



**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 Hermeskeil auf Basis der Holz-, Energiekorn-
und Strohnutzung**

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	6
1.1 Ist-Analyse	6
2 Soll-Konzept	8
2.1 Vorstellung der Varianten	8
3 Technische Auslegung	9
3.1 Variante 1	10
3.1.1 Auslegung der Heizzentrale	11
3.1.2 Auslegung des Leitungsnetzes	14
3.1.3 Auslegung der Hausübergabestationen	16
3.1.4 Brennstoffvarianten und Kessel	16
3.2 Variante 2	19
3.2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs	20
3.2.2 Auslegung der Heizzentrale	21
3.2.3 Auslegung des Leitungsnetzes	22
3.2.4 Auslegung der Hausübergabestationen	22
3.2.5 Brennstoffvarianten und Kessel	23
4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	24
4.1 Methodik	24
4.2 Variante 1a	25
4.3 Variante 1b	27
4.4 Variante 1c	28
4.5 Variante 2a	29
4.6 Variante 2b	30
4.7 Reverenzvarianten	30
4.7.1 Reverenzvariante: Einfamilienhaus	31
4.7.2 Reverenzvariante: Hotel Jakobs	32
4.7.3 Reverenzvariante: Altenzentrum	33
4.8 Vergleich der Varianten	33
4.8.1 Sensitivitätsanalyse	36
5 Anhang	38

5.1	Variante 1a.....	38
5.2	Variante 1b.....	42
5.3	Variante 1c.....	46
5.4	Variante 2a.....	50
5.5	Variante 2b.....	54
5.6	Reverenzvariante: Einfamilienhaus.....	58
5.7	Reverenzvariante: Hotel Jakobs.....	59
5.8	Reverenzvariante: Altenzentrum.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vorläufiger Lageplan.....	9
Abbildung 2: Lageplan Variante 1.....	11
Abbildung 3: Jahresdauerlinie	12
Abbildung 4: Schema der Heizzentrale	13
Abbildung 5: zukünftiger Standort für die Heizzentrale	14
Abbildung 6: Beispiel einer Hausübergabestation	16
Abbildung 7: Lageplan Variante 2.....	20
Abbildung 8: Sensitivität der Wärmeerzeugungskosten	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: 14 vorläufige Objekte für einen Nahwärmeverbund	7
Tabelle 2: Herleitung der Varianten	9
Tabelle 3: 9 betrachtete Objekte für einen kleinen Nahwärmeverbund	10
Tabelle 4: Gebäudeliste Variante 2	21
Tabelle 5: Aufstellung der Investitionskosten Variante 1a	26
Tabelle 6: Berechnung der Kapitalkosten Variante 1a.....	26
Tabelle 7: Jahreskosten Variante 1a	27
Tabelle 8: Wärmegestehungskosten Variante 1a	27
Tabelle 9: Wärmegestehungskosten Variante 1b	28
Tabelle 10: Wärmegestehungskosten Variante 1c	29
Tabelle 11: Wärmegestehungskosten Variante 2a	29
Tabelle 12: Wärmegestehungskosten Variante 2b	30
Tabelle 13: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus	31
Tabelle 14: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus	32
Tabelle 15: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Hotel	32
Tabelle 16: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Altenzentrum	33
Tabelle 17: Wärmegestehungskosten zentrale Varianten	34
Tabelle 18: Wärmegestehungskosten dezentrale Varianten	35
Tabelle 19: Investitionskosten Variante 1a	40
Tabelle 20: Wirtschaftlichkeit Variante 1a.....	42
Tabelle 21: Investitionskosten Variante 1b	44
Tabelle 22: Wirtschaftlichkeit Variante 1b.....	46
Tabelle 23: Investitionskosten Variante 1c	48
Tabelle 24: Wirtschaftlichkeit Variante 1c.....	50
Tabelle 25: Investitionskosten Variante 2a	52
Tabelle 26: Wirtschaftlichkeit Variante 2a.....	54
Tabelle 27: Investitionskosten Variante 2b	56
Tabelle 28: Wirtschaftlichkeit Variante 2b.....	58
Tabelle 29: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus	58
Tabelle 30: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Einfamilienhaus	59
Tabelle 31: Investitionskosten Reverenzvariante Hotel	60
Tabelle 32: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Hotel.....	60

Tabelle 33: Investitionskosten Reverenzvariante Altenzentrum	61
Tabelle 34: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Altenzentrum	62

1 Ausgangssituation

Das Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS) wurde beauftragt die technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines Nahwärmenetzes auf Basis einer Biomasse-Heizanlage in der Gemeinde Hermeskeil zu untersuchen. Grundlage der Studie ist die Idee der Familie Eiden einen Nahwärmeverbund auf Basis der Biomassenutzung zu errichten, um mit selbst produzierten Rohstoffen Wärme zu liefern. Die Familie Eiden unterhält einen landwirtschaftlichen Betrieb und würde als Betreiber einer zentralen Heizungsanlage für ein Nahwärmenetz sowie als Brennstofflieferant auftreten. Für die zentrale Wärmeversorgung sollen verschiedene Möglichkeiten der Biomassenutzung betrachtet werden. Diese sind im Einzelnen die Nutzung von Holzhackschnitzel, Energiekorn und Miscanthus.

Herr Markus Eiden hat in einer ersten Befragung potenzielle Teilnehmer ausfindig gemacht, welche eine Wärmeversorgung im Nahwärmeverbund auf Basis regenerativer Energieträger grundsätzlich positiv gegenüber stehen. Eine Liste der möglichen Objekte mit den momentanen Heizölverbräuchen und installierten Leistungen wurde dem IfaS übergeben. Darunter befinden sich Nachbarn der Familie Eiden, Gewerbebetriebe, kirchliche Einrichtungen sowie Gebäude der Verbandsgemeinde. Herr Eiden hat ebenfalls schon Kontakt zur Verbandsgemeindeverwaltung von Hermeskeil aufgenommen, wobei sich herausgestellt hat, dass die Verbandsgemeinde das Projekt begrüßt und unterstützt. Nach einem Treffen mit Herrn Gerhard Eiden wurde der Standort der Heizzentrale festgelegt, die Objekte anhand der Interessentenliste besichtigt und die weiteren Arbeitsschritte durch IfaS beschlossen.

1.1 *Ist-Analyse*

Für die Ist-Analyse wurde anhand der Interessentenliste eine Datenerhebung durchgeführt. Dafür wurden sämtliche Eigentümer, welche ein erstes Interesse bekundet hatten von IfaS angeschrieben und relevante Daten zur Heizungsversorgung nachgefragt. Darunter zählen insbesondere die installierte Nennleistung der Heizkessel, die jährlichen Brennstoffverbräuche sowie das Alter der Heizungsanlage. Mit einigen Gebäudeeigentümern wurde auf Wunsch ein persönliches Gespräch geführt, um das Projekt näher zu erläutern und offene Fragen zu beantworten. Nach der Kontaktaufnahme mit den Gebäudeeigentümern ergaben sich insgesamt 14 Objekte, deren Eigentümer ein grundsätzliches Interesse bekundeten und die heizungstechnischen

Daten für die Berechnungen an das IfaS übermittelten. Eine Liste mit den Ausgangsdaten ist in Tabelle 1 dargestellt.

Bei einer weiteren Ortsbegehung wurden die 14 Objekte sowie alle am voraussichtlichen Rohrleitungsverlauf anliegenden Gebäude fotografiert. Für eine mögliche Erweiterung durch weitere Anlieger können anhand der Fotos Annahmen über den ungefähren Heizenergiebedarf getroffen werden. Außerdem dienen die Fotos der Zuordnung von Gebäuden im Lageplan und es wurden die Hausnummern aufgenommen.

Objekt	Nennleistung [kW]	Baujahr Kessel	Ölverbrauch [ltr.]	Endenergie [kWh]	Eigentümer
Kellerjakobshof	30,0		5.000	50.000	Fam. Eiden
Hotel Jakobs	50,0		12.000	120.000	Fam. Kuhn
Gästehaus Jakobs				43.683	Fam. Kuhn
Wohnhaus Jakobs				58.608	Fr. Jakobs
Unbewohntes Haus Jakobs				29.693	Fam. Kuhn
Evangelische Kirche	29,9	2002	Erdgas	19.157	Ev. Kirchengemeinde
Dietrich-Bonhöffer-Haus	51,9	2004	Erdgas	32.846	Ev. Kirchengemeinde
Pfarrhaus	20,8	2004	Erdgas	31.541	Ev. Kirchengemeinde
Hochwald Altenzentrum	275,0	1990	80.000	800.000	Kreis Trier
	275,0	1990			
Agentur f. Arbeit	80,0		10.000	100.000	Herr Schuler
Betreutes Wohnen	120,0			200.000	Faco GmbH
Rathaus	175,0	1999	35.000	350.000	Verbandsgemeinde
	175,0	2004			
Massagepraxis	105,0	2002	12.000	120.000	Herr Stehr
Grundschule	285,0	1990	66.000	660.000	Verbandsgemeinde
	285,0	1990			
Summe	1.958		220.000	2.615.528	

Tabelle 1: 14 vorläufige Objekte für einen Nahwärmeverbund

Tabelle 1 zeigt, dass die Gebäude einen Gesamtbedarf an Endenergie von ca. 2.600 MWh aufweisen und dass bei fast allen installierten Heizungsanlagen in absehbarer Zeit eine Sanierung der Kessel ansteht. Diese Daten bildeten die Grundlage für ein erstes Konzept des Nahwärmenetzes.

Bei den 3 Objekten, die keine Verbrauchswerte aufweisen, standen keine Daten zur Verfügung. Der Endenergiebedarf wurde anhand der beheizten Fläche sowie Kennzahlen ermittelt. Dazu wurde die Geschosshöhe mit der Grundfläche des Gebäudes multipliziert und das Objekt anhand von Fotos einem Gebäudetyp zugeordnet.

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 dem Grundstück der Familie Eiden 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 geleistet. Als biogene Brennstoffe sollen Holzhackschnitzel (HHS), Energiekorn und Stroh betrachtet werden. Die Miscanthusverbrennung wurde zugunsten der Strohfeuerung in der weiteren Planung nicht mehr berücksichtigt.

Eine weitere Variation der Netzauslegung besteht in der Anzahl der Wärmeabnehmer. Es wurde zum einen ein kleines Netz betrachtet, welches nur die 14 Objekte aus Tabelle 1 für die Berechnungen berücksichtigt. Zum anderen wurde eine große Netzvariante betrachtet, welche zusätzlich zu den 14 Interessenten weitere am Trassenverlauf anliegende Gebäude berücksichtigt, die sich in einem späteren Planungsstadium zur Teilnahme am Nahwärmeverbund entschließen könnten. Die Erfahrung mit ähnlichen Projektvorhaben bestätigt, dass sich während der konkreten Planungsphase oft noch 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 sechs 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.

Die Variante 2c wurde nicht berücksichtigt, da kein Angebot für einen Kessel für die Strohverbrennung in dieser Größe vorlag.

Varianten	a. HHS	b. Energiekorn	c. Stroh
1. Kleines Netz	Variante 1a: kleines Netz HHS	Variante 1b: kleines Netz Energiekorn	Variante 1c: kleines Netz Stroh
2. Großes Netz	Variante 2a: großes Netz HHS	Variante 2b: großes Netz Energiekorn	Variante 2c: großes Netz Stroh

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 immer, dass außer den Interessenten noch weitere Anlieger des Trassenverlaufs für die Planung berücksichtigt werden.

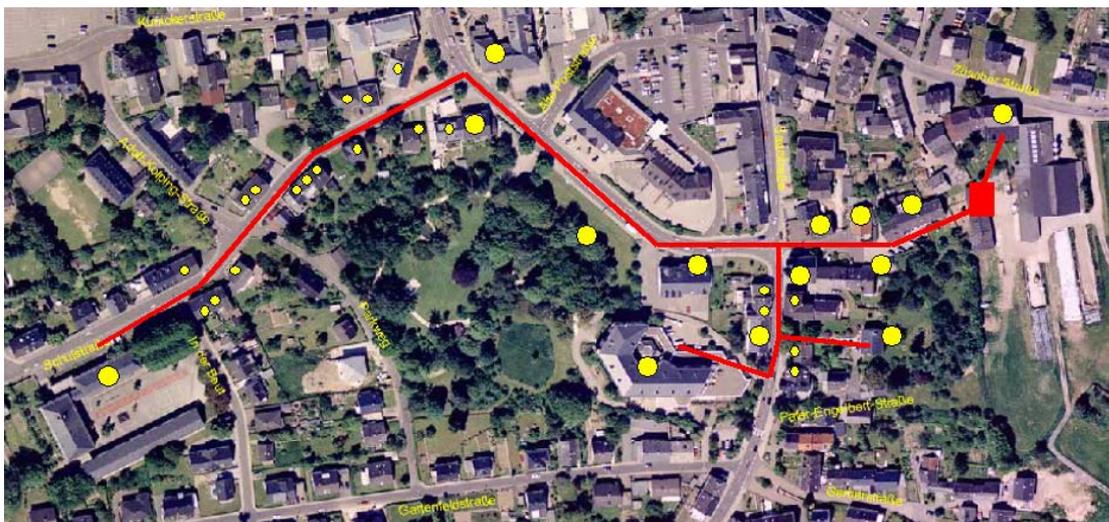


Abbildung 1: Vorläufiger Lageplan

In Abbildung 1 kann man den Trassenverlauf und die Heizzentrale in rot erkennen. Die großen gelben Kreise stellen die 14 Objekte der Variante 1, die kleinen gelben die zusätzlichen 20 Anlieger der Variante 2 dar.

3 Technische Auslegung

Die technische Auslegung des Nahwärmeverbundes richtet sich im Wesentlichen nach dem Wärmebedarf, welcher durch die Verbrauchsdaten ermittelt wurde. Die konkrete technische Auslegung hat sich während des Projektverlaufes verändert.

Insbesondere hat sich bei der Ergebnispräsentation vor den Eigentümern der 14 Objekte herausgestellt, dass die Gebäude der Kirchengemeinde, das Arbeitsamt und das Seniorenwohnheim als Wärmeabnehmer aus verschiedenen Gründen wegfallen. Die bestehenden Heizungen der Kirchengemeinde sind alle jüngeren Baujahres und wurden auf Erdgas umgestellt, wodurch eine Umstellung auf Nahwärme nicht attraktiv erscheint. Die Faco GmbH benötigte für den Neubau des Seniorenwohnheims eine verbindliche Zusage zur Wärmelieferung, welche in diesem frühen Planungsstadium nicht erteilt werden konnte. Als Grundlage der technischen Auslegung und der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dienen daher für die kleine Netzvariante 9 Interessenten und für die große Netzvariante diese 9 und weitere 15 anliegende Gebäude. Der aktualisierte Wärmebedarf und die installierten Leistungen für das kleine Netz sind in Tabelle 3 dargestellt. Man kann erkennen, dass sich der Wärmeenergiebedarf durch den Wegfall von 5 Objekten auf ca. 2.200 MWh pro Jahr verringert hat. Anhand dieser Ausgangsdaten wurde nun im Einzelnen die Auslegung des Nahwärmeverbundes neu betrachtet.

Objekt	Nennleistung [kW]	Baujahr Kessel	Ölverbrauch [ltr.]	Endenergie [kWh]	Eigentümer
Kellerjakobshof	30		5.000	50.000	Fam Eiden
Hotel Jakobs	50		12.000	120.000	Fam Kuhn
Gästehaus Jakobs				43.683	Fam Kuhn
Wohnhaus Jakobs				58.608	Fr Jakobs
unbewohntes Haus				29.693	Fam Kuhn
Hochwald Altenzentrum	275	1990	80.000	800.000	Kreis Trier
	275	1990			
Rathaus VG	175	1999	35.000	350.000	Verbandsgemeinde
	175	2004			
Massagepraxis	105	2002	12.000	120.000	Herr Stehr
Grundschule	285	1990	66.000	660.000	Verbandsgemeinde
	285	1990			
Summe	1.655		210.000	2.231.984	

Tabelle 3: 9 betrachtete Objekte für einen kleinen Nahwärmeverbund

3.1 Variante 1

Die Variante 1 beinhaltet die technische Auslegung eines Nahwärmeverbundes von 9 Objekten in Hermeskeil. Der zugrunde liegende Wärmebedarf ist in Tabelle 3 dargestellt. Abbildung 2 zeigt einen aktuellen Lageplan der Variante 1 mit Netzverlauf

0,9 verringert, da in der Regel nie alle Objekte gleichzeitig die volle Wärmemenge abfragen. Nach dieser Rechnung erhält man eine Nennwärmeleistung von 1.160 kW für die Heizzentrale. Diese Leistung wird in 60 % Spitzenlast und 40 % Grundlast aufgeteilt. Die Grundlast soll dann von einem Biomassekessel und die Spitzenlast von 2 Ölkessel übernommen werden. Diese Aufteilung liegt darin begründet, dass der Biomassekessel umso wirtschaftlicher betrieben werden kann, je mehr Betriebsstunden er im Jahr mit möglichst wenigen Betriebsunterbrechungen aufweist.

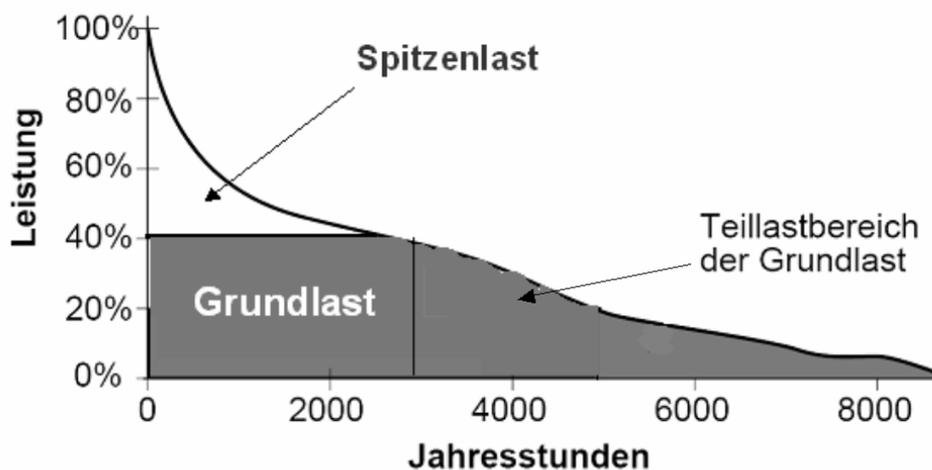


Abbildung 3: Jahresdauerlinie¹

Abbildung 3 zeigt eine typische Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs. Darin ist die Leistungsverteilung in Prozent in Bezug zu den Jahresstunden angegeben, die 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 %, 20 % der Wärmeenergie 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 dann der Jahresbrennstoffbedarf ermittelt. Es wurden 80 % des Energiebedarfs für den Endenergieträger Biomasse und 20 % für den Endenergieträger Öl angesetzt. Daraus ergibt sich ein Jahresbedarf an Biomasse von etwa 2.000 MWh und an Öl von 500 MWh. In Litern beträgt der Jahresbedarf an Öl etwa 50.000 l.

¹ Nach Leitfaden Nahwärme, Fraunhofer UMSICHT, 1998

Auf Basis der zu installierenden Kesselgrößen und des Brennstoffbedarfs wurden die restlichen Komponenten der Heizzentrale bestimmt. 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 unterirdischer Brennstoffbunker zur Lagerung der Biomasse und ein Ölerdtank errichtet werden. Die Größe des Brennstoffbunkers wurde anhand der Menge an Holzhackschnitzel ausgelegt, welche benötigt wird, um den Kessel für 4 Tage Dauerbetrieb bei Volllast zu versorgen. Damit ist gewährleistet, dass Feiertage oder Engpässe, wenn kein Brennstoff geliefert werden kann, überbrückt werden. Die Größe des Ölerdtanks wurde nach dem Jahresbedarf an Heizöl ausgelegt. Der Brennstoffbunker sollte demnach etwa 70 m³ und der Öltank etwa 50 m³ Fassungsvermögen besitzen. Die Maße der Komponenten in der Heizzentrale wurden anhand von Angeboten und Katalogangaben ermittelt, sodass abgeschätzt werden konnte, wie groß das Gebäude der Heizzentrale zu bauen ist. Die komplette Heizzentrale ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

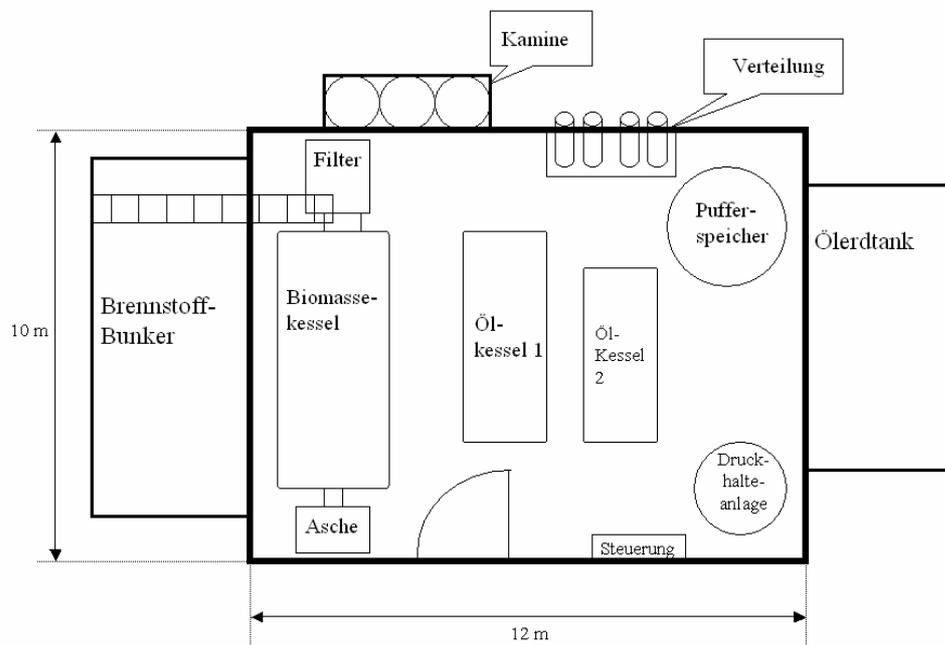


Abbildung 4: Schema der Heizzentrale

Es wurde berücksichtigt, dass ein brandschutzgerechtes Gebäude mit entsprechender Tür und Fenstern errichtet werden muss. Diese soll dann unter dem derzeitigen Unterstand für den Maschinenpark des Landwirtschaftsbetriebes gebaut werden.



Abbildung 5: 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 Räume und Brauchwasser und fließt abgekühlt auf etwa 50°C über 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 Ausarbeitung 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 sollen wie in Abbildung 2 zu sehen ist, vorrangig auf öffentlichen Wegen verlaufen. Eine Ausnahme bildet hierbei der erste Leitungsabschnitt von der Heizzentrale bis auf den ersten Straßenabschnitt. Dieser verläuft von der Heizzentrale auf dem Grundstück Eiden über das Grundstück des Hotels bis hin zur öffentlichen Straße. Ansonsten verläuft die Rohrleitung ausschließlich über öffentliche Straßen und die Grundstücke der Anschlussnehmer. Die Längen der Leitungswege wurden anhand von Luftbildern und Plänen ausgemessen. Die gesamte Rohrnetzlänge beträgt 755 m, wobei sich davon 567 m auf die Hauptleitung und 188 m auf die Hausanschlussleitungen verteilen.

Eine weitere wichtige Größe für die Dimensionierung der Rohrleitungen ist die zu übertragende Heizleistung von gewissen Rohrabschnitten. Je größer die Leistung, desto größer muss der Nenndurchmesser des Rohres ausgelegt werden. 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=28 mm bei Hausanschlussleitungen und DN=125 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 $\text{MWh/m} \cdot \text{a}$. Zu deren Ermittlung dividiert man die jährlich übertragene Gesamtwärmemenge durch die 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 gleichzeitig relativ geringer 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 $3,07 \text{ MWh/m} \cdot \text{a}$. Ab einer Kennzahl von $1,5 \text{ MWh/m} \cdot \text{a}$ kann man von einem wirtschaftlichen Betrieb ausgehen, da ab diesem

Grenzwert Zuschüsse für die Finanzierung des Leitungsnetzes durch die KfW gewährt werden.

3.1.3 Auslegung der Hausübergabestationen

Die Hausübergabestationen werden anhand der zu übertragenden Leistung 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. Für ein Einfamilienhaus beträgt diese Kennzahl beispielsweise 1900 h/a.

Für Wohnhäuser und kleinere Objekte wurde angenommen, dass zur Raumheizung ein Wärmetauscher die Wärme indirekt in den Heizkreislauf des Hauses überträgt und die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip erfolgt. Für große Objekte wurde die Hausübergabestation so gewählt, dass die Raumwärme indirekt bereitgestellt wird und zur Warmwasserbereitung ein Speicher im Haus installiert wird, um bei hohem Wasserbedarf Temperaturschwankungen zu vermeiden.



Abbildung 6 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 6: Beispiel einer Hausübergabestation

3.1.4 Brennstoffvarianten und Kessel

Wie schon in der Variantenvorstellung dargestellt, wurden 3 verschiedene Brennstoffe auf Biomassebasis 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 Hausanlagen bis hin zu großen Holzhackschnitzelkraftwerken eingesetzt wird. Die Kesseltechnik für die Verbrennung von Holzhackschnitzel 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 Hermeskeil könnte das Holz aus dem umliegenden Forst bezogen werden und wäre somit regional ohne große Transportwege verfügbar. Die Holzhackschnitzel sollen alle 3-4 Tage per Kipplader angeliefert und in den Brennstoffbunker 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 2.550 Schüttraummeter.

Der Brennstoffbunker wurde so ausgelegt, dass der Brennstoffbedarf der Heizungsanlage bei gefülltem Bunker für 4 Tage gesichert ist, wenn der Kessel mit voller Leistung und 24 Stunden am Tag betrieben wird.

Für den Biomassekessel wurde ein Angebot von der Firma „Schmid Holzfeuerungen“ nachgefragt. Es wurde ein Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 550 kW und einem wassergekühlten Vorschubrost angeboten. Der Biomassekessel wird etwa 45 % der benötigten Leistung als Grundlastkessel abdecken. Für die Spitzenlast wurden zwei Ölkessel der Firma Buderus ausgewählt: Ein großer Kessel mit 455 kW Nennwärmeleistung, und ein kleinerer mit 170 kW um geringe Wärmenachfragen in den Sommermonaten abzudecken. Mit dieser Lastenaufteilung wird eine maximale Gesamtleistung von 1.175 kW erreicht, die etwas über dem errechneten Bedarf von 1.160 kW liegt und eine zuverlässige Wärmeversorgung des Netzes gewährleistet.

b) Getreide

Die Nutzung von Getreide als Regelbrennstoff ist in Deutschland wegen ethischer Bedenken noch sehr umstritten. In anderen EU-Ländern wird Getreide allerdings schon seit geraumer Zeit als Brennstoff genutzt und auch die Kesseltechnik ist mittlerweile ausgereift. Aber auch in Deutschland existieren vereinzelt Anlagen, die ei-

nem gesonderten Genehmigungsverfahren unterliegen. Mehr als Holz neigt Getreide bei der Verbrennung zu Schlackebildung und stellt daher höhere Anforderungen an die Feuerungstechnik. Ein weiteres Problem sind die Emissionen bei der Getreideverbrennung, aber auch hier gibt es Filtertechniken, welche die Grenzwerte des Bundesimmissionsschutzgesetzes einhalten. Es können verschiedene Getreidesorten verbrannt werden, welche schadhaft sind oder wegen Überproduktion anfallen. Diese Option bietet sich an, da der Betreiber der zukünftigen Anlage selbst auch Landwirtschaft betreibt und auch im näheren Umkreis viele Landwirte ansässig sind. Des Weiteren besteht die Möglichkeit neben Getreide ohne größeren Aufwand auf Holzhackschnitzelfeuerung umzustellen, falls Engpässe bei der Getreidelieferung bestehen.

Der Heizwert von Getreide liegt bei etwa 4 kWh/kg. Dadurch ergibt sich ein Jahresbedarf von 500 t. Der Brennstoffbunker wurde für die Getreideverbrennung nicht neu ausgelegt, da Getreide eine geringere Schüttdichte aufweist als Holzhackschnitzel und ein alternativer Betrieb mit Holz optional bleiben soll. Die Lageraustragung und der Transport in den Brenner erfolgen analog zum System bei Hackschnitzeln. Der Kessel mit 550 kW der Firma „Schmid Holzfeuerung“ aus Punkt a) ist ebenfalls auch für die Getreideverbrennung geeignet. Zur Reduzierung der Emissionen muss allerdings eine aufwendigere Filtertechnik installiert werden. Dazu wurde ein Schlauchfilter vorgesehen.

Der Heizölbedarf und die Leistungsverteilung der Grund- und Spitzenlastkessel ergeben sich analog zu Punkt a). Somit wird auch bei der Getreideverbrennung eine Gesamtleistung von 1.175 kW erzielt, welche ausreicht das Netz der Variante 1 mit Wärmeenergie zu versorgen.

c) Stroh

Die energetische Verbrennung von Stroh wird insbesondere in Dänemark seit etlichen Jahren betrieben. Die Idee einer Auslegung des Nahwärmenetzes auf Basis der Strohverbrennung kam vom zukünftigen Betreiber der Heizungsanlage. Voraussichtlich wird genug Stroh aus der eigenen landwirtschaftlichen Produktion zur Verfügung stehen. Ansonsten kann das Stroh auch lokal von anderen Landwirten zugekauft werden.

Der Heizwert von Stroh ist mit 3,75 kWh/kg etwas geringer als der von Getreide. Allerdings hat Stroh den Vorteil, dass es sehr leicht entflammbar ist und somit der

Brenner flexibler als bei Holz und Getreide getaktet werden kann. Stroh hat eine relativ geringe Dichte und muss daher in großen Volumenmengen verfügbar sein und zum Brenner transportiert werden. Daher wurde eine große Lagerhalle mit einer Grundfläche von 780 m² angenommen. Von dieser Halle aus muss eine Förderbahn von 30 Metern Länge manuell mit Rundballen oder Quadern beschickt werden. Dies sollte allerdings nicht öfter als einmal pro Tag nötig sein. Über die Transportbahn gelangen die Ballen zu einem automatischen Auflöser. Von dort wird das Halmgut pneumatisch bis in die Brennkammer des Kessels gefördert.

Der angebotene Kessel der Firma „VP-Biotherm“ hat eine Nennwärmeleistung von 600 kW. Damit liegt der Grundlastanteil des Biomassekessels über den errechneten 40 % an der Gesamtleistung. Der Strohkessel kann auch mit häufigeren Abschaltungen ökonomisch betrieben werden kann. Des Weiteren lässt er sich laut Herstellerangaben in den Sommermonaten bis auf 10 % seiner Nennleistung regulieren. Es wurden dennoch zwei weitere Ölkessel zur Abdeckung der Spitzenlast ausgewählt, um die Investitionskosten gering zu halten und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Es wurde ein großer Ölkessel mit 400 kW und ein kleiner mit 170 kW Nennwärmeleistung angenommen. Damit ergibt sich eine Gesamtleistung der 3 Kessel von 1.170 kW.

3.2 Variante 2

Bei der Betrachtung der Variante 2 wurden zu den bekannten 9 Objekten, weitere 15 Teilnehmer des Nahwärmeverbundes berücksichtigt, welche sich am Trassenverlauf von Variante 1 befinden. Somit erhöht sich die Gebäudeanzahl auf 24 Objekte. Abbildung 7 zeigt einen Lageplan des Netzes mit den einzelnen Gebäuden. Die interessierten Teilnehmer sind mit großen gelben, die anliegenden Objekte mit kleinen gelben Kreisen gekennzeichnet. Die Heizzentrale und der Leitungsverlauf sind rot dargestellt.

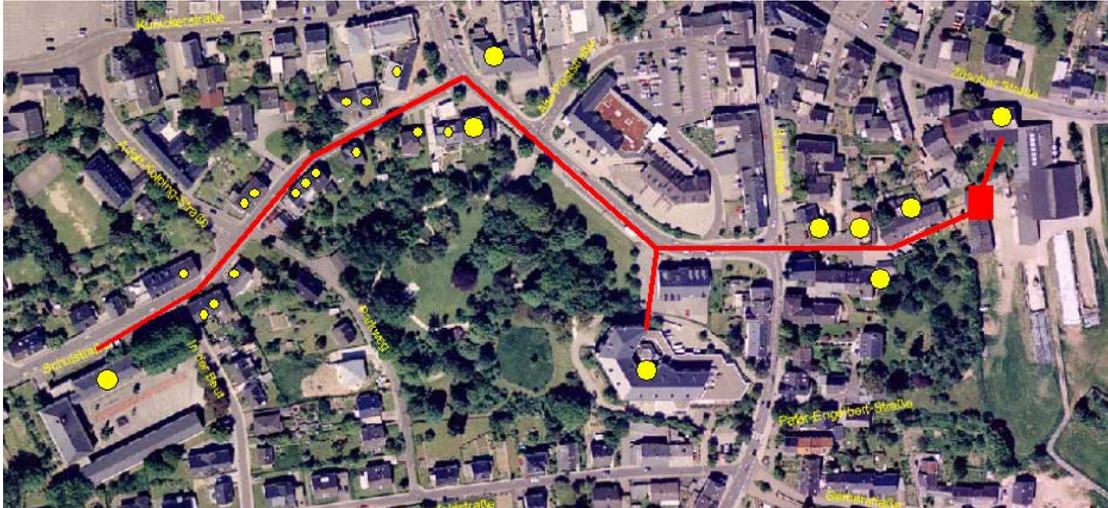


Abbildung 7: Lageplan Variante 2

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 die Unterschiede dargestellt, welche sich durch die Nutzung der Brennstoffe Holzhackschnitzel und Getreide ergeben.

3.2.1 Ermittlung des Wärmebedarfs

Die Ermittlung des jährlichen Wärmebedarfs der 9 identifizierten Objekte ergibt sich aus den Brennstoffverbräuchen wie in Variante 1. Zu diesen 2.232 MWh wird für Variante 2 noch der Wärmebedarf von 15 anliegenden Objekten in der Schulstraße ermittelt, welche links im Bild zur Grundschule führt. 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 verschieden Gebäudetypen mit ihrem üblichen Heizenergiebedarf pro Quadratmeter und Jahr aufgelistet sind. Dieser beträgt beispielsweise 162 kWh/m²*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 aus Lageplänen vermessen. 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 4 dargestellt. Man sieht in grün die schon bekannten Endenergiewerte der 9 Ausgangsobjekte und in gelb die 15 anliegenden Objekte mit ihrem Energiebedarf.

Straße	Hausnr.	Name	lfd. Nr.	Endenergie [kWh/a]
Züscher Straße	22	Eiden	1	50.000 kWh
Saarstraße	23a	Hotel Jakobs	2	120.000 kWh
Saarstraße	23	Gästehaus	3	43.683 kWh
Saarstraße	25	Wohnhaus Jakobs	4	58.608 kWh
Saarstraße	21	leer stehend	5	29.693 kWh
Saarstraße	32	Altenzentrum	6	800.000 kWh
Langer Markt	17	Rathaus VG	7	350.000 kWh
Schulstraße	1	Massagepraxis	8	120.000 kWh
Schulstraße	3	Wohnhaus	9	64.598 kWh
Schulstraße	4	Geschäft (Pepito)	10	63.536 kWh
Schulstraße	6a	Wohnhaus	11	42.237 kWh
Schulstraße	5	Wohnhaus	12	30.485 kWh
Schulstraße	6	Wohnhaus	13	54.990 kWh
Schulstraße	9	Wohnhaus	14	25.366 kWh
Schulstraße	11	Wohnhaus	15	43.718 kWh
Schulstraße	13	Wohnhaus	16	96.941 kWh
Schulstraße	8	Wohnhaus	17	85.653 kWh
Schulstraße	10 u. 12	Wohnhaus	18	83.940 kWh
Schulstraße	(13)	Wohnhaus	19	15.126 kWh
Schulstraße	15	Wohnhaus	20	30.835 kWh
Schulstraße	17a u. 17	Wohnhaus	21	98.501 kWh
Schulstraße	14	Wohnhaus	22	42.827 kWh
Schulstraße	14a	Wohnhaus	23	61.952 kWh
Schulstraße	19	Grundschule	24	660.000 kWh
Summe Anlieger				840.706 kWh
Gesamtsumme				3.072.690 kWh

Tabelle 4: Gebäudeliste Variante 2

Man kann erkennen, dass die Summe der Wärmebedarfe der Anlieger 841 MWh beträgt. Dadurch erhöht sich der Gesamtwärmebedarf der Verbundteilnehmer auf 3.073 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 Berechnung analog zu Variante 1 eine jährliche Wärmemenge von 3.200 MWh/a, welche die zentrale Heizungsanlage bereitstellen muss. Über die Vollbenutzungsstunden und mit einem

Gleichzeitigkeitsfaktor errechnet sich eine benötigte Anlagenleistung von 1.600 kW. Diese werden dann zu 40 % mit einem Grundlastkessel (Biomassefeuerung) und zu 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 3.513 MWh/a. Teilt man diesen Wert auf die Brennstoffarten zu 80 % und 20 % auf, benötigt man einen Brennstoffbedarf an Biomasse mit einem Energiegehalt von 2.811 MWh/a und einen Heizölbedarf von 70.270 Liter/a (702,2 MWh/a).

Als Brennstofflager soll ein Bunker für die Biomasse gebaut werden. Dieser soll ein Volumen erhalten, welches eine Versorgung des Biomassekessels über 4 Tage Dauerbetrieb bei Volllast gewährleistet. Über den Heizwert und die Schüttdichte der Holzhackschnitzel wurde ein Volumen des Bunkers von 86 m³ berechnet. Der Ölvorrat soll auf den Jahresbedarf ausgelegt sein und benötigt einen 80.000 l großen Ölerdtank.

Druckhalteanlage und Pufferspeicher wurden anhand der zu installierenden Leistung dimensioniert und sollen zusammen mit den Kessel, der Verrohrung und der Steuerungseinheit in einem brandschutzgerechten Gebäude installiert werden (siehe Abbildung 4: Schema der Heizzentrale). Des Weiteren werden eine Transportanlage für den Biomassebrennstoff und 3 Kamine für die Kessel benötigt. Die Heizzentrale kann auch für die 2. Variante im derzeitigen Maschinenunterstand errichtet werden.

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 15 zusätzlich betrachteten Teilnehmer. Die Länge der Hauptrohrleitung bleibt unverändert. Die Gesamtlänge des Leitungsnetzes beträgt 905 m. Allerdings müssen einige Leitungsabschnitte größer dimensioniert werden als in Variante 1, da eine größere Wärmeleistung übertragen wird.

Die Rohrnetzkenzahl liegt bei dieser zweiten Variante im guten Bereich von 3,53 MWh/m*a.

3.2.4 Auslegung der Hausübergabestationen

Zu den 9 dimensionierten Hausübergabestationen aus Variante 1 wurden noch die weiteren 15 Objekte mit Hausübergabestationen ausgestattet. Die Leistungen ergeben sich aus dem ermittelten Wärmebedarf in Tabelle 4, 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. Da es sich bei den Objekten nur um Einfamilienhäuser handelt, wurden Hausübergabestationen mit indirekter Fahrweise per Wärmetauscher und die Warmwasserbereitung im Durchflussprinzip angenommen.

3.2.5 Brennstoffvarianten und Kessel

Für die Variante 2 werden nur die Brennstoffe Holzhackschnitzel und Getreide betrachtet. Für einen Strohkessel in dieser Größenordnung lag kein Angebot vor.

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 3.500 Srm Holzhackschnitzel ableiten. Der Brennstoffbunker ist so ausgelegt, dass im Winter höchstens im 4-tages-Rhythmus neue Holzhackschnitzel angeliefert werden müssen. Es wurde ein 700 kW Kessel der Firma „Schmid Holzfeuerungen“ ausgewählt, welcher komplett mit Bunkeraustragung, Förderschnecke, Filter und Steuerung angeboten wurde. Dieser ist in der Lage etwas mehr als die errechneten 40 % Grundlast abzudecken. Die Spitzenlast sollen 2 Ölkessel von „Buderus“ übernehmen; mit 660 kW und 240 kW Nennwärmeleistung. Die Gesamtleistung liegt somit genau bei den errechneten 1.600 kW, welche nötig sind, um das Nahwärmenetz zu versorgen.

b) Getreide

Wie auch in Variante 1 soll die Getreideverbrennung als Alternativbetrieb zu Holzhackschnitzelfeuerung ausgelegt werden. Das heißt, auch hier wird die Bunkergröße nicht an die geringere Schüttdichte des Getreides angepasst, sondern für den Fall der Holzhackschnitzellagerung ausgelegt.

Als jährlicher Brennstoffbedarf werden 700 Tonnen angesetzt. Der Vorrat an Getreide im Bunker würde allerdings für einen längeren Betrieb als die oben genannten 4 Tage ausreichen.

Die Verteilung der Gesamtleistung auf die 3 Kessel würde sich analog zu Punkt a) ergeben, da auch hier der Biomassekessel in der Lage ist, sowohl Holzhackschnitzel,

als auch Getreide zu verbrennen. Die elektronische Steuerung muss lediglich entsprechend angepasst werden, damit die Regelung zugunsten der Getreideverbrennung erfolgt.

Die Nennwärmeleistung der Heizzentrale beträgt somit auch hier 1.600 kW.

4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Neben der technischen Auslegung kommt der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in dieser Ausarbeitung eine große Bedeutung zu. 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
- C₀: 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 ermöglicht, verschiedene Varianten einer Wärmeversorgung auf ihre Wirtschaftlichkeit hin zu bewerten und zu vergleichen.

Im Folgenden werden die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen der einzelnen Varianten dargestellt.

4.2 Variante 1a

Die Variante 1a beinhaltet die kleine Netzvariante mit 9 Objekten und der Feuerung mit Holzhackschnitzeln. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt nach der oben beschriebenen Methodik. Tabelle 5 zeigt zusammengefasst eine Aufstellung der gesamten Investitionskosten. Eine detaillierte Aufstellung ist dem Anhang zu entnehmen. Wie man sehen kann, entfällt der größte Posten der Investitionskosten 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.

Investitionskosten Variante 1 a		
Posten		Betrag [€]
Kosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast		181.249,00
Kosten Abgasanlage		5.189,00
Kosten Ölkessel 455 kW Spitzenlast 1		20.574,00
Kosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2		9.630,00
Kosten Weitere Kosten		62.001,00
Baukosten Heizzentrale		44.040,60
Kosten Brennstofflager		30.598,75
Kosten Rohrnetz		306.696,32
Kosten Hausübergabestationen		67.623,00
Summe		727.601,67
Sonstiges	5%	36.380,08
Planungskosten ohne Netz	15%	63.135,80
Gesamtinvestitionskosten		827.117,56

Tabelle 5: 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 6 zeigt, dass die Investitionskosten - mit einem Annuitätenfaktor von 0,074 multipliziert - jährliche Kapitalkosten von 60.860,76 € über eine Laufzeit von 20 Jahren zur Folge haben.

Kapitalgebundene Kosten für die Investition			
		Einheit	Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	827.117,56
Zinssatz			4,00%
Betrachtungsdauer	t	a	20
Annuitätenfaktor			0,074
Kapitalkosten			60.860,76

Tabelle 6: Berechnung der Kapitalkosten Variante 1a

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

Errechnung der Jahreskosten	
Kapitalkosten	60.860,76 €/a
Verbrauchskosten	94.455,53 €/a
Betriebskosten	33.524,61 €/a
Summe = Jahreskosten	188.840,90 €/a

Tabelle 7: Jahreskosten Variante 1a

Wie Tabelle 7 zeigt, sind die Verbrauchskosten mit 94.455,53 € der größte Anteil an den Jahreskosten. Dies kommt durch den hohen Brennstoffbedarf des Nahwärmenetzes. Für die Berechnung wurde ein Preis für die Holzhackschnitzel von 24 €/Srm und ein Ölpreis von 55 Ct/l angenommen.

Schließlich werden zur Bestimmung der Wärmegestehungskosten nach Steuern die Jahreskosten (zzgl. Umsatzsteuer) durch den jährlichen Nutzenergiebedarf dividiert. Diese Berechnung ist in Tabelle 8 dargestellt. Die Abweichung der Jahreskosten zu Tabelle 7 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.

Jahreskosten	217.370,45	€/a
/		
Nutzenergiebedarf	2.008.786	kWh/a
=		
Wärmegestehungskosten	0,1082	€/kWh

Tabelle 8: Wärmegestehungskosten Variante 1a

Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für Variante 1a sind somit theoretische Wärmegestehungskosten von 10,82 Ct/kWh. In diesem Wert sind alle für die Errichtung des Nahwärmenetzes anfallenden Kosten enthalten und er dient zum Vergleich mit den nachstehenden Varianten.

4.3 Variante 1b

Die Variante 1b beinhaltet ein kleines Nahwärmenetz mit 9 Objekten und einer Getreidenutzung als Brennstoff. Die Berechnung erfolgt analog zu Variante 1a. Sämtli-

che anfallenden Kosten sind zusammengefasst und mit den resultierenden Wärmegestehungskosten in Tabelle 9 dargestellt.

Investitionskosten	888.839,56 €
Kapitalkosten für die Investition	65.402,37 €/a
Verbrauchskosten	104.664,18 €/a
Betriebskosten	39.727,67 €/a
Jahreskosten	209.794,22 €/a
Nutzenergiebedarf	2.008.785,92 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	10,44 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	12,00 Ct/kWh

Tabelle 9: Wärmegestehungskosten Variante 1b

Die Wärmegestehungskosten sind mit 12,00 Ct/kWh um 1,2 Cent höher als bei der Variante mit Holzhackschnitzel. Dies liegt zum einen in der größeren Investitionssumme durch aufwendigere Technik (Filter), zum anderen in den höheren Brennstoffkosten begründet. Der Getreidepreis ist auf den Energiegehalt bezogen derzeit höher als der Holzhackschnitzelpreis. Er wurde für die Berechnung mit 140 €/t angenommen.

Wenn man die Anlage je nach Brennstoffressourcen mit Holzhackschnitzel oder Getreide befeuern würde, wären die Investitionskosten der Variante 1b anzusetzen. Für die Brennstoffkosten ergäbe sich jedoch ein Mischpreis, wodurch die theoretischen Wärmegestehungskosten zwischen 10,82 Ct/kWh und 12 Ct/kWh liegen würden. Es wäre außerdem möglich Preiserhöhungen oder Knappheiten eines Brennstoffes durch Ausweichen auf den anderen zu puffern.

4.4 Variante 1c

Für die Variante 1c wurde das kleine Netz mit einem Biomassekessel zur Stroheuerung betrachtet. Für die Ermittlung der Wärmegestehungskosten wurde nach oben genanntem Schema verfahren. Die zugrunde liegenden Kosten und der Nutzenergiebedarf sind in Tabelle 10 dargestellt.

Investitionskosten	854.388,46 €
Kapitalkosten	62.867,40 €/a
Verbrauchskosten	55.662,66 €/a
Betriebskosten	33.744,71 €/a
Jahreskosten	152.274,77 €/a
Nutzenergiebedarf	2.008.785,92 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	7,58 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	8,89 Ct/kWh

Tabelle 10: Wärmegestehungskosten Variante 1c

Man sieht, dass die Wärmegestehungskosten mit 8,89 Ct/kWh fast 2 Ct. günstiger als bei der Holzvariante sind. Dies liegt an den deutlich niedrigeren Verbrauchskosten für die Heizzentrale. Die Brennstoffkosten sind mit angenommenen 41 €/t Stroh sehr gering. Die spezifischen Brennstoffkosten, welche auf den Heizwert bezogen sind, betragen nur 11 Ct/kWh. Dies ist im Vergleich zu allen anderen Brennstoffalternativen der günstigste Preis.

4.5 Variante 2a

Im Folgenden werden die großen Netzvarianten mit 24 Objekten auf ihre Wirtschaftlichkeit hin betrachtet. Die Variante 2a soll Holzhackschnitzel als Brennstoff nutzen. Die Methodik zur Berechnung der Wärmegestehungskosten bleibt unverändert. Die Kostenklassen und der nun höhere Nutzenergiebedarf sind in Tabelle 11 dargestellt.

Investitionskosten	978.514,52 €
Kapitalkosten	72.000,81 €/a
Verbrauchskosten	130.033,44 €/a
Betriebskosten	38.352,13 €/a
Jahreskosten	240.386,38 €/a
Nutzenergiebedarf	2.765.421,36 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	8,69 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	9,98 Ct/kWh

Tabelle 11: Wärmegestehungskosten Variante 2a

Die Tabelle zeigt, dass zwar alle Kosten deutlich höher sind 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.

4.6 Variante 2b

Variante 2b bedeutet eine große Netzvariante mit Getreide als Brennstoff.

Investitionskosten	1.040.530,52 €
Kapitalkosten	76.564,06 €/a
Verbrauchskosten	144.087,32 €/a
Betriebskosten	44.878,77 €/a
Jahreskosten	265.530,15 €/a
Nutzenergiebedarf	2.765.421,36 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	9,60 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	11,00 Ct/kWh

Tabelle 12: Wärmegestehungskosten Variante 2b

Die Wärmegestehungskosten der Getreidevariante sind auch bei der großen Netzalternative gut einen Cent höher als bei der Variante 2a mit Holzhackschnitzel. Die Gründe sind analog zu Variante 1b in den höheren Brennstoffkosten für die Pellets zu vermuten.

4.7 Reverenzvarianten

Um die zentralen Lösungen mit Biomassenutzung bewerten und vergleichen zu können, wurden exemplarisch 3 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 Heizungssanierung von marktüblichen Kreditzinsen ausgehen muss.

Die 3 Reverenzvarianten sind im Einzelnen

- die Sanierung eines Einfamilienhauses,

- die Sanierung des Hotels und
- die Sanierung des Altenheims mit je einer neuen Ölheizung.

4.7.1 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 Öl. Zur Bereitstellung des Wärmebedarfes wurde ein Kessel mit einer Nennwärmeleistung von 20 kW betrachtet. Eine Aufstellung der Investitionskosten ist in Tabelle 13 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
Gesamtkosten Heizungsanlage	10.811,00

Tabelle 13: 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 14 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
Wärmegestehungskosten brutto	11,83 Ct/kWh

Tabelle 14: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus

Der Ölpreis zur Ermittlung der Verbrauchskosten wurde für alle Reverenzvarianten mit 55 Ct/l angesetzt. Man kann an der Kostenaufstellung gut erkennen, dass die Kosten 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.

4.7.2 Reverenzvariante: Hotel Jakobs

Das Hotel Jakobs wurde als Vergleich für ein mittelgroßes Objekt herangezogen, welches mit einer dezentralen Ölheizung saniert würde. Der jährliche Ölverbrauch des Hotels liegt bei etwa 10.900 Litern. Es wird eine Kesselleistung von 50 kW angenommen. Die Investitionskosten sind in ihrer Zusammenstellung ähnlich wie bei der ersten Reverenzvariante im Anhang detailliert nachzulesen. Tabelle 15 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	109.090,91 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	8,16 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	9,71 Ct/kWh

Tabelle 15: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Hotel

Man sieht, dass durch die größere Wärmeabnahme, die Wärmegestehungskosten um 2 Cent gegenüber der kleineren Reverenzvariante gesunken sind.

4.7.3 Reverenzvariante: Altenzentrum

Als eine Reverenzvariante mit einem sehr großen Energiebedarf wurde eine Berechnung zur Heizungssanierung des Altenheims durchgeführt. Der Nutzenergiebedarf beträgt hier 72.700 Liter/Jahr, welcher durch 2 Ölkessel mit einer Gesamtnennleistung von 480 kW gedeckt werden soll. Die Kosten für Sanierung, Verbrauch und Betrieb zeigt Tabelle 16.

Investitionskosten	71.967,00 €
Kapitalkosten	6.274,41 €/a
Verbrauchskosten	44.000,00 €/a
Betriebskosten	3.002,94 €/a
Jahreskosten	53.277,36 €/a
Nutzenergiebedarf	727.272,73 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	7,33 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	8,72 Ct/kWh

Tabelle 16: Wärmegestehungskosten Reverenzvariante Altenzentrum

Die Wärmegestehungskosten sind für das Altenzentrum im Falle einer dezentralen Sanierung der Heizungsanlage im Vergleich mit dem Hotel nochmals um einen Cent gesunken und liegen bei 8,72 Ct/kWh.

4.8 Vergleich der Varianten

Insgesamt wurden 5 zentrale Varianten mit Biomassefeuerung und 3 dezentrale Varianten mit einer Sanierung der Ölheizung betrachtet. Im Weiteren sollen die zentralen Varianten untereinander und mit den dezentralen Varianten verglichen werden. Dazu zeigt Tabelle 17 die Kosten der Biomassealternativen in einer Übersicht.

Kosten Varianten 1 Kleines Netz	Variante 1a HHS	Variante 1b Getreide	Variante 1c Stroh
Investitionskosten	827.117,56 €	888.839,56 €	854.388,46 €
Kapitalkosten	60.860,76 €/a	65.402,37 €/a	62.867,40 €/a
Verbrauchskosten	94.455,53 €/a	104.664,18 €/a	55.662,66 €/a
Betriebskosten	33.524,61 €/a	39.727,67 €/a	33.744,71 €/a
Jahreskosten	188.840,90 €/a	209.794,22 €/a	152.274,77 €/a
Nutzenergiebedarf	2.008.785,92 kWh/a	2.008.785,92 kWh/a	2.008.785,92 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	9,40 Ct/kWh	10,44 Ct/kWh	7,58 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	10,82 Ct/kWh	12,00 Ct/kWh	8,89 Ct/kWh
Kosten Varianten 2 Großes Netz	Variante 2° HHS	Variante 2b Getreide	
Investitionskosten	978.514,52 €	1.040.530,52 €	
Kapitalkosten	72.000,81 €/a	76.564,06 €/a	
Verbrauchskosten	130.033,44 €/a	144.087,32 €/a	
Betriebskosten	38.352,13 €/a	44.878,77 €/a	
Jahreskosten	240.386,38 €/a	265.530,15 €/a	
Nutzenergiebedarf	2.765.421,36 kWh/a	2.765.421,36 kWh/a	
Wärmegestehungskosten netto	8,69 Ct/kWh	9,60 Ct/kWh	
Wärmegestehungskosten brutto	9,98 Ct/kWh	11,00 Ct/kWh	

Tabelle 17: Wärmegestehungskosten zentrale Varianten

Im Vergleich der Varianten lässt sich feststellen, dass 1c (Strohfeuerung) unter den derzeitigen Preisbedingungen mit 8,89 Ct/kWh die wirtschaftlichste darstellt. Dies liegt an den geringen Kosten für den Brennstoff. Dieser könnte vom Betreiber der Anlage sowie von Landwirten aus der im Raum Hermeskeil bereitgestellt werden.

Variante 1a (Holzhackschnitzel) ist mit 10,82 Ct/kWh um zwei Cent teurer, was durch die derzeit relativ hohen Holzpreisen begründet ist. Variante 1b, mit reiner Getreideverbrennung, ist als teuerste Variante nicht zu empfehlen, in der Praxis könnte aber eine kombinierte Nutzung von Holzhackschnitzel und Getreide eine sinnvolle Alternative bieten. Dadurch bestünde die Möglichkeit zwischen zwei Brennstoffen je nach Preisentwicklung und Verfügbarkeit zu wechseln und somit günstige Wärmegestehungskosten zu erreichen.

Die großen Varianten 2a und 2b sind prinzipiell günstiger als ihre kleinen Pendants mit geringerem Nutzenergiebedarf. Allerdings ist nur eine Realisierung wahrscheinlich, welche einen Teil der Anlieger des Netzverlaufes als Teilnehmer des Verbundes gewinnen kann, wodurch die Kosten zwischen der großen und der kleinen Variante liegen würden.

Tabelle 18 zeigt zusammengefasst die 3 Reverenzvarianten, um diese mit den zentralen Lösungen im Nahwärmeverbund vergleichen zu können.

Kosten Reverenzvarianten	Einfamilienhaus	Hotel Jakobs	Altenzentrum
Investitionskosten	10.811,00 €	18.147,00 €	71.967,00 €
Kapitalkosten	942,55 €/a	1.582,14 €/a	6.274,41 €/a
Verbrauchskosten	2.117,50 €/a	6.600,00 €/a	44.000,00 €/a
Betriebskosten	419,83 €/a	715,70 €/a	3.002,94 €/a
Jahreskosten	3.479,88 €/a	8.897,84 €/a	53.277,36 €/a
Nutzenergiebedarf	35.000,00 kWh/a	109.090,91 kWh/a	727.272,73 kWh/a
Wärmegestehungskosten netto	9,94 Ct/kWh	8,16 Ct/kWh	7,33 Ct/kWh
Wärmegestehungskosten brutto	11,83 Ct/kWh	9,71 Ct/kWh	8,72 Ct/kWh

Tabelle 18: Wärmegestehungskosten dezentrale Varianten

Vergleicht man die zentralen Varianten mit den Reverenzvarianten, kann man erkennen, dass die Wärmegestehungskosten für ein Einfamilienhaus alle konkurrenzfähig zu einer dezentralen Sanierung mit Ölheizung sind. Selbst die teuerste Variante 1b liegt mit 12 Ct/kWh dicht an den 11,83 Ct/kWh der Reverenzvariante.

Anders verhält es sich mit den größeren Objekten. Um Ihnen günstigere Wärmegestehungskosten als über dezentrale Beheizung zu gewährleisten, sollte die Variante 1c realisiert werden, da diese mit 8,89 Ct/kWh günstiger (Hotel) oder gleichauf (Altenzentrum), verglichen mit den Reverenzvarianten, ist.

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. Der Holzpreis wird voraussichtlich zwar ebenfalls steigen, aber vermutlich nicht im gleichen Ausmaß wie der Ölpreis.

4.8.1 Sensitivitätsanalyse

Um die zukünftige Kostenentwicklung der verschiedenen Varianten zu prognostizieren, wurde eine Sensitivitätsanalyse der kommenden 20 Jahren durchgeführt. Untersucht wurden die Reverenzvariante für ein Einfamilienhaus und für das Altenzentrum sowie die zentralen Varianten 1a (HHS) und 1c (Stroh). Für die Variante 1b lassen sich keine zuverlässigen Prognosen für die Preisentwicklung anstellen, da der Getreidepreis starken Schwankungen ausgesetzt ist. Abbildung 8 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

Der Verlauf der Kurve zeigt, dass die Wärmeerzeugungskosten in den ersten Jahren bei einem vergleichbaren Niveau liegen. Man kann aber erkennen, dass sich spätestens in 7 Jahren die beiden Reverenzvarianten in den Kosten steiler nach oben entwickeln als die zentralen Varianten im Nahwärmeverbund.

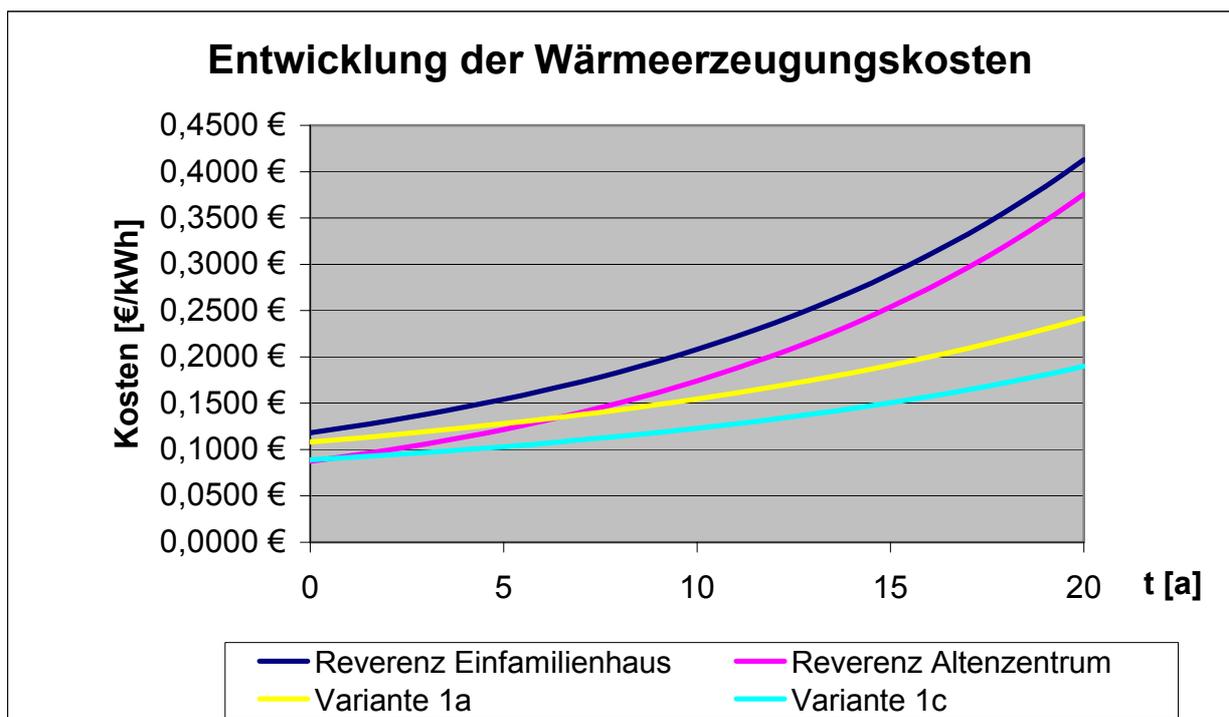


Abbildung 8: Sensitivität der Wärmeerzeugungskosten

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.

Die Strohvariante wird nach dieser Prognose auch in Zukunft die günstigste bleiben, selbst wenn für den Brennstoff die gleiche Preissteigerung angenommen wird, wie für die Holzhackschnitzel.

5 Anhang

5.1 Variante 1a

Investitionskosten Variante 1a				
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	
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
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast				181.249,00
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 455 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				15.675,00
Regelsystem				1.470,00

Montage	20%			3.429,00
Gesamtkosten Ölkessel 455 kW Spitzenlast 1				20.574,00
Investitionskosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				6.555,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			1.605,00
Gesamtkosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2				9.630,00
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	1	Stück	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stück	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stück	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stück	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stück	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stück	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00
Dreiwegeventile	4	Stück	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				62.001,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Mauerarbeiten	80	m³	235,00	18.800,00
Decke	120	m²	71,00	8.520,00
Tür-/Fenstersturz	5	Stück	29,20	146,00
Öffnungen Herst. Tür u. Fenster, Kamin	5	Stück	35,80	179,00
Schließen der Öffnungen	5	Stück	35,80	179,00
Stahltür einbauen	1	Stück	212,30	212,30
Brandschutzfenster	1	Stück	869,50	869,50
Kernbohrungen für Rohranschlüsse	4	Stück	33,70	134,80
Elektroarbeiten				7.500,00
Wasseranschluss				7.500,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				44.040,60
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]

Brennstoffbunker Biomasse	67	m ³		10.523,75
Erdtank Öl	50	m ³		15.000,00
Bodenaushub Erdtank	63	m ³	25	1.575,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				30.598,75
Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	567,00	m		251.035,52
Hausanschlussleitung (PEX)	188,00	m		55.660,80
Gesamtkosten Rohrnetz				306.696,32
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20 kW	1	Stück	1.337,00	1.337,00
20-50 kW	3	Stück	1.737,00	5.211,00
60 kW	2	Stück	4.163,00	8.326,00
220 kW	1	Stück	11.075,00	11.075,00
400 kW	1	Stück	19.647,00	19.647,00
450 kW	1	Stück	22.027,00	22.027,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	9			67.623,00
Summe				727.601,67
Sonstiges	5%			36.380,08
Planungskosten ohne Netz	15%			63.135,80
Gesamtinvestitionskosten				827.117,56

Tabelle 19: Investitionskosten Variante 1a

Wirtschaftlichkeit Variante 1a				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.008.786	
Endenergiebedarf		kWh/a	2.552.163	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	510.433	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	51.043	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf HHS		kWh/a	2.041.730	
Heizwert HHS		kWh/Srm	800	

Brennstoffbedarf HHS		Srm/a	2.552	
spez. Kosten HHS		€/kWh	0,030	
Jahreskosten Heizöl		€/a		28.073,79
Jahreskosten HHS		€/a		61.251,90
Betriebsstromkosten Biomassekesselkessel		€/MWh	1,25	2.552,16
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	714,61
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	382,82
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	1.480,25
Summe Verbrauchskosten				94.455,53
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	7.249,96
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				7.499,96
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%	5.097,77
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	5.093,21
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	3.058,66
Summe sonstige Kosten				13.249,65
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				127.980,15
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	827.117,56	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				60.860,76

Summe Jahreskosten				188.840,90
Umsatzsteuer 19 %				24.241,91
Umsatzsteuer 7 % für HHS				4.287,63
Jahreskosten inkl. USt.				217.370,45
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0940
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1082

Tabelle 20: Wirtschaftlichkeit Variante 1a

5.2 Variante 1b

Investitionskosten Variante 1b				
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	
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	41.350,00
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			23.609,00	23.609,00
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast				222.599,00
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
Rußstopf	1	Stück	85,00	85,00
Zusatzkosten wegen Getreideverbrennung	1		5.000,00	5.000,00

Montage	1		1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				10.274,00
Investitionskosten Ölkessel 455 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				15.675,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			3.429,00
Gesamtkosten Ölkessel 455 kW Spitzenlast 1				20.574,00
Investitionskosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				6.555,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			1.605,00
Gesamtkosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2				9.630,00
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	1	Stück	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stück	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stück	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stück	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stück	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stück	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00
Dreiwegeventile	4	Stück	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				62.001,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Mauerarbeiten	80	m ³	235,00	18.800,00
Decke	120	m ²	71,00	8.520,00
Tür-/Fenstersturz	5	Stück	29,20	146,00
Öffnungen Herst. Tür u. Fenster, Kamin	5	Stück	35,80	179,00
Schließen der Öffnungen	5	Stück	35,80	179,00
Stahltür einbauen	1	Stück	212,30	212,30
Brandschutzfenster	1	Stück	869,50	869,50

Kernbohrungen für Rohranschlüsse	4	Stück	33,70	134,80
Elektroarbeiten				7.500,00
Wasseranschluss				7.500,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				44.040,60
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Brennstoffbunker Biomasse	67	m³		10.523,75
Erdtank Öl	50	m³		15.000,00
Bodenaushub Erdtank	63	m³	25	1.575,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				30.598,75
Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	567,00	m		251.035,52
Hausanschlussleitung (PEX)	188,00	m		55.660,80
Gesamtkosten Rohrnetz				306.696,32
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20 kW	1	Stück	1.337,00	1.337,00
20-50 kW	3	Stück	1.737,00	5.211,00
60 kW	2	Stück	4.163,00	8.326,00
220 kW	1	Stück	11.075,00	11.075,00
400 kW	1	Stück	19.647,00	19.647,00
450 kW	1	Stück	22.027,00	22.027,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	9			67.623,00
Genehmigungsverfahren für Getreideverbrennung				5.000,00
Summe				779.036,67
Sonstiges	5%			38.951,83
Planungskosten ohne Netz	15%			70.851,05
Gesamtinvestitionskosten				888.839,56

Tabelle 21: Investitionskosten Variante 1b

Wirtschaftlichkeit Variante 1b				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.008.786	

Endenergiebedarf		kWh/a	2.552.163	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	510.433	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffmenge Heizöl		l/a	51.043	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf Getreide		kWh/a	2.041.730	
Heizwert Getreide		kWh/kg	4	
Brennstoffmenge Getreide		t/a	510	
spez. Getreidekosten		€/kWh	0,035	
Jahreskosten Heizöl		€/a		28.073,79
Jahreskosten Getreide		€/a		71.460,55
Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	2.552,16
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	714,61
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	382,82
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	1.480,25
Summe der Verbrauchskosten				104.664,18
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	8.903,96
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Abgasmessung durch TÜV		€	3.000,00	3.000,00
Summe Betriebskosten				12.153,96
sonstige Kosten				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	5.840,91
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	5.453,26
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	3.504,54
Summe sonstige Kosten				14.798,71
Löhne und Gehälter				
Umschichtung des Getreides				
Lohnkosten	€/h	35		
Arbeitszeit	h/a	365,00		
Gesamtkosten				12.775,00 €
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				144.391,85
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]

Investitionskosten		€	888.839,56	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				65.402,37
Summe Jahreskosten				209.794,22
Umsatzsteuer 19 %				26.283,40
Umsatzsteuer 7 % für HHS				5.002,24
Jahreskosten inkl. USt.				241.079,86
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,1044
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1200

Tabelle 22: Wirtschaftlichkeit Variante 1b

5.3 Variante 1c

Investitionskosten Variante 1c				
Investitionskosten Linka Strohheizungsanlage 600 kW Grundlast				
Artikel	Menge		Preis [€]	Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon				
Strohteiler				
Strohtransportbahn 15 m	2	15 m	9.500,00	
Strohsauggebläse				
Elektronische Steuerung				
Automatische Entaschung				
Kompakt-Jetfilter				
Stahlschornstein, doppelwandig, 12 m			9.500,00	
Transport, Montage und Inbetriebnahme			9.400,00	
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 550 kW Grundlast				179.500,00
Investitionskosten Ölkessel 400 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Weishauptbrenner				14.230,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			3.140,00
Gesamtkosten Ölkessel 400 kW Spitzenlast 1				18.840,00
Investitionskosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				6.555,00
Regelsystem				1.470,00

Montage	20%			1.605,00
Gesamtkosten Ölkessel 170 kW Spitzenlast 2				9.630,00
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	1	Stück	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stück	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stück	7.400,00	7.400,00
Kamine Ölkessel	2	Stück	4.000,00	8.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stück	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stück	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		2.500,00	2.500,00
Dreiwegeventile	4	Stück	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				62.001,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Mauernarbeiten	80	m ³	235,00	18.800,00
Decke	120	m ²	71,00	8.520,00
Tür-/Fenstersturz	5	Stück	29,20	146,00
Öffnungen Herst. Tür u. Fenster, Kamin	5	Stück	35,80	179,00
Schließen der Öffnungen	5	Stück	35,80	179,00
Stahltür einbauen	1	Stück	212,30	212,30
Brandschutzfenster	1	Stück	869,50	869,50
Kernbohrungen für Rohranschlüsse	4	Stück	33,70	134,80
Elektroarbeiten				7.500,00
Wasseranschluss				7.500,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				44.040,60
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Cover-All Lagerhalle für Stroh	780	m ²		37.171,50
Erdtank Öl	50	m ³		15.000,00
Bodenaushub Erdtank	53	m ³	25	1.325,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				56.996,50

Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	567,00	m		251.035,52
Hausanschlussleitung (PEX)	188,00	m		55.660,80
Gesamtkosten Rohrnetz				306.696,32
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20 kW	1	Stück	1.337,00	1.337,00
20-50 kW	3	Stück	1.737,00	5.211,00
60 kW	2	Stück	4.163,00	8.326,00
220 kW	1	Stück	11.075,00	11.075,00
400 kW	1	Stück	19.647,00	19.647,00
450 kW	1	Stück	22.027,00	22.027,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	9			67.623,00
Genehmigungsverfahren für Strohverbrennung				5.000,00
Summe				750.327,42
Sonstiges	5%			37.516,37
Planungskosten ohne Netz	15%			66.544,67
Gesamtinvestitionskosten				854.388,46

Tabelle 23: Investitionskosten Variante 1c

Wirtschaftlichkeit Variante 1c				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.008.786	
Endenergiebedarf		kWh/a	2.552.163	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	510.433	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffmenge Heizöl		l/a	51.043	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf Stroh		kWh/a	2.041.730	
Heizwert Stroh		kWh/kg	3,75	
Brennstoffmenge Stroh		t/a	544	
spez. Strohkosten		€/kWh	0,011	
Jahreskosten Heizöl		€/a		28.073,79
Jahreskosten Stroh		€/a		22.459,03

Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	2.552,16
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	714,61
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	382,82
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	1.480,25
Summe der Verbrauchskosten				55.662,66
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	7.180,00
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Abgasmessung durch TÜV		€	3.000,00	3.000,00
Summe Betriebskosten				10.430,00
sonstige Kosten				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	3.304,63
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	5.252,29
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	1.982,78
Summe sonstige Kosten				10.539,71
Löhne und Gehälter				
Beschicken mit Strohballen				
Lohnkosten	€/h		35	
Arbeitszeit	h/a		365,00	
Gesamtkosten				12.775,00 €
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				89.407,37
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	854.388,46	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				62.867,40
Summe Jahreskosten				152.274,77
Umsatzsteuer 19 %				24.664,99
Umsatzsteuer 7 % für Stroh				1.572,13
Jahreskosten inkl. USt.				178.511,89
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,07580
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,0889

Tabelle 24: Wirtschaftlichkeit Variante 1c

5.4 Variante 2a

Investitionskosten Variante 2a				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 700 kW Grundlast				
Artikel				Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon			103.900,00	103.900,00
Silodeckel, nicht befahrbar			15.720,00	
Schubbodenaustragung			17.700,00	17.700,00
Transportanlage			24.570,00	24.570,00
Elektronische Steuerung			19.770,00	19.770,00
Automatische Entaschung			11.070,00	11.070,00
Schlauchfilter			41.680,00	
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			25.893,00	25.893,00
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 700 kW Grundlast				205.573,00
Investitionskosten Abgasanlage 400 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	372,00	372,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	115,00	115,00
Prüföffnung	1	Stück	281,00	281,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	407,00	407,00
Längenelement 1080 mm	15	m	105,00	1.575,00
Längenelement 540 mm	5	m	59,00	295,00
Regenhaube	1	Stück	276,00	276,00
Wandkonsole	2	Stück	127,00	254,00
Wandhalter	5	Stück	79,50	397,50
Bogen 45°	2	Stück	95,00	190,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	23,50	23,50
Rußtopf	1	Stück	90,00	90,00
Montage	1	Stück	1.740,00	1.740,00
Gesamtkosten Abgasanlage				6.016,00
Investitionskosten Ölkessel 660 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				19.590,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			4.212,00

Gesamtkosten Ölkessel 660 kW Spitzenlast 1				25.272,00
Investitionskosten Ölkessel 240 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				9.115,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			2.117,00
Gesamtkosten Ölkessel 240 kW Spitzenlast 2				12.702,00
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	1	Stück	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stück	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stück	10.700,00	10.700,00
Kamine Ölkessel	2	Stück	5.000,00	10.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stück	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stück	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		5.000,00	5.000,00
Dreiwegeventile	4	Stück	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		3.000,00	3.000,00
Montage	1		13.440,00	13.440,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				70.801,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Mauerarbeiten	80	m³	235,00	18.800,00
Decke	120	m²	71,00	8.520,00
Tür-/Fenstersturz	5	Stück	29,20	146,00
Öffnungen Herst. Tür u. Fenster, Kamin	5	Stück	35,80	179,00
Schließen der Öffnungen	5	Stück	35,80	179,00
Stahltür einbauen	1	Stück	212,30	212,30
Brandschutzfenster	1	Stück	869,50	869,50
Kernbohrungen für Rohranschlüsse	4	Stück	33,70	134,80
Elektroarbeiten				7.500,00
Wasseranschluss				7.500,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				44.040,60
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Brennstoffbunker Biomasse	85,75	m³		12.497,91

Erdtank Öl	80	m³		25.000,00
Bodenaushub Erdtank	90	m³	25	2.250,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				43.247,91
Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	567,00	m		271.545,33
Hausanschlussleitung (PEX)	338	m		89.252,68
Gesamtkosten Rohrnetz				360.798,01
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20 kW	5	Stück	1.337,00	6.685,00
20-50 kW	14	Stück	1.737,00	24.318,00
60 kW	2	Stück	4.163,00	8.326,00
220 kW	1	Stück	11.075,00	11.075,00
400 kW	1	Stück	19.647,00	19.647,00
450 kW	1	Stück	22.027,00	22.027,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	24			92.078,00
Summe				860.528,51
Sonstiges	5%			43.026,43
Planungskosten ohne Netz	15%			74.959,58
Gesamtinvestitionskosten				978.514,52

Tabelle 25: Investitionskosten Variante 2a

Wirtschaftlichkeit Variante 2a				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€/a]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.765.421	
Endenergiebedarf		kWh/a	3.513.468	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	702.694	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	70.269	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf HHS		kWh/a	2.810.774	
Heizwert HHS		kWh/Srm	800	
Brennstoffbedarf HHS		Srm/a	3.513	

spez. Kosten HHS		€/kWh	0,030	
Jahreskosten Heizöl		€/a		38.648,15
Jahreskosten HHS		€/a		84.323,23
Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	3.513,47
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	983,77
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	527,02
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	2.037,81
Summe der Verbrauchskosten				130.033,44
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	8.222,92
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Summe Betriebskosten				8.472,92
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%	6.925,32
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	6.023,70
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	4.155,19
Summe sonstige Kosten				17.104,21
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				168.385,57
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]
Investitionskosten		€	978.514,52	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				72.000,81
Summe Jahreskosten				240.386,38
Umsatzsteuer 19 %				29.652,00

Umsatzsteuer 7 % für HHS				5.902,63
Jahreskosten inkl. Ust.				275.941,01
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0869
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,0998

Tabelle 26: Wirtschaftlichkeit Variante 2a

5.5 Variante 2b

Investitionskosten Variante 2b				
Investitionskosten Biomasseheizanlage 700 kW Grundlast				
Artikel				Betrag [€]
Kessel und Feuerung mit Multizyklon			103.900,00	103.900,00
Silodeckel, nicht befahrbar			15.720,00	
Schubbodenaustragung			17.700,00	17.700,00
Transportanlage			24.570,00	24.570,00
Elektronische Steuerung			19.770,00	19.770,00
Automatische Entaschung			11.070,00	11.070,00
Schlauchfilter			41.680,00	41.680,00
Zylinderraumbelüftung			2.670,00	2.670,00
Montage und Inbetriebnahme			25.893,00	25.893,00
Gesamtkosten Biomasseheizanlage 700 kW Grundlast				247.253,00
Investitionskosten Abgasanlage 400 mm				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Sockelelement	1	Stück	372,00	372,00
Bodenplatte mit Kondensatablauf	1	Stück	115,00	115,00
Prüföffnung	1	Stück	281,00	281,00
Feuerungsanschluss	1	Stück	407,00	407,00
Längenelement 1080 mm	15	m	105,00	1.575,00
Längenelement 540 mm	5	m	59,00	295,00
Regenhaube	1	Stück	276,00	276,00
Wandkonsole	2	Stück	127,00	254,00
Wandhalter	5	Stück	79,50	397,50
Bogen 45°	2	Stück	95,00	190,00
Blitzschutzklemme	1	Stück	23,50	23,50
Rußtopf	1	Stück	90,00	90,00
Zusatzkosten wegen Getreideverbrennung	1		5.000,00	5.000,00
Montage	1		1.740,00	1.740,00

Gesamtkosten Abgasanlage				11.016,00
Investitionskosten Ölkessel 660 kW Spitzenlast 1				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				19.590,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			4.212,00
Gesamtkosten Ölkessel 660 kW Spitzenlast 1				25.272,00
Investitionskosten Ölkessel 240 kW Spitzenlast 2				
Artikel	Menge			Betrag [€]
Buderus Kessel mit Riellobrenner				9.115,00
Regelsystem				1.470,00
Montage	20%			2.117,00
Gesamtkosten Ölkessel 240 kW Spitzenlast 2				12.702,00
Weitere Kosten Heizungsanlage				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Pufferspeicher	1	Stück	8.661,00	8.661,00
Verteilung	2	Stück	1.700,00	3.400,00
Duckhalteanlage	1	Stück	10.700,00	10.700,00
Kamine Ölkessel	2	Stück	5.000,00	10.000,00
Verrohrung in der Heizzentrale	30	m	100,00	3.000,00
Pumpen	6	Stück	1.000,00	6.000,00
Ventile	12	Stück	300,00	3.600,00
Sicherheitsarmaturen	1		5.000,00	5.000,00
Dreiwegeventile	4	Stück	1.000,00	4.000,00
Dämmung	1		3.000,00	3.000,00
Montage	1		13.440,00	13.440,00
Gesamtkosten Weitere Kosten				70.801,00
Baukosten Heizzentrale				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Mauerarbeiten	80	m ³	235,00	18.800,00
Decke	120	m ²	71,00	8.520,00
Tür-/Fenstersturz	5	Stück	29,20	146,00
Öffnungen Herst. Tür u. Fenster, Kamin	5	Stück	35,80	179,00
Schließen der Öffnungen	5	Stück	35,80	179,00
Stahltür einbauen	1	Stück	212,30	212,30
Brandschutzfenster	1	Stück	869,50	869,50
Kernbohrungen für Rohranschlüsse	4	Stück	33,70	134,80

Elektroarbeiten				7.500,00
Wasseranschluss				7.500,00
Gesamtbaukosten Heizzentrale				44.040,60
Kosten Brennstofflager				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
Brennstoffbunker Biomasse	85,75	m³		12.497,91
Erdtank Öl	80	m³		25.000,00
Bodenaushub Erdtank	90	m³	25	2.250,00
Aufstellung, Montage				2.500,00
Erdarbeiten				1.000,00
Gesamtkosten Brennstofflager				43.247,91
Rohrnetzkosten inkl. Oberflächenwiederherstellung und Planung				
Artikel	Menge	Einheit		Betrag [€]
Hauptrohrleitung (KMR)	567,00	m		271.545,33
Hausanschlussleitung (PEX)	338	m		89.252,68
Gesamtkosten Rohrnetz				360.798,01
Kosten Hausübergabestationen				
Artikel	Menge	Einheit	Preis/Einheit	Betrag [€]
bis 20 kW	5	Stück	1.337,00	6.685,00
20-50 kW	14	Stück	1.737,00	24.318,00
60 kW	2	Stück	4.163,00	8.326,00
220 kW	1	Stück	11.075,00	11.075,00
400 kW	1	Stück	19.647,00	19.647,00
450 kW	1	Stück	22.027,00	22.027,00
Gesamtkosten Hausübergabestationen	24			92.078,00
Genehmigungsverfahren für Getreideverbrennung				5.000,00
Summe				912.208,51
Sonstiges	5%			45.610,43
Planungskosten ohne Netz	15%			82.711,58
Gesamtinvestitionskosten				1.040.530,52

Tabelle 27: Investitionskosten Variante 2b

Wirtschaftlichkeit Variante 2b				
Verbrauchskosten Heizung				
Bezeichnung		Einheit		Betrag [€]
Nutzenergiebedarf		kWh/a	2.765.421	

Endenergiebedarf		kWh/a	3.513.468	
Brennstoffbedarf Heizöl		kWh/a	702.694	
Heizwert Öl		kWh/l	10	
Brennstoffbedarf Heizöl		l/a	70.269	
spez. Heizölkosten		€/kWh	0,055	
Brennstoffbedarf Getreide		kWh/a	2.810.774	
Heizwert Getreide		kWh/kg	4	
Brennstoffbedarf Getreide		t/a	703	
spez. Getreidekosten		€/kWh	0,035	
Jahreskosten Heizöl		€/a		38.648,15
Jahreskosten Getreide		€/a		98.377,10
Betriebsstromkosten Bio- massekesselkessel		€/MWh	1,25	3.513,47
Ascheentsorgung		€/MWh	0,35	983,77
Betriebsstromkosten Ölkes- sel		€/MWh	0,75	527,02
Stromkosten Netzpumpen		€/MWh	0,58	2.037,81
Summe der Verbrauchskosten				144.087,32
Betriebskosten				
				Betrag [€/a]
Wartung und Instandhaltung Holz- und Hilfskessel und Heizraum	bezogen auf die Investitionskosten der Kessel		4,00%	9.890,12
Kaminfeger		€	250,00	250,00
Abgasmessung durch TÜV		€	3.000,00	3.000,00
Summe Betriebskosten				13.140,12
sonstige Kosten				
				Betrag [€/a]
Verwaltung	bezogen auf die jährlichen Kosten		5,00%	7.861,37
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition		0,70%	6.385,46
Kalkulat. Zuschlag	bezogen auf die jährlichen Kosten		3,00%	4.716,82
Summe sonstige Kosten				18.963,65
Löhne und Gehälter				
Umschichtung des Getreides				
Lohnkosten	€/h	35		
Arbeitszeit	h/a	365,00		
Gesamtkosten				12.775,00 €
Summe Löhne und Gehälter				12.775,00
Summe Verbrauchs- und Betriebskosten				188.966,09
Kapitalgebundene Kosten für die Investition				
		Einheit		Betrag [€/a]

Investitionskosten		€	1.040.530,52	
Zinssatz			4,00%	
Betrachtungsdauer	t	a	20	
Annuitätenfaktor			0,074	
Summe Kapitalgebundene Kosten				76.564,06
Summe Jahreskosten				265.530,15
Umsatzsteuer 19 %				31.759,08
Umsatzsteuer 7 % für HHS				6.886,40
Jahreskosten inkl. Ust.				304.175,62
Wärmegestehungskosten netto		€/kWh		0,0960
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1100

Tabelle 28: Wirtschaftlichkeit Variante 2b

5.6 Reverenzvariante: Einfamilienhaus

Investitionskosten Ölheizung Einfamilienhaus 20 kW			
	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 €
Gesamtkosten Heizungsanlage			10.811,00 €

Tabelle 29: Investitionskosten Reverenzvariante Einfamilienhaus

Wirtschaftlichkeit Ölheizung Einfamilienhaus				
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr				
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
Verbrauchskosten Heizung				

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
Betriebskosten				
Instandhaltung und Wartung	2,50%	€/a		270,28
Kaminfeger		€/a		45,00
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	28,88
Summe Betriebskosten		€/a		344,15
sonstige Kosten				
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
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,1183

Tabelle 30: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Einfamilienhaus

5.7 Reverenzvariante: Hotel Jakobs

Investitionskosten Ölheizung Hotel Jakobs 50 kW			
	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 Heizzentra-	1	500,00 €	500,00 €

le			
Brauchwassermischer	1	56,00 €	56,00 €
Gesamtkosten Heizungsanlage			18.147,00 €

Tabelle 31: Investitionskosten Reverenzvariante Hotel

Wirtschaftlichkeit Ölheizung Hotel Jakobs				
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr				
Ausgangsdaten	Zeichen	Einheit		
Realer Zinssatz	i_1		6,00%	
Betrachtungsdauer	t		20	
Annuitätenfaktor	$i * (1+i)^t / ((1+i)^t - 1)$		0,087	
Investition			18.147,00 €	
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr		€/a		1.582,14
Verbrauchskosten Heizung				
Endenergiebedarf		kWh/a	120.000	
Nutzenergiebedarf		kWh/a	109.091	
Brennstoffbedarf fossil		kWh/a	120.000	
Spez. Brennstoffkosten fossil		€/kWh	0,055	
Kosten Öl		€/a		6.600,00
Gesamtkosten		€/a		6.600,00
Betriebskosten				
Instandhaltung und Wartung	2,50%			453,68
Kaminfeger		€/a		45,00
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	90,00
Summe Betriebskosten		€/a		588,68
sonstige Kosten				
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition	0,70%		127,03
Summe sonstige Kosten		€/a		127,03
Jahreskosten gesamt		€/a		8.897,84
Umsatzsteuer		19,00%		1.690,59
Jahreskosten inkl. Ust.				10.588,43
Wärmeerzeugungskosten netto				0,0816
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,0971

Tabelle 32: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Hotel

5.8 Reverenzvariante: Altenzentrum

Investitionskosten Ölheizung Altenzentrum 2*240 kW			
	Menge	Preis pro Einheit	Preis (netto)
Demontage	1	2.000,00 €	2.000,00 €
Kessel und Brenner	2	9.835,00 €	19.670,00 €
Montagekosten Kessel	2	1.800,00 €	3.600,00 €
Regelgerät	2	1.070,00 €	2.140,00 €
Warmwasserspeicher	1	3.800,00 €	3.800,00 €
Erdtank 80.000 l	1	25.000,00 €	25.000,00 €
Montagekosten Tank	1	1.500,00 €	1.500,00 €
Schornsteinsanierung	2	4.000,00 €	8.000,00 €
Boilerladepumpe	1	400,00 €	400,00 €
Zirkulationspumpe	1	300,00 €	300,00 €
Heizkreispumpe	5	500,00 €	2.500,00 €
Ausdehnungsgefäß	1	1.500,00 €	1.500,00 €
Sicherheitsgruppe	1	307,00 €	307,00 €
Verrohrung Heizzentrale	1	1.000,00 €	1.000,00 €
Brauchwassermischer	1	250,00 €	250,00 €
Gesamtkosten Heizungsanlage			71.967,00 €

Tabelle 33: Investitionskosten Reverenzvariante Altenzentrum

Wirtschaftlichkeit Ölheizung Altenheim				
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr				
Ausgangsdaten	Zeichen	Einheit		
Realer Zinssatz	i_1		6,00%	
Betrachtungsdauer	t		20	
Annuitätenfaktor	$i * (1+i)^t / ((1+i)^t - 1)$		0,087	
Investition			71.967,00 €	
Kapitalgebundene Kosten pro Jahr		€/a		6.274,41
Verbrauchskosten Heizung				
Endenergiebedarf		kWh/a	800.000	
Nutzenergiebedarf		kWh/a	727.273	
Brennstoffbedarf fossil		kWh/a	800.000	
Spez. Brennstoffkosten fossil		€/kWh	0,055	
Kosten Öl		€/a		44.000,00
Gesamtkosten		€/a		44.000,00
Betriebskosten				
Instandhaltung und Wartung	2,50%			1.799,18
Kaminfeger		€/a		100,00
Betriebsstromkosten Ölkessel		€/MWh	0,75	600,00

Summe Betriebskosten		€/a		2.499,18
sonstige Kosten				
Versicherung	bezogen auf die Gesamtinvestition	0,70%		503,77
Summe sonstige Kosten		€/a		503,77
Jahreskosten gesamt		€/a		53.277,36
Umsatzsteuer		19,00%		10.122,70
Jahreskosten inkl. Ust.				63.400,05
Wärmegestehungskosten netto				0,0733
Wärmegestehungskosten brutto		€/kWh		0,0872

Tabelle 34: Wirtschaftlichkeit Reverenzvariante Altenzentrum

