325.000	1.200.000
Hilfsenergiebedarf	kWh _{el} /a	26.870	49.710	38.962	44.336	26.870

Tabelle: Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz a)

In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte für die Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 4 bis 5, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz b) beziehen, aufgeführt.

		Basis b	Variante 4a	Variante 4b	Variante 5
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + HHS + Erdgas + Heizöl
Wärmeleistung					
Erdgas-BHKW	kW _{th}	300			
Pflanzenöl-BHKW	kW _{th}				280
Holzgas-BHKW	kW _{th}		155	245	
Biomassekessel	kW _{th}		950	950	700
Erdgaskessel	kW _{th}	1.716	920	920	920
Heizölkessel	kW _{th}	1.050	1.050	1.050	1.050
Summe	kW_{th}	3.066	3.075	3.165	2.950
Wärmeerzeugung					
Erdgas-BHKW	kWh _{th} /a	1.350.000			
Pflanzenöl-BHKW	kWh _{th} /a				1.540.000
Holzgas-BHKW (Trockn.)	kWh _{th} /a		1.162.500	1.837.500	
Biomassekessel	kWh _{th} /a		3.156.050	3.156.050	1.856.500
Erdgas-Kessel	kWh _{th} /a	2.080.000	346.950	346.950	159.000
Heizöl-Kessel	kWh _{th} /a	210.000	210.000	210.000	157.500
Summe	kWh_{th}/a	3.640.000	4.875.500	5.550.500	3.713.000
Brennstoffbedarf					
Erdgas	kWh _{Ho} /a	5.261.351	408.934	408.934	187.406
Heizöl	l/a	22.826	56.576	75.326	17.120
Pflanzenöl	l/a				416.667
HHS	Sm ³ /a	0	9.457	13.207	2.696
Bunkervolumen	m ³		210	210	154
Trocknung					
HHS w = 50 %	t/a		2.291	4.776	
HHS w = 50 %	Sm ³ /a	0	9.166	19.104	0
Stromerzeugung					
elektrische Leistung	kW _{el}	195	160	265	250
Vollbenutzungsstunden	h/a	4.500	7.500	7.500	5.500
Stromerzeugung	kWh_{el}/a	877.500	1.200.000	1.987.500	1.375.000
Hilfsenergiebedarf	kWh _{el} /a	36.400	143.691	181.191	55.695

Tabelle: Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz b)

Die bei den Varianten 4a und 4b überschüssige Wärme kann zur Trocknung von ca. 2.300 bzw. 4.800 Tonnen HHS pro Jahr genutzt werden.

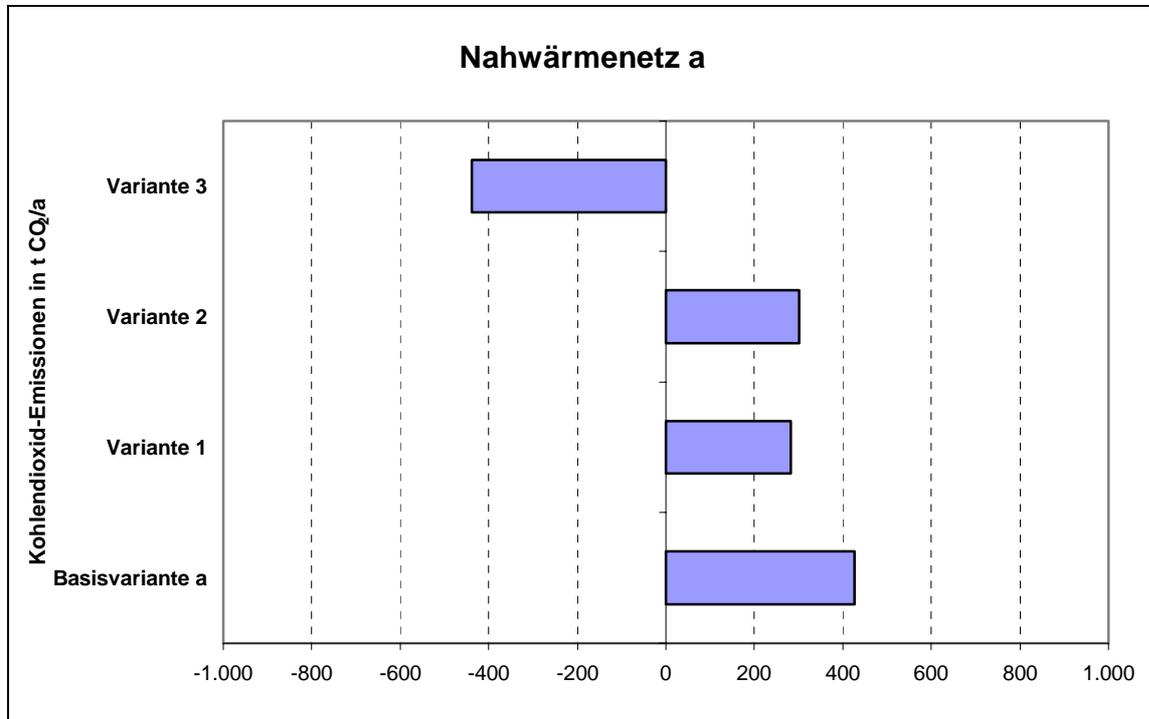
In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte für die Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 6 bis 8, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz c) beziehen, aufgeführt.

		Basis c	Variante 6a	Variante 6b	Variante 7	Variante 8
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Stroh + Erdgas + Heizöl	Stroh + Erdgas + Heizöl
Wärmeleistung						
Erdgas-BHKW	kW _{th}	300				
Holzgas-BHKW	kW _{th}		245	490		
Stroh-Heizwerk	kW _{th}				2.000	
Stroh-Heizkraftwerk	kW _{th}					2.000
Erdgaskessel	kW _{th}	2.006	920	920	920	920
Heizölkessel	kW _{th}	1.050	2.000	1.800	450	450
Summe	kW_{th}	3.356	3.165	3.210	3.370	3.370
Wärmeerzeugung						
Erdgas-BHKW	kWh _{th} /a	1.350.000				
Holzgas-BHKW (Trockn.)	kWh _{th} /a		546.600	1.523.500		
Holzgas-BHKW (Heiz.)	kWh _{th} /a		1.290.900	2.151.500		
Stroh-HW / -HKW	kWh _{th} /a				4.000.000	4.000.000
Erdgas-Kessel	kWh _{th} /a	2.611.000	1.412.100	1.071.500	258.000	258.000
Heizöl-Kessel	kWh _{th} /a	210.000	1.600.000	1.080.000	45.000	45.000
Summe	kWh_{th}/a	4.171.000	4.849.600	5.826.500	4.303.000	4.303.000
Brennstoffbedarf						
Erdgas	kWh _{H₂O} /a	5.904.410	1.664.376	1.262.927	304.093	304.093
Heizöl	l/a	22.826	226.413	222.391	4.891	4.891
HHS	Sm ³ /a	0	9.450	18.900	0	0
Stroh	t/a				1.134	1.786
Trocknung						
HHS w = 50 %	t/a		2.012	5.608		
HHS w = 50 %	Sm ³ /a	0	8.048	22.432	0	0
Stromerzeugung						
elektrische Leistung	kW _{el}	195	265	530		500
Vollbenutzungsstunden	h/a	4.500	7.500	7.500		3.000
Stromerzeugung	kWh_{el}/a	877.500	1.987.500	3.975.000		1.500.000
Hilfsenergiebedarf	kWh _{el} /a	41.710	142.621	246.515	83.030	123.030

Tabelle: Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz c)

Bei Variante 6a und 6b können mit der überschüssigen Wärme ca. 2.000 bzw. 5.600 Tonnen HHS pro Jahr genutzt werden.

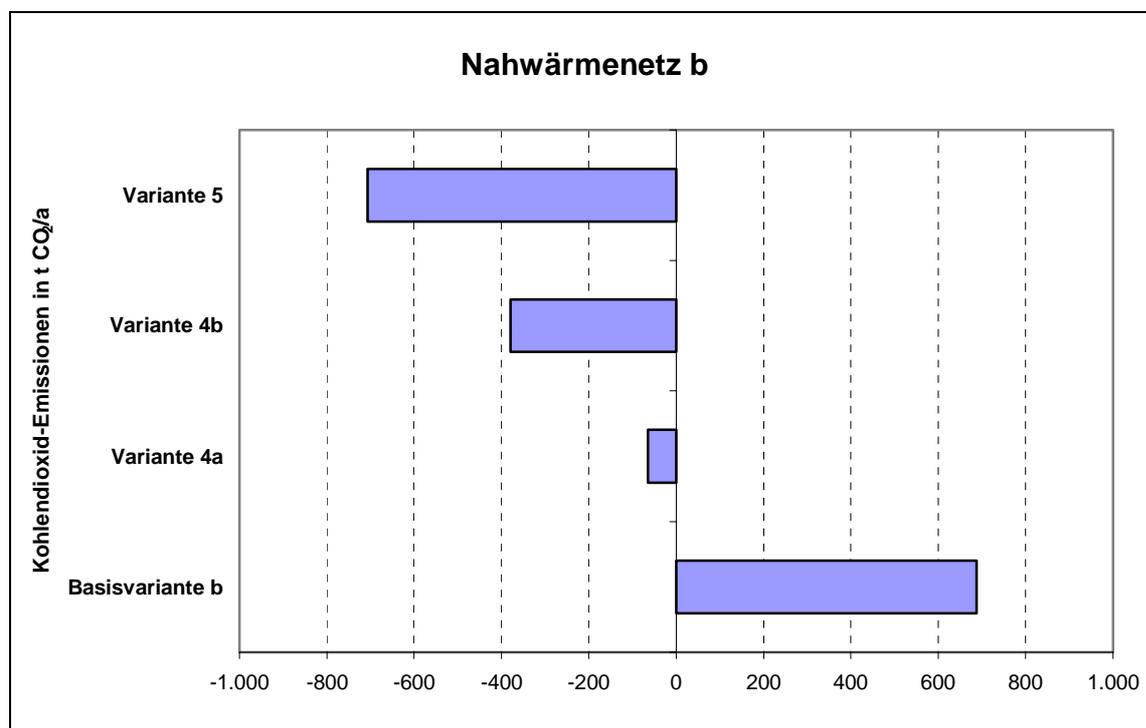
5 CO₂-Emission



Basis a	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + Erdgas + Heizöl

CO ₂ -Emissionen					
Erdgas	t CO ₂ /a	954	89	370	308
Heizöl	t CO ₂ /a	73	27	27	73
HHS	t CO ₂ /a		167	127	
Strom	t CO ₂ /a	-599		-222	-819
Summe	t CO₂/a	427	282	302	-439
Einsparung	t CO ₂ /a		145	125	866
Einsparung	%		34	29	203

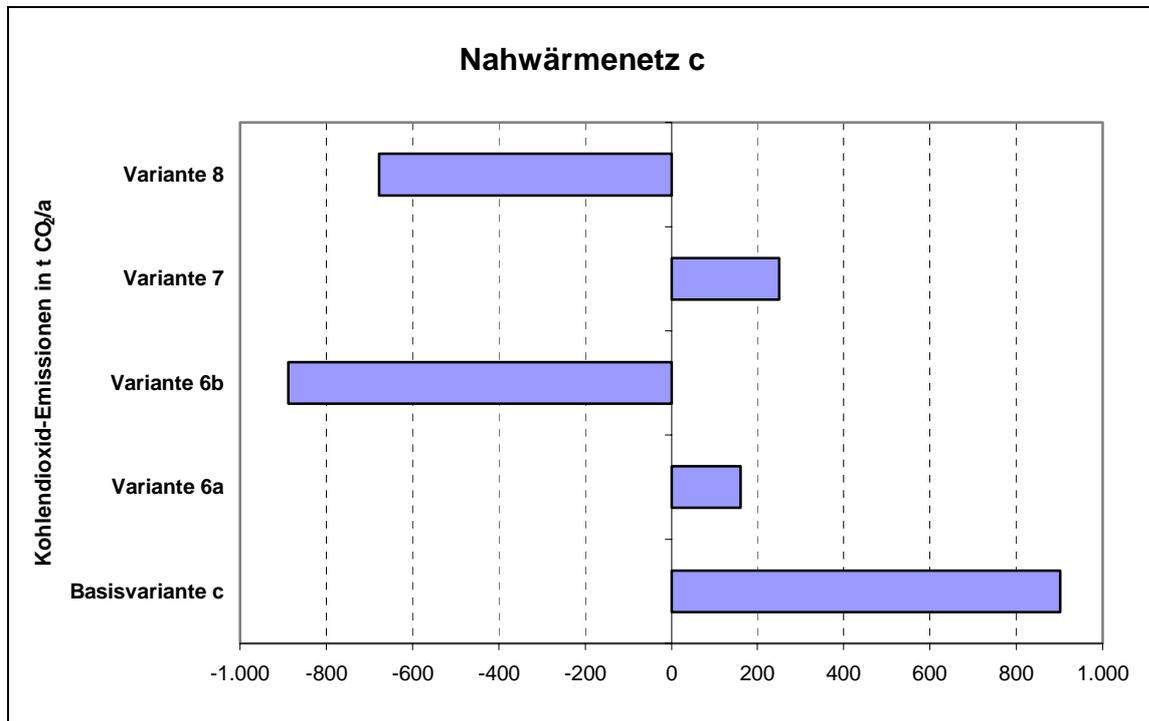
Die höchste CO₂-Einsparmöglichkeit ergibt sich im Vergleich zur Basisvariante a für die Variante 3, da hier mit der Nutzung des nachwachsenden Brennstoffs Pflanzenöl in einem BHKW der doppelte Effekt auftritt. Zum einen ist Pflanzenöl ein nahezu CO₂-neutraler Energieträger und zum anderen erfolgt aufgrund der gleichzeitigen Stromerzeugung eine entsprechende Gutschrift. Diese führt sogar dazu, dass im Saldo eine CO₂-Gutschrift übrig bleibt.



Basis b	Variante 4a	Variante 4b	Variante 5
Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + HHS + Erdgas + Heizöl

CO ₂ -Emissionen					
Erdgas	t CO ₂ /a	1.213	94	94	43
Heizöl	t CO ₂ /a	73	180	239	54
HHS	t CO ₂ /a		480	644	134
Strom	t CO ₂ /a	-599	-819	-1.357	-939
Summe	t CO₂/a	687	-65	-379	-707
Einsparung	t CO ₂ /a		752	1.065	1.394
Einsparung	%		109	155	203

Im Vergleich zur Basisvariante b wird bei allen drei Varianten eine im Saldo CO₂-Gutschrift erreicht. Dies liegt daran, dass bei allen Varianten nachwachsender Brennstoff in einem Kraft-Wärme-Kopplungsprozess zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom eingesetzt wird.



Basis c	Variante 6a	Variante 6b	Variante 7	Variante 8
Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Stroh + Erdgas + Heizöl	Stroh + Erdgas + Heizöl

CO ₂ -Emissionen		Basis c	Variante 6a	Variante 6b	Variante 7	Variante 8
Erdgas	t CO ₂ /a	1.427	384	291	70	70
Heizöl	t CO ₂ /a	73	719	707	16	16
HHS	t CO ₂ /a		414	828		
Stroh	t CO ₂ /a				165	260
Strom	t CO ₂ /a	-599	-1.357	-2.713	0	-1.024
Summe	t CO₂/a	901	160	-888	251	-678
Einsparung	t CO ₂ /a		741	1.789	650	1.579
Einsparung	%		82	199	72	175

Im Vergleich aller betrachteter Varianten wird durch die Variante 6b mit den zwei Holzgas-BHKW (2 * 265 kW_{el} / 245 kW_{th}) die höchste CO₂-Gutschrift erzielt.

6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Rahmenbedingungen

Bestimmung kapitalgebundene Kosten

Zinssatz (dezentrale / zentrale Wärmeversorgung)	5 %
Zinssatz (regenerativer Wärmeversorgung)	3,5 % (KfW Programm zur Förderung erneuerbarer Energien)
Abschreibungsdauer Maschinenteknik	15 Jahre
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	20 Jahre
Abschreibungsdauer Nahwärmenetz	50 Jahre
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten

spezifischer Heizölpreis	40 Ct/l (zzgl. MwSt.)
Arbeitspreis Erdgas	3,72 Ct/kWh _{Ho} (zzgl. MwSt.)
Leistungspreis Erdgas (die ersten 150 kW)	1,44 €/(kW*a) (zzgl. MwSt.)
(die weiteren)	0,65 €/(kW*a) (zzgl. MwSt.)
spezifischer Holzhackschnitzelpreis (Waldholz)	14 €/Sm ³ (zzgl. 7 % MwSt.)
spezifischer Pflanzenölpreis	50 Ct/l (zzgl. MwSt.)
spezifischer Strohpreis	42 €/t (zzgl. 9 % MwSt.)
Allgemeiner Strompreis	14 Ct/kWh _{el} (zzgl. MwSt.)

Bestimmung betriebsgebundene Kosten

Wartung, Instandhaltung	2 % der Investitionen (Heisanlage)
Personalkosten	30 €/h
Sonstige Betriebskosten (z.B. Versicherung)	0,7 % der Investitionen

Bestimmung Gutschrift Stromeinspeisung

Einspeisevergütung EEG bis 150 kW _{el}	11,5 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung EEG bis 500 kW _{el}	9,9 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung EEG bis 5 MW _{el}	8,9 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung EEG Nawaro-Bonus	6,0 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung EEG Technologie-Bonus	2,0 Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung EEG KWK-Bonus	2,0 Ct/kWh _{el}
Vermiedene Stromkosten	14,0 Ct/kWh _{el}

Bestimmung Förderung

Autom. Biomassekessel (feste Biomasse)	60 €/kW _{th}
Erweiterung des Nahwärmenetzes (nur in Verbindung mit Biomasse)	50 €/m Trassenlänge

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten 1 bis 3, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz a) beziehen, aufgeführt.

		Basis a	Variante 1	Variante 2a	Variante 2b	Variante 3
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + Erdgas + Heizöl
Investitionen inkl. MWSt.	€	347.100	468.500	551.700	513.800	435.900
Invest. inkl. Förd. u. MwSt.	€	347.100	420.500	521.700	471.800	435.900
Kapitalkosten inkl. MWSt.	€/a	28.672	36.087	43.666	40.055	33.776
KK inkl. Förd. u. MwSt.	€/a	28.672	32.710	41.556	37.100	33.776
Brennstoffkosten Erdgas	€/a	139.431	15.012	88.936	53.235	50.394
Brennstoffkosten Heizöl	€/a	9.130	3.348	3.348	3.348	9.130
Brennstoffkosten HHS	€/a		47.085	24.928	36.006	
Brennstoffkosten Pflanzenöl	€/a					181.818
Hilfsenergie	€/a	3.762	6.959	5.455	6.207	3.762
Verbrauchskosten	€/a	152.323	72.405	122.666	98.796	245.104
VK inkl. MwSt.	€/a	179.165	79.752	142.245	112.553	284.321
Wartung / Instandhaltung	€/a	14.007	7.568	15.641	11.036	26.422
Personalkosten	€/a	17.825	21.543	22.261	22.710	18.741
Sonstige Betriebskosten	€/a	2.895	3.628	4.129	3.901	3.431
Betriebskosten	€/a	31.833	29.111	37.902	33.746	45.164
BK inkl. MwSt.	€/a	36.926	33.768	43.966	39.146	52.390
Einspeisung Hausnetz	kWh _{el} /a	877.500		780.000	325.000	
Gutschrift	€/a	122.850		109.200	45.500	
Gutschrift inkl. MwSt.	€/a	142.506		126.672	52.780	
Einspeisung öffentliche Netz	kWh _{el} /a					1.200.000
Einnahmen EEG	€/a					195.103
Einnahmen EEG inkl. MWSt.	€/a					226.320
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	102.257	149.607	103.205	138.974	144.167
JK inkl. Förd. u. MwSt.	€/a	102.257	146.230	101.095	136.018	144.167
Wärmepreis inkl. MWSt.	Ct/kWh _{th}	3,9	5,7	3,9	5,3	5,5
WP inkl. Förd. u. MwSt.	Ct/kWh_{th}	3,9	5,5	3,8	5,2	5,5

Tabelle: Wirtschaftlichkeit der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz a)

Im Vergleich zur Basisvariante a ergibt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nur für die Variante 2a Jahreskosten in gleicher bzw. unter Berücksichtigung von Fördermitteln aus dem Marktanzreizprogramm des Bundes in geringfügig niedrigerer Höhe.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten 4 bis 5, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz b) beziehen, aufgeführt.

		Basis b	Variante 4a	Variante 4b	Variante 5
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + Erdgas + Heizöl
Investitionen inkl. MwSt.	€	347.100	1.229.900	1.496.700	848.600
Invest. inkl. Förd. u. MwSt.	€	347.100	1.134.150	1.400.950	767.850
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	28.672	88.861	108.537	60.741
KK inkl. Förd. u. MwSt.	€/a	28.672	82.727	102.404	55.663
Brennstoffkosten Erdgas	€/a	181.315	15.929	15.929	7.688
Brennstoffkosten Heizöl	€/a	9.130	22.630	30.130	6.848
Brennstoffkosten HHS	€/a	0	132.401	184.901	37.750
Brennstoffkosten Pflanzenöl	€/a				208.333
Hilfsenergie	€/a	5.096	20.117	25.367	7.797
Verbrauchskosten	€/a	195.542	191.077	256.327	268.417
VK inkl. MwSt.	€/a	229.299	209.733	280.698	307.966
Wartung / Instandhaltung	€/a	12.519	28.805	41.780	22.125
Personalkosten	€/a	11.188	24.334	29.048	16.881
Sonstige Betriebskosten	€/a	2.195	7.521	9.131	5.221
Betriebskosten	€/a	23.707	53.139	70.829	39.006
BK inkl. MwSt.	€/a	27.500	61.641	82.161	45.247
Einspeisung Hausnetz	kWh _{el} /a	877.500			
Gutschrift	€/a	122.850			
Gutschrift inkl. MwSt.	€/a	142.506			
Einspeisung öffentliche Netz	kWh _{el} /a		1.200.000	1.987.500	1.375.000
Einnahmen EEG	€/a		221.379	356.476	223.556
Einnahmen EEG inkl. MwSt.	€/a		256.800	413.513	259.325
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	142.964	103.435	57.884	154.629
JK inkl. Förd. u. MwSt.	€/a	142.964	97.302	51.750	149.551
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	4,0	2,9	1,6	4,3
WP inkl. Förd. u. MwSt.	Ct/kWh_{th}	4,0	2,7	1,4	4,2

Tabelle: Wirtschaftlichkeit der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz b)

Bei den Varianten 4a und 4b wird im wesentlichen durch die EEG-Vergütung eine optimale Wirtschaftlichkeit erreicht. Bei diesen Varianten wird im Vergleich zur Basisvariante noch mit 4.300 bzw. 3.500 Vollbenutzungsstunden anstatt der angesetzten 7.500 Vollbenutzungsstunden ein Wärmepreis von 4,0 Ct/kWh_{th} erreicht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten 6 bis 8, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz c) beziehen, aufgeführt.

		Basis c	Variante 6a	Variante 6b	Variante 7	Variante 8
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Stroh + Erdgas + Heizöl	Stroh + Erdgas + Heizöl
Investitionen inkl. MwSt.	€	347.100	1.434.452	2.234.852	1.765.252	2.832.452
Invest. inkl. Förd. u. MwSt.	€	347.100	1.352.702	2.153.102	1.683.502	2.750.702
Kapitalkosten inkl. MwSt.	€/a	28.672	101.415	160.444	125.445	204.151
KK inkl. Förd. u. MwSt.	€/a	28.672	96.937	155.966	120.967	199.673
Brennstoffkosten Erdgas	€/a	205.237	62.631	47.697	12.029	12.029
Brennstoffkosten Heizöl	€/a	9.130	90.565	88.957	1.957	1.957
Brennstoffkosten HHS	€/a	0	132.477	264.600	0	0
Brennstoffkosten Stroh					47.619	75.000
Hilfsenergie	€/a	5.839	19.967	34.512	11.624	17.224
Verbrauchskosten	€/a	220.207	305.640	435.766	73.229	106.209
VK inkl. MwSt.	€/a	257.910	342.620	481.675	81.612	117.953
Wartung / Instandhaltung	€/a	14.007	39.752	67.577	28.393	40.893
Personalkosten	€/a	17.825	31.161	35.875	35.121	92.448
Sonstige Betriebskosten	€/a	2.895	8.656	13.486	10.652	17.092
Betriebskosten	€/a	31.833	70.912	103.452	63.514	133.341
BK inkl. MwSt.	€/a	36.926	82.258	120.004	73.676	154.676
Einspeisung Hausnetz	kWh _{el} /a	877.500				
Gutschrift	€/a	122.850				
Gutschrift inkl. MwSt.	€/a	142.506				
Einspeisung öffentliche Netz	kWh _{el} /a		1.987.500	3.975.000		1.500.000
Einnahmen EEG	€/a	0	356.476	695.496	0	228.621
Einnahmen EEG inkl. MwSt.	€/a	0	413.513	806.775	0	265.200
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	181.002	112.780	-44.652	280.733	211.580
JK inkl. Förd. u. MwSt.	€/a	181.002	108.302	-49.130	276.255	207.102
Wärmepreis inkl. MwSt.	Ct/kWh _{th}	4,4	2,7	-1,1	6,8	5,1
WP inkl. Förd. u. MwSt.	Ct/kWh_{th}	4,4	2,6	-1,2	6,7	5,0

Tabelle: Wirtschaftlichkeit der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz c)

Bei Variante 6b wird sogar soviel durch die EEG-Vergütung eingenommen, dass damit sämtliche Kosten gedeckt werden können und ein Überschuss erwirtschaftet werden kann. Auch bei der Variante 6a und 6b wird mit 4.300 bzw. 2.500 Vollbenutzungsstunden noch eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Basisvariante c erreicht.

7 Zusammenfassung

In dieser Machbarkeitsstudie wurde die Erweiterung des bestehenden Nahwärmeverbunds, der zurzeit das Hallenbad, das Ambulante Reha-Zentrum Hunsrück, die Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle und die Turnhalle „Spesenrother Weg“ in Kastellaun mit Wärme versorgt, zur Versorgung weiterer kommunaler und kirchlicher Liegenschaften untersucht.

Es wurden drei unterschiedlich große Nahwärmenetze betrachtet:

- bestehender Nahwärmeverbund (Nahwärmenetz a)
- Erweiterung des Nahwärmeverbund um folgende Liegenschaften (Nahwärmenetz b)
 - Ärztehaus
 - Alte Mädchen-Berufsschule
 - Grundschule Kastellaun
 - Evangelischer Kindergarten Kastellaun „Regenbogenland“
 - eventuell geplantes Wohnheim
 - Theodor-Heuss-Schule Sonderschule G Kastellaun
 - Förderkindergarten
- Erweiterung des Nahwärmeverbundes (wie oben) und zusätzlicher Anschluss des Seniorenzentrums Kastellaun sowie die Erschließung des ehemaligen Milchwerkes als Standort für ein Heiz- bzw. Heizkraftwerk (Nahwärmenetz c).

Außerdem wurde der Einsatz verschiedener Wärmeerzeuger auch auf Basis von regenerativen Energien wie Holz, Pflanzenöl und Stroh in Betracht gezogen.

Folgende Varianten wurden für den bestehenden Wärmeverbund untersucht:

- Basisvariante Erdgas-BHKW + Spitzenlastkessel
- Variante 1 HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 2 BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 3 Pflanzenöl-BHKW + Spitzenlastkessel

Folgende Varianten wurden für die Erweiterung des bestehenden Wärmeverbunds untersucht:

- Variante 4 Holzgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 5 Pflanzenöl-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel
- Variante 6 Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel
- Variante 7 Stroh-Heizwerk + Spitzenlastkessel
- Variante 8 Stroh-Heizkraftwerk + Spitzenlastkessel

Es zeigt sich, dass durch den Einsatz von nachwachsenden Brennstoffen in Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen zur gleichzeitigen Erzeugung von Wärme und Strom die höchsten CO₂-Einsparungen erreicht werden können. Hierdurch werden im Saldo CO₂-Gutschrift erzielt. Im Vergleich aller betrachteter Varianten wird durch die Variante 6b mit den zwei Holzgas-BHKWs ($2 * 265 \text{ kW}_{\text{el}} / 245 \text{ kW}_{\text{th}}$) die höchste CO₂-Gutschrift erzielt.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergibt für das bestehende Nahwärmenetz nur für die Variante mit Erdgas-BHKW und HHS-Kessel (Variante 2a) Jahreskosten in gleicher bzw. unter Berücksichtigung von Fördermitteln aus dem Marktanzreizprogramm des Bundes in geringfügig niedrigerer Höhe.

Bei den Varianten 4a und 4b wird im wesentlichen durch die EEG-Vergütung eine optimale Wirtschaftlichkeit erreicht. Hier wird im Vergleich zur Basisvariante auch noch mit 4.300 bzw. 3.500 Vollbenutzungsstunden anstatt der angesetzten 7.500 Vollbenutzungsstunden der Wärmepreis der Basisvariante b von 4,0 Ct/kWh_{th} erreicht.

Bei Variante 6b wird sogar soviel durch die EEG-Vergütung eingenommen, dass damit sämtliche Kosten gedeckt werden können und ein Überschuss erwirtschaftet werden kann. Auch bei der Variante 6a und 6b wird mit 4.300 bzw. 2.500 Vollbenutzungsstunden noch eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Basisvariante c erreicht.

Ausblick

Es zeigt sich, dass die Varianten bei denen Holz als nachwachsender Brennstoff im KWK-Prozess eingesetzt wird, die aus ökologischer und ökonomischer Sichtweise sinnvollste Lösung darstellt.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wurde ein Holzpreis von 15 € (inkl. MWSt.) pro Schüttqubikmeter bzw. 60 €/t Waldhackschnitzel angesetzt. Wird hier aber auch Landschaftspflegeholz, das beim Abfallwirtschaftsbetrieb Rhein-Hunsrück anfällt, eingesetzt, kann mit einem günstigeren Mischpreis kalkuliert werden.

8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1 Biomassekessel mit Holzhackschnitzzellager (Quelle: Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 3-2 Unterschubfeuerung und Rostfeuerung (Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.).....	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Ist-Daten BHKW	5
Tabelle 2-2 Ist-Daten Heizkesselanlage IGS Altbau	6
Tabelle 2-3 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Neubau.....	7
Tabelle 2-4 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Sporthalle	8
Tabelle 2-5 Ist-Daten Hallenbad	9
Tabelle 2-6 Ist-Daten Reha-Zentrum	10
Tabelle 2-7 Ist-Daten Ärzte-Haus	11
Tabelle 2-8 Ist-Zustand Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle	11