

Energiekonzept für das Jugendhilfezentrum Bernardshof in Mayen

Mit freundlicher Unterstützung des:



Rheinland-Pfalz

**Ministerium für Umwelt, Forsten
und Verbraucherschutz**

Auftraggeber: Ministerium für Umwelt, Forsten Rheinland-Pfalz
Projektnummer: 1225
Datum: 13.06.2006

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

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

Tel: 06721 / 409 229

Fax: 06721 / 409 129

wirtz@tsb-energie.de

Dipl.-Wirt. Ing. (FH) Achim Wolf

Tel: 06721 / 409 229

Fax: 06721 / 409 129

wolf@tsb-energie.de

im

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Ist-Analyse	6
2.1	Gebäudebestand	6
2.2	Wärmeverteilung.....	8
2.3	Wärmeerzeugung	10
2.3.1	Heizzentrale Hauptgebäude	10
2.3.2	Wärmeerzeugung Gärtnerei	10
2.3.3	Wärmeerzeugung Josefhause	11
2.3.4	Heizzentrale Ausbildungsbereich	11
2.4	Brauchwarmwasserbereitung	11
3	Wärmebedarf	13
3.1	Übersicht Wärmebedarf	13
3.2	Optimierung Wärmedämmstandard (Beispiel Haus Siegfried)	14
3.2.1	Dachdämmung	15
3.2.2	Außenwanddämmung.....	15
3.2.3	Wärmedämmstandard Ist-Zustand	16
3.2.4	Wärmedämmstandard modernisierter Zustand	18
4	Sanierung Wärmeverteilung	23
4.1	Sanierung Wärmeverteilung West	26
4.2	Sanierung Wärmeverteilung Ost.....	28
5	Sanierung Wärmeerzeugung	30
5.1	Wärmeerzeugung auf Heizölbasis	30
5.1.1	Dimensionierung Heizölkessel.....	30
5.1.2	Heizölbevorratung.....	31
5.1.3	Investitionskosten	31
5.2	Wärmeerzeugung auf Biomassebasis	32
5.2.1	Funktionsweise HHS-Kessel	32
5.2.2	Brennstoff Holz	33
5.2.3	Dimensionierung Biomassekessel.....	36
5.2.4	Variante HHS: HHS-Kessel mit einem Spitzenlast-Ölkessel	37
5.2.5	Investitionskosten Variante HHS	38
5.3	Energiebilanz kleines Netz.....	39
5.4	Energiebilanz großes Netz.....	40
5.5	Emissionsbilanz	41
6	Wirtschaftlichkeit	42
6.1.1	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	42
6.2	Förderung Biomasse.....	43

6.3	Wärmegestehungskosten	43
6.3.1	Wärmegestehungskosten kleine Varianten	44
6.3.2	Wärmegestehungskosten große Varianten	45
6.4	Wirtschaftlichkeitsvergleich.....	45
6.5	Sensitivitätsanalyse	47
6.6	Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung	20
7	Nutzung der Sonnenenergie	49
7.1	Solarthermische Anlage.....	50
7.2	Fotovoltaik.....	54
7.2.1	Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage.....	55
7.2.2	Leistung und Ertrag	56
7.2.3	Genehmigung von Fotovoltaikanlagen	56
7.2.4	Einsatzmöglichkeit Bernardshof	57
8	Zusammenfassung	59

1 Einleitung

Das Jugendhilfezentrum „Bernardshof“ des Katholischen Erziehungsvereins für die Rheinprovinz e.V. Köln wurde 1928 erbaut und stetig erweitert. Die Wärmeerzeugung erfolgt über zwei Heizzentralen, zur Wärmeverteilung werden zwei voneinander getrennte Nahwärmenetze für die Raumheizung (RH) betrieben. Zusätzlich sind in zwei Gebäuden separate Wärmeerzeugungsanlagen installiert. Die Heizungsanlagen des „Bernardshof“ wurden im Lauf der Zeit ständig umgebaut, ein großer Teil davon befindet sich in sanierungsbedürftigen Zustand.

In diesem Energiekonzept werden die Möglichkeiten einer weitgehend auf erneuerbaren Energien basierenden Wärmeversorgung untersucht. Hierbei wird die Möglichkeit zur Nutzung von Bioenergie aus ökonomischer und ökologischer Sicht bewertet.

Für den Bernardshof soll zusätzlich die Nutzungsmöglichkeit der Solarenergie geprüft werden.

Diese Betrachtungen werden unter den Gesichtspunkten des Förderprogramms „Förderung zur Nutzung von erneuerbaren Energien – Marktanreizprogramm“ des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle durchgeführt.

Im Energiekonzept werden zunächst anhand von vorliegenden Verbrauchsdaten und Daten zu den vorhandenen Heizanlagen der Wärmebedarf und die erforderliche Wärmeleistung für den Ist-Zustand ermittelt.

Als zweiter Schritt erfolgt die Ermittlung des Potenzials zur Reduktion des Wärmebedarfes durch Dämmmaßnahmen beispielhaft anhand eines Gruppenhauses. Unter Berücksichtigung der nach der EnEV einzuhaltenden Höchstwerte werden technisch umsetzbare Dämmmaßnahmen geprüft und deren Einsparmöglichkeiten dargestellt. Mit dem Ergebnis können Aufwand und Erfolg für den gesamten Komplex hochgerechnet werden, da die meisten Gebäude einen sehr ähnlichen Standard aufweisen.

Im Anschluss erfolgt dann die Betrachtung der Wärmeerzeugung. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten sowie der Strukturierung des Nahwärmenetzes werden jeweils zwei unterschiedliche Nahwärmevarianten gegenübergestellt. Das kleine Netz umfasst den westlichen Bereich, der bereits über eine Heizzentrale und ein Nahwärmenetz versorgt wird. Zusätzlich wird hier ein Anschluss der Gärtnerei an das Netz empfohlen.

Das große Netz beinhaltet zusätzlich den Anschluss des Josephauses sowie des Ausbildungsbereiches an die Heizzentrale im Hauptgebäude. Da die Infrastruktur in diesen Bereichen allerdings sehr gut ist, wird der Anschluss dieser Gebäude zeitlich versetzt vorgeschlagen und eine dementsprechende Dimensionierung der Kessel gewählt.

Hierzu werden folgende Varianten untersucht:

- IST-Zustand Heizölkessel im Bestand
klein / groß
- Basisvariante Heizölkessel
klein / groß
- HHS-Variante Holzhackschnitzelkessel mit Spitzenlast-Heizölkessel
klein / groß

Aufbauend auf der Datengrundlage werden für die einzelnen Varianten die Energiebilanzen mit den umgesetzten Energie- und Brennstoffmengen sowie die Kohlendioxid-Emissionsbilanzen erstellt.

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden dann 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.

Ergänzend zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird eine Sensitivitätsanalyse der Brennstoffpreise Heizöl und Holz durchgeführt.

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

Als zusätzlicher Punkt werden für die betrachteten Gebäude die Dachflächen, die für eine Nutzung der Fotovoltaik in Frage kommen könnten, ausgewiesen und die sich hieraus theoretisch ergebenden Erträge ermittelt.

2 Ist-Analyse

Das Jugendhilfezentrum wurde 1928 erbaut und seitdem mehrfach erweitert. Auf dem ca. 3 ha großen Areal befinden sich zwei getrennte Nahwärmenetze sowie verschiedene dezentral mit Heizöl beheizte Gebäude. Die Wärmeerzeugung des Nahwärmenetzes westlich des Hauptgebäudes erfolgt durch zwei Standard-Heizölkessel (Bj. 1977 und 1991). Die Wärmeerzeugung des zweiten Nahwärmenetzes im Ausbildungsbereich erfolgt durch einen Standard-Heizölkessel (Bj. 2000) sowie ein Senertec-BHKW. Die Brauchwarmwassererzeugung (BWW) erfolgt zum großen Teil durch elektrischen Strom. Die Wärmeerzeugung im Josefhaus wird im Contracting bereitgestellt.

2.1 Gebäudebestand

Seit dem Bau des Jugendhilfezentrums im Jahr 1928 wurden stetig Umbauten und Erweiterungen des Komplexes vorgenommen.

Das Jugendhilfezentrum besteht aus insgesamt 13 zum Teil freistehenden Gebäuden. Die Längsachsen aller Gebäude sind mit einer leichten Abweichung nach Norden oder Westen ausgerichtet.

Hervorzuheben ist der zentrale Gebäudekomplex, in dem sich unter anderem die Schule, die Küche mit Speisesaal und die Verwaltung befinden. In den westlich angeordneten Wohngebäuden leben Jugendliche in Gruppen zusammen.

Weiterhin sind im östlichen Teil der Anlage das Josefhaus, ein dreigeschossiges Wohn- und Ausbildungshaus, eine Kirche, eine Gärtnerei sowie eine Sporthalle vorhanden. Zusätzlich befindet sich im östlichen Bereich des Geländes der Ausbildungsbereich mit Maler-, Schreiner-, und Metallbauwerkstätten sowie ein weiteres Wohnhaus; die Gruppe Michael. Ebenso ist hier eine Stallung mit verschiedenen Nutztieren angesiedelt.

Teilweise wurden die Fenster und Türen der Gebäude in den vergangenen Jahren erneuert, die Wärmedurchgangskoeffizienten unterscheiden sich allerdings deutlich, da die Fenster schrittweise saniert wurden und hier kein einheitlicher Standard verfolgt worden ist.

Die Dächer der Gebäude sind Schrägdächer mit einer Sparrenkonstruktion aus Holz. Auf die Außenseite der Sparren sind Holzbohlen aufgebracht, die Schindeln aus Schiefer tragen.

Eine Ausnahme bilden die Gebäude im Ausbildungsbereich und die Sporthalle, hier wurden Flachdächer verwendet.

Die genaue Lage aller Gebäude zueinander kann der Skizze auf der folgenden Seite entnommen werden.



2.2 Wärmeverteilung

Die Wärmeerzeugung erfolgt zentral in der Heizzentrale des Hauptgebäudes für den westlichen Bereich des Areals (Ausnahme: Gärtnerei). Von dort aus wird die Wärme jeweils über einen zentralen Verteiler mittels eines Nahwärmenetzes in Strahlenform mit direkter Wärmeübergabe verteilt. Die Rohrleitungen aus Stahl verlaufen in nicht begehbaren Kanälen oder direkt im Erdreich und sind mit einer Isolierung aus Glaswolle gedämmt. Der Zustand entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen, es sind deutliche Schäden durch Korrosion und Durchfeuchtung zu erkennen. Vereinzelt wurden nach Undichtigkeiten punktuelle Reparaturmaßnahmen durchgeführt.

Die folgenden beiden Abbildungen stellen den Zustand des Nahwärmenetzes dar:



Abbildung 1: Nahwärmenetz



Abbildung 2: Hausübergabestation

Die Regelung der Wärmeverteilung funktioniert manuell. Auch hier sind starke Verschleißerscheinungen zu erkennen. In ein Konzept zur Sanierung des Nahwärmenetzes sollte eine zeitgemäße Steuerung mittels moderner Gebäudeleittechnik (GLT) mit einbezogen werden. Der altersbedingt schlechte Zustand der Regelung wird beispielhaft anhand des Abgangs zum Kirchentrakt dargestellt:



Abbildung 3: Ventil



Abbildung 4: Regelung Kirche

Der Ausbildungsbereich sowie die Gruppe Michael und die Reithalle sind über ein weiteres Nahwärmenetz im östlichen Bereich des Areals zusammengefasst. Dieses Netz wird autark betrieben und es besteht keine Verbindung zum Nahwärmenetz in westlichen Bereich. Im Folgenden wird dieses Netz als ein großer Verbraucher „Ausbildungsbereich“ zusammengefasst, da die Wärmeerzeugung hier im Jahre 2000 saniert wurde und hier zunächst kein Handlungsbedarf besteht.



Abbildung 5: Josefhaus



Abbildung 6: Ausbildungsbereich

Das Josefhaus und die Gärtnerei werden jeweils dezentral beheizt und sind beide nicht an eine Nahwärmeleitung angeschlossen.



Abbildung 7: Gärtnerei

2.3 Wärmeherzeugung

Bei den auf dem Bernardshof vorhandenen Heizungsanlagen handelt es sich um mehrere geschlossene Pumpen-Warmwasser-Zentralheizungsanlagen.

Der „Bernardshof“ verfügt über insgesamt fünf Heizkessel. Zwei Heizöl-kessel mit 1.058 und 670 kW dienen der Bereitstellung der benötigten Heizleistung für das Hauptgebäude sowie das westlich gelegene Nahwärmenetz über insgesamt 48 Regelstrecken.

Die Gärtnerei wird über einen dezentralen Heizöl-kessel mit einer Heizleistung von 190 kW mit Wärmeenergie versorgt. Da das Josefhaus ebenfalls nicht an das Nahwärmenetz angeschlossen ist, besitzt dieses Gebäude eine eigene Wärmeversorgung mit einem 330 kW-Kessel, Speicher und Öltank. Diese Anlage wird bis zum Jahre 2010 von der Firma Harpen im Contracting-Verfahren betrieben.

Das im östlichen Bereich gelegene separate Nahwärmenetz wird über eine im Jahr 2000 sanierte Heizzentrale mit Wärmeenergie versorgt. Hier sind ein Heizöl-kessel mit 410 kW Leistung sowie ein Blockheizkraftwerk installiert. Das BHKW hat eine thermische Leistung von 10,4 kW und eine elektrische Leistung von 5,3 kW

In diesem Bereich wird das Warmwasser über das Nahwärmenetz bereitete.

2.3.1 Heizzentrale Hauptgebäude

Die Wärmeherzeugung zur Beheizung der Gebäudekomplexe im westlichen Nahwärmeverbund erfolgt mit zwei Heizöl-kesseln mit folgenden technischen Daten:

Hauptgebäude	Kessel 1	Kessel 2
Hersteller	Buderus	Buderus
Typ	Lollar	Lollar
Leistung	670 kW _{th}	1.058 kW _{th}
Baujahr	1991	1977
Ölgebläsebrenner	Brenner 1	Brenner 2
Hersteller	Golling	Golling

Tabelle 2-1 Kessel Hauptgebäude

2.3.2 Wärmeherzeugung Gärtnerei

Der Gärtnerei ist neben 720 m² Bürofläche ein 3.400 m² großes Gewächshaus angegliedert.

Die Gärtnerei wird über einen Heizöl-kessel mit folgenden Kennwerten beheizt:

Gärtnerei	Kessel
Hersteller	Buderus
Typ	Lollar
Leistung	190 kW _{th}
Baujahr	1989
Ölgebläsebrenner	Brenner 1
Hersteller	Golling

Tabelle 2-2 Kessel Gärtnerei

2.3.3 Wärmeherzeugung Josefhaus

Das Josefhaus besitzt eine eigene Wärmeversorgung mit einem 330 kW-Kessel, Speicher und Öltank. Diese Anlage wird bis zum Jahre 2010 von der Firma Harpen im Contracting-Verfahren betrieben und weist folgende Kenndaten auf:

Josefhaus	Kessel
Hersteller	Buderus
Typ	Logano
Leistung	330 kW _{th}
Baujahr	2001
Ölgebläsebrenner	Brenner 1
Hersteller	Weishaupt

Tabelle 2-3 Kessel Josefhaus

2.3.4 Heizzentrale Ausbildungsbereich

Im Ausbildungsbereich sind ein Heizölkessel mit 410 kW Leistung sowie ein Blockheizkraftwerk installiert. Die Kennwerte von BHKW und der Heizölkessel sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Ausbildungsbereich	Kessel	BHKW
Hersteller	Buderus	Senertec
Typ	Logano	Dachs
Leistung (th.)	410 kW _{th}	10,4 kW _{th}
Leistung (el.)		5,3 kW
Baujahr	2000	2000
Ölgebläsebrenner	Brenner 1	Brenner 2
Hersteller	Weishaupt	

Tabelle 2-4 Kessel / BHKW Ausbildungsbereich

2.4 Brauchwarmwasserbereitung

Das Brauchwarmwasser wird zurzeit generell elektrisch bereit und in Speichern vorgehalten. Diese Art der Brauchwarmwasserbereitung ist aufgrund des hohen Strompreises und des schlechten Zustandes der Speicherisolation eine sehr unwirtschaftliche Variante der Warmwasserbereitstellung. Eine Ausnahme bildet die Turnhalle, wo das Warmwasser lediglich im Sommer elektrisch beheizt wird und im Winter über den Nahwärme Anschluss der Heizung.

Eine zeitnahe Umstellung der Warmwasserbereitung auf Nahwärmebetrieb (evtl. in Verbindung mit dezentralen solarthermischen Anlagen) ist hinsichtlich der Energieeffizienz zu empfehlen.

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Isolation eines elektrischen Warmwasserboilers im Haus der Gruppe Guido:



Abbildung 8: Boiler Haus Guido



Abbildung 9: Isolation Boiler Haus Guido

Im Hauptgebäude befinden sich Warmwasserboiler mit einem Fassungsvermögen von insgesamt 5.000 Litern Wasser. Die Warmwasserbereitung wird hier neben der elektrischen Heizung zusätzlich von der Abwärme der zum Betrieb der Küche notwendigen Kühlaggregate unterstützt.

Im Schulgebäude wird das Warmwasser dezentral über elektrische Durchlauferhitzer bereit.

Der nachfolgenden Tabelle ist eine Übersicht über Volumen und Anschlussleistung der elektrischen Brauchwassererwärmung zu entnehmen:

Brauchwassererwärmung		
Standort	Volumen [l]	Leistung [kW _{el}]
Klausur	1.000	9
	1.000	9
Haupthaus	1.000	9
	1.000	9
	1.000	9
	2.000	Abwärme Kühlgeräte
	600	6
Tagesgruppe	600	6
Guido	600	6
Fakire	600	6
Bosco	600	6
Georg	500	6
	500	6

Tabelle 2-5 Übersicht Brauchwassererwärmung

3 Wärmebedarf

Die Wärmebedarfsermittlung stellt für ein bestimmtes Gebäude die Wärme dar, die durch die Gebäudehülle abgegeben wird, und die Wärme, die erforderlich ist, um die eindringende Außenluft auf Raumtemperatur zu erwärmen. Um den Wärmelastgang der Einzelgebäude im Detail nachzubilden ist eine sehr genaue Aufnahme der Gebäudedaten notwendig. Hier ist zu berücksichtigen, dass der Einfluss durch die Nutzer nicht unerheblich ist und sich die Daten zum Nutzerverhalten aufgrund der Größe und Komplexität des betrachteten Systems nur schätzen lassen.

Zunächst wird der Wärmebedarf des Gesamtkomplexes überschlägig ermittelt und dann die Sanierungsmöglichkeit im Bereich der Wärmedämmung anhand eines Gruppenhauses beispielhaft dargestellt.

Hierzu wird für den IST-Zustand eine Wärmebedarfsberechnung durchgeführt, die Durchführung verschiedener Maßnahmen zur Wärmedämmung angenommen und der Wärmebedarf für den gedämmten Zustand dargestellt. Mit dem Ergebnis können Aufwand und Erfolg für den gesamten Komplex hochgerechnet werden, da die meisten Gebäude einen sehr ähnlichen Standard aufweisen.

3.1 Übersicht Wärmebedarf

Der mit Nahwärme versorgte Komplex „Bernardshof“ besteht aus einer Vielzahl von bauphysikalisch unterschiedlichen Gebäuden. Da die Gebäude im gesamten Komplex erst zum Teil und nicht einheitlich auf modernen Standard gebracht wurden, wäre für eine differenzierte Betrachtung eine umfassende Wärmebedarfsberechnung erforderlich. Für ein vorläufiges Energiekonzept wird der Wärmebedarf überschlägig mit Hilfe von Brennstoffbedarf und Jahresnutzungsgrad ermittelt. Anhand von Kennwerten aus der Literatur kann so die benötigte Heizleistung abgeschätzt werden.

Die in der nachfolgenden Tabelle dargestellte Übersicht zeigt den geschätzten Wärmebedarf im Ist-Zustand:

	Jahreswärmebedarf [kWh _{th} /a]	WW-Bereitung Leistung el. [kWh _{el} /a]	Gesamtheizleistung Ist [kW _{th}]	Jahresvollbenzungsstunden [h/a]
Gärtnerei	133.000		190	700
Heizzentrale Hauptgebäude	1.512.000	45.000	1.728	851
Josefhaus	289.000	11.000	330	854
Ausbildungsbereich	288.000	Heizung	421	537

Tabelle 3-1 Übersicht Jahreswärmebedarf

3.2 Optimierung Wärmedämmstandard (Beispiel Haus Siegfried)

Auf Grundlage des derzeitigen Wärmedämmstandards werden Dämmmaßnahmen beispielhaft für das Gruppenhaus „Haus Siegfried“ untersucht.

Nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 02.12.2004 sind auch für bestehende Gebäude bei Änderung von Außenbauteilen die festgelegten Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) einzuhalten. Dies trifft dann zu, wenn Änderungen an Außenwänden, außen liegenden Fenster, Fenstertüren, Dachfenster mehr als 20 % der Bauteilflächen sowie an allen anderen Außenbauteilen weniger als 20 % der Bauteilflächen betreffen. Außerdem müssen nicht begehbare, aber zugängliche oberste Geschossdecken beheizter Räume bis zum 31.12.2006 so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der Geschossdecke $0,30 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ nicht überschreitet.

Die gesetzlichen Mindestanforderungen können mit größeren Dämmstärken und niedrigeren U-Werten unterschritten werden, sodass ein besserer Wärmedämmstandard erreicht werden kann.

Unter Berücksichtigung der nach der EnEV einzuhaltenden Höchstwerte werden technisch umsetzbare Dämmmaßnahmen geprüft und deren Einsparung ermittelt. Für den Ist-Zustand und den modernisierten Zustand wird der Jahresheizwärmebedarf nach der DIN V 4108-6¹ berechnet. Durch den Vergleich wird die theoretische Einsparung bestimmt. Da das Nutzerverhalten in den Berechnungen nicht mit abgebildet wird, wird die rechnerische Einsparung zur tatsächlichen Einsparung differieren.

In einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden zur Bewertung der Maßnahmen nur die für die energetische Einsparung relevanten Investitionskosten angerechnet. Es werden die Jahreskosten bzw. der Jahresüberschuss sowie die statische Amortisationsdauer bestimmt. Zusätzlich werden die Gesamtinvestitionskosten der Maßnahmen angegeben, die sich aus den Investitionskosten für die energetische Einsparung und den Investitionskosten, die auch bei der Gebäudeinstandhaltung wie z. B. Putzerneuerung und Gerüstkosten anfallen würden, zusammensetzen.

¹ DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs, Juni 2003

3.2.1 Dachdämmung

Die einfachste Variante einer Dachdämmung stellt die Dachbodendämmung dar. Dies ist nur dann möglich, wenn das Dachgeschoss nicht ausgebaut ist und der komplette Fußboden mit Dämmplatten ausgelegt werden kann. Damit der Raum begehbar bleibt, können die Dämmplatten mit einem Holzbelag abgedeckt werden.

Etwas aufwendiger ist die Dämmung zwischen den Dachsparren. Durch die neue EnEV sind die vorgeschriebenen Dämmschichten dicker geworden, so dass sie häufig die Sparrentiefe überschreiten. Der Sparren muss in diesem Fall aufgedoppelt werden, was zu Verlust an Dachraum führt. Bei einem Neubau oder einer Neueindeckung ist daher eine Aufsparrendämmung zu empfehlen.

Bei einer Aufsparrendämmung werden die Dämmplatten oberhalb der Sparren vollflächig verlegt. Es folgen Unterspannbahn, Konterlattung, Dachlatten und schließlich die Dacheindeckung. Die Aufsparrendämmung oberhalb der Sparren hat den Vorteil gegenüber der herkömmlichen Zwischensparrendämmung, dass durch die vollflächige Verlegung die Wärmebrücken im Bereich der Sparren entfallen. Zudem ist die Sparrenhöhe nur nach statischen Erfordernissen zu bemessen.

3.2.2 Außenwanddämmung

Die Außenwanddämmung wird außen an der Fassade angebracht. Zur Fassadendämmung werden nahezu alle Dämmplatten oder -matten aus Kork, Polystyrol, Mineralwolle oder Holzfaser verwendet. Die Dämmstoffe werden direkt auf der Fassade aufgebracht, für den nötigen Schutz sorgen Putzschichten oder vorgehängte Fassadenverkleidungen. Da bei der Außendämmung die massive Wand auf der warmen Innenseite liegt, ist das Mauerwerk vor Schäden durch Tauwasserbildung sicher. Fensterbänke, Außentür- und Fensterlaibungen sollten in die Dämmung mit einbezogen werden.

3.2.3 Wärmedämmstandard Ist-Zustand

Das Gruppenhaus „Haus Siegfried“ wurde 1975/76 als dreigeschossiges Gebäude mit Kellergeschoss errichtet. Das Mauerwerk besteht aus Leichtbeton – Hohlblöcken mit porigen Zuschlägen. Während an der Ost- und Westfassade eine hinterlüftete Vorhangfassade mit ca. 5 cm Mineralfaserdämmung angebracht ist, befindet sich auf der Nord- und Südfassade ein Wärmedämmverbundsystem mit ca. 4 cm Dämmschicht. Die Fenster bestehen aus einer Zweifach-Wärmeschutzverglasung und Kunststoffrahmen. Die Rollladenkästen stellen sich energetisch ungünstig dar, indem sie die Raumluft von der Außenluft nur durch eine Flachpressplatte und der entsprechenden Außenwanddämmung trennen. Auf der obersten Geschossdecke ist eine ca. 10 cm starke Mineralfaserdämmung verlegt.



Abbildung 10: Haus Gruppe Siegfried

Demnach entspricht das Gebäude nicht mehr dem Dämmstandard zur Zeit der Errichtung, sondern es wurden im Laufe der Zeit schon Dämmmaßnahmen wie Außenwanddämmung, Fenstererneuerung und Dämmung der obersten Geschossdecke durchgeführt

Zur Ermittlung des Jahresheizwärmebedarfs des Gruppenhauses im derzeitigen Wärmedämmstandard konnte z. T. während der Begehung Daten aufgenommen werden. Bei fehlenden Angaben wurden Aufbau und U-Werte alter Bauteile aus der Literatur entnommen. Anhand der zur Verfügung gestellten Pläne wurden die Berechnungen für das Gebäude durchgeführt.

In der Wärmebedarfsberechnung des Ist-Zustands werden folgende U-Werte angesetzt:

Außenwand WDVS	0,62 W/(m ² K)
Außenwand hinterlüftete Vorhangsfassade	0,54 W/(m ² K)
Außenwand Rollladenkasten WDVS	0,72 W/(m ² K)
Außenwand Rollladenkasten hinterlüftete Vorhangsfassade	0,62 W/(m ² K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren	2,00 W/(m ² K)
Außentür	3,50 W/(m ² K)
Oberste Geschossdecke	0,24 W/(m ² K)
Decken gegen unbeheizte Räume	1,00 W/(m ² K)

Die Berechnung ergab folgende Werte für das Gruppenhaus im Ist-Zustand:

Jahresheizwärmebedarf	37.300 kWh _{th} /a
Wärmeleistung	27 kW _{th}
Nutzfläche	317 m ²
spez. Jahresheizwärmebedarf	118 kWh _{th} /(m ² *a)
spez. Wärmeleistung	88 W _{th} /m ²

Tabelle 3-2 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand „Haus Siegfried“

Ein spezifischer Jahresheizwärmebedarf von 118 kWh_{th}/(m²*a) entspricht einem Heizöläquivalent von 11,8 l/m² Nutzfläche. Diese Bezeichnung veranschaulicht den spezifischen Jahresheizwärmebedarf, indem dieser in die entsprechende Heizölmenge je m² Nutzfläche umgerechnet wird. Dies entspricht nicht der erforderlichen Brennstoffmenge zur Beheizung.

3.2.4 Wärmedämmstandard modernisierter Zustand

In der Energieeinsparverordnung vom 02.12.2004 sind die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) für den erstmaligen Einbau, Ersatz und die Erneuerung von Bauteilen angegeben.

Es gelten folgende Werte für Gebäude mit normalen Innentemperaturen:

Außenwand	0,35 W/(m ² *K)
Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster	1,70 W/(m ² *K)
Außentüren	2,90 W/(m ² *K)
Decken, Dächer, Dachschrägen	0,30 W/(m ² *K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich außenseitige Dämmung	0,40 W/(m ² *K)
Decken, Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich innenseitige Dämmung	0,50 W/(m ² *K)

Da größere Dämmstärken als zur Einhaltung der EnEV erforderlichen Dämmstärken lediglich zu höheren Investitionskosten für die Dämmung bei gleich bleibenden Verarbeitungskosten führen, sind größere Dämmstärken zu favorisieren.

Aus diesen Gründen werden folgende Maßnahmen, die technisch umsetzbar sind, näher untersucht.

Bauteil	Maßnahme	U-Wert in W/(m ² *K)
Außenwand (vorher WDVS)	10 cm WDVS WLG 035 auf vorhandenes 4 cm WDVS	0,223
Außenwand (vorher hinterlüftete Vorhangfassade)	14 cm WDVS WLG 035 hinterlüftete Vorhangfassade entfernt	0,217
Außenwand Rollladenkasten (vorher WDVS)	10 cm WDVS WLG 035 auf vorhandenes 4 cm WDVS	0,235
Außenwand Rollladenkasten (vorher hinterlüftete Vorhangfassade)	14 cm WDVS WLG 035 hinterlüftete Vorhangfassade entfernt	0,228
Außen liegende Fenster, Fenstertüren	-	
Außentür	-	
Oberste Geschossdecke	20 cm Mineralfaserdämmung WLG 035 alte Dämmschicht entfernt	0,136
Decken gegen unbeheizte Räume	10 cm Polystyrol WLG 040	0,286

Tabelle 3-3 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand

In der folgenden Tabelle ist der Jahresheizwärmebedarf des Ist-Zustandes dem modernisierten Zustand gegenübergestellt:

		Ist-Zustand	modernisierter Zustand
Jahresheizwärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	37.300	25.600
Wärmeleistung	kW_{th}	27	18
Nutzfläche	m^2	317	317
Spez. Jahresheizwärmebedarf	$\text{kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	118	81
Spez. Wärmeleistung	$\text{W}_{\text{th}}/\text{m}^2$	88	59
Einsparung	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$		11.720
Jahresheizwärmebedarf	%		31
Einsparung Wärmeleistung	kW_{th}		9
	%		33

Tabelle 3-4 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand

Durch die Verbesserung des Wärmedämmstandards verringert sich der spezifische Jahresheizwärmebedarf so, dass das Gebäude einem 8,1 I-Haus entspricht.

Da sich in den Fenstern schon Wärmeschutzverglasung befindet und eine nachträgliche Dämmung der Dachschrägen und Drempelwände im Dachgeschoss aufgrund des Aufwands erst im Zuge von Gebäudeinstandhaltungsmaßnahmen umzusetzen ist, wird der Niedrigenergiehaus-Standard (NEH-Standard) mit den vorgeschlagenen Maßnahmen noch nicht erreicht, für den der spezifische Jahresheizenergieverbrauch kleiner ca. $70 \text{ kWh}_{\text{th}}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ liegen soll.

Die rechnerische Einsparung des Jahresheizwärmebedarfs beträgt 11.720 kWh_{th}/a und entspricht damit einer Verringerung um 31 %. Auch die Wärmeleistung reduziert sich um 9 kW_{th}, was 33 % entspricht.

Für die Einzelmaßnahmen reduziert sich der Jahresheizwärmebedarf wie folgt:

Maßnahme	Einsparung Jahresheizwärmebedarf in kWh _{th} /a	Anteil an Gesamteinsparung in %
Außenwanddämmung 14 cm WLG 035	6.570	56
Dämmung oberste Geschossdecke 20 cm WLG 035	713	6
Dämmung Kellerdecke 10 cm WLG 040	4.437	38

Tabelle 3-5 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisiert

Aufgrund des hohen Flächenanteils trägt eine Außenwanddämmung zum größten Teil am eingesparten Jahresheizwärmebedarf bei.

Diese Werte auf die anderen Gebäude zu übertragen ist nur im Falle der Gruppenhäuser empfehlenswert. Für die großen Gebäude sind jeweils eigene Wärmebedarfsberechnungen durchzuführen, da diese wiederum andere Standards bzw. andere Baujahre aufweisen (z.B. Hauptgebäude). Hier kann eine Dämmung der obersten Geschossdecke wesentlich höhere prozentuale Einsparungen bewirken, da im Gruppenhaus Siegfried bereits eine Dachdämmung installiert ist. Die Turnhalle und der Ausbildungsbereich sind wiederum völlig andere Bauwerke, die mit Wohnhäusern nicht direkt verglichen werden können.

3.3 Wirtschaftlichkeit Wärmedämmung

In der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden für die Dämmmaßnahmen die Investitions- und Kapitalkosten überschlägig ermittelt.

In der ersten Darstellung werden nur die Kosten herangezogen, die zu einer Verbesserung des Dämmstandards führen, Kosten, die bei Instandhaltungsmaßnahmen vorliegen, wie z. B. für Gerüst oder Putzerneuerung werden nicht berücksichtigt. Es handelt sich also um Mehrkosten, die zu Instandhaltungskosten bzw. zu Erneuerungskosten hinzu addiert werden müssen.

In der zweiten Darstellung werden die Gesamtinvestitionskosten, also die Summe der Investitionskosten für die Energieeinsparung und der Investitionskosten für Instandhaltung oder Erneuerung, angesetzt.

Zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Dämmmaßnahmen für die einzelnen Bauteile separat betrachtet, sodass für jede Maßnahme die zugehörige Amortisationsdauer angegeben werden kann. In der Gesamtbetrachtung ergibt sich eine niedrigere Einsparung durch eine leichte Erhöhung der Wärmeverluste durch nicht sanierte Gebäudeteile, denn durch die Dämmmaßnahmen erhöht sich die mittlere Innentemperatur etwas.

Die Kapitalkosten berechnen sich nach der Annuitätsmethode mit 5 % effektivem Zinssatz und 30 Jahren rechnerischer Nutzungsdauer.

Anhand des reduzierten Wärmebedarfs wird die eingesparte Heizölmenge und somit die eingesparten Brennstoffkosten mit dem spezifischen Heizölpreis² von 59,91 Ct/l inkl. MwSt. gegenüber dem Ist-Zustand ermittelt.

Die Kosten der energetischen Maßnahmen sind inklusive der gesetzlichen Mehrwertsteuer angegeben.

		Außenwand	Oberste Geschoss- decke	Kellerdecke	Summe
Investition	€	21.300	1.500	2.500	25.300
Kapitalkosten	€/a	1.386	98	163	1.647
Einsparung	€/a	508	55	343	846
Jahresbilanz	€/a	-878	-43	180	-800
Statische Amortisation	a	41,9	27,2	7,3	29,9

Tabelle 3-6 Wirtschaftlichkeit energetische Maßnahmen zum modernisierten Zustand

Die jährlichen Brennstoffeinsparungen durch die Dämmmaßnahmen können die Kapitalkosten der energetischen Maßnahmen nur für die Kellerdecke decken. Statisch betrachtet kann das eingesetzte Kapital nach ca. 7 bis 42 Jahren zurückerwirtschaftet werden. In der Summe betrachtet liegt die statische Amortisation der Gesamtmaßnahmen noch innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer.

² www.heizaelboerse.de: 56 PLZ-Gebiet, 20. KW 2006, 10.000 l Liefermenge

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit den Gesamtinvestitionskosten sind in der Tabelle aufgeführt:

		Außenwand	Oberste Geschoss- decke	Kellerdecke	Summe
Investition	€	39.900	1.500	2.500	43.900
Kapitalkosten	€/a	2.596	98	163	2.857
Einsparung	€/a	508	55	343	846
Jahresbilanz	€/a	-2.088	-43	180	2.011
Statische Amortisation	a	78,5	27,2	7,3	51,9

Tabelle 3-7 Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahmen

Unter Einbeziehung der erforderlichen Gesamtinvestitionskosten zur Umsetzung des verbesserten Wärmedämmstandards können die eingesparten Brennstoffkosten die aufzuwendenden Kapitalkosten nur für die Dämmung der Kellerdecke decken. Die statische Amortisationsdauer zeigt, dass bis auf Außenwanddämmung sich alle übrigen Maßnahmen zwischen rund 7 bis 27 Jahren innerhalb der rechnerischen Nutzungsdauer amortisieren. Bei Umsetzung aller Maßnahmen ergibt sich eine statische Amortisationszeit in Höhe von 51,9 Jahren.

4 Sanierung Wärmeverteilung

Auf dem Gelände „Bernardshof“ befinden sich zwei getrennte Nahwärmenetze mit jeweils einer Heizzentrale. Die Rohrleitungen aus Stahl verlaufen in nicht begehbaren Kanälen oder direkt im Erdreich und sind mit einer Isolierung gedämmt. Der Zustand entspricht nicht mehr den heutigen Anforderungen, es sind deutliche Schäden durch Korrosion und Durchfeuchtung zu erkennen.

Da die Wärmeerzeugung im Ausbildungsbereich sowie im Josefhaus erst wenige Jahre alt ist, wird in diesem Konzept eine zweistufige Sanierung der Wärmeverteilung betrachtet.

Um die Dimensionierung deutlich darstellen zu können, wird das Netz im Rahmen des Konzeptes in folgende vier Bereiche eingeteilt:

- West neu
- Süd neu
- Ost neu
- Bestand

Eine Übersicht mit Skizze ist auf der folgenden Seite dargestellt.

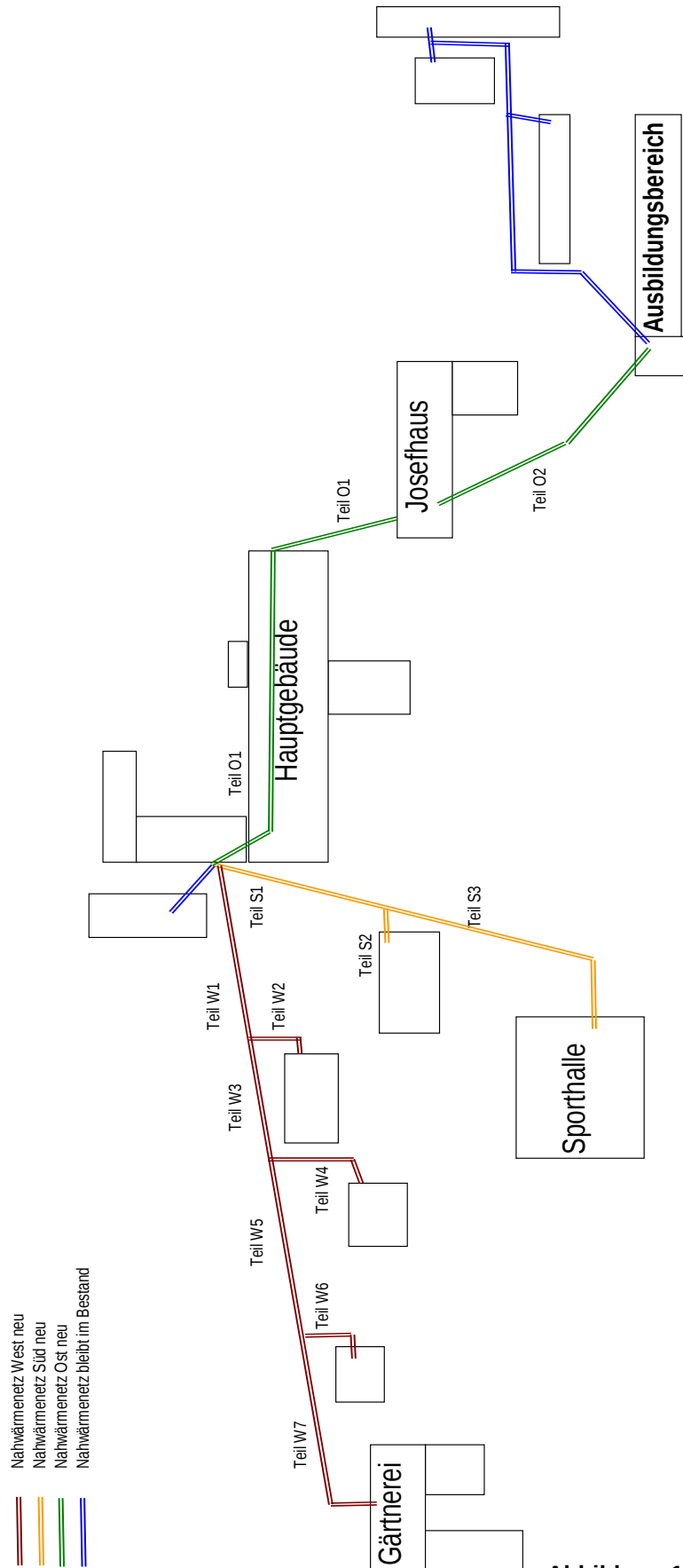
Handlungsbedarf besteht zunächst im westlichen Bereich des Areals im Netz der zentralen Wärmeerzeugung im Hauptgebäude, ein zusätzlicher Anschluss der Gärtnerei an das Nahwärmenetz ist empfehlenswert und wird daher in die Kostenschätzung mit einbezogen. Aufgrund der veralteten Struktur ist es erforderlich, das Netz komplett zu erneuern.

Bei der Ausführung der Sanierung ist darauf zu achten, dass die Versorgungssicherheit der Gruppenhäuser gewährleistet ist.

Nach dem Ende der Lebensdauer der Wärmeerzeugung im Josefhaus sowie im Ausbildungsbereich kann in einer zweiten Ausbaustufe eine Verbindung zur Heizzentrale geschaffen werden und dieser Bereich mitversorgt werden. Hierzu ist es allerdings erforderlich, dass diese Ausbaustufe bereits in Planung und Auslegung der Schnittstellen im Netz sowie in der GLT mit vorgesehen wird.

Nach dem Marktanreizprogramm „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 14. März 2006 Bundesanzeiger Nr. 57 ausgegeben am 22. März 2006“ kann für automatisch beschickte Biomasseanlagen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW_{th} ein Teilschulderlass von 60 € je kW_{th} (maximal 275.000 €) sowie für die Nahwärmeleitung bei einer Wärmeabnahme von mehr als 1,5 MWh_{th}/(m*a) ein Teilschulderlass von 50 € je m Rohrlänge (maximal 600.000 €) auf das KfW-Darlehen beantragt werden. Antragsberechtigt sind seit dem 01.01.2004 auch Kommunen und kommunale Betriebe. Aktuelle Konditionen (Stand 08.06.2006) zum KfW-Darlehen „Förderung erneuerbare Energien“ sind für private Antragsteller und Kommunen u. a. eine maximale Laufzeit von 20 Jahren mit maximal 3 tilgungsfreien Anlaufjahren und zurzeit 4,22 % effektivem Zinssatz. Da sich der Zinssatz kurzfristig steigen oder fallen kann, wird für alle Investitionen im Bereich regenerativer Energien ein mittlerer Zinssatz von 4 % angenommen.

Im Folgenden werden in diesem Konzept für jede Wärmeerzeugungsart zwei Größenvarianten des Nahwärmenetzes dargestellt. Der kleine Nahwärmeverbund umfasst jeweils neben dem Hauptgebäude mit Kirche und Schule, die Gruppenhäuser, die Turnhalle sowie die Gärtnerei. Der große Verbund beinhaltet zusätzlich das Josefhaus sowie den Ausbildungsbereich im Osten des Areals.



Nahwärmenetz

Abbildung 11: Übersicht

4.1 Sanierung Wärmeverteilung West

Der zusätzliche Anschluss der Gärtnerei und der allgemein schlechte Zustand der Nahwärmeleitungen macht einen Neubau des Netzes in absehbarer Zeit erforderlich. In der folgenden Skizze ist die Einteilung der Netzbereiche zu erkennen. Nach diesen wird anschließend die Kostenschätzung aufgeschlüsselt.

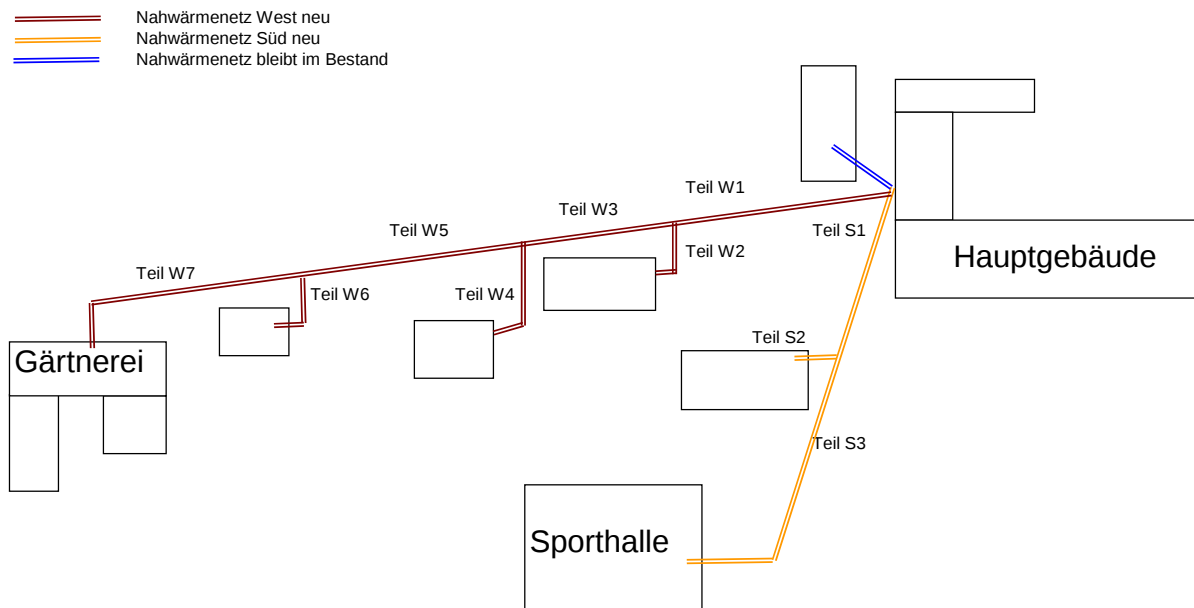


Abbildung 12: Nahwärmenetz Sanierung im Bereich West

In den nachfolgenden Tabellen sind Leitungslängen, Dimensionierungen und Wärmeverluste dargestellt:

Nahwärmeleitung		Teilstück W1	Teilstück W2	Teilstück W3	Teilstück W4	Teilstück W5	Teilstück W6	Teilstück W7
Trassenlänge	m	60	10	40	20	70	10	60
davon Grünfläche	m	60	10	40	20	70	10	60
davon bef. Gelände	m	0	0	0	0	0	0	0
davon Kellerräume	m	0	0	0	0	0	0	0
Rohrdimension	DN	100	65	65	65	65	32	65
Wärmeverluste	kW _{th}	1	0	1	1	1	0	1
Nahwärmeverluste	kWh _{th} /a	12.640	1.064	3.456	3.027	6.048	1.514	5.184
Leistung WÜS	kW	60		60		30		130
Kosten WÜS	€	5.000		5.000		5.000		5.000

Tabelle 4-1 Dimensionierung W1 bis W7

Nahwärmeleitung		Teilstück S1	Teilstück S2	Teilstück S3
Trassenlänge	m	30	10	70
davon Grünfläche	m	20	10	60
davon bef. Gelände	m	10	0	10
davon Kellerräume	m	0	0	0
Rohrdimension	DN	65	65	65
spez. Wärmeverluste	W/m	24,048	22,176	18,000
Wärmeverluste	kW_{th}	1	0	1
Nahwärmeverluste	kWh_{th}/a	6.320	1.064	6.048
Leistung WÜS	kW	60		70
Kosten WÜS	€	5.000		5.000

Tabelle 4-2 Dimensionierung S1 bis S3

Den nachfolgenden Tabellen sind die Kosten für die Nahwärmeleitungen zu entnehmen³:

Kosten Kunststoffmantelrohr im Zweileitersystem W1 bis W7				
	Verlegung im Gebäude	Verlegung im offen. Gelände	Verlegung im befest. Gelände	gesamt
DN 32 [m]	0	10	0	10 m
DN 65 [m]	0	200	0	200 m
DN 100 [m]	0	60	0	60 m
Kosten pro Meter				270 m
DN 32 [€/m]	205	210	385	
DN 65 [€/m]	240	270	455	
DN 100 [€/m]	285	300	560	
Kosten gesamt				
DN 32 [€]	0	2.100	0	2.100 €
DN 65 [€]	0	54.000	0	54.000 €
DN 100 [€]	0	18.000	0	18.000 €
				gesamt 74.000 €
Kosten Kunststoffmantelrohr im Zweileitersystem S1 bis S3				
	Verlegung im Gebäude	Verlegung im offen. Gelände	Verlegung im befest. Gelände	gesamt
DN 32 [m]	0	0	0	0 m
DN 65 [m]	0	90	20	110 m
DN 100 [m]	0	0	0	0 m
Kosten pro Meter				110 m
DN 32 [€/m]	205	210	385	
DN 65 [€/m]	240	270	455	
DN 100 [€/m]	285	300	560	
Kosten gesamt				
DN 32 [€]	0	0	0	0 €
DN 65 [€]	0	24.300	9.100	33.400 €
DN 100 [€]	0	0	0	0 €
				gesamt 33.000 €

Tabelle 4-3 Kosten Sanierung Nahwärme West

Insgesamt fallen für die Sanierung des Nahwärmenetzes im westlichen Bereich 137.000 € an Kosten an. In Verbindung mit einer Wärmeversorgung auf Biomassebasis können 50 € pro Meter Rohrlänge an Förderung über das Marktanreizprogramm des Bundesamtes für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle in Anspruch genommen werden, insgesamt 38.000 €.

³ Kennziffernkatalog: Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft, Hrsg.: ENERGY CONSULTING, GfEM, Ausgabe 2004

4.2 Sanierung Wärmeverteilung Ost

Das im östlichen Bereich gelegene separate Nahwärmenetz wird über eine im Jahr 2000 sanierte Heizzentrale mit Wärmeenergie versorgt. Im Folgenden wird dieses kleine Nahwärmenetz als ein Verbraucher „Ausbildungsbereich“ bezeichnet.

Zwischen dem Ausbildungsbereich und dem Hauptgebäude befindet sich das Josefhaus. Im Zuge einer großen Nahwärmevariante könnten Ausbildungsbereich und Josefhaus an die Heizzentrale angeschlossen werden. Zusätzlich zu den Kosten für die Sanierung der Wärmeverteilung im westlichen Bereich würde somit der Neubau der Verbindungsleitung notwendig werden.

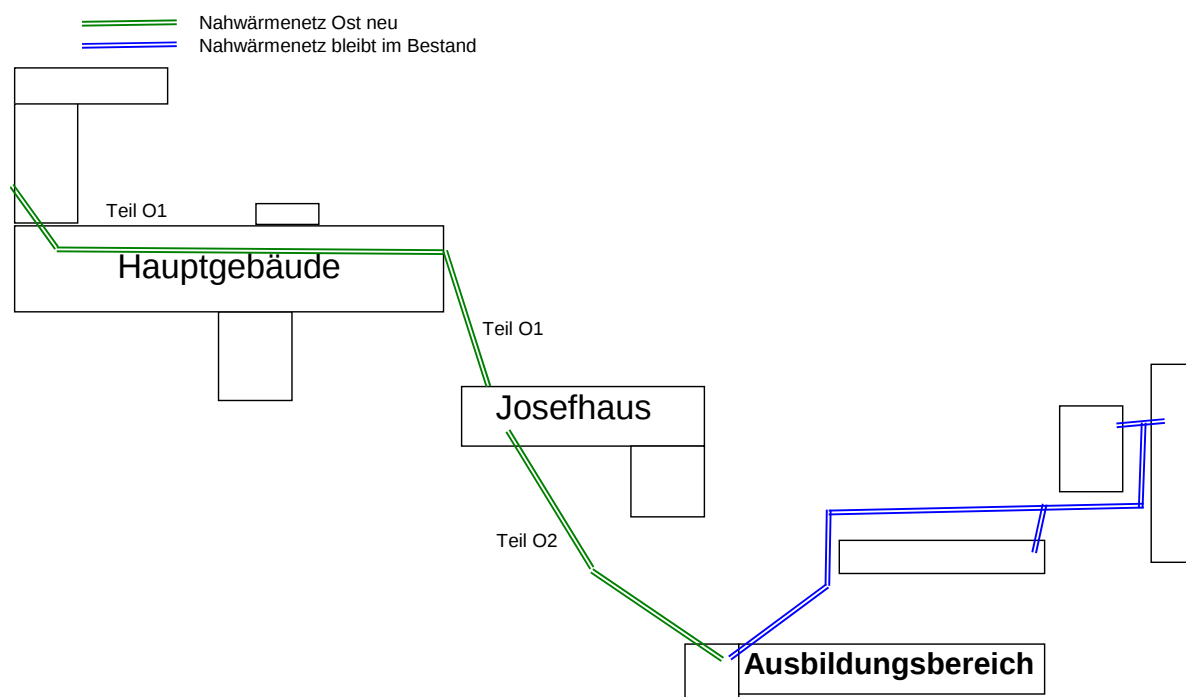


Abbildung 13: Nahwärmenetz Neubau im Bereich Ost

In den nachfolgenden Tabellen sind Leitungslängen, Dimensionierungen und Wärmeverluste dargestellt:

Nahwärmeleitung		Teilstück O1	Teilstück O1
Trassenlänge	m	350	80
davon Grünfläche	m	0	60
davon bef. Gelände	m	30	20
davon Kellerräume	m	320	0
Rohrdimension	DN	100	100
spez. Wärmeverluste	W/m	24,048	22,176
Wärmeverluste	kW_{th}	8	2
Nahwärmeverluste	kWh_{th}/a	73.731	8.516
Leistung WÜS	kW	240	240
Kosten WÜS	€	6.000	6.000

Tabelle 4-4 Dimensionierung Neubau O1 und O2

Kosten Kunststoffmantelrohr im Zweileitersystem					
		Verlegung im Gebäude	Verlegung im offen. Gelände	Verlegung im befest. Gelände	gesamt
DN 32	[m]	0	0	0	0 m
DN 65	[m]	0	0	0	0 m
DN 100	[m]	320	60	50	430 m
Kosten pro Meter					430 m
DN 32	[€/m]	205	210	385	
DN 65	[€/m]	240	270	455	
DN 100	[€/m]	285	300	560	
Kosten gesamt					
DN 32	[€]	0	0	0	0 €
DN 65	[€]	0	0	0	0 €
DN 100	[€]	91.200	18.000	28.000	137.200 €
gesamt					137.000 €

Tabelle 4-5 Kosten Neubau O1 und O2

Für den Neubau der Nahwärmeleitung zum Josefhaus und zum Ausbildungsbereich fallen Kosten von 149.000 € an.

Insgesamt werden für die Sanierung der Wärmeverteilung im westlichen Bereich und den Neubau der Nahwärmeleitung zum Josefhaus und zum Ausbildungsbereich 286.000 € benötigt. In Verbindung mit einer Wärmeversorgung auf Biomassebasis können 50 € pro Meter Rohrlänge an Förderung über das Marktanreizprogramm des Bundesamtes für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle in Anspruch genommen werden, insgesamt 81.000 €.

5 Sanierung Wärmeerzeugung

Die Beheizung von Gebäuden verschlingt heute in der Bundesrepublik Deutschland rund 32 % des Endenergiebedarfs. Die damit verbundenen Emissionen tragen zur Luftverschmutzung und zum Treibhauseffekt bei, im Bereich der Wärmeversorgung von Gebäuden besteht jedoch noch immer ein erhebliches Einsparungspotenzial. Dies betrifft neben der Gebäudedämmung auch die Wärmeerzeugung. Die Bundesregierung hat beschlossen, dass bis Mitte des Jahrhunderts erneuerbare Energien mindestens die Hälfte unseres Energiebedarfes decken sollen. Deren verstärkte Nutzung vermeidet die Freisetzung von klimaschädlichen Treibhausgasen, denn die Schadstoffe Stickoxid, Schwefeldioxid, Kohlenwasserstoffe und Staubpartikel, die bei der fossilen Verbrennung entstehen, werden bei der Nutzung erneuerbarer Energien nicht oder nur in geringem Umfang ausgestoßen.

Die großen Potentiale erneuerbarer Energien in Deutschland werden bei der energetischen Nutzung von Biomasse erst zu einem geringen Prozentsatz genutzt. Seit vielen Jahren wird der Holzbestand zudem stetig erhöht, eine weitere Quelle ist das Landschaftspflegeholz, das bei der Pflege von Grünanlagen, Nutzflächen und Verkehrswegen anfällt.

Im Energiekonzept für das „Bernardshof“ wird eine neue Wärmeerzeugung auf Heizölbasis einer Wärmeerzeugung auf Biomassebasis in Form von Holzhackschnitzeln gegenübergestellt.

5.1 Wärmeerzeugung auf Heizölbasis

Das Heizöl wird im Heizbetrieb durch die Verbrennungswärme im Brennstoff verdampft und bildet mit der angesaugten oder eingeblasenen Luft ein brennfähiges Gemisch. Die durch die Verbrennung freigesetzte Energie wird im Kessel an ein Wärmeträgermedium übertragen. Ölfeuerungen mit Gebläsebrennern erfordern Kessel mit geschlossenem Brennerraum, da die Luft zwangsläufig zugeführt wird. Der Betrieb von Niedertemperaturkesseln erfordert ein auf die Kesseltemperatur abgestimmtes Heizsystem. Hauptziel dieser Konstruktion ist die Verringerung der Abgastemperatur und das Senken der Wärmeverluste an den Aufstellraum. Im Ergebnis dieser Maßnahmen tritt eine deutliche Verbesserung des Jahresnutzungsgrades ein.

5.1.1 Dimensionierung Heizölkessel

Bei einer von den Wärmeerzeugern abzudeckenden Leistung von ca. 1,36 MW_{th} bzw. 1,84 MW_{th} wird ein herkömmlicher Niedertemperatur-Heizölkessel im Heizraum installiert. Hierzu sind zusätzliche Investitionskosten für die neue Mess- und Regeltechnik notwendig.

5.1.2 Heizölbevorratung

Die auf dem Bernardshof zur Brennstoffbevorratung verwendeten Heizöltanks sind augenscheinlich in einem guten Zustand und können daher voraussichtlich weiter genutzt werden.

5.1.3 Investitionskosten

Die Investitionskosten für die Basisvarianten beziffern die Installation einer neuen Kesselanlage. Sie betragen für die kleine Variante insgesamt 53.000 € und für die große Variante insgesamt 60.000 €, inklusive 8.000 € Mehrwertsteuer (gerundet).

Investitionskosten		Heizzentrale & Gärtnerei Basis klein	Gesamt Basis groß
Demontage Heiztechnik			
Demontage spezifisch	€/kW _{th}	5	5
Summe	€	10.000	13.000
MwSt. gerundet	€	2.000	2.000
Summe inkl. MwSt.	€	12.000	15.000
NT-Heizölkessel			
Kesselleistung Kessel	kW	1.360	1.840
Kessel	€	20.000	23.000
Ölbrenner	€	5.000	5.000
Zubehör	€	6.000	7.000
Montage (12 %)	€	4.000	4.000
Summe	€	35.000	39.000
MwSt. gerundet	€	6.000	6.000
Summe inkl. MwSt.	€	41.000	45.000

Tabelle 5-1 Investitionskosten Basisvarianten

5.2 Wärmeerzeugung auf Biomassebasis

Bei der Biomasseerzeugung wird solare Strahlung mit Hilfe von Pflanzen über den Prozess der Photosynthese in organische Materie umgewandelt. Biomasse stellt gespeicherte Sonnenenergie dar und unterscheidet sich damit grundsätzlich von anderen Nutzungsarten der Sonnenenergie. Da z.B. die Windkraft oder die Fotovoltaik direkt an die von der Sonne eingestrahlte Energie gekoppelt sind, unterliegen diese innerhalb kurzer Zeiträume erheblichen Angebotsschwankungen. Diese teilweise heftigen Schwankungen des Energieangebots erfordern zusätzliche Speichersysteme, wenn eine Energieversorgung mit einem hohen Maß an Versorgungssicherheit realisiert werden soll.

5.2.1 Funktionsweise HHS-Kessel

Holz hackschnitzel (HHS) sind etwa streichholzschachtelgroße Holzstücke, die mit speziellen Hackmaschinen aus Restholz hergestellt werden. Durch die gute Schütffähigkeit der Holz hackschnitzel sind Transport und Beschickung der Feuerungsanlage problemlos. Automatisierte Regelungen, Beschickungen und Entaschungen gewährleisten daher einen kontinuierlichen Betrieb der HHS-Anlage ohne großen Bedienungsaufwand.

Lager und Austragung

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- oder Turmsilo), als Bunker oder als eigenes Gebäude ausgeführt werden. Alternativ dazu kann der Brennstoff auch in Containern geliefert werden, in denen die Fördertechnik fest integriert ist.

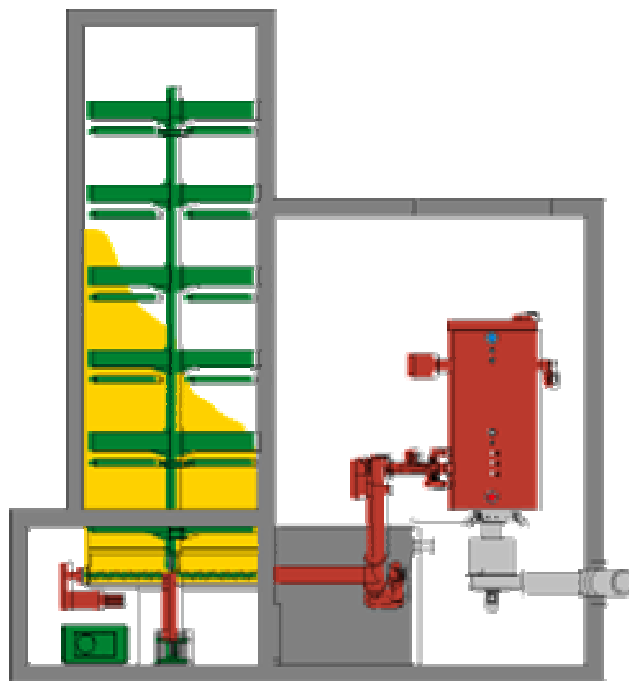


Abbildung 14: Draufsicht HHS-Bunker und HHS-Kessel [Fa. Mawera]

Aus dem HHS-Lager werden die Hackschnitzel über eine Förderanlage kontinuierlich zum Kessel transportiert. Hierzu werden Schubböden, Kreisaustragungen oder Austragschnecken eingesetzt. Diese Techniken ermöglichen eine vollautomatische Entleerung des Lagers. Zwischen der Siloaustragung und dem Heizkessel wird das Brennmaterial durch Beschickungssysteme zur Feuerung transportiert. Die letzte der Förderschnecken wird auch Dosierschnecke genannt, weil über sie die Leistung der Heizung geregelt wird. Grundsätzlich sollte das Hackschnitzelsilo möglichst nah am Kessel angeordnet sein.

Holzkessel

Der mit der Dosierschnecke in die Brennkammer gebrachte Brennstoff fällt in die Brennstoffmulde und wird dort unter Zufuhr von Primärluft zunächst getrocknet und dann in Holzgas umgewandelt. Die Verbrennung des Holzgases erfolgt unter Sekundärluftzugabe in der Brennkammer über der Mulde. Die heißen Rauchgase übertragen über Wärmetauscher ihre Energie an das Heizmedium. Für den vorgesehenen Leistungsbereich werden bevorzugt Unterschub- und Vorofenfeuerungen eingesetzt.

Das zu einer modernen Holzfeuerungsanlage gehörende Regelungskonzept 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. 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.

5.2.2 Brennstoff Holz

Holz hat als Energieträger eine lange Tradition. Nachdem früher vor allen Dingen Stückholz in Einzelfeuerungen genutzt wurde, hat die Entwicklung neuer Techniken Holz einen neuen Stellenwert als Energieträger in Kombination mit anderen Brennstoffen verschafft. Die energetische Nutzung von Holz setzt nur die Menge an CO₂ frei, die der Baum der Atmosphäre im Verlaufe seines Wachstums entzogen hat. Holz gilt deshalb als „CO₂-neutral“. Positiv für den Klimaschutz ist der Ersatz fossiler Energieträger wie Kohle, Erdöl oder Erdgas durch Biomasse. Neben den Aspekten der Umweltbelastung durch zusätzlichen CO₂-Ausstoß sind die Energieträger Erdöl und Erdgas sowohl bei der Förderung als auch beim Transport mit erheblichen Risiken belastet. Die Produktion und der Transport der Hackschnitzel enthalten keine umweltrelevanten Risiken.

Energetische Eigenschaften von Holz

Lebende Bäume bestehen neben den Zellen des Holzgewebes überwiegend aus wässrigen Lösungen. Der Wassergehalt von Holz ist ein wesentliches Qualitätsmerkmal bei der energetischen Verwertung. Neben dem Wirkungsgrad der Anlage sind auch Dichte und Heizwert vom Wassergehalt abhängig.

- Der Wassergehalt (w) gibt das Verhältnis des im Holz enthaltenen Wassers zur Masse an feuchtem Holz an (in Prozent)
- Die Holzfeuchte (u) gibt das Verhältnis des im Holz enthaltenen Wassers zur Masse an trockenem Holz an (in Prozent)

Der Heizwert ist definiert als die Wärmeenergie, die bei der Verbrennung von 1 Kilogramm Brennstoff frei wird. Unterschieden wird in oberen (H_o) und unteren Heizwert (H_u). Der obere Heizwert – auch Brennwert genannt – enthält zusätzlich zur Verbrennungsenergie die Kondensationswärme des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfs. Luftgetrocknetes Brennholz hat gegenüber frisch geschlagenem Holz den doppelten (unteren) Heizwert. In der Praxis hat der Holzhackschnitzelmix meist einen durchschnittlichen Heizwert von 800 bis 850 kWh.

Holzhackschnitzel

Für automatisch beschickte Holzheizanlagen werden möglichst einheitlich gehackte Holzstücke benötigt. Holzhackschnitzel dürfen in herkömmlichen Holzöfen nicht kleiner als 6 cm sein, da sie sonst zu dicht gepackt liegen. In automatischen Heizanlagen dagegen sind Schnitzelgrößen von 3 bis 5 cm vorzuziehen, da diese von den Transportschnecken zuverlässiger fortbewegt werden können und eine geringere Rückbrandgefahr von ihnen ausgeht. In allen Fällen sollen die Hackschnitzel aber eine einheitliche Größe haben, da nur so eine optimale Feuerqualität zu erzielen ist. In Deutschland existiert bis dato keine Normung für Hackschnitzel.

Die folgenden beiden Tabellen zeigen die Einteilung in drei Größenklassen, die nach der österreichischen Norm ÖNORM M 7133. Für die geplante Anlage auf dem Wehrborn ist die mittlere Klasse G 50 zu empfehlen, damit im Bunker eine Nachtrocknung der Hackschnitzel möglich ist.

Klasse	Massenanteil des relevanten Korngrößenbereiches				Extremwerte	
	max. 20% [mm]	60 - 100% [mm]	max. 20% [mm]	max. 4% [mm]	Querschnitt [cm ²]	Länge [cm]
G 30 fein	> 16	16 - 2,8	2,8 - 1	< 1	3	8,5
G 50 mittel	> 31,5	31,5 - 5,6	5,6 - 1	< 1	5	12
G 100 grob	> 63	63 - 11,2	11,2 - 1	< 1	10	25

Tabelle 5-2 Größeneinteilung von Hackschnitzeln

	Hackgutklasse	Klassengrenzen	Erläuterung
B) Wassergehaltsklassen: (Wassergehalt bezogen auf feuchte Masse)	W 20	< 20 %	"lufttrocken"
	W 30	20-30 %	"lagerbeständig"
	W 35	30-35 %	"beschränkt lagerbeständig"
	W 40	35-40 %	"feucht"
	W 50	40-50 %	"ernte frisch"
C) Schüttdichteklassen: (Wasserfreier Zustand)	S 160	< 160 kg/m ³	"geringe Schüttdichte"
	S 200	160-250 kg/m ³	"mittlere Schüttdichte"
	S 250	> 250 kg/m ³	"hohe Schüttdichte"
D) Aschegehaltsklassen:	A 1	< 1 %	"geringer Aschegehalt"
	A 2	1-5 %	"erhöhter Aschegehalt"

Tabelle 5-3 Einteilung von Holzhackschnitzeln

Waldrestholz fällt als Rückstand der Stammholz-, der Industrieholzgewinnung und bei Durchforstungsarbeiten an. In den Sägewerken fallen die Sägenebenprodukte (SNP) wie Rinde, Späne, Spreißel und Schwarten an. Der Sm³ Holzhackschnitzel kostet zwischen 10 und 18 €. Für naturbelassenes Altholz und Sägenebenprodukte (SNP) werden eher 10 € angesetzt, der Preis für Waldrestholz liegt bei 15 bis 18 €. Der Sm³ Altholz hat allerdings nur einen Heizwert_{Hu} von 800 kWh, das entspricht einem Heizöläquivalent von 80 Litern. Ein Sm³ Waldholz aus Buche hingegen hat einen Heizwert_{Hu} von bis zu 1.000 kWh, das entspricht einem Heizöläquivalent von 100 Litern. Beim momentanen Heizölpreis von 0,45 € pro Liter betragen die Kosten für den Brennstoff Holz zurzeit nur etwa ein Drittel der Kosten für Heizöl.

5.2.3 Dimensionierung Biomassekessel

Da die Investitionskosten für Biomassekessel etwa auf doppeltem Niveau vergleichbarer Erdgas- oder Heizölkessel liegen, werden sie üblicherweise nur für den Grund- und Mittel-lastbedarf ausgelegt. Dies hat jährlich hohe Vollbenutzungsstunden des Holzkessels zur Folge, so dass die Investitionssumme auf mehr Betriebsstunden verteilt wird und zu einer günstigen Amortisationszeit führt. Größere Heizkessel ($>1 \text{ MW}_{\text{th}}$) werden eher mit einem Deckungsanteil von 25 % dimensioniert, kleinere Biomassekessel ($<250 \text{ kW}_{\text{th}}$) eher mit 50 % Deckungsanteil.

Zur Versorgung beider möglichen Nahwärmenetze auf dem Bernardshof ist ein HHS-Kessel mit einer Nennwärmeleistung von $500 \text{ kW}_{\text{th}}$ vorgesehen. Dieser ist im kleinen Netz auf ca. 37 % des Leistungsbedarfes ab Heizzentrale ausgelegt. Im großen Netz kann der Kessel ca. 27 % des Leistungsbedarfes abdecken und hat bei Volllastbetrieb einen Tagesbedarf von ca. 15 Sm^3 Holzhackschnitzel. Mit dieser Auslegung kann der Wärmebedarf im kleinen Netz von $1.400 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ zu ca. 85 % auf regenerativer Basis mit HHS gedeckt werden (gelbe Fläche in Abbildung 15). Im großen Netz können mit $1.760 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{a}$ etwa 76% des Wärmebedarfs regenerativ gedeckt werden.

Für die Abdeckung der Spitzenlast wird ein Niedertemperatur-Heizölkessel eingesetzt. Möglich sind auch deren zwei, um eine bessere Regelbarkeit zu erreichen, da zwei kleinere Kessel den Teillastbereich wesentlich besser abdecken können als ein großer. Das erfordert aber insgesamt eine höhere Investitionssumme als ein einzelner größerer Kessel. Diese Entscheidung muss dann im Zuge der Planung getroffen werden und ist unter anderem davon abhängig, welchen Wert der Betreiber auf die Möglichkeit der Redundanz legt.

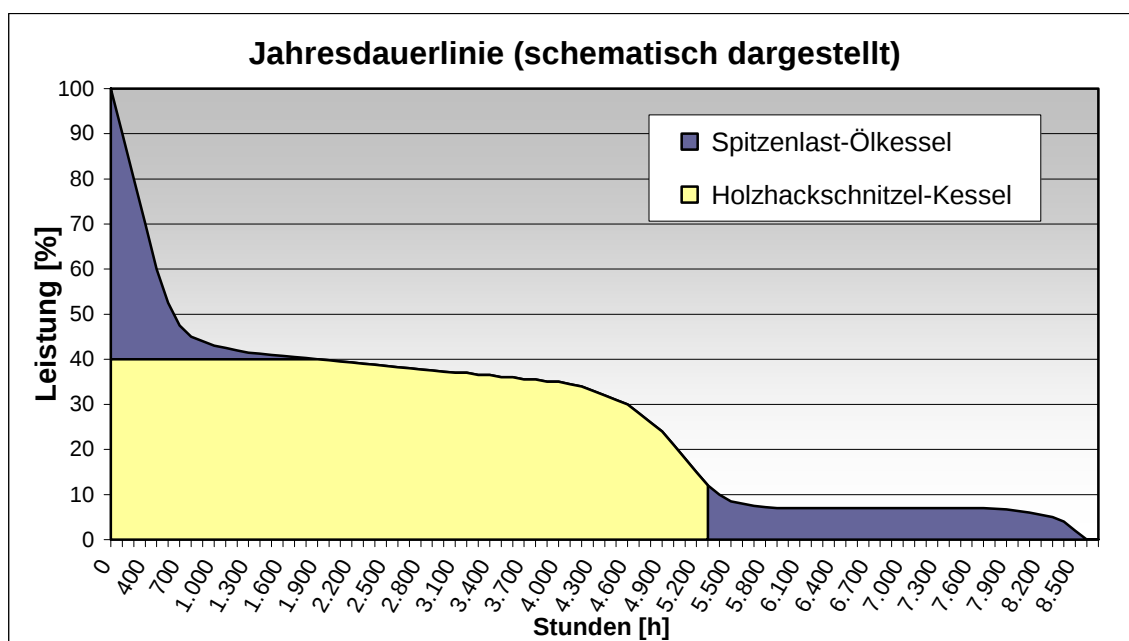


Abbildung 15: Wärmebereitstellung der Anlagen im Szenario [TSB]

Für die Anlage „Bernardshof“ kann die Heizungszentrale wie in Abbildung 16 realisiert werden, da ein günstiger Standort für den HHS-Bunker direkt vor der Einfahrt zum Heizraum zur Verfügung steht. Dort stehen zurzeit Bäume, deren Entfernung aber möglich ist. Die Anlieferung der Holzhackschnitzel ist an dieser Stelle möglich, die Versorgung mit Heizöl des Spitzenlastkessels wird wie bisher sichergestellt.

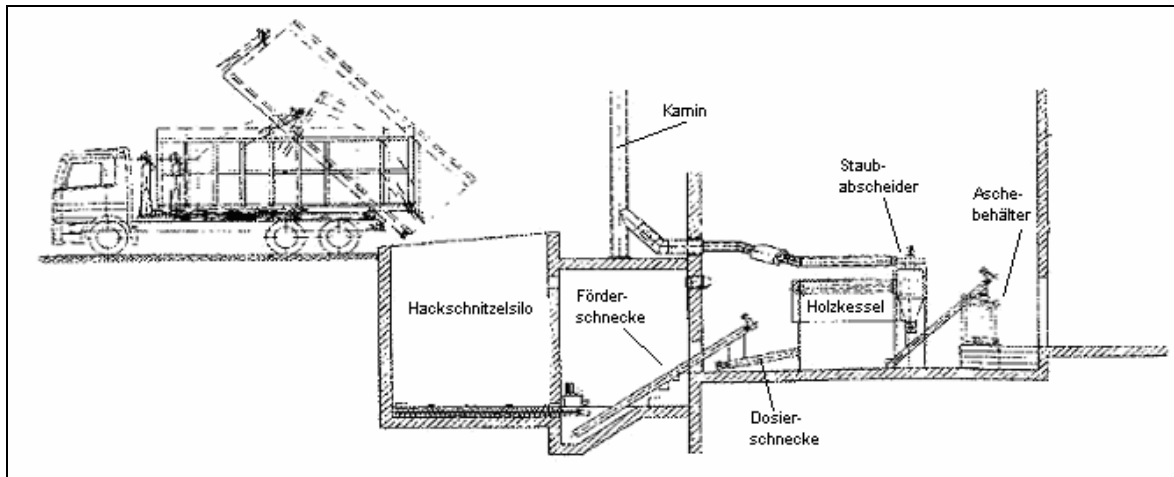


Abbildung 16: Schnitt durch eine Holzheizzentrale

Der Kesselwirkungsgrad von Hackschnitzelfeuerungen liegt bei 85%. Er ist damit etwas niedriger als bei Kesseln für flüssige oder gasförmige Brennstoffe. Für die Wirtschaftlichkeit einer Anlage ist jedoch der Jahresnutzungsgrad von Bedeutung, der etwa 2..5% unter dem Kesselwirkungsgrad liegt und die Stillstands- und Bereitschaftsverluste einer Kesselanlage berücksichtigt. Der Jahresnutzungsgrad des HHS-Kessels wird mit 82% veranschlagt. Der Jahresnutzungsgrad der Heizölkessel wird nach VDI 2067 Bl. 1 Dezember 1983 berechnet. Um den Deckungsanteil von 75 bis 85 % am Jahreswärmebedarf abdecken zu können, werden jährlich rund 2.000 Sm³ (kleines Netz) bzw. 2.800 Sm³ benötigt (großes Netz). Das Brennstofflagervolumen soll auf maximal 5 bis 10 Tage Volllastbetrieb ausgelegt werden. Eine größere Auslegung des Brennstoffbunkers wirkt sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der HHS-Heizung aus. Für einen 6-tägigen Volllastbetrieb des HHS-Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 500 kW_{th}, sollte ein HHS-Volumen von mindestens 110 Sm³ bevorratet werden können. Der Brennstoffbunker sollte also ein Nettoraumvolumen von mindestens 140 m³ aufweisen.

5.2.4 Variante HHS: HHS-Kessel mit einem Spitzenlast-Ölkessel

Der Bedarf zur Beheizung beider Nahwärmenetze kann durch einen Kessel auf Biomassebasis zur Abdeckung der Grundlast bereitgestellt werden. Bei der Variante HHS wird in einer neu zu errichtende Heizzentrale ein Holzhackschnitzelkessel mit einer Leistung von 500 kW_{th} installiert. Zur Abdeckung der Spitzenlast wird ein Niedertemperatur-Heizölkessel mit einer Leistung von 860 kW_{th} für das kleine oder alternativ mit 1.340 kW_{th} für das große Netz eingesetzt. Hierzu sind neben den Investitionskosten für die neue Kessel-, Regel- und Fördertechnik auch der Neubau des Bunkers sowie die Aufstellung eines Kesselhauses und ein neuer Kamin notwendig.

5.2.5 Investitionskosten Variante HHS

Die Investitionskosten für Variante HHS beziffern neben den neuen Kesselanlagen auch die Kosten für den Neubau des Holzhackschnitzelbunkers sowie eines Heizhauses. Sie betragen insgesamt 364.000 €, inklusive 30.000 € Förderung (Teilschuldenerlass KfW) und 50.000 € Mehrwertsteuer. (kleines Netz)

Durch den größeren Heizöl-Spitzenlastkessel erhöhen sich die Investitionskosten für die große Variante auf 367.000 € inklusive 52.000 € MwSt.

Investitionskosten		Heizzentrale & Gärtnerei HHS klein	Gesamt HHS groß
Demontage Heiztechnik			
Demontage spezifisch	€/kW _{th}	5	5
Summe	€	10.000	13.000
MwSt. gerundet	€	2.000	2.000
Summe inkl. MwSt.	€	12.000	15.000
NT-Heizölkessel			
Kesselleistung Kessel	kW	860	1.340
Kessel	€	16.000	20.000
Ölbrenner	€	4.000	5.000
Zubehör	€	5.000	6.000
Montage (12 %)	€	3.000	4.000
Summe	€	28.000	35.000
MwSt. gerundet	€	4.000	6.000
Summe inkl. MwSt.	€	32.000	41.000
Biomassekessel			
Kesselleistung Biomassekessel	kW	500	500
Kessel u. Zubehör, Steuerung	€	63.700	63.700
autom. Entaschung	€	4.600	4.600
autom. Rohrabreinigung	€	5.300	5.300
Schubboden	€	26.300	26.300
Schnecke	€	9.300	9.300
Rauchgasrohr	€	1.000	1.000
Kamin	€	12.900	12.900
Sonstiges	€	12.300	12.300
Montage	€	20.300	20.300
Förderung 60€ pro kW	€	30.000	30.000
Summe	€	126.000	126.000
MwSt. gerundet	€	20.000	20.000
Summe inkl. MwSt.	€	146.000	146.000
Bautechnik			
Heizhaus, HHS-Bunker, Kamin	€	150.000	150.000
MwSt. gerundet	€	24.000	24.000
Summe inkl. MwSt.	€	174.000	174.000

5.3 Energiebilanz kleines Netz

Energiebilanz		Heizzentrale & Gärtnerei IST klein	Heizzentrale & Gärtnerei Basis klein	Heizzentrale & Gärtnerei HHS klein
Wärmebedarf gesamt (IST: ohne WW-Bereitung!)	kWh _{th} /a	1.609.000	1.654.000	1.654.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung über Heizöl	%	100	100	15
Deckungsgrad Wärmeerzeugung über HHS	%	0	0	85
Wärmebedarf gedeckt mittels Heizöl	kWh _{th} /a	1.609.000	1.654.000	248.000
Wärmebedarf gedeckt mittels HHS	kWh _{th} /a	0	0	1.406.000
Heizleistung gesamt	kW _{th}	1.918	1.360	1.360
Heizleistung HHS	kW _{th}			500
Heizleistung Heizölkessel	kW _{th}	1.918	1.360	860
Deckungsgrad Heizleistung HHS	%			37
Jahresnutzungsgrad Ölkessel	%		88	78
Jahresnutzungsgrad HHS-Kessel	%			82
Vollbenutzungsstunden Heizölkessel	h/a		1.216	288
Vollbenutzungsstunden HHS-Kessel	h/a			2.812
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh _{BS} /a	1.960.000	1.880.000	318.000
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	196.000	188.000	32.000
HHS-Bedarf	kWh _{Hu} /a			1.715.000
Heizwert HHS	kWh _{Hu} /Sm ³			800
Heizwert HHS atro	kWh _{Hu} /kg			5,2
Heizwert Heizöl	kWh _{Hu} /l	10	10	10
HHS-Menge	Sm ³ /a			2140
HHS-Menge atro	t/a			330
Heizölmenge äquivalent HHS	l/a			171.500
Strombedarf Wärmeerzeugung	kWh _e /a	61.000	17.000	31.000
Stromerzeugung	kWh _e /a	0	0	0
Strombedarf gesamt	kWh _e /a	61.000	17.000	31.000

Tabelle 5-4 Energiebilanz kleines Netz

5.4 Energiebilanz großes Netz

Energiebilanz		Gesamt IST groß	Gesamt Basis groß	Gesamt HHS groß
Wärmebedarf gesamt (IST: ohne WW-Bereitung!)	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.181.000	2.324.000	2.324.000
Deckungsgrad Wärmeerzeugung über Heizöl	%	100	100	24
Deckungsgrad Wärmeerzeugung über HHS	%	0	0	76
Wärmebedarf gedeckt mittels Heizöl	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	2.181.000	2.324.000	558.000
Wärmebedarf gedeckt mittels HHS	$\text{kWh}_{\text{th}}/\text{a}$	0	0	1.766.000
Heizleistung gesamt	kW_{th}	2.658	1.840	1.840
Heizleistung HHS	kW_{th}			500
Heizleistung Heizölkessel	kW_{th}	2.658	1.840	1.340
Deckungsgrad Heizleistung HHS	%			27
Jahresnutzungsgrad Ölkessel	%		88	80
Jahresnutzungsgrad HHS-Kessel	%			82
Vollbenutzungsstunden Heizölkessel	h/a		1.263	416
Vollbenutzungsstunden HHS-Kessel	h/a			3.532
Brennstoffbedarf Heizöl	$\text{kWh}_{\text{BS}}/\text{a}$	2.575.000	2.641.000	698.000
Brennstoffmenge Heizöl	l/a	258.000	264.000	70.000
HHS-Bedarf	$\text{kWh}_{\text{Hu}}/\text{a}$			2.154.000
Heizwert HHS	$\text{kWh}_{\text{Hu}}/\text{Sm}^3$			800
Heizwert HHS atro	$\text{kWh}_{\text{Hu}}/\text{kg}$			5,2
Heizwert Heizöl	$\text{kWh}_{\text{Hu}}/\text{l}$	10	10	10
HHS-Menge	Sm^3/a			2690
HHS-Menge atro	t/a			410
Heizölmenge äquivalent HHS	l/a			215.400
Strombedarf Wärmeerzeugung	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	78.000	23.000	41.000
Stromerzeugung	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	68.000	0	0
Strombedarf gesamt	$\text{kWh}_{\text{el}}/\text{a}$	10.000	23.000	41.000

Tabelle 5-5 Energiebilanz großes Netz

5.5 Emissionsbilanz

Kohlendioxid-Emissionsbilanz		Heizzentrale & Gärtnerei IST klein	Gesamt IST groß	Heizzentrale & Gärtnerei Basis klein	Gesamt Basis groß	Heizzentrale & Gärtnerei HHS klein	Gesamt HHS groß
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh _{BS} /a	1.960.000	2.575.000	1.880.000	2.641.000	318.000	698.000
Brennstoffbedarf HHS	kWh _{Hu} /a					1.715.000	2.154.000
spezifische CO ₂ -Emission Heizöl	g CO ₂ /kWh _{BS}	342	342	342	342	342	342
spez. CO ₂ -Emission HHS	g CO ₂ /kWh _{Hu}					35	35
spezifische CO ₂ -Emission Strom	g CO ₂ /kWh _{el}	682	682	682	682	682	682
CO ₂ -Emission Heizöl	kg CO ₂ /a	670.320	880.650	642.960	903.222	108.756	238.716
CO ₂ -Emission Strom	kg CO ₂ /a	41.602	6.820	11.594	15.686	21.142	27.962
CO ₂ -Emission	kg CO ₂ /a	711.922	887.470	654.554	918.908	129.898	266.678
CO ₂ -Emission	t CO ₂ /a	712	890	650	920	130	270

Tabelle 5-6 Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Für die Berechnung der CO₂-Emissionen werden für Heizöl spezifische CO₂-Emissionen von 342 kg/MWh_{Hu} und für Holzhackschnittel (HHS) 35 kg/MWh_{Hu} angesetzt.

Tabelle 2-1 zeigt, dass bei der kleinen HHS-Variante der größte CO₂-Einsparungseffekt erreicht werden kann. Sollte der Wärmebedarf mit den vorgesehenen Maßnahmen zur Wärmedämmung weiter sinken, sind weitere Einsparmöglichkeiten zu erwarten.

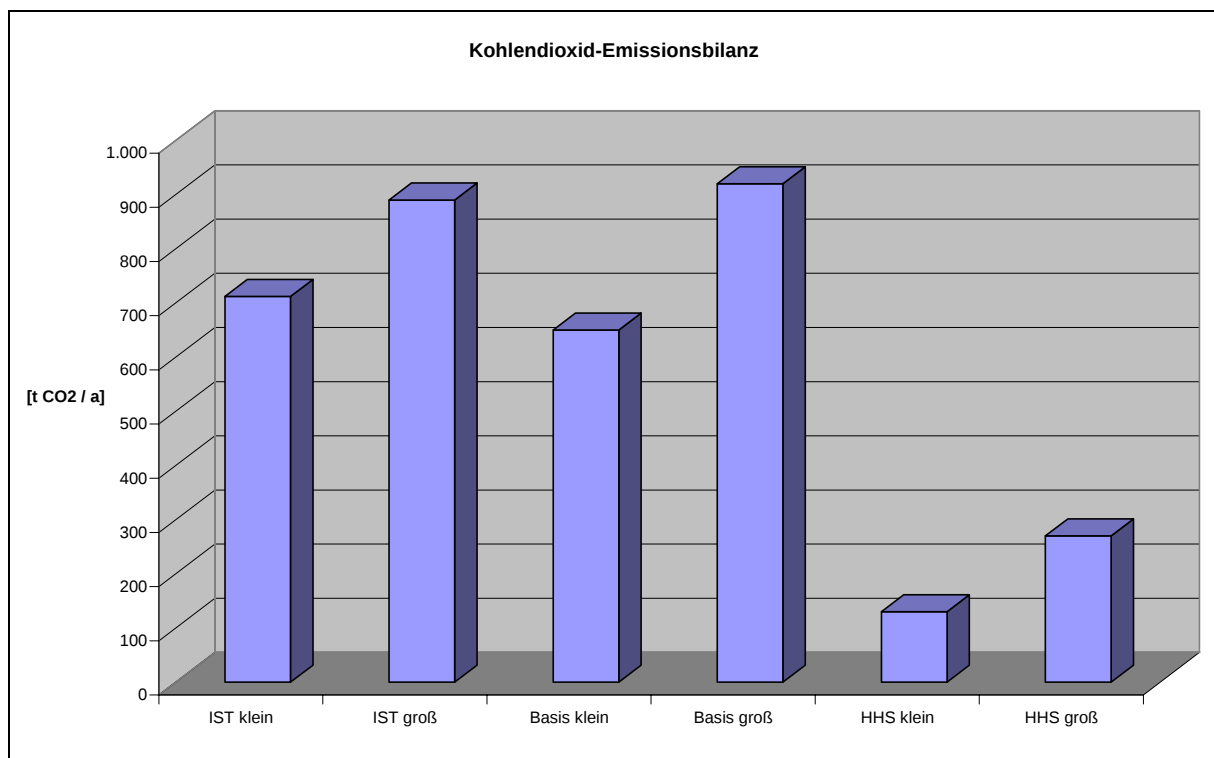


Abbildung 17: Kohlendioxid-Emission

6 Wirtschaftlichkeit

6.1.1 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Bestimmung der kapitalgebundenen Kosten:

Mehrwertsteuer Holzhackschnitzel	7%
Mehrwertsteuer sonstige	16%
Zinssatz	5 %
Zinssatz KfW (Biomasse, Solarthermie)	4 %
Förderung Biomasse (KfW)	60 €/kW
Förderung Solarthermie (Marktanreizprogramm)	71,50 / 87,75 €/m ²
Abschreibungsdauer Maschinentechnik	15 Jahre (VDI 2067)
Abschreibungsdauer Versorgungstechnik	25 Jahre (VDI 2067)
Abschreibungsdauer Bautechnik	30 Jahre (VDI 2067)
Abschreibungsdauer Planung, Unvorhergesehenes	15 Jahre (VDI 2067)

Bestimmung der verbrauchsgebundenen Kosten:

spezifischer Heizölpreis (netto)	50 Ct/l
spezifischer Hackschnitzelpreis Waldholz (netto)	17 €/Sm ³
Allgemeiner Strompreis (netto)	13 Ct/kWh _{el}

Bestimmung der betriebsgebundenen Kosten:

Wartung, Instandhaltung	2 % der Investition
Personalkosten	30 €/h
Steuern, Versicherungen, Verwaltung	0,7 % d. Investition

6.2 Förderung Biomasse

Die KfW-Förderbank (KfW) fördert mittels Darlehen und Teilschuldenerlass automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse. Zuschüsse werden für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mindestens 100 kW_{th} gewährt. Der Zuschuss beträgt 60 € je kW_{th} errichtete installierte Nennwärmeleistung, höchstens jedoch 275.000 € je Einzelanlage. Die Anlage muss den Grenzwert von maximal 50 mg/Nm³ Staub (Herstellerangabe) unterschreiten, damit der Betreiber den Zuschuss gewährt bekommt.

Die Darlehen werden von der KfW zur Verfügung gestellt, die Anträge sind bei den Hausbanken einzureichen. Diese Richtlinie gilt bis zum 31. Dezember 2006. Weiterhin erteilt die KfW als Förderung regenerativer Energietechniken zinsgünstige Kredite mit einem Zinssatz von zwischen 3 und 5 %. Die Konditionen sind für zehn Jahre fest, anschließend wird über einen neuen Zinssatz verhandelt. Die Laufzeit beträgt maximal 20 Jahre.

6.3 Wärmegestehungskosten

Die Betriebskosten für die verschiedenen Varianten setzen sich aus den Wartungs- und Personalkosten sowie den Kosten für Verwaltung und Versicherung zusammen. Die Kapitalkosten sind die nach der Annuitätsmethode ermittelten jährlichen Kosten, die bei einem angenommenen Kapitalzinssatz über die Lebensdauer der entsprechenden Anlageanteile anfallen. Im Ist-Zustand fallen demnach keine Kapitalkosten an, da die Anlagen bereits abgeschrieben sind.

Zusätzlich werden die Verbrauchskosten für Strom, Heizöl und Holzhackschnitzel für ein Jahr dargestellt.

Die kumulierten jährlichen Kosten werden auf die verbrauchten Kilowattstunden aufgeteilt, so dass hieraus ein Wärmepreis errechnet wird.

6.3.1 Wärmegestehungskosten kleine Varianten

Wirtschaftlichkeit		Heizzentrale & Gärtnerei IST klein	Heizzentrale & Gärtnerei Basis klein	Heizzentrale & Gärtnerei HHS klein
Investitionen incl. Förderung	€		209.000	475.000
Investitionen inkl. Förderung & MwSt.	€		242.000	551.000
Kapitalkosten incl. Förderung	€ / a		17.000	36.000
Kapitalkosten incl. Förderung & MwSt.	€ / a		20.000	42.000
Wärmebedarf	kWh _{th} / a	1.654.000	1.654.000	1.654.000
Brennstoffkosten Heizöl	€/a	98.000	94.000	16.000
MwSt. Heizöl	€/a	15.700	15.000	2.600
Brennstoffkosten HHS	€/a			36.400
MwSt. HHS	€/a			2.500
Stromkosten Wärmeerzeugung	€ / a	8.000	2.000	4.000
MwSt. Strom	€/a	1.300	300	600
Verbrauchs-kosten	€ / a	106.000	96.000	56.400
MwSt. Verbrauchskosten	€ / a	17.000	15.300	5.700
Verbrauchskosten incl. MwSt.	€ / a	123.000	111.300	62.100
Wartung / Instandhaltung	€ / a	1.000	1.000	3.000
Personalkosten	€ / a	1.200	1.200	4.800
Steuern, Versicherung	€ / a	1.500	1.500	3.300
Verwaltung	€ / a	5.500	5.000	3.400
Betriebskosten	€ / a	9.200	14.500	14.500
MwSt. Betriebskosten	€ / a	1.500	2.300	2.300
Betriebskosten incl. MwSt.	€ / a	10.700	16.800	16.800
Verbrauchs- & Betriebskosten	€ / a	115.200	110.500	70.900
Verbrauchs- & Betriebskosten incl. MwSt.	€ / a	133.700	128.100	78.900
Jahresgesamtkosten	€ / a	115.200	127.500	106.900
MwSt. gesamt	€ / a	18.500	20.600	14.000
Jahresgesamtkosten incl. MwSt.	€ / a	133.700	148.100	120.900
Wärmepreis	Ct / kWh _{th}	7,0	7,7	6,5
Wärmepreis incl. MwSt.	Ct / kWh_{th}	8,1	9,0	7,3
jährliche Einsparung HHS gegenüber Basis	€/a			20.600

Tabelle 6-1 Wärmegestehungskosten kleine Varianten

6.3.2 Wärmegestehungskosten große Varianten

Wirtschaftlichkeit		Gesamt IST groß	Gesamt Basis groß	Gesamt HHS groß
Investitionen incl. Förderung	€		389.000	608.000
Investitionen inkl. Förderung & MwSt.	€		451.000	705.000
Kapitalkosten incl. Förderung	€ / a		30.000	45.000
Kapitalkosten inkl. Förderung & MwSt.	€ / a		35.000	52.000
Wärmebedarf	kWh _{th} / a	2.237.000	2.324.000	2.324.000
Brennstoffkosten Heizöl	€/a	129.000	132.000	35.000
MwSt. Heizöl	€/a	20.600	21.100	5.600
Brennstoffkosten HHS	€/a			45.700
MwSt. HHS	€/a			3.200
Stromkosten Wärmeerzeugung	€ / a	1.000	3.000	5.000
MwSt. Strom	€/a	200	500	800
Verbrauchs-kosten	€ / a	130.000	135.000	85.700
MwSt. Verbrauchskosten	€ / a	20.800	21.600	9.600
Verbrauchskosten incl. MwSt.	€ / a	150.800	156.600	95.300
Wartung / Instandhaltung	€ / a	1.000	1.000	3.000
Personalkosten	€ / a	1.200	1.200	4.800
Steuern, Versicherung	€ / a	2.700	2.700	4.300
Verwaltung	€ / a	6.700	7.000	4.900
Betriebskosten	€ / a	11.900	11.900	17.000
MwSt. Betriebskosten	€ / a	1.900	1.900	2.700
Betriebskosten incl. MwSt.	€ / a	13.800	13.800	19.700
Verbrauchs- & Betriebskosten	€ / a	141.900	146.900	102.700
Verbrauchs- & Betriebskosten incl. MwSt.	€ / a	164.600	170.400	115.000
Jahresgesamtkosten	€ / a	141.900	176.900	147.700
MwSt. gesamt	€ / a	22.700	28.500	19.300
Jahresgesamtkosten incl. MwSt.	€ / a	164.600	205.400	167.000
Wärmepreis	Ct / kWh _{th}	6,3	7,6	6,4
Wärmepreis incl. MwSt.	Ct / kWh_{th}	7,4	8,8	7,2
jährliche Einsparung HHS gegenüber Basis	€/a			29.200

Tabelle 6-2 Wärmegestehungskosten große Varianten

6.4 Wirtschaftlichkeitsvergleich

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich zeigt anhand des Wärmepreises und der Jahresgesamtkosten, dass die beiden Varianten mit Holzhackschnitzeln gegenüber den Basisvarianten deutlich günstiger sind. Gegenüber einer mit neuen Heizöl-NT-Kesseln sanierten Heizzentrale können im kleinen Netz jährlich ca. 20.000 € eingespart werden. Sollten die beiden Nahwärmenetze nach dem Ende der Lebensdauer der im Ausbildungsbereich bzw. im Josefhaus installierten Versorgungssysteme miteinander verbunden werden, können in dieser Ausbaustufe jährlich 26.500 € eingespart werden.

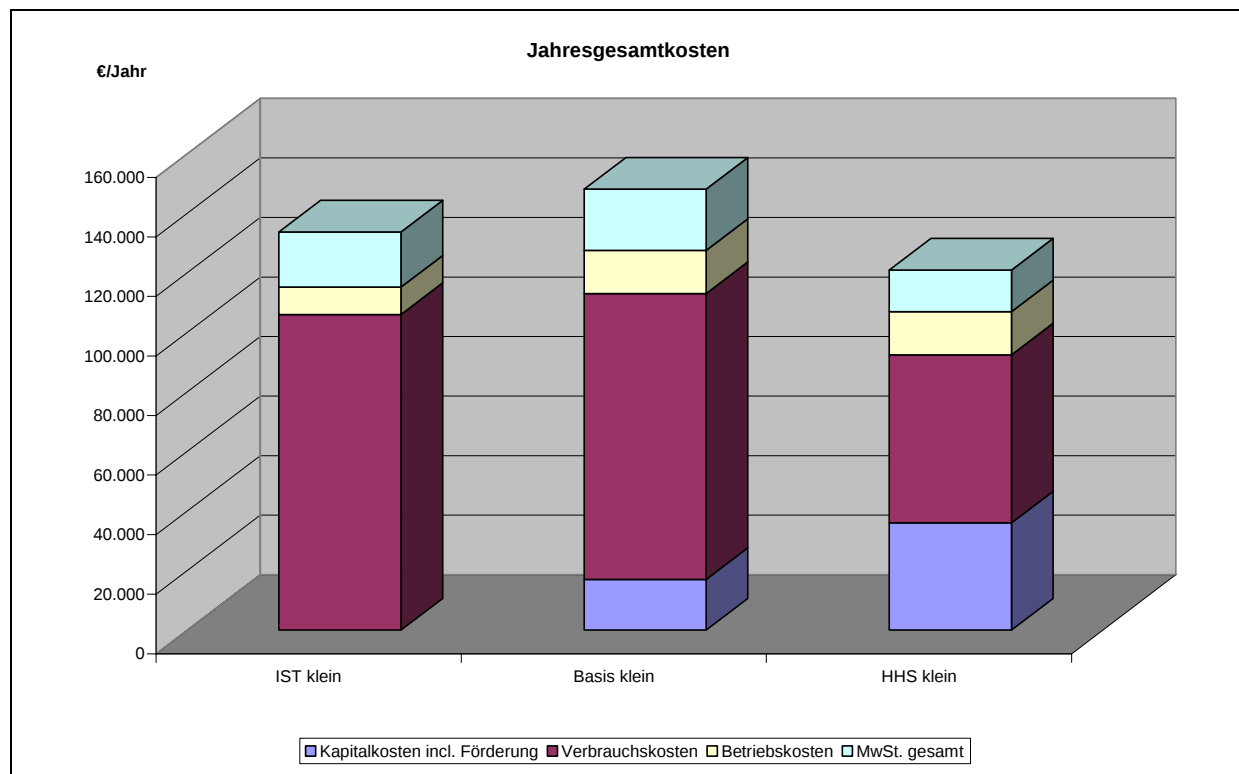


Abbildung 18: Übersicht der Jahresgesamtkosten kleine Varianten

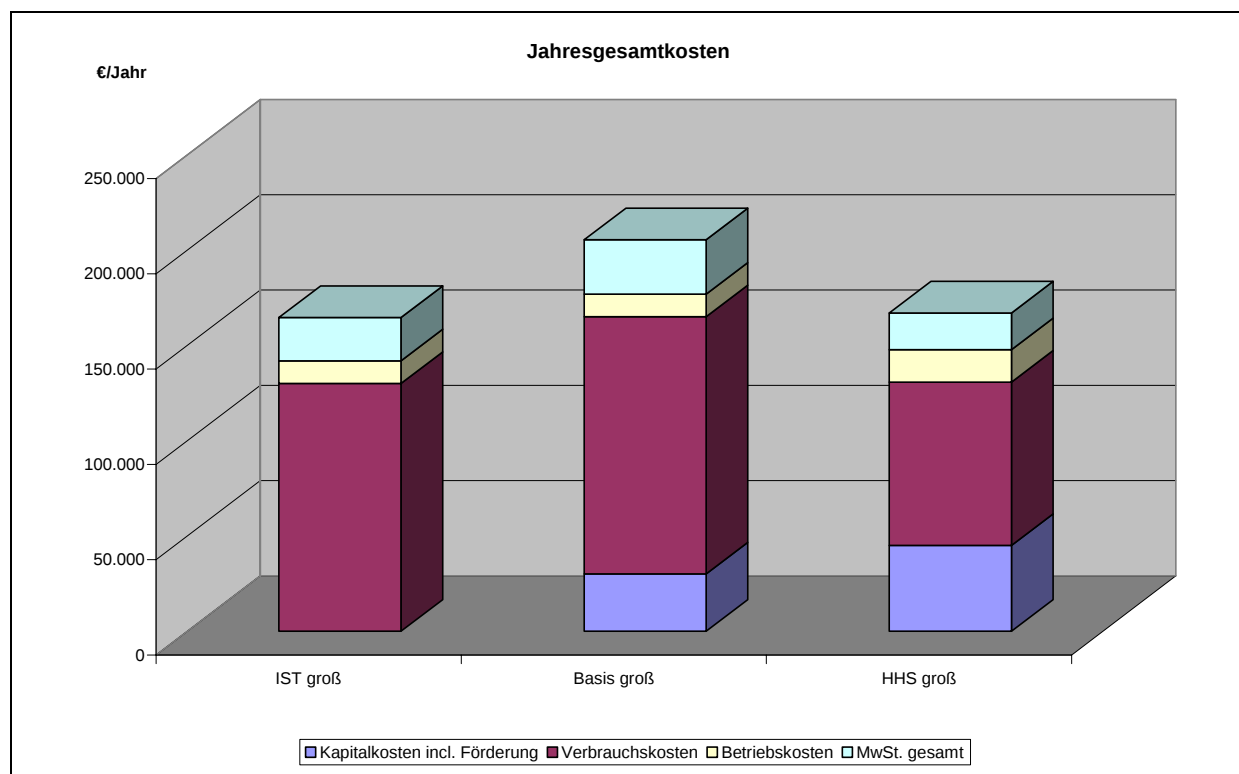


Abbildung 19: Übersicht der Jahresgesamtkosten große Varianten

6.5 Sensitivitätsanalyse

In der Sensitivitätsbetrachtung wird untersucht, unter welchen Voraussetzungen der Wärmepreis der HHS-Varianten den Wärmepreis der Basisvariante erreicht bzw. unterschreitet. Da die Verbrauchskosten wesentlich stärker beeinflussbar sind als die Betriebskosten, werden diese in dieser Betrachtung variiert. Da bei den verschiedenen Varianten Holzhackschnitzel und Heizöl zum Einsatz kommen, erfolgt die Sensitivitätsbetrachtung für jeweils einen konstanten und einen variablen Preis der beiden Brennstoffe.

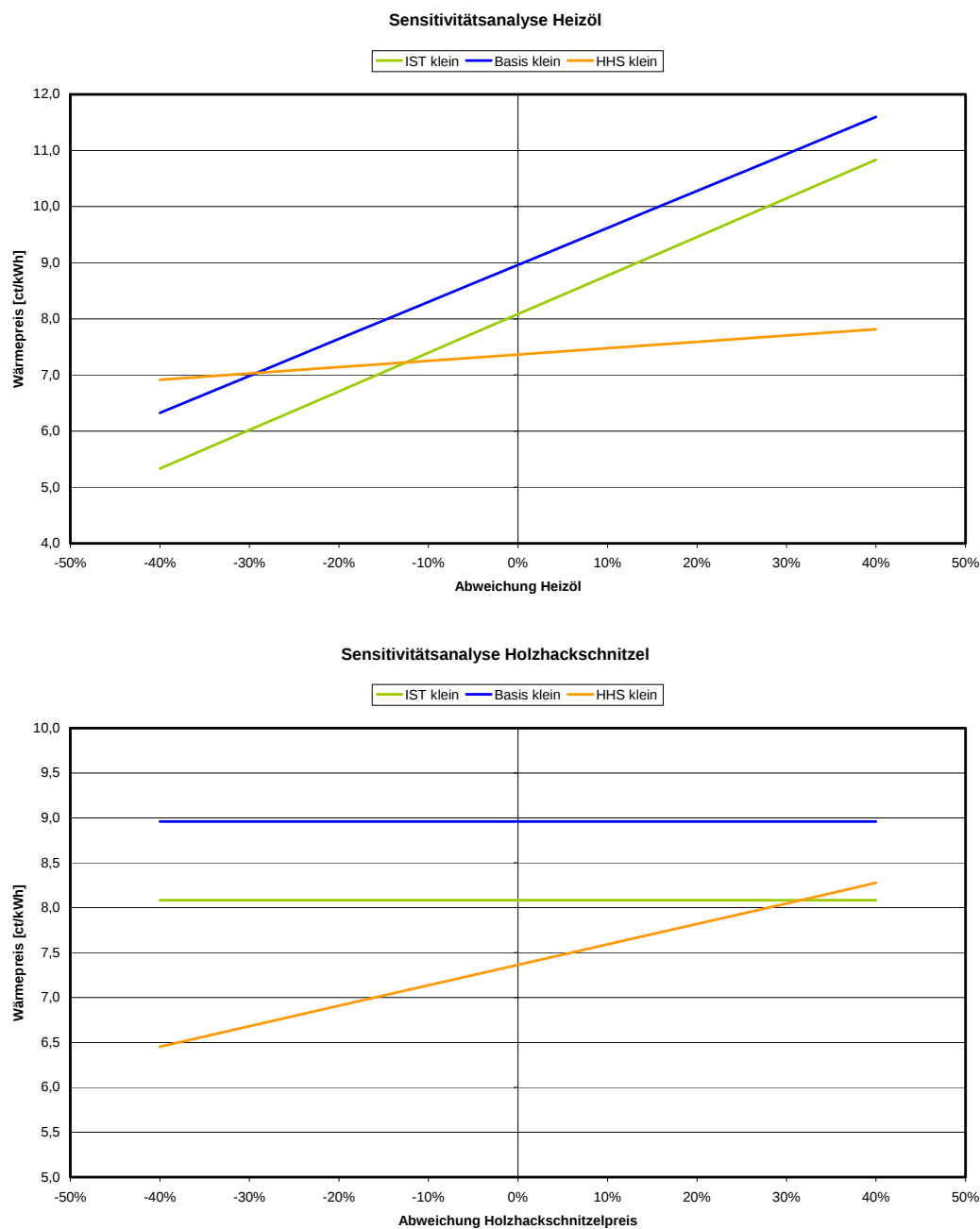


Abbildung 20: Sensitivität kleine Varianten

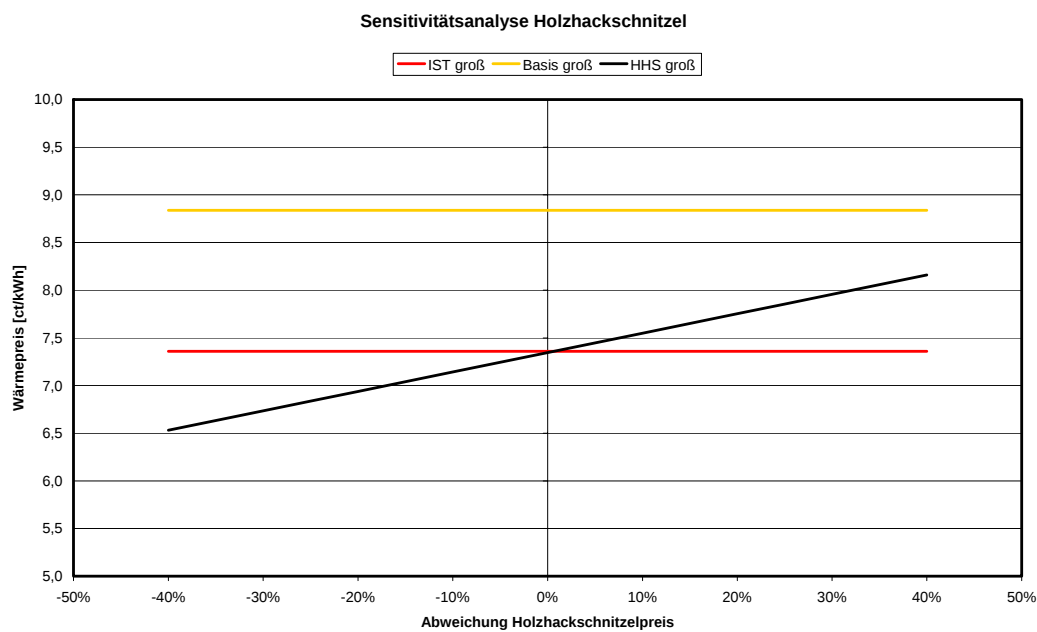
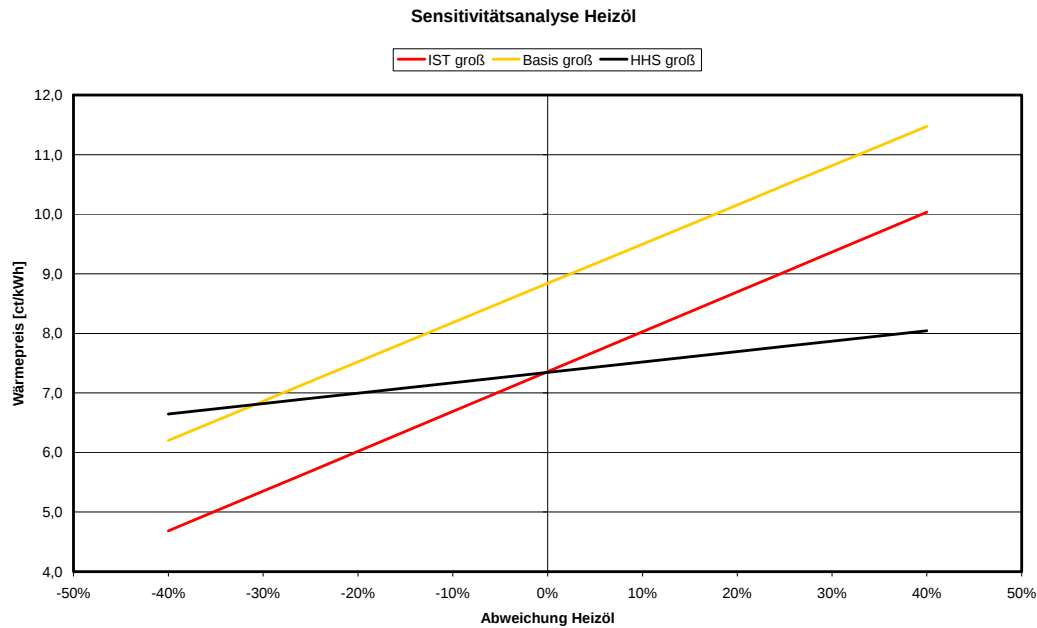


Abbildung 21: Sensitivität große Varianten

Das Ergebnis der Sensitivitätsanalysen für variable Brennstoffkosten zeigt, dass sich die Preisänderung für Hackschnitzel weniger stark auf den Wärmepreis auswirkt als die Preisänderung des Heizöls.

7 Nutzung der Sonnenenergie

Als Solarthermie bezeichnet man die energetische Nutzung der solaren Strahlung in Wärmeanwendungen. Thermische Solaranlagen vermindern Emissionen wie Kohlendioxid (CO_2) und Stickstoffoxiden (NO_x), die bei der Verbrennung von Erdgas oder Heizöl entstehen.

Man unterscheidet zwischen aktiver und passiver Solarenergienutzung. Passive Solarenergiesysteme nutzen primär Gebäudeteile zur Sammlung, Speicherung und Verteilung der Solarenergie. Traditionell wird ein Solarsystem dann als passiv bezeichnet, wenn keine Zusatzenergie für den Betrieb benötigt wird. Solche Systeme funktionieren aber wesentlich effektiver, wenn die Zirkulation technisch unterstützt wird. Daher gilt heute ein Solarsystem dann als passiv, wenn es einen hohen Grad an Gebäudeintegration besitzt.

Ein solarthermisches System wird als aktiv bezeichnet, wenn durch eine Pumpe ein solar erwärmtes Wärmeträgermedium bewegt wird. Aktive Solarenergieanlagen sind überwiegend dachgebunden und werden zur Erwärmung des Warmwassers eingesetzt. Dieser Anwendungsbereich ist in den meisten Fällen wirtschaftlich, da im Sommer 80 bis 100 % und über das ganze Jahr hinweg über 60 % des Warmwasserbedarfs gedeckt werden kann.

Die Technik der Fotovoltaik (PV) wandelt eingestrahltes Sonnenlicht direkt in elektrische Energie um. Sie nutzt den fotovoltaischen Effekt, bei dem sich Ladungen bestimmter Halbleiter (Silizium) durch Einwirkung von Lichtenergie freisetzen. In Ländern oder Kommunen mit einer höheren Einspeisevergütung als dem normalen Strompreis, wird die PV-Anlage direkt mit dem öffentlichen Stromnetz gekoppelt und der gesamte erzeugte Solarstrom eingespeist (Volleinspeisung). Die Anlagengröße hängt daher nicht von dem Stromverbrauch eines Gebäudes ab, sondern nur von den finanziellen Möglichkeiten oder der nutzbaren Fläche für die Installation der Solarmodule.

Eine netzgekoppelte PV-Anlage besteht aus folgenden Komponenten:

- PV-Generator (verschaltete PV-Module)
- Gleichstromverkabelung (DC-Kabel)
- Wechselrichter (Umwandlung von Gleich- in Wechselstrom)
- Schutzeinrichtungen und Stromzähler
- Verbraucher/Hausnetz

7.1 Solarthermische Anlage

Solarsysteme zur Trinkwassererwärmung

Solaranlagen zur Trinkwasserbereitung sollten den Warmwasserbedarf während der Sommermonate vollständig decken können. In der Übergangszeit und im Winter ist eine vollständige Deckung nur unwirtschaftlich zu realisieren. Daher dienen thermische Solaranlagen in diesem Zeitraum lediglich der Vorwärmung des Brauchwassers. Doch auch dadurch kann eine jährliche Brennstoffeinsparung von 50 bis 80 % für die Brauchwarmwassererwärmung erfolgen. Durch den Einsatz einer solaren Warmwasserbereitung kann in den Sommermonaten der Heizkessel abgeschaltet werden. Das verringert die durch viele Brennerstarts hervorgerufenen hohen Stickoxid- (NO_x) und Kohlenmonoxid- (CO) Emissionen, ebenso wie das Arbeiten der Heizkessel im uneffizienten Teillastbereich.

Für die Warmwasserversorgung wird eine Zapftemperatur von mindestens 45°C gefordert, so dass von der Anlage eine Temperaturdifferenz von bis zu 35 K überwunden werden muss. Die Sonnenkollektoren für Raumheizung sind in der Regel flache, gut gedämmte Kästen, in denen hinter einer transparenten Abdeckung ein schwarzer Absorber angebracht ist. Durch den hohen Standard wird inzwischen für ein solarthermisches System eine Lebensdauer von bis zu 25 Jahren und mehr erreicht. Als grober Richtwert zur Dimensionierung kann pro Person ein durchschnittlicher Wasserverbrauch von ca. 50 l/d Warmwasser, etwa $0,8$ bis $1,5 \text{ m}^2/\text{Person}$ Kollektorfläche und ein Speichervolumen von 70 bis $100 \text{ l}/\text{Person}$ angenommen werden. Hiermit kann im Sommer ein solarer Deckungsgrad von 90 bis 100 % erreicht werden.

Solarsysteme zur zusätzlichen Unterstützung der Raumheizung

Die Raumheizung wird im Wohnbereich nur in den Wintermonaten sowie in der Übergangszeit benötigt. Die Solaranlagen stellen ihr Energieangebot jedoch überwiegend im Sommer zum Zeitpunkt der höchsten Einstrahlung bereit. Somit sind Angebot und Nachfrage jahreszeitlich versetzt. Die vollständige solare Beheizung eines Gebäudes ist grundsätzlich möglich, setzt allerdings die Speicherung der im Sommer geernteten Solarenergie durch einen Langzeitwärmespeicher bis in den Winter voraus. Wird auf den Langzeitwärmespeicher verzichtet und die Solaranlage mit einem Kurzzeitwärmespeicher betrieben hat die solare Raumheizung ihren größten Nutzen in der Übergangszeit.

Als grober Richtwert zur Dimensionierung kann wie bei den Anlagen zur reinen Brauchwarmwasserbereitung pro Person ein durchschnittlicher Verbrauch von ca. 50 l/d Warmwasser angenommen werden. Die Speicher müssen dem Charakter der Solaranlage entsprechen. In Anlagen zur teilsolaren Bereitstellung von Warmwasser- und Heizungsenergie sollte der Speicher ein Mindestvolumen von $50 \text{ l}/\text{m}^2$ Kollektorfläche plus $50 \text{ l}/\text{Person}$ nicht unterschreiten. Eine Untersuchung von 68 realisierten Solarprojekten zeigt eine deutliche Tendenz zur Speicherdimensionierung mit einer spezifischen Speichergröße 50 bis $60 \text{ l}/\text{m}^2$. Hierbei handelt es sich bis auf wenige Ausnahmen um Tagesspeicher. Aber nur hohe spezifische Speichervolumen führen zu hohen Deckungsgraden. Da die allgemeine Entwicklung großer Solaranlagen (vor allem im Nahwärmeverbund) allerdings zu Wochenspeichern hin tendiert, wird für die zentrale und die kombinierte Solarvariante ein spezifisches Speichervolumen von bis zu $100 \text{ l}/\text{m}^2$ angestrebt.

Solarthermische Anlage auf den Gruppenhäuser

Um solarthermische Anlagen bedarfsorientiert einsetzen zu können, muss das Nutzerverhalten und der Wärmeverbrauch sehr genau analysiert und in die Planung mit einbezogen werden. Im Rahmen dieses Energiekonzeptes wird daher beispielhaft eine solarthermische Anlage zur Brauchwarmwasserbereitung für eines der Gruppenhäuser durchgeführt. Ziel solcher dezentralen Anlagen ist die Möglichkeit der Abschaltung des Nahwärmeverbundes außerhalb der Heizperioden.

In der folgenden Berechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

Vorgaben		
Trinkwarmwasser		
Durchschnittlicher Tagesverbrauch:	800 l	
Solltemperatur:	45 °C	
Lastprofil:	Mehrfamilienhaus	
Kaltwassertemperatur:	8 °C (Januar)	12 °C (Februar)

Anlagenkomponenten		
Kollektorkreis		
Hersteller	T*SOL Bibliothek	
Typ	Standard-Flachkollektor	
Gesamtbruttofläche:	18 m²	
Gesamtbezugsfläche:	18 m²	
Aufstellwinkel:	40 °	
Azimut:	0 °	
bivalenter Trinkwasserspeicher		
Hersteller	T*SOL Bibliothek	
Typ	WW-Speicher-2000	
Volumen	2.000 l	
Zusatzheizung		
Hersteller	Nahwärmeverbund	

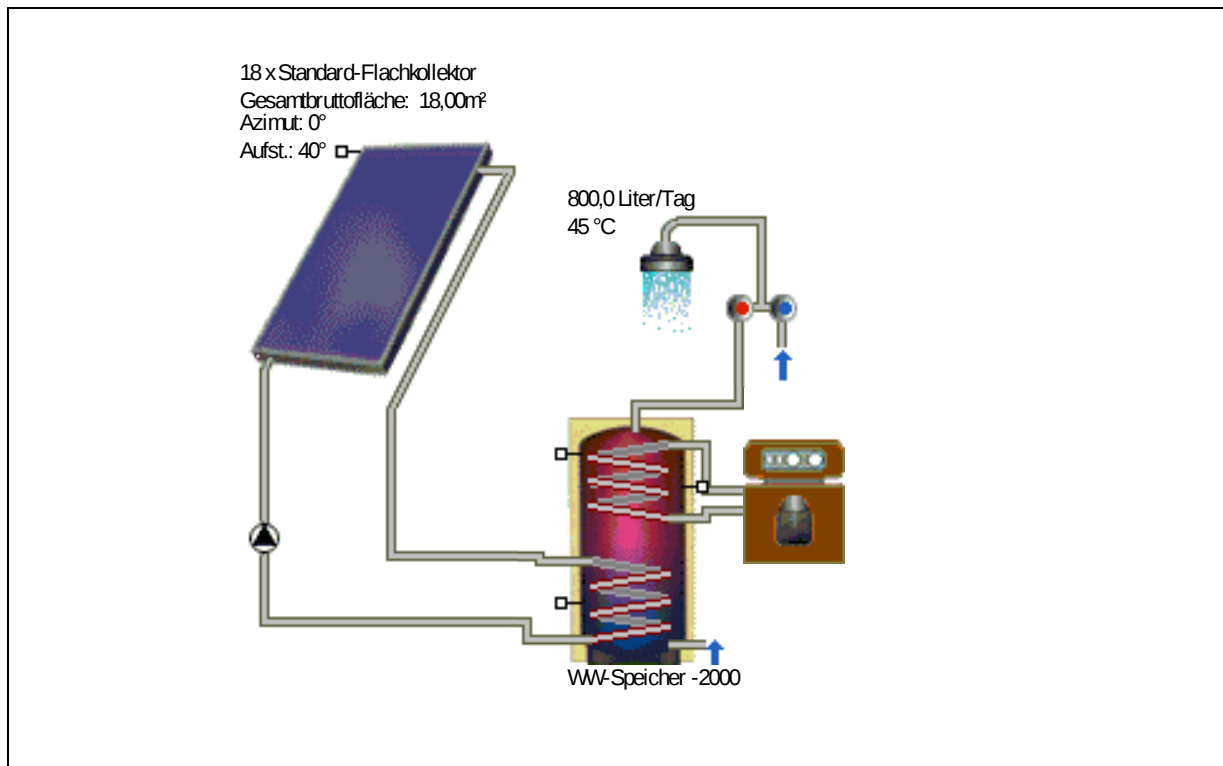


Abbildung 22: Schaubild Solarthermische Anlage

Ergebnisse der Jahressimulation

Einstrahlung Kollektorfläche:	20,41 MWh/a	1.133,96 kWh/m²a
Abgegebene Energie Kollektoren:	8,14 MWh/a	452,42 kWh/m²a
Abgegebene Energie Kollektorkreis:	7,5 MWh/a	416,83 kWh/m²a
Energielieferung Trinkwarmwassererwärmung:	11,9 MWh/a	
Energie Solarsystem an Warmwasser:	7,5 MWh/a	
Zugeführte Energie Zusatzheizung:	5,35 MWh/a	

Einsparung Heizung: 10.800 kWh/a
Einsparung Heizöl EL: 1.080 l/a
Vermiedene CO2-Emissionen 2948,62 kg/a
Deckungsanteil Warmwasser: 58,4 %
Systemnutzungsgrad: 36,8 %

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Kapitalwertmethode nach VDI 2067 aufgeführt:

Wirtschaftlichkeit	
Ertrag	7.500 kWh _{th} /a
Bezugsfläche	18 m ²
Brennstoffeinsparung	10.800 kWh _{BS} /a
Lebensdauer	25 Jahre
Kapitalzins	4,0 %
Investition	15.000 €
Einsparung	10.130 €
Betriebskosten	2.343 €
Förderung (71,50 €/m ²)	1.287 €
Wärmegestehungskosten	0,14 €/kWh _{th}

Tabelle 7-1 Wärmegestehungskosten Solarthermie

Die Nutzung von Solarenergie ist in jedem Fall zu begrüßen und sollte trotz des hohen Wärmepreises auch in dem hier vorliegenden Fall in Betracht gezogen werden.

Die Berechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm für thermische Solaranlagen T*SOL Pro 4.3 durchgeführt. Die Ergebnisse sind durch eine mathematische Modellrechnung mit einer variablen Zeitschrittweite von max. 6 Minuten ermittelt worden. Die tatsächlichen Erträge können aufgrund von Schwankungen des Wetters, des Verbrauchs und anderen Faktoren davon abweichen. Das obige Anlagenschema ersetzt keine fachtechnische Planung der Solaranlage.

7.2 Fotovoltaik

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

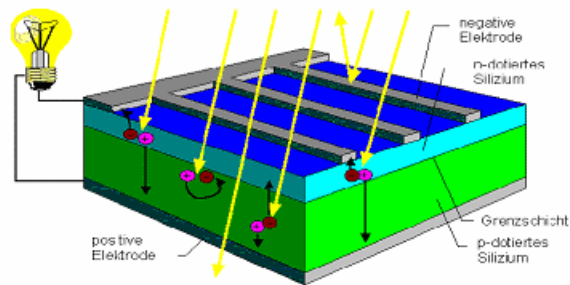


Abbildung 23: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

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

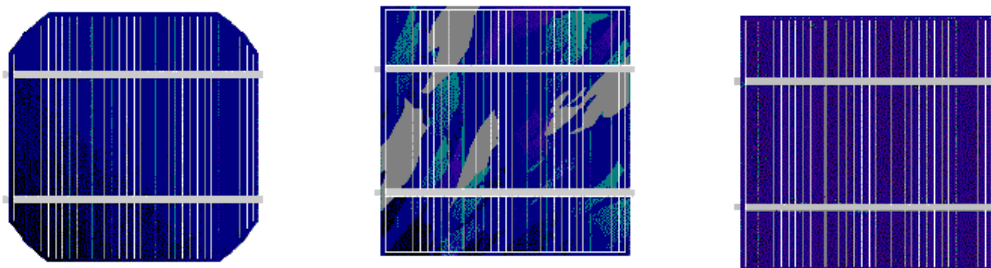


Abbildung 24: mono-, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt über 250 verschiedene PV-Module auf dem Markt. Diese unterscheiden sich durch ihre Abmaße, Leistung, Zelltypen und nicht zuletzt durch ihren Rahmen und die Einbindung in Montagesysteme (z.B. Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr einen nahezu gleich bleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Fotovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann. Fotovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m² angeboten. Mit 10 - 15 kg/m² stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden Maßnahmen an der Dachstatik. Es gibt auch so genannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können.

Mittlerweile sind komplette Dachelemente als PV-Modul ausgebildet. Die einzelnen Fotovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solargenerator.

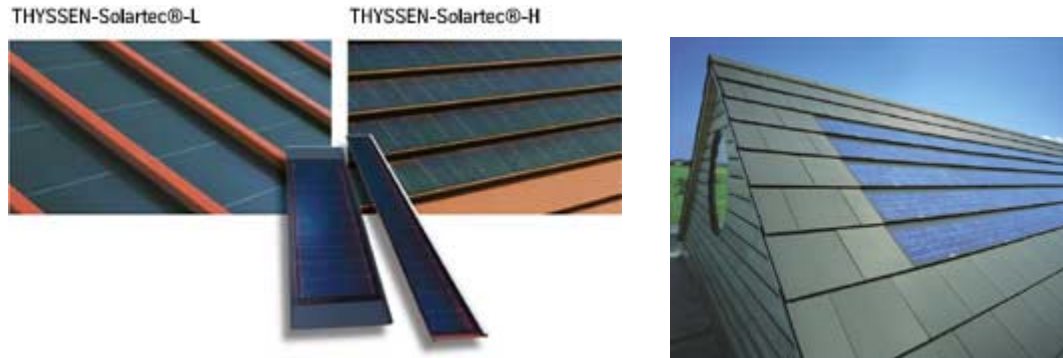


Abbildung 25: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

7.2.1 Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden. Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solargenerator (bestehend aus den Fotovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher.

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

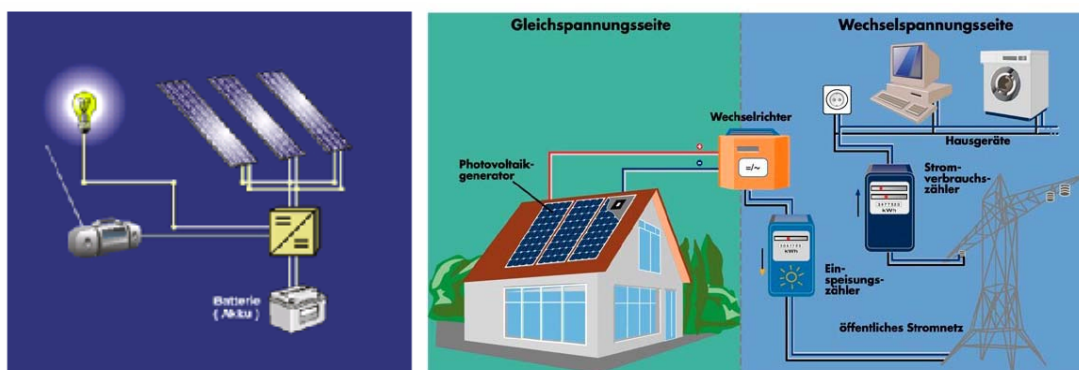


Abbildung 26: Schema Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

7.2.2 Leistung und Ertrag

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

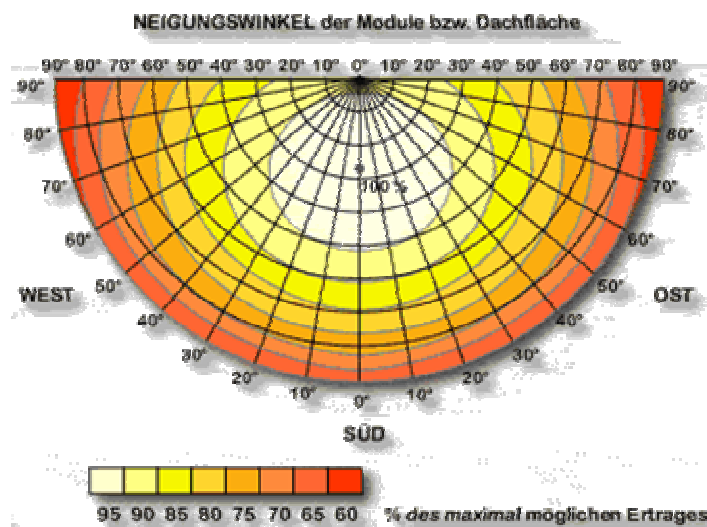


Abbildung 27: Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung des Solargenerators

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

7.2.3 Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

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

7.2.4 Einsatzmöglichkeit Bernardshof

Im Rahmen dieser Konzepterstellung wird die Realisierung einer PV-Anlage auf dem Bernardshof betrachtet. Für eine PV-Anlage kommt die Südseite des Daches auf dem Hauptgebäude in Frage. Alternativ könnte noch das nach Süden ausgerichtete Dach des Josefhaus mit einer Fotovoltaikanlage versehen werden. Aufgrund der einfacheren Umsetzbarkeit wird beispielhaft eine Fotovoltaikanlage auf dem Josefhaus dargestellt.

Naturschieferdächer sind für die Region typisch. Neben der Installation von üblichen Aufdachanlagen sind auch spezielle dachintegrierte Fotovoltaikanlagen erhältlich, ohne dass das Gesamtbild gestört wird.

Alternativ zu den herkömmlichen Fotovoltaikmodulen bietet es sich an, mit so genannten „Solarschiefer“ anstelle von Schiefer die nach Süden gerichteten Dachflächen einzudecken. Die Fotovoltaikmodule sind so gestaltet, dass sie auf einem Naturschieferdach kaum auffallen und so das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes nicht beeinträchtigen. Der Dachabschluss im First- und Gratbereich wird durch funktionslose Module ermöglicht. Einige Einsatzbeispiele und ein Fotovoltaikmodul sind in den unteren Abbildungen dargestellt.

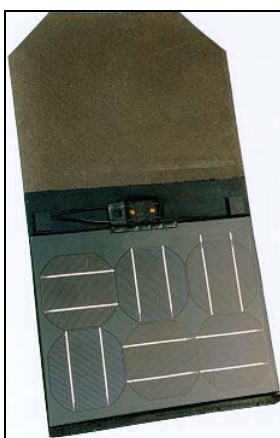


Abbildung 28: Einsatzbeispiele für Fotovoltaikmodule (Quelle: ASS AG, CH-Bern)

Für eine Anlage auf dem Josefhaus mit einer elektrischen Leistung von ca. 25 kW_{peak} sind neben 168 Solarmodulen (Schüco KG S-150 SP) und 4 Wechselrichter (Sputnik SolarMax 6000C) erforderlich. Hiermit könnte ein jährlicher Ertrag von durchschnittlich 21.000 kWh_{el} erzielt werden.

Nach dem „Gesetz zur Neuordnung des Rechts der Erneuerbaren Energien im Strombereich vom 21. Juli 2004“ beträgt die vom zuständigen Netzbetreiber zu zahlende Einspeisevergütung für den erzeugten Strom aus solarer Strahlungsenergie mindestens 57,4 Ct/kWh_{el} für Fotovoltaikanlagen, die eine Leistung bis 30 kW aufweisen und ausschließlich an oder auf einem Gebäude oder Lärmschutzwand angebracht ist. Die Mindestvergütung werden beginnend mit dem 1. Januar 2005 jährlich jeweils für nach diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 5 % des für die im Vorjahr neu in Betrieb genommenen Anlagen maßgeblichen Wertes gesenkt und auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet. Demnach ergibt sich für eine Fotovoltaikanlage eine Einspeisevergütung ab 2006 von 51,80 Ct/kWh_{el}.

Aus den zur Verfügung gestellten Entwurfsplänen wurden die entsprechenden Dachflächen ermittelt. Die zugehörige Leistung und der zu erwartende Ertrag mit einer groben Wirtschaftlichkeit sind in der Tabelle aufgeführt.

Dachfläche Süden		Josefhaus
Dachfläche (10° Südausrichtung)	240	m ²
elektrische Spitzenleistung	25,19	kW _{Peak}
spez. Ertrag	830	kWh _{el} /(kW _{Peak} *a)
Jahresgesamtertrag	20.934	kWh _{el} /a
spez. Einspeisevergütung 2006	51,80	Ct/kWh _{el}
Einspeisevergütung	10.844	€/a
Degradation	5	%
Investition	125.000	€
dynamische Amortisation	18,0	a (Zinssatz 4%)

Tabelle 7-2 Auslegung und Wirtschaftlichkeit Fotovoltaikanlage

Auch für eine Fotovoltaikanlage kann bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) nach dem KfW-Infrastrukturprogramm Sonderfonds „Wachstumsimpulse“ als Maßnahme zur „Energieeinsparung und Umstellung auf umweltfreundliche Energieträger“ einen zinsgünstigen Kredit beantragt werden.

Für einen Neubau oder eine Dachsanierung bietet sich die Indachmontage der Fotovoltaikmodule an, sodass für diese Fläche die Dacheindeckung und die zugehörigen Investitionen eingespart werden. Unter Berücksichtigung dieser Einsparmöglichkeit würden sich die Investitionskosten verringern und sich eine Fotovoltaikanlage schneller amortisieren.

8 Zusammenfassung

In diesem Energiekonzept sind die Möglichkeiten einer weitgehend auf erneuerbaren Energien basierenden Wärmeversorgung untersucht worden. Hierbei ist die Möglichkeit des Einsatzes von Bioenergie aus ökonomischer und ökologischer Sicht bewertet worden. Für den Bernardshof wurde zusätzlich die Nutzungsmöglichkeit der Solarenergie geprüft. Aufgrund der kurz- bis mittelfristig zu erneuernden Heizkessel im Hauptgebäude entstand die Überlegung, die daran angeschlossenen Liegenschaften über eine Heizzentrale auf Biomassebasis mit Wärme zu versorgen. Im Bestand wurde die dezentrale Wärmeerzeugung in der Gärtnerei gesondert betrachtet, in den beiden anderen Varianten wurde ein saniertes Nahwärmenetz mit zusätzlichem Anschluss der Gärtnerei zugrunde gelegt.

Folgende Varianten wurden daher im Energiekonzept betrachtet:

- Variante IST (klein) Heizölkessel im Bestand
- Variante BASIS (klein) Niedertemperaturkessel neu
- Variante HHS (klein) Biomassekessel und Niedertemperaturkessel neu

Zusätzlich besteht mittelfristig die Möglichkeit, das Josefhaus und den Ausbildungsbereich an die Heizzentrale anzubinden. Daher wurde das Energiekonzept um folgende Varianten erweitert:

- Variante IST (groß) Heizölkessel im Bestand
- Variante BASIS (groß) Niedertemperaturkessel neu
- Variante HHS (groß) Biomassekessel und Niedertemperaturkessel neu

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich zeigt anhand des Wärmepreises und der Jahresgesamtkosten, dass die beiden Varianten mit Holzhackschnitzeln gegenüber den Basisvarianten deutlich günstiger sind. Gegenüber einer mit neuen Heizöl-NT-Kesseln sanierten Heizzentrale können im kleinen Netz jährlich ca. 20.600 € eingespart werden.

Wirtschaftlichkeit		Heizzentrale & Gärtnerei IST klein	Heizzentrale & Gärtnerei Basis klein	Heizzentrale & Gärtnerei HHS klein
Investitionen incl. Förderung	€		209.000	475.000
Kapitalkosten incl. Förderung	€ / a		17.000	36.000
Verbrauchskosten	€ / a	106.000	96.000	56.400
Betriebskosten	€ / a	9.200	14.500	14.500
Jahresgesamtkosten	€ / a	115.200	127.500	106.900
MwSt. gesamt	€ / a	18.500	20.600	14.000
Jahresgesamtkosten incl. MwSt.	€ / a	133.700	148.100	120.900
Wärmepreis	Ct / kWh _{th}	7,0	7,7	6,5
Wärmepreis incl. MwSt.	Ct / kWh_{th}	8,1	9,0	7,3
jährliche Einsparung HHS gegenüber Basis	€/a			20.600

Tabelle 8-1 Zusammenfassung Wirtschaftlichkeit kleine Varianten

Sollten die beiden Nahwärmenetze nach dem Ende der Lebensdauer der im Ausbildungsbe-
reich bzw. im Josefhäus installierten Versorgungssysteme miteinander verbunden werden,
können in dieser Ausbaustufe jährlich 29.200 € eingespart werden.

Wirtschaftlichkeit		Gesamt IST groß	Gesamt Basis groß	Gesamt HHS groß
Investitionen incl. Förderung	€		389.000	608.000
Kapitalkosten incl. Förderung	€ / a		30.000	45.000
Verbrauchs-kosten	€ / a	130.000	135.000	85.700
Betriebskosten	€ / a	11.900	11.900	17.000
Jahresgesamtkosten	€ / a	141.900	176.900	147.700
MwSt. gesamt	€ / a	22.700	28.500	19.300
Jahresgesamtkosten incl. MwSt.	€ / a	164.600	205.400	167.000
Wärmepreis	Ct / kWh _{th}	6,3	7,6	6,4
Wärmepreis incl. MwSt.	Ct / kWh_{th}	7,4	8,8	7,2
jährliche Einsparung HHS gegenüber Basis	€/a			29.200

Tabelle 8-2 Zusammenfassung Wirtschaftlichkeit große Varianten

Um den Einfluss der Energiepreise auf die Wirtschaftlichkeit zu berücksichtigen, wurde eine
Sensitivitätsbetrachtung hinsichtlich einer Änderung der Energiepreise durchgeführt. Anhand
von den daraus erstellten Diagrammen kann für von den Rahmenbedingungen abweichende
Energiepreise der entsprechende Wärmepreis ermittelt werden.

Zur ökologischen Bewertung der Varianten wurde eine Kohlendioxid-Emissionsbilanz
herangezogen. Deren Ergebnisse sind im folgenden Diagramm dargestellt:

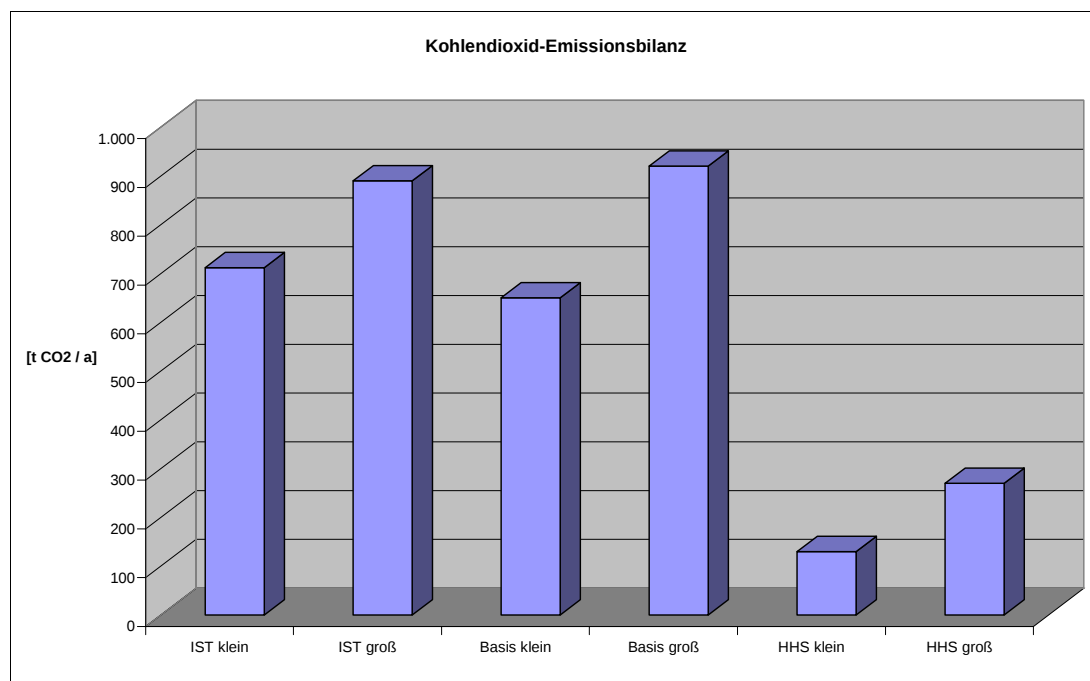


Abbildung 29: Kohlendioxid-Emissionsbilanz

Zusätzlich wurde die Nutzung von Solarenergie geprüft. Dezentrale solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung auf den Gruppenhäusern können einen mittleren Wärmepreis von 14 Ct/kWh_{th} erreichen.

Für eine Fotovoltaikanlage kommt die Südseite des Daches auf dem Hauptgebäude in Frage. Alternativ könnte noch das nach Süden ausgerichtete Dach des Josefhaus mit einer PV-Anlage versehen werden. Aufgrund der einfacheren Umsetzbarkeit wurde beispielhaft eine Fotovoltaikanlage auf dem Josefhaus dargestellt. Mit einer Fläche von ca. 240 m² ergibt sich eine Anlage mit etwa 25 kW_p Leistung. Eine solche Anlage amortisiert sich dynamisch in rund 18 Jahren bei Einsatz von 100% Fremdkapital zu einem Zinssatz von 4%.

Fazit:

Sowohl in der großen als auch in der kleinen Nahwärmeversorgung ist die alternative Variante mit einem Holzhackschnitzelkessel aus wirtschaftlicher Sicht günstiger. Da aber davon auszugehen ist, dass die Wärmeversorgung des Josefhaus und des Ausbildungsbezirks noch einige Jahre in Betrieb sein wird, sollte der Anschluss dieser Gebäude an die mit Holzhackschnitzel betriebene Heizzentrale im Hauptgebäude erst nach dem Ende der Lebensdauer der dort installierten Anlagen in Betracht gezogen werden.

Unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ist es auf jeden Fall sinnvoll, die Gärtnerei bei einer Sanierung des Nahwärmenetzes im westlichen Bereich des Areals mit an die Heizzentrale anzuschließen.

Aufgrund der Amortisationszeit von unter 20 Jahren bei reinem Fremdkapitaleinsatz ist die Installation einer Fotovoltaikanlage auf dem Josefhaus ebenfalls zu empfehlen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nahwärmenetz	8
Abbildung 2: Hausübergabestation	8
Abbildung 3: Ventil	8
Abbildung 4: Regelung Kirche.....	8
Abbildung 5: Josefhaus	9
Abbildung 6: Ausbildungsbereich	9
Abbildung 7: Gärtnerei	9
Abbildung 8: Boiler Haus Guido	12
Abbildung 9: Isolation Boiler Haus Guido.....	12
Abbildung 10: Haus Gruppe Siegfried.....	16
Abbildung 11: Übersicht Nahwärmenetz	25
Abbildung 12: Nahwärmenetz Sanierung im Bereich West.....	26
Abbildung 13: Nahwärmenetz Neubau im Bereich Ost	28
Abbildung 14: Draufsicht HHS-Bunker und HHS-Kessel [Fa. Mawera]	32
Abbildung 15: Wärmebereitstellung der Anlagen im Szenario [TSB]	36
Abbildung 16: Schnitt durch eine Holzheizzentrale	37
Abbildung 17: Kohlendioxid-Emission	41
Abbildung 18: Übersicht der Jahresgesamtkosten kleine Varianten	46
Abbildung 19: Übersicht der Jahresgesamtkosten große Varianten	46
Abbildung 20: Sensitivität kleine Varianten	47
Abbildung 21: Sensitivität große Varianten	48
Abbildung 22: Schaubild Solarthermische Anlage	52
Abbildung 23: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS).....	54
Abbildung 24: mono-, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie) ...	54
Abbildung 25: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)	55
Abbildung 26: Schema Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie).....	55
Abbildung 27: Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung des Solargenerators	56
Abbildung 28: Einsatzbeispiele für Fotovoltaikmodule (Quelle: ASS AG, CH-Bern).....	57
Abbildung 29: Kohlendioxid-Emissionsbilanz.....	60

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Kessel Hauptgebäude	10
Tabelle 2-2 Kessel Gärtnerei.....	10
Tabelle 2-3 Kessel Josefhaus	11
Tabelle 2-4 Kessel / BHKW Ausbildungsbereich	11
Tabelle 2-5 Übersicht Brauchwassererwärmung	12
Tabelle 3-1 Übersicht Jahreswärmebedarf	13
Tabelle 3-2 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand „Haus Siegfried“	17
Tabelle 3-3 Maßnahmen und U-Werte für modernisierten Zustand	18
Tabelle 3-4 Jahresheizwärmebedarf Ist-Zustand und modernisierter Zustand	19
Tabelle 3-5 Einsparung Jahresheizwärmebedarf Einzelmaßnahmen, modernisiert	20
Tabelle 4-1 Dimensionierung W1 bis W7	26
Tabelle 4-2 Dimensionierung S1 bis S3	27
Tabelle 4-3 Kosten Sanierung Nahwärme West	27
Tabelle 4-4 Dimensionierung Neubau O1 und O2	29
Tabelle 4-5 Kosten Neubau O1 und O2	29
Tabelle 5-1 Investitionskosten Basisvarianten	31
Tabelle 5-2 Heizwert von Holzhackschnitzeln	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Tabelle 5-3 Größeneinteilung von Hackschnitzeln	35
Tabelle 5-4 Einteilung von Holzhackschnitzeln	35
Tabelle 5-5 Energiebilanz großes Netz	39
Tabelle 5-6 Energiebilanz kleines Netz	40
Tabelle 5-7 Kohlendioxid-Emissionsbilanz	41
Tabelle 6-1 Wärmegegestehungskosten kleine Varianten	44
Tabelle 6-2 Wärmegegestehungskosten große Varianten	45
Tabelle 6-4 Wirtschaftlichkeit energetische Maßnahmen zum modernisierten Zustand	21
Tabelle 6-5 Wirtschaftlichkeit der Gesamtmaßnahmen	22
Tabelle 7-1 Wärmegegestehungskosten Solarthermie	53
Tabelle 7-2 Auslegung und Wirtschaftlichkeit Fotovoltaikanlage	58
Tabelle 8-1 Zusammenfassung Wirtschaftlichkeit kleine Varianten	59
Tabelle 8-2 Zusammenfassung Wirtschaftlichkeit große Varianten	60