

Machbarkeitsstudie

Holz-Wärmeverbund in Kastellaun

Endbericht

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 9. Mai 2005



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



Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz



Prof. Dr. Ralf Simon

Inhalt

1	Abkürzungsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Ist-Analyse	7
3.1	Bestehender Nahwärmeverbund	7
3.1.1	Hallenbad „AQUA fit“	11
3.1.2	Ambulantes Reha-Zentrum	12
3.1.3	Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle	13
3.1.4	Turnhalle „Spesenrother Weg“	13
3.2	Dezentrale Wärmeversorgung	14
3.2.1	Ärzte-Haus	14
3.2.2	Alte Mädchen Berufsschule.....	14
3.2.3	Grundschule.....	15
3.2.4	Evangelischer Kindergarten	16
3.2.5	Seniorenzentrum.....	17
3.2.6	Förderkindergarten	17
3.2.7	Theodor-Heuss-Schule	18
3.2.8	Wohnheim (geplanter Neubau)	19
4	Wärmeversorgung	20
4.1	Nahwärmeverorgung.....	20
4.1.1	Nahwärmenetz A.....	20
4.1.2	Nahwärmenetz B.....	22
4.1.3	Nahwärmenetz C	24
4.2	Wärmeerzeugung	26
4.2.1	HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 1).....	26
4.2.2	BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 2).....	26
4.2.3	Pflanzenöl-BHKW + Spitzenlastkessel (Variante 3)	26
4.2.4	Holzgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 4).....	27
4.2.5	Pflanzenöl-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 5)	27
4.2.6	Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel (Variante 6)	28
4.2.7	Stroh-Heizwerk + Spitzenlastkessel (Variante 7).....	28
4.2.8	Stroh-Heizkraftwerk + Spitzenlastkessel (Variante 8).....	28

4.3	Technologie und Rohstoff.....	29
4.3.1	Strohfeuerungstechnik und Strohpotenzial.....	29
4.3.2	Holzfeuerungstechnik.....	31
4.3.3	Holzgas-BHKW	35
4.3.4	BHKW / Pflanzenöl-BHKW.....	37
4.3.5	Landschaftspflegegrün.....	38
5	Energiebilanzen	39
5.1	CO ₂ -Emission	43
5.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	46
5.2.1	Rahmenbedingungen.....	46
5.2.2	Wirtschaftlichkeit.....	47
5.2.3	Sensitivitätsbetrachtung	51
6	Solarenergie.....	53
6.1	Solarthermie	53
6.1.1	Solarthermie für den Wärmeverbund Kastellaun.....	57
6.2	Photovoltaik	58
6.2.1	Photovoltaik für den Wärmeverbund Kastellaun.....	63
7	Zusammenfassung	65
8	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	67
9	Anhang.....	69

1 Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
BK	Betriebskosten
CO ₂	Kohlendioxid
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
el	elektrisch
HHS	Holzhackschnitzel
Ho	oberer Heizwert
Hu	unterer Heizwert
HÜS	Hausübergabestation
HW	Heizwerk
HKW	Heizkraftwerk
IGS	Integrierte Gesamtschule
KK	Kapitalkosten
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
Sm ³	Schüttqubikmeter
th	thermisch
VK	Verbrauchskosten
WP	Wärmepreis

2 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.

3 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.

3.1 Bestehender 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 3-1 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 3-1 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 3-2 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 3-3 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Neubau

Die beiden Brennwertkessel 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 3-4 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.

3.1.1 Hallenbad „AQUA fit“

Das Hallenbad „AQUA fit“ in der Theodor-Heuss-Strasse 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 3-5 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

3.1.2 Ambulantes Reha-Zentrum

Auch das Reha-Zentrum befindet sich in der Theodor-Heuss-Strasse in direkter Nachbarschaft zum Hallenbad. Es 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	266.000 kWh _{th} /a
Jahresnutzungsgrad	100 %
Wärmebedarf	266.000 kWh _{th} /a
Annahme Wärmeleistung	80 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	3.325 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...3.500 h/a ¹

Tabelle 3-6 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 Kubessa Michael, Energiekennwerte: Handbuch für Beratung, Planung und Betrieb, 1998, Potsdam

3.1.3 Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle

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

Die Heizkesselanlagen sind im Kapitel 1.1 mit den Anlagenkenndaten vorgestellt. Für die Ermittlung des Wärmebedarfs werden 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 3-7 Ist-Zustand Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle

3.1.4 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
Summe	180.000 kWh _{th} /a

3.2 Dezentrale Wärmeversorgung

3.2.1 Ärzte-Haus

Zwei Erdgas-Brennwertkessel versorgen das Ärzte-Haus in der Theodor-Heuss-Strasse, 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 %

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	11.342 m ³ /a
Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	111.147 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	93 %
Wärmeerzeugung	103.366 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	52 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.988 h/a

Tabelle 3-8 Ist-Daten Ärzte-Haus

Der gute Jahresnutzungsgrad und die hohen Vollbenutzungsstunden zeigen, dass die installierte Wärmeleistung passend ausgelegt ist. Mit einem Jahresnutzungsgrad von 93 % ergibt sich ein Wärmebedarf von ca. 103.000 kWh_{th}/a.

3.2.2 Alte Mädchen Berufsschule

Die „Alte Mädchen Berufsschule“ am Spesenrother Weg wird durch einen 17 Jahre alten mit Erdgas betriebenen Kessel mit Wärme versorgt.

Fabrikat	Fröling
Wärmeleistung	56 kW _{th}
Baujahr	1987

Erdgasverbrauch 2003	5.016 m ³ /a
Erdgasverbrauch 2003	49.157 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	87 %
Wärmeerzeugung	42.766 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	56 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	764 h/a

Tabelle 3-9 Ist-Daten Alte Mädchen Berufsschule

Hier liegt nur der Erdgasverbrauch des Jahres 2003 mit ca. 5.000 m³/a vor. Mit einem Jahresnutzungsgrad von 87 % ergibt sich ein Wärmebedarf von ca. 43.000 kWh_{th}/a.

3.2.3 Grundschule

Die Wärmeversorgung der Grundschule in der Pestalozzistrasse erfolgt über zwei Heizkesselanlagen, von denen derzeit nur der 19 Jahre alte mit einem Erdgasbrenner ausgestattete Kessel (Kessel 1) genutzt wird. Der acht Jahre alte mit einem Heizölbrenner ausgestattete Kessel (Kessel 2) dient als Reservekessel. Vom Heizraum der Grundschule wird das Nebengebäude über eine Nahwärmeleitung mit Wärme versorgt.

	Kessel 1	Kessel 2
Fabrikat, Bezeichnung	Fröling FSM-R 230	Viessmann Randomat RG 423
Wärmeleistung	233 kW _{th}	230 kW _{th}
Baujahr	1985	1996

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	21.748 m ³ /a
Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	213.126 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	89 %
Wärmeerzeugung	189.682 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	230 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	825 h/a

Tabelle 3-10 Ist-Daten Grundschule

Anhand des über die Jahre 2000 bis 2003 gemittelten Erdgasverbrauchs von 21.750 m³/a wird mit einem Jahresnutzungsgrad von 89 % ein Wärmebedarf von ca. 190.000 kWh_{th}/a ermittelt.

Bei einer dezentralen Wärmeversorgung sollte Kessel 2 mit einem neuen Erdgasbrenner ausgestattet werden. Der ältere Kessel 1 kann dann mit dem vorhandenen Ölbrenner von Kessel 2 als Reservekessel weiter betrieben werden. Der Erdgasliefervertrag ist dann entsprechend zu überprüfen.

3.2.4 Evangelischer Kindergarten

Der evangelische Kindergarten "Regenbogenland" (Pestalozzistrasse 10) wird durch einen 16 Jahre alten mit Erdgas betriebenen Kessel mit Wärme versorgt.

Fabrikat	Buderus Logana
Wärmeleistung	64 kW _{th}
Baujahr	1988

Aufgrund einer mangelhaft ausgeführten Dachsanierung wurde die Dämmung durchnässt, sodass sich in den Jahren 2002 und 2003 ungewöhnlich hohe Erdgasverbrauchswerte ergaben. Da das Dach mittlerweile saniert und die Dämmung erneuert wurde, kann von einem reduzierten Erdgasverbrauch ausgegangen werden. Hierbei werden 75 % des Erdgasverbrauches der Jahre 2000 und 2001 angenommen, dies entspricht einem Erdgasverbrauch von 148.800 kWh_{HU}/a.

Erdgasverbrauch, reduziert	135.022 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	90 %
Wärmeerzeugung	121.520 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	64 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.898 h/a

Tabelle 3-11 Ist-Daten evangelischer Kindergarten

Mit einem Jahresnutzungsgrad von 90 % ergibt sich ein Wärmebedarf von ca. 122.000 kWh_{th}/a. Die hohen Vollbenutzungsstunden zeigen, dass die installierte Wärmeleistung passend ausgelegt ist.

3.2.5 Seniorenzentrum

Das Seniorenzentrum (Südstrasse 14) wurde mehrfach erweitert. Die Wärmeversorgung erfolgt deshalb durch drei mit Erdgas betriebene Kessel, die jeweils Teile des Heizungsnetzes versorgen.

	Kessel 1	Kessel 2	Kessel 3
Fabrikat, Bezeichnung	De Dietrich	Viessmann Paromat Duplex	Viessmann Litola
Wärmeleistung	116 kW _{th}	130 kW _{th}	42 kW _{th}
Baujahr	1988	1994	1999

Die Erdgasverbrauchsdaten des Seniorenzentrums liegen nicht vollständig vor. Es mussten für die Ermittlung des Gesamtverbrauchs Daten der unterschiedlichen Heizanlagen aus den Jahren 2002 und 2003 zusammengefasst und gemittelt werden. Bei den weiteren Planungen sollten die hier angesetzten Daten noch einmal verifiziert werden.

Erdgasverbrauch, gemittelt 2002 - 2003	649.845 kWh _{Ho} /a
Jahresnutzungsgrad	90 %
Wärmeerzeugung	530.700 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	288 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.843 h/a

Tabelle 3-12 Ist-Daten Seniorenzentrum

Mit einem Jahresnutzungsgrad von 90 % ergibt sich aus einem Erdgasverbrauch von ca. 650.000 kWh_{Ho} ein Wärmebedarf von ca. 531.000 kWh_{th}/a. Die hohen Vollbenutzungsstunden zeigen, dass die installierte Wärmeleistung nicht überdimensioniert ist.

3.2.6 Förderkindergarten

Der Förderkindergarten (Theodor-Heuss-Str. 10) wird durch einen 16 Jahre alten mit Erdgas betriebenen Kessel mit Wärme versorgt. Träger der Einrichtung ist der Rhein-Hunsrück-Kreis.

Fabrikat, Bezeichnung	Buderus Logana
Wärmeleistung	40 kW _{th}
Baujahr	1988

Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	7.880 m ³ /a
Erdgasverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	77.224 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	88 %
Wärmeerzeugung	67.959 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	56 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	764 h/a

Tabelle 3-13 Ist-Daten Förderkindergarten

Anhand des über die Jahre 2000 bis 2003 gemittelten Erdgasverbrauchs von 7.880 m³/a wird mit einem Jahresnutzungsgrad von 88 % ein Wärmebedarf von ca. 68.000 kWh_{th}/a ermittelt.

3.2.7 Theodor-Heuss-Schule

Die Theodor-Heuss-Schule (Theodor-Heuss-Str. 8) wird durch einen 20 Jahre alten mit Heizöl betriebenen Kessel mit Wärme versorgt. Träger der Einrichtung ist der Rhein-Hunsrück-Kreis.

Fabrikat, Bezeichnung	Fröling FSM-R 290
Wärmeleistung	290 kW _{th}
Baujahr	1984

Heizölverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	33.531 l/a
Heizölverbrauch, gemittelt 2000 - 2003	335.310 kWh _{HU} /a
Jahresnutzungsgrad	91 %
Wärmeerzeugung	305.132 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	290 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.052 h/a

Tabelle 3-14 Ist-Daten Theodor-Heuss-Schule

Anhand des über die Jahre 2000 bis 2003 gemittelten Heizölverbrauchs von ca. 33.500 l/a wird mit einem Jahresnutzungsgrad von 91 % ein Wärmebedarf von ca. 305.000 kWh_{th}/a ermittelt.

3.2.8 Wohnheim (geplanter Neubau)

In der Theodor-Heuss-Strasse soll zwischen der Theodor-Heuss-Schule und der Sporthalle der IGS evtl. ein Wohnheim für Behinderte entstehen.

Wärmeerzeugung	136.000 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	80 kW _{th}
Vollbenutzungsstunden	1.700 h/a

Tabelle 3-15 Ist-Daten Wohnheim (geplanter Neubau)

Dieser Neubau wird in den weiteren Betrachtungen mit einem Wärmeleistungsbedarf von 80 kW_{th} (1.600 m², 50 W_{th}/m²) und einem Wärmebedarf von 136.000 kWh_{th}/a (b_v = 1.700 h/a) angesetzt. Träger der Einrichtung ist der Rhein-Hunsrück-Kreis.

4 Wärmeversorgung

4.1 Nahwärmeversorgung

Zunächst werden die drei Nahwärmevarianten A, B und C unterschieden. Des Weiteren werden insgesamt acht Varianten der Wärmeerzeugung betrachtet.

4.1.1 Nahwärmenetz A

Durch den bestehenden Nahwärmeverbund mit einer Trassenlänge von ca. 790 m werden zurzeit 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 die derzeit noch mit Strom beheizten Gebäudeteile der IGS (Bauteil D und E) an das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz A) angeschlossen werden.

Nahwärmenetz (A)	Wärmeleistung kW _{th}	Wärmebedarf kWh _{th} /a
Hallenbad	582	636.000
Reha-Zentrum	80	266.000
IGS	1.660	1.353.000
Sporthalle	300	241.000
Turnhalle	154	140.000
Summe	2.776	2.636.000
Nahwärmeverluste	21	51.000
Summe	2.797	2.687.000
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,8	
Auslegung Heizzentrale	2.237	2.687.000

Tabelle 4-1 Wärmeleistung und -bedarf (Nahwärmenetz A)

Aus den Verbrauchsdaten des bestehenden Nahwärmeverbundes und unter Berücksichtigung eines Gleichzeitigkeitsfaktors von 80 % ergeben sich für das Nahwärmenetz B ein Wärmeleistungsbedarf von 2.237 kW_{th} und ein Gesamtwärmebedarf von 2.687 MWh_{th}/a.

Folgende Varianten werden für den bestehenden Wärmeverbund (Nahwärmenetz A) 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.

4.1.2 Nahwärmenetz B

Folgende Liegenschaften werden zurzeit 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 kW_{th} wird in die nachfolgenden Betrachtungen mit einbezogen. In den Basisvarianten wird davon ausgegangen, dass zur Wärmeversorgung ein dezentraler Erdgas-Brennwertkessel vorgesehen würde.

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

Nahwärmenetz (B)	Wärmeleistung	Wärmebedarf
	kW _{th}	kWh _{th} /a
Hallenbad	582	636.000
Reha-Zentrum	80	266.000
IGS	1.660	1.353.000
Sporthalle	300	241.000
Turnhalle	154	140.000
Ärzte-Haus	50	103.000
evtl. geplantes Wohnheim	80	136.000
Sonderschule G	280	305.000
Förderkindergarten	40	68.000
alte Mädchen-Berufsschule	50	43.000
Grundschule	230	190.000
ev. Kindergarten	64	108.000
Summe	3.570	3.589.000
Nahwärmeverluste	41	124.000
Summe	3.611	3.713.000
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,8	
Auslegung Heizzentrale	2.889	3.713.000

Tabelle 4-2 Wärmeleistung und -bedarf (Nahwärmenetz B)

Aus den Verbrauchsdaten aller Liegenschaften (ohne Seniorenheim) und unter Berücksichtigung der Nahwärmeverluste sowie eines Gleichzeitigkeitsfaktors von 80 % ergeben sich für das Nahwärmenetz B ein Wärmeleistungsbedarf von 2.889 kW_{th} und ein Gesamtwärmebedarf von 3.713 MWh_{th}/a.

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.

Das Nahwärmenetz B stellt eine Erweiterung des bestehenden Nahwärmeverbundes um eine Trassenlänge von ca. 790 m auf ca. 1.500 m dar.

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}

4.1.3 Nahwärmenetz C

Die dritte Variante des Nahwärmenetzes berücksichtigt den Anschluss aller betrachteten Liegenschaften inkl. Seniorenheim (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.

Nahwärmenetz (C)	Wärmeleistung	Wärmebedarf
	kW_{th}	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$
Hallenbad	582	636.000
Reha-Zentrum	80	266.000
IGS	1.660	1.353.000
Sporthalle	300	241.000
Turnhalle	154	140.000
Ärzte-Haus	50	103.000
evtl. geplantes Wohnheim	80	136.000
Sonderschule G	280	305.000
Förderkindergarten	40	68.000
alte Mädchen-Berufsschule	50	43.000
Grundschule	230	190.000
ev. Kindergarten	64	108.000
Seniorenzentrum	290	531.000
Summe	3.860	4.120.000
Nahwärmeverluste	73	183.000
Summe	3.933	4.303.000
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,8	
Auslegung Heizzentrale	3.147	4.303.000

Tabelle 4-3 Wärmeleistung und -bedarf (Nahwärmenetz C)

Aus den Verbrauchsdaten aller Liegenschaften und unter Berücksichtigung der Nahwärmeverluste sowie eines Gleichzeitigkeitsfaktors von 80 % ergeben sich für das Nahwärmenetz C ein Wärmeleistungsbedarf von 3.147 kW_{th} und ein Gesamtwärmebedarf von 4.303 $\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$.

Folgende Varianten werden für die große Variante des Wärmeverbunds untersucht:

- **Basisvariante C 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 6a Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 1 Holzgas-BHKW (265 kW_{el} / 245 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (2.000 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 6b Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 2 Holzgas-BHKW (2 * 265 kW_{el} / 245 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (1.800 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 6b neu Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel**
 - 2 Holzgas-BHKW (2 * 265 kW_{el} / 245 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 1 HHS-Kessel (950 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 1 Heizölkessel (920 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 7 Stroh-Heizwerk + Spitzenlastkessel**
 - 1 Stroh-HW (2.000 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (450 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
- **Variante 8 Stroh-Heizkraftwerk + Spitzenlastkessel**
 - 1 Stroh-HKW (500 kW_{el} / 2.000 kW_{th}) im alten Milchwerk
 - 2 Erdgaskessel (2*460 kW_{th}) im Bauteil F der IGS
 - 1 Heizölkessel (450 kW_{th}) im Bauteil F der IGS

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

Das Nahwärmenetz C stellt eine Erweiterung des bestehenden Nahwärmeverbundes um eine Trassenlänge von ca. 790 m auf ca. 2.400 m dar.

4.2 Wärmeerzeugung

Mit den Versorgungsvarianten werden unterschiedliche Wärmenetze belieferte sowie unterschiedliche Kessel stillgelegt, erneuerte oder umgestellt. Zunächst werden stichpunktartig diese Spezifikationen der Varianten dargestellt. Anschließend werden die vorgesehenen neuen Technologien, die bei verschiedenen Varianten zum Einsatz kommen erläutert.

Neben den fossilen Energieträgern Erdgas und Heizöl die in den Varianten 1 und 2 die Wärmeversorgung sichern, wurden auch die regenerativen Energieträger Pflanzenöl und Holzhackschnitzel untersucht. In der Variante 7 und 8 wird die Bereitstellung der notwendigen Heizenergie auf Basis von Stroh untersucht.

4.2.1 HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 1)

Versorgungsnetz:	vorhandenes Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Sporthalle, Turnhalle
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau
Kessel; Neubau	Biomassekessel in Heizraum IGS Altbau Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel)

4.2.2 BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 2)

Versorgungsnetz:	vorhandenes Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Sporthalle, Turnhalle
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Erdgas-BHKW in Hallenbad Biomassekessel in Heizraum IGS Altbau Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel)

4.2.3 Pflanzenöl-BHKW + Spitzenlastkessel (Variante 3)

Versorgungsnetz:	vorhandenes Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Sporthalle, Turnhalle
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Pflanzenöl-BHKW in Hallenbad Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel)

4.2.4 Holzgas-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 4)

Versorgungsnetz:	mittleres Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Ärztehaus, Sporthalle, Turnhalle, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, evtl. geplantes Wohnheim, Sonderschule G, Förderkindergarten
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle Erdgas-Kessel und Heizöl-Kessel Ärztehaus, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten Sonderschule G, Förderkindergarten
Kessel; Bestand	Nutzung Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Biomassekessel in Heizraum IGS Altbau Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel) Holzgas-BHKW zur HHS-Trocknung für Biomassekessel auf Gelände ehem. Milchwerke

4.2.5 Pflanzenöl-BHKW + HHS-Kessel + Spitzenlastkessel (Variante 5)

Versorgungsnetz:	mittleres Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Ärztehaus, Sporthalle, Turnhalle, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, evtl. geplantes Wohnheim, Sonderschule G, Förderkindergarten
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle Erdgas-Kessel und Heizöl-Kessel Ärztehaus, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten Sonderschule G, Förderkindergarten
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Pflanzenöl-BHKW in Hallenbad Biomassekessel in Heizraum IGS Altbau Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel)

4.2.6 Holzgas-BHKW + Spitzenlastkessel (Variante 6)

Versorgungsnetz:	großes Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Ärztehaus, Sporthalle, Turnhalle, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, evtl. geplantes Wohnheim, Sonderschule G, Förderkindergarten, Seniorenzentrum
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas- und Heizöl-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle, Ärztehaus, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, Sonderschule G, Förderkindergarten, Seniorenzentrum
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Holzgas-BHKW auf Gelände ehem. Milchwerk Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel) <i>bzw. HHS-Kessel + Heizöl-NT-Kessel im ehem. Milchwerk (Variante 6b neu)</i>

4.2.7 Stroh-Heizwerk + Spitzenlastkessel (Variante 7)

Versorgungsnetz:	großes Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Ärztehaus, Sporthalle, Turnhalle, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, evtl. geplantes Wohnheim, Sonderschule G, Förderkindergarten, Seniorenzentrum
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas- und Heizöl-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle, Ärztehaus, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, Sonderschule G, Förderkindergarten, Seniorenzentrum
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Stroh-Heizwerk auf Gelände ehem. Milchwerk Neuer Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel)

4.2.8 Stroh-Heizkraftwerk + Spitzenlastkessel (Variante 8)

Versorgungsnetz:	großes Nahwärmenetz
Gebäude:	IGS, Hallenbad, Reha, Ärztehaus, Sporthalle, Turnhalle, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, evtl. geplantes Wohnheim, Sonderschule G, Förderkindergarten, Seniorenzentrum
Kessel; Stilllegung	Erdgas/Heizöl-BHKW in Hallenbad Erdgas- und Heizöl-Kessel der IGS Altbau A und IGS Sporthalle, Ärztehaus, alte Mädchen-Berufsschule, Grundschule, ev. Kindergarten, Sonderschule G, Förderkindergarten, Seniorenzentrum
Kessel; Bestand	Erdgas-BW-Kessel in IGS Neubau F
Kessel; Neubau	Stroh-Heizkraftwerk auf Gelände ehem. Milchwerk Heizöl-NT-Kessel in Heizraum IGS Neubau F (Spitzenlastkessel)

4.3 Technologie und Rohstoff

4.3.1 Strohfeuerungschnik und Strohpotenzial

Strohpotenzial

Als Erträge aus dem Getreideanbau wird neben dem Kornertrag Biomasse in Form von Stroh gewonnen. Sofern Stroh nicht auf den Flächen verbleibt oder als Einstreu im Stall verwendet und in Form von Stallmist auf die Flächen zurückgeführt wird, ist eine energetische Nutzung möglich. Getreidestroh kann in einem Trockenfermenter oder einer Biogasanlage vergoren und das entstehende Biogas über ein BHKW in Form von elektrischer und thermischer Energie genutzt werden. Daneben besteht die Möglichkeit, Stroh in speziellen Strohfeuerungsanlagen zu verbrennen. Der Landkreis Rhein-Hunsrück ist zu 45 % von Wald (ca. 43.000 ha) bedeckt. Die landwirtschaftlich genutzte Fläche beträgt ca. 40.000 ha oder 42 %. Das Institut für Stoffstrommanagement (IfaS) am Umweltcampus Birkenfeld hat das Strohaufkommen in der Verbandsgemeinde Kastellaun ermittelt. Die Hektarerträge an Getreidestroh sind unter anderem von der Pflanzenart, der Bodenbeschaffenheit, der Düngung sowie dem Einsatz von Pflanzenschutzmitteln abhängig. Nach den Angaben des IfaS stehen für die energetische Verwertung ca. 42.000 t/a Stroh im Landkreis Rhein-Hunsrück zur Verfügung. Dabei ist die Verwendung als Einstreu oder anderweitige Nutzung bereits berücksichtigt. Für die Wärmeversorgung nach den Varianten 7 und 8 werden pro Jahr ca. 1.200 bis 1.800 Tonnen Stroh benötigt. Das benötigte Stroh könnte demnach aus der unmittelbaren Umgebung in ausreichender Menge bezogen werden.

Strohfeuerungschnik

Stroh wird in Rundballen oder Quaderballen gepresst. Die Pelletierung von Stroh kann die Schüttdichte erheblich steigern und damit die Transporteffektivität drastisch senken. Die mobile Pelletierungstechnologie ist derzeit noch in der Prototypenerprobung. Ein Stroh-Fernwärme oder Kraft-Wärme-Werk sollte derart ausgelegt sein, dass die regional verfügbaren Strohpotenziale im Umkreis 10 bis 15 km ausreichen, um den Brennstoffbedarf zu decken. Bei der Logistik der Bereitstellung ist zu beachten, dass Stroh von den Erzeugern zunächst in ein Zwischenlager verbracht und später zu dem Lager an der Kesselanlage transportiert wird.

Bei der Verwendung von Quaderballen kann Stroh mit speziellen in Verbrennungsanlagen mit „Zigarrenbrand“ verbrannt werden. Hier wird der ganze Ballen durch einen Kanal in den Kessel geschoben. Die Verbrennung findet an der Stirnseite der Ballen statt.

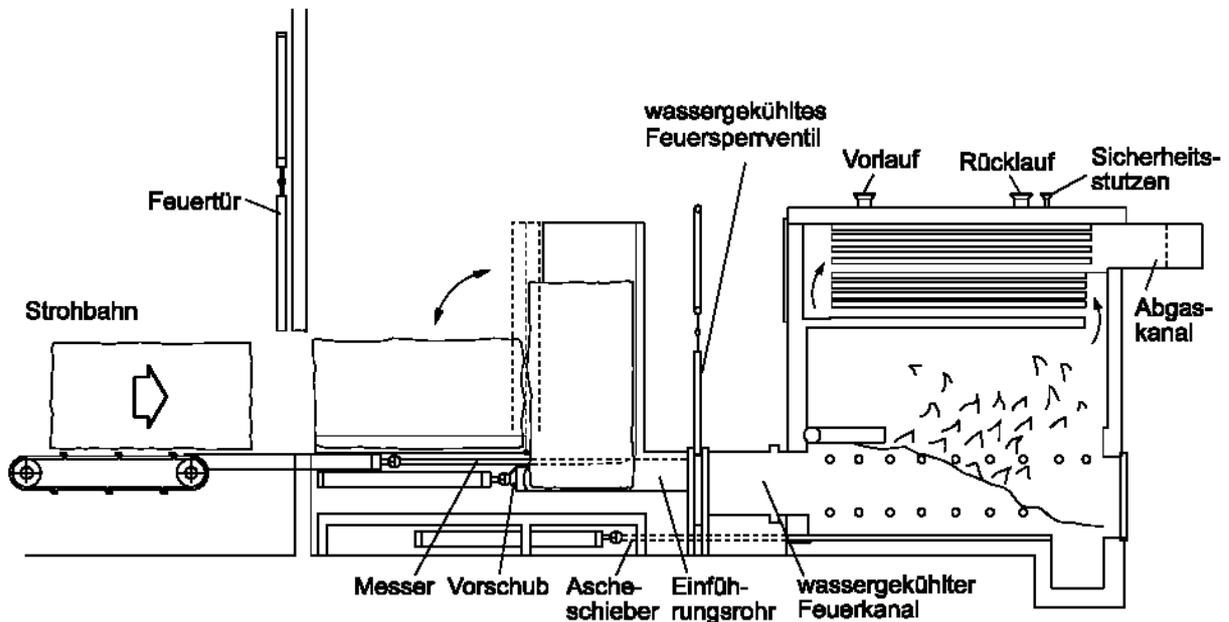


Abbildung 4-1 Ballenfeuerung mit Ballenteiler und halmguttauglichem Rost

Andere Feuerungsanlagen haben, wie bei der Abbildung 4-1 zu sehen, einen Ballenteiler vorgeschaltet. In der überwiegenden Anzahl der Anwendungsfälle werden Ballen aus einem Strohlager mit einem automatischen Kran zu dem Ballenförderer bzw. -auflöser transportiert.

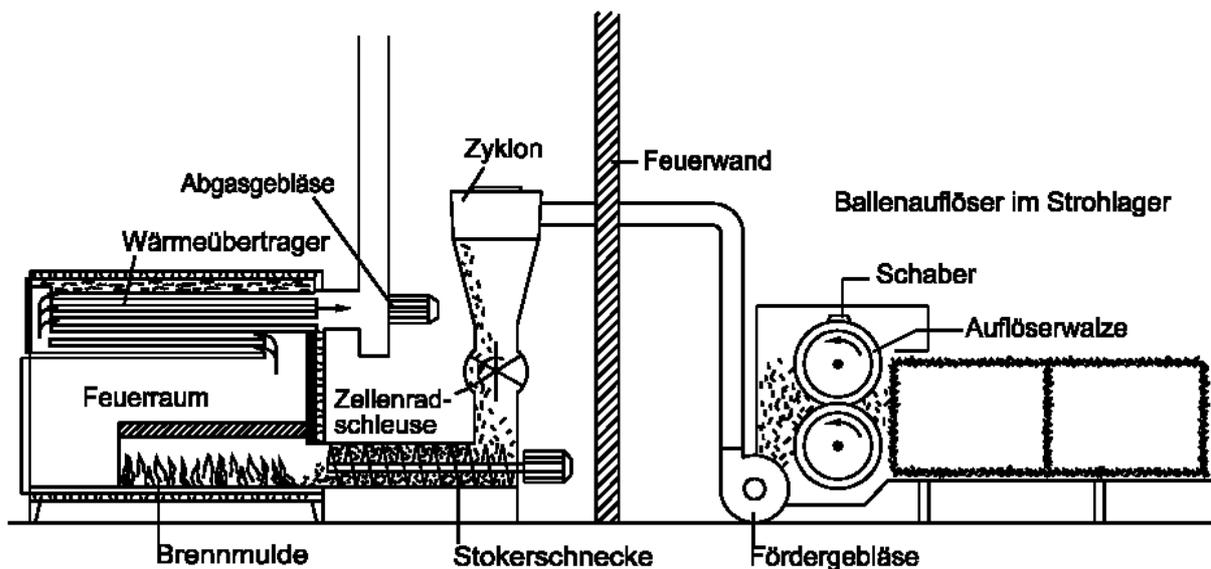


Abbildung 4-2 Strohfuehrung mit Ballenauflöser und pneumatischem Strohttransport

Die Dimensionierung der Ballenförderanlage richtet sich nach der Zeit, in der die Anlage vollautomatisch (d.h. ohne jede Bedienung) laufen soll. Nach dem Ballenauflöser wird das Stroh hydraulisch zur Brennkammer befördert, wo sie verbrannt und zu Wärme umgewandelt werden. Bei der Verbrennung wird ein Wirkungsgrad von bis zu 80 % erreicht. Dieser liegt im Vergleich zu Holzbrennstoffen um 3 bis 4 Prozentpunkte niedriger.

Durch die kontrollierte Zufuhr von Primär und Sekundärverbrennungsluft wird der Verbrennungsprozess gesteuert. In der zu erwartenden Leistungsgröße sind die Kessel mit einer automatischen Reinigung der Wärmetauscher sowie einem mit einem automatischen Aschenräumsystem ausgestattet.

4.3.2 Holzfeuerungstechnik

Holzpellets

Holzpellets haben einen Durchmesser von 5 bis 20 mm und eine Länge von etwa 10 bis 30 mm und werden vor allem aus industriell und gewerblich anfallenden Holzstäuben oder –spänen gefertigt. Als Klebemittel wirkt das im Holz enthaltene Lignin. Holzpellets unterliegen den Qualitätskriterien der DIN 51731 und müssen einen Heizwert von mindestens 4,9 kWh/kg, ein Schüttgewicht von 650 kg/Sm³ aufweisen und die Holzfeuchte darf 10% nicht überschreiten.

Seit Frühjahr 2002 ist zusätzlich ein neues Zertifikat, die DIN plus, auf dem Markt, welches die Vorzüge der DIN 51731 und der in Österreich geltenden ÖNORM M 7135 vereint und darüber hinaus Anforderungen an Abriebfestigkeit und Prüfverfahren festlegt. Ein Schüttkubikmeter Holzpellets weist einen Energieinhalt von mindestens 3.185 kWh auf. Aufgrund ihres hohen Energieinhaltes benötigen sie daher im Vergleich zu Holzhackschnitzeln ein wesentlich geringeres Lagervolumen.



Abbildung 4-3: Holzpellets

Holzpellettransport und -lagerung

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

Wie bei allen anderen Heizsystemen ist die Heizraumtür und die Tür des Lagerraumes als Brandschutztür (mind. T 30) auszuführen. Sie müssen nach außen aufgehen und mit einer Dichtung versehen sein. Bei der Tür des Pelletlagerraumes müssen auf der Innenseite der Türöffnung Holzbretter angebracht werden, damit die Pellets nicht gegen die Tür drücken. Eine zusätzliche Prallschutzmatte sorgt dafür, dass die Pellets beim Einblasen durch den Auf-

prall nicht zerkleinert werden. Im Pelletlagerraum dürfen sich keine Lichtschalter, Steckdosen, Lichtlampen oder Verteilerdosen und dergleichen befinden. Sind Leitungen, Schalter usw. absolut nicht zu vermeiden, müssen diese in explosionsgeschützter Ausführung montiert werden. Außerhalb des Heizraumes muss ein „Not-Aus-Schalter“ angebracht werden.

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

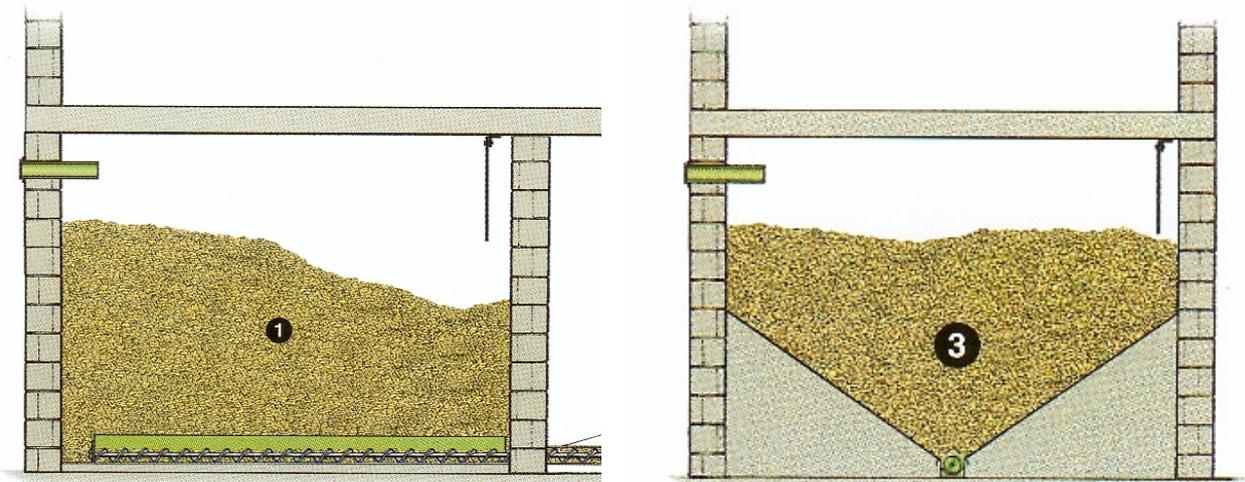


Abbildung 4-4: Mögliches Austragungssystem

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

Sind die Örtlichkeiten für einen Pelletbunker oder Lagerraum nicht geeignet, kann ein Container zur als Brennstofflager genutzt werden.

Holz hackschnitzelfeuerung

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

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

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

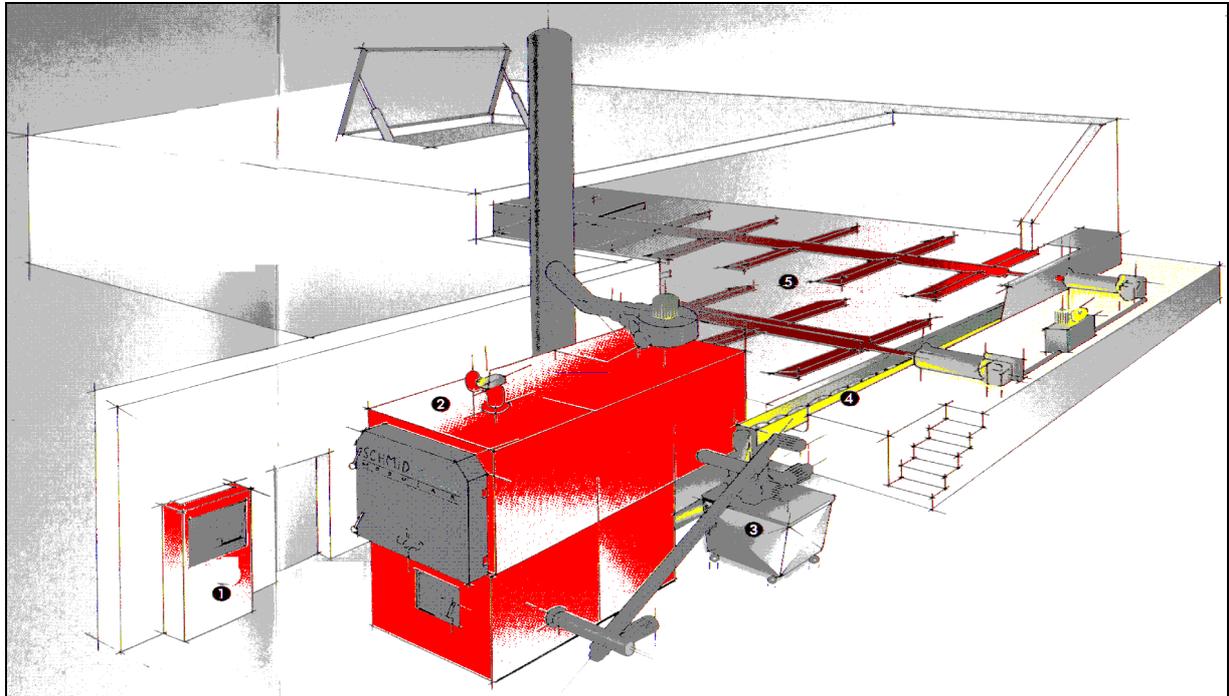


Abbildung 4-5: Schubbodenaustragung mit HHS-Heizung (Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon)

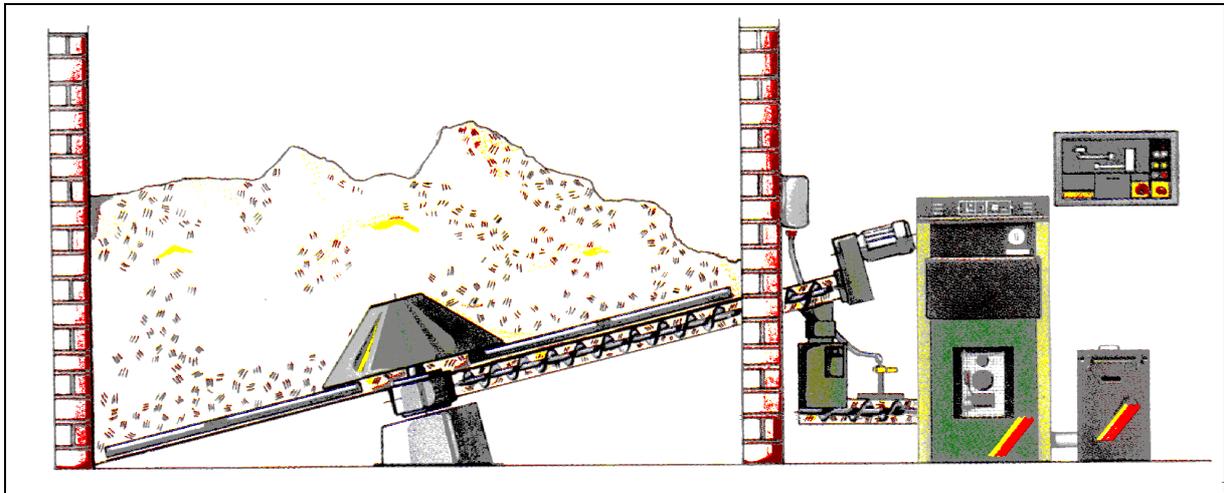


Abbildung 4-6: Austragschnecke mit HHS-Heizung (Fa. Herz, A-Sebersdorf)

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

Der mit der Dosierschnecke in die Brennkammer gebrachte Brennstoff wird in die Brennstoffmulde geschoben und dort unter Zufuhr von Luft verbrannt. Die Restverbrennung der Gase erfolgt unter Sekundärluftzugabe in der Brennkammer über der Mulde. Die heißen Brenngase übertragen dann über Wärmetauscher ihre Energie an das Heizmedium Wasser. Für den vorgesehenen Leistungsbereich werden bevorzugt Unterschub- und Vorofenfeuerung eingesetzt. Zu einer modernen Holzfeuerungsanlage gehört auch ein Regelungskonzept. Man unterscheidet die Leistungsregelung, die auf die Anpassung der Wärmeproduktion an den geforderten Wärmebedarf zielt und die Verbrennungsregelung, die durch Minimierung der Emissionen von unverbrannten Gasen eine Wirkungsgraderhöhung der Feuerungsanlage ermöglicht.

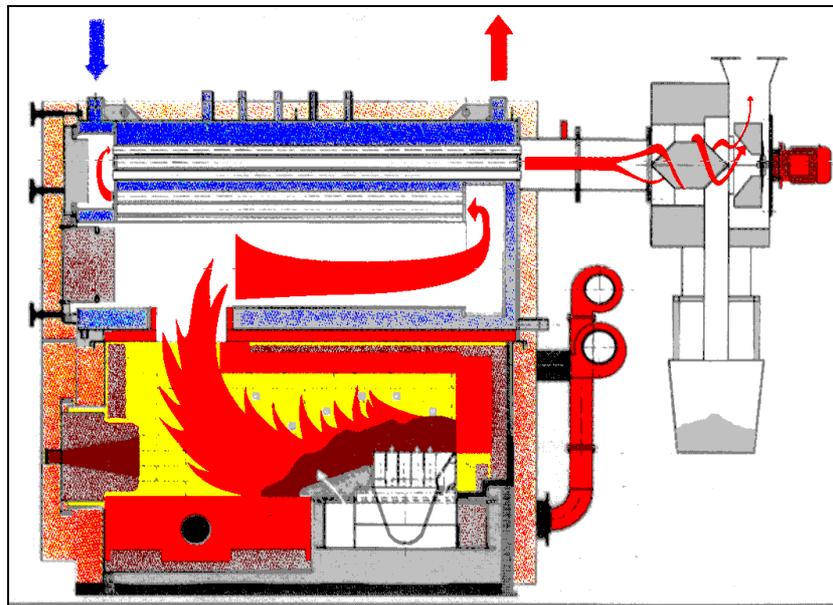


Abbildung 4-7: Verbrennungskammer, Kessel und Staubabscheider (Fa. Mawera, Lindau)

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

4.3.3 Holzgas-BHKW

Als Brennstoff für das Blockheizkraftwerk wird Holzgas eingesetzt, das in einer Holzvergasung entsteht. Im Holzgas befindet sich hauptsächlich Wasserstoff (H₂) und Kohlenmonoxid (CO) als Brenngas. Wenn der Wasserstoffanteil zu hoch ist, kann es zu einer klopfenden Verbrennung führen. Das langsam verbrennende Kohlenmonoxid hemmt in zu hoher Konzentration die Verbrennung.

Zur Gewinnung von Holzgas werden Holzstücke, Sägespäne, Holzhackschnitzel oder briketiertes Feinmaterial unterstöchiometrisch oxidiert. Die Vergasung läuft in mehreren Schritten ab. Zuerst verdampft das Wasser. Bei zunehmender Temperatur entweichen die flüchtigen Bestandteile im Holz. Die nicht verbrannte Holzkohle wird bei Temperaturen oberhalb von 1.100 °C vergast. Die übrigen Holzkohlepartikel werden aus dem Vergasungsprozess ausgelesen. Für den Einsatz in einem Blockheizkraftwerk ist eine Aufbereitung des Rohgases notwendig. Dazu wird das Rohgas gekühlt, entstaubt und getrocknet. Technische Schwierigkeiten bestehen noch durch den Teergehalt bei der Holzvergasung.

Für den Einsatz in einem Motorheizkraftwerk sollte weniger als 50 mg Teer in einem m³ Holzgas enthalten sein. Um dies zu erreichen, werden moderne Vergasungsverfahren zur Reduzierung der Teerbildung eingesetzt. Mit einem katalytischen Reformier können die im Holzgas enthaltenen Teere in Brenngas umgewandelt werden.

Das Holzgas wird zur Strom- und Wärmeerzeugung einem Motorheizkraftwerk zugeführt. Da für die Zündung eine bestimmte Menge Heizöl benötigt wird, erfolgt die Verbrennung des Holzgases in einem Zweistoffmotor (Zündstrahlmotor). Alternativ kann auch ein Otto-Motor, der nur mit dem Holzgas betrieben wird, zum Einsatz kommen. Die vom Motor gelieferte mechanische Arbeit wird im Generator in elektrische Arbeit umgewandelt. Der erzeugte Strom kann entweder ins öffentliche Netz eingespeist oder zum Eigenverbrauch verwendet werden. Die Wärme der Abgase und des Motorkühlwassers ist über Wärmetauscher zu Heizzwecken einsetzbar.

Die von der Fa. Mothermik in den letzten fünf Jahren entwickelte Holzverstromungsanlage besteht aus den Komponenten:

- Portalkransystem
- Holztrockner
- Holzvergaser
- Holzgasreinigung
- Motorheizkraftwerk (MHKW)

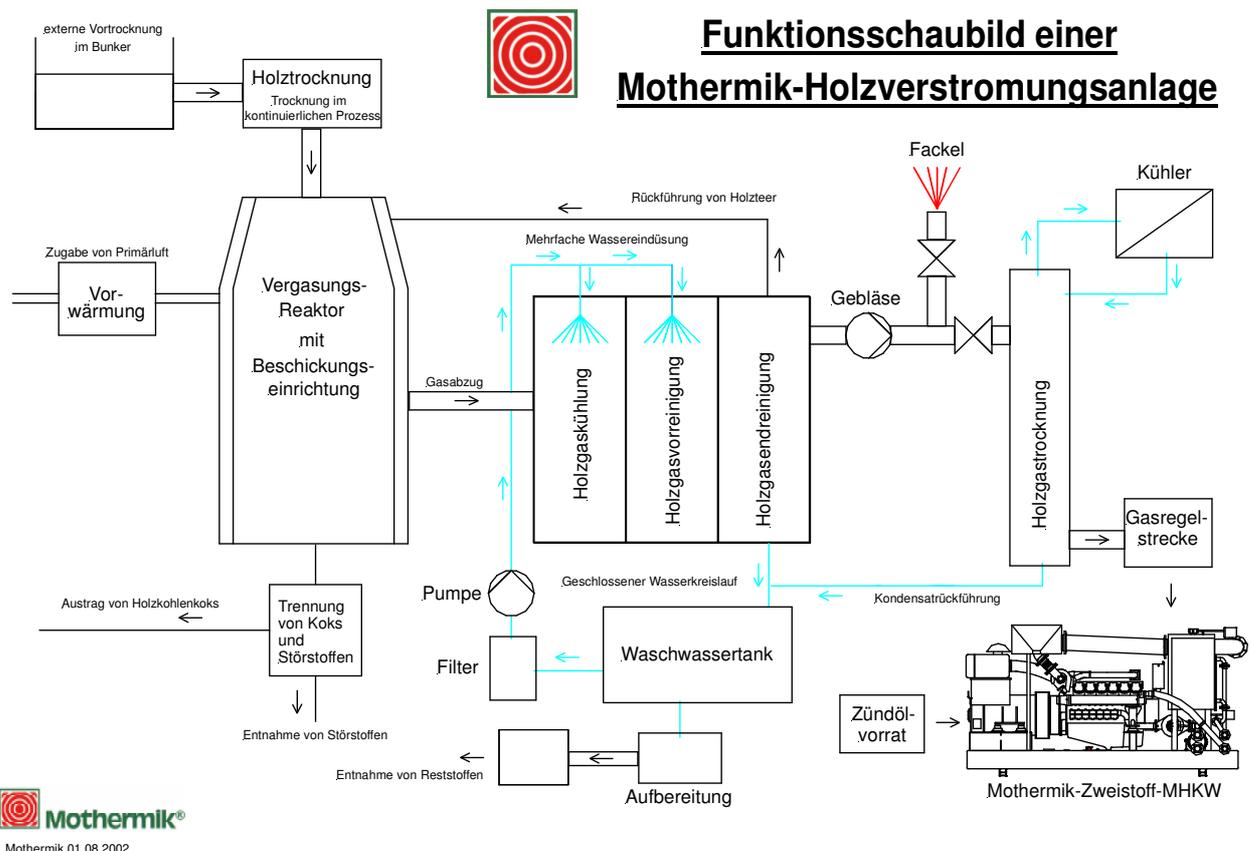


Abbildung 4-8 Systemschaubild der Holzverstromungsanlage (Quelle: Fa. Mothermik)

Die im Holztrockner mit Abwärme des MHKW getrockneten HHS ($u = 6..18\%$) werden im Holzvergaser zu Holzgas und Koks umgesetzt.

4.3.4 BHKW / Pflanzenöl-BHKW

Ein Blockheizkraftwerk besteht aus einem Verbrennungsmotor, einem Kühlwasserwärmetauscher, einem Abgaswärmetauscher und einem Generator. Der Generator wandelt die mechanische Arbeit des Motors in elektrische Arbeit um. Die entstehende Abwärme im Kühlwasser und Abgas kann für Heizzwecke eingesetzt werden. Dazu wird das Heizungswasser im Kühlwasserwärmetauscher auf ca. 80 °C vorgewärmt. Anschließend wird es im Abgaswärmetauscher auf eine Temperatur von maximal etwa 110 °C angehoben. Dadurch sinkt die Abgastemperatur von rund 400 bis 600 °C auf ca. 120 °C beim Gasmotor.

Die Kraft-Wärme-Kopplung ermöglicht eine effizientere Nutzung des eingesetzten Brennstoffs, da zusätzlich zur Stromerzeugung die entstehende Abwärme nutzbar ist.



Abbildung 4-9 Hubkolbenmotor-BHKW (Quelle: MAN Dezentrale Energiesysteme)

Der erzeugte Strom kann ins öffentliche Netz eingespeist werden. Für diese Einspeisung zahlt das zuständige Energieversorgungsunternehmen eine Einspeisevergütung. Außerdem erhält der Betreiber nach dem KWKG-Gesetz eine Zuschlagszahlung für den eingespeisten Strom.

Blockheizkraftwerke werden in der Regel mit Erdgas oder Heizöl betrieben. Daneben kommen auch regenerative Energieträger wie zum Beispiel Klärgas, Biogas, Pflanzenöl oder Rapsmethylester (RME) verstärkt zum Einsatz. Pflanzenöl oder RME kann als Zündöl Zündstrahldieselmotoren eingesetzt werden.

4.3.5 Landschaftspflegegrün

Der Abfallwirtschaftsbetrieb des Rhein-Hunsrück-Kreises betreibt seit 1999 Sammelplätze zur dezentralen Erfassung von Baum- und Strauchschnitt.

In der Studie „Konzepte zur ökologisch und ökonomisch optimierten Verwertung von Baum- und Strauchschnitt im Rhein-Hunsrück-Kreis“ des Witzenhausen-Instituts für Abfall, Umwelt und Energie GmbH aus dem Jahr 2003 wurde unter anderem auch die Möglichkeit der energetischen Nutzung in Betracht gezogen. Der energetisch nutzbare Anteil des auf den Sammelplätzen anfallenden Landschaftspflegegrüns wurde mit ca. 1.100 t/a ermittelt. Hierbei handelt es sich um Grobmaterial (> 20 mm) mit einem Energiegehalt von ca. 2.600 kWh/t. Dies entspricht einem Potenzial von 2.860 MWh/a.

Bei einer Trocknung dieses Materials mit der überschüssigen Abwärme des Holzgas-BHKWs könnte der Energiegehalt auf 3.800 bis 4.500 kWh/t erhöht werden. Somit würde ein Brennstoff zur Verfügung stehen, der sinnvoll in Biomassekesseln eingesetzt werden kann. Aufgrund des hohen Rindeanteils ist das Landschaftspflegegrün nur bedingt für den direkten Einsatz in dem Holzgas-BHKW geeignet. Das Potenzial erhöht sich durch diese Trocknung auf ca. 4.200 bis 5.000 MWh/a.

5 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	
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	1.127.000	326.050	200.850	213.450	1.133.000
Heizölkessel	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 5-1 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
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	2.080.000	346.950	346.950	159.000
Heizölkessel	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 5-2 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
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	2.611.000	1.412.100	1.071.500	258.000	258.000
Heizölkessel	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 _{Ho} /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 5-3 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 getrocknet werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Werte für die Energie- und Brennstoffbilanz der *Varianten 6b neu*, im Vergleich zur Basisvariante C und der Variante 6b, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz C) beziehen, aufgeführt.

		Basis C	Variante 6b	Variante 6b neu
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl
Wärmeleistung				
Erdgas-BHKW	kW _{th}	300		
Holzgas-BHKW	kW _{th}		490	490
Biomassekessel	kW _{th}			950
Erdgaskessel	kW _{th}	2.006	920	920
Heizölkessel	kW _{th}	1.050	1.800	920
Summe	kW_{th}	3.356	3.210	3.280
Wärmeerzeugung				
Erdgas-BHKW	kWh _{th} /a	1.350.000		
Holzgas-BHKW (Trockn.)	kWh _{th} /a		1.523.500	1.523.500
Holzgas-BHKW (Heiz.)	kWh _{th} /a		2.151.500	2.151.500
Biomassekessel	kWh _{th} /a			1.425.000
Erdgaskessel	kWh _{th} /a	2.611.000	1.071.500	266.500
Heizölkessel	kWh _{th} /a	210.000	1.080.000	460.000
Summe	kWh_{th}/a	4.171.000	5.826.500	5.826.500
Brennstoffbedarf				
Erdgas	kWh _{Ho} /a	5.904.410	1.262.927	314.111
Heizöl	l/a	22.826	222.391	155.000
HHS	Sm ³ /a	0	18.900	20.096
Trocknung				
HHS w = 50 %	t/a		5.608	4.688
HHS w = 50 %	Sm ³ /a	0	22.432	18.752
Stromerzeugung				
elektrische Leistung	kW _{el}	195	530	530
Vollbenutzungsstunden	h/a	4.500	7.500	7.500
Stromerzeugung	kWh_{el}/a	877.500	3.975.000	3.975.000
Hilfsenergiebedarf	kWh _{el} /a	41.710	246.515	260.765

Tabelle 5-4 Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 6b u. 6b neu (Nahwärmenetz C)

Von der bei Variante 6b überschüssigen Wärme, die theoretisch zur Trocknung von ca. 5.600 Tonnen HHS pro Jahr genutzt werden könnte, werden bei *Variante 6b neu* ca. 920 Tonnen HHS für die Deckung der Mittellast mit dem Biomassekessel benötigt.

5.1 CO₂-Emission

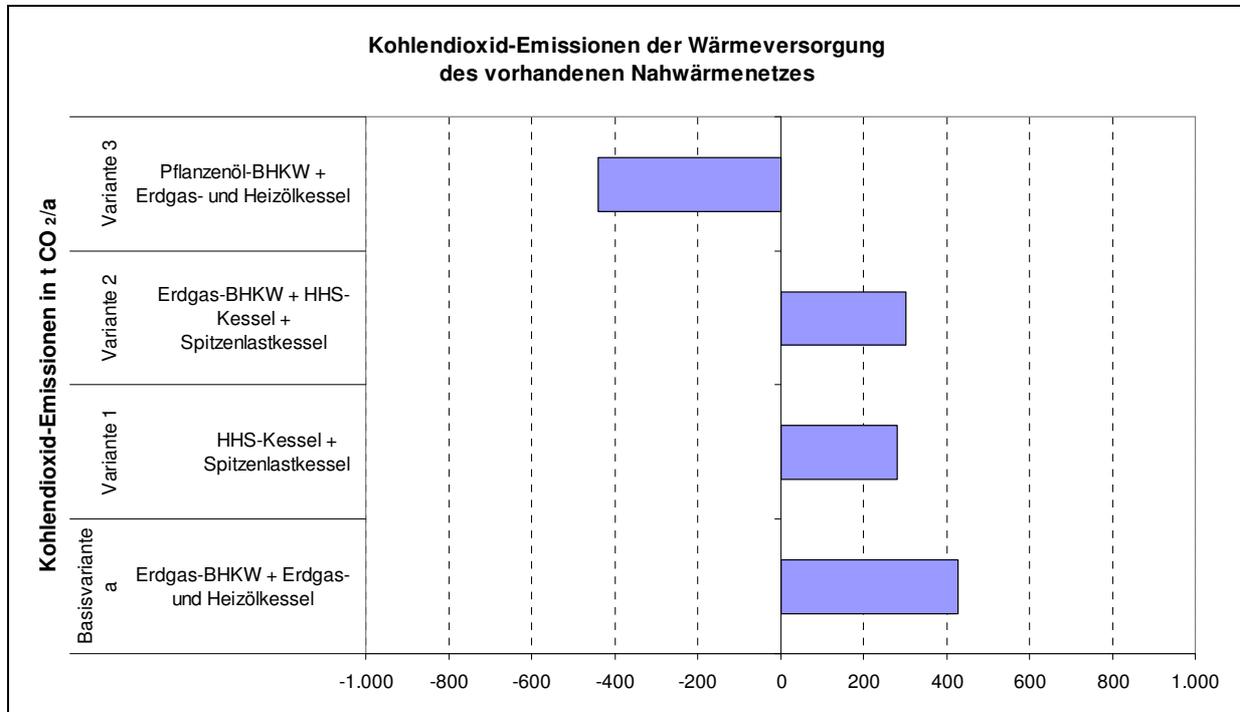


Abbildung 5-1 CO₂-Bilanz der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz A)

		Basis A	Variante 1	Variante 2	Variante 3
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	Pflanzenöl + Erdgas + Heizöl
CO₂-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

Tabelle 5-5 CO₂-Bilanz der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz A)

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.

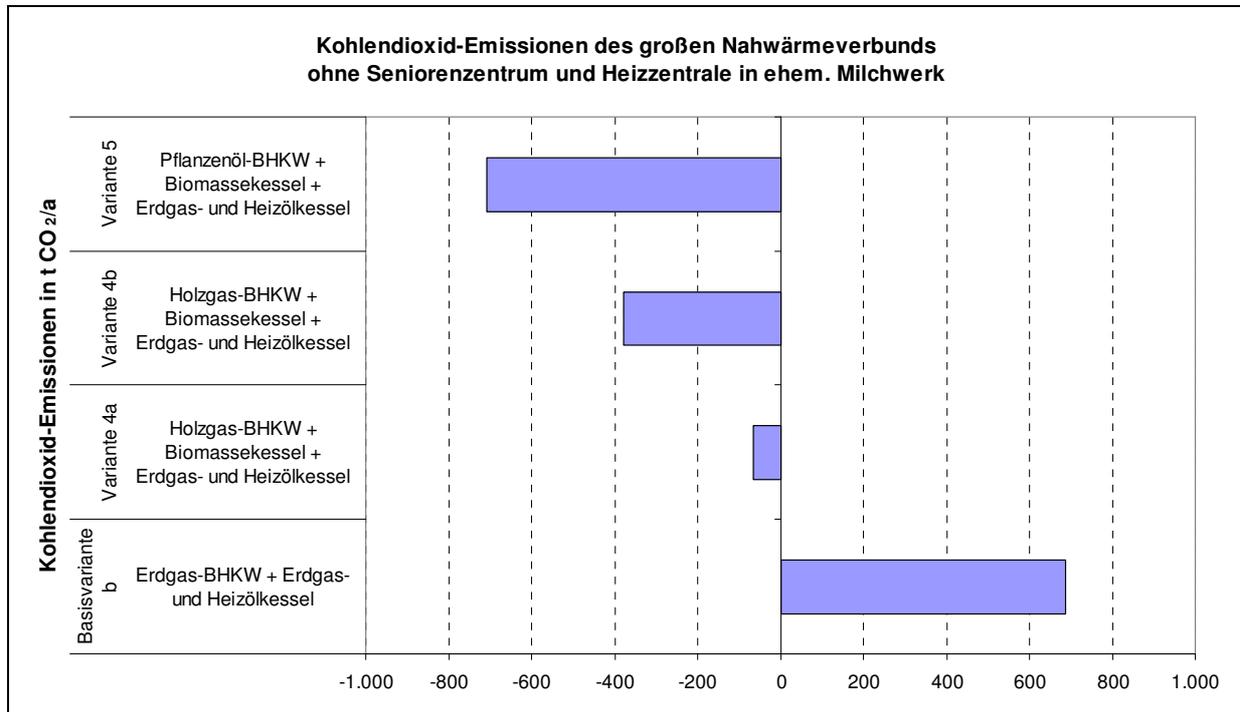


Abbildung 5-2 CO₂-Bilanz der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz B)

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

CO ₂ -Emissionen		Basis B	Variante 4a	Variante 4b	Variante 5
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

Tabelle 5-6 CO₂-Bilanz der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz B)

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.

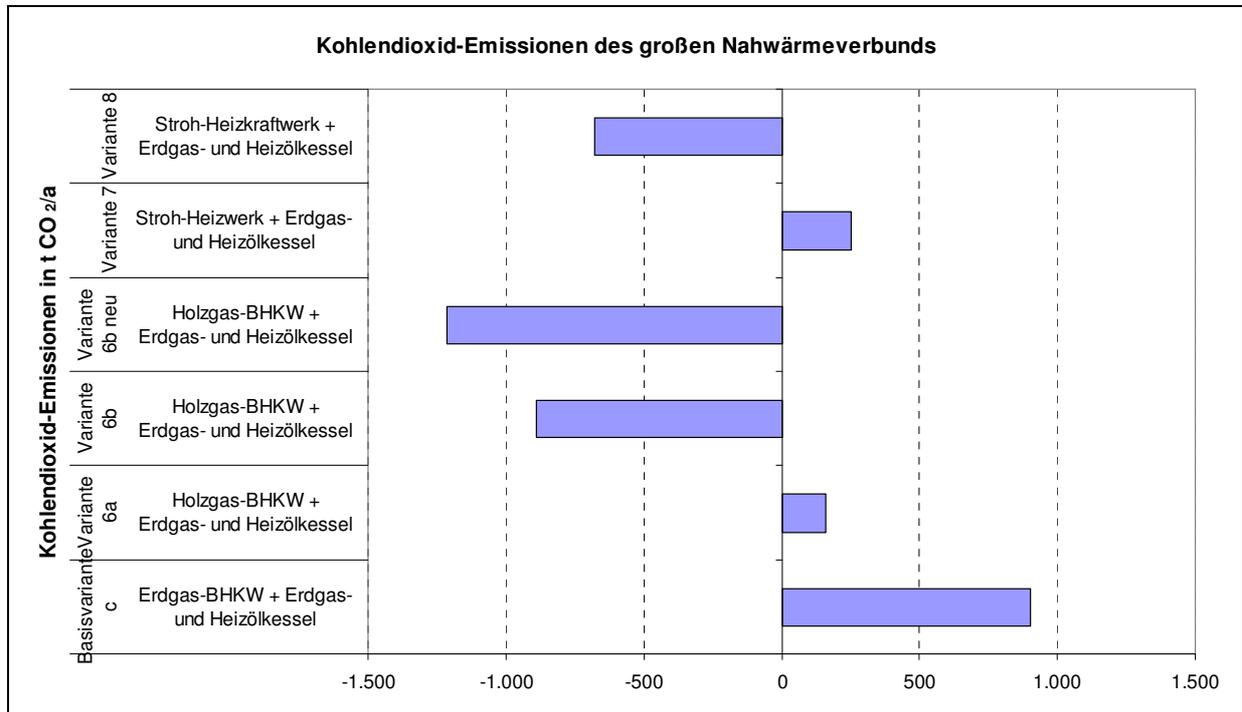


Abbildung 5-3 CO₂-Bilanz der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)

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

CO ₂ -Emissionen		Basis C	Variante 6a	Variante 6b	Variante 6b neu	Variante 7	Variante 8
Erdgas	t CO ₂ /a	1.427	384	291	72	70	70
Heizöl	t CO ₂ /a	73	719	707	492	16	16
HHS	t CO ₂ /a		414	828	932		
Stroh	t CO ₂ /a					165	260
Strom	t CO ₂ /a	-599	-1.357	-2.713	-2.713	0	-1.024
Summe	t CO₂/a	901	160	-888	-1.217	251	-678

Einsparung	t CO ₂ /a		741	1.789	2.118	650	1.579
Einsparung	%		82	199	235	72	175

Tabelle 5-7 CO₂-Bilanz der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)

Im Vergleich aller betrachteter Varianten wird durch die *Variante 6b neu* mit den zwei Holzgas-BHKW (2 * 265 kW_{el} / 245 kW_{th}) und dem Biomassekessel (950 kW_{th}) die höchste CO₂-Gutschrift erzielt.

5.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

5.2.1 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 _{Ho})	1,44 €/kW _{Ho} *a (zzgl. MWSt.)
(die weiteren)	0,65 €/kW _{Ho} *a (zzgl. MWSt.)
spezifischer Holzhackschnittelpreis (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

5.2.2 Wirtschaftlichkeit

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	267.957
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					193.418
Einnahmen EEG inkl. MWSt.	€/a					224.365
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	102.257	149.607	103.205	138.974	129.758
JK inkl. Förd. u. MWSt.	€/a	102.257	146.230	101.095	136.018	129.758
Wärmepreis inkl. MWSt.	Ct/kWh _{th}	3,9	5,7	3,9	5,3	4,9
WP inkl. Förd. u. MWSt.	Ct/kWh_{th}	3,9	5,5	3,8	5,2	4,9

Tabelle 5-8 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 Markt-anreizprogramm 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	1.094.150	1.338.450	767.850
Kapitalkosten inkl. MWSt.	€/a	28.672	88.861	108.537	60.741
KK inkl. Förd. u. MWSt.	€/a	28.672	79.913	98.006	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	132.578	185.148	37.801
Brennstoffkosten Pflanzenöl	€/a				208.333
Hilfsenergie	€/a	5.096	20.117	25.367	7.797
Verbrauchskosten	€/a	195.542	191.254	256.574	268.467
VK inkl. MWSt.	€/a	229.299	209.922	280.962	289.270
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		219.610	353.699	221.625
Einnahmen EEG inkl. MWSt.	€/a		254.748	410.291	257.085
Jahreskosten inkl. MWSt.	€/a	142.964	105.676	61.369	138.172
JK inkl. Förd. u. MWSt.	€/a	142.964	96.728	50.838	133.095
Wärmepreis inkl. MWSt.	Ct/kWh _{th}	4,0	2,9	1,7	3,8
WP inkl. Förd. u. MWSt.	Ct/kWh_{th}	4,0	2,7	1,4	3,7

Tabelle 5-9 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 4.000 bzw. 3.400 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	1.290.202	2.090.602	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	92.539	151.569	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	264.953	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	436.119	73.229	106.209
VK inkl. MWSt.	€/a	257.910	342.620	482.053	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	353.699	690.203	0	226.743
Einnahmen EEG inkl. MWSt.	€/a	0	410.291	800.636	0	263.022
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	181.002	116.002	-38.135	280.733	213.758
JK inkl. Förd. u. MWSt.	€/a	181.002	107.126	-47.011	276.255	209.280
Wärmepreis inkl. MWSt.	Ct/kWh _{th}	4,4	2,8	-0,9	6,8	5,2
WP inkl. Förd. u. MWSt.	Ct/kWh_{th}	4,4	2,6	-1,1	6,7	5,1

Tabelle 5-10 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 4.100 bzw. 2.400 Vollbenutzungsstunden noch eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Basisvariante C erreicht.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der *Variante 6b neu*, im Vergleich zur Basisvariante C und der Variante 6b, die sich auf das bestehende Nahwärmenetz (Nahwärmenetz C) beziehen, aufgeführt.

		Basis C	Variante 6b	Variante 6b neu
		Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl	HHS + Erdgas + Heizöl
Investitionen inkl. MWSt.	€	347.100	2.234.852	2.504.352
Invest. inkl. Förd. u. MWSt.	€	347.100	2.090.602	2.303.102
Kapitalkosten inkl. MWSt.	€/a	28.672	160.444	180.142
KK inkl. Förd. u. MWSt.	€/a	28.672	151.569	167.256
Brennstoffkosten Erdgas	€/a	205.237	47.697	12.401
Brennstoffkosten Heizöl	€/a	9.130	88.957	62.000
Brennstoffkosten HHS	€/a	0	264.953	294.331
Brennstoffkosten Stroh				
Hilfsenergie	€/a	5.839	34.512	36.507
Verbrauchskosten	€/a	220.207	436.119	405.239
VK inkl. MWSt.	€/a	257.910	482.053	443.588
Wartung / Instandhaltung	€/a	14.007	67.577	71.249
Personalkosten	€/a	17.825	35.875	40.589
Sonstige Betriebskosten	€/a	2.895	13.486	15.112
Betriebskosten	€/a	31.833	103.452	111.839
BK inkl. MWSt.	€/a	36.926	120.004	129.733
Einspeisung Hausnetz	kWh _{el} /a	877.500		
Gutschrift	€/a	122.850		
Gutschrift inkl. MWSt.	€/a	142.506		
Einspeisung öffentliche Netz	kWh _{el} /a		3.975.000	3.975.000
Einnahmen EEG	€/a	0	690.203	690.203
Einnahmen EEG inkl. MWSt.	€/a	0	800.636	800.636
Jahreskosten inkl. MwSt.	€/a	181.002	-38.135	-47.173
JK inkl. Förd. u. MWSt.	€/a	181.002	-47.011	-60.059
Wärmepreis inkl. MWSt.	Ct/kWh _{th}	4,4	-0,9	-1,1
WP inkl. Förd. u. MWSt.	Ct/kWh_{th}	4,4	-1,1	-1,5

Tabelle 5-11 Wirtschaftlichkeit der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)

Die *Variante 6b neu* mit der Nutzung der getrockneten HHS zur Deckung der Mittellast stellt sich als die wirtschaftlichste Variante für die Wärmeversorgung dar. Bei der *Variante 6b neu* wird selbst mit 2.000 Vollbenutzungsstunden noch eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Basisvariante C erreicht.

5.2.3 Sensitivitätsbetrachtung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung umfasst auch eine Sensitivitätsanalyse der Brennstoffpreise, anhand der der Einfluss von Brennstoffpreissteigerungen auf die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten dargestellt wird.

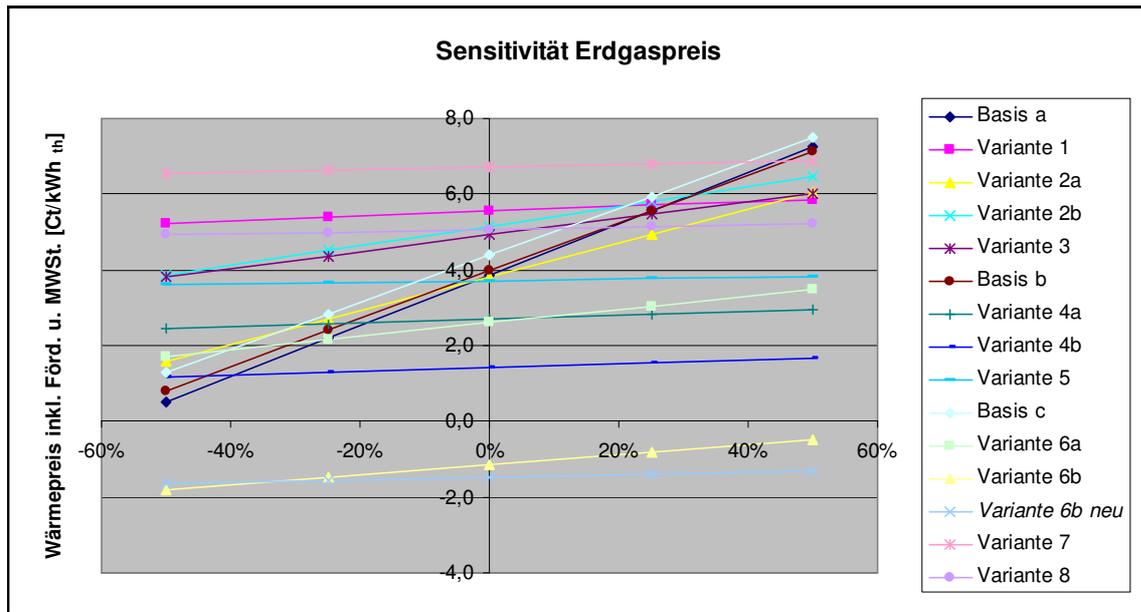


Abbildung 5-4 Sensitivität des Erdgaspreises

Anhand der Sensitivitätsanalyse des Brennstoffpreises lässt sich erkennen, dass eine Änderung des Erdgaspreises am stärksten die Basisvarianten und die Variante 2a beeinflussen.

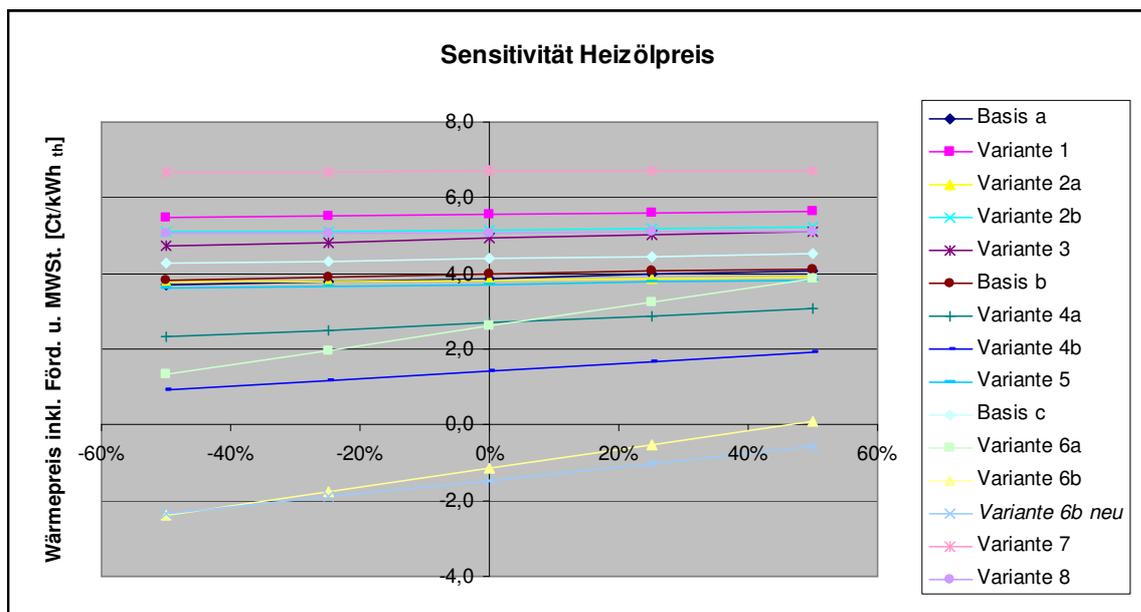


Abbildung 5-5 Sensitivität des Heizölpreises

Anhand der Sensitivitätsanalyse des Brennstoffpreises lässt sich erkennen, dass eine Änderung des Heizölpreises am stärksten die Varianten 4a, 4b, 6a, 6b und 6b neu beeinflussen. Dies liegt an einem im Verhältnis zu den übrigen Liegenschaften relativ hohen Heizölverbrauch der Zündstrahlmotoren des Holzgas-BHKWs. Allerdings bleiben alle genannten Varianten auch bei einer Heizölpreissteigerung von 50 % unter dem Wärmepreis der Basisvarianten.

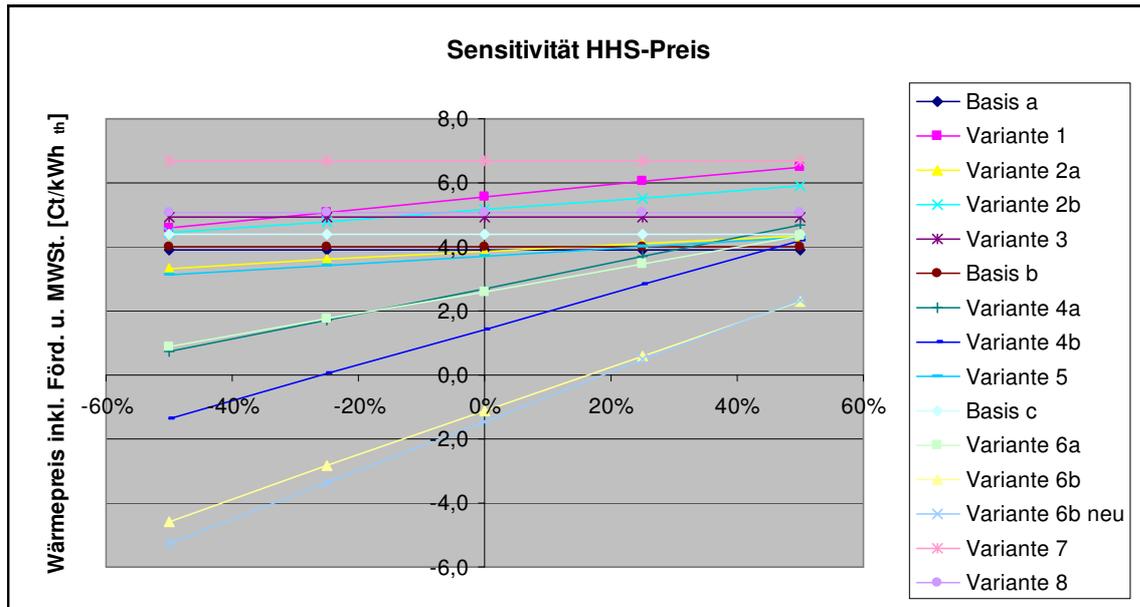


Abbildung 5-6 Sensitivität des HHS-Preises

Anhand der Sensitivitätsanalyse des Brennstoffpreises lässt sich erkennen, dass eine Änderung des HHS-Preises am stärksten die Varianten 4a, 4b, 6a, 6b und 6b neu beeinflussen. Allerdings bleiben bei einer HHS-Preissteigerung von 25 % alle genannten Varianten unter dem Wärmepreis der Basisvarianten und bei einer HHS-Preissteigerung von 50 % die Varianten 6b und 6b neu.

6 Solarenergie

6.1 Solarthermie

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



Abbildung 6-1 Solaranlage

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

Durch die solare Einstrahlung auf den Solarkollektor nimmt das Wärmeträgermedium im Kollektorkreis die Wärme auf. Über Wärmetauscher wird die Wärme an einen Speicher abgegeben.

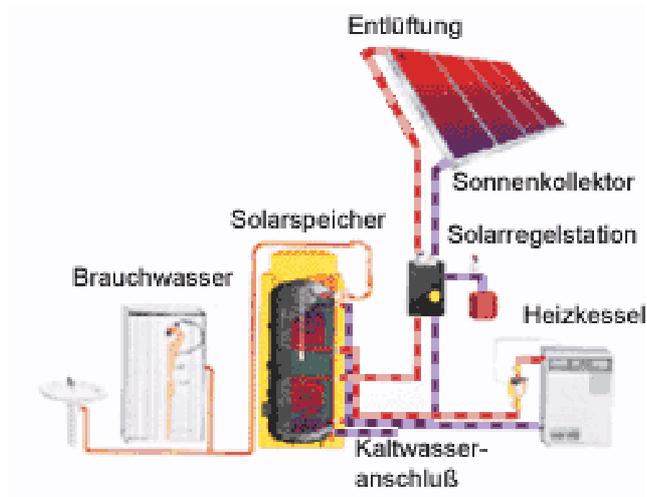


Abbildung 6-2 Solarkollektoranlage

Dazu sind verschiedene Speichersysteme wie z. B. Pufferspeicher, Schichtenspeicher oder Warmwasserspeicher möglich. Das Speichervolumen sollte auf mindestens 50 Liter/m² Kollektorfläche ausgelegt sein. Mit dieser Auslegung kann der Brauchwarmwasserbedarf von 1 bis 2 Tagen gespeichert werden.

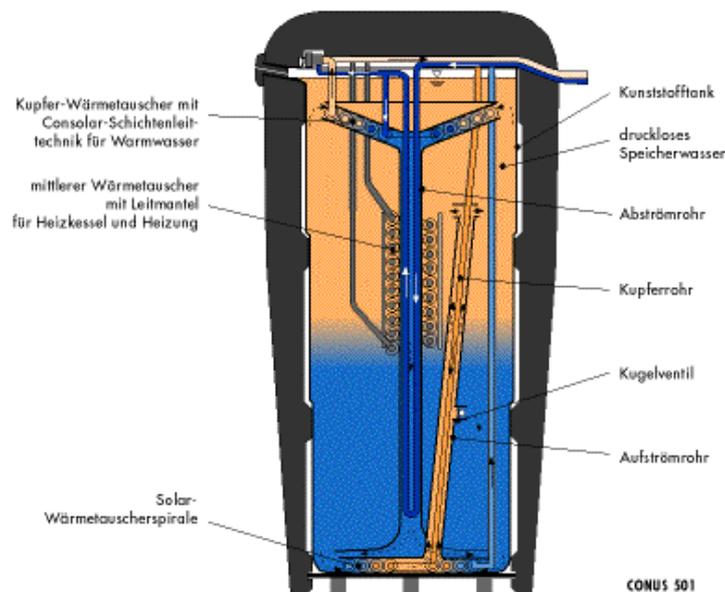
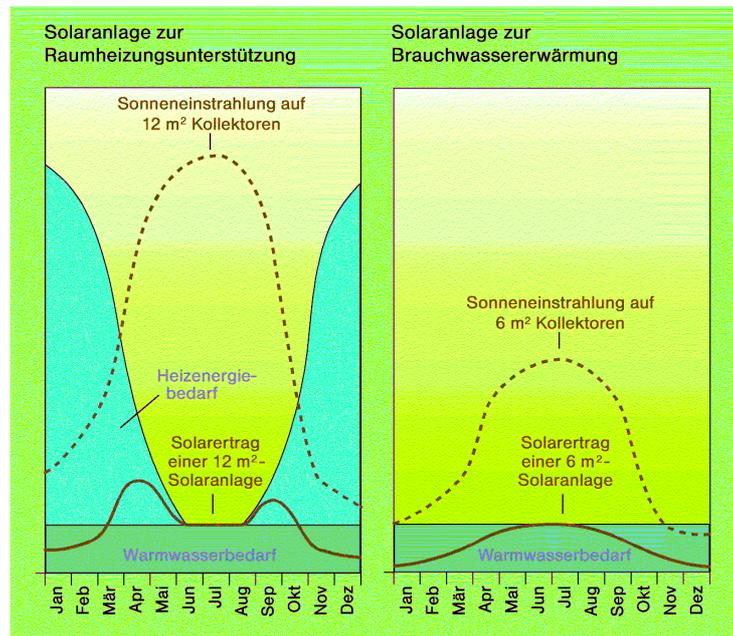


Abbildung 6-3 Schichtenspeicher (Fa. Consolar)

Besonders günstig ist die Nutzung von Solarenergie bei Anwendungen, bei denen der Energiebedarf mit dem Energieangebot übereinstimmt. Mit einer Solaranlage kann zum Beispiel der Brauchwarmwasserbedarf eines 4-Personenhaushaltes mit 6 m² Kollektorfläche im Sommer zu 100 % abgedeckt werden.

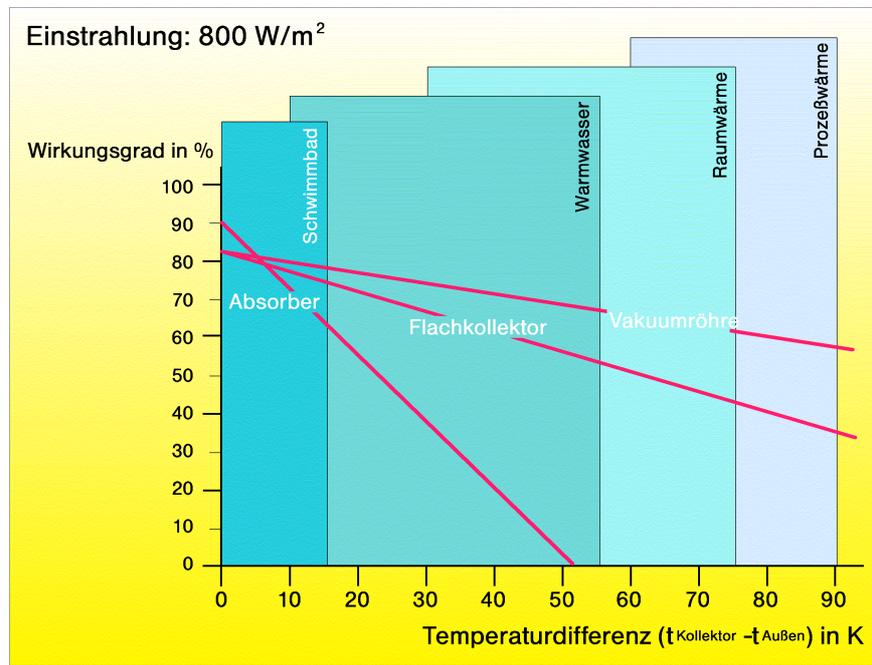


Thermische Solaranlagen, Marktübersicht, © Öko-Institut 1997

Abbildung 6-4 Solarertrag und Wärmenutzung

Sinnvoll ist meist ein bivalenter Betrieb der Solaranlage, d.h. zusammen mit einem weiteren Heizsystem (z.B. Brennwertkessel, Holzpelletkessel). Üblicherweise kann eine Solaranlage in Wohngebäuden bis zu 60% des jährlichen Warmwasserbedarfs decken (solare Deckungsrate).

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



Thermische Solaranlagen, Marktübersicht, © Öko-Institut 1997

Abbildung 6-5 Wirkungsgrad

Am Markt sind verschiedene Solarkollektorsysteme verfügbar (hauptsächlich Flach- oder Vakuum-Röhrenkollektoren). Diese unterscheiden sich im Aufbau, Wirkungsgrad und Preis. Die Abbildung 6-5 zeigt die Wirkungsgrade verschiedener Systeme in Abhängigkeit von der nutzbaren Temperaturdifferenz bzw. dem benötigten Temperaturniveau für verschiedene Nutzungen. Verluste entstehen durch Reflexion an der Scheibe sowie durch Wärmeleitung, -konvektion und -strahlung.

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

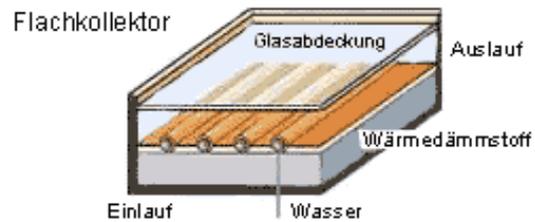


Abbildung 6-6 Flachkollektor

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

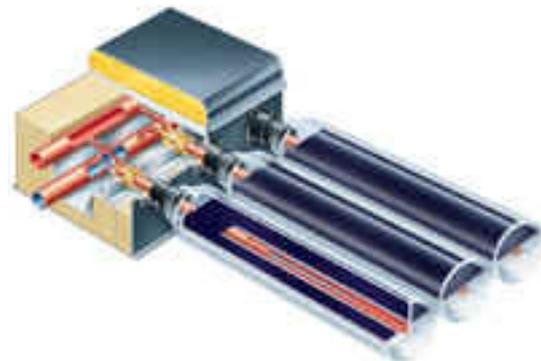


Abbildung 6-7 Röhrenkollektoren

6.1.1 Solarthermie für den Wärmeverbund Kastellaun

Bei der vorliegenden Untersuchung zur Nahwärmeversorgung in Kastellaun sind die Sporthalle und das Schwimmbad für den Einsatz von solarthermischen Anlagen zur Brauchwarmwasserbereitung prädestiniert, da hier ein hoher Brauchwarmwasserbedarf erwartet werden kann. Im Hinblick auf das Gesamtkonzept, sind die solaren Erträge kleiner dezentraler Anlagen im Vergleich zum gesamten Bedarf zu vernachlässigen. Daneben liegen die zu erwartenden Wärmegestehungskosten für derartige Anlagen incl. Einbindung in das System deutlich über den Kosten für die Brauchwarmwasserbereitung über die Nahwärmeversorgung. Mit dem Ziel einer hohen Auslastung der zentralen Versorgung über Kesselanlagen wird der Einsatz solarthermischer Systeme zurückgestellt.

6.2 Photovoltaik

Photovoltaik ist der Weg, Licht direkt in elektrischen Strom umzuwandeln. Wird Silizium dem Licht ausgesetzt, entsteht eine elektrische Spannung.

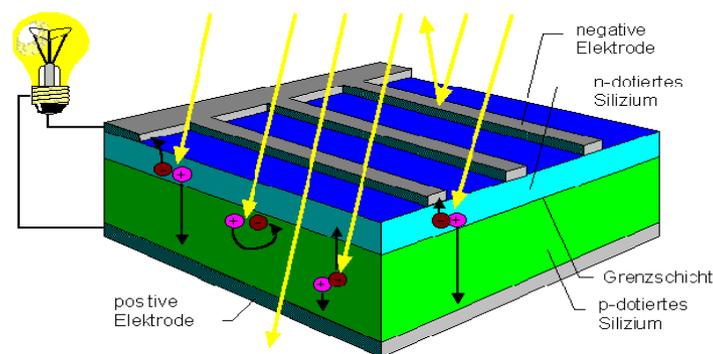
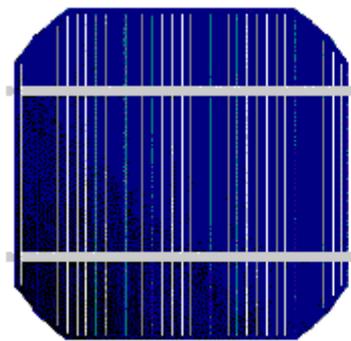
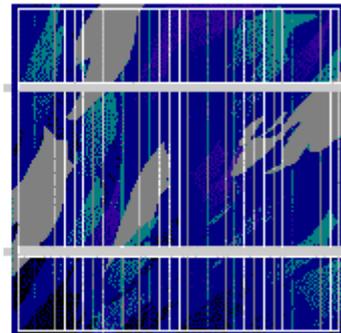


Abbildung 6-8 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

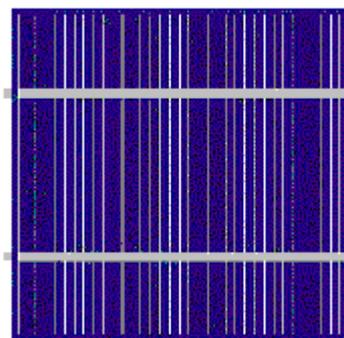
Bei den Solarzellen unterscheidet man im Wesentlichen drei Typen: **monokristalline, polykristalline und Dünnschicht-Solarzellen**. Als Grundmaterial wird derzeit fast ausschließlich Silizium eingesetzt. Rund 80 % aller weltweit produzierten Photovoltaikmodule setzen mono- oder polykristalline Solarzellen ein. Rund 20 % der Photovoltaikmodule bestehen aus Dünnschichtzellen, wovon amorphes Silizium den weitestgehendsten Teil abdeckt. Dünnschichtzellen kommen meist bei autarken Anwendungen (Taschenrechnern, Uhren usw.) zum Einsatz. Sie können in flexible Lamine integriert werden und so z.B. auf Booten oder nicht planaren Flächen aufgeklebt werden. Der Aufbau eines kristallinen PV – Moduls setzt sich von unten nach oben zusammen aus a) Glas; chemisch gehärtet; alternativ Folie b) Folie; gefärbt oder hochtransparent oder Gießharzschicht c) Solarzellenverbund d) Folie hochtransparent oder Gießharzschicht e) Weißglas; chemisch gehärtet und geschliffen



Monokristallin



Polykristallin



Amorph (Dünnschichtzelle)

Abbildung 6-9 Zelltypen für Photovoltaikmodule (Quelle: CD Solarenergie)

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

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

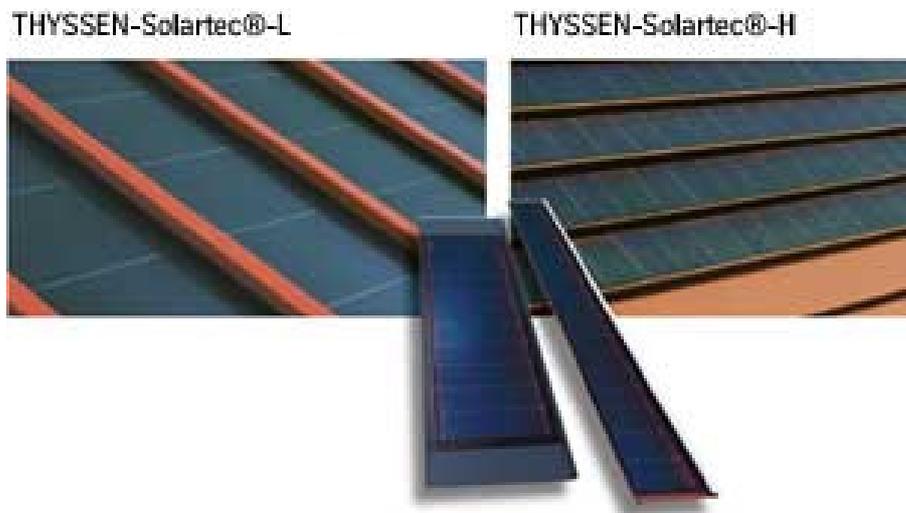


Abbildung 6-10 PV-System der Fa. Thyssen

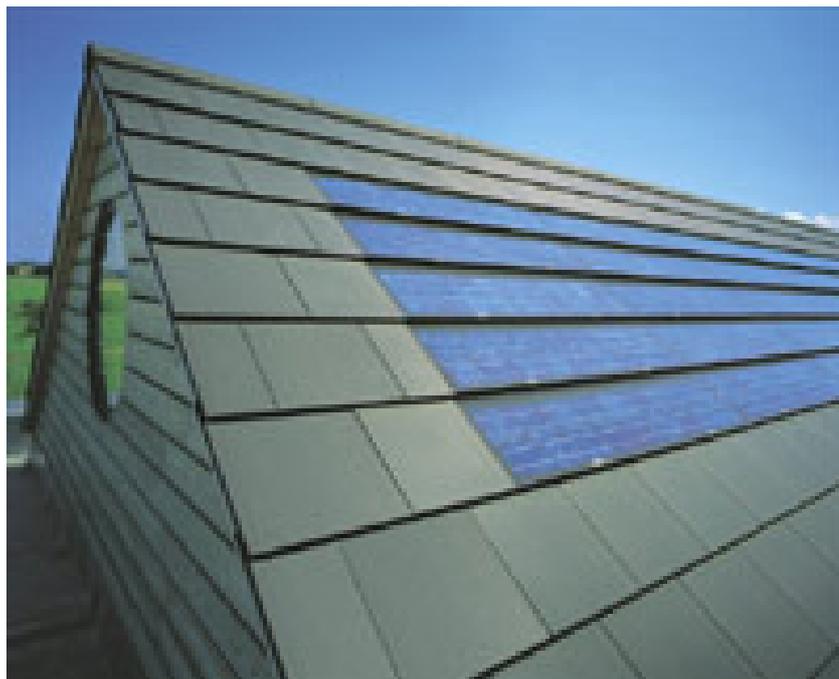


Abbildung 6-11 PV-System der Fa. Braas

Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solar-generator (bestehend aus den Photovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher. Insellösungen werden dann realisiert, wenn der Anschluss an das öffentliche Stromnetz nicht möglich oder zu teuer wäre, etwa bei Berghütten, sehr abgelegenen Bauernhöfen oder bei Raumstationen im Weltall.

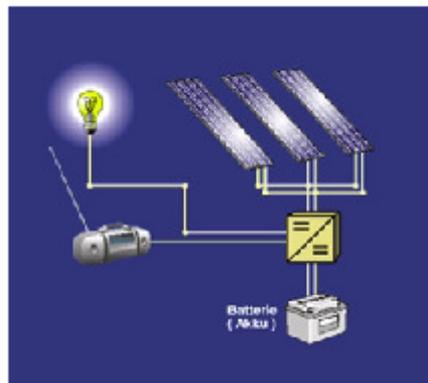


Abbildung 6-12 PV - Inselanlage (Quelle: CD Solarenergie)

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

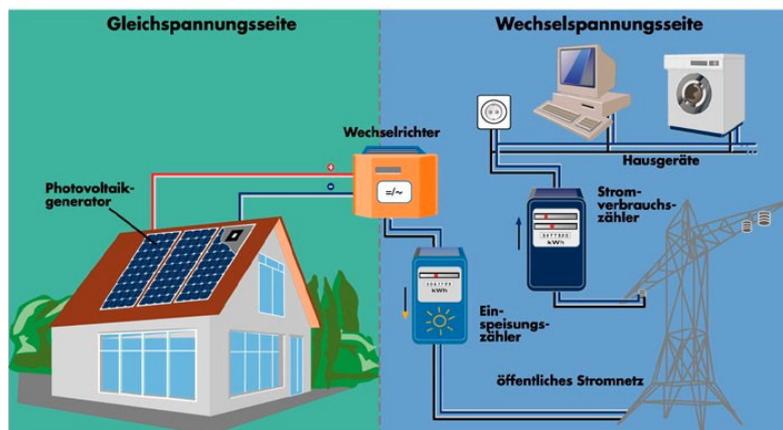


Abbildung 6-13 Netzgekoppelte PV-Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

Eine Photovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung (kW_{Peak}) eine Dachfläche von rund 10 m² (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Der meiste Solarstrom wird erzeugt, wenn das Dach nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von ca. 30° hat. Eine Ausrichtung der Photovoltaikmodule nach Süd-West

oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10 %. Das gleiche gilt für Dachneigung von 10 ° bzw. 60°:

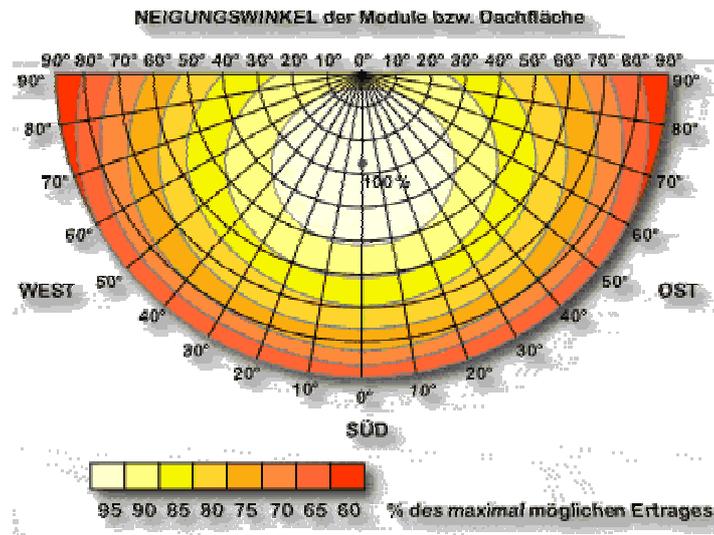


Abbildung 6-14 Ertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel (Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund 750 – 850 kWh je kWPeak, in Süddeutschland unter optimalen Bedingungen können über 900 kWh je kWPeak generiert werden. Eine Verschattung der Photovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird. Die Montage von Photovoltaikanlagen muss nicht genehmigt werden. Wie auch bei thermischen Solaranlagen sollte die Errichtung der Baubehörde formlos angezeigt werden. Ist das Gebäude denkmalgeschützt, ist eine Genehmigung einzuholen. Der Installateur meldet die PV-Anlage beim zuständigen Energieversorger an.

6.2.1 Photovoltaik für den Wärmeverbund Kastellaun

Zur überschlägigen Ermittlung des Potenzials für den Einsatz von Photovoltaik werden die Brutto-Dachflächen aller dem Wärmeverbund zugeordneten Dachflächen ermittelt.

Gebäude	Brutto-Dachfläche [m ²]	Netto-PV-Fläche [m ²]
Hallenbad „AQUA fit“ Kastellaun	1500	400
Ambulante Reha-Zentrum Hunsrück	1400	200
Ärztehaus	392	100
Integrierte Gesamtschule Kastellaun mit Sporthalle (IGS)	6390	900
Turnhalle „Spesenrother Weg“	1375	200
Alte Mädchen-Berufsschule	250	0
Grundschule Kastellaun	925	100
Evangelischer Kindergarten Kastellaun „Regenbogenland“	750	100
eventuell geplantes Wohnheim	Dachfläche noch nicht ermittelt	
Theodor-Heuss-Schule Sonderschule G Kastellaun	Dachfläche in IGS beinhaltet	
Förderkindergarten	150	0
Seniorenzentrum Kastellaun	1185	200
Gesamtfläche Wärmeverbund Kastellaun		3.700

Tabelle 6-1 Netto-PV-Flächen im Wärmeverbund Kastellaun

Die Differenz der Brutto-Dachflächen zu den Netto-PV-Flächen wird im Wesentlichen über die Faktoren Ausrichtung, Verschattung und Neigung verursacht. Günstig sind insbesondere zusammenhängende große Dachflächen. Schrägdächer müssen nach Süden orientiert sein, die Dachflächen sollten nicht durch umliegende Gebäude verschattete werden. Auf Flachdächern aufgeständert montierte Anlagen müssen mit ausreichendem Abstand aufgestellt werden um sich nicht gegenseitig zu verschatten. Beispielhaft sind die Dachflächen der IGS dargestellt. Nutzbar sind die nach Süden ausgerichteten Schrägdächer und insbesondere das Flachdach der Sporthalle.

Schrägdach IGS

Flachdach Sporthalle

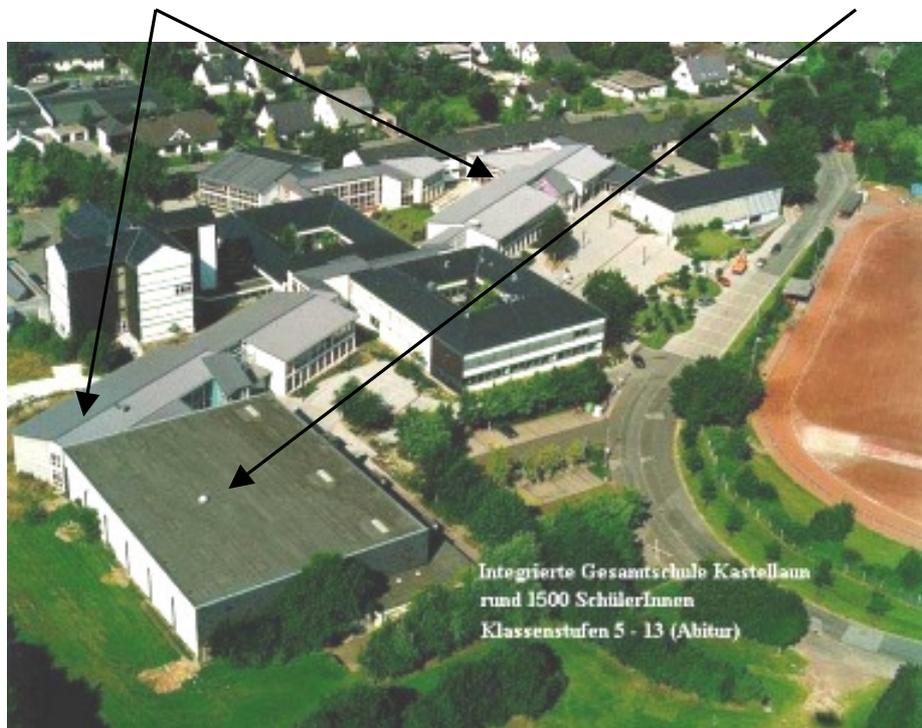


Abbildung 6-15 Luftbild der IGS (Quelle: homepage IGS Kastellaun)

Nach der überschlägigen Ermittlung können ca. 3.700 m² Dachflächen potenziell zur Montage von Photovoltaikanlagen genutzt werden. Bei dieser Betrachtung wurden die jeweiligen örtlichen Gegebenheiten der Dachflächen nicht berücksichtigt. In einem weiteren Schritt sind insbesondere die Bedingungen bezüglich der Einspeisung, ggf. Netzausbau bzw. Erweiterung der Anlage Übergabestationen zu prüfen. Da die Installation einer PV-Anlage den uneingeschränkten Zugang zu Dachfläche für die nächsten 20 Jahre nicht erlaubt, sollten nur Dächer genutzt werden, bei denen vorauszusehen ist, dass in diesem Zeitraum keine Instandsetzungsarbeiten anfallen.

Netto-PV-Fläche	3.700 m ²
Anlagengröße	370 – 400 kW _{peak}
spez. Ertrag	850 kWh _{el} /kW _{peak}
Ertrag	315.000 – 340.000 kWh _{el} /a
Bedarf pro Haushalt (Durchschnitt)	2.500 - 3.500 kWh _{el} /a
Versorgung	90 bis 140 Haushalte
spez. Investition	4.500 - 5.500 Euro/kW _{peak}
Investition	1,7 bis 2,2 Mio. Euro
spez. Vergütung nach EEG	ca. 51 Cent/kWh _{el}
Vergütung	160.000 – 175.000 Euro/a

Tabelle 6-2 PV-Anlage – Investition und Ertrag

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 neu* mit den zwei Holzgas-BHKWs (2 * 265 kW_{el} / 245 kW_{th}) und einem Biomassekessel (950 kW_{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 4.000 bzw. 3.400 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 4.100 bzw. 2.400 Vollbenutzungsstunden noch eine Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Basisvariante c erreicht.

Die *Variante 6b neu* mit der Nutzung der getrockneten HHS zur Deckung der Mittellast stellt sich als die wirtschaftlichste Variante für die Wärmeversorgung dar. Bei der *Variante 6b neu* wird selbst mit 2.000 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.

Der Standort am ehemaligen Milchwerk ist für ein Holzgas-BHKW optimal. Außerdem ist hier auch der Betrieb eines Biomassekessels mit getrockneten HHS zur Deckung der Mittellast sinnvoll. Der mit Heizöl betriebene Spitzenlastkessel kann sowohl im ehemaligen Milchwerk als auch in der Heizzentrale der IGS aufgestellt werden.

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

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1 Ballenfeuerung mit Ballenteiler und halmguttauglichem Rost	30
Abbildung 4-2 Strohfeuerung mit Ballenauflöser und pneumatischem Strohtransport	30
Abbildung 4-3: Holzpellets.....	31
Abbildung 4-4: Mögliches Austragungssystem	32
Abbildung 4-5: Schubbodenaustragung mit HHS-Heizung (Fa. Schmid AG, CH-Eschlikon) ..	33
Abbildung 4-6: Austragschnecke mit HHS-Heizung (Fa. Herz, A-Sebersdorf).....	34
Abbildung 4-7: Verbrennungskammer, Kessel und Staubabscheider (Fa. Mawera, Lindau) ..	35
Abbildung 4-8 Systemschaubild der Holzverstromungsanlage (Quelle: Fa. Mothermik)	36
Abbildung 4-9 Hubkolbenmotor-BHKW (Quelle: MAN Dezentrale Energiesysteme)	37
Abbildung 5-1 CO ₂ -Bilanz der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz A).....	43
Abbildung 5-2 CO ₂ -Bilanz der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz B).....	44
Abbildung 5-3 CO ₂ -Bilanz der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)	45
Abbildung 5-4 Sensitivität des Erdgaspreises.....	51
Abbildung 5-5 Sensitivität des Heizölpreises	51
Abbildung 5-6 Sensitivität des HHS-Preises.....	52
Abbildung 6-1 Solaranlage	53
Abbildung 6-2 Solarkollektoranlage	54
Abbildung 6-3 Schichtenspeicher (Fa. Consolar).....	54
Abbildung 6-4 Solarertrag und Wärmenutzung	55
Abbildung 6-5 Wirkungsgrad.....	56
Abbildung 6-6 Flachkollektor	57
Abbildung 6-7 Röhrenkollektoren	57
Abbildung 6-8 Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS).....	58
Abbildung 6-9 Zelltypen für Photovoltaikmodule (Quelle: CD Solarenergie)	59
Abbildung 6-10 PV-System der Fa. Thyssen.....	60
Abbildung 6-11 PV-System der Fa. Braas.....	60
Abbildung 6-12 PV - Inselanlage (Quelle: CD Solarenergie)	61
Abbildung 6-13 Netzgekoppelte PV-Anlage (Quelle: CD Solarenergie).....	61
Abbildung 6-14 Ertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel (Quelle: CD Solarenergie).....	62
Abbildung 6-15 Luftbild der IGS (Quelle: homepage IGS Kastellaun)	64

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Ist-Daten BHKW	7
Tabelle 3-2 Ist-Daten Heizkesselanlage IGS Altbau	8
Tabelle 3-3 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Neubau	9
Tabelle 3-4 Ist-Zustand Heizkesselanlage IGS Sporthalle	10
Tabelle 3-5 Ist-Daten Hallenbad	11
Tabelle 3-6 Ist-Daten Reha-Zentrum	12
Tabelle 3-7 Ist-Zustand Integrierte Gesamtschule mit Sporthalle	13
Tabelle 3-8 Ist-Daten Ärzte-Haus	14
Tabelle 3-9 Ist-Daten Alte Mädchen Berufsschule	15
Tabelle 3-10 Ist-Daten Grundschule	15
Tabelle 3-11 Ist-Daten evangelischer Kindergarten	16
Tabelle 3-12 Ist-Daten Seniorenzentrum	17
Tabelle 3-13 Ist-Daten Förderkindergarten	18
Tabelle 3-14 Ist-Daten Theodor-Heuss-Schule	18
Tabelle 3-15 Ist-Daten Wohnheim (geplanter Neubau)	19
Tabelle 4-1 Wärmeleistung und -bedarf (Nahwärmenetz A)	20
Tabelle 4-2 Wärmeleistung und -bedarf (Nahwärmenetz B)	22
Tabelle 4-3 Wärmeleistung und -bedarf (Nahwärmenetz C)	24
Tabelle 5-1 Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz A)	39
Tabelle 5-2 Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz B)	40
Tabelle 5-3 Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)	41
Tabelle 5-4 Energie- und Brennstoffbilanz der Varianten 6b u. 6b neu (Nahwärmenetz C)	42
Tabelle 5-4 CO ₂ -Bilanz der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz A)	43
Tabelle 5-5 CO ₂ -Bilanz der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz B)	44
Tabelle 5-6 CO ₂ -Bilanz der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)	45
Tabelle 5-7 Wirtschaftlichkeit der Varianten 1 bis 3 (Nahwärmenetz A)	47
Tabelle 5-8 Wirtschaftlichkeit der Varianten 4 bis 5 (Nahwärmenetz B)	48
Tabelle 5-9 Wirtschaftlichkeit der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)	49
Tabelle 5-9 Wirtschaftlichkeit der Varianten 6 bis 8 (Nahwärmenetz C)	50
Tabelle 6-1 Netto-PV-Flächen im Wärmeverbund Kastellaun	63
Tabelle 6-2 PV-Anlage – Investition und Ertrag	64



Transferstelle für rationelle und regenerative Energienutzung im



9 Anhang

9.1 Auslegung und Dimensionierung Nahwärmeleitungen