



**Umwelt-Campus
Birkenfeld**

IfaS Institut
für
angewandtes
Stoffstrommanagement

Projektleitung:

Prof. Dr. Peter Heck

Erstellt von:

cand. Dipl. Ing. (FH) Marco Grabowski

In Zusammenarbeit mit:

Diplom Betriebswirt (FH) Thomas Anton

Abschlussbericht

Bioenergiedorf Ewighausen



Machbarkeitsstudie für eine Nahwärmeversorgung auf Basis von Holz, Biogas und mit solarthermischer Unterstützung

**Mit freundlicher
Unterstützung des:**



**Ministerium für
Umwelt und Forsten
Rheinland-Pfalz**

Birkenfeld, November 2008

Verantwortlich im Sinne des Pressegesetzes für den Inhalt sind die Autoren. Aus der Benutzung der Studie können gegenüber der Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz keine Schadensersatzansprüche geltend gemacht werden. Die Forschungsanstalt ist bemüht, die Studien auf Wahrheit, Inhalte und Herkunft zu prüfen. Sie kann jedoch beispielsweise die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen nicht prüfen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einführung	9
1.1. Ausgangslage	10
1.2. Zielsetzung	10
1.3. Methodik	11
2. Bioenergiedorf Ewighausen	11
2.1. Ausgangssituation	11
2.2. Variantenübersicht	14
2.3. Häuserbestand und Endenergiebedarf	15
2.3.1. Variante 1: Kleines Nahwärmenetz	15
2.3.1.1. Abschätzung des Endenergiebedarfs bei 36 Häusern.....	16
2.3.2. Variante 2 Großes Nahwärmenetz	17
2.3.2.1. Abschätzung des Endenergiebedarfs bei 67 Häusern.....	18
2.4. Auslegung der Nahwärmenetze	18
2.4.1. Kleines Nahwärmenetz.....	18
2.4.2. Großes Nahwärmenetz.....	20
2.5. Standortwahl der Heizzentrale	21
2.6. Beschreibungen der untersuchten Varianten	21
2.6.1. Variante 1 Kleines Nahwärmenetz mit HHS- Grundlastkessel und Öl-Spitzenlastkessel	21
2.6.1.1. Pufferspeicher	22
2.6.1.2. Brennstoffbedarf Heizöl	23
2.6.1.3. Öltank.....	23
2.6.1.4. Brennstoffbedarf HHS	23
2.6.1.5. Brennstofflager HHS	24
2.6.1.6. Heizzentrale Variante 1	25
2.6.2. Variante 2 Großes Nahwärmenetz mit HHS-Grundlastkessel und Öl-Spitzenlastkessel	26
2.6.2.1. Pufferspeicher	27
2.6.2.2. Brennstoffbedarf Heizöl	27
2.6.2.3. Öltank.....	28
2.6.2.4. Brennstoffbedarf HHS	28
2.6.2.5. Brennstofflager HHS	28
2.6.2.6. Heizzentrale Variante 2	29

2.6.3.	Variante 2.1 Großes Nahwärmenetz mit Biogasanlage in Kombination mit HHS-Grundlast- und Öl-Spitzenlastkessel	29
2.6.3.1.	Eingangssubstrate für die Biogasanlage	30
2.6.3.2.	Auslegung der Biogasanlage.....	30
2.6.3.3.	Auslegung BHKW	33
2.6.3.4.	Pufferspeicher	33
2.6.3.5.	Brennstoffbedarf Heizöl	33
2.6.3.6.	Öltank.....	34
2.6.3.7.	Brennstoffbedarf HHS	34
2.6.3.8.	Brennstofflager HHS	35
2.6.3.9.	Heizzentrale Variante 2.1	35
2.6.4.	Variante 2.2 Großes Nahwärmenetz mit HHS-Grundlastkessel, Öl-Spitzenlastkessel und mit solarthermischer Unterstützung.....	36
2.6.4.1.	Auslegung der Solarthermie-Anlage	37
2.6.4.2.	Pufferspeicher	39
2.6.4.3.	Brennstoffbedarf Heizöl.....	39
2.6.4.4.	Öltank.....	39
2.6.4.5.	Brennstoffbedarf HHS	40
2.6.4.6.	Brennstofflager HHS	40
2.6.4.7.	Heizzentrale Variante 2.2	40
2.7.	Förderungen.....	41
2.7.1.	Förderung für HHS-Kessel.....	41
2.7.2.	Tilgungszuschuss Nahwärmenetz und Hausübergabestationen	42
2.7.3.	Tilgungszuschuss Wärmespeicher	42
2.7.4.	Förderung für Solarthermie	42
2.7.5.	Vergütung für Stromeinspeisung in das öffentliche Stromnetz	43
2.7.6.	Förderung für vermiedene CO ₂ Emissionen	44
2.8.	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten	45
2.8.1.	Investitionskostenermittlung	45
2.8.1.1.	Referenzvariante Sanierung Ölheizung	45
2.8.1.2.	Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskostenermittlung der Referenzvariante Sanierung Ölheizung.....	46
2.8.2.	Nahwärmenetzvarianten	48
2.8.2.1.	Förderungen durch Tilgungszuschüsse, CO ₂ -Vermeidung und Erträge aus Stromeinspeisung	49
2.8.3.	Investitionskosten der Varianten	51
2.8.4.	Kostenvergleich der untersuchten Varianten.....	51
2.8.5.	Wärmepreisvergleich der Varianten	52
2.8.6.	Mögliche Wärmepreisentwicklung	53

3.	Zusammenfassung	56
3.1.	Ausblick.....	58
3.2.	Diskussion der Ergebnisse	60
4.	Anhang	61
5.	Literaturverzeichnis	91

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Installationsjahr der Öl-Heizungen im Bestand.....	10
Tabelle 2: Variantenübersicht.....	15
Tabelle 3: Hauptstrang kleines Nahwärmenetz	19
Tabelle 4: Nebenstrang kleines Nahwärmenetz.....	19
Tabelle 5: Hausanschlussleitungen kleines Nahwärmenetz	19
Tabelle 6: Hauptstrang großes Nahwärmenetz	20
Tabelle 7: Hausanschlussleitungen großes Netz.....	21
Tabelle 8: Ermittlung der Kesselleistung für Variante 1	22
Tabelle 9: Ermittlung der Kesselleistung der Variante 2.....	27
Tabelle 10: Eingangssubstrate und Dimensionierung der Biogasanlage	31
Tabelle 11: Wärmebedarf und -erzeugung für Variante 2.1	33
Tabelle 12: Ermittlung der Kesselleistung der Variante 2.2	36
Tabelle 13: Aufteilung der Wärmeerzeugung bei Variante 2.2.....	38
Tabelle 14: Einspeisevergütung nach EEG.....	43
Tabelle 15: Investitionskostenermittlung Ölheizung für EFH	46
Tabelle 16: Aufstellung der Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten	47
Tabelle 17: Ermittlung der Mehrkosten für Klimaschutzmaßnahmen.....	50
Tabelle 18: Einsparung von CO ₂ Emissionen.....	50
Tabelle 19: Mögliche Förderungen der untersuchten Varianten.....	51
Tabelle 20: Aufstellung der Gesamtinvestitionskosten ohne Förderungen	51
Tabelle 21: Kostenübersicht der Varianten mit Tilgungszuschuss	52
Tabelle 22: Übersicht der Wärmeerzeugungskosten.....	53
Tabelle 23: Voraussichtliche Entwicklung der Wärmegestehungskosten	54
Tabelle 24: Aufstellung der untersuchten Varianten	56
Tabelle 25: Dimensionierung kleines Nahwärmenetz.....	62
Tabelle 26: Dimensionierung großes Nahwärmenetz.....	65
Tabelle 27: Nebenstrang Knoten 1 großes Nahwärmenetz.....	65
Tabelle 28: Nebenstrang Knoten 2 großes Netz	66
Tabelle 29: Nebenstrang Knoten 3 großes Netz	66
Tabelle 30: Nebenstrang Knoten 4 großes Netz	66

Tabelle 31: Nebenstrang Knoten 5 großes Netz	66
Tabelle 32: Übersicht der monatlichen Temperaturen im Westerwald	67
Tabelle 33: Eigenwärmebedarf der Biogasanlage.....	68
Tabelle 34: Investitionskostenermittlung der Variante 1	71
Tabelle 35: Investitionskosten der Variante 2	74
Tabelle 36: Investitionskosten der Variante 2.1	79
Tabelle 37: Investitionskosten der Variante 2.2	82
Tabelle 38: Wirtschaftlichkeit Variante 1	84
Tabelle 39: Wirtschaftlichkeit Variante 2	86
Tabelle 40: Wirtschaftlichkeit Variante 2.1.....	88
Tabelle 41: Wirtschaftlichkeit Variante 2.2.....	90
Tabelle 42: Übersicht CO ₂ Emissionen.....	90

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lageplan Variante eins mit kleinem Nahwärmenetz.....	16
Abbildung 2: Lageplan Variante zwei mit großem Nahwärmenetz	17
Abbildung 3: Exemplarisches Bild eines 10 m ³ Pufferspeichers mit Isolierung.....	23
Abbildung 4: Beispiel einer Cover-All Halle zur HHS Lagerung.....	25
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Heizzentrale Variante 1.....	26
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Heizzentrale Variante 2.....	29
Abbildung 7: Jahresganglinie der Variante 2.1	32
Abbildung 8: Schematische Darstellung der Biogasanlage	34
Abbildung 9: Wirksame Globalstrahlung pro Tag im Jahresverlauf	37
Abbildung 10: Jahresganglinie Großes Nahwärmenetz	38
Abbildung 11: Jahresganglinie für Variante 2.2.....	39
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Heizzentrale mit Solarkollektoren.....	41
Abbildung 13: Wärmepreisentwicklung der Varianten.....	54

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
Barrel	159 Liter
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMU	Bundesumweltministerium
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
ct	Euro Cent
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
Fm	Festmeter
GPS	Ganzpflanzensilage
GV	Großvieheinheit
h	Stunden
ha	Hektar
HEL	Heizöl leicht
HHS	Holz hackschnitzel
KMR	Kunststoffmantelrohr
kW	Kilowatt
kW _{el}	Kilowatt elektrisch
kWh	Kilowattstunde
kW _{th}	Kilowatt thermisch
l	Liter
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MAP 2008	Marktanreizprogramm 2008
M _{flüssig}	Zugabe an Wasser zur Verflüssigung auf 15 % TS-Gehalt
Mg	Megagramm
M _{ges}	Gesamtsubstrat

MJ	Megajoule
M_{sub}	Menge an Eingangssubstrat
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunde
oTS	organischer Trockensubstanzgehalt
PMR	Flexibles Kunststoffmediumrohr
S_0	Substratkonzentration der organischen Trockensubstanz
Srm	Schüttraummeter
t	Tonne
TS	Trockensubstanzgehalt
TS_{mittel}	mittlerer Trockensubstanzgehalt
WEZK	Wärmeerzeugungskosten

1. Einführung

Durch die steigende Ressourcenknappheit und die damit verbundenen wachsenden Kosten für die Energiegewinnung müssen neue Wege beschritten werden. Die Erhöhung der Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energien sind die zentralen Ansatzpunkte für eine nachhaltige Energieversorgung. Ein Baustein für eine zukunftsfähige Energieversorgung im ländlichen Raum sind Bioenergiedörfer. Da Deutschland nahezu keine wirtschaftlich nutzbaren fossilen Ressourcen zur Energieerzeugung besitzt und dadurch in hohem Maße auf Importe angewiesen ist, bildet Bioenergie einen Teil für den erforderlichen Energiemix. Der Bioenergiemix setzt sich aus verschiedenen Technologien zusammen. Die durch Holzhackschnitzel (HHS) und/oder Holzpellets erzeugte Heizungsenergie stellt eine vielversprechende Möglichkeit dar, die vorhandene Nachfrage nach Wärme zu decken. Mit der Biogastechnologie lässt sich aus Biomasse Wärme und Strom gewinnen. Die Solarthermie (Wärmegewinnung durch die Sonne) besticht durch den Vorteil, dass keine Ressourcen benötigt werden und stellt damit die beste Energieerzeugungsform dar.

Eine zentrale Wärmeversorgung ermöglicht den Einsatz energiesparender und umweltfreundlicher Techniken wie der Brennwerttechnik, Biomassefeuerungen, den Einsatz von Blockheizkraftwerken oder die Nutzung solarthermischer Anlagen und die Verteilung der erzeugten Wärmeenergie über einen Nahwärmeverbund. Ein Nahwärmenetz hat viele Vorteile und kann, auch im Vergleich zu einzelnen Wärmeversorgern in den Gebäuden, oft wirtschaftlich realisiert werden. Eine zentrale Versorgung bietet auch immer die Möglichkeit, den zentral errichteten Wärmeerzeuger schnell an neue technische Entwicklungen anzupassen oder die vorhandene Technik zu ersetzen. Nicht nur der direkte Erlös aus dem Wärmeverkauf spricht für die Durchführung eines solchen Nahwärmeverbundes, sondern vielmehr auch der Verbleib des Geldflusses in der Region, denn durch die Nutzung einheimischer Hölzer und Energiepflanzen und die dadurch erreichte Substitution von Öl bzw. Erdgas wird ein regionaler Mehrwert geschaffen. Dieser dient der Stärkung der regionalen Wirtschaftskraft und der Erhaltung von Arbeitsplätzen vor allem in der Land- und Forstwirtschaft. Bei der Nutzung von Bioenergie wird nur so viel CO₂ freigesetzt, wie die Pflanzen während ihres Wachstums gebunden haben, daher spricht man von einer

CO₂-neutralen Verbrennung. Bei der Nutzung von fossilen Energieträgern wird hingegen CO₂ freigesetzt, welches seit Millionen von Jahren in der Erde gebunden ist und nun innerhalb von Jahrzehnten freigesetzt wird. Die vorliegende Machbarkeitsstudie prüft ein sinnvolles Konzept für ein Bioenergiedorf in Ewighausen nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten.

1.1. Ausgangslage

Die Gemeinde Ewighausen mit einer Gesamtfläche von 2,54 km² gehört zur Verbandsgemeinde Selters im Westerwaldkreis in Rheinland-Pfalz. Die Einwohnerzahl beläuft sich auf ca. 230 Personen, verteilt auf 80 Haushalte¹.

Im Jahr 2008 steht eine Straßensanierungsmaßnahme in Ewighausen an. Bürgermeister Hans-Peter Menggen trat mit der Idee eines energie-autarken Dorfes an Prof. Dr. Karl Keilen vom Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz heran. Dadurch wurde das IfaS beauftragt eine Machbarkeitsstudie für ein Bioenergiedorf zu erstellen. Um Kosten einzusparen ist es von Vorteil, dass zur Wärmeverteilung benötigte Nahwärmenetz im Zuge der Straßensanierungsmaßnahme zu verlegen.

1.2. Zielsetzung

Die vorliegende Ausarbeitung verfolgt das Ziel, einen Variantenvergleich für die technische und wirtschaftliche Machbarkeit einer autarken Wärmeversorgung der Gemeinde mittels Holzhackschnitzel (HHS) in Kombination mit einer Biogasanlage und mit einem solarunterstützten Nahwärmenetz durchzuführen. Dazu müssen die Gegebenheiten vor Ort miteinbezogen und in ein sinnvolles Gesamtkonzept eingegliedert werden.

¹ Aus <http://www.infothek.statistik.rlp.de/lis/MeineRegion/index.asp>, Statistisches Landesamt Rheinland-Pfalz vom 10.02.2008 um 9.36 Uhr

1.3. Methodik

Die Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen praktischen Teil. Kapitel eins beschreibt die Ausgangslage vor Ort, die Zielsetzung und die Methodik der Machbarkeitsstudie.

Kapitel zwei bildet den praktischen Teil der vorliegenden Arbeit. Neben der Erfassung der Daten zum Wärmeverbrauch der einzelnen Häuser wird auf die Standortwahl für die Heizzentrale und deren Grobkonzeption, die Auslegung der Nahwärmenetze, die Anlagendimensionierungen und die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Betrachtungsvarianten sowie auf die Fördermöglichkeiten eingegangen. Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden die Preisentwicklungen der Energieträger der verschiedenen Anlagenkonzepte untersucht, um die zukünftige Entwicklung des Wärmepreises abzuschätzen.

Die Zusammenfassung, der Ausblick und die Diskussion der aus Kapitel zwei resultierenden Ergebnisse werden in Kapitel drei dargestellt.

Die vorliegende Machbarkeitsstudie kann eine detaillierte Planung der System- und Anlagenkonzepte nicht ersetzen. Ferner soll sie in einem ersten Schritt eine Auswahl sinnvoller Untersuchungsvarianten nach den technischen und lokalen Gegebenheiten für eine spätere Detailplanung aufzeigen.

2. Bioenergiedorf Ewighausen

2.1. Ausgangssituation

Nach der Befragung aller Hauseigentümer/Bewohner nach dem Alter des Hauses, der beheizten Wohnungsfläche, Anzahl der Bewohner, Art und Alter der Heizung, Brennstoffart, und dem sich daraus ergebenden Brennstoffverbrauch und mit Hilfe des Siedlungsplans konnte die technische Auslegung folgen.

Der größte Teil der Wärmeerzeuger in Ewighausen wird mit Heizöl befeuert, teilweise wird mit Stückholz und in einem Fall noch mit Kohle zugeheizt. Bei

12 Heizungsanlagen konnten keine Daten ermittelt werden, da es keine Aufzeichnungen der Hauseigentümer gibt.

Das Alter der 55 Ölheizungen im Bestand ist in nachfolgender Tabelle näher aufgelistet.

Alter Heizungsanlagen		
Jahre	Anzahl	Prozent
bis 5	9	16%
6 bis 10	9	16%
11 bis 15	15	27%
16 bis 20	12	22%
21 bis 25	8	15%
26 bis 30	2	4%

Tabelle 1: Installationsjahr der Öl-Heizungen im Bestand

Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer der Heizungsanlage von 20 Jahren ist anzumerken, dass zum jetzigen Zeitpunkt 22 der Heizungsanlagen direkt sanierungsbedürftig sind, zuzüglich der Defekte die entstehen können. In den nächsten fünf Jahren kommen dann noch weitere 15 Anlagen hinzu. Dies bedeutet, dass bereits im Laufe der nächsten fünf Jahre 68 % der erfassten Heizungsanlagen als potentielle Wärmekunden zur Verfügung stehen können.

Das Neubaugebiet umfasst momentan ca. 14 Gebäude, die mit Flüssiggas beheizt werden. Das Neubaugebiet ist in der folgenden Betrachtung nicht mit einbezogen, da die Häuser und damit auch die Heizungen entweder ganz neu oder nur wenige Jahre alt sind.

Des Weiteren soll dieses Jahr eine Straßensanierung für die Berg- und Bornstraße durchgeführt werden. Deshalb wäre es unter Kostengesichtspunkten vorteilhaft, die Verlegung des Nahwärmenetzes parallel zur Straßensanierungsmaßnahme durchzuführen.

Es ergeben sich zwei Varianten für das Nahwärmenetz:

In Variante eins wird ausschließlich der Wärmebedarf der 36 Häuser betrachtet, die an den zu sanierenden Straßen liegen.

Bei Variante zwei ist das komplette Dorf (ohne Neubaugebiet) in die zentrale Energieversorgung einbezogen, dabei handelt es sich um 67 Häuser. Durch eine Wärmebedarfsermittlung ergeben sich zwei unterschiedliche Nahwärmenetzlängen und Techniken für die Wärmeerzeugung.

Fünf Landwirte in einem Umkreis von fünf Kilometern haben Interesse, Energiepflanzen für eine Biogasanlage anzubauen, daraus ergibt sich eine autarke Wärme- und Stromproduktion für die Gemeinde. Die Wärme wird über das Nahwärmenetz an die einzelnen Häuser verteilt. Der produzierte Strom wird in das öffentliche Stromnetz eingespeist.

Des Weiteren ist eine solarthermische Unterstützung des Nahwärmenetzes denkbar.

Für den Standort der Heizzentrale bietet sich das Gelände oberhalb der Bornstraße, Ortsausgang Richtung Niedersayn an, da die Gemeinde dort Grundstückseigentümer ist.

Die Gemeinde Ewighausen gehört zur Verbandsgemeinde Selters im Westerwaldkreis in Rheinland-Pfalz. Die Einwohnerzahl beläuft sich auf ca. 231² Personen verteilt auf 80 Haushalte. Zurzeit wird die benötigte Wärme hauptsächlich mit Heizöl, bzw. einer Kombination aus Heizöl und Stückholz dezentral in den jeweiligen Häusern erzeugt. Das Neubaugebiet umfasst momentan ca. 14 Häuser, die mit Flüssiggas geheizt werden. Das Neubaugebiet ist in der folgenden Betrachtung nicht mit einbezogen, da die Häuser und damit auch die Heizungen, entweder ganz neu oder nur wenige Jahre alt sind.

Da die Gemeinde Ewighausen ca. 80 ha Wald besitzt und in unmittelbarer Nähe zur Gemeinde ca. 400 ha Wald zur Verfügung stehen, bietet sich eine Betrachtung der zentralen Energieversorgung mittels Holzhackschnitzel an.

² <http://www.infothek.statistik.rlp.de/lis/MeineRegion/index.asp> , 02.04.2008, 22.08 Uhr

Es wäre von Vorteil, wenn man die Verlegung des Nahwärmenetzes parallel zur anstehenden Straßensanierung einbringen würde. Daraus ergeben sich zwei Varianten für den Nahwärmeverbund:

In Variante eins wird ausschließlich der Wärmebedarf der Häuser betrachtet, die an den zu sanierenden Straßen liegen.

Bei Variante zwei ist das komplette Dorf (ohne Neubaugebiet) in die zentrale Energieversorgung einbezogen.

Daher ergeben sich unterschiedliche Nahwärmenetzlängen und Heizungsanlagen die nachfolgend näher beschrieben werden.

Für den Standort der Heizzentrale bietet sich das Gelände oberhalb der Bornstraße, Ortsausgang Richtung Niedersayn an, da die Gemeinde dort Grundstückseigentümer ist.

2.2. Variantenübersicht

In dieser Machbarkeitsstudie wurden verschiedene Varianten auf ihre technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Daraus ergaben sich zwei unterschiedliche Nahwärmenetzvarianten, ein kleines und ein großes Nahwärmenetz. Diese wurden mit einer Holzhackschnitzel-Heizung als Grundlastabdeckung und mit einem Öl-Spitzenlastkessel kombiniert.

Das große Nahwärmenetz stellte sich in den vorherigen Berechnungen wegen der höheren Wärmeabnahme als wirtschaftlicher und technisch sinnvoller zu realisieren dar, deshalb wird eine Biogasanlage mit dem großen Nahwärmenetz und Variante zwei (siehe folgende Tabelle 2) kombiniert. Ebenfalls wird eine solare Nahwärmeunterstützung mit dem großen Nahwärmenetz untersucht.

Die unterschiedlichen Untersuchungsvarianten sind in Tabelle 2 dargestellt.

Varianten	Beschreibung	Heizungsanlage
Variante 1	HHS-Grundlastkessel Öl-Spitzenlastkessel Kleines Nahwärmenetz nur für Straßen der Stra- ßensanierung ohne Oberflächenwiederherstellung	HHS-Kessel Grundlast Ölkessel Spitzenlast
Variante 2	HHS-Grundlastkessel Öl-Spitzenlastkessel Großes Nahwärmenetz für die gesamte Gemeinde ohne Oberflächenwiederherstellung für Straßen der Stra- ßensanierung	HHS-Kessel Grundlast Ölkessel Spitzenlast
Variante 2.1	Biogasanlage HHS-Grundlastkessel Öl- Spitzenlastkessel Großes Nahwärmenetz für die gesamte Gemeinde ohne Oberflächenwiederherstellung für Straßen der Stra- ßensanierung	Biogasanlage HHS-Grundlastkessel Ölkessel Spitzenlast
Variante 2.2	HHS-Grundlastkessel Öl-Spitzenlastkessel Solar- thermische Nahwärmeunterstützung Großes Nahwärmenetz für die gesamte Gemeinde ohne Oberflächenwiederherstellung für Straßen der Stra- ßensanierung	Solarthermie HHS-Kessel Grundlast Ölkessel Spitzenlast

Tabelle 2: Variantenübersicht

2.3. Häuserbestand und Endenergiebedarf

Der Häuserbestand in der Gemeinde Ewighausen besteht aus 67 Häusern die in die Betrachtung mit einbezogen wurden. Es handelt sich dabei um Häuser unterschiedlicher Baujahre und mit verschiedenen Wärmeverbräuchen.

2.3.1. Variante 1: Kleines Nahwärmenetz

Ein Nahwärmnetz verteilt die zentral erzeugte Wärme an die einzelnen angeschlossenen Häuser. Die Variante eins betrachtet die Häuser in der Berg- und Bornstraße, in der die Straßensanierungsmaßnahme durchgeführt werden soll. Dabei handelt es sich um 36 Häuser, die an das kleine Nahwärmenetz angeschlossen werden. In Abbildung 1 ist der Rohrleitungsverlauf des Nahwärmeverbundes grün markiert, die angeschlossenen Häuser gelb und das blaue Quadrat rechts unten stellt schematisch den Standort der Heizzentrale dar.

Die zentral erzeugte Wärme wird über ein ca. 1.557 m langes Nahwärmnetz an die einzelnen Häuser verteilt.

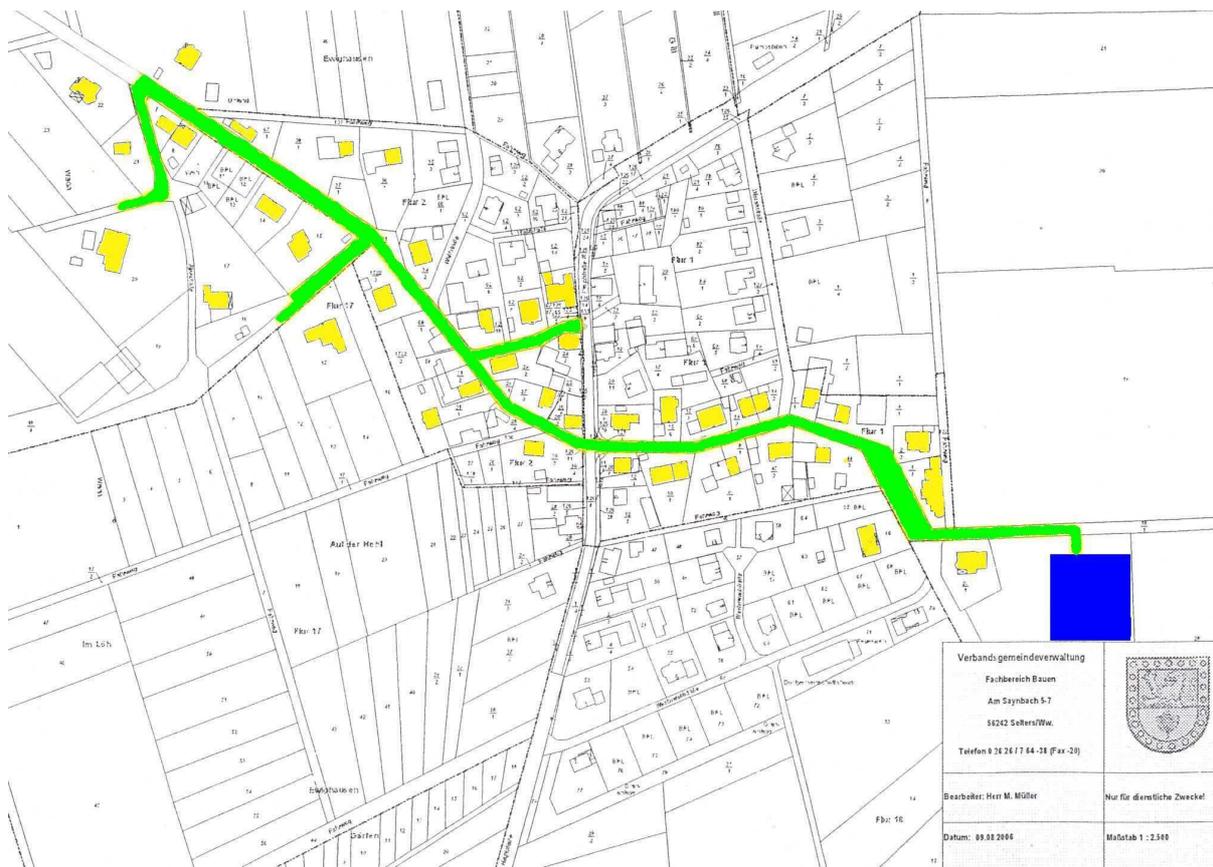


Abbildung 1: Lageplan Variante eins mit kleinem Nahwärmenetz

2.3.1.1. Abschätzung des Endenergiebedarfs bei 36 Häusern

Um eine möglichst realistische Anlagenauslegung zu erhalten, wurde der reale Endenergieverbrauch (Heizölverbrauch und Stückholzverbrauch) der einzelnen Häuser durch Befragung der Bewohner erfasst. Bei acht Häusern konnte keine Aussage über die Energieverbräuche getroffen werden. Der Wärmeenergiebedarf der noch fehlenden Häuser wurde mit Kennzahlen³ über die Art, das Alter, die Geschossanzahl und die Größe der Häuser bestimmt. Hieraus ergibt sich ein Endenergiebedarf von 1.057 MWh/a.

³ Gerd Hauser, Kirsten Höttges, et. al. „Energieeinsparung im Gebäudebestand – Bauliche und anlagentechnische Lösungen“. Berlin: Gesellschaft für rationelle Energieverwendung e. V.; 4. Auflage Ausgabe I/2002: S. 14 ff.

2.3.2. Variante 2 Großes Nahwärmenetz

Die zu versorgenden 67 Häuser sollen durch die zentral in der Heizzentrale erzeugte Wärme beliefert werden.

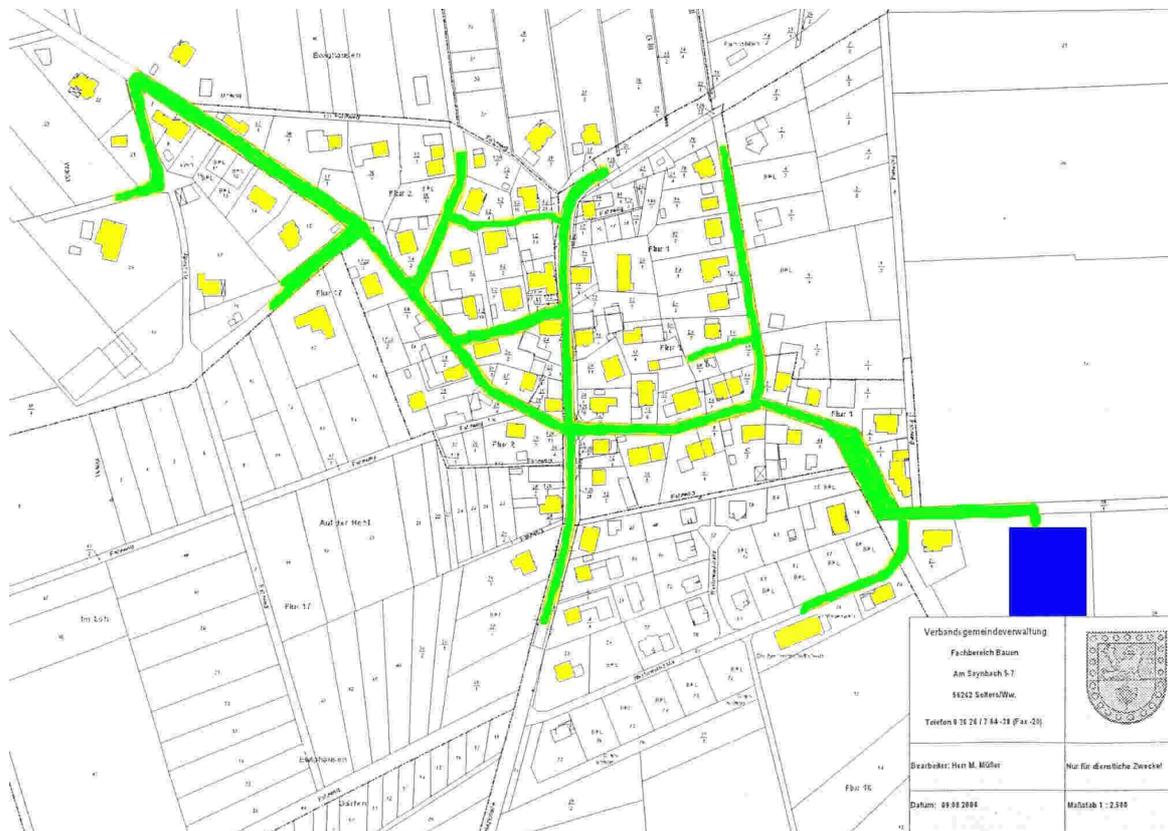


Abbildung 2: Lageplan Variante zwei mit großem Nahwärmenetz

Aus Abbildung 2 ist der Rohrleitungsverlauf für die gesamte Gemeinde in grün ersichtlich. Der voraussichtliche Standort der Heizzentrale ist schematisch unten rechts in blau und die angeschlossenen Häuser sind in gelb eingezeichnet. Aus dem Verlauf der Rohrleitungswege ergibt sich eine Gesamtlänge für das große Nahwärmenetz von 2.412 m. Dabei sind alle Rohrleitungen von der Heizzentrale bis zu den einzelnen Häusern berücksichtigt. Die Rohrleitungen wurden in der vorliegenden Betrachtung ausschließlich entlang öffentlicher Wege verlegt, bei der teilweisen Nutzung von Privatgrundstücken bei der Verlegung könnten Kosten eingespart werden. Dies ist in einer weitergehenden Detailplanung zu prüfen.

2.3.2.1. Abschätzung des Endenergiebedarfs bei 67 Häusern

Wie bei der ersten Variante wurden die Bürger über ihre Heizöl- und ggf. Stückholzverbräuche befragt und um die bei dieser Variante fehlenden Angaben für 16 Häuser abgeschätzt und ergänzt. Daraus ergibt sich ein Endenergieverbrauch von 1.993 MWh/a.

2.4. Auslegung der Nahwärmenetze

Das Nahwärmenetz verteilt die gesamte benötigte Wärme, die in der Heizzentrale erzeugt wird, auf die einzelnen Häuser. Dabei wurden die spezifischen Wärmeverbräuche jedes einzelnen Hauses in die Dimensionierung der Rohrleitungen einbezogen, hinzu kommen noch die Netzverluste von 15 % und die fünf Prozent Verluste der Hausübergabestationen. Bei den untersuchten Szenarien ergaben sich zwei in Länge und Dimensionierung unterschiedliche Nahwärmenetze.

2.4.1. Kleines Nahwärmenetz

Bei dem kleinen Nahwärmenetz werden 36 Häuser mit Wärme versorgt. Der Hauptstrang der mit KMR (Kunststoffmantelrohr) berechnet wurde, hat eine Länge von 1.115 m. Die unterschiedlichen Dimensionierungen und Längen der einzelnen Leitungsabschnitte sind aus Tabelle 3 ersichtlich.

Hauptstrang			
Leitungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste [kWh]	Länge der Leitung [m]	Benötigte Rohrleitung
Heizzentrale - Westerwaldstraße 18	765,92	162,5	KMR DN100
Westerwaldstraße 18 - Bornstraße 4a	738,03	275	KMR DN 80
Bornstraße 4 - Knoten Bergstraße Mittelstraße	471,44	177,5	KMR DN 65
Knoten Bergstraße Mittelstraße - Bergstraße 12	211,30	145	KMR DN 50
Bergstraße 12 - Alleestraße 4	127,36	355	KMR DN 40
		1.115	

Tabelle 3: Hauptstrang kleines Nahwärmenetz

Es werden zwei Nebenstränge benötigt, um alle 36 Häuser an das Nahwärmenetz anschließen zu können. Wie in Tabelle 4 dargestellt sind dafür 82,5 m KMR notwendig.

Nebenstrang			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste [kWh]	Länge der Leitung [m]	Benötigte Rohrleitung
Bergstraße 6 - Mittelstraße 1	116,1	20,0	KMR DN 40
ab Mittelstraße 1 - Hauptstraße 14/16	42,6	62,5	KMR DN 32
		82,5	

Tabelle 4: Nebenstrang kleines Nahwärmenetz

Für die Anbindung der Hausanschlussleitungen vom Hauptstrang und den Nebensträngen wurden überschlägig zehn Meter Rohrlänge pro Haus angenommen.

Hausanschlussleitungen			
Rohrdimensionierung	Anzahl von 10m Leitungen [Stück]	Anschlusslänge pro Haushalt [m]	Benötigte Rohrleitung [m]
PMR DN 40	2	10	20
PMR DN 32	16	10	160
PMR DN 28	15	10	150
PMR DN 22	3	10	30
	36		360

Tabelle 5: Hausanschlussleitungen kleines Nahwärmenetz

Die aus Tabelle 5 hervorgehenden 360 m Rohrlänge addieren sich zu den vorangegangenen Tabellenwerten, daraus ergibt sich eine Gesamtlänge für das kleine Nahwärmenetz von 1.557,5 m. Die detaillierte Dimensionierung des kleinen Nahwärmenetzes kann im Anhang unter Tabelle 25 nachgeschlagen werden.

2.4.2. Großes Nahwärmenetz

Beim großen Nahwärmenetz werden 67 Häuser mit Wärme versorgt. Der Hauptstrang ausgehend von der Heizzentrale wurde wie bei dem kleinen Nahwärmenetz mit Kunststoffmantelrohren ausgelegt. Es ergab sich eine Länge von 867,5 m. Die einzelnen Rohrdurchmesser und Längen sind in Tabelle 6 einzeln aufgeführt.

Hauptstrang großes Netz			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste [kWh]	Länge der Leitung [m]	Benötigte Rohrleitung
Heizzentrale - Knoten Bornstraße Hauptstraße	1.443,84	260	KMR DN100
Knoten Bornstraße Hauptstraße - Bergstraße 4	723,43	45	KMR DN 80
Bergstraße 4 - Bergstraße 10	462,03	155	KMR DN 65
Bergstraße 10 - Bergstraße 18	227,00	232,5	KMR DN 50
Bergstraße 18 bis Alleestraße 4	120,21	137,5	KMR DN 40
Alleestraße 4 - Alleestraße 1	50,71	37,5	KMR DN 32
		867,5	

Tabelle 6: Hauptstrang großes Nahwärmenetz

Es werden noch fünf Knotenpunkte bzw. Nebenstränge benötigt um in die einzelnen Straßenabschnitte zu gelangen (siehe Anhang: Tabelle 27 bis Tabelle 31). Für die Anbindung der Häuser wurden wie bei dem kleinen Nahwärmenetz auch hier überschlägig zehn Meter Rohrlänge pro Haus für die Hausanschlussleitungen angenommen. Die benötigten Rohrdimensionierungen sind in Tabelle 7 ausgeführt.

Hausanschlussleitungen			
Rohrdimensionierung	Anzahl von 10m Leitungen [Stück]	Anschlusslänge pro Haushalt [m]	Benötigte Rohrleitung [m]
PMR DN 40	5	10	50
PMR DN 32	34	10	340
PMR DN 28	21	10	210
PMR DN 22	7	10	70
	67		670

Tabelle 7: Hausanschlussleitungen großes Netz

Aus der Addition der einzelnen Rohrlängen ergibt sich eine Gesamtlänge für das große Nahwärmenetz von 2.412,5 m.

2.5. Standortwahl der Heizzentrale

Der Standort für die Heizzentrale ist für alle untersuchten Varianten gleich. Es wurde das Gelände oberhalb der Bornstraße, Ortsausgang Richtung Niedersayn, vorgesehen, denn dort ist die Gemeinde Grundstückseigentümer. Die Heizzentralen unterscheiden sich bei den verschiedenen Varianten in Größe und Aufbau, darauf wird später bei den Variantenbeschreibungen näher eingegangen.

2.6. Beschreibungen der untersuchten Varianten

Nachfolgend werden die einzelnen untersuchten Varianten für das Bioenergie Dorf Ewighausen detailliert beschrieben.

2.6.1. Variante 1 Kleines Nahwärmenetz mit HHS-Grundlastkessel und Öl-Spitzenlastkessel

Ausgehend von dem realen IST-Endenergiebedarf der zu versorgenden Häuser (siehe 2.3.1.1) mit 1.057 MWh/a wurden für die Kesselverluste der installierten Heizungen zehn Prozent abgezogen, damit wurde der IST-Nutzenergiebedarf mit 951 MWh/a bestimmt. Zu diesem Wert wurden die fünf Prozent Verluste der Hausübergabestationen und zehn Prozent Verluste für das Nahwärmenetz addiert, damit ergab sich ein Nutzenergiebedarf von 1.099 MWh/a. Ausgehend von diesem Nutzenergiebedarf und einer Vollaststundenzahl von 1.900 h ergibt sich eine theoretische Leistung von 578 kW für die zu installierenden Kessel. Bei einer Nahwärmeversorgung treten die Lastspitzen der Verbraucher zeitversetzt auf, daher wird ein empirisch ermittelter Gleichzeitigkeitsfaktor g in die Berechnung mit einbezogen. Bei kleinen Netzen, wie dem hier vorliegenden, beträgt der Gleichzeitigkeitsfaktor 0,85. Daraus folgend reduziert sich die zu installierende Leistung für die Heizkessel auf 492 kW. Die Heizkesselleistung teilt sich in einen 50 % Grundlast-Holzhackschneitzelkessel (HHS) und einen 50 % Spitzenlast-Öl-Kessel auf. Damit ergeben sich jeweils

246 kW für Grund- und Spitzenlastkessel. Gewählt wurde für den HHS-Kessel eine Leistung von 300 kW und für den Öl-Kessel 240 kW.

Kleines Netz (Variante 1)	
Ist - Endenergieverbrauch [kWh/a]	1.057.172
Ist Nutzenergieverbrauch [kWh/a]	951.455
Nutzenergie+HU+Netzverluste [kWh/a]	1.098.930
Vollbenutzungsstunden Heizungskessel [h/a]	1.900
Nennwärmeleistung Netzkessel [kW]	578
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,85
Installierte Leistung Heizzentrale [kW]	492
Kesselaufteilung Grundlast-HHS 50% [kW]	246
Kesselaufteilung Spitzenlast-Öl 50% [kW]	246

Tabelle 8: Ermittlung der Kesselleistung für Variante 1

In obenstehender Tabelle sind die Daten zur Ermittlung der Kesselleistung für Variante 1 zusammengefasst dargestellt.

2.6.1.1. Pufferspeicher

Es wird ein Pufferspeicher mit 16,5 m³ Volumen eingesetzt, um die Schwankungen in der Wärmeabnahme auszugleichen. Der Pufferspeicher ist mit 200 mm Polyurethanschaum isoliert und mit verzinktem Blech verkleidet.



Abbildung 3: Exemplarisches Bild eines 10 m³ Pufferspeichers mit Isolierung

2.6.1.2. Brennstoffbedarf Heizöl

Der Endenergiebedarf für die Abdeckung der Spitzenlast mit dem Ölkessel beläuft sich auf 241.765 kWh. Dies führt bei einem Heizwert von 42,6 MJ/kg und bei einer Dichte bei 15°C von 860 kg/m³ bei Heizöl leicht (HEL)⁴ zu 10,18 kWh/l. Daraus folgt ein Jahresverbrauch an Heizöl EL von 23.749 Litern.

2.6.1.3. Öltank

Der doppelwandig ausgeführte Öltank soll seitlich hinter der Heizzentrale aufgestellt werden. Mit einem Volumen von 20 m³ kann er nahezu den Jahresbedarf von 23.749 Litern aufnehmen. Dadurch ist der Betreiber flexibler im Einkauf von Heizöl und kann besser auf Preisschwankungen reagieren.

2.6.1.4. Brennstoffbedarf HHS

Der Jahres-Brennstoffbedarf für den Grundlast-HHS-Kessel beträgt 967.059 kWh. Bei Nadelholz mit einer Restfeuchte von 45 % entspricht dies einem Volumen von

⁴ DIN 51603-1 Heizöl EL

1.150 Srm⁵ Holzhackschnitzeln. Dies führt zu einer Substitution an Erdöl von 94.996 Litern pro Jahr und damit einer CO₂-Minderung für Heizöl von 228 t im Jahr, das sind 81 % der CO₂-Emissionen der untersuchten 36 Häuser.

2.6.1.5. Brennstofflager HHS

Das Kurzzeitlager für den Jahresbedarf an Holzhackschnitzeln soll, um räumlich möglichst nahe am Grundlast-HHS-Kessel zu sein, in einer Leichtbau-Lagerhalle (siehe Abbildung 4) untergebracht werden. Der Brennstoffbunker wird als Erdbunker konzipiert, um eine einfache Befüllung mit einem Frontlader am Traktor zu gewährleisten. Am Boden des Bunkers befindet sich ein Schubboden, der die Holzhackschnitzel zur Förderschnecke schiebt. Die Förderschnecke transportiert den Brennstoff direkt zum Grundlastkessel. Bei der geplanten installierten Kesselleistung von 300 kW ergibt sich bei Vollast und 24-stündigem Betrieb ein Bedarf an Holzhackschnitzeln von 9 Srm pro Tag⁶. Der geplante Brennstoffbunker hat ein Volumen von 48 m³, damit ist ein Dauerbetrieb von fünf Tagen gewährleistet. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Aufstellung einer Leichtbauhalle, die im Bild sichtbare Betonmauer dient zur besseren Entnahme der Holzhackschnitzel und zum Schutz der Zeltplane.

⁵ <http://www.biomasse-rlp.de/hib/> vom 05.02.2008

⁶ <http://www.biomasse-rlp.de/hib/> vom 05.02.2008



Abbildung 4: Beispiel einer Cover-All Halle zur HHS Lagerung⁷

2.6.1.6. Heizzentrale Variante 1

Beide Heizkessel sowie der Pufferspeicher, die Pumpen für das Nahwärmenetz und auch die elektronische Steuerung der Anlage werden in der Heizzentrale installiert. Die Heizzentrale wird in einer Leichtbauhalle mit Satteldach entstehen. Der Öltank wird in unmittelbarer Nähe zur Halle aufgestellt. Der Brennstoffbunker für die Holz-Hackschnitzel soll rechter Hand davon in einer freitragenden Cover-All Leichtbauhalle wetterfest untergebracht werden (siehe Abbildung 5). Die Cover-All Halle wurde dementsprechend groß gewählt, um den Jahresbedarf an Holz hackschnitzeln, den HHS-Bunker und noch ausreichend Platz zum rangieren und befüllen des Brennstoffbunkers zu gewährleisten.

⁷ Quelle: Jörg Hartig, Gebietsverkaufsleiter Cover-All vom 12.12.2007

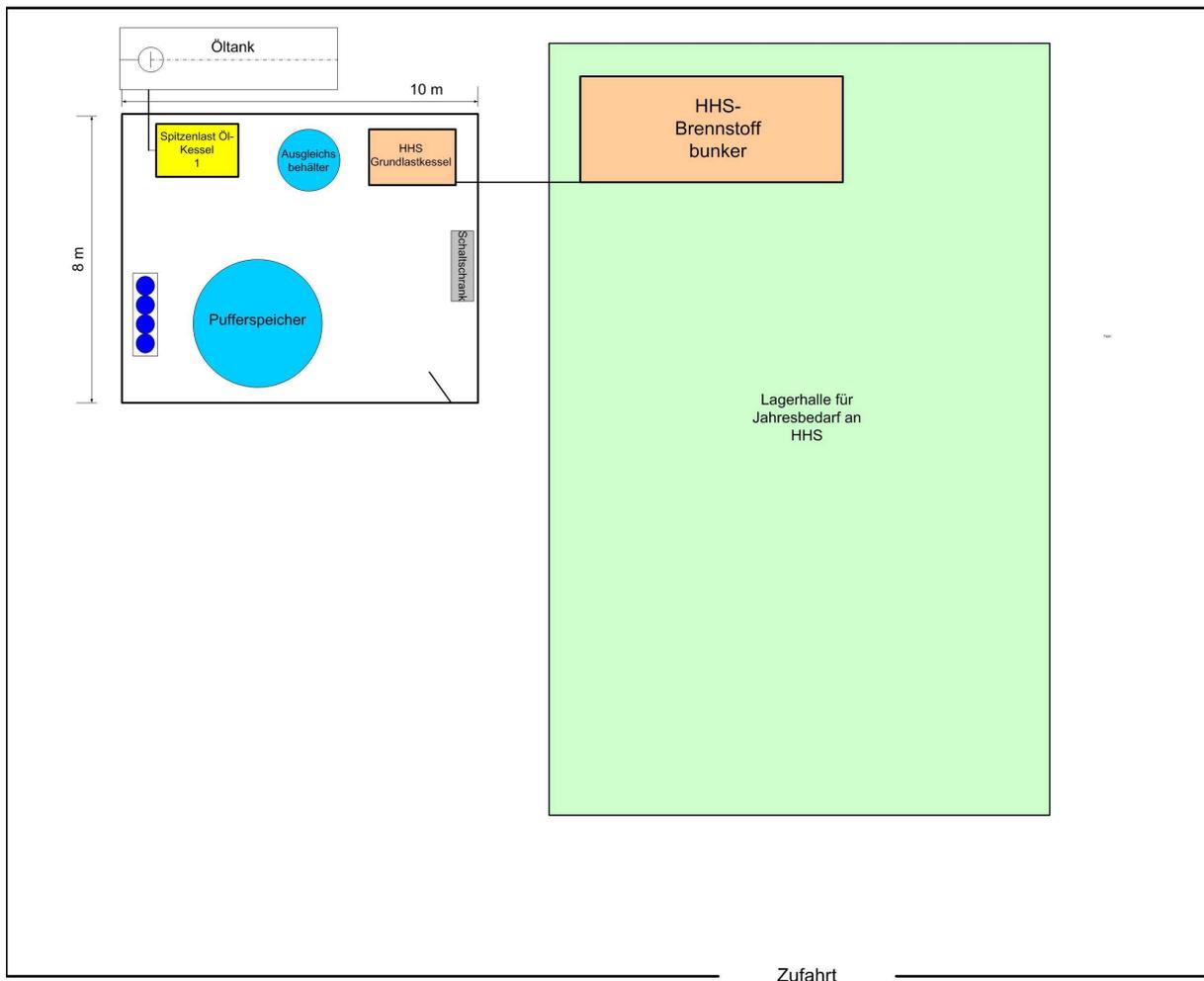


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Heizzentrale Variante 1

Die Zufahrt und die freie Fläche vor der Heizzentrale werden geschottet, um auch bei schlechten Witterungsbedingungen eine problemfreie Befahrung sicher zu stellen.

2.6.2. Variante 2 Großes Nahwärmenetz mit HHS-Grundlastkessel und Öl-Spitzenlastkessel

Ausgangspunkt der Berechnungen für Variante 2 sind die IST-Nutzenergieverbräuche der einzelnen Gebäude (siehe 2.3.2.1) mit 1.992.833 kWh pro Jahr. Der IST-Nutzenergiebedarf wurde durch Subtraktion von zehn Prozent Kesselverlust der installierten Heizungen mit 1.793.594 kWh pro Jahr bestimmt (siehe Tabelle 9). Hinzu kommen fünf Prozent Verlust für die Hausübergabestationen und zehn Prozent Verlust für das Nahwärmenetz, daraus ergibt sich ein Nutzenergiebedarf von 2.071.602 kWh/a. Ausgehend von diesem Nutzenergiebedarf und einer Vollaststundenzahl von 1.900 h pro Jahr ergibt sich eine zu installierende Leistung für die Heiz-

kessel von 1.090 kW. Analog wie bei Variante 1 wird ein empirisch ermittelter Gleichzeitigkeitsfaktor g von 0,85 in die Berechnung mit einbezogen. Daher reduziert sich die zu installierende Leistung auf 927 kW.

Großes Netz (Variante 2)	
Ist - Endenergieverbrauch [kWh/a]	1.992.883
Ist Nutzenergieverbrauch [kWh/a]	1.793.594
Nutzenergie+HÜ+Netzverluste [kWh/a]	2.071.602
Vollbenutzungsstunden Heizungskessel [h/a]	1.900
Nennwärmeleistung Netzkessel [kW]	1.090
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,85
Installierte Leistung Heizzentrale [kW]	927
Kesselaufteilung Grundlast-HHS 40% [kW]	371
Kesselaufteilung Spitzenlast-Öl 30% [kW]	278
Kesselaufteilung Spitzenlast-Öl 30% [kW]	278

Tabelle 9: Ermittlung der Kesselleistung der Variante 2

Die Heizkesselleistung teilt sich in einen 40 %-HHS-Grundlast-Kessel und zwei 30 %-Öl-Spitzenlast-Kessel auf. Die Grundlast wird mit einem 400 kW HHS-Kessel bereitgestellt. Die Spitzenlast teilen sich zwei gleichgroße Öl-Kessel mit einer gewählten zu installierenden Leistung von 295 kW.

2.6.2.1. Pufferspeicher

Um Schwankungen im Wärmeverbrauch auszugleichen wird ein Pufferspeicher mit 31 m³ Volumen eingesetzt. Dieser verhindert, dass die Heizungskessel in Schwachlastzeiten fortwährend an und aus gefahren werden.

2.6.2.2. Brennstoffbedarf Heizöl

Um die Spitzenlast abzudecken wird ein Endenergiebedarf von 455.752 kWh pro Jahr benötigt. Dies entspricht einem Jahresverbrauch von 44.769 Liter Heizöl EL (siehe 2.6.1.1).

2.6.2.3. Öltank

Der Öltank ist doppelwandig ausgeführt und findet seitlich neben der Heizzentrale seinen Platz. Das Volumen beträgt 50 m³, damit ist der gesamte Jahresbedarf an Öl vor Ort lagerbar.

2.6.2.4. Brennstoffbedarf HHS

Der Endenergiebedarf für den HHS-Grundlastkessel beträgt 1.823.009 kWh pro Jahr. Mit einem Wassergehalt von 45 % entspricht dies bei Nadelholz einem Volumen von 2.280 Srm⁸. Dadurch kann die Menge von 179.077 Litern Heizöl pro Jahr durch Holzhackschnitzel substituiert werden und damit 430 t CO₂ eingespart werden, das sind 81 % der Gesamtemissionen der Gemeinde (siehe Anhang Tabelle 43).

2.6.2.5. Brennstofflager HHS

Eine frei tragende Leichtbau-Lagerhalle soll den Jahresbedarf an Holzhackschnitzeln aufnehmen. In diese Halle, die direkt neben der Heizzentrale errichtet wird, soll auch das Kurzzeitlager für die Holzhackschnitzel untergebracht werden (siehe Abbildung 6). Die Cover-All Halle wird mit einer Länge von 21,95 m und einer Breite von 21,37 m geplant. Der Brennstoffbunker wird als Erdbunker konzipiert um möglichst einfach, mit einem Frontlader am Traktor, beladen werden zu können. Auf dem Bunkerboden befindet sich ein Schubboden, der die HHS Richtung Förderschnecke transportiert. Die Förderschnecke beschickt direkt den HHS-Kessel. Bei der geplanten installierten Leistung von 400 kW ergibt sich bei 24-stündigem Vollastbetrieb ein Bedarf an HHS von 12 Srm am Tag⁹. Der berechnete Bunker hat ein geplantes Volumen von 70 Srm, damit ist ein Dauerbetrieb im Winter von fünf bis sechs Tagen gewährleistet.

⁸ <http://www.biomasse-rlp.de/hib/> vom 06.02.2008

⁹ <http://www.biomasse-rlp.de/hib/> vom 08.02.2008

2.6.2.6. Heizzentrale Variante 2

Die Heizzentrale hat die Aufgabe, alle Komponenten der Wärmeerzeugung aufzunehmen, hierzu zählen der HHS-Grundlastkessel, die zwei Öl-Spitzenlastkessel, die Pumpen für das Nahwärmenetz, der Pufferspeicher und die elektronische Steuerung. Die Heizzentrale wird wie in Variante 1 in einer Leichtbauhalle mit Satteldach installiert und hat eine Größe von zehn Meter Länge und acht Meter Breite.

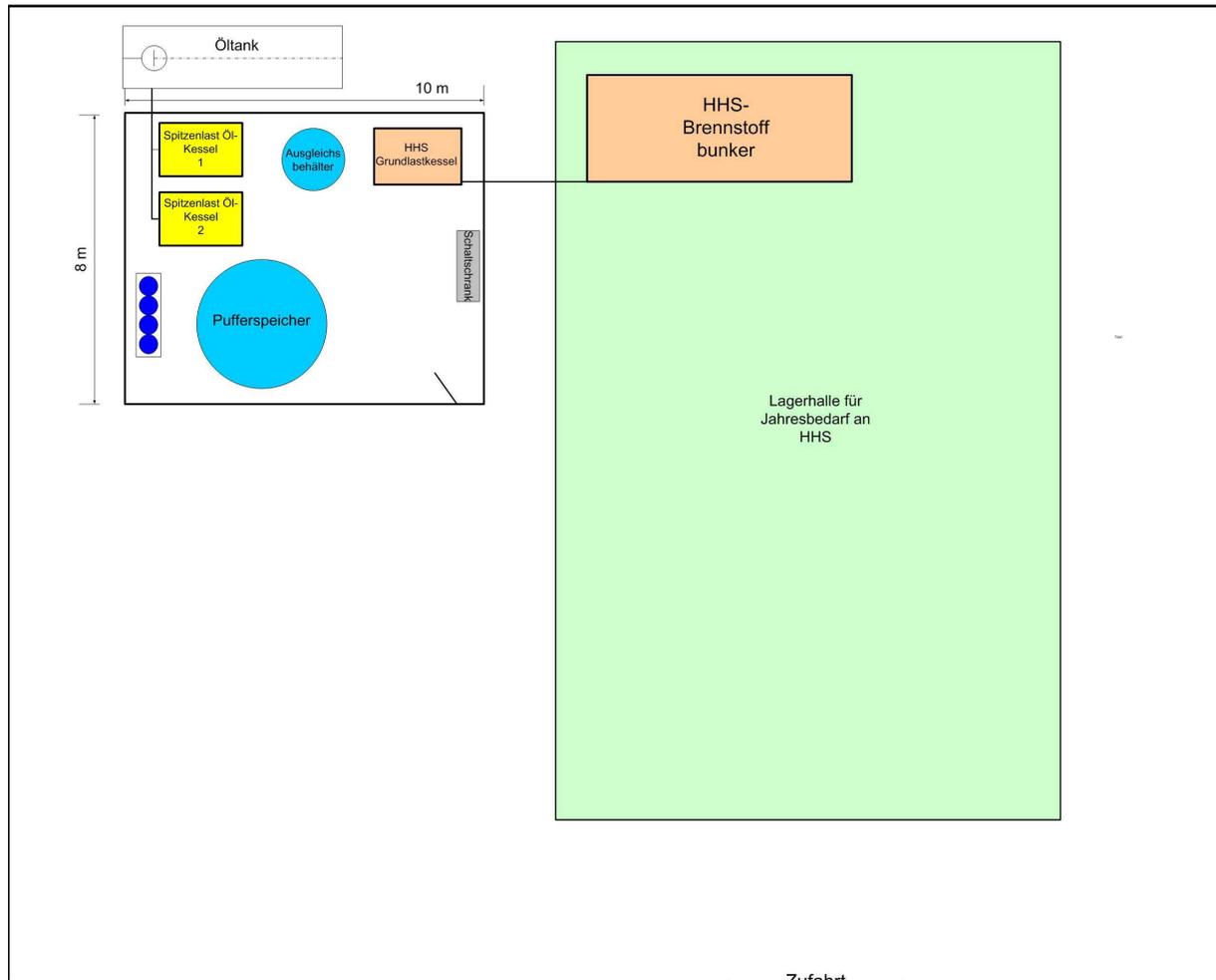


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Heizzentrale Variante 2

2.6.3. Variante 2.1 Großes Nahwärmenetz mit Biogasanlage in Kombination mit HHS-Grundlast- und Öl-Spitzenlastkessel

Bei der Auslegung der Biogasanlage stellte sich schon zu Anfang der Berechnungen heraus, dass ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage bei der Versorgung des kleinen Nahwärmenetzes nicht zu erwarten ist. Aus diesem Grund wird die Biogasanlage mit

dem großen Nahwärmenetz und einem HHS-Grundlast- und zwei Öl-Spitzenlastkessel kombiniert. Die Biogasanlage wird wärmegeführt betrieben, d.h. dass die Anlage nach dem Wärmeverbrauch der an das große Nahwärmenetz angeschlossenen Häuser ausgelegt ist.

2.6.3.1. Eingangssubstrate für die Biogasanlage

Die Versorgung der Biogasanlage mit Substraten wollen mehrere Landwirte im Umkreis von maximal fünf Kilometern zur Anlage übernehmen. Es steht ein Teil der Gülle von 470 Kühen und 140 Kälbern zur Verfügung. Da die Milchkühe nicht permanent im Stall stehen, sondern zum Teil von Mai bis August ca. sechs Stunden auf der Weide bzw. 50 Milchkühe und 100 Kälber den ganzen Sommer auf der Weide sind und damit die Gülle in diesem Zeitraum nicht gesammelt werden kann, ist der Substratanfall um einiges geringer als bei reiner Stallhaltung. Nach Abzug der Zeiten, in denen sich die Kühe nicht im Stall befinden stellte sich heraus, dass die Menge an Gülle äquivalent zu der von 300 Milchkühen und 40 Kälbern ist. Dies deckt sich mit den Angaben der Landwirte über die jährlich zu Verfügung stehende Gülle. In der weiteren Berechnung wird deshalb von 300 Milchkühen und 40 Kälbern ausgegangen. Daraus ergibt sich ein jährlicher Substratanfall aus Gülle von 8.472 t, woraus 163.360 m³ Biogas entstehen. Es können noch 61 ha Ackerfläche durch Landwirte der Region zum Anbau von Mais zu Verfügung gestellt werden. Bei einem Hektarertrag von 40 t ergibt sich eine Gesamtmenge an Maissilage von 2.440 t, woraus 461.640 m³ Biogas gewonnen werden. Die jährliche Biogausausbeute steigt damit auf einen Gesamtwert von 625.000 m³.

2.6.3.2. Auslegung der Biogasanlage

In der nachfolgenden Tabelle sind alle eingehenden Substrate (Gülle und Mais) und die daraus resultierenden Dimensionen der Biogasanlage aufgeführt.

Dimensionierung der Biogasanlage					
	Tierart			NawaRo	Gesamt
	Kühe [Stück]	Rinder [Stück]	Kälber [Stück]	Mais [ha]	
Anzahl [Stück] bei Mais [ha]	300	-	40	61	
Biogasausbeute [m ³]	156.750	-	6.610	461.640	
Biogasausbeute [m ³] gesamt GVE					163.360
Biogasausbeute gesamt [m ³ /a]					625.000
Mistanfall [(t/GVE)/Monat]	1,95	1,53	0,33		
Anzahl [GVE]	360	-	12		
Jährlicher Substratanfall [t/a]	8.424	-	48	2.440	
Jährlicher Substratanfall gesamt [t/a]					10.912
TS-Gehalt [%]	10	10	10	28	
oTS [% Ts]	78,5	78,5	78,5	90,0	
S ₀ [kg oTS/m ³]					113,24
Tsmittel					13,53%
oTsmittel					81,07%
Msub[t/a]					11.712
M _{flüssig} [t/a]					-
M _{ges} [t/a]					11.712
Inputstrom [t/Tag]					32
Fermentervolumen (netto)					1.059
Fermentervolumen (brutto)					1.165
Mindest-Verweildauer [Tag]					33
Maximal-Verweildauer [Tag]					36
Mittlere-Verweildauer [Tag]					35
Nachgärvolumen					1.059
Endlagervolumen					4.797
Faulraumbelastung Br					3,43

Tabelle 10: Eingangssubstrate und Dimensionierung der Biogasanlage

Mit den bereitgestellten mengenbezogenen TS-Gehalten der Substrate wird ein mittlerer Trockensubstanzgehalt von 13,5 % erreicht, d.h. es muss kein zusätzliches Wasser dem Prozess zugeführt werden. Der Trockensubstanzgehalt in einem Fermenter darf 15 % TS-Gehalt nicht übersteigen, da sonst der fehlerfreie Betrieb der Pumpen und Rührwerke nicht mehr gewährleistet werden kann.

Aus 11.712 t Gesamtsubstratmenge im Jahr resultiert ein täglicher Input von 32 t Substrat am Tag, daraus ergibt sich bei einer mittleren Verweildauer im Fermenter von 35 Tagen und einer Faulraumbelastung von 3,43 ein Brutto-Fermentervolumen von 1.165 m³. Es wurde ein Fermenter mit 1500 m³ für die Anlage ausgewählt. Das Nachgärvolumen beträgt 1.059 m³ pro Jahr, hierfür wurde ebenfalls ein Volumen von 1500 m³ gewählt. Das aus der Menge an Eingangssubstraten resultierende Endlagervolumen errechnet sich aus der Hälfte der Eingangssubstrate pro Jahr abzüglich des Nachgärvolumens. Damit ergibt sich für das Endlager eine rechnerische Größe von 4.797 m³. Für die praktische Umsetzung sind zwei Endlager mit jeweils 2.500 m³ Volumen vorgesehen (siehe Abbildung 8). Zur Vorpufferung der angelieferten Gülle

steht eine Vorgrube mit 200 m³ Volumen zur Verfügung. Der angelieferte Mais wird wie die Gülle auf der Waage gewogen und dann in dem Fahrsilo mit 3.000 m³ Volumen zwischengelagert, bis er zur Verwertung in der Anlage mit einem Frontlader zum Feststoffdosierer transportiert wird. Von dem Feststoffdosierer mit einem Volumen von 14,5 m³ wird die Ganzpflanzensilage aus Mais automatisch nach Bedarf in den Fermenter gefahren.

Da die Biogasanlage wärmegeführt geplant ist und an das große Nahwärmenetz angeschlossen wird, muss die benötigte Nutzenergie von 2.071.602 kWh/a zur Verfügung gestellt werden. Nach Berechnung des prozessbedingten Wärmebedarfs des Fermenters mit monatlichen Durchschnittstemperaturen der Region (siehe Anhang: Tabelle 32) und bauartbedingten Wärmeverlusten, wird ein Eigenwärmebedarf der Biogasanlage (siehe Anhang: Tabelle 33) von 31 % festgestellt. Die Wärmebereitstellung im Jahresverlauf wird in nachfolgender Abbildung aufgezeigt.

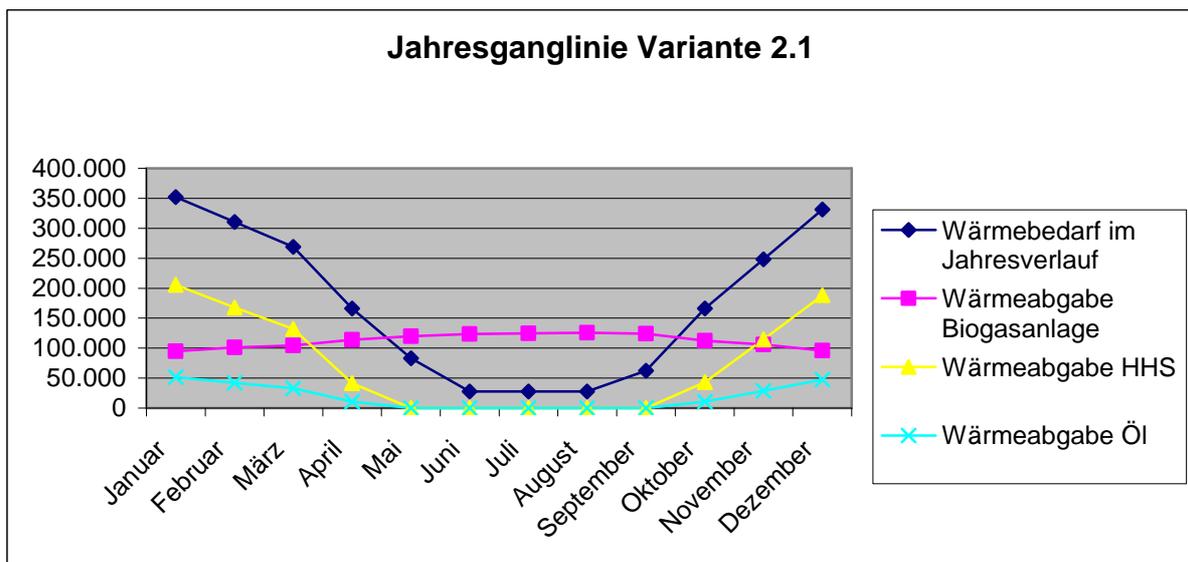


Abbildung 7: Jahresganglinie der Variante 2.1

Daraus wird ersichtlich, dass die Biogasanlage im Winter den meisten Eigenwärmebedarf zur Aufheizung des Fermenters hat und deshalb weniger Wärme zur Einspeisung in das Nahwärmenetz abgeben kann. Von Mai bis Oktober steht mehr Wärme zur Verfügung als zur Versorgung der Häuser erforderlich ist. Für die überschüssige Wärme in Höhe von 29 % (siehe Tabelle 11) gilt es für die Sommermonate noch eine geeignete Wärmesenke zu finden.

Wärmebedarf und -erzeugung für Variante 2.1								
Prozentueller Wärmebedarf	Monatlicher Wärmebedarf [kWh/Monat]	HHS [kWh/Monat]	Öl [kWh/Monat]	Verbrauch für Fermenter Biogas [kWh/Monat]	Wärmeabgabe nach Fermenter [kWh/Monat]	Benötigte Wärme nach Biogasanlage [kWh/Monat]	Wärmeüberschuss Biogasanlage [kWh/Monat]	Verkaufbare Wärme nach Biogasanlage [kWh/a]
17%	352.172	205.866	51.466	67.660	94.840	257.332		
15%	310.740	167.751	41.938	61.449	101.051	209.689		
13%	269.308	131.923	32.981	58.095	104.405	164.904		
8%	165.728	41.683	10.421	48.876	113.624	52.104		
4%	82.864			42.915	119.585	-36.721	36.721	
1%	27.759			39.248	123.252	-95.493	95.493	
1%	27.552			38.274	124.226	-96.674	96.674	
1%	27.552			37.223	125.277	-97.724	97.724	
3%	62.148			38.306	124.194	-62.046	62.046	
8%	165.728	42.823	10.706	50.301	112.199	53.529		
12%	248.592	114.327	28.582	56.817	105.683	142.909		
16%	331.456	188.472	47.118	66.634	95.866	235.590		
100%	2.071.602						29%	
		892.846	223.211	605.798	1.344.202	1.116.057	388.658	955.544

Tabelle 11: Wärmebedarf und -erzeugung für Variante 2.1

2.6.3.3. Auslegung BHKW

Nach der Bestimmung des Eigenwärmebedarfs wird die Größe des zu installierenden Blockheizkraftwerkes festgelegt. Ausgehend von einer Vollaststundenzahl von 7.500 Stunden im Jahr und den zur Verfügung stehenden Substraten für den Fermenter, ist eine installierte Leistung von 260 kW_{th} und 190 kW_{el} realisierbar. Mit diesem BHKW ist es möglich, eine jährliche Nutzenergie in Höhe von 955.544 kWh_{th} an das Nahwärmenetz abzugeben und gleichzeitig 1.099.600 kWh_{el} in das öffentliche Stromnetz einzuspeisen.

Der Wärmebedarf, der von dem BHKW nicht abgedeckt werden kann, wird durch einen 400 kW HHS-Grundlastkessel und zwei Öl-Spitzenlastkessel mit jeweils 295 kW bereitgestellt. Um die Versorgungssicherheit ganzjährig zu gewährleisten, zum Beispiel bei Wartungsarbeiten am BHKW oder sonstigen Problemen im Betrieb der Biogasanlage, wurden die Öl-Spitzenlastkessel dementsprechend groß gewählt.

2.6.3.4. Pufferspeicher

Es wird ein Pufferspeicher mit 37,7 m³ Volumen eingesetzt.

2.6.3.5. Brennstoffbedarf Heizöl

Der Brennstoffbedarf für die Abdeckung der Spitzenlast mit dem Ölkessel beträgt bei dieser Variante 223.211 kWh pro Jahr, umgerechnet (siehe 2.6.1.2) entspricht das

einem Volumen von 21.926 Litern Heizöl leicht. Dies ist im Vergleich zu den anderen Varianten der geringste Heizölverbrauch im Jahr.

2.6.3.6. Öltank

Der Öltank ist doppelwandig ausgeführt und wird seitlich hinter der Heizzentrale aufgestellt werden. Mit einem Fassungsvermögen von 20.000 Litern kann der Öltank den gesamten Jahresbedarf an Heizöl aufnehmen.

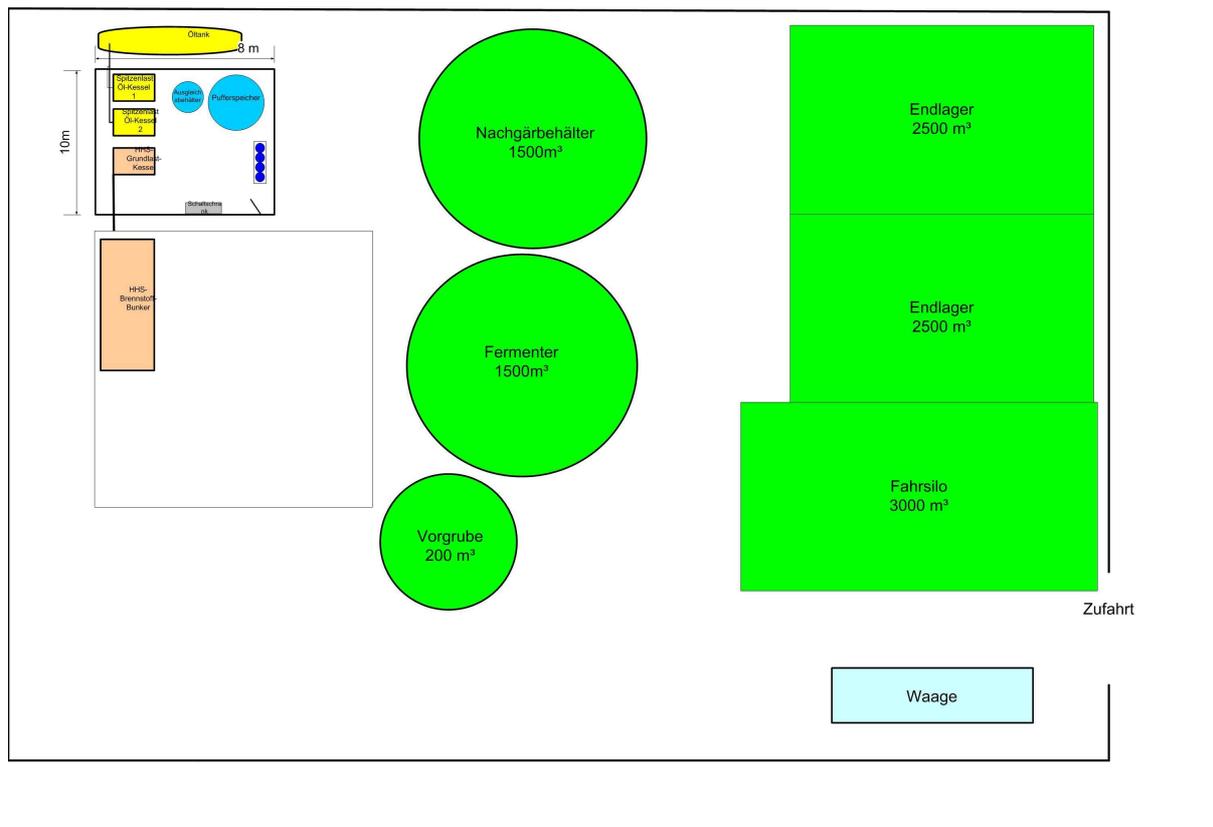


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Biogasanlage

2.6.3.7. Brennstoffbedarf HHS

Zur Abdeckung der fehlenden Grundlast, die nicht von der Biogasanlage erbracht werden kann, hat der HHS-Kessel einen Brennstoffbedarf von 892.846 kWh pro Jahr. Bezogen auf Nadelholz mit einem Wassergehalt von 45 % ergibt das ein Volumen von 1.120 Srm¹⁰ Holzhackschnitzel. Dies führt zu einer Einsparung von 89.280 Litern Heizöl pro Jahr und damit zu einer CO₂-Minderung für Heizöl von 251 t, durch die

¹⁰ <http://www.biomasse-rlp.de/hib/> vom 10.02.2008

Substitution von Heizöl durch Holzhackschnitzel. Die 1.099,6 MWh durch die Stromproduktion der Biogasanlage würden durch konventionelle Erzeugung im deutschen Kraftwerksmix mit 0,628 kg pro erzeugte kWh Strom 690 t CO₂ emittieren. Daraus ergibt sich eine Klima schützende CO₂-Einsparung, wie im Anhang in Tabelle 43 ersichtlich, von insgesamt 941 t. Damit spart die Biogasanlage 178 % der CO₂-Emissionen, der Gemeinde die aus der Wärmeerzeugung entstehen, ein.

2.6.3.8. Brennstofflager HHS

Das Brennstofflager wird in einer freitragenden Leichtbau-Lagerhalle, mit der Länge von 21,95 m und der Breite von 21,37 m untergebracht (siehe Abbildung 4). Diese Halle fasst den Jahresbedarf an Holzhackschnitzel und zudem noch den Brennstoffbunker zur Versorgung des HHS-Kessels, ebenfalls muss noch ausreichend Platz zum Rangieren des Traktors, der den Brennstoffbunker füllt, vorhanden sein. Der Brennstoffbunker soll als Erdbunker ausgeführt werden, um eine einfache Beladung durch den Traktor mit Frontlader gewährleisten zu können. Am Bunkerboden befindet sich ein Schubboden, der die HHS zur Förderschnecke transportiert. Die Förderschnecke beschickt dann automatisch je nach Bedarf direkt den HHS-Kessel. Bei der eingeplanten installierten Leistung von 400 kW benötigt der HHS-Kessel bei 24-stündigem Vollastbetrieb 12 Srm¹¹ pro Tag. Der geplante Brennstoffbunker hat eine Größe von 60,75 m³, damit kann der HHS-Kessel fünf Tage autark betrieben werden.

2.6.3.9. Heizzentrale Variante 2.1

Die Heizzentrale wird in einer Leichtbauhalle mit Satteldach entstehen. Die Heizzentrale nimmt die beiden Heizkessel, das BHKW, den Pufferspeicher, die Pumpen für das Nahwärmenetz sowie auch die elektronische Steuerung der Anlage auf. Die Zufahrt und auch die freien Flächen werden geschottert.

¹¹ <http://www.biomasse-rlp.de/hib/> vom 14.02.2008

2.6.4. Variante 2.2 Großes Nahwärmenetz mit HHS-Grundlastkessel, Öl-Spitzenlastkessel und mit solarthermischer Unterstützung

Der Grundgedanke der Betrachtung der folgenden Variante ist die generelle Einsparung von Brennstoffen und die damit verbundene Reduzierung von CO₂, deshalb wird diese innovative Variante mit solarthermischer Nahwärmeunterstützung geprüft.

Der Idealfall ist die komplette Abschaltung der Heizkessel in den drei Sommermonaten und die Erbringung der gesamten benötigten Heizlast durch die Solarthermie-Anlage. Wie bei den vorangegangenen Betrachtungen für das große Nahwärmenetz wurde die Auslegung für die Heizungskessel analog durchgeführt (siehe 2.6.2). In nachfolgender Tabelle sind die Ergebnisse der Ermittlung der Kesselleistung detaillierter dargestellt.

Großes Netz (Variante 2.2)	
Ist - Endenergieverbrauch [kWh/a]	1.992.883
Ist Nutzenergieverbrauch [kWh/a]	1.793.594
Nutzenergie+HÜ+Netzverluste [kWh/a]	2.071.602
Vollbenutzungsstunden Heizungskessel [h/a]	1.900
Nennwärmeleistung Netzkessel [kW]	1.090
Gleichzeitigkeitsfaktor	0,85
Installierte Leistung Heizzentrale [kW]	927
Kesselaufteilung Grundlast-HHS 40% [kW]	371
Kesselaufteilung Spitzenlast-Öl 30% [kW]	278
Kesselaufteilung Spitzenlast-Öl 30% [kW]	278

Tabelle 12: Ermittlung der Kesselleistung der Variante 2.2

Die zu installierende Kesselleistung teilt sich in einen 400 kW HHS-Grundlastkessel und zwei 295 kW Öl-Spitzenlastkessel auf.

2.6.4.1. Auslegung der Solarthermie-Anlage

Die Größe und Auslegung der Solarthermie-Anlage ist abhängig von der Sonneneinstrahlung und des Neigungswinkels der Solarkollektoren. Wie aus Abbildung 9 ersichtlich unterscheiden sich die nutzbaren Einstrahlungen der Solarthermie-Kollektoren durch verschiedene Aufstellungswinkel. Gerade in den Monaten April bis September sind die Unterschiede von 30° zur 60° Aufständigung erheblich. Bei 30° Neigungswinkel sind die Erträge in den Frühlings- und Sommermonaten deutlich höher als bei 60° Neigungswinkel. Die minimal höheren Erträge bei 60° Neigung im Januar und Februar bzw. im November und Dezember sind bei der hier geprüften Variante vernachlässigbar klein, da die Einstrahlungsintensität in diesen Monaten jahreszeitenbedingt gering ausfällt. Es kann wesentlich mehr Wärme in den Monaten April bis September bei 30° Aufständigung erzielt werden. Deshalb wurde die weitere Berechnung auf Grundlage der Werte mit der 30° Aufständigung durchgeführt.

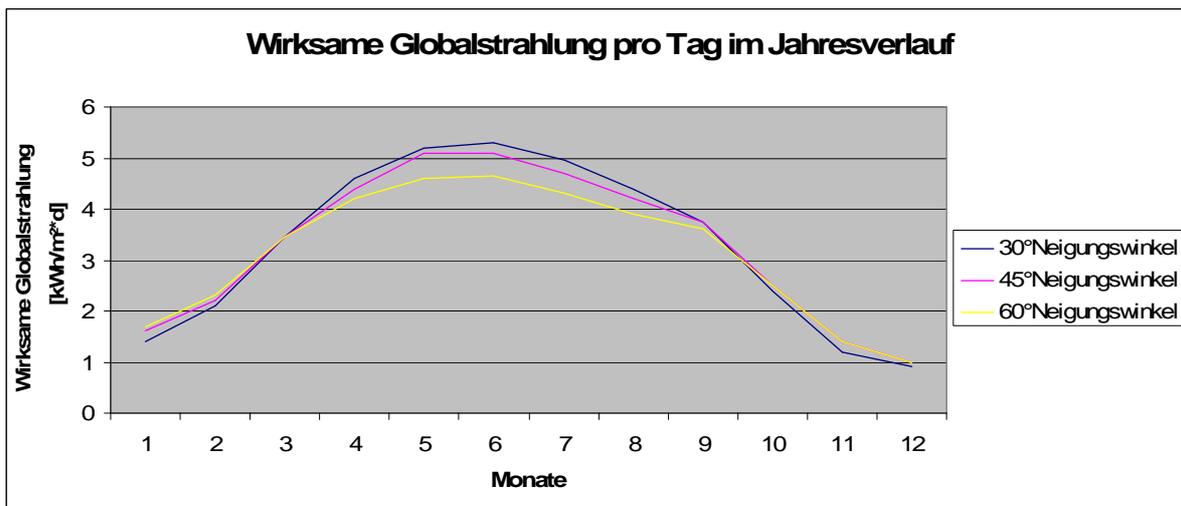


Abbildung 9: Wirksame Globalstrahlung pro Tag im Jahresverlauf¹²

Die Solarthermie-Anlage wurde so dimensioniert, dass im Sommer keine Wärme produziert wird, die nicht verbraucht werden kann. Ausgehend von dem Wärmebedarf im Jahresverlauf für Einfamilienhäuser¹³ (siehe Abbildung 10) im Nahwärmeverbund

¹² Quelle: Versorgungstechnik Formelsammlung, Westermann XXXX

¹³ Quelle: DIN 2067

und der wirksamen Globalstrahlung der Sonne ergibt sich eine Kollektorfläche von 456 m².

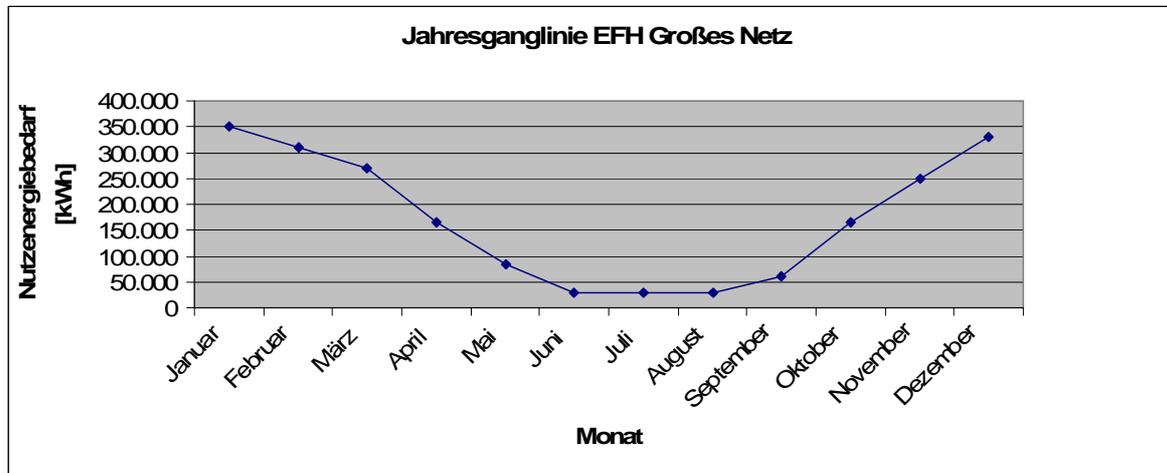


Abbildung 10: Jahresganglinie Großes Nahwärmenetz

Durch diese Dimensionierung der Solarkollektoren wird der Wärmebedarf in den Monaten Juni bis August fast komplett durch die Sonne abgedeckt. Die restliche geringfügig fehlende Nutzenergie wird durch den Öl-Spitzenlastkessel erzeugt (siehe Tabelle 13).

Variante 2.2			
	HHS [kWh/Monat]	Solarthermie [kWh/Monat]	Öl [kWh/Monat]
Jan	273.495	10.303	68.374
Feb	237.441	13.939	59.360
Mrz	198.719	20.909	49.680
Apr	140.274	25.454	
Mai		27.878	54.986
Jun		28.181	
Jul		26.060	1.492
Aug		23.636	3.916
Sep		21.818	40.330
Okt	150.577	15.151	
Nov	192.086	8.485	48.021
Dez	260.317	6.061	65.079
	1.452.909	227.876	391.238

Tabelle 13: Aufteilung der Wärmeerzeugung bei Variante 2.2

Mit dieser Auslegung wird eine solare Deckung von 11 % für die gesamte benötigte Nutzenergie erreicht. In nachfolgender Abbildung sind die jeweiligen Wärmeerzeugungen der einzelnen Kessel bzw. Anlagen grafisch dargestellt.

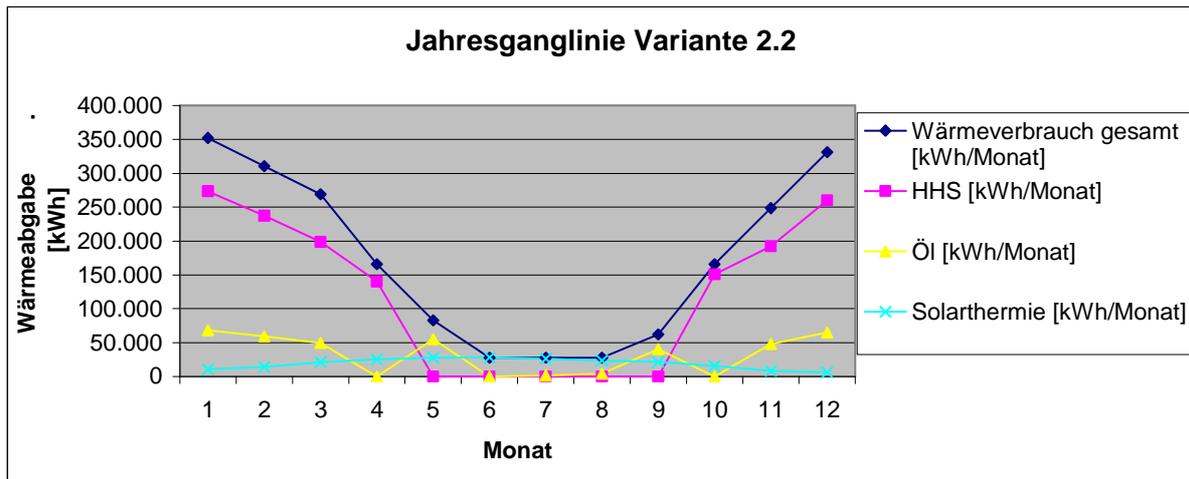


Abbildung 11: Jahresganglinie für Variante 2.2

Hierbei wird deutlich, dass durch die Solarthermie der Wärmebedarf im Sommer nahezu abgedeckt werden kann.

2.6.4.2. Pufferspeicher

Der Pufferspeicher dieser Variante wird mit 100 Liter pro Quadratmeter Kollektorfläche ausgelegt¹⁴. Bei 456 m² Kollektorfläche ergibt sich eine rechnerische Pufferspeichergröße von 45.6 m³. Die zwei gewählten Pufferspeicher haben eine Höhe von 9,5 m und einen Durchmesser von 2,9 m, damit ergibt sich ein Pufferspeichervolumen von 50,2 m³. Der Pufferspeicher ist mit 200 mm Polyurethanschaum isoliert und mit verzinktem Blech verkleidet.

2.6.4.3. Brennstoffbedarf Heizöl

Um die Spitzenlast abzudecken wird ein Endenergiebedarf von 391.238 kWh pro Jahr benötigt. Dies ist äquivalent einem Jahresverbrauch von 38.432 Liter Heizöl EL.

2.6.4.4. Öltank

Der doppelwandig ausgeführte Öltank wird seitlich neben der Heizzentrale platziert und hat ein Fassungsvermögen von 20 m³.

¹⁴ Expertenauskunft von Dipl. Ing. Michael Guigas Fa. EGS-Plan Telefonat vom 07.07.2008

2.6.4.5. Brennstoffbedarf HHS

Der HHS-Grundlastkessel benötigt 1.452.909 kWh pro Jahr um die Grundlast abzudecken. Bei einem Wassergehalt von 45 % entspricht dies bei Nadelholz einem Volumen von 1.820 Srm. Damit kann die Menge von 145.290 Liter Heizöl El pro Jahr und dadurch 408 t CO₂, das sind 84 % der Gesamtemissionen (siehe Anhang Tabelle 43) eingespart werden.

2.6.4.6. Brennstofflager HHS

Der Jahresbedarf an Holzhackschnitzeln wird in einer frei tragenden Leichtbauhalle mit einer Länge von 21,95 m und einer Breite von 21,37 m untergebracht. Das Kurzzeitlager oder Brennstoffbunker soll ebenfalls Platz in der Halle finden. Das als Erd-bunker ausgeführte Kurzzeitlager hat ein geplantes Volumen von 72 Srm und ist damit bei einem 24-stündigem Vollastbetrieb und einer installierten Leistung von 400 kW ausreichend für den autarken Betrieb von sechs Tagen.

2.6.4.7. Heizzentrale Variante 2.2

Die Heizzentrale nimmt alle Komponenten der Wärmeerzeugung auf. In dieser Variante wird die Leichtbauhalle mit der Größe von zehn Metern Länge und acht Metern Breite ausgeführt. Die Schematische Darstellung der Heizzentrale mit angeschlossenen Solarthermie-Kollektoren, die blau gezeichnet sind, ist in Abbildung 12 dargestellt. Die Größe des benötigten Bauplatzes beläuft sich auf 3.400 m².

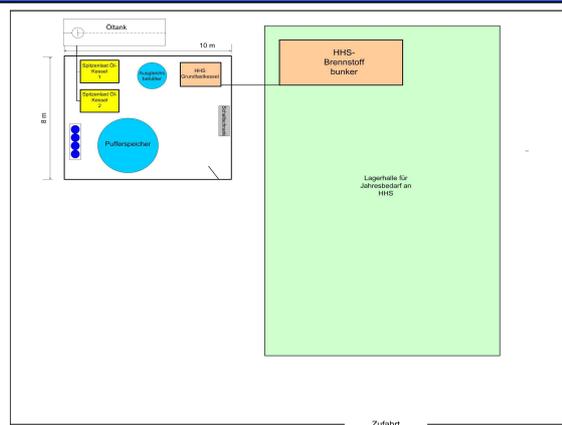
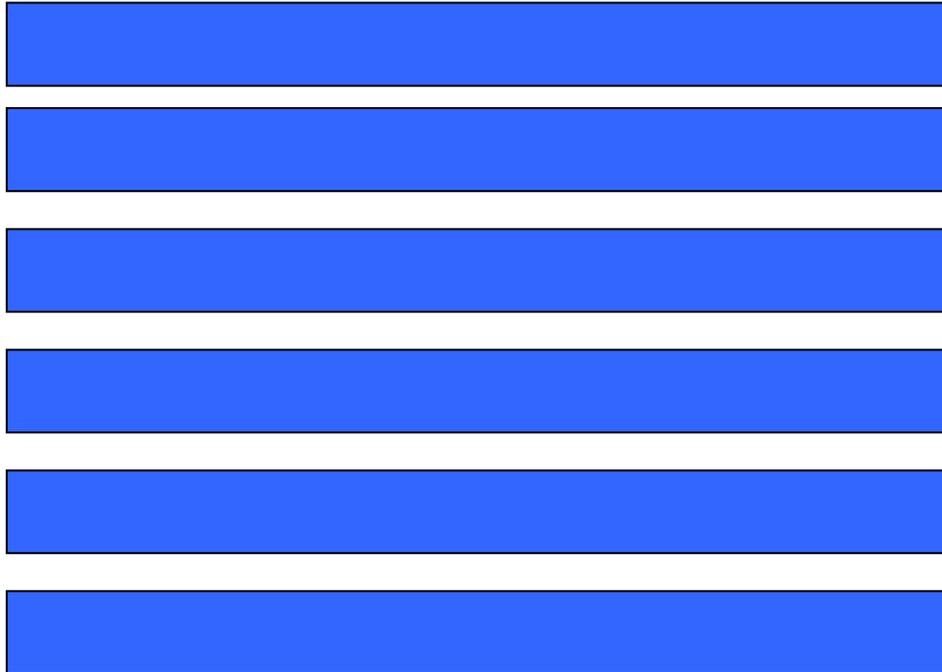


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Heizzentrale mit Solarkollektoren

2.7. Förderungen

Nachfolgend werden die verschiedenen Fördermaßnahmen betrachtet, die in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der untersuchten Varianten eingeflossen sind.

2.7.1. Förderung für HHS-Kessel

Die Förderungen im Marktanreizprogramm 2008 des Bundesumweltministeriums be-
laufen sich bei Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse über 100 kW für die thermi-
sche Nutzung auf 20 € pro installiertem kW. Zusätzlich gibt es eine Erhöhung um
zehn Euro pro kW, wenn das Pufferspeichervolumen mindestens 30 Liter je installier-
tem kW des HHS-Kessels beträgt.

2.7.2. Tilgungszuschuss Nahwärmenetz und Hausübergabestationen

Das Marktanreizprogramm 2008 des BMU sieht einen Tilgungszuschuss für Nahwärmenetze, die Wärme aus erneuerbaren Energien mit einem Mindestwärmeabsatz von 500 kWh pro Jahr und Trassenmeter im Mittel über das gesamte Netz übertragen, vor. Die Förderung beträgt 60 € je Trassenmeter bei Neuerschließung des Nahwärmenetzes.

Bei Hausübergabestationen ist ein Tilgungszuschuss von 1.800 € vorgesehen, falls ein verbindlicher Anschlussvertrag und kein Anschlusszwang besteht.

2.7.3. Tilgungszuschuss Wärmespeicher

Es gibt ein Förderprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) für Wärmespeicher ab einem Speichervolumen von 20 m³. Es handelt sich dabei um einen Tilgungszuschuss für Wärmespeicher mit Wärme aus erneuerbaren Energien der über das Marktanreizprogramm 2008 gefördert wird. Dabei ist eine Förderung von 250 € pro Kubikmeter Speichervolumen zu erhalten.

2.7.4. Förderung für Solarthermie

Die solarthermische Wärmeerzeugung wird durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle wie folgt bezuschusst. Bei Solarthermie-Anlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung bis zu einer Größe von einschließlich 40 m² ist ein Tilgungszuschuss von 105 €/m² vorgesehen. Bei größeren solarthermischen Anlagen reduziert sich der Tilgungszuschuss ab 40 m² auf 45 € pro Quadratmeter Kollektorfläche.

Es ist noch zu prüfen ob die Förderung im Marktanreizprogramm 2008 vom BMU für diese Anlage zutrifft. Im MAP 2008 werden bis zu 30 % der förderfähigen Nettoinvestitionskosten der Solarthermie-Anlage als Tilgungszuschuss übernommen.

2.7.5. Vergütung für Stromeinspeisung in das öffentliche Stromnetz

Die Vergütung für den eingespeisten Strom in das öffentliche Stromnetz, durch den im BHKW erzeugten Strom für die nächsten 20 Jahre nach Inbetriebnahme, ist in Tabelle 14 dargestellt.

Einspeisevergütung EEG Novelle							
Jahr	Grundvergütung EEG Novelle			spezifische Vergütung der Anlage	Boni		Gesamtvergütung
	< 150 kW	< 500 kW	> 500 kW		NaWaRo	KWK	
2008	10,83	9,32	8,38	10,51	6,00	2,00	18,51 ct/kWh
2009	11,67	9,18	8,25	11,15	8,00	3,00	22,15 ct/kWh

Tabelle 14: Einspeisevergütung nach EEG

Bei Anlagen mit einer installierten Leistung die geringer als 150 kW_{el} sind, beträgt die Grundvergütung 10,83 Cent für die eingespeiste Kilowattstunde, wenn die Anlage in 2008 in Betrieb genommen wird. Bei Anlagen mit einer höheren installierten Leistung wird zunächst mit dem Vergütungssatz bis 150 kW_{el} gerechnet und bis 500 kW_{el} mit 9,32 Cent/kWh. Bei Blockheizkraftwerken mit Leistungen größer als 500 kW_{el} beträgt die Grundvergütung 8,38 ct/kWh.

Bei dem geplanten BHKW mit einer installierten Leistung von 190 kW_{el} beläuft sich die Grundvergütung auf 10,51 ct/kWh im Installationsjahr, die Grundvergütung bleibt für die nächsten 20 Jahre konstant.

Hinzu kommt noch der NaWaRo-Bonus mit 6,00 ct/kWh für Anlagen, die Energie aus nachwachsenden Rohstoffen gewinnen.

Bei der durch die Biogasanlage an das Nahwärmenetz abgegebenen Wärme entsteht zusätzlich Strom. Dieser produzierte Strom, geht als KWK-Bonus mit 2,00 ct/kWh zusätzlich in die Vergütung mit ein. Daraus ergibt sich eine Gesamtvergütung für die geplante Anlage von 18,51 ct/kWh, bzw. 16,51 ct/kWh für Strom der überschüssigen Wärme im Sommer.

2.7.6. Förderung für vermiedene CO₂ Emissionen

Das Ziel der Bundesregierung ist die Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 % unter den Stand von 1990. Dieses Ziel soll bis 2020 erreicht werden. Voraussetzung dafür ist, dass die Europäische Union im Rahmen eines internationalen Klimaschutzabkommens ihre Emissionen um 30 % im gleichen Zeitraum reduziert. Um dieses Ziel erreichen zu können, wurde am 5. Dezember 2007 das „Integrierte Energie- und Klimaschutzprogramm der Bundesregierung“ (IEKP) beschlossen, dieses setzt maßgeblich auf effizienten Klimaschutz und ist ebenfalls politische Grundlage der Klimaschutzinitiative¹⁵. In dieser „Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Klimaschutzinitiative“ sind in Kapitel 2.3 „Modellprojekte zum Klimaschutz mit dem Leitbild der CO₂-Neutralität“ die Fördermöglichkeiten beschrieben. Hieraus geht hervor, dass die maßgebliche Bemessungsgrundlage für die Förderung von Einzelvorhaben die vermiedenen CO₂-Emissionen sind. „Die Regelförderung durch nicht rückzahlbare Zuschüsse pro vermiedene Tonne CO₂-Äquivalent beträgt 40 € pro Jahr über die Nutzungsdauer (bis zu 30 Jahre)“. Allerdings sollen 50 % der eingesparten CO₂-Emissionen mit Energieeinsparmaßnahmen erreicht werden. Es bleibt zu prüfen ob die 81 % CO₂-Einsparungen der Varianten 1 und zwei, die 84 % der Variante 2.2, bzw. die 215 % CO₂-Einsparungen der Biogasanlage damit auch förderfähig sind. Bei Leuchtturmprojekten mit Multiplikatorwirkung können 60 % der Mehrkosten die für Klimaschutz ausgegeben werden, als Zuschuss durch die Klimaschutzinitiative erhalten werden.

Auf Grundlage der hier vorliegenden Machbarkeitsstudie kann ein zweistufiges Antragsverfahren eingeleitet und die beschriebenen Förderungen beantragt werden. In Tabelle 19 sind die voraussichtlich erzielbaren Förderungen der untersuchten Varianten einsehbar.

¹⁵http://www.bmu.de/klimaschutzinitiative/nationale_klimaschutzinitiative/foerderprogramm_kommunen_soziale_kulturelle_einrichtungen/doc/41781.php vom 18.09.2008

2.8. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Varianten

In der folgenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung werden die Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten der einzelnen Varianten mit der Referenzvariante verglichen. Da nahezu alle Häuser der Gemeinde mit einer Ölheizung beheizt werden, ist als Referenzvariante die Ölheizung im Bestand gewählt worden. Die sich daraus ergebenden Wärmepreise werden in 2.8.5 dargestellt. Der ermittelte Wärmepreis zeigt auf, zu welchem Preis die produzierte Wärme verkauft werden muss, um die Kosten zu decken.

2.8.1. Investitionskostenermittlung

Um die untersuchten Varianten miteinander vergleichen zu können, müssen die Investitionen der Varianten ermittelt und dargestellt werden. Deshalb werden nachfolgend als erstes die Kosten für eine Referenzvariante ermittelt.

2.8.1.1. Referenzvariante Sanierung Ölheizung

Bei der Befragung der Hauseigentümer über den Brennstoffbedarf wurde auch das Alter (siehe) und die Brennstoffart der Heizungen im Bestand ermittelt.

Für Gebäudeeigentümer mit einer älteren Heizung, bei denen in den nächsten Jahren keine Heizungssanierung ansteht, wird eine zweite Referenzvariante (Öl-Heizung im Bestand) herangezogen. In nachfolgender Tabelle sind die Investitionskosten für einen Austausch der einzelnen Komponenten einer Ölzentralheizung dargestellt.

Investitionskosten Ölheizung Einfamilienhaus 20 kW					
	Menge	Preis pro Einheit	Preis (netto)	Ust. 19%	Preis (brutto)
Demontage	1	645,00 €	645,00 €	122,55 €	767,55 €
Kessel inkl. Warmwasserbereitung	1	6.200,00 €	6.200,00 €	1.178,00 €	7.378,00 €
Öltank	1	1.200,00 €	1.200,00 €	228,00 €	1.428,00 €
Montagekosten	1	1.400,00 €	1.400,00 €	266,00 €	1.666,00 €
Schornsteinsanierung	1	1.500,00 €	1.500,00 €	285,00 €	1.785,00 €
Boilerladepumpe	1	150,00 €	150,00 €	28,50 €	178,50 €
Zirkulationspumpe	1	95,00 €	95,00 €	18,05 €	113,05 €
Heizkreispumpe	1	150,00 €	150,00 €	28,50 €	178,50 €
Ausdehnungsgefäß	1	196,00 €	196,00 €	37,24 €	233,24 €
Sicherheitsgruppe	1	114,00 €	114,00 €	21,66 €	135,66 €
Verrohrung Heizzentrale	1	300,00 €	300,00 €	57,00 €	357,00 €
Brauchwassermischer	1	56,00 €	56,00 €	10,64 €	66,64 €
Gesamtkosten Heizungsanlage			12.006,00 €	2.147,95 €	13.452,95 €

Tabelle 15: Investitionskostenermittlung Ölheizung für EFH¹⁶

Wie aus der Tabelle ersichtlich, beinhaltet die Sanierung der Ölheizung die Demontage aller Heizungskomponenten inklusive Tank und die Montage der neuen Komponenten. Daraus entsteht eine Brutto-Investition von 13.452,95 € für die Referenzvariante.

2.8.1.2. Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskostenermittlung der Referenzvariante Sanierung Ölheizung

In der nachfolgenden Tabelle ist die Zusammensetzung der jährlichen Kosten zur Entstehung des Wärmeerzeugungspreises explizit dargestellt. Diese jährlichen Kosten teilen sich auf in die Bereiche Kapital-, Verbrauchs-, Betriebs- und sonstige Kosten.

Mit der Annuitätenmethode werden die anfallenden Investitionskosten mit der Verzinsung auf einen Betrachtungszeitraum von 20¹⁷ Jahre aufgeteilt, dadurch können sie als jährliche Kosten berücksichtigt werden. Die verwendete Berechnungsformel dazu lautet:

$$a = i * \frac{(1+i)^t}{((1+i)^t - 1)}^{18}$$

i = realer Zinssatz

t = Betrachtungsdauer

Die verwendeten Zinssätze sind in der jeweiligen Tabelle mit realer Zinssatz aufgeführt.

¹⁶ Angebot der Fa. Birkenmaier

¹⁷ Siehe Abschreibung bei Heizungsanlagen in DIN 2067

¹⁸ Vgl. Jörg Völtje, Betriebswirtschaftliche Formelsammlung, 2. Auflage 2007, Rudolf Haufe Verlag, S. 281f.

Im Falle der Referenzvariante wird davon ausgegangen, dass der aufzunehmende Kredit über das KfW-Programm „Wohnraum modernisieren“¹⁹ beschafft und mit 4,68 % verzinst wird.

Wärmegestehungskosten Sanierung Ölzentralheizung EFH				
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr				
Ausgangsdaten	Zeichen	Einheit		
Realer Zinssatz	i_t		4,68%	
Betrachtungsdauer	t		20	
Annuitätenfaktor	$i * (1+i)^t / ((1+i)^t - 1)$		0,078	
Investition			12.006,00 €	
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr				937,43 €
Verbrauchskosten Heizung				
Endenergiebedarf		kWh/a	30.195	
Nutzenergiebedarf		kWh/a	27.176	
Brennstoffbedarf fossil		kWh/a	30.195	
Spez. Brennstoffkosten fossil		€/kWh	0,06475	
Kosten Öl		€/a		1.955,14 €
Verbrauchskosten Strom Ölkessel		€/MWh	0,75	22,65 €
Summe Verbrauchskosten		€/a		1.977,79 €
Betriebskosten				
Instandhaltung, Wartung, Schornsteinreinigung und Kundendienst	bezogen auf die Brennstoffkosten		9%	175,96 €
Schornsteinfegerkosten		€/a		45,00 €
Summe Betriebskosten		€/a		220,96 €
Sonstige Kosten				
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	84,04 €
Verwaltung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,50%	60,03 €
Summe Sonstige Kosten		€/a		144,07 €
Gesamtkosten				
Jahreskosten gesamt		€/a		3.280,25 €
Umsatzsteuer			19,00%	623,25 €
Jahreskosten inkl Ust				3.903,49 €
Wärmegestehungskosten netto				0,1207 €
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1436 €

Tabelle 16: Aufstellung der Investitions-, Betriebs- und Verbrauchskosten

¹⁹Aus <https://www.kfw-formularsammlung.de/KonditionenanzeigerINet/KonditionenAnzeiger?Bankengruppe=1392435951&Programmgruppe=1881462390&ProgrammNameNr=Wohnraum%20Modernisieren> vom 11.02.2008 um 09.35 Uhr

Aus dem ermittelten Endenergiebedarf der einzelnen Häuser wurde ein durchschnittlicher Brennstoffbedarf von 30.195 kWh/a errechnet und für die Berechnung der Referenzvariante herangezogen. Für die spezifischen fossilen Brennstoffkosten wird mit einem Literpreis für HEL von 64,75 ct²⁰ (netto) kalkuliert. Daraus ergibt sich der Zahlenwert aus der vorangegangenen Tabelle mit 0,06475 €/kWh und damit durchschnittliche jährliche Brennstoffkosten von 1.955,14 €. Hinzu kommt noch der Stromverbrauch des Heizungskessels, mit 0,75 € pro erzeugter MWh, in Höhe von 22,65 €. Damit ergeben sich Verbrauchskosten der Ölheizung von 1.977,79 €.

Die Betriebskosten von 220,96 € setzen sich aus der Instandhaltung und Wartung der Heizungsanlage, bezogen auf 9 % der Brennstoffkosten und den Schornsteinfe-gerkosten zusammen.

Die sonstigen Kosten mit 144,07 € beinhalten die Versicherung mit 0,7 % und die Verwaltung mit 0,5 % bezogen auf die Gesamtinvestition.

Daraus ergeben sich die Jahreskosten in Höhe von 3.280,25 € plus 623,25 € Umsatzsteuer zu 3.903,49 €.

Die Wärmeerzeugungskosten ergeben sich aus den Jahreskosten geteilt durch die erzeugte Wärme (Nutzenergiebedarf) zu 14,36 ct/kWh.

2.8.2. Nahwärmenetzvarianten

Bei den untersuchten Nahwärmenetzvarianten ist die Vorgehensweise analog zu der Referenzvariante. Es sind noch Tilgungszuschüsse für die Neuinstallation der Anlagen, wie in 2.7 beschrieben, zu erwarten.

²⁰ <http://www.oel-preis.de/> vom 07.11.2007

2.8.2.1. Förderungen durch Tilgungszuschüsse, CO₂-Vermeidung und Erträge aus Stromspeisung

Die Tilgungszuschüsse aus dem Marktanreizprogramm 2008 sind von den Gesamtinvestitionskosten abgezogen worden und die sich daraus ergebenden Investitionskosten sind in Tabelle 20 aufgeführt.

In der „Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten in sozialen, kulturellen und öffentlichen Einrichtungen im Rahmen der Klimaschutzinitiative“ wie in 2.7.6 beschrieben, können nicht rückzahlbare Zuschüsse in Höhe von 40 € pro vermiedene Tonne CO₂ pro Jahr über eine Nutzungsdauer von 30 Jahren beantragt werden. Diese Regelförderung ist mit den Fördergeldern aus dem MAP 2008 kombinierbar.

Eine weitere Möglichkeit der Förderung besteht bei Vorhaben mit besonderer Multiplikatorwirkung, hier kann ein höherer Fördersatz gewährt werden. Die maximale Förderhöhe beträgt 60 % der nachgewiesenen Mehrkosten für den Klimaschutz. Mit der hier vorliegenden Machbarkeitsstudie kann ein Förderantrag an den Projektträger Jülich gestellt werden. Da in diesem Fall die Anzahl und Alter der Heizungen bekannt sind, kann die Berechnung mit den realen Werten durchgeführt werden. In fünf Jahren müssen altersbedingt 68 % der Heizungsanlagen saniert werden. Aufbauend auf den Kosten für eine Heizungssanierung (siehe Tabelle 15) multipliziert mit der Anzahl an sanierungsbedürftigen Anlagen und abzüglich der Kosten für den Nahwärmeverbund, ergeben sich die Mehrkosten für den Klimaschutz. Die Höhe der Förderung mit 60 % der Mehrkosten für Klimaschutzmaßnahmen sind aus Tabelle 17 ersichtlich.

Ermittlung der Mehrkosten für Klimaschutz				
	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
Kosten für Heizungssanierung	432.216 €	792.396 €	792.396 €	792.396 €
68% der Häuser sind in 5 Jahren sanierungsbedürftig	293.907 €	538.829 €	538.829 €	538.829 €
Kosten für Nahwärmeverbund ohne Förderung	909.740 €	1.519.625 €	2.606.021 €	1.934.348 €
Mehrkosten für Klimaschutz	615.833 €	980.796 €	2.067.192 €	1.395.518 €
60% Zuschuss der Mehrkosten für Klimaschutz	369.500 €	588.478 €	1.240.315 €	837.311 €

Tabelle 17: Ermittlung der Mehrkosten für Klimaschutzmaßnahmen

Um die Einsparungen an CO₂-Emissionen ermitteln zu können, sind die Werte des IST-Endenergiebedarfs zu Grunde gelegt worden. Durch Ersatz des Heizöls mit nachwachsenden Rohstoffen in Höhe von 266 g/kWh_{th} ergeben sich die CO₂ Einsparungen in Tonnen pro Jahr²¹. Bei der Biogasanlage wurde zusätzlich der eingespeiste Strom der bei der an das Nahwärmenetz abgegebenen Wärme entsteht mit 628 g/kWh_{el} (Deutscher Kraftwerksmix) multipliziert und zur CO₂ Einsparung durch Ersatz des Heizöls addiert. Aus der Laufzeit von 20 Jahren ergeben sich die gesamten CO₂ Einsparungen der Anlagen. Um auf den Gesamtbetrag für 20 Jahre zu kommen wurde er mit 40 € pro eingesparte Tonne CO₂ multipliziert. Die unterschiedlichen Gesamtbeträge durch die Einsparung von CO₂ sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

Einsparung von CO₂ Emissionen				
	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
CO ₂ Emissionen IST-Zustand [t/a]	281	530	530	530
CO ₂ Einsparung [t/a]	228	430	1.138	447
CO ₂ Einsparung [%/a]	81%	81%	215%	84%
Jahre [a]	20	20	20	20
CO ₂ Einsparung [t]	4.560	8.596	22.753	8.942
CO ₂ Einsparung [€/t]	40	40	40	40
Gesamtbetrag [€/20a]	182.405	343.853	910.110	357.671

Tabelle 18: Einsparung von CO₂ Emissionen

²¹http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/msexcel/klima_antrag_modellprojekte_sonstige.xls vom 18.07.2008

Die möglichen Förderungen der untersuchten Varianten werden in Tabelle 19 aufgeführt. Bei der Nahwärmenetzvariante mit Biogasanlage sind die Erträge aus dem Stromverkauf pro Jahr gesondert aufgeführt.

Förderungen				
	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
Förderung Tilgungszuschuss	165.450,00 €	283.050,00 €	285.550,00 €	305.970,00 €
Erlöse durch CO ₂ Zertifikate	182.404,80 €	343.852,80 €	910.110,01 €	357.671,20 €
60% Zuschuss der Mehrkosten für Klimaschutz	369.499,66 €	588.477,62 €	1.240.315,31 €	837.311,08 €
Ertrag aus Stromverkauf 2008			197.878,64 €	

Tabelle 19: Mögliche Förderungen der untersuchten Varianten

2.8.3. Investitionskosten der Varianten

Die Investitionskosten der Varianten betragen, inklusive aller Komponenten, von 1.092.144,45 € bis zu 2.606.021,46 €. Im Anhang in Tabelle 34 bis Tabelle 37 sind die gesamten Berechnungsgrundlagen detailliert einsehbar.

Gesamtinvestitionskosten der Varianten ohne Förderung (netto)				
	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
Gesamtinvestitionskosten	1.092.144,45	1.519.625,32	2.582.112,08	1.934.347,74

Tabelle 20: Aufstellung der Gesamtinvestitionskosten ohne Förderungen

2.8.4. Kostenvergleich der untersuchten Varianten

In nachfolgender Tabelle sind die unterschiedlichen jährlichen Netto-Kosten der untersuchten Varianten gegliedert dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Tilgungszuschüsse aus dem MAP 2008 für dieses Projekt gewährt werden. Deshalb wurden sie hier schon berücksichtigt, daraus ergeben sich die unterschiedlichen Investitionskosten.

Kostenübersicht mit Tilgungszuschuss				
	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
Investitionskosten (netto)	926.694,45	1.236.575,32	2.320.471,46	1.605.457,74
Kapitalkosten (netto)	68.187,80	90.989,38	170.744,35	118.132,39
Verbrauchskosten (netto)	38.933,78	73.394,36	135.639,19	62.709,59
Betriebskosten (netto)	2.784,00	5.499,92	30.565,75	5.499,92
Löhne und Gehälter (netto)	12.775,00	12.775,00	51.100,00	12.775,00
Sonstige Kosten (netto)	10.037,74	14.967,57	29.539,70	16.694,96
Summe Jahreskosten (netto)	132.718,32	197.626,22	219.710,35	215.811,86
Summe Jahreskosten (brutto)	155.432,83	230.458,72	261.455,32	253.057,15

Tabelle 21: Kostenübersicht der Varianten mit Tilgungszuschuss

Die Investitionskosten der Variante 2.1 sind im Vergleich am höchsten, daraus ergeben sich die höchsten jährlichen Kapitalkosten. Die Verbrauchskosten mit 135.639,19 € sind erheblich höher als die der anderen Varianten, das ergibt sich unter anderem aus den Kosten für die Substrate der Biogasanlage. Alleine die Kosten für den Mais inklusive Transport betragen 82.960 € (siehe Tabelle 41). Die Betriebskosten unterscheiden sich sehr stark, dabei wird ersichtlich, dass die Betriebskosten für die Biogasanlage mit 30.565,75 €, u.a. durch den erhöhten Wartungsaufwand für das BHKW, mit Abstand am höchsten sind. Auch der Betrieb der Biogasanlage führt zu höheren Personalkosten, da die Anlage einen täglichen Betreuungsaufwand von einem halben Manntag hat.

Diese Mehrkosten werden durch die Einspeisung des erzeugten Stromes in das öffentliche Stromnetz kompensiert.

2.8.5. Wärmepreisvergleich der Varianten

Bei dem Vergleich der Wärmepreise wird deutlich, wie die Tabelle 22 zeigt, dass die Ölheizung im Bestand momentan die günstigsten Wärmegestehungskosten mit 10,26 ct/kWh (siehe Tabelle 38) aufweist. Vorausgesetzt es wird nur der Tilgungszuschuss aus dem MAP 2008 gewährt: Die Nahwärmenetzvarianten können zum momentanen Zeitpunkt die Wärmepreise der Ölheizung im Bestand nicht unterbieten. Variante 2 hat mit 11,20 ct/kWh den günstigsten Wärmepreis der Netzvarianten und liegt nahezu einen Cent über der Referenz im Bestand. Den Einfluss der permanent steigenden Brennstoff- und Stromkosten, insbesondere bei den fossilen Energieträgern wird in Abbildung 13 dargestellt.

Wärmeerzeugungskosten 2008 im Überblick						
Wärmepreise 2008 (brutto)	Ölheizung im Bestand	Sanierung Ölheizung	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
bei 60% Förderung [ct/kWh]	10,26	14,36	12,61	9,77	7,61	9,93
mit Tilgungszuschuss aus MAP 2008 [ct/kWh]	10,26	14,36	14,26	11,20	12,09	12,32
mit Tilgungszuschuss aus MAP 2008 & CO ₂ Vermeidungszuschuss [ct/kWh]	10,26	14,36	12,78	9,59	7,97	10,64

Tabelle 22: Übersicht der Wärmeerzeugungskosten

Die Referenzvariante „Sanierung Ölheizung“ hat im Vergleich mit 14,36 ct/kWh die höchsten Wärmegestehungskosten. Sobald eine Heizungssanierung aufgrund des Alters oder durch Nichteinhaltung der geforderten Emissionswerte ansteht, stellen sich zum jetzigen Zeitpunkt alle untersuchten Varianten bei 100 % Anschlussdichte als kostengünstiger dar.

2.8.6. Mögliche Wärmepreisentwicklung

Aufgrund der permanent steigenden Preise für Heizöl, Strom, Holz und Mais wird mit durchschnittlichen Preissteigerungsraten der letzten Jahre gerechnet, um Tendenzen für die zukünftigen Wärmeerzeugungskosten aufzuzeigen. Es kann davon ausgegangen werden, dass diese steigende Tendenz bleibt. Aus diesem Grund wird mit den aktuellen Preissteigerungsraten der letzten Jahre eine mögliche Entwicklung des Wärmepreises aufgezeigt. Dabei sind in die Rechnung durchschnittliche Preissteigerungsraten von 5,2 % bei Strom, 12,6 % bei HEL, 8,2 % bei HHS und 5 % bei Mais eingeflossen.

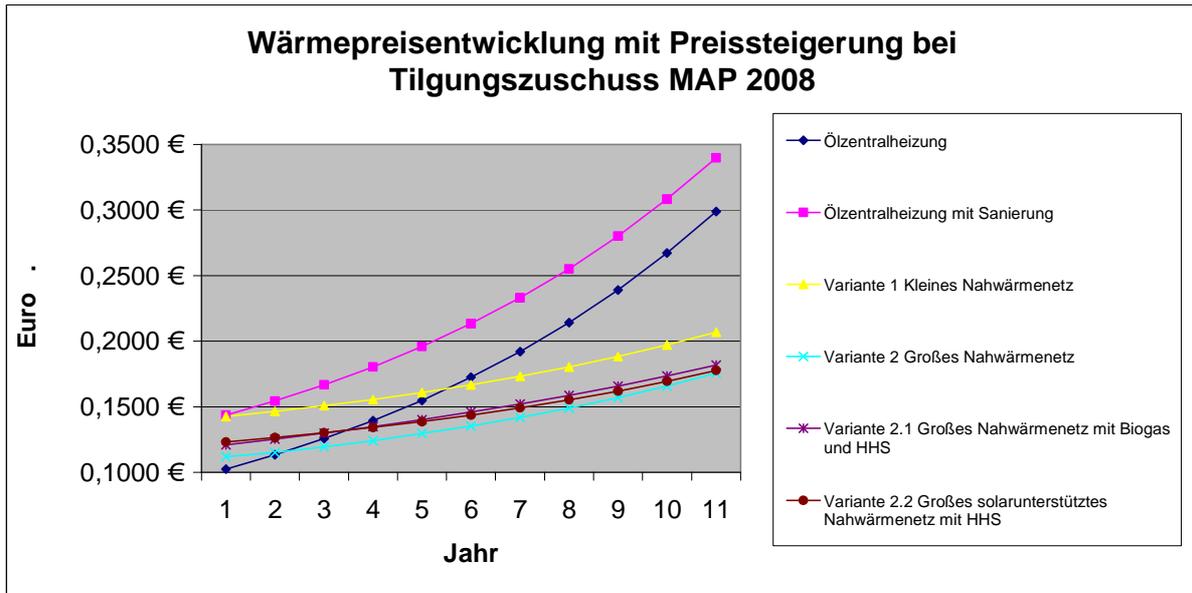


Abbildung 13: Voraussichtliche Wärmepreisentwicklung der Varianten in zehn Jahren

Die Wärmeerzeugungskosten sind für die Referenzvariante „Ölheizung im Bestand“ im Installationsjahr günstiger, wie aus Abbildung 13 erkennbar ist, als bei Variante 1 und Variante 2.2. Die WEZK der beiden Referenzvarianten steigen insgesamt jedoch gravierend an.

Eine Steigerung der WEZK ist auch bei allen untersuchten Nahwärmenetz Varianten absehbar, allerdings in einem moderateren Maßstab. Es zeigt sich wie in Tabelle 23 dargestellt, dass die Einflüsse der Preissteigerungen auf die untersuchten Nahwärmenetzvarianten deutlich geringer ausfallen als bei den Referenzvarianten.

Entwicklung der Wärmegestehungskosten 2008 bis 2018						
	Ölheizung im Bestand	Referenzvariante Sanierung Ölheizung	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
Wärmepreise 2008 (brutto) mit Tilgungszuschuss [ct/kWh]	10,26	14,36	14,26	11,20	12,09	12,32
Prognostizierte Wärmepreise 2018 (brutto) mit Tilgungszuschuss [ct/kWh]	29,89	33,99	20,70	17,57	18,18	17,78
Preissteigerung in 10 Jahren [ct/kWh]	19,63	19,63	6,44	6,37	6,09	5,46

Tabelle 23: Voraussichtliche Entwicklung der Wärmegestehungskosten

Die Wärmeerzeugungskosten der Ölheizung im Bestand steigen von 10,26 ct/kWh auf 29,89 ct/kWh, damit steigen die WEZK im Zeitraum von 10 Jahren um 19,63 ct/kWh und damit nahezu auf das dreifache an.

Bei der Sanierung der Ölheizung steigen die WEZK von 14,36 ct/kWh ebenfalls um 19,63 ct/kWh auf den höchsten ermittelten Wärmepreis von 33,99 ct/kWh im Jahre 2018.

Variante 1 hat 2008 Wärmeerzeugungskosten von 14,26 ct/kWh, diese steigen im Laufe von zehn Jahren um 6,44 ct/kWh auf 20,70 ct/kWh.

Bei Variante 2 sind die WEZK im Installationsjahr von den hier untersuchten Varianten mit reiner Wärmeerzeugung mit 11,20 ct/kWh am geringsten. Der Anstieg um 6,37 ct/kWh innerhalb von zehn Jahren ergibt einen Wärmeerzeugungspreis von 17,57 ct/kWh.

Die betrachtete Biogasanlage in Variante 2.1 hat einen Einstiegswärmepreis von 12,09 ct/kWh. Die Wärmepreissteigerung ist mit 6,09 ct/kWh geringer als bei den vorangegangenen Varianten und kommt auf einen Wärmepreis im Jahre 2018 von 18,18 ct/kWh.

Die solarthermische Unterstützung des Nahwärmeverbundes in Variante 2.2 kann für 12,32 ct/kWh in 2008 die benötigte Wärme liefern. Die Differenz der Wärmepreissteigerung fällt mit 5,46 ct/kWh im Laufe von zehn Betriebsjahren deutlich geringer aus als bei allen untersuchten Varianten. Daraus ergeben sich Wärmeerzeugungskosten im Jahre 2018 von 17,78 ct/kWh. Hieraus wird deutlich, dass mit dem solarunterstützten Nahwärmenetz die geringste Abhängigkeit von Energieimporten und Energiepreissteigerungen und damit die geringsten Einflüsse für die WEZK zu erwarten sind.

Da die Anlagen eine Nutzungsdauer von 20 Jahren haben, ist davon auszugehen, dass die Unterschiede der Wärmeerzeugungskosten zur Referenzvariante im Bestand noch gravierender sein werden.

3. Zusammenfassung

Um die Gemeinde Ewighausen mit Wärme zu versorgen wurden vier verschiedene Varianten auf ihre technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Diese ergaben sich aus zwei unterschiedlichen Nahwärmenetzlängen und den verschiedenen Techniken zur Wärmeerzeugung.

Die kleine Nahwärmenetzvariante versorgt 36 Häuser und hat eine Gesamtlänge von 1.557,5 m. Der jährliche Wärmebedarf der zu versorgenden Häuser beträgt 1.057 MWh. Die große Nahwärmenetzvariante versorgt alle Häuser der Gemeinde mit Ausnahme des Neubaugebietes. Um den jährlichen Wärmebedarf von 1.993 MWh der 67 Häuser zu decken und zu verteilen wird eine Netzlänge von 2.412,5 m benötigt.

Die untersuchten Varianten sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

Varianten	Netzauslegung	Grundlast	Spitzenlast
Variante 1	klein	HHS	Öl
Variante 2	groß	HHS	Öl
Variante 2.1	groß	Biogasanlage, HHS	Öl
Variante 2.2	groß	HHS, solare Nahwärmeunterstützung	Öl

Tabelle 24: Aufstellung der untersuchten Varianten

Die Abdeckung der Grundlast soll über HHS-Kessel, bzw. bei Variante 2.1 zusätzlich mittels einer Biogasanlage realisiert werden. Bei Variante 2.2 unterstützt eine große solarthermische Anlage, mit 11 % des Gesamtwärmebedarfs die Grundlast. In den Sommermonaten von Juni bis August deckt diese den Wärmebedarf nahezu vollständig ab. Die noch zusätzlich benötigte Wärme wird mit dem Spitzenlast-Kessel erzeugt. Die Spitzenlast-Kessel wurden dementsprechend dimensioniert, dass bei Ausfall der Grundlast-Kessel mit biogenen Energieträgern das Nahwärmenetz ausreichend mit Wärme versorgt werden kann.

Die Holzhackschnitzel zur Grundlastabdeckung können aus dem 80 ha großen Gemeindewald und den 400 ha Waldfläche der Nachbargemeinde gedeckt werden. Die Substrate für die Biogasanlage können durch Anbau von Energiepflanzen (z.B. Mais) und durch Nutzung der Gülle aus der Viehwirtschaft von Landwirten im Umkreis von fünf Kilometern bereitgestellt werden.

Um die WEZK vergleichen zu können wurden zwei Referenzvarianten betrachtet. Es wurden die Wärmepreise für die Ölheizung im Bestand und für eine Ölheizung mit Sanierung ermittelt. Die WEZK für die Referenzvariante „Ölheizung im Bestand“ sind bei den momentanen Preisen (0,64 €/l netto) für Heizöl HEL mit 10,26 ct/kWh geringer als bei den Varianten 1 und 2.1. Sobald jedoch eine Heizungssanierung ansteht erhöhen sich die WEZK auf 14,36 ct/kWh und damit sind alle untersuchten Varianten im Installationsjahr günstiger. Wie aus Tabelle 22 ersichtlich stellt sich die Variante 2 mit HHS und großem Nahwärmenetz mit den geringsten WEZK von 11,20 ct/kWh in 2008 dar. Die mögliche Wärmepreisentwicklung ist in Kapitel 2.8.6 detailliert dargestellt. Durch die geringeren Einflüsse auf die Energiepreisteigerung wird zukünftig die Variante 2.2 mit dem solarunterstützten Nahwärmenetz die günstigsten WEZK aufweisen können.

Im Variantenvergleich zur Ermittlung der WEZK wurden die Tilgungszuschüsse aus dem MAP 2008 sowie dem Förderprogramm der BAfA für solarthermische Anlagen berücksichtigt und von den Gesamtinvestitionskosten abgezogen.

Bei einer detaillierten Betrachtung ist mit einem Antrag an den Forschungsträger Jülich zu prüfen, ob die Förderungen aus der Richtlinie zur Klimaschutzinitiative zugeteilt werden können.

Da die Brennstoffversorgung mit HHS komplett aus dem Wald der Gemeinde, bzw. im direkten Umfeld bereitgestellt werden können, gibt es nur einen sehr geringen Abfluss von Zahlungsmitteln aus der Gemeinde, dadurch steigt die regionale Wertschöpfung. Es kann ein Arbeitsplatz durch den Anlagenbetrieb geschaffen werden und Arbeitsplätze bei den Lohnunternehmen der HHS-Hacker gesichert werden.

Die Zwischenergebnisse der Studie wurden im März in der Gemeinde Ewighausen dem Gemeinderat und interessierten Bürgern auf einer Informationsveranstaltung vorgestellt. Die Daten wurden an die Firma Juwi weitergeben, die daraufhin eine detailliertere Betrachtung der Biogasanlage durchführte.

Nach nochmaliger Befragung der Bürger wurde festgestellt, dass ca. 40 % der Haushalte bereit sind sich an das Nahwärmenetz anzuschließen. Diese geringe Anschlussquote lässt für einen Unternehmer kein wirtschaftliches Betreiben der Anlage, mit einem konkurrenzfähigen Wärmepreis zu.

Um die bewilligten Zuschüsse für die Straßensanierung nicht zu verlieren, wurde die Maßnahme nicht verschoben und befindet sich momentan im Bau.

3.1. Ausblick

Die solarthermische Nahwärmeunterstützung erzeugt 11 % des gesamten Wärmebedarfs und ist damit geringeren Einflüssen der steigenden Energiepreise ausgesetzt. Auf einen Zeitraum von zehn Jahren gesehen wird sich wie in Abbildung 13 dargestellt, voraussichtlich hier der niedrigste Wärmeenergiepreis einstellen. Diese Studie zeigt, dass auch in einer kleinen Gemeinde ohne Gewerbebetriebe oder öffentliches Schwimmbad eine kostendeckende Wärmeversorgung mittels nachwachsender Rohstoffe realisierbar ist. Aus diesem Grund stellt sich das Bioenergiedorf Ewighausen als Leuchtturmprojekt mit Multiplikatorwirkung dar. Auf Grundlage dieser Machbarkeitsstudie kann ein zweistufiges Antragsverfahren zur Erhaltung von 60 % der nachgewiesenen Mehrkosten für Klimaschutzmaßnahmen beim Projektträger Jülich eingereicht werden. Ebenfalls sollte ein Antrag für die Einsparung von CO₂-Emissionen und die damit verbundenen nicht rückzahlbaren Zuschüsse in Höhe von 40 € pro eingesparter Tonne CO₂ gestellt werden. Dieses Förderprogramm ist mit dem MAP 2008 kombinierbar. Damit würden sich deutlich günstigere Wärmeenergiekosten ergeben.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht den Einfluss von Förderungen auf die WEZK.

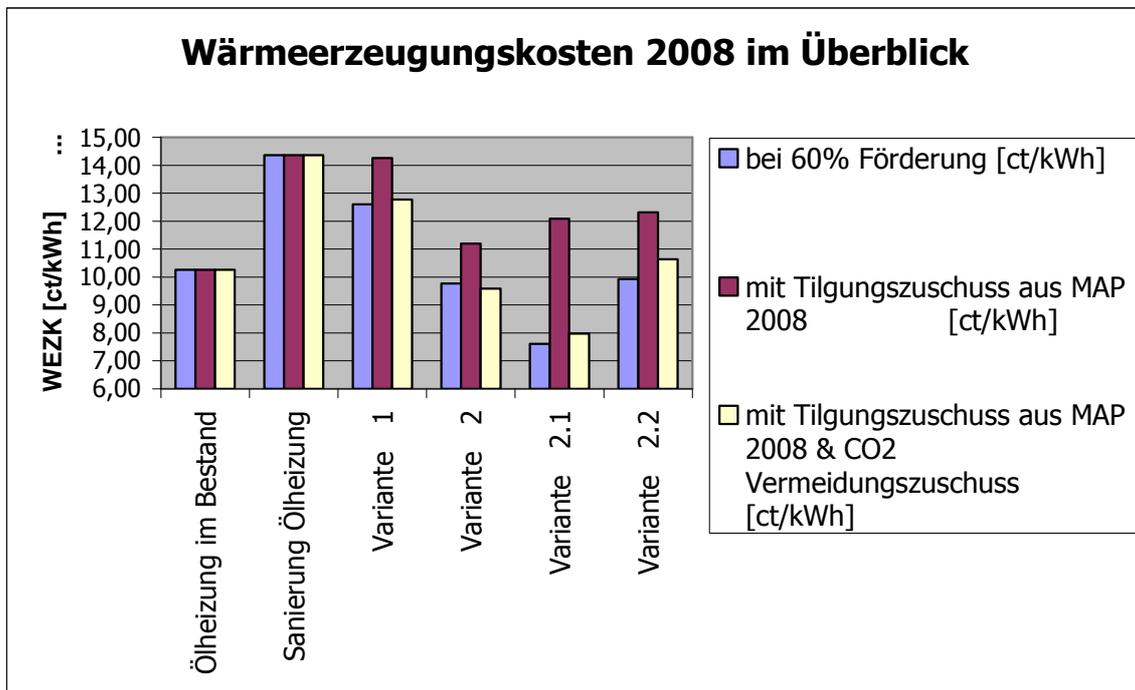


Abbildung 14: Einfluss der Förderungen auf die WEZK in 2008

In nachfolgender Abbildung sind die Einflüsse der unterschiedlichen Förderungen auf die voraussichtlichen WEZK im Jahre 2018 dargestellt.

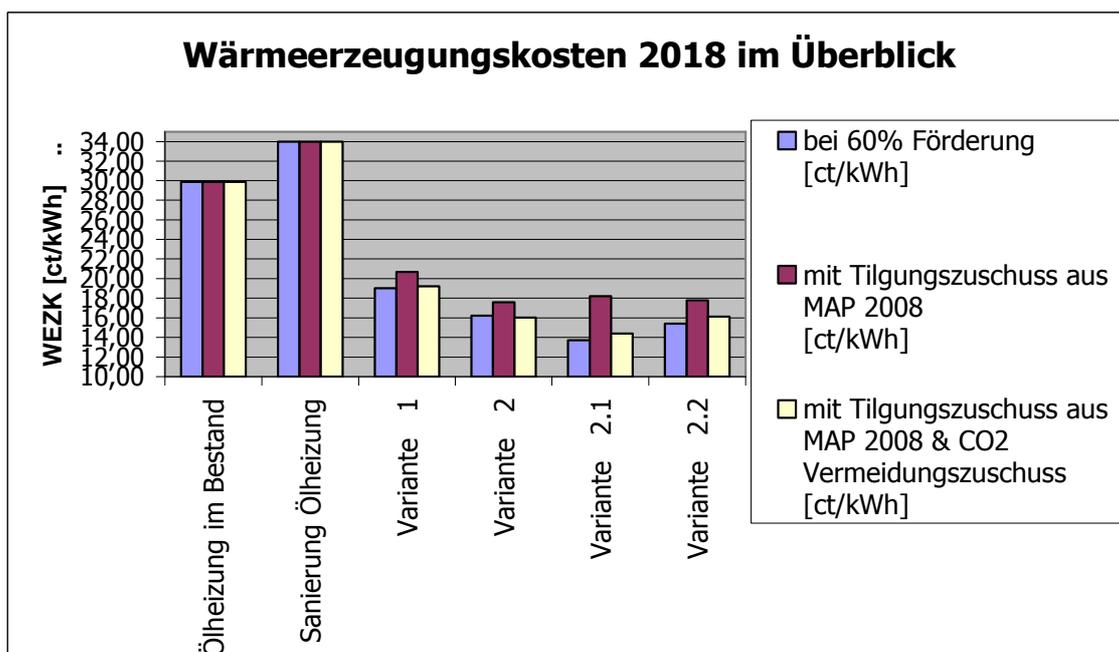


Abbildung 15: Voraussichtliche WEZK in 2018 im Überblick

3.2. Diskussion der Ergebnisse

Die Betrachtungen der verschiedenen Varianten gehen von einer 100%igen Anschlussdichte aus, d.h. alle Häuser werden ans Nahwärmenetz angeschlossen. Dies wird wohl in naher Zukunft schwer erreichbar sein, da es in der Gemeinde Häuser mit Heizungen gibt die nur wenige Jahre alt sind.

Es wurde vorausgesetzt, dass sich ein Investor findet der die Gesamtkosten der Anlagen übernimmt und die Anlagen im Contracting betreibt, d.h. dass die Hausbesitzer lediglich für die abgenommene Wärme bezahlen müssen.

Eine weitere Möglichkeit ist die Gründung einer Genossenschaft durch die Bürger von Ewighausen. Dabei muss jeder Einwohner, der sich an die Anlage anschließen möchte, der Genossenschaft eine einmalige Einlage zur Verfügung stellen. Dies wurde bei den Bioenergiedörfern Mauenheim und Jühnde mit Erfolg umgesetzt. Dadurch wird die Genossenschaft und damit die Bürger zum Investor und Betreiber der Anlage.

Die Einspeisevergütung durch die Novellierung des EEG wird sich vorteilhaft für Biogasanlagen auswirken, die mit NaWaRos betrieben werden. Aus diesem Grund wird sich die hier geplante Biogasanlage in Zukunft voraussichtlich mit einem geringeren als dem hier berechneten Wärmeerzeugungspreis darstellen.

4. Anhang

Kleines Nahwärmenetz										
Straßenname	Haus Nr.	Grundfläche	Endenergie/Jahr	Haus-übergabestation	Hausanschlussleistung mit Verlust Haus-übergabestation	Notwendige Leistung einschl. Netzverluste	Hausanschlussleistung in Reihenfolge der Anschlüsse	Hausanschlussleistung ab Heizzentrale	Netzauslegung	Abzweige
		[m ²]	[kWh/a]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]			
Westerwaldstraße	18	83	38.500	23,10	24,26	27,89	27,89	765,92	KMR 100	
Bornstraße	14	83	26.750	16,05	16,85	19,38	47,27	738,03		
Bornstraße	12	67	29.100	17,46	18,33	21,08	68,36	718,65		
Bornstraße	13a	77	46.600	27,96	29,36	33,76	102,12	697,56		
Bornstraße	11	75	20.000	12,00	12,60	14,49	116,61	663,80		
Bornstraße	9	50	0	0,00	0,00	0,00	116,61	649,31		
Bornstraße	10	72	5.000	3,00	3,15	3,62	120,23	649,31		
Bornstraße	2	75	20.000	12,00	12,60	14,49	134,72	645,69		
Bornstraße	8	80	52.409	31,45	33,02	37,97	172,69	631,20		
Bornstraße	7a	38	36.100	21,66	22,74	26,15	198,85	593,23		
Bornstraße	7	38	24.000	14,40	15,12	17,39	216,23	567,08		
Bornstraße	5	103	28.000	16,80	17,64	20,29	236,52	549,69		
Bornstraße	6	85	30.000	18,00	18,90	21,74	258,25	529,40		
Bornstraße	3	87	30.000	18,00	18,90	21,74	279,99	507,67		
Bornstraße	4a	28	20.000	12,00	12,60	14,49	294,48	485,93	KMR DN 80	
Bornstraße	4	80	22.000	13,20	13,86	15,94	310,42	471,44	KMR DN 65	

Bornstraße	2	75	20.000	12,00	12,60	14,49	324,91	455,50		
Bornstraße	1	102	69.606	41,76	43,85	50,43	375,34	441,01		
Bergstraße	2	60	15.000	9,00	9,45	10,87	386,21	390,58		
Bergstraße	4	40	26.204	15,72	16,51	18,99	405,19	379,72		
Bergstraße	5	60	22.500	13,50	14,18	16,30	421,49	360,73		
Bergstraße	7	65	23.500	14,10	14,81	17,03	438,52	344,43		
Bergstraße	6	100	59.556	35,73	37,52	43,15	481,67	327,40		116,11
Mittelstraße	1	74	31.334	18,80	19,74	22,70	504,37	284,26		72,96
Mittelstraße	2	65	10.569	6,34	6,66	7,66	512,02	261,55		50,26
Hauptstraße	14	67	40.000	24,00	25,20	28,98	541,00	253,90		42,60
Hauptstraße	16	55	18.800	11,28	11,84	13,62	554,62	224,92		13,62
Bergstraße	10	72	53.500	32,10	33,71	38,76	593,39	211,30		
Hochstraße	1	80	26.750	16,05	16,85	19,38	612,77	172,54		19,38
Bergstraße	9	55	15.000	9,00	9,45	10,87	623,63	153,15		
Bergstraße	12	42	20.600	12,36	12,98	14,92	638,56	142,29	KMR DN 50	
Bergstraße	14	40	9.387	5,63	5,91	6,80	645,36	127,36		
Bergstraße	11	100	46.750	28,05	29,45	33,87	679,23	120,56		
Bergstraße	18	90	28.900	17,34	18,21	20,94	700,17	86,69		
Bergstraße	21	140	32.853	19,71	20,70	23,80	723,97	65,75		
Alleestraße	4	210	57.904	34,74	36,48	41,95	765,92	41,95	KMR DN 40	
			1.057.172			765,92				

Tabelle 25: Dimensionierung kleines Nahwärmenetz

Großes Nahwärmenetz												
Straßenname	Haus Nr.	Fläche pro Haus [m ²]	Heizwärmebedarf [kWh/m ² *a]	Endenergie/ Jahr [kWh/a]	Hausüber-gabestation [kW]	Haus-anschluss-leistung mit Verlust	Not-wendige Leistung einschl. Netz-verluste	Haus-anschluss-leistung in Reihen-folge der Anschlüsse	Haus-anschluss-leistung ab Heiz-zentrale	Netz-aus-legung	Ab-zweige	Knoten
						[kW]	[kW]	[kW]	[kW]			
				100%	1500h	5%	15%					
Bornstraße	14	200	134	26.750	16	16,9	19,4	19	1.443,84			
Westerwaldstraße	18	198	194	38.500	23	24,3	27,9	47	1.424,46			
Westerwaldstraße 16 Dorfgemeinschaftshaus	16	180	214	38.500	23	24,3	27,9	75	1.396,57			
Bornstraße	12	160	182	29.100	17	18,3	21,1	96	1.368,68			
Bornstraße	13a	184	253	46.600	28	29,4	33,8	130	1.347,59			
Bornstraße	11	120	167	20.000	12	12,6	14,5	145	1.313,83			
Bornstraße	10	120	42	5.000	3	3,2	3,6	148	1.299,34			
Bornstraße	8	128	335	52.409	31	33,0	38,0	186	1.295,72			
Wiesenstraße	2	125	209	26.100	16	16,4	18,9	205	1.257,75		214	KN 1
Wiesenstraße	1	80	120	38.500	23	24,3	27,9	233	1.238,84		196	
Wiesenstraße	3	96	404	38.800	23	24,4	28,1	261	1.210,95		168	
Wiesenstraße	3a	116	100	14.178	9	8,9	10,3	271	1.182,84		140	
Wiesenstraße	5	192	200	38.450	23	24,2	27,9	299	1.172,56		129	
Wiesenstraße	7	144	100	17.600	11	11,1	12,8	312	1.144,71		101	
Wiesenstraße	6	152	0	39.100	23	24,6	28,3	340	1.131,96		89	
Wiesenstraße	9	104	286	29.750	18	18,7	21,6	362	1.103,63		60	
Wiesenstraße	11	160	209	33.500	20	21,1	24,3	386	1.082,07		39	
Wiesenstraße	10	96	208	20.000	12	12,6	14,5	401	1.057,80		14	
Bornstraße	7a	92	393	36.100	22	22,7	26,2	427	1.043,31			
Bornstraße	7	92	261	24.000	14	15,1	17,4	444	1.017,16			
Bornstraße	6	136	221	30.000	18	18,9	21,7	466	999,77			
Bornstraße	5	164	171	28.000	17	17,6	20,3	486	978,04			
Bornstraße	4a	68	294	20.000	12	12,6	14,5	501	957,75			

Bornstraße	4	128	172	22.000	13	13,9	15,9	517	943,26			
Bornstraße	3	208	144	30.000	18	18,9	21,7	538	927,32			
Bornstraße	1	170	335	69.606	42	43,9	50,4	589	905,59			
Bornstraße	2	120	167	20.000	12	12,6	14,5	603	855,16			
Hauptstraße	9	150	194	29.050	17	18,3	21,0	624	840,67		142	KN 2
Hauptstraße	20	80	238	23.271	14	14,7	16,9	641	819,62		121	
Hauptstraße	11	160	200	32.000	19	20,2	23,2	664	802,76		104	
Hauptstraße	13	112	179	20.000	12	12,6	14,5	679	779,58		81	
Hauptstraße	22	124	222	27.500	17	17,3	19,9	699	765,09		66	
Hauptstraße	15	84	357	30.000	18	18,9	21,7	720	745,16	KMR100	46	
Hauptstraße	17	160	211	33.750	20	21,3	24,5	745	723,43		24	
Hauptstraße	7a	88	353	31.100	19	19,6	22,5	767	698,98		207	KN 3
Hauptstraße	7	96	204	23.936	14	15,1	17,3	785	676,44		185	
Hauptstraße	16	88	214	18.800	11	11,8	13,6	798	659,10		167	
Hauptstraße	3	136	177	24.100	14	15,2	17,5	816	645,48		154	
Hauptstraße	5	80	250	20.000	12	12,6	14,5	830	628,02		136	
Hauptstraße	14	160	250	40.000	24	25,2	29,0	859	613,53		122	
Hauptstraße	12	144	120	21.120	13	13,3	15,3	875	584,55		93	
Hauptstraße	1	96	204	23.936	14	15,1	17,3	892	569,25		77	
Hauptstraße	10	123	179	22.000	13	13,9	15,9	908	551,91		60	
Hauptstraße	8	104	209	21.750	13	13,7	15,8	924	535,97		44	
Hauptstraße	6	176	222	39.100	23	24,6	28,3	952	520,21		28	
Bergstraße	2	96	156	15.000	9	9,5	10,9	963	491,88			
Bergstraße	4	64	335	26.204	16	16,5	19,0	982	481,02	KMR 80		
Bergstraße	5	144	156	22.500	14	14,2	16,3	998	462,03			
Bergstraße	7	104	226	23.500	14	14,8	17,0	1.015	445,73			
Bergstraße	6	160	335	59.556	36	37,5	43,1	1.058	428,70			
Mittelstraße	1	118	265	31.334	19	19,7	22,7	1.081	385,56			
Mittelstraße	2	104	102	10.569	6	6,7	7,7	1.089	362,85		8	KN 4
Waldstraße	1	161	289	46.450	28	29,3	33,7	1.122	355,20		89	KN 5
Waldstraße	2	140	275	38.500	23	24,3	27,9	1.150	321,54		56	
Waldstraße	6	56	181	38.500	23	24,3	27,9	1.178	293,65		28	
Bergstraße	10	180	297	53.500	32	33,7	38,8	1.217	265,76	KMR 65		
Hochstraße	1	128	209	26.750	16	16,9	19,4	1.236	227,00			

Bergstraße	9	88	170	15.000	9	9,5	10,9	1.247	207,62		
Bergstraße	12	67	307	20.600	12	13,0	14,9	1.262	196,75		
Bergstraße	14	64	120	9.387	6	5,9	6,8	1.269	181,82		
Bergstraße	11	160	292	46.750	28	29,5	33,9	1.303	175,02		
Bergstraße	18	144	201	28.900	17	18,2	20,9	1.324	141,15	KMR 50	
Bergstraße	21	224	120	32.853	20	20,7	23,8	1.347	120,21		
Alleestraße	2	30	141	5.170	3	3,3	3,7	1.351	96,41		
Alleestraße	4	336	141	57.904	35	36,5	42,0	1.393	92,67	KMR 40	
Alleestraße	1	288	243	70.000	42	44,1	50,7	1.444	50,71	KMR 32	
				1.992.883				1.443,99			

Tabelle 26: Dimensionierung großes Nahwärmenetz

Nebenstrang Knoten 1 großes Netz			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste	Länge der Leitung	Benötigte Rohrleitung
Wiesenstraße 2 - Wiesenstraße 5	214	182,5	KMR DN 50
Wiesenstraße 9 - Wiesenstraße 11	101	27,5	KMR DN 40
Wiesenstraße 7 - Wiesenstraße 7	60	52,5	KMR DN 32
Wiesenstraße 10	14	20,0	PMR DN 28
		282,5	

Tabelle 27: Nebenstrang Knoten 1 großes Nahwärmenetz

Nebenstrang Knoten 2 großes Netz			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste	Länge der Leitung	Benötigte Rohrleitung
ab Knotenpunkt Hauptstraße - Hauptstraße 9	142	42,5	KMR DN 50
Hauptstraße 9 - Hauptstraße 11	121	47,5	KMR DN 40
Hauptstraße 11 - Hauptstraße 15	81	37,5	KMR DN 32
bis Hauptstraße 17	24	45,0	PMR DN 32
		172,5	

Tabelle 28: Nebenstrang Knoten 2 großes Netz

Nebenstrang Knoten 3 großes Netz			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste	Länge der Leitung	Benötigte Rohrleitung
ab Knotenpunkt Hauptstraße - Hauptstraße 5	207	115	KMR DN 50
Hauptstraße 14 - Hauptstraße 12	122	47,5	KMR DN 40
Hauptstraße 1 - Hauptstraße 8	77	65,0	KMR DN 32
bis Hauptstraße 6	28	25,0	PMR DN 32
		252,5	

Tabelle 29: Nebenstrang Knoten 3 großes Netz

Nebenstrang Knoten 4 großes Netz			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste	Länge der Leitung	Benötigte Rohrleitung
Mittelstraße 1 - Mittelstraße 2	8	52,5	PMR DN 22

Tabelle 30: Nebenstrang Knoten 4 großes Netz

Nebenstrang Knoten 5 großes Netz			
Leistungsabschnitt	Leistung der Hausanschlüsse inkl. Verluste	Länge der Leitung	Benötigte Rohrleitung
Knoten 5 Bergstraße - Waldstraße 1	89	47,5	KMR DN 40
Waldstraße 1 - Waldstraße 6	56	67,5	KMR DN 32
		115,0	

Tabelle 31: Nebenstrang Knoten 5 großes Netz

Monat	Außentemperaturen [°C]		Substrattemperaturen bei Eintritt in [°C]	
	Luft	Erde	Fermenter	Nachgärung
Jan	-3	4	5	40
Feb	-2	5	5	40
Mär	3	6	10	40
Apr	8	7	14	40
Mai	12	8	18	40
Jun	16	9	18	40
Jul	17	10	19	40
Aug	17	11	20	40
Sep	13	10	20	40
Okt	8	8	14	40
Nov	2	6	10	40
Dez	-1	5	5	40

Tabelle 32: Übersicht der monatlichen Temperaturen im Westerwald

	Wärmeverluste			Aufheizenergie			Gesamtbedarf			Werte für Berechnung	Wärme- produktion nach Fermenter [kWh]
	[kWh/Tag]			[kWh/Tag]			[kWh/Tag]			[kWh/Monat]	[kWh/Monat]
Monat	Fermenter	Nachgärung	Summe	Fermenter	Nachgärung	Summe	Fermenter	Nachgärung	Summe	1.950.000	
Januar	166	862	1.029	1.228	-74	1.154	1.395	788	2.183	67.660	94.840
Februar	162	841	1.002	1.228	-74	1.154	1.390	766	2.156	61.449	101.051
März	152	754	906	1.042	-74	968	1.194	680	1.874	58.095	104.405
April	142	668	810	893	-74	819	1.036	594	1.629	48.876	113.624
Mai	133	582	714	744	-74	670	877	507	1.384	42.915	119.585
Juni	124	514	638	744	-74	670	869	439	1.308	39.248	123.252
Juli	119	483	602	707	-74	633	826	408	1.235	38.274	124.226
August	117	489	605	670	-74	596	787	414	1.201	37.223	125.277
September	125	556	681	670	-74	596	795	482	1.277	38.306	124.194
Oktober	139	665	804	893	-74	819	1.032	590	1.623	50.301	112.199
November	153	773	926	1.042	-74	968	1.196	698	1.894	56.817	105.683
Dezember	163	833	996	1.228	-74	1.154	1.391	759	2.149	66.634	95.866
Jahressummen:	51.687	244.400	296.087	338.034	-27.245	310.788	389.721	217.155	605.798	605.798	1.344.202

Tabelle 33: Eigenwärmebedarf der Biogasanlage

Investitionskosten Variante 1				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast				
Artikel	Menge	Einheit	Preis [€]	Betrag [€]
Pyrot 300, 300 kW Nennleistung Rotationsfeuerung incl. Einschubeinheit, automatischer Zündung Vorschubrost mit Entaschung in Aschelade Abgasrezirkulation, Abgasventilator	1	Stück	30338,00	30.338,00
thermische Ablaufsicherung	1	Stück	106,00	106,00
Steuerung mit Lambda- und mod. Leistungsregelung incl. Ansteuerung Rücklaufanhebung	1	Stück	5110,00	5.110,00
Steuermodul Speichermanagement 3 Fühler	1	Stück	130,00	130,00
pneum. Wärmetauscherreinigung incl. Kompressor	1	Stück	5177,00	5.177,00
Pufferspeicher als hydraulische Weiche	1	Stück	120,00	120,00
Flansche NW 80 statt 1 1/2"	4	Stück	195,00	780,00
Gelenkarmaustragung D = 5,5 m	1	Stück	8320,00	8.320,00
Verlängerung Förderschnecke	1	Stück	325,00	325,00
Entaschung in außenstehenden 240 l Behälter	1	Stück	5501,00	5.501,00
zusätzliche Aschetonne 240 l	1	Stück	401,00	401,00
Fracht	1	Stück	1242,00	1.242,00
Montage mit 2 Köb Monteuren	1	Stück	4500,00	4.500,00
Inbetriebnahme	1	Stück	800,00	800,00
Nachkontrolle	1	Stück	500,00	500,00
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast				63.350,00
Investitionskosten Abgasanlage 350 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	285,00	285,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	102,00	102,00
Prüföffnung	1	Stück	217,00	217,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	326,00	326,00
Längenelement 1080 mm	15	m	89,00	1.335,00
Längenelement 540 mm	5	m	53,00	265,00
Regenhaube	1	Stück	211,00	211,00
Wandkonsole	2	Stück	101,00	202,00
Wandhalter	5	Stück	63,00	315,00
Bogen 45°	2	Stück	85,00	170,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	21,00	21,00
Rußtopf	1	Stück	85,00	0,00
Montage	1	Stück	1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				5.189,00
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Logano 295kW Kessel mit Regelgerät Logamatic 4212				15.288,73
Montage	20%			3.057,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				18.346,48

Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher 10.000 Liter	1	Stck	8.661,00	8.661,00
Pufferspeicher 7000 Liter	1	Stck	4.424,00	4.424,00
Verteilung	2	Stck	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stck	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stck	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stck	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stck	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00
Dreiwegeventile	4	Stck	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		2.000,00	2.000,00
Montage	1		13.440,00	13.440,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				66.425,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Haltec-Systemhalle Stahlflex	1	Stck	30.700,00	30.700,00
Montagekosten Haltec-Systemhalle	1	Stck	4.530,00	4.530,00
Bodenplatte Heizzentrale	50	m ²	27,50	1.375,00
Elektroarbeiten				50.000,00
Wasseranschluss				10.000,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				96.605,00
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Lagerhalle HHS Jahresbedarf Coverall LBS 50	1	Stck	22500	22.500,00
Bodenplatte Lagerhalle	446	m ²	27,5	12.262,87
Betonwände Lagerhalle	176	m ²	82,5	14.483,70
Brennstoffbunker Biomasse	48	m ³		16.863,51
Freistehender Öltank	20	m ³		15.000,00
Aufstellung, Montage Öltank				2.500,00
Gesamtkosten Brennstofflager				83.610,07
Kosten Außenanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Bauplatz	1000	m ²	45	45.000,00
Zuwegung schottern	30	m ²	12,644	379,32
Wendeplatz schottern	600	m ²	12,644	7.586,40
Gesamtkosten Außenanlage				52.965,72
Rohrnetzkosten ohne Oberflächenwiederherstellung				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Nahwärmenetz	1557,50	m		376.547,55
Gesamtkosten Rohrnetz				376.547,55
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
15 kW	14	Stck	3.500,00	49.000,00
30 kW	16	Stck	3.800,00	60.800,00
50 kW	5	Stck	4.200,00	21.000,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	35			130.800,00
Summe				957.188,82
Sonstiges	5%			47.859,44
Planungskosten ohne Netz	15%			87.096,19

Förderungen				
Tilgungszuschuss HHS-Kessel	300	€/kW	30	9.000,00
Tilgungszuschuss Nahwärmenetz	1557,5	€/m	60	93.450,00
Tilgungszuschuss Hausübergabestationen	35	€/Stck	1800	63.000,00
Tilgungszuschuss Wärmespeicher	17,00	€/m³	250	4.250,00
Summe Tilgungszuschuss				169.700,00
Gesamtinvestitionskosten netto				926.694,45
Ust				176.071,95
Gesamtinvestitionskosten brutto				1.102.766,40

Tabelle 34: Investitionskostenermittlung der Variante 1

Investitionskosten Variante 2				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 400 kW Grundlast				
Artikel	Menge	Einheit	Preis [€]	Betrag [€]
Pyrot 400, 400 kW Nennleistung bei Brennstoff W 20 patentierte Rotationsfeuerung incl. Einschubeinheit, automatischer Zündung Vorschubrost mit Entaschung in Aschelade Abgasrezirkulation, Abgasventilator drehzahl geregelt	1	Stück	39.013,00 €	39.013,00 €
Steuerung mit Lambdaregelung und modulierender Leistungsregelung von 25 - 100% Kesselleistung incl. Ansteuerung Rücklaufanhebung	1	Stück	5.275,00 €	5.275,00 €
Steuermodul Speichermanagement 3 Fühler	1	Stück	130,00 €	130,00 €
Betriebsmeldung	1	Stück	75,00 €	75,00 €
Brandschutzschieber	1	Stück	1.125,00 €	1.125,00 €
externe Anforderung	1	Stück	135,00 €	135,00 €
thermische Ablaufsicherung 100°C	1	Stück	106,00 €	106,00 €
pneumatische Wärmetauscherreinigung incl. Kompressor	1	Stück	5.928,00 €	5.928,00 €
Installation wasserseitig mit Rücklaufanhebung und Sicherheitsgruppe	1	Stück	4.246,00 €	4.246,00 €
Pufferspeicher als hydraulische Weiche	1	Stück	120,00 €	120,00 €
Flansche NW 80 statt 1 1/2"	4	Stück	195,00 €	780,00 €
Entaschung in 240-l Außenbehälter	1	Stück	5.501,00 €	5.501,00 €

zusätzlicher 240-l Behälter	1	Stück	401,00 €	401,00 €
Rauchrohr Bogen verstellbar 0 - 90°	2	Stück	127,00 €	254,00 €
Rauchrohr gerade 1,0 m	1	Stück	75,00 €	75,00 €
Förderschnecke Grundpreis	1	Stück	2.230,00 €	2.230,00 €
Förderschnecke D = 190 mm, Preis pro m	5	Stück	360,00 €	1.800,00 €
Schubstangen 2,0 m breit, Preis pro m	16	Stück	605,00 €	9.680,00 €
Unterkonstruktion für Schubboden	20	Stück	130,00 €	2.600,00 €
Hydraulikzylinder für Schubstangen	2	Stück	2.510,00 €	5.020,00 €
Schweißgrund für Zylinder	2	Stück	380,00 €	760,00 €
Hydraulikaggregat	1	Stück	2.320,00 €	2.320,00 €
Querförderschnecke, Grundpreis	1	Stück	2.000,00 €	2.000,00 €
Querförderschnecke pro m	5	Stück	365,00 €	1.825,00 €
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 400 kW Grundlast				91.399,00
Investitionskosten Abgasanlage 350 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	285,00	285,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	102,00	102,00
Prüföffnung	1	Stück	217,00	217,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	326,00	326,00
Längenelement 1080 mm	15	m	89,00	1.335,00
Längenelement 540 mm	5	m	53,00	265,00
Regenhaube	1	Stück	211,00	211,00
Wandkonsole	2	Stück	101,00	202,00
Wandhalter	5	Stück	63,00	315,00
Bogen 45°	2	Stück	85,00	170,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	21,00	21,00
Rußtopf	1	Stück	85,00	85,00
Montage	1	Stück	1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				5.274,00
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Logano GE 515 295kW Kessel mit Regelgerät Logamatic 4212	1			16.603,73
Montage	20%			3.320,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				19.924,48

Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Logano GE 515 295kW Kessel mit Regelgerät Logamatic 4212	1			16.603,73
Montage	20%			3.320,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				19.924,48
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher 10.000 Liter	3	Stck	7.661,00	22.983,00
Verteilung	2	Stck	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stck	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stck	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stck	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stck	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00
Dreiwegeventile	4	Stck	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		2.000,00	2.000,00
Montage	1		13.440,00	13.440,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				76.323,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Fertigbauhalle Haltec	1	Stck	30.700,00	30.700,00
Montagekosten Haltec-Systemhalle	1	Stck	4.530,00	4.530,00
Bodenplatte Heizzentrale	80	m ²	27,50	2.200,00
Elektroarbeiten				50.000,00
Wasseranschluss				10.000,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				97.430,00
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Lagerhalle HHS Jahresbedarf Coverall LBS 70	1	Stck	25.500,00	25.500,00
Bodenplatte Lagerhalle	469	m ²	27,50	12.899,47
Betonwände Lagerhalle	132	m ²	82,50	10.865,25
Brennstoffbunker Biomasse	67	m ³		19.206,51
Freistehender Öltank	50	m ³		20.000,00
Aufstellung, Montage Öltank				2.500,00

Gesamtkosten Brennstofflager				90.971,22
Kosten Außenanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Bauplatz	1000	m ²	45	45.000,00
Zuwegung schottern	30	m ²	12,644	379,32
Wendeplatz schottern	600	m ²	12,644	7.586,40
Gesamtkosten Außenanlage				52.965,72
Rohrnetzkosten				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Nahwärmenetz	2412,50	m		646.677,19
Gesamtkosten Rohrnetz				646.677,19
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
15 kW Station	23	Stck	3.500,00	80.500,00
30 kW Station	37	Stck	3.800,00	140.600,00
50 kW Station	6	Stck	4.200,00	25.200,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen				246.300,00
Gesamtsumme ohne Planungskosten und Sonstiges				1.347.189,08
Sonstiges	5%			67.359,45
Planungskosten ohne Netz	15%			105.076,78
Förderungen				
Tilgungszuschuss HHS-Kessel	400	€/kW	30	12.000,00
Tilgungszuschuss Nahwärmenetz	2412,5	€/m	60	144.750,00
Tilgungszuschuss Hausübergabestationen	66	€/Stck	1800	118.800,00
Tilgungszuschuss Wärmespeicher	30	€/m³	250	7.500,00
Summe Tilgungszuschuss				283.050,00
Gesamtinvestitionskosten netto				1.236.575,32
Ust				234.949,31
Gesamtinvestitionskosten brutto				1.471.524,63

Tabelle 35: Investitionskosten der Variante 2

Investitionskosten Variante 2.1				
Investitionskosten Biogasanlage 350 kWth Grundlast				
Artikel	Menge	Einheit	Preis [€]	Betrag [€]
Feststoffannahme	1	Stück	33.462	33.462
Annahme flüssige Stoffe Vorgrube	1	Stück	20.966	20.966
Fermenter 1500 m ³	1	Stück	160.000	160.000
BHKW 190 kWel 260kWth	1	Stück	155.462	155.462
Nachgärung	1	Stück	75.101	75.101
Pumpe und Steuerung	1	Stück	50.000	50.000
Gesamtkosten Biogasanlage 350 kWth Grundlast				494.991,60
Investitionskosten HHS Grundlast-Kessel 400 KW				
Pyrot 400, 400 kW Nennleistung bei Brennstoff W 20 patentierte Rotationsfeuerung incl. Einschubeinheit, automatischer Zündung Vorschubrost mit Entaschung in Aschelade Abgasrezirkulation, Abgasventilator drehzahl geregelt	1	Stück	39.013,00 €	39.013,00 €
Steuerung mit Lambdaregelung und modulierender Leistungsregelung von 25 - 100% Kesselleistung incl. Ansteuerung Rücklaufanhebung	1	Stück	5.275,00 €	5.275,00 €
Steuermodul Speichermanagement 3 Fühler	1	Stück	130,00 €	130,00 €
Betriebsmeldung	1	Stück	75,00 €	75,00 €
Brandschutzschieber	1	Stück	1.125,00 €	1.125,00 €
externe Anforderung	1	Stück	135,00 €	135,00 €
thermische Ablaufsicherung 100°C	1	Stück	106,00 €	106,00 €
pneumatische Wärmetauscherreinigung incl. Kompressor	1	Stück	5.928,00 €	5.928,00 €
Installation wasserseitig mit Rücklaufanhebung und Sicherheitsgruppe	1	Stück	4.246,00 €	4.246,00 €
Pufferspeicher als hydraulische Weiche	1	Stück	120,00 €	120,00 €
Flansche NW 80 statt 1 1/2"	4	Stück	195,00 €	780,00 €
Entaschung in 240-l Außenbehälter	1	Stück	5.501,00 €	5.501,00 €
zusätzlicher 240-l Behälter	1	Stück	401,00 €	401,00 €
Rauchrohr Bogen verstellbar 0 - 90°	2	Stück	127,00 €	254,00 €

Rauchrohr gerade 1,0 m	1	Stück	75,00 €	75,00 €
Förderschnecke Grundpreis	1	Stück	2.230,00 €	2.230,00 €
Förderschnecke D = 190 mm, Preis pro m	5	Stück	360,00 €	1.800,00 €
Schubstangen 2,0 m breit, Preis pro m	16	Stück	605,00 €	9.680,00 €
Unterkonstruktion für Schubboden	20	Stück	130,00 €	2.600,00 €
Hydraulikzylinder für Schubstangen	2	Stück	2.510,00 €	5.020,00 €
Schweißgrund für Zylinder	2	Stück	380,00 €	760,00 €
Hydraulikaggregat	1	Stück	2.320,00 €	2.320,00 €
Querförderschnecke, Grundpreis	1	Stück	2.000,00 €	2.000,00 €
Querförderschnecke pro m	5	Stück	365,00 €	1.825,00 €
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 400 kW Grundlast				91.399,00
Investitionskosten Abgasanlage 350 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	285,00	285,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	102,00	102,00
Prüföffnung	1	Stück	217,00	217,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	326,00	326,00
Längenelement 1080 mm	15	m	89,00	1.335,00
Längenelement 540 mm	5	m	53,00	265,00
Regenhaube	1	Stück	211,00	211,00
Wandkonsole	2	Stück	101,00	202,00
Wandhalter	5	Stück	63,00	315,00
Bogen 45°	2	Stück	85,00	170,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	21,00	21,00
Rußtopf	1	Stück	85,00	85,00
Montage	1	Stück	1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				5.274,00
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Logano GE 515 295kW Kessel mit Regelgerät Logamatic 4212	1			16.603,73
Montage	20%			3.320,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				19.924,48
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]

Buderus Logano GE 515 295kW Kessel mit Regelgerät Logamatic 4212	1			16.603,73
Montage	20%			3.320,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2				19.924,48
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	4	Stck	7.661,00	30.644,00
Verteilung	2	Stck	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stck	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stck	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stck	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stck	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00
Dreiwegeventile	4	Stck	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		2.000,00	2.000,00
Montage	1		13.440,00	13.440,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				83.984,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Fertigbauhalle Haltec	1	Stck	30.700,00	30.700,00
Montagekosten Haltec-Systemhalle	1	Stck	4.530,00	4.530,00
Bodenplatte Heizzentrale	50	m ²	27,50	1.375,00

Elektroarbeiten				50.000,00
Wasseranschluss				25.000,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				111.605,00
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Fahrsilo 3000 m ³	3000	m ³	17	50.010
Endlager 2*2500 m ³	2*2500	m ³	32	160.000
Lagerhalle HHS Jahresbedarf Coverall LBS 70	1	Stck	25.500	25.500
Bodenplatte Lagerhalle	469,07	m ²	28	12.899
Betonwände Lagerhalle	132	m ²	83	10.865
Brennstoffbunker Biomasse	60,75	m ³		10.199
Freistehender Öltank	20	m ³		15.000
Aufstellung, Montage Öltank				2.500
Gesamtkosten Brennstofflager				286.974
Kosten Außenanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Bauplatz	2500	m ²	45	112.500,00
Zuwegung schottern	30	m ²	12,644	379,32
Wendeplatz schottern	600	m ²	12,644	7.586,40
Waage	1	Stück	25.000	25.000
Erdarbeiten Biogasanlage				100.000
Gesamtkosten Außenanlage				245.465,72
Rohrnetzskosten				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Nahwärmenetz	2412,50	m		646.677,19
Gesamtkosten Rohrnetz				646.677,19
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
15 kW Station	23	Stck	3.500,00	80.500,00
30 kW Station	37	Stck	3.800,00	140.600,00
50 kW Station	6	Stck	4.200,00	25.200,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	66			246.300,00
Summe				2.232.594,72
Sonstiges	5%			111.629,74

Planungskosten ohne Netz	15%			237.887,63
Förderungen				
Tilgungszuschuss HHS-Kessel	400	€/kW	30	12.000,00
Tilgungszuschuss Nahwärmenetz	2412,5	€/m	60	144.750,00
Tilgungszuschuss Hausübergabestationen	66	€/Stck	1800	118.800,00
Tilgungszuschuss Wärmespeicher	40	€/m³	250	10.000,00
Summe Tilgungszuschuss				285.550,00
Gesamtinvestitionskosten (netto)				2.296.562,08
Ust				436.346,80
Gesamtinvestitionskosten (netto)				2.732.908,88

Tabelle 36: Investitionskosten der Variante 2.1

Investitionskosten Variante 2.2				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 400 kW Grundlast				
Artikel	Menge	Einheit	Preis [€]	Betrag [€]
Pyrot 400, 400 kW Nennleistung bei Brennstoff W 20 patentierte Rotationsfeuerung incl. Einschubeinheit, automatischer Zündung Vorschubrost mit Entaschung in Aschelade Abgasrezirkulation, Abgasventilator drehzahl-geregelt	1	Stück	39.013,00 €	39.013,00 €
Steuerung mit Lambdaregelung und modulie-render Leistungsregelung von 25 - 100% Kesselleistung incl. Ansteuerung Rücklaufan-hebung	1	Stück	5.275,00 €	5.275,00 €
Steuermodul Speichermanagement 3 Fühler	1	Stück	130,00 €	130,00 €
Betriebsmeldung	1	Stück	75,00 €	75,00 €
Brandschutzschieber	1	Stück	1.125,00 €	1.125,00 €
externe Anforderung	1	Stück	135,00 €	135,00 €
thermische Ablaufsicherung 100°C	1	Stück	106,00 €	106,00 €
pneumatische Wärmetauscherreinigung incl. Kompressor	1	Stück	5.928,00 €	5.928,00 €
Installation wasserseitig mit Rücklaufanhe-bung und Sicherheitsgruppe	1	Stück	4.246,00 €	4.246,00 €
Pufferspeicher als hydraulische Weiche	1	Stück	120,00 €	120,00 €
Flansche NW 80 statt 1 1/2"	4	Stück	195,00 €	780,00 €
Entaschung in 240-l Außenbehälter	1	Stück	5.501,00 €	5.501,00 €
zusätzlicher 240-l Behälter	1	Stück	401,00 €	401,00 €
Rauchrohr Bogen verstellbar 0 - 90°	2	Stück	127,00 €	254,00 €

Rauchrohr gerade 1,0 m	1	Stück	75,00 €	75,00 €
Förderschnecke Grundpreis	1	Stück	2.230,00 €	2.230,00 €
Förderschnecke D = 190 mm, Preis pro m	5	Stück	360,00 €	1.800,00 €
Schubstangen 2,0 m breit, Preis pro m	16	Stück	605,00 €	9.680,00 €
Unterkonstruktion für Schubboden	20	Stück	130,00 €	2.600,00 €
Hydraulikzylinder für Schubstangen	2	Stück	2.510,00 €	5.020,00 €
Schweißgrund für Zylinder	2	Stück	380,00 €	760,00 €
Hydraulikaggregat	1	Stück	2.320,00 €	2.320,00 €
Querförderschnecke, Grundpreis	1	Stück	2.000,00 €	2.000,00 €
Querförderschnecke pro m	5	Stück	365,00 €	1.825,00 €
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 400 kW Grundlast				91.399,00
Investitionskosten Abgasanlage 350 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	285,00	285,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	102,00	102,00
Prüföffnung	1	Stück	217,00	217,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	326,00	326,00
Längenelement 1080 mm	15	m	89,00	1.335,00
Längenelement 540 mm	5	m	53,00	265,00
Regenhaube	1	Stück	211,00	211,00
Wandkonsole	2	Stück	101,00	202,00
Wandhalter	5	Stück	63,00	315,00
Bogen 45°	2	Stück	85,00	170,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	21,00	21,00
Rußtopf	1	Stück	85,00	85,00
Montage	1	Stück	1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				5.274,00
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Logano GE 515 295kW Kessel mit Regelgerät Logomatic 4212	1			16.603,73
Montage	20%			3.320,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				19.924,48
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Logano GE 515 295kW Kessel mit Regelgerät Logomatic 4212	1			16.603,73
Montage	20%			3.320,75
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2				19.924,48
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	1	Stck	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stck	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stck	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stck	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stck	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stck	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00

Dreiwegeventile	4	Stck	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		2.000,00	2.000,00
Montage Kessel	1		13.440,00	13.440,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				62.001,00
Investitionskosten Solarthermie				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Solarthermie-Modul	456	m ²	565,55 €	257.749,02
Pufferspeicher	27,35	m ³		
Gesamtkosten Solarthermie				257.749,02
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Fertigbauhalle Haltec	1	Stck	30.700,00	30.700,00
Montagekosten Haltec-Systemhalle	1	Stck	4.530,00	4.530,00
Bodenplatte Heizzentrale	50	m ²	27,50	1.375,00
Elektroarbeiten				50.000,00
Wasseranschluss				10.000,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				96.605,00
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Lagerhalle HHS Jahresbedarf Coverall LBS 70	1	Stck	25.500,00	25.500,00
Bodenplatte Lagerhalle	469	m ²	27,50	12.899,47
Betonwände Lagerhalle	132	m ²	82,50	10.865,25
Brennstoffbunker Biomasse	67	m ³		19.206,51
Freistehender Öltank	20	m ³		15.000,00
Aufstellung, Montage Öltank				2.500,00
Gesamtkosten Brennstofflager				85.971,22
Kosten Außenanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Bauplatz	3400	m ²	45	153.000,00
Zuwegung schottern	30	m ²	12,64	379,32
Wendeplatz schottern	600	m ²	12,64	7.586,40
Gesamtkosten Außenanlage				160.965,72
Rohrnetzkosten				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Nahwärmenetz	2412,50	m		646.677,19
Gesamtkosten Rohrnetz				646.677,19
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
15 kW Station	23	Stck	3.500,00	80.500,00
30 kW Station	37	Stck	3.800,00	140.600,00
50 kW Station	6	Stck	4.200,00	25.200,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	66			246.300,00
Summe				1.692.791,10
Sonstiges	5%			84.639,56
Planungskosten ohne Netz	15%			156.917,09
Förderungen				
Tilgungszuschuss HHS-Kessel	400	€/kW	30	12.000,00
Tilgungszuschuss Nahwärmenetz	2412,5	€/m	60	144.750,00
Tilgungszuschuss Hausübergabestationen	66	€/Stck	1800	118.800,00
Tilgungszuschuss Wärmespeicher	30	€/m³	250	7.500,00

Förderung Solarthermie BAfA	22.920 €			22.920,00
Summe Tilgungszuschuss				305.970,00
Gesamtinvestitionskosten netto				1.605.457,74
Ust				305.036,97
Gesamtinvestitionskosten brutto				1.910.494,72

Tabelle 37: Investitionskosten der Variante 2.2

Verbrauchs- und Betriebskosten Heizung Einfamilienhaus				
Verbrauchskosten Heizung				
Durchschnittlicher Endenergiebedarf pro Haus		kWh/a	30.195	
Nutzenergiebedarf		kWh/a	27.176	
Brennstoffbedarf fossil		kWh/a	30.195	
Spez. Brennstoffkosten fossil		€/kWh	0,06475	
Kosten Öl		€/a		1.955,14 €
Verbrauchskosten Strom Ölkessel		€/MWh	0,75	22,65 €
Summe Verbrauchskosten		€/a		1.977,79 €
Betriebskosten				
Instandhaltung und Wartung	bezogen auf die Brennstoffkosten		9,0%	175,96 €
Schornsteinfeger		€/a		45,00 €
Summe Betriebskosten		€/a		220,96 €
Sonstige Kosten				
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	84,04 €
Verwaltung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,50%	60,03 €
Summe sonstige Kosten		€/a		144,07 €
Jahreskosten gesamt		€/a		2.342,82 €
Umsatzsteuer			19,00%	445,14 €
Jahreskosten inkl Ust				2.787,96 €
Wärmeerzeugungskosten ohne Invest netto				0,0862 €
Wärmeerzeugungskosten ohne Invest (brutto)		€/kWh		0,1026 €

Tabelle 38: WEZK für bestehende Ölheizungen

Wirtschaftlichkeit Variante 1				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	1.098.930	
Endenergiebedarf		kWh/a	1.208.823	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	241.765	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	24.176	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,065	
Brennstoffbedarf HHS		kWh/a	967.059	
Heizwert HHS		kWh/Srm	800	
Brennstoffbedarf HHS		Srm/a	1.209	
spez. Kosten HHS		€/kWh	0,022	
Jahreskosten Heizöl		€/a		15.654,26
Jahreskosten HHS		€/a		20.849,78
Betriebsstromkosten Biomassekessel		€/MWh	1,25	1.208,82
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	338,47
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	181,32
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	701,12
Summe Verbrauchskosten				38.933,78
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	2.534,00
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				2.784,00
Löhne und Gehälter				
Umschichtung der Hackschnitzel				
Lohnkosten	€/h	35		
Arbeitszeit	h/a	365,00		
Gesamtkosten				12.775,00 €
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00

Sonstige Kosten				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	2.085,89
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	6.700,32
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	1.251,53
Summe sonstige Kosten				10.037,74
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				64.530,52
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	926.694,45	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer		a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe kapitalgebundene Kosten				68.187,80
Summe Jahreskosten				132.718,32
Umsatzsteuer 19 %				21.255,02
Umsatzsteuer 7 % für HHS				1.459,48
Jahreskosten inkl USt				155.432,83
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1217
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1426

Tabelle 39: Wirtschaftlichkeit Variante 1

Wirtschaftlichkeit Variante 2				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung	Einheit			Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf	kWh/a		2.071.602	
Endenergiebedarf	kWh/a		2.278.762	
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh/a		455.752	
Heizwert Öl	kWh/l		10	
Brennstoffbedarf Heizöl	l/a		45.575	
spez. Heizölkosten	€/kWh		0,065	
Brennstoffbedarf HHS	kWh/a		1.823.009	
Heizwert HHS	kWh/Srm		800	
Brennstoffbedarf HHS	Srm/a		2.279	
spez. Kosten HHS	€/kWh		0,022	
Jahreskosten Heizöl	€/a			29.509,96
Jahreskosten HHS	€/a			39.304,08
Betriebsstromkosten Biomassekessel	€/MWh		1,25	2.278,76
Ascheentsorgung	€/MWh		0,35	638,05
Betriebsstromkosten Ölkessel	€/MWh		0,75	341,81
Stromkosten Netzpumpen	€/MWh		0,58	1.321,68
Summe Verbrauchskosten				73.394,36
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	5.249,92
Kaminfeger	€		250,00	250,00
Summe Betriebskosten				5.499,92
Löhne und Gehälter				
Umschichtung der Hackschnitzel				
Lohnkosten	€/h		35	
Arbeitszeit	h/a		365	
Gesamtkosten				12.775,00

Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
sonstige Kosten				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	3.944,71
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	8.656,03
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	2.366,83
Summe sonstige Kosten				14.967,57
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				106.636,85
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	1.236.575	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer		a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe kapitalgebundene Kosten				90.989,38
Summe Jahreskosten				197.626,22
Umsatzsteuer 19 %				30.081,21
Umsatzsteuer 7 % für HHS				2.751,29
Jahreskosten inkl USt				230.458,72
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0961
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1120

Tabelle 40: Wirtschaftlichkeit Variante 2

Wirtschaftlichkeit Variante 2.1				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.071.602	
Endenergiebedarf		kWh/a	2.278.762	
Größe BHKW th		kW _{th}	260	
Größe BHKW el		kW _{el}	190	
Wärmeproduktion Biogas (Nutzenergie)	30% Eigenbedarf für Fermenter	kWh/a	1.344.202	
Wärmeproduktion Biogas (Nutzenergie)	Wärme die im Jahresverlauf benötigt wird	kWh/a	1.116.057	
Stromproduktion mit KWK Bonus		kWh _{el} /a	815.580	
Stromproduktion ohne KWK Bonus		kWh _{el} /a	284.019	
Stromproduktion gesamt		kWh _{el} /a	1.099.600	
Stoffinput Mais		t/a	2.440	
Kosten Mais		€/t	34	
Stoffinput Gülle		t/a	8.472	
Kosten Gülle		t/a		
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	186.912	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	38.432	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,065	
Brennstoffbedarf HHS		kWh/a	1.452.909	
Heizwert HHS		kWh/Srm	800	
Brennstoffbedarf HHS		Srm/a	1.816	
spez. Kosten HHS		€/kWh	0,022	
Jahreskosten Mais		€/a		82.960,00
Jahreskosten Gülle		€/a		18.129,15
Jahreskosten Heizöl		€/a		12.102,55
Jahreskosten HHS		€/a		31.324,72
Betriebsstromkosten Biogasanlage		3% der erzeugten Energie	24.467	3.670,11
Betriebsstromkosten Biomassekessel		€/MWh	1,25	1.816,14
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	508,52
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	140,18
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	1.321,68
Strompreis		€/kWh	0,15	
Summe Verbrauchskosten				151.973,04
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		5,00%	30.315,75
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				30.565,75
Löhne und Gehälter				
Arbeitsaufwand				

Arbeitszeit	h/d		4	
Lohnkosten	€/h		35	
Arbeitstage	d/a		365	
Gesamtkosten				51.100,00
Summe Löhne und Gehälter				51.100,00
sonstige Kosten				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	9.126,94
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	16.075,93
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	5.476,16
Summe sonstige Kosten				30.679,04
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				264.317,84
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	2.296.562	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer		a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe kapitalgebundene Kosten				168.985,06
Summe Jahreskosten				433.302,89
Umsatzsteuer 19 %				76.375,85
Umsatzsteuer 7 % für HHS				2.192,73
Jahreskosten inkl USt				511.871,48
Einnahmen aus der Stromeinspeisung				
Eingespeister Strom jährlich mit KWK-Bonus		kWh/a	815.580	
Installationsjahr			2008	
NawaRo Nutzung			ja	
KWK-Bonus			ja	
Vergütungssatz nach EEG		Ct/kWh	18,51	
Eingespeister Strom jährlich aus überschüssiger Wärme ohne KWK-Bonus		kWh/a	284.019	
Vergütungssatz nach EEG aus überschüssiger Wärme		Ct/kWh	16,51	
Jährliche Gesamtvergütung				197.878,64
Umsatzsteuer 19%				37.596,94
Jahreskosten gesamt netto				235.424,26
Jahreskosten gesamt inkl.Ust				280.154,86
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1073
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1209

Tabelle 41: Wirtschaftlichkeit Variante 2.1

Wirtschaftlichkeit Variante 2.2				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung	Einheit			Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf	kWh/a		2.071.602	
Endenergiebedarf	kWh/a		2.278.762	
Solarthermie	erzeugte Energie	kWh/a	227.876	
Brennstoffbedarf Heizöl	kWh/a		391.238	
Heizwert Öl	kWh/l		10	
Brennstoffbedarf Heizöl	l/a		39.124	
spez. Heizölkosten	€/kWh		0,065	
Brennstoffbedarf HHS	kWh/a		1.452.909	
Heizwert HHS	kWh/Srm		800	
Brennstoffbedarf HHS	Srm/a		1.816	
spez. Kosten HHS	€/kWh		0,022	
Jahreskosten Heizöl	€/a			25.332,69
Jahreskosten HHS	€/a			31.324,72
Betriebsstromkosten Biomassekessel	€/MWh		1,25	1.816,14
Ascheentsorgung	€/MWh		0,35	508,52
Betriebsstromkosten Ölkessel	€/MWh		0,75	293,43
Stromkosten Netzpumpen	€/MWh		0,58	1.321,68
Stromkosten Pumpen Solarthermie	0,1854	€/kWh	5%	2.112,41
Summe Verbrauchskosten				62.709,59
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	5.249,92
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				5.499,92
Löhne und Gehälter				
Umschichtung der Hackschnitzel				
Lohnkosten	€/h		35	
Arbeitszeit	h/a		365	
Gesamtkosten				12.775,00
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
sonstige Kosten				

				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	3.410,48
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	11.297,56
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	2.046,29
Summe sonstige Kosten				16.754,32
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				97.738,83
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	1.613.938	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer		a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe kapitalgebundene Kosten				118.756,36
Summe Jahreskosten				216.495,19
Umsatzsteuer 19 %				35.182,39
Umsatzsteuer 7 % für HHS				2.192,73
Jahreskosten inkl USt				253.870,31
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1050
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1232

Tabelle 42: Wirtschaftlichkeit Variante 2.2

Einsparung von CO₂ Emissionen				
	Variante 1	Variante 2	Variante 2.1	Variante 2.2
CO₂ Emissionen IST-Zustand [t/a]	281	530	530	530
CO₂ Einsparung [t/a]	228	430	942	447
CO₂ Einsparung [%/a]	81%	81%	178%	84%
Jahre [a]	20	20	20	20
CO₂ Einsparung [t]	4.560	8.596	18.831	8.942
CO₂ Einsparung [€/t]	40	40	40	40
Gesamtbetrag [€/20a]	182.405	343.853	753.239	357.671

Tabelle 43: Übersicht CO₂ Emissionen

5. Literaturverzeichnis

Bine Informationsdienst, „Langzeit-Wärmespeicher und solare Nahwärme“ Bonn 2006

Helmut Bunk, „Holz-Energie-Fibel – Holzenergienutzung Technik, Planung und Genehmigung“, Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (KEA), Herausgeber Wirtschaftsministerium Baden- Württemberg Referat 44, „Lebenswissenschaften und Erneuerbare Energien“, Stuttgart 2003

Christian Dötsch, Jan Taschenberger, Ingo Schönberg, „Leitfaden Nahwärme“, UMSICHT - Schriftenreihe Band 6, Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen 1998

Barbara Eder, Heinz Schulz, „Biogas Praxis: Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele, Wirtschaftlichkeit“, 3. überarbeitete Auflage, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg 2006

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Biogas-eine Einführung“ 2. überarbeitete Auflage, Gülzow 2005

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., „Handreichung Biogasgewinnung- und Nutzung“, Gülzow 2005

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., „Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen“, Aktualisierung der Ausgabe aus dem Jahr 2000, Gülzow

Gerd Hauser, Kirsten Höttges, Frank Otto, Horst Stiegel, „Energieeinsparung im Gebäudebestand – Bauliche und anlagentechnische Lösungen“, 4. Auflage Ausgabe I/2002, Hrsg. Gesellschaft für rationelle Energieverwendung e. V., Berlin, BAUCOM Verlag für Marketing und Kommunikation, Böhl-Iggelheim

Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz, „Nahwärme Ratgeber zur Planung und Errichtung von Nahwärmenetzen“, Wiesbaden Juni 2006

Marianne Karpenstein-Machan, „Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber“, DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt am Main 2005

Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, „Handbuch für die Planung, die Errichtung und den Betrieb von Biogasanlagen in der Landwirtschaft in Rheinland-Pfalz, Mainz

Norm VDI 2067 09/2000, „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Grundlagen und Kostenberechnung“, VDI – Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (TGA), Beuth Verlag, Berlin, 2000

Hermann Recknagel, Eberhard Sprenger, Prof. Dr.-Ing. Ernst-Rudolf Schramek, „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, 70. Auflage, Hrsg. Prof. Dr.-Ing. Ernst-Rudolf Schramek, Oldenbourg Industrieverlag, München 2001

Jörg Völtje, Betriebswirtschaftliche Formelsammlung, 2. Auflage 2007, Rudolf Haufe Verlag,

