



**Umwelt-Campus  
Birkenfeld**

**IfaS** Institut  
für  
angewandtes  
Stoffstrommanagement

Projektleitung:  
Prof. Dr. Peter Heck

Erstellt von:  
Diplom Betriebswirt (FH) Thomas Anton

In Zusammenarbeit mit:  
Dipl. Ing. Kandidat Daniel Oßwald

## **Forschungsvorhaben:**

**Nahwärmeverbund Kempenich auf Basis von Holzhackschnitzel-,  
und Holzpelletnutzung**

Mit freundlicher Unterstützung des:



Ministerium für  
Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz  
Rheinland-Pfalz

Birkenfeld, Juni 2007

Verantwortlich i. S. d. P. 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 die Urdaten von Vor-Ort-Erhebungen, gegebenenfalls verwendete Algorithmen und Hintergrundinformationen ohne Quellenangaben nicht prüfen.

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
Abbildungsverzeichnis .....	3
Tabellenverzeichnis .....	4
1 Ausgangssituation .....	5
1.1 Ist-Analyse .....	5
2 Soll-Konzept .....	6
2.1 Vorstellung der Varianten .....	7
3 Technische Auslegung .....	8
3.1 Variante 1 .....	8
3.1.1 Auslegung der Heizzentrale .....	9
3.1.2 Auslegung des Leitungsnetzes .....	12
3.1.3 Auslegung der Hausübergabestationen .....	14
3.1.4 Brennstoffvarianten und Lastenaufteilung .....	14
3.2 Variante 2 .....	16
3.2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs .....	17
3.2.2 Auslegung der Heizzentrale .....	19
3.2.3 Auslegung des Leitungsnetzes .....	20
3.2.4 Auslegung der Hausübergabestationen .....	20
3.2.5 Brennstoffvarianten und Lastenaufteilung .....	20
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung .....	21
4.1 Methodik .....	21
4.2 Variante 1a .....	22
4.3 Variante 1b .....	26
4.4 Variante 2a .....	26
4.5 Variante 2b .....	26
4.6 Reverenzvarianten .....	27
4.6.1 Reverenzvariante: Einfamilienhaus .....	27
4.6.2 Reverenzvariante: großes Objekt .....	29
4.7 Zusammenfassung .....	29
4.7.1 Sensitivitätsanalyse .....	32
5 Anhang .....	34
5.1 Variante 1a .....	34
5.2 Variante 1b .....	39

5.3	Variante 2a .....	43
5.4	Variante 2b .....	48
5.5	Reverenzvariante: Einfamilienhaus .....	52
5.6	Reverenzvariante: großes Objekt.....	53

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Lageplan Variante 1.....	8
Abbildung 2: Jahresdauerlinie .....	10
Abbildung 3: Schema der Heizzentrale .....	11
Abbildung 4: zukünftiger Standort für die Heizzentrale.....	12
Abbildung 5: Beispiel einer Hausübergabestation .....	14
Abbildung 6: Lageplan Variante 2.....	16
Abbildung 7: Sensitivität der Wärmeerzeugungskosten .....	32

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Objektliste der Teilnehmer für einen Nahwärmeverbund .....	6
Tabelle 2: Herleitung der Varianten .....	7
Tabelle 3: Gebäudeliste Variante 2 .....	19
Tabelle 4: Aufstellung der Investitionskosten Variante 1a .....	23
Tabelle 5: Berechnung der Kapitalkosten Variante 1a.....	24
Tabelle 6: Jahreskosten Variante 1a .....	24
Tabelle 7: Wärmegestehungskosten Variante 1a .....	25
Tabelle 8: Möglichkeiten der Kosteneinsparung .....	25
Tabelle 9: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus .....	28
Tabelle 10: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus .....	28
Tabelle 11: Wärmegestehungskosten große Reverenzvariante .....	29
Tabelle 12: Wärmegestehungskosten zentrale Varianten .....	30
Tabelle 13: Wärmegestehungskosten dezentrale Varianten .....	31
Tabelle 14: Investitionskosten Variante 1a .....	36
Tabelle 15: Wirtschaftlichkeit Variante 1a.....	39
Tabelle 16: Investitionskosten Variante 1b .....	40
Tabelle 17: Wirtschaftlichkeit Variante 1b.....	43
Tabelle 18: Investitionskosten Variante 2° .....	45
Tabelle 19: Wirtschaftlichkeit Variante 2a.....	48
Tabelle 20: Investitionskosten Variante 2b .....	49
Tabelle 21: Wirtschaftlichkeit Variante 2b.....	52
Tabelle 22: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus .....	52
Tabelle 23: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Einfamilienhaus .....	53
Tabelle 24: Investitionskosten Reverenzvariante großes Objekt.....	54
Tabelle 25: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante großes Objekt.....	55

# 1 Ausgangssituation

Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) wurde beauftragt die technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines Nahwärmenetzes auf Basis einer Holzheizung in der Gemeinde Kempenich zu untersuchen. Die Idee eines Nahwärmeverbundes ergab sich aus der Sanierungsbedürftigkeit der Heizungsanlage in der Leyberghalle. Dies ist eine Mehrzweckhalle, welche sich im Eigentum der Ortsgemeinde Kempenich befindet. Als weitere Interessenten traten insbesondere die Verbandsgemeinde Brohltal und die katholische Pfarrgemeinde auf, welche verschiedene Objekte in Kempenich an ein Nahwärmenetz prinzipiell anschließen würden.

Das IfaS hat daraufhin den Einsatz von Holzhackschnitzeln und Holzpellets als Brennstoff für den Betrieb eines Nahwärmeverbundes betrachtet und auf seine Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

## 1.1 *Ist-Analyse*

Für die Ist-Analyse wurde anhand der Interessentenliste eine Datenerhebung durchgeführt. Nach einem Treffen mit der Verbandsgemeindeverwaltung wurden die Eigentümer, welche ein erstes Interesse bekundet hatten, angeschrieben und relevante Daten zur Heizungsversorgung nachgefragt. Zu den Daten zählen insbesondere die installierte Nennleistung der Heizkessel, die jährlichen Brennstoffverbräuche sowie das Alter der Heizungsanlage. Um die Wärmeabnahme des Netzes zu erhöhen wurden zusätzlich Eigentümer oder Vermieter von Gewerbebetrieben, welche am voraussichtlichen Netzverlauf liegen, angeschrieben und nachgefragt ob ein prinzipielles Interesse an einem Netzanschluss bestünde.

Durch die Kontaktaufnahme ergaben sich insgesamt 15 Objekte, deren Eigentümer ein grundsätzliches Interesse bekundeten und die heizungstechnischen Daten für die Berechnungen an das IfaS übermittelten. Eine Liste der Interessenten mit den Ausgangsdaten, welche als Grundlage für die weiteren Berechnungen dienen, ist in Tabelle 1 dargestellt.

Bei einer Ortsbegehung wurden die 15 Objekte sowie alle am voraussichtlichen Rohrleitungsverlauf anliegenden Gebäude fotografiert. Für eine mögliche Erweiterung durch Anlieger, können anhand der Fotos Annahmen zum Gebäudezustand gemacht werden, welche zur Abschätzung des Heizenergiebedarfs dienen. Außerdem

dienen die Fotos der Zuordnung von Gebäuden im Lageplan und der Sortierung nach Hausnummern.

Objekt	Eigentümer	Ölverbrauch [ltr/a]	Endenergie [kWh/a]	Nennleistung [kW]	Baujahr Kessel
Leyberghalle	Ortsgemeinde	16.000,00	160.000,00	160	1986
				75	1985
Feuerwehrhaus	Verbandsgemeinde	3.700,00	37.000,00	80	2003
Pfarrhaus	Kath. Pfarrgemeinde	8.000,00	80.000,00	35	1985
Kirche	Kath. Pfarrgemeinde			116	1988
Wohn- und Geschäftshaus	Klaus Hilger	3.000,00	30.000,00		
Wohnhaus	Roland Kaltz	4.300,00	43.000,00	40	1996
Kindergarten (alt)	Kath. Pfarrgemeinde	2.640,00	26.400,00	35	1984
Kindergarten (neu)	Kath. Pfarrgemeinde	3.100,00	31.000,00	27	1989
Grundschule	Verbandsgemeinde	8.000,00	80.000,00	50	1995
Gastronomie 1	Gerd Schulz	12.500,00	125.000,00	53	1978
Gastronomie 2	Gerd Schulz			40	1997
Volksbank	Voba Rhein-Ahr-Eifel	10.000,00	100.000,00	94	1982
Kath. Jugendheim	Kath. Pfarrgemeinde	7.700,00	77.000,00	58	1993
Kreissparkasse	KSK Ahrweiler	5.500,00	55.000,00	40	1992
Seniorenwohnheim	CTT	25.000,00	250.000,00	230	2000
				210	1989
		31.250,00	312.500,00	210	1989
<b>Summe</b>		<b>140.690,00</b>	<b>1.406.900,00</b>	<b>1.553,00</b>	

Tabelle 1: Objektliste der Teilnehmer für einen Nahwärmeverbund

Tabelle 1 zeigt, dass die Gebäude einen Gesamtbedarf an Endenergie für Heizung und Warmwasserbereitung von ca. 1.407 MWh/a aufweisen und dass bei 8 von 15 installierten Heizungsanlagen derzeit eine Sanierung der Kessel notwendig ist. Diese Daten bildeten die Grundlage für ein erstes Konzept des Nahwärmenetzes.

## 2 Soll-Konzept

Auf Basis der gesammelten Daten wurde ein Soll-Konzept der zentralen Wärmeversorgung über ein Nahwärmenetz erstellt. Der Wärmebedarf für das Nahwärmenetz

soll über eine Heizzentrale auf öffentlichem Boden der Ortsgemeinde, nahe der Leyberghalle, abgedeckt werden. Der Brennstoffbedarf soll zu 80 % aus Biomasse und zu 20 % aus Heizöl bereitgestellt werden. Dafür wird die Grundlast von einem Biomassekessel und die Spitzenlast von zwei Ölkesseln bereitgestellt. Als biogene Brennstoffe sollen Holzhackschnitzel (HHS), und Holzpellets betrachtet werden. Eine weitere Variation der Netzauslegung besteht in der Anzahl der Wärmeabnehmer. Es wurde zum einen ein kleines Netz betrachtet, welches nur die 15 Objekte aus Tabelle 1 für die Berechnungen berücksichtigt. Zum anderen wurde eine große Netzvariante betrachtet, welche zusätzlich zu den 15 Interessenten weitere am Trassenverlauf anliegende Gebäude berücksichtigt, die sich in einem späteren Planungsstadium zur Teilnahme am Nahwärmeverbund entschließen könnten. Die Erfahrung aus ähnlichen Projekten hat gezeigt, dass sich während der konkreten Planungsphase in der Regel weitere Anlieger entschließen, dem Nahwärmeverbund beizutreten. Daher wird auch diese Option schon in der Machbarkeitsstudie mit einbezogen.

## 2.1 Vorstellung der Varianten

Aus dem Soll-Konzept des Nahwärmeverbundes ergeben sich durch die Kombination von Netzgröße und eingesetztem Brennstoff vier mögliche Varianten der Netzauslegung wie sie in Tabelle 2 dargestellt sind. Diese Varianten bilden die Grundlage für die weiteren Berechnungen und Vorgehensschritte bei der technischen Auslegung und der wirtschaftlichen Bewertung.

	a. HHS	b. Holzpellets
1. Kleines Netz	<b>Variante 1a:</b> kleines Netz HHS	<b>Variante 1b:</b> kleines Netz Holzpellets
2. Großes Netz	<b>Variante 2a:</b> großes Netz HHS	<b>Variante 2b:</b> großes Netz Holzpellets

Tabelle 2: Herleitung der Varianten

Unter Variante 1 sind im Folgenden alle Optionen eines Nahwärmenetzes zusammengefasst, welche sich auf ein kleines Netz mit interessierten Teilnehmern beschränken. Variante 2 bedeutet, dass außer den Interessenten noch weitere Anlieger des Trassenverlaufs für die Planung berücksichtigt werden.



Im Weiteren werden die einzelnen Schritte der technischen Auslegung beschrieben: Zuerst wurde die zu installierende Leistung in der Heizzentrale ermittelt, danach das Rohrleitungsnetz berechnet sowie die Hausübergabestationen dimensioniert. Schließlich wurden die Unterschiede dargestellt, welche durch die Variation der Brennstoffe auftreten. Im Folgenden werden auch sämtliche Gemeinsamkeiten mit der Variante 2 beschrieben.

### **3.1.1 Auslegung der Heizzentrale**

Ausgangsdaten für die Dimensionierung der Heizzentrale sind die ermittelten Wärmebedarfe der einzelnen Gebäude. Diese stellen den Endenergiebedarf dar, welche die einzelnen Objekte an Wärmeenergie aus Heizöl verbraucht hatten. Von diesen insgesamt 1.407 MWh/a wurden 10 % als Kesselverlust der bestehenden Anlagen subtrahiert, wodurch man die tatsächliche Nutzenergie an Wärme pro Jahr erhält. Diese Nutzenergie muss in Zukunft durch das Nahwärmenetz bereitgestellt werden. Um dies zu gewährleisten müssen noch Verluste durch die Hausübergabestationen und das Rohrleitungsnetz von zusammen 15 % je Objekt veranschlagt werden. Durch diese Berechnung erhöht sich die summierte Wärmemenge, welche die neue Heizzentrale bereitstellen muss, von 1.407 auf 1.462 MWh pro Jahr. Um daraus die zu installierende Nennleistung zu berechnen, wird die Wärmemenge durch die Vollbenutzungsstunden der Heizzentrale dividiert. Diese betragen für ein Nahwärmenetz ca. 1.800 Stunden pro Jahr. Allerdings wird die ermittelte Nennwärmeleistung durch einen Gleichzeitigkeitsfaktor von 0,9 verringert, da in der Regel nie alle Objekte gleichzeitig die volle Wärmemenge abfragen. Nach dieser Rechnung erhält man eine Nennwärmeleistung von 731 kW für die Heizzentrale. Diese Leistung wird in 60 % Spitzenlast und 40 % Grundlast aufgeteilt. Die Grundlast wird von einem Biomassekessel und die Spitzenlast von 2 Ölkesseln übernommen. Diese Aufteilung liegt darin begründet, dass der Biomassekessel umso wirtschaftlicher betrieben werden kann, je mehr Betriebsstunden er im Jahr mit möglichst wenigen Betriebsunterbrechungen aufweist.

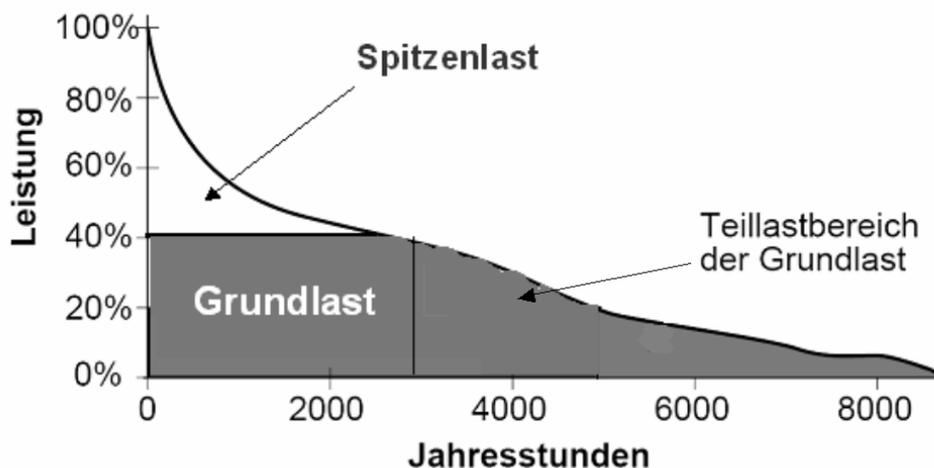


Abbildung 2: Jahresdauerlinie<sup>1</sup>

Abbildung 2 zeigt eine typische Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs. Darin ist die Leistungsverteilung in Prozent in Bezug zu den Jahresstunden angegeben, die integrierte Fläche unter der Kurve stellt die Wärmemenge für ein Jahr dar. Man kann daran sehr gut erkennen, dass die größte Wärmemenge von der 40 % Grundlast abgedeckt wird. Die Wärmemenge, welche durch die Grundlast bereitgestellt wird, beträgt durch diese Leistungsaufteilung etwa 80 %, die restlichen 20 % werden durch die Ölkessel im Spitzenlastbereich und zum Teil im unteren Teillastbereich übernommen, da der Ölkessel in der Lage ist zu takten.

Anhand dieser Annahme wurde der Jahresbrennstoffbedarf ermittelt. Es ergibt sich ein Jahresbedarf an Biomasse von etwa 1.287 MWh und an Öl von 322 MWh. In Litern beträgt der Jahresbedarf an Öl etwa 32.200 l.

Auf Basis der zu installierenden Kesselgrößen und des Brennstoffbedarfs wurden die restlichen Komponenten der Heizzentrale dimensioniert. Zu den 3 Kesseln werden noch ein Pufferspeicher, eine Druckhalteanlage, Transportanlagen für den Brennstoffeintrag und Steuerungseinheiten in der Heizzentrale installiert. Des Weiteren müssen 3 Kamine für die Kessel sowie eine Rohrverteilung berücksichtigt werden. Direkt an der Heizzentrale soll ein Brennstofflager zur Holzlagerung und ein Ölerdtank errichtet werden. Die Größe des Ölerdtanks wurde nach dem Jahresbedarf an Heizöl ausgelegt. Das Brennstofflager wird demnach etwa 54 m<sup>3</sup> und der Öltank etwa 32 m<sup>3</sup> Fassungsvermögen besitzen. Die Raummaße der Komponenten in der Heiz-

<sup>1</sup> In Anlehnung an Leitfaden Nahwärme, Fraunhofer UMSICHT, 1998

zentrale wurden anhand von Angeboten und Katalogangaben ermittelt, sodass abgeschätzt werden konnte, wie groß das Gebäude der Heizzentrale sein muss. Die komplette Heizzentrale ist in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

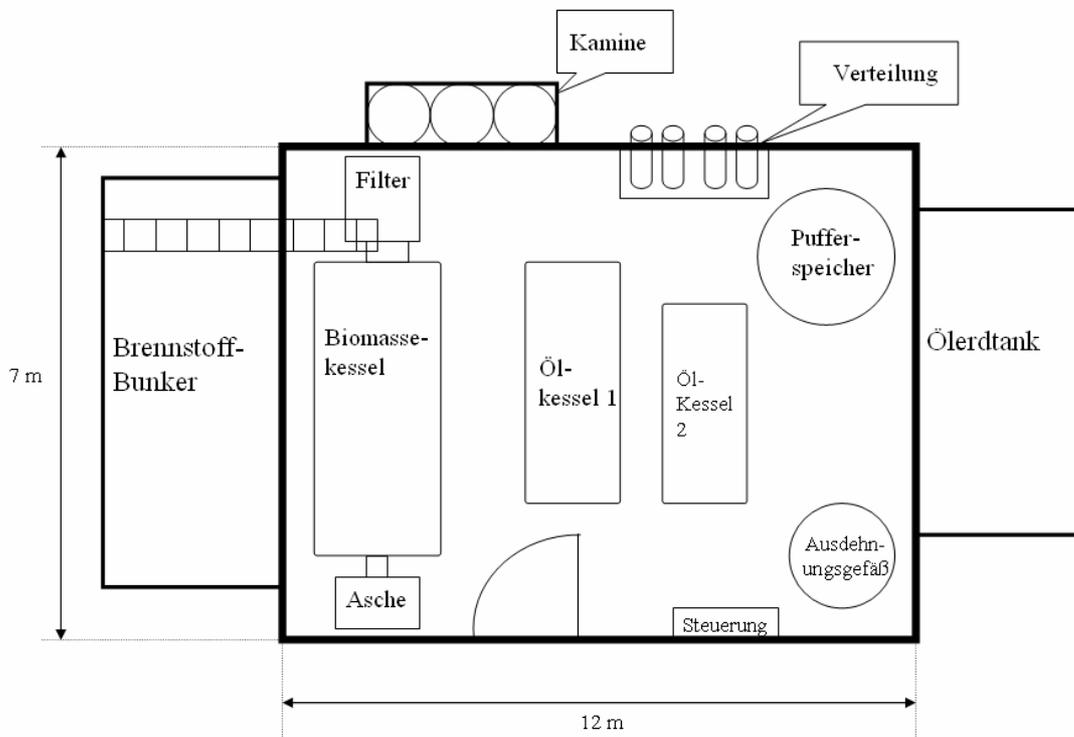


Abbildung 3: Schema der Heizzentrale

Es wurde ein Angebot für eine Leichtbauhalle der Firma „Haltec“ zugrunde gelegt, welche den brandschutztechnischen Bestimmungen genügt und bereits für ähnliche Vorhaben verwendet wurde. Abbildung 4 zeigt ein Foto des zukünftigen Standortes der Heizzentrale. Er befindet sich auf öffentlichem Boden zwischen dem Feuerwehrhaus und der Leyberghalle.



Abbildung 4: zukünftiger Standort für die Heizzentrale

### 3.1.2 Auslegung des Leitungsnetzes

Die Auslegung des Leitungsnetzes orientiert sich an den Angaben des Leitfadens Nahwärme des Fraunhofer UMSICHT. Es wird angenommen, dass ein Zweileitersystem mit Vor- und Rücklauf installiert wird. Dies bedeutet, dass das Heizwasser in der Heizzentrale auf etwa 90°C erhitzt wird und durch den Vorlauf zu den Wärmeabnehmern fließt. Dort erwärmt es über einen Wärmetauscher in der Hausübergabestation Räume und Brauchwasser und fließt, abgekühlt auf etwa 50°C, durch den Rücklauf zurück in die Heizzentrale. Bei dieser Netzauslegung wird für die Dimensionierung der Rohrleitungen von einem  $\Delta T=40^{\circ}\text{C}$  ausgegangen.

Es gibt verschiedene Rohrarten für die Nutzung von Nahwärmeleitungen. In dieser Studie wurde für die Hauptleitungen ein Kunststoffverbundmantelrohr (KMR) gewählt. Dies ist ein Stahlmediumrohr mit einem Kunststoffmantel zur Isolierung. Für die Hausanschlussleitungen wurden flexible Kunststoffmediumrohre ausgewählt (PMR). Kunststoffrohre sind nicht so widerstandsfähig wie Stahlrohre, allerdings sind sie einfacher zu verlegen und kostengünstiger. Die Hausanschlussleitungen sind auch weitaus geringeren Belastungen ausgesetzt als die Hauptleitungen des Netzes, da

dort eine deutlich geringere Wärmeleistung übertragen wird.

Die wichtigste Größe, die es zu ermitteln galt, ist die Länge der Hauptleitungen und Hausanschlussleitungen. Die Leitungen verlaufen, wie in Abbildung 1 zu sehen ist, auf öffentlichen Wegen. Ausnahmen bilden Abschnitte, welche durch Grundstücke von Netzteilnehmern verlaufen. Die Längen der Leitungswege wurden anhand von Luftbildern und Plänen ausgemessen. Die gesamte Rohrnetzlänge beträgt 1.050 m, wobei sich 500 m auf die Hauptleitung und 550 m auf die Hausanschlussleitungen verteilen.

Eine weitere wichtige Größe für die Dimensionierung der Rohrleitungen ist die zu übertragende Heizleistung auf festgelegten Rohrabschnitten. Je größer die Leistung, desto größer muss der Nenndurchmesser des Rohres ausgelegt werden, welches die Leistung transportiert. Das bedeutet, dass von der Heizzentrale ausgehend die Rohre am größten dimensioniert wurden und zu den einzelnen Wärmeabnehmern hin geringer.

Als Ergebnis der Netzauslegung erhält man die Aufteilung der Gesamtlänge in verschiedene Leitungsabschnitte, welchen je nach Leistungsübertragung bestimmte Nenndurchmesser zugeordnet werden. Die Nenndurchmesser variieren je nach Abschnitt zwischen DN=32 mm bei Hausanschlussleitungen und DN=100 mm unmittelbar nach der Heizzentrale. Mit den Nenndurchmessern variieren auch die Kosten für die Rohre, was für die spätere Wirtschaftlichkeitsbetrachtung relevant ist.

Eine wichtige Kennzahl, die sich aus der Dimensionierung des Leitungsnetzes ergibt, ist die Rohrnetz Kennzahl in  $\text{MWh/m}^*\text{a}$ . Zu deren Ermittlung dividiert man die jährlich übertragene Gesamtwärmemenge in  $\text{MWh}$  durch die gesamte Rohrleitungslänge. So erhält man einen Wert welcher Hinweise darauf liefert, ob sich das Nahwärmenetz wirtschaftlich betreiben lässt, da er einen Zusammenhang zwischen Wärmeabnahme und Leitungslänge herstellt. Je größer die Wärmeabnahme bei gleich bleibender Leitungslänge, desto rentabler ist der Wärmeverbund. Das bedeutet, je größer die Rohrnetz Kennzahl, desto wirtschaftlicher wird vermutlich das Netz. In dieser Variante ergibt sich eine Rohrnetz Kennzahl von  $1,4 \text{ MWh/m}^*\text{a}$ . Ab einer Kennzahl von  $1,5 \text{ MWh/m}^*\text{a}$  kann man in der Regel von einem wirtschaftlichen Betrieb ausgehen, da ab diesem Grenzwert Zuschüsse für die Finanzierung des Leitungsnetzes durch die KfW gewährt werden. Die Kennzahl bezieht sich allerdings nur auf das Leitungsnetz, sodass die Gesamtwirtschaftlichkeit des Projektes dennoch positiv ausfallen kann.

### 3.1.3 Auslegung der Hausübergabestationen

Die Hausübergabestationen werden anhand der zu übertragenden Leistung zwischen Netz und Gebäude dimensioniert. Hierzu lag ein Angebot der Firma „MB-Brassen“ mit verschiedenen Leistungsbereichen vor. Für die Berechnung der benötigten Leistungen wurde der Energieverbrauch in Kilowattstunden zugrunde gelegt und durch die Vollbenutzungsstunden der jeweiligen Heizung eines Objektes dividiert. Die Vollbenutzungsstunden sind eine Kennzahl, welche angibt, wie viele Stunden eine Heizung bei voller Leistung pro Jahr betrieben würde und variiert mit der Nutzungsart des Gebäudes. Für ein Einfamilienhaus beträgt diese Kennzahl beispielsweise 1.900 h/a.

Es wurde angenommen, dass zur Raumheizung ein Wärmetauscher die Wärme indirekt in den Heizkreislauf des Hauses überträgt und die Warmwasserbereitung über einen Speicher erfolgt. Der Warmwasserspeicher wurde der Größe des Objektes entsprechend dimensioniert.



Abbildung 5 zeigt eine Hausübergabestation für ein Einfamilienhaus. Sie wird in der Regel im Keller an der Wand montiert und dann nach außen an das Nahwärmenetz und im Haus an den Heizwasserkreislauf des Gebäudes angeschlossen.

Abbildung 5: Beispiel einer Hausübergabestation

### 3.1.4 Brennstoffvarianten und Lastenaufteilung

Wie schon in der Variantenvorstellung dargestellt, wurden 2 verschiedene Holzbrennstoffe betrachtet. Diese werden nun im Einzelnen vorgestellt, mit den Unterschieden in der technischen Auslegung.

#### a) Holzhackschnitzel

Holzhackschnitzel sind ein weit verbreiteter Holzbrennstoff, welcher in kleinen Haus-

anlagen bis hin zu großen Holzhackschnitzelkraftwerken eingesetzt wird. Die Kesseltechnik für die Verbrennung von Holzhackschnitzeln ist sehr ausgereift und verspricht einen zuverlässigen Betrieb. Holzhackschnitzel sind klein gehäckselte, getrocknete Holzstücke. Sie werden in der Regel aus Waldholz, Industrierestholz, Grünschnitt der Landschaftspflege oder aus schnell wachsenden Hölzern produziert.

In Kempenich könnte das Holz aus der Landschaftspflege und dem gemeindeeigenen Forst bezogen werden und wäre somit regional ohne große Transportwege verfügbar. Die Holzhackschnitzel müssen bei Volllastbetrieb alle 4-6 Tage per Kipplader angeliefert und in einen unterirdischen Brennstoffbunker direkt an der Heizzentrale gefüllt werden. Der Bunker wird mit einem Schubboden ausgestattet, um die Holzhackschnitzel automatisch in die Förderschnecke nachschieben zu können. Von der Förderschnecke wird das Brennmaterial automatisch bis in die Heizzentrale und in die Brennkammer transportiert.

Der Energiegehalt der Holzhackschnitzel liegt bei etwa 800 kWh je Schüttraummeter. Daraus ergibt sich ein jährlicher Brennstoffbedarf von 1.609 Schüttraummeter.

Der Brennstoffbunker wurde so ausgelegt, dass der Brennstoffbedarf der Heizungsanlage bei gefülltem Bunker für 6 Tage gesichert ist, wenn der Kessel mit voller Leistung und 24 Stunden am Tag betrieben wird. Über den Energiegehalt wurde so ein Lagervolumen von 54 m<sup>3</sup> errechnet.

Für den Biomassekessel wurde ein Angebot von der Firma „Schmid Holzfeuerungen“ nachgefragt. Es wurde ein Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 300 kW angeboten. Der Biomassekessel wird etwa 40 % der benötigten Leistung als Grundlastkessel abdecken. Für die Spitzenlast wurden zwei Ölkessel der Firma Buderus ausgewählt: Ein Kessel mit 295 kW Nennwärmeleistung, und ein kleinerer mit 140 kW, um geringe Wärmenachfragen in den Sommermonaten abzudecken. Mit dieser Lastenaufteilung wird eine maximale Gesamtleistung von 735 kW erreicht, die nur geringfügig über dem errechneten Bedarf von 731 kW liegt und eine zuverlässige Wärmeversorgung des Netzes gewährleistet.

#### b) Holzpellets

Holzpellets sind genormte zylindrische Presslinge aus unbehandeltem Restholz mit einer Länge von 20-50 mm und einem Durchmesser von 4-10 mm. Holzpellets haben mit 5 kWh/kg einen etwas höheren Energiegehalt als HHS und eine Schüttdichte von etwa 700 kg/m<sup>3</sup>. Die Größe des Pelletlagerraums wurde mit 54 m<sup>3</sup> so gewählt,

dass er durchschnittlich etwa alle 6-7 Wochen per Tankwagen befüllt werden muss. Dies geschieht pneumatisch über einen Schlauch ähnlich einer Öllieferung. Der jährliche Gesamtbedarf an Pellets beträgt 257 t. Die Feuerung mit Holzpellets geschieht bis auf die Lieferung und die Wartung vollautomatisch.

Der in a) genannte Holzkessel der Firma „Schmid Holzfeuerungen“ ist auch zur Verbrennung von Holzpellets geeignet, wodurch sich an der Lastenaufteilung nichts ändert und auch mit der Verbrennung von Holzpellets eine Gesamtleistung von 735 kW erreicht wird.

### 3.2 Variante 2

Bei der Betrachtung der Variante 2 wurden zu den bekannten 15 Objekten, weitere 53 Teilnehmer des Nahwärmeverbundes berücksichtigt, welche sich am Trassenverlauf von Variante 1 befinden. Somit erhöht sich die Gebäudeanzahl auf 58 Objekte. Abbildung 6 zeigt den Trassenverlauf, welcher etwas anders verläuft als bei Variante 1, um mehr zusätzliche Gebäude anschließen zu können. Es sind nur die 15 interessierten Teilnehmer mit gelb gekennzeichnet, alle anderen anliegenden Gebäude belaufen sich auf eine Anzahl von 43.



Abbildung 6: Lageplan Variante 2

Im Folgenden werden die einzelnen Planungsschritte für die Variante 2 erläutert. Angefangen mit dem Wärmebedarf über die Auslegung der Heizzentrale und des Rohrnetzes bis hin zu den Hausübergabestationen. Am Ende werden nochmals kurz die Unterschiede dargestellt, welche sich durch die Nutzung der Brennstoffe Holzhackschnitzel und Holzpellets ergeben.

### 3.2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs

Die Ermittlung des jährlichen Wärmebedarfs der 15 identifizierten Objekte ergibt sich aus Variante 1. Zu diesen 1.407 MWh/a wird für Variante 2 noch der Wärmebedarf von 43 anliegenden Objekten in Kempenich ermittelt. Anders als in Variante 1 am Heizenergieverbrauch, wurde hier der Energiebedarf auf der Grundlage von Kennzahlen ermittelt. Dazu wurde zuerst eine Ortsbegehung durchgeführt, bei welcher alle Gebäude fotografiert wurden. Die Fotos wurden dann mit einem Katalog verglichen, in welchem verschiedene Gebäudetypen mit ihrem üblichen Heizenergiebedarf pro Quadratmeter und Jahr aufgelistet sind. Dieser beträgt beispielsweise 162 kWh/m<sup>2</sup>\*a. Dieser Wert wurde dann mit der Zahl der beheizten Geschosse multipliziert, welche ebenfalls durch die Fotos ermittelt werden konnte. Multipliziert man diesen Wert dann noch mit der Grundfläche des Gebäudes und subtrahiert einen Flächenabschlag von 20 % erhält man einen guten Näherungswert für den Wärmebedarf des Gebäudes. Die Grundfläche wurde in Lageplänen gemessen. Um die Energie zur Warmwasserbereitung zu berücksichtigen wurde der errechnete Wert noch pauschal um 10 % für jedes Gebäude erhöht.

Eine Liste mit den Ergebnissen ist in Tabelle 3 dargestellt. Man sieht in grün die schon bekannten Endenergiewerte der 15 Ausgangsobjekte und in blau die 43 anliegenden Objekte mit ihren Endenergiebedarfen.

<i>Straße</i>	<i>Hausnr</i>	<i>Name</i>	<i>lfd. Nr</i>	<i>Endenergie [kWh]</i>
Leyberggasse	6	Leyberghalle	1	160.000 kWh
Leyberggasse	4	Feuerwehr	2	37.000 kWh
Leyberggasse	3	Wohnhaus	3	41.888 kWh
Leyberggasse	11	Wohnhaus	4	20.944 kWh
Hinterdorfstraße	16	Wohnhaus	5	22.361 kWh
Hinterdorfstraße	13	Wohnhaus	6	17.987 kWh
Hinterdorfstraße	8	Wohnhaus	7	9.993 kWh
Hinterdorfstraße	9	Wohnhaus	8	19.415 kWh
Hinterdorfstraße	6	Wohnhaus	9	19.008 kWh

Hinterdorfstraße	5	Wohnhaus	10	30.413 kWh
Hinterdorfstraße	4	Wohnhaus	11	22.176 kWh
Hinterdorfstraße		Fahrschule	12	44.352 kWh
Hinterdorfstraße	2	Wohnhaus	13	10.648 kWh
Hinterdorfstraße	1	Bäckerei	14	14.907 kWh
Markt	15	Wohnhaus	15	12.848 kWh
Markt	14	Wohnhaus	16	20.557 kWh
Markt	13	Wohnhaus	17	19.008 kWh
Markt	17	Wohnhaus	18	15.206 kWh
Markt	12	Wohnhaus	19	20.909 kWh
Markt	18	Wohnhaus	20	36.115 kWh
Markt	9	Wohnhaus	21	27.588 kWh
Markt	8	Wohnhaus	22	28.512 kWh
Markt	13a	Kirche	23	80.000 kWh
Markt	10	Pfarrhaus	24	
Markt	2	Wohnhaus	25	52.360 kWh
Markt	3	Hilger	26	30.000 kWh
Oberdorfstraße	2	Laden	27	27.330 kWh
Oberdorfstraße	3	Wohnhaus	28	28.829 kWh
Oberdorfstraße		Wohnhaus	29	55.960 kWh
Oberdorfstraße		Bäckerei	30	40.128 kWh
Oberdorfstraße	6	Kaltz	31	43.000 kWh
Oberdorfstraße	11	Wohnhaus	32	20.064 kWh
Oberdorfstraße	10	Wohnhaus	33	10.278 kWh
Gartenstraße	8	Kindergarten alt	34	26.400 kWh
Gartenstraße	8a	Kindergarten neu	35	31.000 kWh
Hardtstraße		Einrichtung	36	26.470 kWh
Hardtstraße	3	Wohnhaus	37	10.032 kWh
Hardtstraße	5	Wohnhaus	38	28.090 kWh
Hardtstraße	2	Grundschule	39	80.000 kWh
Großstraße	11	Wohnhaus	40	17.107 kWh
Großstraße	8/10	Schulz	42	125.000 kWh
Entenpfuhl	12	Schulz	41	
Großstraße	7	Volksbank	43	100.000 kWh
Großstraße	6	Wohnhaus	44	51.322 kWh
Großstraße	4	Wohnhaus	45	56.549 kWh
Großstraße	3	Wohnhaus	46	26.611 kWh

Großstraße	2	Wohnhaus	47	134.581 kWh
Großstraße	1	Wohnhaus	48	14.045 kWh
Bahnhofstraße	7	Wohnhaus	49	52.401 kWh
Bahnhofstraße	8a	PC-Laden	50	19.562 kWh
Bahnhofstraße	10	Wohnhaus	51	91.935 kWh
Enggasse	2	Wohnhaus	52	13.306 kWh
Goldbachstraße	2	Jugendheim	53	77.000 kWh
Enggasse	1	KSK	54	55.000 kWh
Bahnhofstraße	8	Wohnhaus	55	34.261 kWh
Bahnhofstraße		Wohnhaus	56	28.424 kWh
Bahnhofstraße	6	Wohnhaus	57	24.578 kWh
Bahnhofstraße	5	Seniorenheim	58	562.500 kWh
<b>Summe Anlieger</b>			<b>43</b>	<b>1.319.058 kWh</b>
<b>Gesamtsumme</b>			<b>58</b>	<b>2.725.958 kWh</b>

Tabelle 3: Gebäudeliste Variante 2

Die Summe der Wärmebedarfe der Anlieger beträgt 1.319 MWh. Dadurch erhöht sich der Gesamtwärmebedarf der Verbundteilnehmer auf 2.726 MWh/a. Dieser Wert stellt somit die Grundlage für die weiteren Berechnungen der Heizzentrale, des Leitungsnetzes und der Hausübergabestationen dar.

### 3.2.2 Auslegung der Heizzentrale

Grundlage für die Dimensionierung der Heizzentrale ist auch bei Variante 2 der oben errechnete Wärmebedarf des gesamten Netzes. Man erhält durch Berücksichtigung der Verluste analog zu Variante 1 eine jährliche Wärmemenge von 2.834 MWh/a, welche die zentrale Heizungsanlage bereitstellen muss. Über die Vollbenutzungsstunden und mit einem Gleichzeitigkeitsfaktor errechnet sich eine benötigte Anlagenleistung von 1.415 kW. Diese werden dann zu fast 40 % mit einem Grundlastkessel (Biomassefeuerung) und zu guten 60 % mit 2 Spitzenlastkesseln (Ölfeuerung) realisiert. Die Grundlast stellt 80 % der gesamten Wärmemenge bereit und die Spitzenlast 20 %.

Der Brennstoffbedarf ergibt sich anhand der jährlich benötigten Endenergie. Diese wird durch die Kesselverluste mit 10 % über dem Nutzenergiebedarf angenommen und beträgt 3.117 MWh/a. Teilt man diesen Wert auf die Brennstoffarten zu 80 % und 20 % auf, benötigt man einen Brennstoffbedarf an Biomasse mit einem Energiegehalt von 2.494 MWh/a und einen Heizölbedarf von 62.340 Liter/a (623,4 MWh/a).

Es wird ein Brennstofflager für das Holz errichtet, welches ein Volumen hat, um eine

ausreichende Versorgung des Biomassekessels zu gewährleisten.

Der Ölvorrat wird auf den Jahresbedarf ausgelegt und benötigt einen 66.000 l großen Ölerdtank.

Druckhalteanlage und Pufferspeicher wurden anhand der zu installierenden Leistung dimensioniert und sollen zusammen mit den Kesseln, der Verrohrung und der Steuerungseinheit in einer Leichtbauhalle installiert werden (siehe Abbildung 3: Schema der Heizzentrale). Des Weiteren werden eine Transportanlage für den Biomassebrennstoff und 3 Kamine für die Kessel benötigt. Der Standort wurde analog zu Variante 1 gewählt.

### **3.2.3 Auslegung des Leitungsnetzes**

Das Verfahren der Auslegung ist in Abschnitt 3.1.2 beschrieben und soll hier nicht näher erläutert werden. Die Rohrleitungslängen vergrößern sich bei Variante 2 jedoch durch die Hausanschlüsse der 43 zusätzlich betrachteten Teilnehmer. Die Hauptrohrleitung verlängert sich ebenfalls durch eine alternative Leitungsführung, welche zusätzliche Gebäude erreicht. Die Gesamtlänge des Leitungsnetzes beträgt 1.586 m.

Die Rohrnetzkenzahl liegt bei dieser zweiten Variante etwas besser bei 1,8 MWh/m\*a. und somit über dem Grenzwert für eine Förderung durch die KfW.

### **3.2.4 Auslegung der Hausübergabestationen**

Zu den 15 dimensionierten Hausübergabestationen aus Variante 1 wurden noch die weiteren 43 Objekte mit Hausübergabestationen ausgestattet. Die Leistungen ergeben sich aus dem ermittelten Wärmebedarf in Tabelle 3, indem man diesen durch die Vollbenutzungsstunden teilt. Diese wurden anhand von Kennwerten mit 1.900 h/a angenommen. Hat man die zu übertragenden Leistungen, können die entsprechenden Hausübergabestationen ausgewählt werden. Es wurden Hausübergabestationen mit indirekter Fahrweise per Wärmetauscher und einem Speicher zur Warmwasserbereitstellung ausgewählt.

### **3.2.5 Brennstoffvarianten und Lastenaufteilung**

#### **a) Holzhackschnitzel**

Die Bezugsquellen und Materialeigenschaften der Holzhackschnitzel sind bereits unter 3.1.4 erläutert.

Über den Heizwert lässt sich aus dem errechneten Endenergiebedarf ein jährlicher Brennstoffbedarf von 3.115 Srm Holzhackschnitzel ableiten. Der Brennstoffbunker ist

mit 100 m<sup>3</sup> so ausgelegt, dass im Winter höchstens im 6-tages-Rhythmus neue Holzhackschnitzel angeliefert werden müssen. Es wurde ein 550 kW Kessel der Firma „Schmid Holzfeuerungen“ ausgewählt, welcher komplett mit Lageraustragung, Förderschnecke, Filter und Steuerung angeboten wurde. Dieser ist in der Lage nahezu die 40 % Grundlast abzudecken. Die Spitzenlast sollen 2 Ölkessel von „Buderus“ übernehmen; mit 570 und 295 kW Nennwärmeleistung. Die Gesamtleistung liegt somit bei den errechneten 1.415 kW, welche nötig sind, um das Nahwärmenetz zu versorgen.

#### b) Holzpellets

Für das Holzpelletlager wurde ebenfalls ein Volumen von 100 m<sup>3</sup> angesetzt, sodass eine Befüllung etwa alle 6 Wochen notwendig ist.

Die Verteilung der Gesamtleistung auf die 3 Kessel ergibt sich analog zu Punkt a), da auch hier der Biomassekessel in der Lage ist, sowohl Holzhackschnitzel, als auch Holzpellets zu verbrennen.

Die Nennwärmeleistung der Heizzentrale beträgt somit gleichfalls 1.415 kW.

## **4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung**

Im Folgenden wird zuerst die zugrunde liegende Methodik zur Kostenermittlung erläutert und dann die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten dargestellt. Es wurden zusätzlich Reverenzvarianten mit dezentraler, herkömmlicher Ölheizung betrachtet. Auf diese Weise lassen sich die zentralen Lösungen über ein Nahwärmenetz mit herkömmlichen, dezentralen Lösungen in ihrer Wirtschaftlichkeit vergleichen.

### **4.1 Methodik**

Die Wirtschaftlichkeit des Nahwärmenetzes wurde anhand eines Gesamtkostenverfahrens berechnet. Es wurden sämtliche Kosten für die Einrichtung und den Betrieb des Vorhabens berücksichtigt und in Jahreskosten aufgeteilt. Dazu wurden zuerst die gesamten Investitionskosten der jeweiligen Variante ermittelt. Diese wurden dann anhand der Annuitätenmethode auf Jahreskosten über eine voraussichtliche Laufzeit von 20 Jahren umgelegt. Die Berechnungsformel der Annuitätenmethode lautet:

$$A = C_0 * \frac{(1+i)^t * 1}{(1+i)^t - 1}$$

$$A = C_0 * \text{Annuitätenfaktor}$$

Dabei sind:

A: die jährlichen Kapitalkosten zur Tilgung des Kredites

C<sub>0</sub>: die Investitionssumme der jeweiligen Variante

i: der reale Zinssatz von 4 %

t: die Laufzeit von 20 Jahren

Die Annuitätenmethode multipliziert die Investitionssumme mit einem Annuitätenfaktor, welcher sich aus der Kreditlaufzeit und dem Zinssatz errechnet. Das Ergebnis sind die Kapitalkosten, welche jährlich zur Tilgung des Kredites über dessen Laufzeit anfallen.

Neben den Kapitalkosten wurden die Verbrauchskosten pro Jahr berücksichtigt. Dies sind in erster Linie die Brennstoffkosten der jeweiligen Variante sowie Betriebsstromkosten. Die jährlichen Betriebskosten setzen sich hauptsächlich aus Personalkosten und Wartungskosten zusammen und werden ebenfalls in der Kostenaufstellung berücksichtigt.

Als Summe erhält man die Jahreskosten des Nahwärmeverbundes. Dividiert man diese durch die jährliche Wärmeabnahme, erhält man die Wärmegestehungskosten einer Variante in Euro pro Kilowattstunde. Dies ist eine Kennzahl, welche es möglich macht, verschiedene Varianten einer Wärmeversorgung auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu bewerten und zu vergleichen.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für die einzelnen Varianten dargestellt, die ausführlichen Kostenaufstellungen und Berechnungen sind im Anhang nachzulesen.

## **4.2 Variante 1a**

Die Variante 1a beinhaltet die kleine Netzvariante mit 15 Objekten und der Feuerung mit Holzhackschnitzeln. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt nach der oben beschriebenen Methodik. Tabelle 4 zeigt zusammengefasst eine Aufstellung der gesamten Investitionskosten. Wie man sehen kann, entfällt der größte Posten der auf

die Verlegung des Rohrleitungsnetzes, was bei allen betrachteten Varianten der Fall ist. Einen großen Anteil macht außerdem die Biomasseheizanlage in den Investitionen aus. Das liegt insbesondere an der umfangreichen peripheren Technik, welche bei einer Ölheizung nicht notwendig ist.

<i>Investitionskosten Variante 1a</i>		
Posten		Betrag [€]
Kosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast		163.980,00
Kosten Abgasanlage		3.928,00
Kosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1		14.796,00
Kosten Ölkessel 140 kW Spitzenlast 2		8.760,00
Weitere Kosten Heizungsanlage		49.070,00
Baukosten Heizzentrale		28.120,00
Kosten Brennstofflager		24.344,91
Kosten Rohrnetz		323.964,07
Kosten Hausübergabestationen		70.133,00
<b>Summe</b>		<b>687.095,98</b>
Sonstiges	5%	34.354,80
Planungskosten ohne Netz	15%	54.469,79
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>		<b>775.920,57</b>

Tabelle 4: Aufstellung der Investitionskosten Variante 1a

Die Investitionskosten werden nach der Annuitätenmethode in Jahreskosten über 20 Jahre aufgeteilt. Es wird von einem zinsgünstigen Kredit der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) ausgegangen. Danach werden Vorhaben zur Nutzung erneuerbarer Energien durch einen vergünstigten Zinssatz von 4 % gefördert. Die Berechnung in Tabelle 5 zeigt, dass die Investitionskosten - mit einem Annuitätenfaktor von gerundet 0,074 multipliziert - jährliche Kapitalkosten von 57.093,59 € über eine Laufzeit von 20 Jahren zur Folge haben.

<i>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</i>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	775.920,57	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
<b>Kapitalkosten</b>				<b>57.093,59</b>

Tabelle 5: Berechnung der Kapitalkosten Variante 1a

Zu den jährlichen Kapitalkosten werden die Verbrauchskosten für Holzhackschnitzel, Öl und Strom sowie die Betriebskosten der gesamten Heizzentrale addiert.

<i>Errechnung der Jahreskosten</i>	
Kapitalkosten	57.093,59 €/a
Verbrauchskosten	40.234,08 €/a
Betriebskosten	25.500,86 €/a
<b>Summe = Jahreskosten</b>	<b>122.828,53 €/a</b>

Tabelle 6: Jahreskosten Variante 1a

Für die Berechnung wurde ein Preis für die Holzhackschnitzel von 12 €/Srm (0,015 €/kWh) und ein Ölpreis von 55 Ct/l (0,055 €/kWh) angenommen. Der angegebene Preis für die Holzhackschnitzel liegt etwa nur bei der Hälfte des aktuellen Marktpreises. Dies berücksichtigt die Annahme, dass die HHS mindestens zur Hälfte aus Grünschnitt der Landschaftspflege durch die Gemeinde bereitgestellt werden kann. Der übrige Bedarf kann vom Gemeindeforst zugekauft werden.

Schließlich werden zur Bestimmung der Wärmegestehungskosten nach Steuern die Jahreskosten (zzgl. Umsatzsteuer) durch den jährlichen Nutzenergiebedarf dividiert. Diese Berechnung ist in Tabelle 7 dargestellt. Die Abweichung der Jahreskosten zu Tabelle 6 wird dadurch erklärt, dass eine Umsatzsteuer von 7 % auf die Holzhackschnitzel und von 19 % auf die übrigen Kosten veranschlagt wurde. Eine detaillierte Berechnungstabelle zur Wirtschaftlichkeit der einzelnen Varianten befindet sich im Anhang.

<b>Jahreskosten</b>	<b>143.849,40</b>	<b>€/a</b>
/		
<b>Nutzenergiebedarf</b>	<b>1.266.210</b>	<b>kWh/a</b>
=		
<b>Wärmegestehungskosten</b>	<b>0,1136</b>	<b>€/kWh</b>

Tabelle 7: Wärmegestehungskosten Variante 1a

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Variante 1a sind somit theoretische Wärmegestehungskosten von 11,36 Ct/kWh.

In diesem Wert sind alle für die Errichtung des Nahwärmenetzes anfallenden Kosten enthalten und er dient zum Vergleich mit den nachstehenden Varianten.

In den Berechnungen wurden für alle zentralen Varianten 2 Möglichkeiten berücksichtigt, um Kosten einzusparen.

Zum einen gibt die KfW einen Zuschuss als Schuldenerlass bei der Finanzierung von umweltschonenden Projekten. Der Zuschuss beinhaltet für eine Biomasseheizanlage einen Schuldenerlass von 24 €/kW installierter Leistung und für die Errichtung eines Nahwärmenetz zusätzlich 50 €/m Trassenleitung, falls eine Rohrnetzkenzahl von mindestens 1,5 MWh/m\*a erreicht wird. Nach dieser Studie wird für die kleine Netzvariante diese Bedingung mit 1,4 MWh/m\*a knapp verfehlt.

Eine zweite Möglichkeit, laufende Kosten durch zusätzliche Einnahmen zu senken ist der Verkauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, falls eine Umsetzung an wirtschaftlichen Gründen scheitern würde. Es besteht die Möglichkeit einen jährlichen Erlös von 5 €/t eingespartem Kohlendioxid zu erzielen. Diese Möglichkeit wurde ebenfalls in den Berechnungen berücksichtigt.

<i>Wärmegestehungskosten</i>	
herkömmlich	11,36 Ct/kWh
bei KfW-Zuschuss	11,31 Ct/kWh
bei Zertifikatserlösen	11,22 Ct/kWh
bei Zertifikatserlösen und KfW-Zuschuss	11,17 Ct/kWh

Tabelle 8: Möglichkeiten der Kosteneinsparung

Wie Tabelle 8 zeigt, wirken sich diese Einsparpotenziale nur sehr geringfügig auf die

Wärmegestehungskosten aus. Die Auswirkungen auf die Jahreskosten sind dem Anhang zu entnehmen.

### **4.3 Variante 1b**

Die Variante 1b beinhaltet ein kleines Nahwärmenetz mit 15 Objekten und eine Feuerung mit Holzpellets. Die Berechnung erfolgt analog zu Variante 1a. Eine Zusammensetzung sämtlicher Kosten und der Berechnung ist im Anhang nachzuvollziehen. Im Ergebnis sind die Wärmegestehungskosten mit 13,12 Ct/kWh fast 2 Ct teurer als bei der Variante mit Holzhackschnitzel. Die Investitionskosten sind zwar geringer, aber die spezifischen Brennstoffkosten für die Holzpellets sind deutlich höher, und können nicht mit den günstigen HHS-Preisen konkurrieren. Es wurde ein handelsüblicher Preis für die Holzpellets von 200 €/t angenommen.

### **4.4 Variante 2a**

Die Variante 2a soll Holzhackschnitzel als Brennstoff nutzen. Es wurde ein etwas höherer Mischpreis als in Variante 1a zugrunde gelegt, da der Grünschnittanteil für die große Variante etwas geringer ausfallen wird. Daher wurde ein Preis für die HHS von 16 €/Srm (0,020 €/kWh) angenommen. Die Methodik zur Berechnung der Wärmegestehungskosten bleibt unverändert und liefert für diese Variante Wärmegestehungskosten von 9,84 Ct/kWh. Zwar sind alle Kosten deutlich höher als bei den kleinen Varianten, allerdings ist der Nutzenergiebedarf ebenfalls höher, sodass die Wärmegestehungskosten insgesamt sinken. Der Mehraufwand für Hausanschlussleitungen, eine größere Heizzentrale und steigenden Brennstoffbedarf ist relativ gering, verglichen mit der größeren Wärmeabnahme durch gestiegene Netzteilnehmerzahl. Ein Schuldenerlass der KfW würde den Wärmepreis auf 9,51 Ct/kWh senken, der Verkauf von Zertifikaten auf 9,71 Ct/kWh. Können beide Einsparmöglichkeiten realisiert werden, beträgt der Wärmepreis noch 9,38 Ct/kWh.

### **4.5 Variante 2b**

Variante 2b steht für eine große Netzvariante mit Holzpellets als Brennstoff.

Die Wärmegestehungskosten der Holzpelletvariante sind auch bei der großen Netzalternative mit 11,60 Ct/kWh höher als bei der Variante 2a mit Holzhackschnitzel. Eine Zusammenfassung aller zentralen Varianten mit den Einsparmöglichkeiten durch einen KfW-Zuschuss und den Zertifikatverkauf findet sich tabellarisch unter

4.7.

## **4.6 Reverenzvarianten**

Um die zentralen Lösungen mit Biomassenutzung bewerten und vergleichen zu können, wurden exemplarisch 2 Reverenzvarianten mit einer dezentralen Ölheizung untersucht. Dazu wurden die Kosten für eine Heizungssanierung ermittelt und mithilfe der Annuitätenmethode auf die Jahreskosten umgelegt. Das heißt, es wurde nach der gleichen Methodik wie unter 4.1 beschrieben vorgegangen. Allerdings wurde zur Berechnung des Annuitätenfaktors von einem Zinssatz von 6 % ausgegangen, da man für eine herkömmliche Heizungssanierung von marktüblichen Kreditzinsen ausgehen muss.

Die 2 Reverenzvarianten sind im Einzelnen

- die Sanierung eines Einfamilienhauses und
- die Sanierung eines großen Objektes

mit je einer neuen Ölheizung

### **4.6.1 Reverenzvariante: Einfamilienhaus**

Für die Sanierung eines Einfamilienhauses wurde von einem jährlichen Nutzenergiebedarf von 35.000 kWh ausgegangen. Dies entspricht einer Menge von 3.500 Litern Heizöl. Zur Bereitstellung des Wärmebedarfes wurde ein Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 20 kW betrachtet. Eine Aufstellung der Investitionskosten ist in Tabelle 9 dargestellt.

Posten	Betrag [€]
Demontage	400,00
Kessel inkl. Warmwasserbereitung	6.200,00
Öltank	1.200,00
Montagekosten	750,00
Schornsteinsanierung	1.200,00
Boilerladepumpe	150,00
Zirkulationspumpe	95,00
Heizkreispumpe	150,00
Ausdehnungsgefäß	196,00
Sicherheitsgruppe	114,00
Verrohrung Heizzentrale	300,00
Brauchwassermischer	56,00
<b>Gesamtkosten Heizungsanlage</b>	<b>10.811,00</b>

Tabelle 9: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus

Die Investitionskosten wurden mithilfe der Annuitätenmethode auf jährliche Kapitalkosten umgerechnet. Eine Auflistung der verschiedenen Jahreskosten, des Nutzenergiebedarfes sowie der resultierenden Wärmegestehungskosten der Reverenzvariante Einfamilienhaus ist in Tabelle 10 dargestellt.

Investitionskosten	10.811,00 €
Kapitalkosten	942,55 €/a
Verbrauchskosten	2.117,50 €/a
Betriebskosten	419,83 €/a
Jahreskosten	3.479,88 €/a
Nutzenergiebedarf	35.000,00 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	9,94 Ct/kWh
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>	<b>11,83 Ct/kWh</b>

Tabelle 10: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus

Der Ölpreis zur Ermittlung der Verbrauchskosten wurde für beide Reverenzvarianten mit 55 Ct/l angesetzt. Man kann an der Kostenaufstellung gut erkennen, dass die Kosten zwar deutlich geringer sind als bei den zentralen Varianten, sich dies aber

nicht positiv auf die Wärmegestehungskosten auswirkt, da der Nutzenergiebedarf ebenfalls um ein Vielfaches geringer ist.

#### 4.6.2 Reverenzvariante: großes Objekt

Als zweite Reverenzvariante wurde die Heizungssanierung eines größeren Objekts mit einem jährlichen Ölverbrauch von 10.000 Litern (100.000 kWh) betrachtet. Es wird eine Kesselleistung von 50 kW angenommen. Tabelle 11 zeigt alle Kosten mit dem Nutzenergiebedarf zusammengefasst.

Investitionskosten	18.147,00 €
Kapitalkosten	1.582,14 €/a
Verbrauchskosten	6.600,00 €/a
Betriebskosten	715,70 €/a
Jahreskosten	8.897,84 €/a
Nutzenergiebedarf	100.000,00 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	8,90 Ct/kWh
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>	<b>10,59 Ct/kWh</b>

Tabelle 11: Wärmegestehungskosten große Reverenzvariante

Durch die größere Wärmeabnahme sind die Wärmegestehungskosten um 1,2 Cent gegenüber der kleineren Reverenzvariante gesunken und sind somit derzeit günstiger als die zentralen Varianten.

#### 4.7 Zusammenfassung

Insgesamt wurden 4 zentrale Varianten mit Biomassefeuerung und 2 dezentrale Varianten mit einer Sanierung der Ölheizungsanlage betrachtet. Im Weiteren sollen die zentralen Varianten untereinander, und mit den dezentralen Varianten verglichen werden. Dazu zeigt Tabelle 12 die Kosten der Holzalternativen in einer Übersicht.

Zentrale Varianten	Variante 1 HHS	Variante 1 Pellets	Variante 2 HHS	Variante 2 Pellets
Nutzenergiebedarf [kWh/a]	1.266.210 kWh/a		2.453.363 kWh/a	
Investitionskosten	775.920,57 €	742.658,23 €	1.150.457,31 €	1.113.409,38 €
Kapitalkosten	57.093,59 €/a	54.646,09 €/a	84.652,66 €/a	81.926,61 €/a
Verbrauchskosten	40.234,08 €/a	72.408,48 €/a	90.424,09 €/a	140.296,04 €/a
Betriebskosten	25.500,86 €/a	17.762,26 €/a	32.721,55 €/a	26.911,09 €/a
Jahreskosten	122.828,53 €/a	144.816,83 €/a	207.798,30 €/a	249.133,74 €/a
Wärmepreis netto	9,70 Ct/kWh	11,44 Ct/kWh	8,47 Ct/kWh	10,15 Ct/kWh
<b>Wärmepreis brutto</b>	<b>11,36 Ct/kWh</b>	<b>13,12 Ct/kWh</b>	<b>9,84 Ct/kWh</b>	<b>11,60 Ct/kWh</b>
Wärmepreis brutto bei KfW-Zuschuss	11,31 Ct/kWh	13,07 Ct/kWh	9,51 Ct/kWh	11,27 Ct/kWh
Wärmepreis brutto bei Zertifikatverkauf	11,22 Ct/kWh	12,98 Ct/kWh	9,71 Ct/kWh	11,47 Ct/kWh
Wärmepreis brutto bei KfW-Zuschuss und Zertifikatverkauf	11,17 Ct/kWh	12,93 Ct/kWh	9,38 Ct/kWh	11,14 Ct/kWh

Tabelle 12: Wärmegestehungskosten zentrale Varianten

Im Vergleich der Varianten lässt sich feststellen, dass 2a unter den derzeitigen Preisbedingungen mit 9,84 Ct/kWh die wirtschaftlichste darstellt. Allerdings ist dies, die Umsetzung betreffend, keine sehr wahrscheinliche Variante, da das große Netz nur eine hypothetische Erweiterung darstellt. Eine der kleinen Varianten ist eher wahrscheinlich, da deren Analysen auf tatsächlichen Umfragen der Gebäudeeigentümer beruhen. Hier ist die Variante 1a (HHS) mit 11,36 Ct/kWh die günstigere, was an den geringen Kosten für die Holzhackschnitzel liegt. Das Holz hierfür könnte aus der Landschaftspflege der Gemeinde oder aus dem umliegenden Forst bezogen werden. Dies würde zusätzlich die regionale Wertschöpfung erhöhen, da die Gelder für den Brennstoff nicht aus der Region abfließen.

Die Pelletvarianten sind durch den höheren Brennstoffpreis teurer, bieten aber den Vorteil eines vollautomatischen Betriebes der Anlage. Dieser Vorteil würde aber den höheren Preis der Variante 1b nicht rechtfertigen.

Die Einsparpotenziale machen sich besonders bei den großen Varianten bemerkbar, da dort der KfW-Zuschuss in voller Höhe gewährt werden kann. Die kleinen Varianten erreichen keine ausreichend hohe Rohrnetzkenzahl, wodurch sich die Förderung weniger deutlich bemerkbar macht.

Tabelle 13 zeigt zusammengefasst die 2 Reverenzvarianten, um diese mit den zentralen Lösungen im Nahwärmeverbund vergleichen zu können.

<i>Reverenzvarianten</i>	<i>Einfamilienhaus</i>	<i>Großes Objekt</i>
Investitionskosten	10.811,00 €	18.147,00 €
Kapitalkosten	942,55 €/a	1.582,14 €/a
Verbrauchskosten	2.117,50 €/a	6.050,00 €/a
Betriebskosten	419,83 €/a	708,20 €/a
Jahreskosten	3.479,88 €/a	8.340,34 €/a
Nutzenergiebedarf	35.000,00 kWh/a	100.000,00 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	9,94 Ct/kWh	8,34 Ct/kWh
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>	<b>11,83 Ct/kWh</b>	<b>9,93 Ct/kWh</b>

Tabelle 13: Wärmegestehungskosten dezentrale Varianten

Vergleicht man die zentralen Varianten mit den Reverenzvarianten, kann man erkennen, dass die Wärmegestehungskosten für ein Einfamilienhaus bis auf die Variante 1b alle konkurrenzfähig zu einer dezentralen Sanierung mit Ölheizung sind. Anders verhält es sich mit einem größeren Objekt, hier sind die Wärmegestehungskosten der Reverenzvariante mit 9,93 Ct/kWh günstiger als die meisten zentralen Alternativen. Nur die Variante 2a bietet einen besseren Preis.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass die Versorgung mit Wärmeenergie über einen Nahwärmeverbund eine Alternative sein kann, ohne bei den derzeitigen Preisverhältnissen große Einsparungen zu versprechen. Allerdings ist zu vermuten, dass der Ölpreis mittel- und langfristig deutlich zulegen wird, was die Varianten mit Biomassefeuerung verbessern würde. Die zu empfehlende Variante wäre nach dieser Studie die Variante 1a, das kleine Netz mit Biomassefeuerung. Je mehr man sich der Variante 2a annähern wird, das heißt neue Teilnehmer am Trassenverlauf gewinnen könnte, desto günstiger werden die Wärmegestehungskosten insgesamt für alle.

Die sozialen Aspekte eines Nahwärmenetzes sind insbesondere für eine Variante mit Holzhackschnitzel positiv zu bewerten, da nicht nur die Investitionskosten für die Verlegung des Rohrnetzes bei Auftragsvergabe an eine regionale Baufirma Arbeitsplätze sichern, sondern auch die lokale Produktion von HHS neue Arbeitsplätze schaffen

kann und der regionalen Wirtschaft zugute kommt.

Da der Wärmebedarf durch eine der vorgeschlagenen Varianten zukünftig zu 80 % aus regenerativer Biomasse erzeugt wird, könnten durch die Realisierung einer kleinen Variante jährlich 300 t CO<sub>2</sub> eingespart werden. Somit sind es über eine Laufzeit von 20 Jahren 6.000 t CO<sub>2</sub>, welche die Atmosphäre nicht zusätzlich mit dem Treibhausgas belasten würden und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leisten

#### 4.7.1 Sensitivitätsanalyse

Um die zukünftige Kostenentwicklung der verschiedenen Varianten zu prognostizieren, wurde eine Sensitivitätsanalyse für die kommenden 20 Jahren durchgeführt. Untersucht wurden die beiden Reverenzvarianten sowie die zentralen Varianten 1a (HHS) und 1b (Holzpellets). Abbildung 7 zeigt die Kurven der Entwicklung der Wärmeerzeugungskosten. Für alle Varianten sind sämtliche jährlichen Preissteigerungen in folgender Weise enthalten:

- Öl: 9 %/a
- Holz und Stroh: 5 %/a
- Strom: 4,8 %/a
- Preissteigerung der übrigen Kosten: 2 %/a

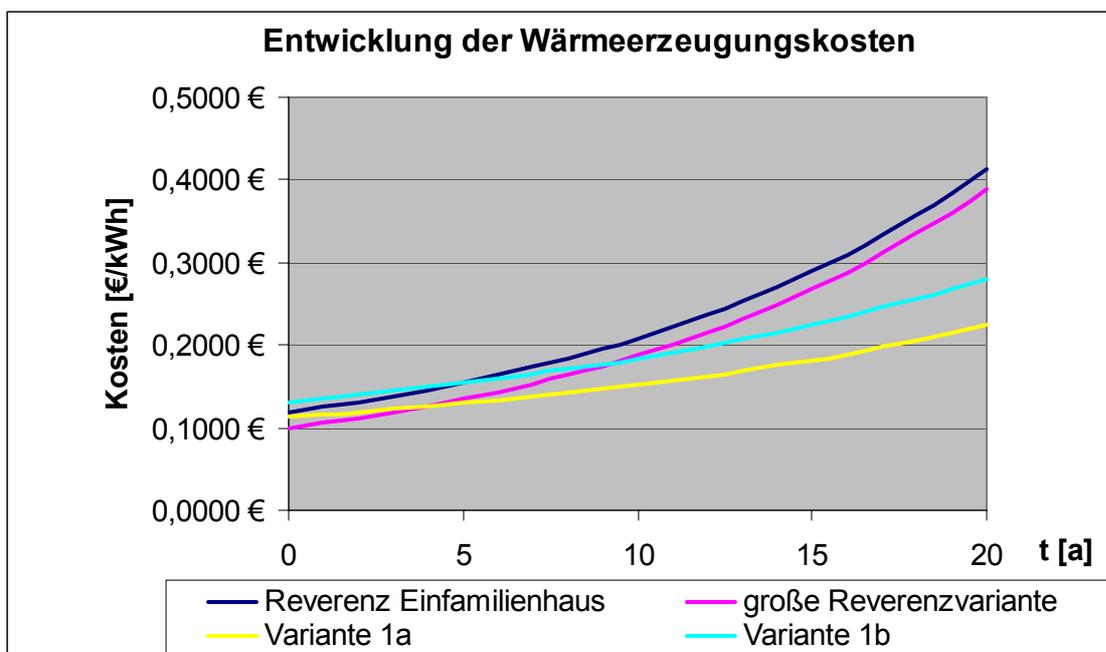


Abbildung 7: Sensitivität der Wärmeerzeugungskosten

Der Verlauf der Kurven zeigt, dass die Wärmeerzeugungskosten in den ersten Jahren recht nahe beieinander liegen, allerdings ist die große Reverenzvariante die günstigste. Man kann aber erkennen, dass spätestens in 4 Jahren die Variante 1a die große Reverenzvariante kreuzt und somit günstiger wird. Nach 10 Jahren wird die große Referenz auch von 1b gekreuzt und entwickelt sich parallel zur kleinen Reverenz steil nach oben.

Der unterschiedliche Kurvenverlauf wird durch den starken Anstieg des Ölpreises verursacht, welcher sich bei den herkömmlichen Lösungen zu einem viel größeren Anteil auf die Erzeugungskosten auswirkt als bei den regenerativen Varianten.

Man sieht, dass selbst bei einem stagnierenden Anstieg des Ölpreises von 9 %/a die dezentralen Varianten in den nächsten 20 Jahren um etwa das vierfache teurer werden und die Holzvarianten nur etwa um das zweifache.

## 5 Anhang

### 5.1 Variante 1a

Investitionskosten Variante 1a				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast				
Artikel			Preis [€]	Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon			63.050,00	63.050,00
Silodeckel, nicht befahrbar			15.720,00	15.720,00
Schubbodenaustragung			15.350,00	15.350,00
Transportanlage			18.260,00	18.260,00
Elektronische Steuerung			17.850,00	17.850,00
Automatische Entaschung			11.070,00	11.070,00
Schlauchfilter			39.080,00	-
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			20.010,00	20.010,00
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast				163.980,00
Investitionskosten Abgasanlage 250 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	228,00	228,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	78,00	78,00
Prüföffnung	1	Stück	167,00	167,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	157,00	157,00
Längenelement 1080 mm	12	Stück	66,00	792,00
Längenelement 540 mm	3	Stück	40,00	120,00
Regenhaube	1	Stück	125,00	125,00
Wandkonsole	2	Stück	71,00	142,00
Wandhalter	4	Stück	50,00	200,00
Bogen 45°	2	Stück	64,00	128,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	17,00	17,00
Russtopf	1	Stück	34,00	34,00
Montage	1	Stück	1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				3.928,00
Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				
Artikel				Betrag [€]
Buderus Kessel mit Brenner "Riello"				10.860,00

Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			2.466,00
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1				14.796,00
<b>Investitionskosten Ölkessel 140 kW Spitzenlast 2</b>				
Artikel				Betrag [€]
Buderus Kessel mit Brenner "Riello"				5.830,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			1.460,00
Gesamtkosten Ölkessel 140 kW Spitzenlast 2				8.760,00
<b>Weitere Kosten Heizungsanlage</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher (6000 l)	1	Stck	5.170,00	5.170,00
Verteilung	2	Stck	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage (1100 l)	1	Stck	4.940,00	4.940,00
Kamine Ölkessel	2	Stck	3.500,00	7.000,00
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		1.500,00	1.500,00
Dreibegeventile	4	Stck	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		1.500,00	1.500,00
Montage	1		8.960,00	8.960,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				49.070,00
<b>Baukosten Heizzentrale</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Haltec Leichtbauhalle (12 x 7 x 5 m³)	1		12.200,00	12.200,00
Montage	1		3.920,00	3.920,00
Elektroarbeiten				6.000,00
Wasseranschluss				6.000,00
Gesamtkosten Heizzentrale				28.120,00
<b>Kosten Brennstofflager</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Brennstoffbunker HHS	54	m³		8.969,91
Erdtank Öl	32	m³		11.500,00
Bodenaushub Erdtank	35	m³	25	875,00

Aufstellung, Montage				2.000,00
Erdarbeiten				1.000,00
<b>Gesamtkosten Brennstofflager</b>				<b>24.344,91</b>
<b>Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung</b>				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	499,00	m		187.322,60
Hausanschlussleitung (PEX)	550,00	m		136.641,48
<b>Gesamtkosten Rohrnetz</b>				<b>323.964,07</b>
<b>Kosten Hausübergabestationen</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20	3	Stck	1.337,00	4.011,00
20-50	4	Stck	1.737,00	6.948,00
50 kW	1	Stck	4.074,00	4.074,00
60 kW	3	Stck	4.163,00	12.489,00
90 kW	1	Stck	5.654,00	5.654,00
110 kW	1	Stck	5.705,00	5.705,00
140 kW	1	Stck	7.266,00	7.266,00
Warmwasserspeicher	14	Stck		23.986,00
<b>Gesamtkosten Hausübergabestationen</b>				<b>70.133,00</b>
<b>Summe</b>				<b>687.095,98</b>
Sonstiges	5%			34.354,80
Planungskosten ohne Netz	15%			54.469,79
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>				<b>775.920,57</b>
KfW-Förderung für Biomasseanlage		24€/kW		-7.200,00
KfW-Förderung für Nahwärmenetz	1,5 Mwh/m*a	50€/m		0,00
<b>Invest bei Förderung</b>				<b>768.720,57</b>

Tabelle 14: Investitionskosten Variante 1a

<b>Wirtschaftlichkeit Variante 1a</b>				
<b>Verbrauchskosten Heizung</b>				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	1.266.210	
Endenergiebedarf		kWh/a	1.608.720	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	321.744	
Heizwert Öl		kWh/l	10	

Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	32.174	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf HHS		kWh/a	1.286.976	
Heizwert HHS		kWh/Srm	800	
Brennstoffbedarf HHS		Srm/a	1.609	
spez. Kosten HHS		€/kWh	0,015	
Jahreskosten Heizöl		€/a		17.695,92
Jahreskosten HHS		€/a		19.304,64
Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	1.608,72
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	450,44
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	241,31
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	933,06
Summe Verbrauchskosten				40.234,08
<b>Betriebskosten</b>				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		2,50%	4.099,50
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				4.349,50
<b>Löhne und Gehälter</b>				
<b>Anlagenbetreuung</b>				
Lohnkosten	€/h		35	
Arbeitszeit	h/a		365,00	
Gesamtkosten				12.775,00 €
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
<b>sonstige Kosten</b>				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	2.229,18
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	4.809,67
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	1.337,51
Summe sonstige Kosten				8.376,36
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				65.734,94
<b>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</b>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	775.920,57	
Zinssatz			4,00%	

Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				57.093,59
Summe Jahreskosten				122.828,53
Umsatzsteuer 19 %				19.669,54
Umsatzsteuer 7 % für HHS				1.351,32
Jahreskosten inkl. USt.				143.849,40
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0970
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1136</b>

### Änderung durch die Berücksichtigung eines KfW-Zuschusses

#### Kapitalgebundene Kosten für die Investition

		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	768.720,57	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				56.563,81
Summe Jahreskosten				122.298,75
Umsatzsteuer 19 %				19.568,88
Umsatzsteuer 7 % für HHS				1.351,32
Jahreskosten inkl. USt.				143.218,95
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0966
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1131</b>

### Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel

#### Erlöse aus dem Verkauf von CO<sub>2</sub>-Emissions-Zertifikaten

		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.085.156,04	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	292,99	
Erlös		€/t	5,00	
Jahreskosten				122.828,53
Summe der Verkaufserlöse				-1.464,96
Summe Jahreskosten				121.363,57
Umsatzsteuer 19 %				19.391,20
Umsatzsteuer 7 % für HHS				1.351,32
Jahreskosten inkl. USt.				142.106,10
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0958
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1122</b>

<b>Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel und KfW-Zuschuss</b>				
<b>Erlöse aus dem Verkauf von CO<sub>2</sub>-Emissions-Zertifikaten</b>				
		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.085.156,04	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	292,99	
Erlös		€/t	5,00	
<b>Jahreskosten</b>				<b>122.298,75</b>
<b>Summe der Verkaufserlöse</b>				<b>-1.464,96</b>
<b>Summe Jahreskosten</b>				<b>120.833,79</b>
<b>Umsatzsteuer 19 %</b>				<b>19.290,54</b>
<b>Umsatzsteuer 7 % für HHS</b>				<b>1.351,32</b>
<b>Jahreskosten inkl. USt.</b>				<b>141.475,65</b>
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0954
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1117</b>

Tabelle 15: Wirtschaftlichkeit Variante 1a

## 5.2 Variante 1b

<b>Investitionskosten Variante 1b</b>				
<b>Investitionskosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast</b>				
Artikel			Preis [€]	Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon			63.050,00	63.050,00
Silodeckel, nicht befahrbar			15.720,00	-
Schneckenaustragung			5.000,00	5.000,00
Transportanlage			18.260,00	18.260,00
Elektronische Steuerung			17.850,00	17.850,00
Automatische Entaschung			11.070,00	11.070,00
Schlauchfilter			39.080,00	-
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			20.010,00	20.010,00
<b>Gesamtkosten Biomasseheizanlage 300 kW Grundlast</b>				<b>137.910,00</b>
<b>Gesamtkosten Abgasanlage</b>	wie bei 1a			<b>3.928,00</b>
<b>Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 1</b>	wie bei 1a			<b>14.796,00</b>
<b>Gesamtkosten Ölkessel 140 kW Spitzenlast 2</b>	wie bei 1a			<b>8.760,00</b>

Gesamtkosten Weitere Kosten	wie bei 1a			49.070,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale	wie bei 1a			28.120,00
Gesamtkosten Rohrnetz	wie bei 1a			323.964,07
Gesamtkosten Hausübergabestationen	wie bei 1a			70.133,00
<b>Kosten Brennstofflager</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pelletlager	54	m³		7.321,29
Erdtank Öl	32	m³		11.500,00
Bodenaushub Erdtank	35	m³	25	875,00
Aufstellung, Montage				2.000,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				22.696,29
Summe				659.377,37
Sonstiges	5%			32.968,87
Planungskosten ohne Netz	15%			50.311,99
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>				<b>742.658,23</b>
KfW-Förderung für Biomasseanlage		24€/kW		-7.200,00
KfW-Förderung für Nahwärmenetz	1,5 Mwh/m*a	50€/m		0,00
<b>Invest bei Förderung</b>				<b>735.458,23</b>

Tabelle 16: Investitionskosten Variante 1b

<b>Wirtschaftlichkeit Variante 1b</b>				
<b>Verbrauchskosten Heizung</b>				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	1.266.210	
Endenergiebedarf		kWh/a	1.608.720	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	321.744	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	32.174	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf Pellets		kWh/a	1.286.976	
Heizwert Pellets		kWh/kg	5	
Brennstoffbedarf Pellets		t/a	257	
spez. Kosten Pellets		€/kWh	0,040	
Jahreskosten Heizöl		€/a		17.695,92
Jahreskosten Pellets		€/a		51.479,03

Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	1.608,72
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	450,44
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	241,31
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	933,06
<b>Summe Verbrauchskosten</b>				<b>72.408,48</b>
<b>Betriebskosten</b>				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	6.559,20
Kaminfeger		€	250,00	250,00
<b>Summe Betriebskosten</b>				<b>6.809,20</b>
<b>sonstige Kosten</b>				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	3.960,88
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	4.615,64
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	2.376,53
<b>Summe sonstige Kosten</b>				<b>10.953,06</b>
<b>Summe Verbrauchs- und Betriebskosten</b>				<b>90.170,73</b>
<b>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</b>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	742.658,23	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
<b>Summe Kapitalgebundene Kosten</b>				<b>54.646,09</b>
<b>Summe Jahreskosten</b>				<b>144.816,83</b>
Umsatzsteuer 19 %				17.734,18
Umsatzsteuer 7 % für Pellets				3.603,53
<b>Jahreskosten inkl. USt.</b>				<b>166.154,54</b>
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1144
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		€/kWh		<b>0,1312</b>
<b>Änderung durch die Berücksichtigung eines KfW-Zuschusses</b>				
<b>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</b>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	735.458,23	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	

Summe Kapitalgebundene Kosten				54.116,30
Summe Jahreskosten				144.287,04
Umsatzsteuer 19 %				17.633,52
Umsatzsteuer 7 % für Pellets				3.603,53
Jahreskosten inkl. USt.				165.524,09
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1140
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1307</b>

### *Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel*

Erlöse aus dem Verkauf von CO <sub>2</sub> -Emissions-Zertifikaten				
		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.085.156,04	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	292,99	
Erlös		€/t	5,00	
Jahreskosten				144.816,83
Summe der Verkaufserlöse				-1.464,96
Summe Jahreskosten				143.351,87
Umsatzsteuer 19 %				17.455,84
Umsatzsteuer 7 % für HHS				3.603,53
Jahreskosten inkl. USt.				164.411,24
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1132
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1298</b>

### *Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel und KfW-Zuschuss*

Erlöse aus dem Verkauf von CO <sub>2</sub> -Emissions-Zertifikaten				
		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.085.156,04	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	292,99	
Erlös		€/t	5,00	
Jahreskosten				144.287,04
Summe der Verkaufserlöse				-1.464,96
Summe Jahreskosten				142.822,08
Umsatzsteuer 19 %				17.355,18
Umsatzsteuer 7 % für HHS				3.603,53
Jahreskosten inkl. USt.				163.780,79
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1128

<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1293</b>
---	--	--------------	--	---------------

Tabelle 17: Wirtschaftlichkeit Variante 1b

### 5.3 Variante 2a

<b>Investitionskosten Variante 2a</b>				
<b>Investitionskosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast</b>				
Artikel			Preis [€]	Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon			88.420,00	88.420,00
Silodeckel, nicht befahrbar			15.720,00	15.720,00
Schubbodenaustragung			18.260,00	18.260,00
Transportanlage			18.260,00	18.260,00
Elektronische Steuerung			18.960,00	18.960,00
Automatische Entaschung			11.070,00	11.070,00
Schlauchfilter			41.350,00	-
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			23.609,00	23.609,00
<b>Gesamtkosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast</b>				<b>196.969,00</b>
<b>Investitionskosten Abgasanlage 350 mm</b>				
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
<b>Gesamtkosten Abgasanlage</b>				<b>5.189,00</b>
<b>Investitionskosten Ölkessel 570 kW Spitzenlast 1</b>				
Artikel				Betrag [€]

Buderus Kessel mit Brenner "Riello"				19.170,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			4.128,00
Gesamtkosten Ölkessel 570 kW Spitzenlast 1				24.768,00
<b>Investitionskosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2</b>				
Artikel				Betrag [€]
Buderus Kessel mit Brenner "Riello"				10.860,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			2.466,00
Gesamtkosten Ölkessel 295 kW Spitzenlast 2				14.796,00
<b>Weitere Kosten Heizungsanlage</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher (12000 l)	1	Stck	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stck	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage (2100 l)	1	Stck	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stck	4.500,00	9.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	35	m	100,00	3.500,00
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				63.501,00
<b>Baukosten Heizzentrale</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Haltec Leichtbauhalle (12 x 7 x 5 m³)	1		12.200,00	12.200,00
Montage	1		3.920,00	3.920,00
Elektroarbeiten				7.500,00
Wasseranschluss				7.500,00
Gesamtkosten Heizzentrale				31.120,00
<b>Kosten Brennstofflager</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Brennstoffbunker HHS	98	m³		13.858,10
Erdtank Öl	66	m³		21.500,00

Bodenaushub Erdtank	70	m³	25	1.750,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
<b>Gesamtkosten Brennstofflager</b>				<b>40.608,10</b>
<b>Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung</b>				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	611,00	m		249.681,21
Hausanschlussleitung (PEX)	975,00	m		222.841,45
<b>Gesamtkosten Rohrnetz</b>				<b>472.522,66</b>
<b>Kosten Hausübergabestationen</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20	39	Stck	1.337,00	52.143,00
20-50	11	Stck	1.737,00	19.107,00
50 kW	1	Stck	4.074,00	4.074,00
60 kW	3	Stck	4.163,00	12.489,00
90 kW	1	Stck	5.654,00	5.654,00
110 kW	1	Stck	5.705,00	5.705,00
140 kW	1	Stck	7.266,00	7.266,00
Warmwasserspeicher	57	Stck		61.868,00
<b>Gesamtkosten Hausübergabestationen</b>				<b>168.306,00</b>
<b>Summe</b>				<b>1.017.779,76</b>
Sonstiges	5%			50.888,99
Planungskosten ohne Netz	15%			81.788,56
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>				<b>1.150.457,31</b>
KfW-Förderung für Biomasseanlage		24€/kW		-13.200,00
KfW-Förderung für Nahwärmenetz	1,5 Mwh/m*a	50€/m		-79.300,00
<b>Invest bei Förderung</b>				<b>1.057.957,31</b>

Tabelle 18: Investitionskosten Variante 2°

<b>Wirtschaftlichkeit Variante 2a</b>				
<b>Verbrauchskosten Heizung</b>				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.453.363	
Endenergiebedarf		kWh/a	3.116.997	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	623.399	

Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	62.340	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf HHS		kWh/a	2.493.598	
Heizwert HHS		kWh/Srm	800	
Brennstoffbedarf HHS		Srm/a	3.117	
spez. Kosten HHS		€/kWh	0,020	
Jahreskosten Heizöl		€/a		34.286,97
Jahreskosten HHS		€/a		49.871,95
Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	3.117,00
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	872,76
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	467,55
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	1.807,86
Summe der Verbrauchskosten				90.424,09
<b>Betriebskosten</b>				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		2,50%	4.924,23
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				5.174,23
<b>Löhne und Gehälter</b>				
<b>Anlagenbetreuung</b>				
Lohnkosten	€/h		35	
Arbeitszeit	h/a		365,00	
Gesamtkosten				12.775,00 €
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
<b>sonstige Kosten</b>				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	4.779,92
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	7.124,46
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	2.867,95
Summe sonstige Kosten				14.772,32
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				123.145,64
<b>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</b>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	1.150.457,31	

Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				84.652,66
Summe Jahreskosten				207.798,30
Umsatzsteuer 19 %				30.006,01
Umsatzsteuer 7 % für HHS				3.491,04
Jahreskosten inkl. USt.				241.295,34
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0847
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,0984</b>

### Änderung durch die Berücksichtigung eines KfW-Zuschusses

#### Kapitalgebundene Kosten für die Investition

		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	1.057.957,31	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				77.846,35
Summe Jahreskosten				200.991,99
Umsatzsteuer 19 %				28.712,81
Umsatzsteuer 7 % für HHS				3.491,04
Jahreskosten inkl. USt.				233.195,83
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0819
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,0951</b>

### Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel

#### Erlöse aus dem Verkauf von CO<sub>2</sub>-Emissions-Zertifikaten

		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.952.631,26	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	527,21	
Erlös		€/t	5,00	
Summe Jahreskosten				207.798,30
Summe der Verkaufserlöse				-2.636,05
Summe Jahreskosten				205.162,25
Umsatzsteuer 19 %				29.505,16
Umsatzsteuer 7 % für HHS				3.491,04
Jahreskosten inkl. USt.				238.158,44
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0836

<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,0971</b>
<b>Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel und KfW-Zuschuss</b>				
Erlöse aus dem Verkauf von CO <sub>2</sub> -Emissions-Zertifikaten				
		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizöl- verbrauch		kWh	1.952.631,26	
Eingesparte CO <sub>2</sub> - Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> - Emissionen		t	527,21	
Erlös		€/t	5,00	
<b>Summe Jahreskosten</b>				<b>200.991,99</b>
<b>Summe der Verkaufserlöse</b>				<b>-2.636,05</b>
<b>Summe Jahreskosten</b>				<b>198.355,93</b>
<b>Umsatzsteuer 19 %</b>				<b>28.211,96</b>
<b>Umsatzsteuer 7 % für HHS</b>				<b>3.491,04</b>
<b>Jahreskosten inkl. USt.</b>				<b>230.058,93</b>
<b>Wärmegestehungskosten netto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,0809</b>
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,0938</b>

Tabelle 19: Wirtschaftlichkeit Variante 2a

## 5.4 Variante 2b

<b>Investitionskosten Variante 2b</b>				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast				
Artikel			Preis [€]	Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon			88.420,00	88.420,00
Silodeckel, nicht befahrbar			15.720,00	-
Schneckenaustragung			6.000,00	6.000,00
Transportanlage			18.260,00	18.260,00
Elektronische Steuerung			18.960,00	18.960,00
Automatische Entaschung			11.070,00	11.070,00
Schlauchfilter			41.350,00	-
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			23.609,00	23.609,00
<b>Gesamtkosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast</b>				<b>168.989,00</b>
<b>Gesamtkosten Abgasanlage</b>	wie bei HHS			<b>5.189,00</b>
<b>Gesamtkosten Ölkessel 570 kW Spit- zenlast 1</b>	wie bei HHS			<b>24.768,00</b>

Gesamtkosten Ölkessel 240 kW Spitzenlast 2	wie bei HHS			14.796,00
Gesamtkosten Weitere Kosten	wie bei HHS			63.501,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale	wie bei HHS			31.120,00
Gesamtkosten Rohrnetz	wie bei HHS			472.522,66
Gesamtkosten Hausübergabestationen	wie bei HHS			168.306,00
<b>Kosten Brennstofflager</b>				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pelletlager	98	m³		10.964,82
Erdtank Öl	66	m³		21.500,00
Bodenaushub Erdtank	70	m³	25	1.750,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				37.714,82
Summe				986.906,48
Sonstiges	5%			49.345,32
Planungskosten ohne Netz	15%			77.157,57
<b>Gesamtinvestitionskosten</b>				<b>1.113.409,38</b>
KfW-Förderung für Biomasseanlage		24€/kW		-13.200,00
KfW-Förderung für Nahwärmenetz	1,5 Mwh/m*a	50€/m		-79.300,00
<b>Invest bei Förderung</b>				<b>1.020.909,38</b>

Tabelle 20: Investitionskosten Variante 2b

<b>Wirtschaftlichkeit Variante 2b</b>				
<b>Verbrauchskosten Heizung</b>				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.453.363	
Endenergiebedarf		kWh/a	3.116.997	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	623.399	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	62.340	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf Pellets		kWh/a	2.493.598	
Heizwert Pellets		kWh/kg	5	
Brennstoffbedarf Pellets		t/a	499	
spez. Kosten Pellets		€/kWh	0,040	

Jahreskosten Heizöl		€/a		34.286,97
Jahreskosten Pellets		€/a		99.743,91
Betriebsstromkosten Biomassekessel		€/MWh	1,25	3.117,00
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	872,76
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	467,55
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	1.807,86
Summe der Verbrauchskosten				140.296,04
<b>Betriebskosten</b>				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	7.878,76
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				8.128,76
<b>sonstige Kosten</b>				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	7.421,24
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	6.908,35
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	4.452,74
Summe sonstige Kosten				18.782,33
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				167.207,13
<b>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</b>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	1.113.409,38	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				81.926,61
Summe Jahreskosten				249.133,74
Umsatzsteuer 19 %				28.384,07
Umsatzsteuer 7 % für Pellets				6.982,07
Jahreskosten inkl. USt.				284.499,88
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1015
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1160</b>
<b>Änderung durch die Berücksichtigung eines KfW-Zuschusses</b>				
<b>Kapitalgebundene Kosten für die Investition</b>				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	1.020.909,38	

Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				75.120,30
Summe Jahreskosten				242.327,43
Umsatzsteuer 19 %				27.090,87
Umsatzsteuer 7 % für Pellets				6.982,07
Jahreskosten inkl. USt.				276.400,37
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0988
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1127</b>
<b>Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel</b>				
Erlöse aus dem Verkauf von CO <sub>2</sub> -Emissions-Zertifikaten				
		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.952.631,26	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	527,21	
Erlös		€/t	5,00	
Summe Jahreskosten				249.133,74
Summe der Verkaufserlöse				-2.636,05
Summe Jahreskosten				246.497,69
Umsatzsteuer 19 %				27.883,22
Umsatzsteuer 7 % für HHS				6.982,07
Jahreskosten inkl. USt.				281.362,98
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1005
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1147</b>
<b>Änderung durch die Berücksichtigung des Erlöses aus Emissionshandel und KfW-Zuschuss</b>				
Erlöse aus dem Verkauf von CO <sub>2</sub> -Emissions-Zertifikaten				
		Einheit	Menge	Betrag [€/a]
Eingesparter Heizölverbrauch		kWh	1.952.631,26	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		kg/kWh	0,27	
Eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen		t	527,21	
Erlös		€/t	5,00	
Summe Jahreskosten				242.327,43
Summe der Verkaufserlöse				-2.636,05
Summe Jahreskosten				239.691,38
Umsatzsteuer 19 %				26.590,02
Umsatzsteuer 7 % für HHS				6.982,07
Jahreskosten inkl. USt.				273.263,47
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0977

<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1114</b>
---	--	--------------	--	---------------

Tabelle 21: Wirtschaftlichkeit Variante 2b

## 5.5 Reverenzvariante: Einfamilienhaus

<b>Investitionskosten Ölheizung Einfamilienhaus 20 kW</b>			
	Menge	Preis pro Einheit	Preis (netto)
Demontage	1	400,00 €	400,00 €
Kessel inkl. Warmwasserbereitung	1	6.200,00 €	6.200,00 €
Öltank	1	1.200,00 €	1.200,00 €
Montagekosten	1	750,00 €	750,00 €
Schornsteinsanierung	1	1.200,00 €	1.200,00 €
Boilerladepumpe	1	150,00 €	150,00 €
Zirkulationspumpe	1	95,00 €	95,00 €
Heizkreispumpe	1	150,00 €	150,00 €
Ausdehnungsgefäß	1	196,00 €	196,00 €
Sicherheitsgruppe	1	114,00 €	114,00 €
Verrohrung Heizzentrale	1	300,00 €	300,00 €
Brauchwassermischer	1	56,00 €	56,00 €
<b>Gesamtkosten Heizungsanlage</b>			<b>10.811,00 €</b>

Tabelle 22: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus

<b>Wirtschaftlichkeit Ölheizung Einfamilienhaus</b>				
<b>Kapitalgebundene Kosten pro Jahr</b>				
Ausgangsdaten	Zeichen	Einheit		
Realer Zinssatz	$i_1$		6,00%	
Betrachtungsdauer	$t$		20	
Annuitätenfaktor	$i * (1+i)^t / ((1+i)^t - 1)$		0,087	
Investition			10.811,00 €	
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr		€/a		942,55
<b>Verbrauchskosten Heizung</b>				
Endenergiebedarf		kWh/a	38.500	
Nutzenergiebedarf		kWh/a	35.000	

Brennstoffbedarf fossil		kWh/a	38.500	
Spez. Brennstoffkosten fossil		€/kWh	0,055	
Kosten Öl		€/a		2.117,50
Summe Verbrauchskosten		€/a		2.117,50
<b>Betriebskosten</b>				
Instandhaltung und Wartung	2,50%	€/a		270,28
Kaminfeger		€/a		45,00
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	28,88
Summe Betriebskosten		€/a		344,15
<b>sonstige Kosten</b>				
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition	0,70%		75,68
Summe sonstige Kosten		€/a		75,68
Jahreskosten gesamt		€/a		3.479,88
Umsatzsteuer		19,00%		661,18
Jahreskosten inkl. Ust.				4.141,06
Wärmegestehungskosten netto				0,0994
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,1183</b>

Tabelle 23: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Einfamilienhaus

## 5.6 Reverenzvariante: großes Objekt

<i>Investitionskosten großes Objekt 50 kW</i>			
	Menge	Preis pro Einheit	Preis (netto)
Demontage	1	600,00 €	600,00 €
Kessel, Brenner und Regelgerät	1	4.300,00 €	4.300,00 €
Montagekosten Kessel	1	1.200,00 €	1.200,00 €
Warmwasserspeicher	1	1.420,00 €	1.420,00 €
Verbindung Kessel - WWS	1	366,00 €	366,00 €
Ölbatterietank 12.000 l	1	6.800,00 €	6.800,00 €

Montagekosten Tank	1	300,00 €	300,00 €
Schornsteinsanierung	1	1.500,00 €	1.500,00 €
Boilerladepumpe	1	175,00 €	175,00 €
Zirkulationspumpe	1	95,00 €	95,00 €
Heizkreispumpe	3	175,00 €	525,00 €
Ausdehnungsgefäß	1	196,00 €	196,00 €
Sicherheitsgruppe	1	114,00 €	114,00 €
Verrohrung Heizzentrale	1	500,00 €	500,00 €
Brauchwassermischer	1	56,00 €	56,00 €
<b>Gesamtkosten Heizungsanlage</b>			<b>18.147,00 €</b>

Tabelle 24: Investitionskosten Reverenzvariante großes Objekt

<i>Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Ölheizung großes Objekt</i>				
<b>Kapitalgebundene Kosten pro Jahr</b>				
Ausgangsdaten	Zeichen	Einheit		
Realer Zinssatz	$i_1$		6,00%	
Betrachtungsdauer	$t$		20	
Annuitätenfaktor	$i \cdot \frac{(1+i)^t}{((1+i)^t - 1)}$		0,087	
Investition			18.147,00 €	
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr				1.582,14
<b>Verbrauchskosten Heizung</b>				
Endenergiebedarf		kWh/a	110.000	
Nutzenergiebedarf		kWh/a	100.000	
Brennstoffbedarf fossil		kWh/a	110.000	
Spez. Brennstoffkosten fossil		€/kWh	0,055	
Kosten Öl		€/a		6.050,00
Gesamtkosten		€/a		6.050,00
<b>Betriebskosten</b>				
Instandhaltung und Wartung	2,50%			453,68
Kaminfeger		€		45,00

Betriebsstromkosten Öl- kessel		€/MWh	0,75	82,50
Summe Betriebskosten		€/a		581,18
<b>sonstige Kosten</b>				
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition	0,70%		127,03
Summe sonstige Kosten		€/a		127,03
Jahreskosten gesamt		€/a		8.340,34
Umsatzsteuer		19,00%		1.584,67
Jahreskosten inkl Ust				9.925,01
Wärmeerzeugungskosten netto				0,0834
<b>Wärmegestehungskosten brutto</b>		<b>€/kWh</b>		<b>0,0993</b>

Tabelle 25: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante großes Objekt

