

---

Machbarkeitsstudie  
Wärmeversorgung  
Gemeinde Bracht

---

Möglichkeiten der Wärmeversorgung  
der Gebäude in Bracht mittels Nah-  
wärme aus Erneuerbaren Energien

---

Auftraggeber

Stadt Rauschenberg  
Schloßstraße 1  
35282 Rauschenberg

---

---

Oktober 2016  
GUT e.V.  
Brandt / Illmer  
Gartenstraße 7  
37574 Einbeck

---

## Inhaltsverzeichnis

1.	Veranlassung .....	3
2.	Projektgegenstand .....	5
3.	Vorgehensweise .....	7
4.	Wärmeverbrauch und Wärmebedarf .....	8
5.	Versorgungsvarianten .....	11
5.1	Biomasse-Heizwerk in Kombination mit einem Klein-BHKW (Blockheizkraftwerk).....	11
6.	Nahwärmenetz.....	12
7.	Wärmenetzbetrieb und Voraussetzungen für optimale hydraulische und thermische Gestaltung der Versorgung mit Nahwärme bei den Abnehmern .....	17
8.	Wärmespeicher .....	18
9.	Wärmeversorgung aus einem Biomasse-Heizwerk, Bracht.....	19
9.1	Biomasse-Kessel, Brennstoff Holzhackschnitzel .....	23
9.2	Biomasse-Kessel, Brennstoff Stroh .....	25
10.	Nahwärmenetz mit solarthermischem Feld und saisonalem Wärmespeicher für Bracht (ohne Siedlung).....	28
11.	Punktuelle Wärmenetze mit zentraler Pelletheizung.....	34
12.	Investitionskosten, Wärmepreis, Wirtschaftlichkeit .....	37
13.	Wärmepreismodell .....	38
14.	Heizkostenvergleich .....	39
15.	Betreibermodelle .....	41
16.	Realisierungsempfehlung.....	43

## Anhang333

Kostenanalyse der Varianten:

Variante 1 a) Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzel-Heizanlage

Variante 2 Nahwärmenetz mit solarthermischem Feld und saisonalem Speicher

Variante 3 Punktuelle Wärmenetze mit zentraler Pelletheizung

Vergleich der effektiven Wärmekosten für ein Einfamilienhaus

## 1. Veranlassung

Das Büro Gut wurde Ende 2015 durch die Stadt Rauschenberg mit der Erstellung einer Machbarkeitsstudie für die Errichtung eines Nahwärmenetzes im Stadtteil Bracht beauftragt.

Gegenstand der Studie ist es, die energetischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und Realisierungsmöglichkeiten für die Wärmeversorgung und die damit zu erreichende Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes aufzuzeigen. Es sollen Varianten der Wärmeerzeugung auf Basis Erneuerbarer Energien erörtert und hinsichtlich Wirtschaftlichkeit geprüft werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung stellen eine Grundlage für den Vergleich unterschiedlicher Versorgungsvarianten im Hinblick auf eine realistische Ausführung dar. Machbarkeitsstudien sind hinsichtlich Detailschärfe nicht mit einer Planung bzw. Entwurfsplanung zu verwechseln, sondern sollen plausible und realistische Daten für eine Entscheidungsfindung liefern. Die in der vorliegenden Machbarkeitsstudie enthaltenen Kostenschätzungen beruhen auf Mittelwerten, die das Büro GUT aus der Auswertung ausgeführter Anlagen und Nahwärmenetze gewonnen hat.

Seit 2014 ist auf den internationalen Energiemärkten ein dramatischer Verfall der Rohölnotierungen zu verzeichnen. In der Folge verbilligten sich auf dem deutschen Markt die Preise von Heizöl und Treibstoffen, aber auch von Flüssiggas, das als Koppelprodukt bei der Raffinierung von Rohöl anfällt.

In der nachfolgend dargestellten vergleichenden Preisentwicklung ist zu sehen, dass der Preis für Holz hackschnitzel eine vergleichsweise geringe Dynamik gegenüber Heizöl aufweist. Nur der Preis für Erdgas erscheint gegenwärtig ähnlich stabil, aber auf erheblich höherem Preisniveau, das in den Jahren 2011 bis 2014 jedoch niedriger lag als das für Heizöl.

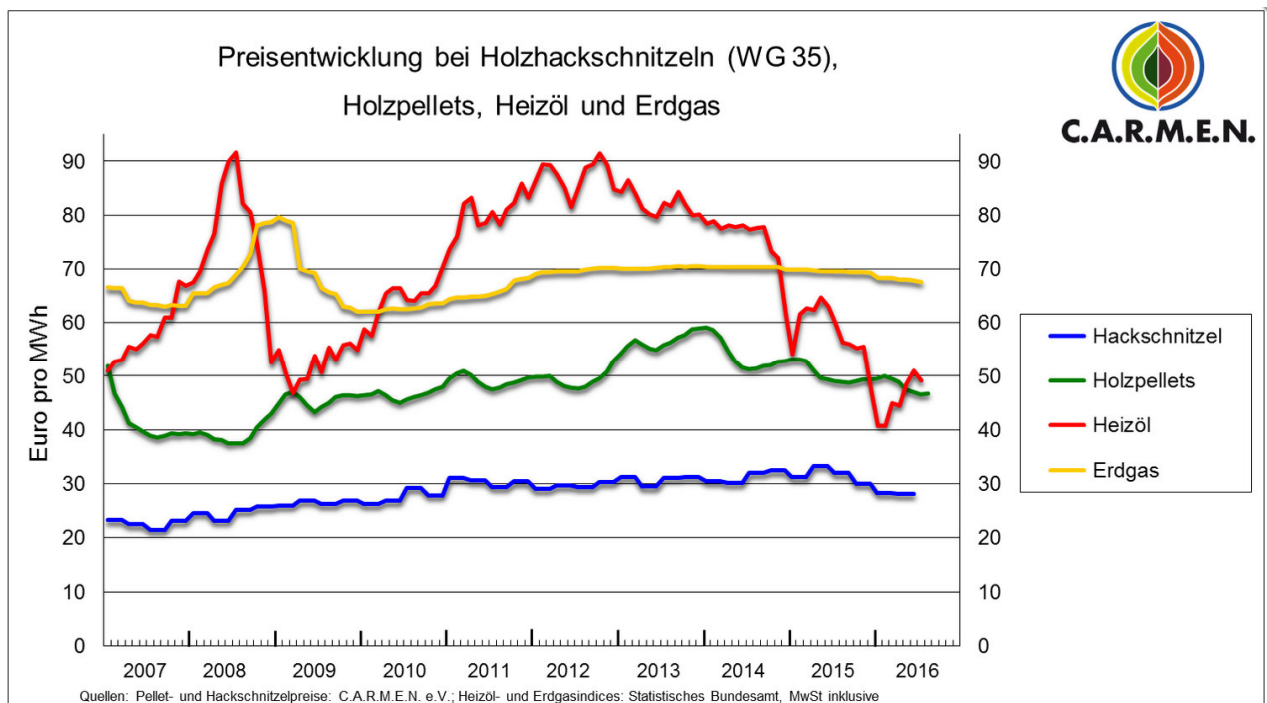


Diagramm 1 Quelle: C.A.R.M.E.N. Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e.V. Straubing

Da die Wärmeerzeugung für die Gebäude der Gemeinde Bracht bisher im Wesentlichen auf den Energieträgern Heizöl, teilweise ergänzt durch Holzheizung, und im geringen Umfang auch Heizstrom basiert, haben die vorgenannten Preiseinbrüche unmittelbaren Einfluss auf den Wirtschaftlichkeitsvergleich der untersuchten Varianten.

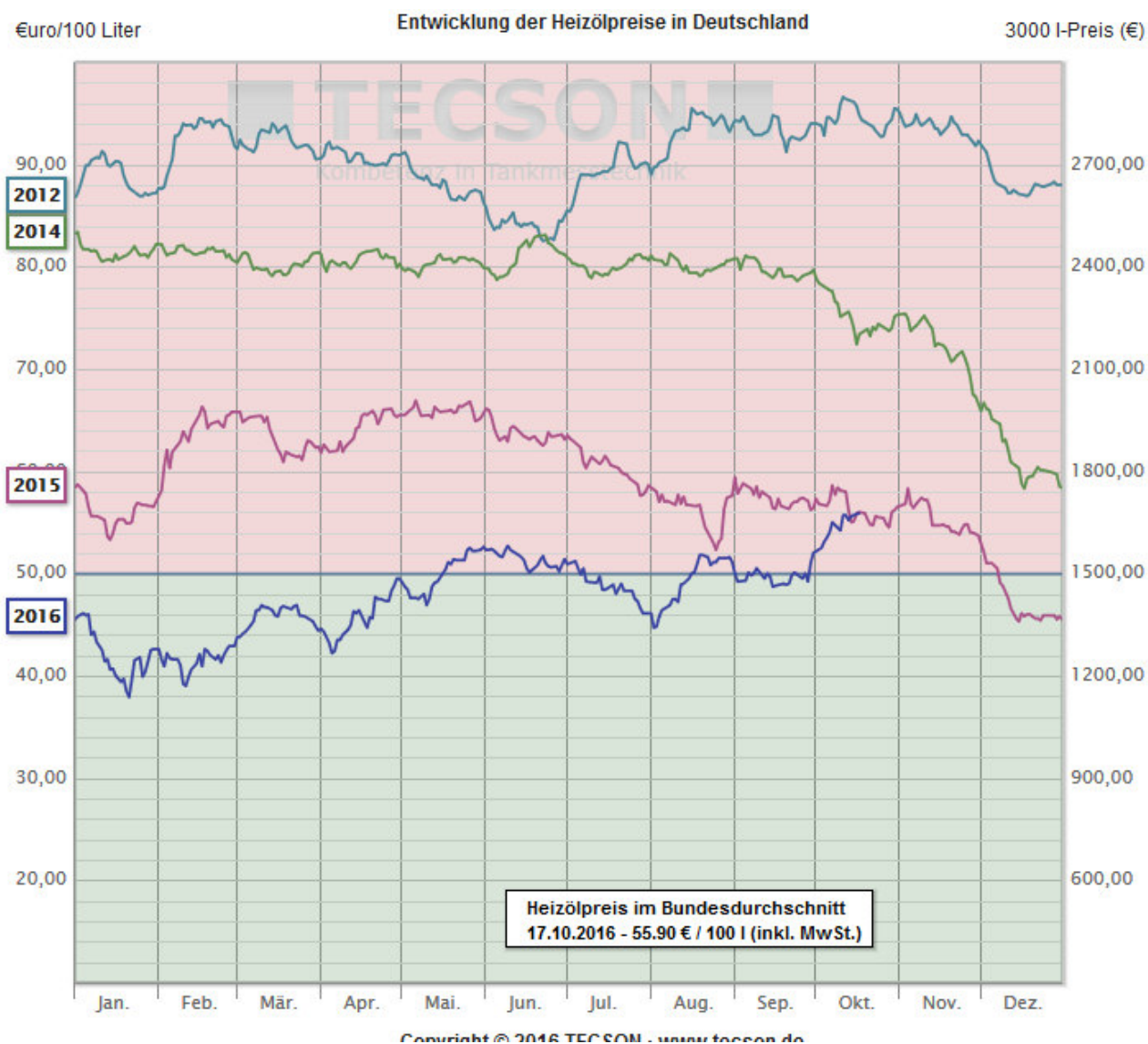


Diagramm 2 Quelle: TESCO.N.de

Erst nach dem Jahreswechsel 2016 und vor allem am Ende des ersten Quartals kam es mit leichten Schwankungen zu einem Wiederanstieg der Preisentwicklung, sodass nunmehr davon ausgegangen werden kann, dass die Talsohle durchschritten wurde, auch wenn im 2. Quartal ein erneuter Preisabschwung stattgefunden hat, gefolgt von einem sprunghaften Preisanstieg Anfang bis Mitte August, dem aber wiederum ein leichter Preisabfall folgte. Jedoch haben Ende September Absprachen der OPEC-Länder für eine Lieferbegrenzung zu einem neuerlichen deutlichen Anstieg der Ölpreise innerhalb von 2 Wochen um 10% geführt. Die labile politische Lage in Hauptförderländern verbunden mit einer verhaltenen Konjunktur auf den Weltmärkten, lassen gegenwärtig jedoch noch immer keine verlässliche Aussage über die zu erwartende Preistendenz für die fossilen Energieträger Heizöl und Flüssiggas in der unmittelbaren Zukunft zu. Damit haben Kostenbewertungen auf Grundlage von Energiepreisen auch nur eine begrenzte Aussagekraft, so dass andere Faktoren wie Ressourcenschonung, Umweltschutz und Versorgungssicherheit stärker in die Entscheidungsfindung einfließen sollten.

Ein Blick auf die Hochpreisperiode 2011 bis 2013 (siehe Diagramme 1 und 2) sollte Anlass sein, sich angesichts der momentan niedrigen Ölpreise nicht in Sicherheit bezüglich der zukünftigen Preisentwicklung und Versorgungslage zu wiegen. Die Annahme, dass mit einem Wiederanstieg der Energiepreise gerechnet werden muss, ist, und das unter langfristiger Betrachtung, die Brennstoffpreise beständig ansteigen werden, ist naheliegend und beruht im Wesentlichen auf folgenden vier Faktoren:

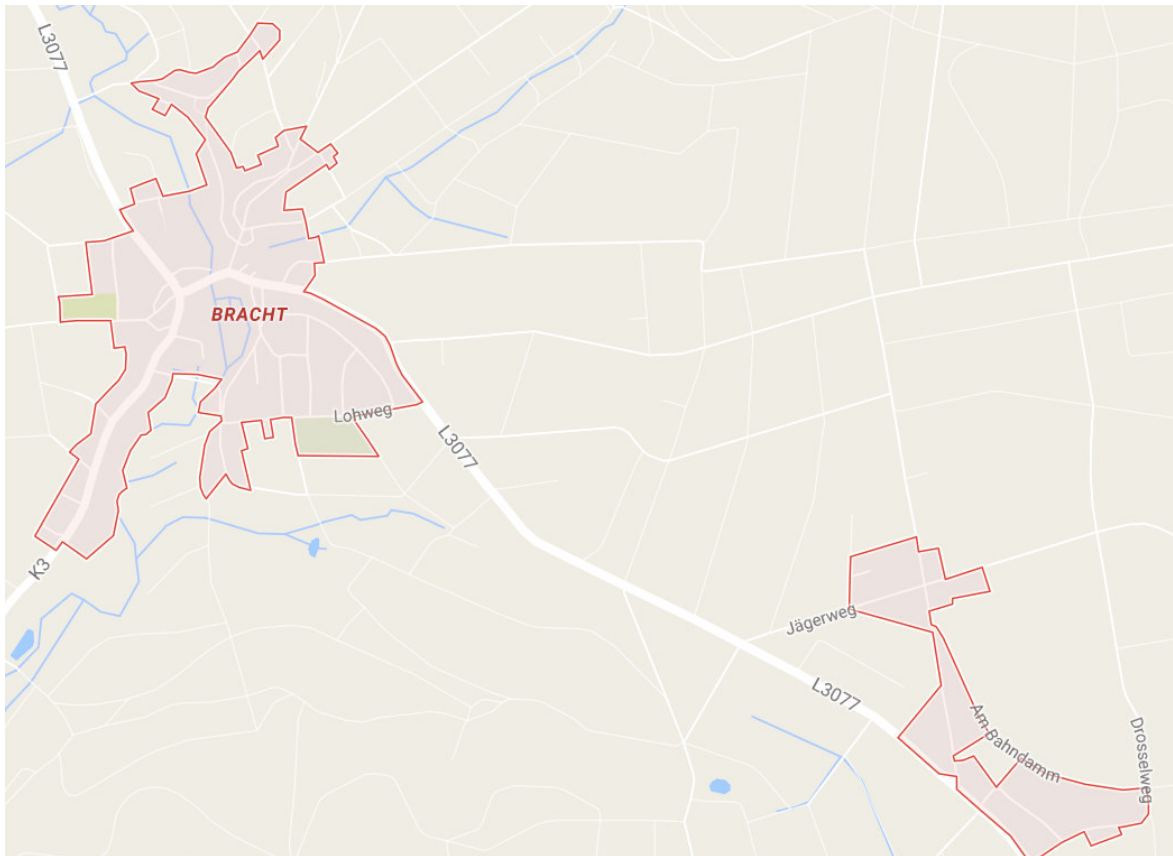
1. Die fossilen Energieressourcen sind vom Grundsatz her begrenzt, vor allem die, die mit geringen Kosten erschließbar sind.
2. Substitutionsmaßnahmen wie der Einsatz von Systemen zur Nutzung Erneuerbarer Energiequellen erfordern vergleichsweise hohe Ersatzinvestitionen. Die Volatilität Erneuerbarer Energiequellen erfordert zusätzliche Investitionen in Systeme zur Energiespeicherung. Mit zunehmendem Substitutionsgrad werden Langzeitspeicher erforderlich. Deren spezifische Investitionskosten sind vergleichsweise hoch und haben ebenfalls eine kostentreibende Wirkung für Nutzenergien (Wärme, Strom, Treibstoffe).
3. Klimatische Folgen und Umweltbelastungen aus der Verbrennung fossiler Energieträger haben unter volkswirtschaftlichem Blickwinkel zunehmend negative ökonomische Auswirkungen, die über Kurz oder Lang stärker in die Preise für fossile Brennstoffe eingearbeitet werden müssen. Zum einen gemäß Verursacherprinzip, zum anderen um eine Lenkungswirkung weg von der Verwendung fossiler Brennstoffe zu bewirken und damit die Transformation in die nachfossile Ära der ausschließlichen Nutzung Erneuerbarer Energiequellen zu beschleunigen.
4. Hauptförderländer wie Russland und Saudi Arabien geraten zunehmend aufgrund der geringen Erlöse aus dem Ölverkauf in wirtschaftliche Turbulenz. Trotz ideologisch und religiös bedingter Gegensätze erwächst aus der Notlage die Bereitschaft zu Absprachen hinsichtlich einer Förderbegrenzung, um durch Angebotsmangel einen Preisschub zu induzieren.

## 2. Projektgegenstand

Bracht mit Bracht-Siedlung ist mit ca. 900 Einwohnern der zweitgrößte Ortsteil der Stadt Rauschenberg, die zum Landkreis Marburg-Biedenkopf gehört. Zur Infrastruktur des Stadtteils tragen Grundschule, Kindertagesstätte, Mehrzweckhalle, Stadtbücherei, über 10 Vereine und Vereinigungen sowie kirchliche Einrichtungen bei.

Wie an der nachstehenden Grafik zu erkennen ist, liegen die Gebiete Bracht und Bracht-Siedlung räumlich auseinander. Die Distanz über die Verbindungsstraße L 3077 beträgt ca. 2 km bezogen auf die jeweilige Mitte der Ortslage. Von 289 Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhäusern in der Gemeinde Bracht wurden in Bracht Siedlung ca. 60 Wohngebäude gezählt.

Die Höhenlage von Bracht bzw. der Gebäude, deren Besitzer in der aktuellen ersten Umfrage für einen Anschluss an eine Nahwärmeversorgung votiert haben, liegt zwischen 236 und 274 m. Der maximale Höhenunterschied beträgt somit 38 m.



Quelle: google maps

		Rauschenberg		Bracht	
Fläche	km <sup>2</sup>	26,35		14,05	
<b>Einwohner</b>		<b>1.737</b>		<b>926</b>	
Wohngebäude		540		289	
WE		741		395	
Wohnflächen	m <sup>2</sup>	83.600		44.580	
je Einwohner	m <sup>2</sup>	48		48	
EFH		399	73,9%	213	73,7%
ZFH		119	22,0%	64	22,1%
MFH		22	4,1%	12	4,2%
WE gesamt in MFH		104		54	
WE/MFH		4,7		4,5	

Quelle: deutschland123.de

Wärmeverbrauch Hochrechnung = Potenzial	MWh/a	MW	MWh/a	MW
VB EFH	9.975	4,4	5.325	2,4
VB ZFH	3.808	1,6	2.048	0,9
VB MFH	1.560	0,7	810	0,3
<b>Summe WGb</b>	<b>15.343</b>		<b>8.183</b>	
Q' mit GFZ	0,75	8,3		4,4

Quelle: Büro GUT

### 3. Vorgehensweise

#### Datenerhebung

Zur Untersuchung der Versorgungsvarianten ist die Ermittlung eines plausiblen Heizwärme- und Warmwasserbedarfs im Untersuchungsgebiet Grundlage. Hierzu wurden Daten durch eine Fragebogenaktion für private, kommunale und gewerbliche Gebäude aufgenommen und ausgewertet:

- bisheriger Energieverbrauch und vorhandene Heizungstechnik
- Art und Weise der Wärmeverteilung
- evtl. technischer Energieverbrauch für Produktionsabläufe
- Kosten für Gas, Heizöl und Brennholz
- wärmetechnische Einordnung der Gebäude
- Anschlussbereitschaft

Im Vorfeld der Fragebogenaktion wurde eine Informationsveranstaltung für potentielle Wärmekunden unter Mitwirkung der Gutachter durch die Stadt Rauschenberg veranstaltet. Etwa 60 interessierte Bürger wurden in einem Vortrag über die Ziele der Studie und über bereits umgesetzte Projekte zur Nahwärmenutzung informiert.

#### Datenauswertung

Unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen und der Charakteristik des Jahresgangs für den Wärmebedarf wurden die Kennwerte für Leistung, Nutzungsgrad und Verbrauch der Interessenten für eine Nahwärmeversorgung ermittelt und die zu erwartenden Primär- und Endenergieverbräuche abgeschätzt. Unter Zuhilfenahme der Gebäudegrundflächen aus der ALK wird die Plausibilität der Wärmebedarfe überprüft.

#### Ressourcenermittlung Erneuerbare Energien

Ermittlung der örtlichen Ressourcen aus:

- der Landwirtschaft (Stroh)
- der Landschaftspflege (Heckenschnitt)
- der Forstwirtschaft (Holz) und überörtlicher Angebote für eine Hackschnitzelheizwerk (Logistik Holzversorgung und Betriebsführung, z. Z. LK Marburg-Biedenkopf im Aufbau).

Standortprüfung für die Errichtung einer Wärmeerzeugungsanlage auf Basis der ermittelten Ressourcen. Einbindung von Solarthermie als Energiequelle in das Wärmeerzeugungskonzept.

#### Technische Konzeption

Die technische Konzeption wird kurz dargestellt. Eine erste Dimensionierung der Systemkomponenten wird vorgenommen. Es erfolgt eine Grob-Vorplanung des Nahwärmenetzes. Die erforderlichen Investitionskosten werden durch Kostenschätzung auf Grundlage der Erfahrungswerte aus ausgeführten Anlagen ermittelt.

Die Versorgungsoptionen werden hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Konzeption und Vordimensionierung der Wärmeerzeugungsanlage und der solarthermischen Anlage, Einbindung vorhandener solarthermischer Anlagen und Integration der erforderlichen technischen Anlagen wie Spitzenkessel, Wärmepufferspeicher, Netzpumpen, Druckhaltung, Trassenwasseraufbereitung, Vakuumentgasung etc. werden berücksichtigt.

### Recherche zu aktuellen Förderprogrammen

Für die vor einer Projektumsetzung gegebenenfalls zu beantragenden Fördermittel für das Nahwärmenetz und eine Wärmeerzeugungsanlage auf Basis Erneuerbarer Energien ist das Konzept plausibel unter Beachtung der für die Förderung wichtigen Kriterien darzulegen. Dazu zählt der Nachweis einer ausreichenden Wärmeabsatzdichte von > 500 kWh/Trassenmeter und Jahr. Die wichtigsten technischen und ökonomischen Daten, Länge der Nahwärmetrasse, Anzahl der Übergabestationen, Bauart der Rohrleitungen (Einfach- oder Doppelrohr), wichtige Kennzahlen der Wärmeerzeuger etc. werden angegeben. Die vorliegende Studie kann zur Beantragung der Fördermittel herangezogen werden.

### Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Investitionskosten für die Versorgungsvarianten werden durch Kostenschätzung ermittelt. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden die Wärmegestehungskosten und der Wärmepreis unter Heranziehung der aktuell generierbaren Fördermittel errechnet und die Erfüllungskriterien der Förderprogramme geprüft. Die Kosten für den Endverbraucher (Betriebs- und Investitionskosten) werden aufgezeigt.

### Realisierungsempfehlung

Die Rentabilität eines Nahwärmenetzes und der Wärmeerzeugungsanlage werden unter Berücksichtigung von Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Technologie (mittel- bis langfristig, evtl. Hinzukommen neuer Teilnehmer) bewertet und abschließend ein Realisierungsvorschlag vorgestellt.

## **4. Wärmeverbrauch und Wärmebedarf**

58 Fragebögen wurden im Laufe der Fragebogenaktion abgegeben. Das entspricht einer Beteiligung von etwa 20% bezogen auf 288 Gebäude. Allerdings haben nur 48 der Beteiligten ihre Anschlussbereitschaft an eine zentrale Wärmeversorgung mitgeteilt, 10 lehnen den Anschluss ab. Die Anschlussbereitschaft liegt somit derzeit bei 17% bezogen auf die Gebäudeanzahl, wovon wiederum die Hälfte an eine zentrale Wärmeversorgung nur anschließt, wenn diese kostengleich oder – günstiger ist als die derzeitige Beheizung ausfällt.

Die beiden Ortsbereiche Bracht und Bracht Siedlung werden aufgrund der räumlichen Distanz getrennt betrachtet. Die Versorgung aus einem gemeinsamen Wärmenetz muss ausgeschlossen werden, da sich der Bau der verbindenden Wärmeleitung von 1,5 bis 2,0 Kilometern über die in diesem Projekt zu realisierenden Einnahmen aus Wärmeverkäufen nicht finanzierbar ist.

Ortsbereich		Bracht	Siedlung
Anzahl der Anschlussnehmer		41	8
max. Wärmebedarf bei GFK 0,85 <sup>1</sup>	kW	596	69
Wärmeverbrauch	kWh/a	1.073	139
Wärmeerzeugung inkl. Netzverlusten	kWh/a	1.420	

Aus der langjährigen Erfahrung mit Nahwärmeprojekten im ländlichen Raum ist bereits an dieser Stelle anzumerken, dass zum wirtschaftlichen Gelingen einer Nahwärmelösung deutlich höhere Anschlussdichten erforderlich sind. Ab etwa 50% des Gebäudebestands aufwärts besteht eine Chance, dass ein Projekt wirtschaftlich darstellbar und sinnvoll ist. Die relativ dichte Bebauung in Bracht und dem Bereich Siedlung sprechen auf den ersten Blick für diese Möglichkeit. In die Untersuchung einbezogen wurde die Mehrzweckhalle.

<sup>1</sup> Gleichzeitigkeitsfaktor



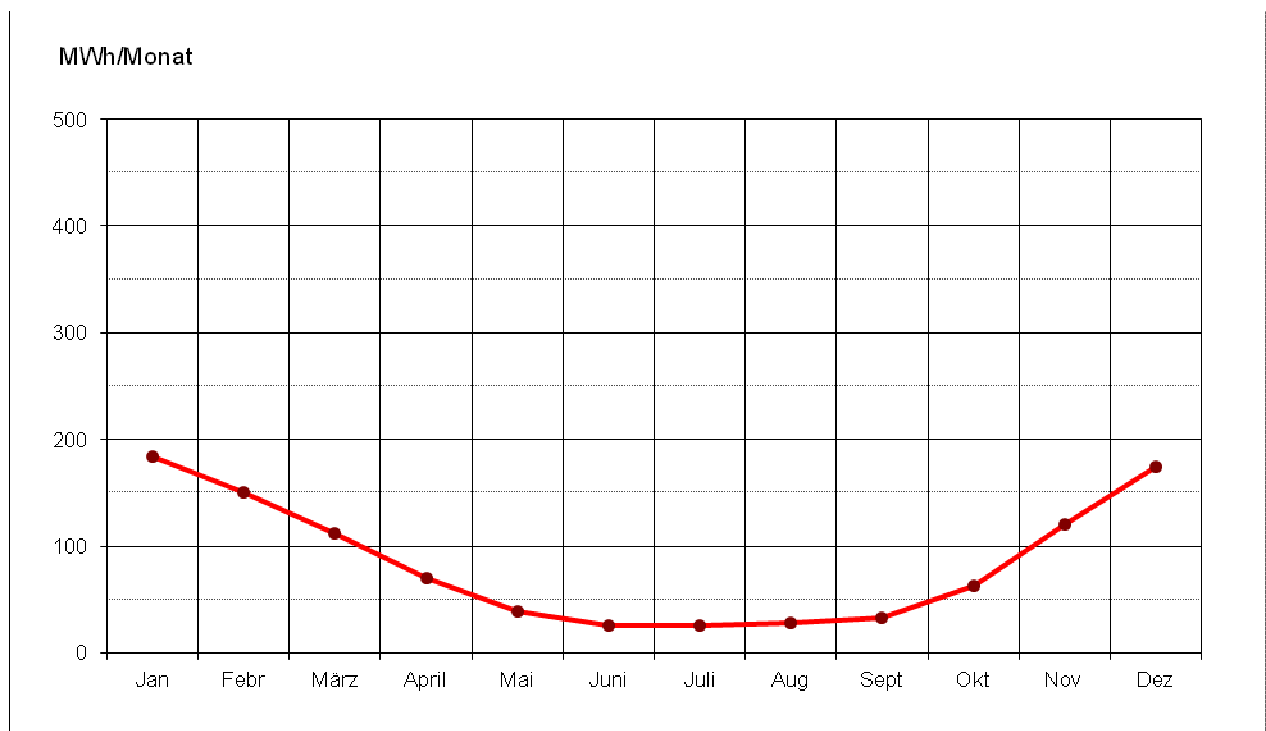
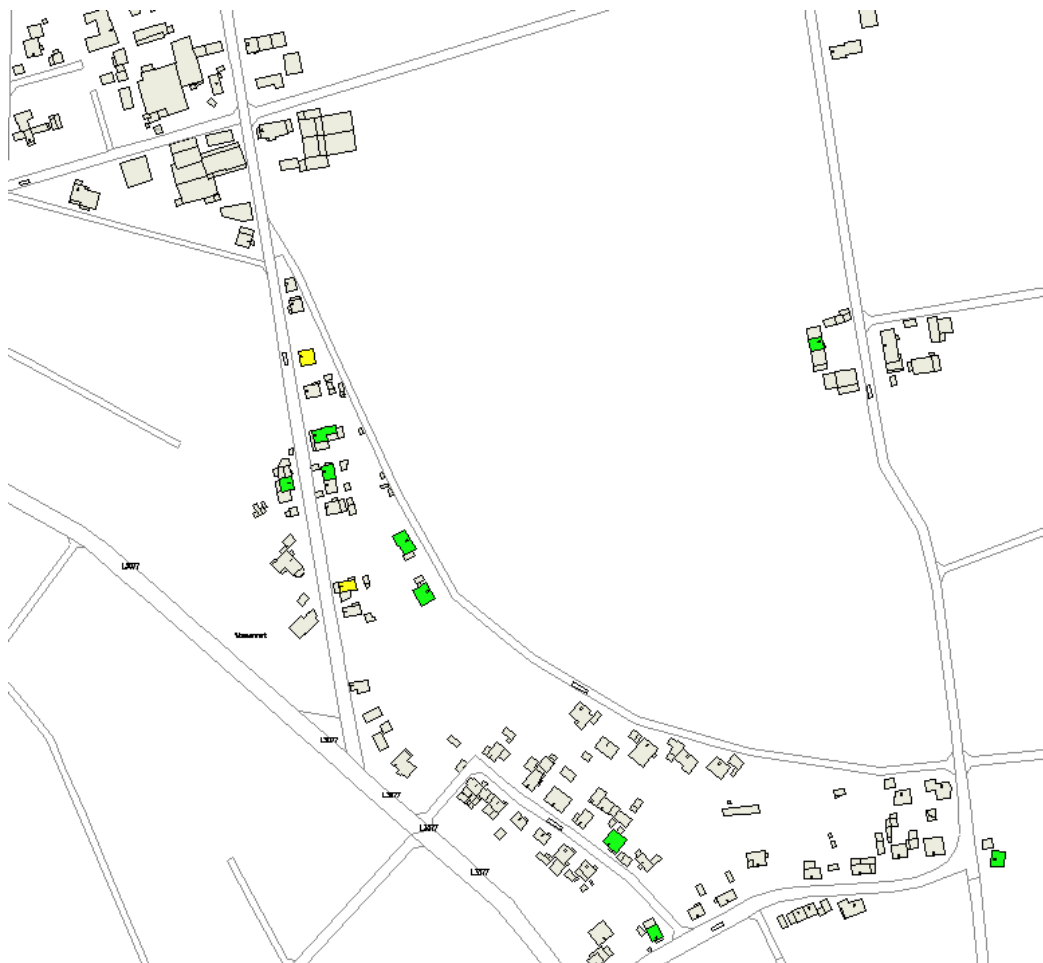
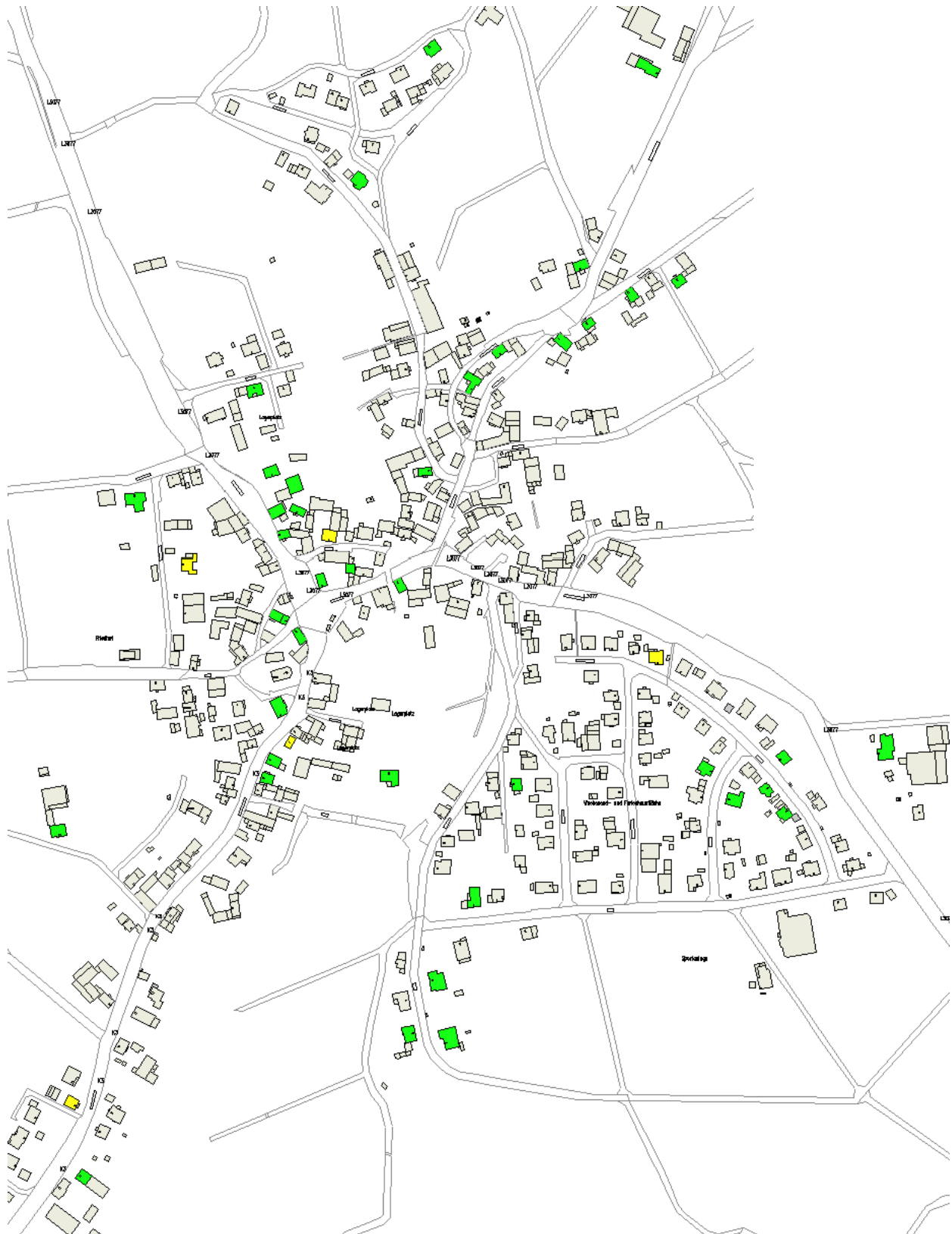


Diagramm 3: Wärmeverbrauch der anschlussbereiten Gebäude in Bracht im Jahresverlauf



### Bracht Siedlung

Auswertung Fragebögen: ■ anschlussbereit ■ nicht anschlussbereit, Fragebogen abgegeben  
■ kein Fragebogen abgegeben



### Bracht

Auswertung Fragebögen: ■ anschlussbereit ■ nicht anschlussbereit, Fragebogen abgegeben  
■ kein Fragebogen abgegeben

## 5. Versorgungsvarianten

Für Bracht (ohne Siedlung) wird die Wärmeversorgung mittels Biomasse untersucht:

1. Nahwärmenetz mit zentrale Wärmeversorgung aus einem Biomasse-Heizwerk
  - a) mit Brennstoff Holzhackschnitzel
  - b) mit Brennstoff Stroh

Für Bracht Siedlung werden Möglichkeiten der Wärmeversorgung qualitativ bewertet:

2. Nahwärmenetz mit zentrale Wärmeversorgung

Ebenfalls für Bracht (ohne Siedlung) wird die 100%ige Sonnennutzung untersucht:

3. Nahwärmenetz mit solarthermischem Feld und saisonalem Wärmespeicher

Für Bracht und Bracht Siedlung wird weiterhin eine kleinteilige Wärmeversorgung untersucht:

4. punktuell kleine Wärmenetze für mindestens 5 Gebäude mit zentraler Pelletheizung

### 5.1 Biomasse-Heizwerk in Kombination mit einem Klein-BHKW (Blockheizkraftwerk)

Kombinierte Strom- und Wärmeerzeuger in einer Einheit, die nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) arbeiten, wie etwa Blockheizkraftwerke oder Brennstoffzellenheizwerke stellen gegenwärtig die Energieumwandler mit der höchsten Gesamteffizienz dar. Die bei Stromerzeugung aus Brennstoffen zum Beispiel in Kraftwerken prinzipielle immer anfallende Abwärme wird fast vollständig als Heizwärme aufbereitet und zur Verfügung gestellt.

Problematisch ist jedoch die Bewertung und Verwertung des produzierten Stroms. Eine Veräußerung an die Stromwirtschaft scheidet immer wieder an den extrem niedrigen Börsenstrompreisen, die dafür gezahlt werden und zumeist nicht einmal den zusätzlichen Brennstoffbedarf oder die zusätzlichen Betriebskosten im Vergleich zu einer herkömmlichen Feuerungsanlage decken.

Die staatliche Förderung in ihrer aktuellen Ausprägung stellt eher einen Tropfen auf den heißen Stein dar und kann in den meisten Fällen die Wirtschaftlichkeit für den Einsatz von BHKWs nicht gewährleisten. Wenige Cent an Zusatzvergütung und das auch nur für einen begrenzten Zeitraum führen nicht zur Wirtschaftlichkeit.

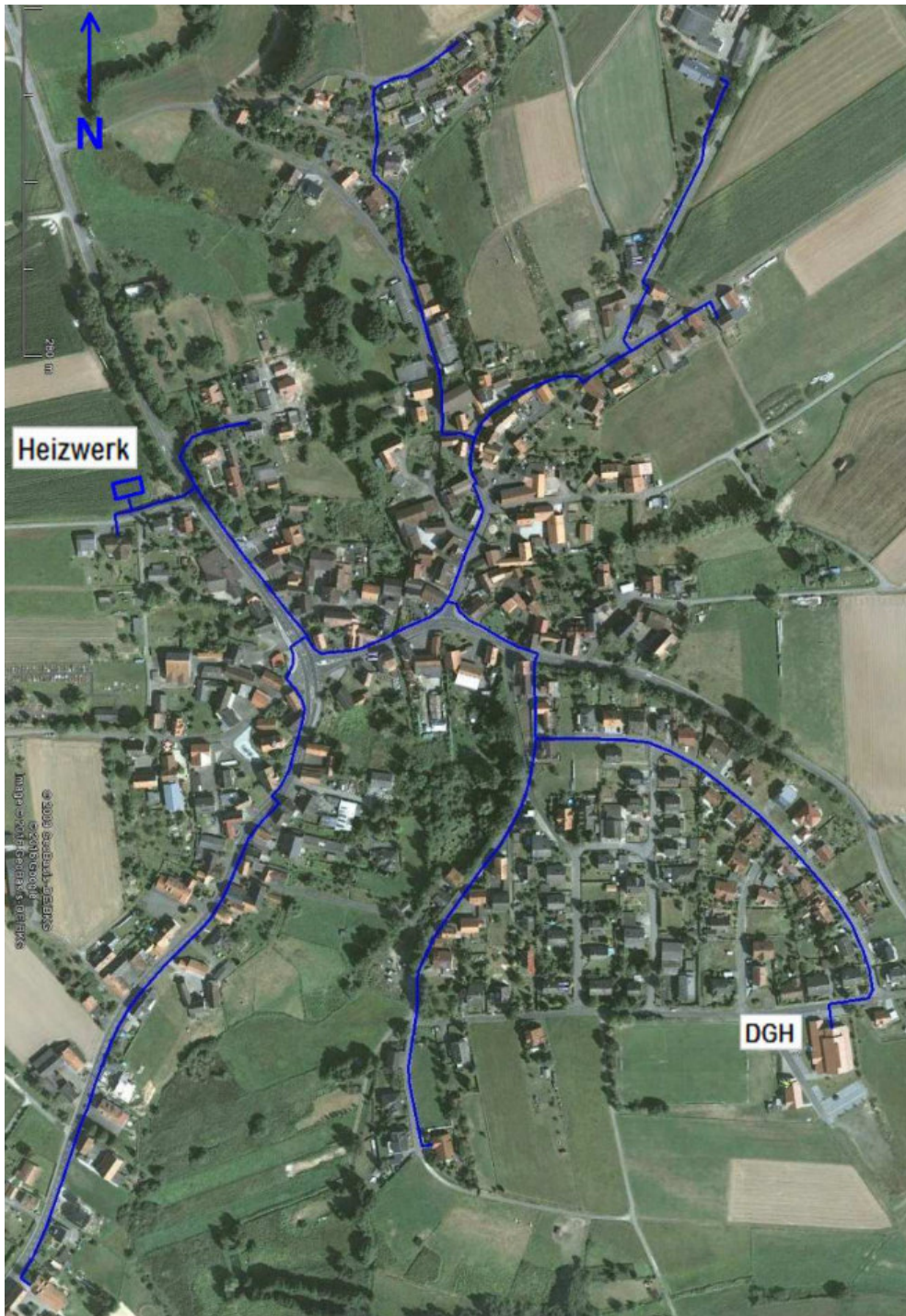
Neuerdings ist zwar eine flexible Stromvermarktung möglich, bei der eine höhere Vergütung erzielt werden kann, wenn sich das BHKW gemäß den momentanen stromwirtschaftlichen Erfordernissen betreiben lässt. Diese Betriebsweise hilft zum Beispiel dabei, Deckungslücken zu schließen, die sich beim zunehmenden Einsatz von Wind- und Solarstromanlagen ergeben. Gegenwärtig lohnen sich derartige Vermarktungsmodelle jedoch erst für sehr große Anlagen mit einer Leistung oberhalb von mehreren 100 kW elektrischer Leistung.

Unstrittig ist, dass Anlagen, die nach dem Prinzip der KWK arbeiten, eine ideale Brückentechnologie darstellen, da mit ihrer Hilfe die Stromerzeugung sehr schnell und höchst effizient den schwankenden Erfordernissen angepasst werden kann, die sich mit der Ausweitung von Erneuerbaren Energien im Stromsektor ergeben. Eine zukünftige Stromerzeugung ohne fossile und nukleare Brennstoffe ist ohne den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungssystemen schwer vorstellbar. Diese Systeme eignen sich am besten dazu, gespeicherte Brennstoffe, die mittels lokaler und zeitlicher Überschüsse aus Erneuerbaren Quellen erzeugt werden, wieder in Nutzwärme und Nutzstrom umzuwandeln. Dies wird langfristig auch für die energetische Verwertung von Waldholz und Restholz gelten. Holz ist eigentlich zu hochwertig, um nur für die minderwertige Energieform Wärme genutzt zu werden.

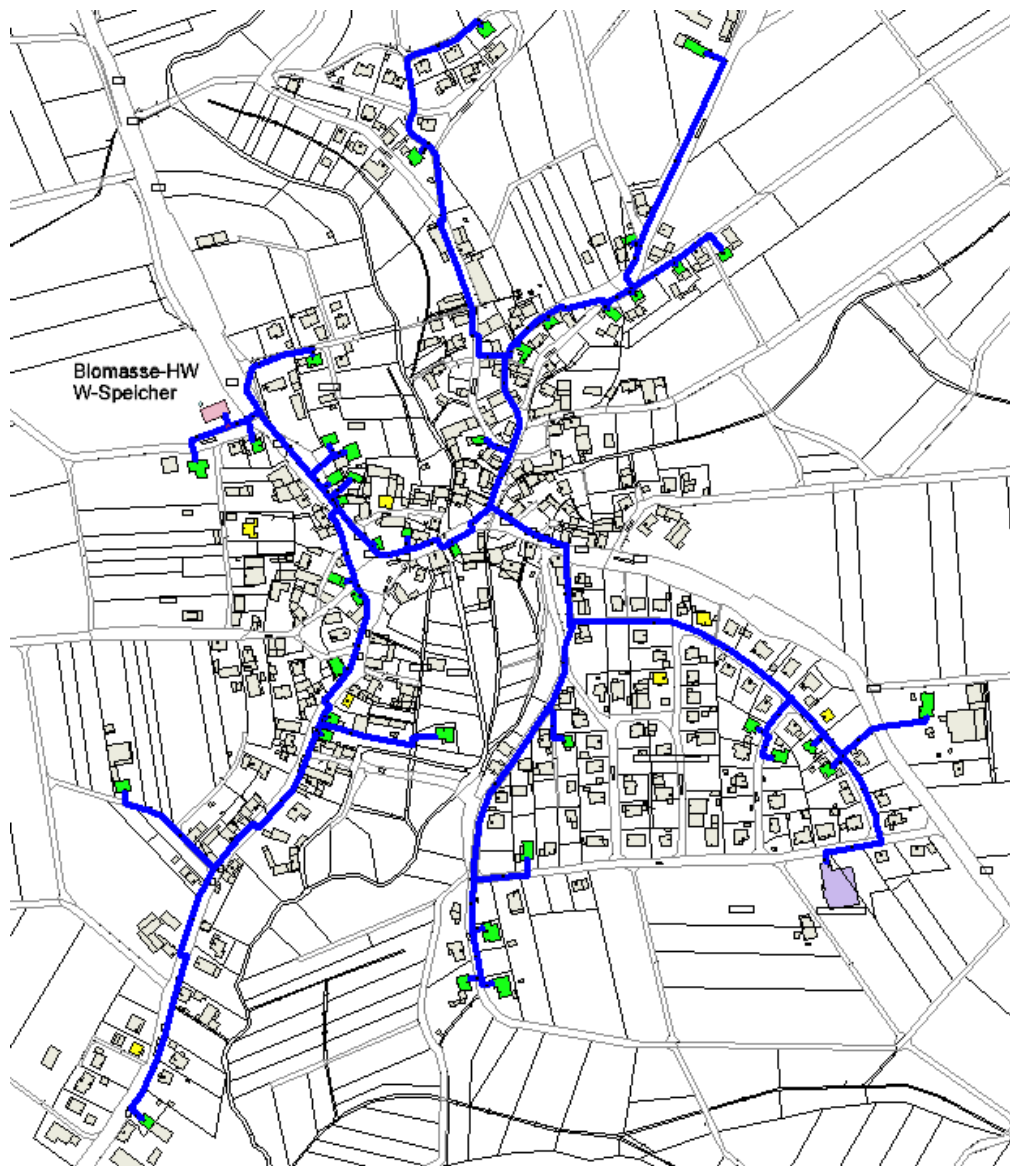
Anlagen zur gleichzeitigen Erzeugung von Strom und Wärme aus Holzverbrennung sind insbesondere im niedrigen Leistungsbereich unter 100 kW bisher deutlich von Wirtschaftlichkeit und Betriebssicherheit für automatischen Betrieb entfernt. Deshalb wird diese Lösung, obwohl energetisch interessant, hier nicht in den Variantenvergleich einbezogen.

## 6. Nahwärmenetz

Die Topografie von Bracht weist einen Höhenunterschied von maximal 38 Metern auf (236 m bis 274 m). Diese Höhendifferenz erlaubt noch die Konzeption eines Wärmenetzes mit Direktversorgung der einzelnen Abnahmestellen.



Nahwärmenetz Bracht, Quelle Bild: google earth



Nahwärmenetz Bracht

Nachfolgend sind die Vorteile eines Nahwärmenetzes mit direkter Betriebsweise im Vergleich zu indirekter Betriebsweise, bei der die Hausanschlussstationen mit Wärmetauschern ausgerüstet sind, aufgeführt:

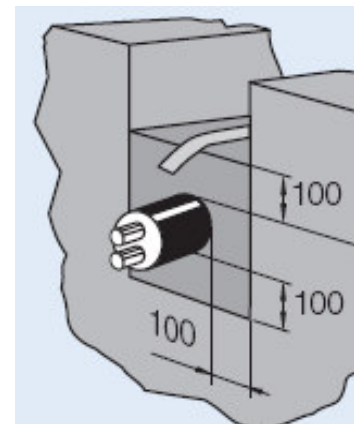
- Kosteneinsparung durch besonders einfache und kompakte Hausanschluss-Stationen
- Kosteneinsparung im Netz, da durch optimale Hydraulik vergleichsweise kleine Rohrquerschnitte verlegt werden können
- verringerte Netzverluste, da die Netztemperatur im Vergleich zu indirekten Hausanschluss-Stationen 5 - 10 Grad niedriger gehalten werden kann; der Temperatursprung am Wärmetauscher entfällt
- Schutz der Heizungsverteilung in den wärmeabnehmenden Gebäuden vor Innenkorrosion, da die Heizungsverteilungen mit optimal konditioniertem und entgastem Umlaufwasser durchströmt werden und damit eine längere Lebensdauer aufweisen, als bei Betrieb mit eigenem, sauerstoffreichen Heizungswasser, wie dies mit Wärmetauscher der Fall wäre.

## Technische Beschreibung Wärmenetz

Stand der Technik für den Neubau von Wärmenetzen sind vorisolierte Leitungen. Als mediumführende Rohre werden Stahlrohre, bei kleineren Dimensionen ( $D = 15 - 75 \text{ mm}$ ) auch elastische Kunststoffrohre, eingesetzt. Das Mediumrohr bzw. die Mediumrohre sind coaxial in einem Mantelrohr eingezogen und der Zwischenraum mit Polyurethanschaum ausgeschäumt. Güte und Querschnitt des Schaums bestimmen die Dämmeigenschaften. Die Qualität der Verbindungstechnik (Schweißnähte) bei den Mediumrohren und die Abdichtung der Stöße (Verbindungs muffen) bei den Mantelrohren sind für die Langlebigkeit ausschlaggebend.

Im Bereich des Schaums sind elektrische Leiter eingelegt, mit deren Hilfe der dämmtechnische Zustand bzw. die Dichtigkeit der Mantelrohre und der Mediumrohre gegen eindringende Feuchte (von außen durch das Mantelrohr bzw. von innen aus dem Heizungsrohr) ununterbrochen überwacht wird. Sollte an einer Stelle eine Undichtigkeit auftreten, so erhöht sich an dieser Stelle die Leitfähigkeit zwischen den Fühleradern und es erfolgt eine Warnmeldung. Mittels spezieller Messgeräte kann der Ort des sich anbahnenden Schadens lokalisiert werden, bevor der Schaden zu einer Störung des Netzbetriebes führen kann.

Es werden jeweils zwei Mediumrohre benötigt. Die Vorlaufleitung transportiert das Heizwassers mit max.  $90^\circ\text{C}$  (Winter), min.  $70^\circ\text{C}$  (Sommer) zum Wärmeabnehmer. Die Rücklaufleitung dient dem Rücktransport des abgekühlten Heizwassers ( $60 - 40^\circ\text{C}$ ) zum Wärmeerzeuger. Dabei wird das Heizwasser im Kreislauf geführt. Die Rücklauftemperatur ist zum wirtschaftlichen Betrieb des Nahwärmenetzes möglichst weit abzusinken, optimal sind  $50 - 40^\circ\text{C}$ .



Geringere Wärmeverluste als bei Einzelrohrverlegung fallen beim Einsatz von Doppelrohren an. Dabei befinden sich zwei Rohre innerhalb eines gemeinsamen Mantelrohres. Die Ausführung als Doppelrohr erreicht bei derselben Dämmserie jeweils bessere Dämmwerte ( $15 - 40 \%$ ). Die Doppelrohrverlegung stellt höhere Anforderungen an die Rohrmontage und kann bei schwierigen Verlegverhältnissen ggf. nicht eingesetzt werden.

Die Verlegtiefe der Rohrleitungen richtet sich nach der erforderlichen Überdeckung. Diese liegt bei mindestens  $500 \text{ mm}$  im unbefestigten Gelände ohne Befahrung und bis  $1000 \text{ mm}$  im Bereich von übergeordneten Verkehrswegen. Aus rohrstatischen Gründen ist eine Überdeckungshöhe von  $600$  bis  $800 \text{ mm}$  optimal. Im öffentlichen Raum ist eine mittlere Überdeckung ab Rohrkuppe von  $800 \text{ mm}$  gebräuchlich.

## Netzverluste

die Heizwärmeversorgung für ein Nahwärmenetz und damit der Gebäude wird bei den untersuchten Varianten mit Wärme aus Erneuerbaren Energien (Holzhackschnitzel, Solarthermie, Pellets) gespeist. Negativen Auswirkungen der Netzverluste auf die Emissionsbilanz können als unwesentlich im Vergleich zu den Emissionen der fossil befeuerten Kesselanlagen im Bestand der Gebäude betrachtet werden mit Ausnahme vom Feinstaub.

Um zukünftige Entwicklungen am Wärmemarkt (Preissteigerungen, Knappheit) zu berücksichtigen, sollte eine höchstmögliche Transporteffizienz angestrebt werden. Daher sind wie oben genannt vorzugsweise verlustreduzierte Wärmeleitungen der Serie 2 oder 3 bzw. Doppelrohrleitungen zu verwenden, d. h. Vor- und Rücklaufleitungen werden in einer gemeinsamen Wärmedämmung geführt und sind verlustärmer als Vor- und Rücklaufleitung mit jeweils eigener Wärmedämmung.

Vom Einsatz derartiger Doppelrohre der Serien 2 und 3 für ein Wärmenetz in Bracht wurde daher in der vorliegenden Machbarkeitsstudie ausgegangen. Die Dimensionierung der Rohre wurde hydraulisch berechnet und anschließend unter Berücksichtigung der spezifischen Wärmeverluste der jeweiligen Rohrnennweiten optimiert.

So wird beispielsweise die Verlegung von Leitungen in DN50 auch dort empfohlen und kalkulatorisch berücksichtigt, wo die Nennweite DN40 ausreichen würde. Die Leitungen DN 40 weisen in derselben Dämmserie um 12% höhere Wärmeverluste auf bei zugleich höheren hydraulischen Verlusten. Strangabschnitte, die bei Auslegung in Nennweite DN 80 bereits relativ hohe Druckverluste an der Grenze der hydraulischen Optimierung aufweisen, wurden auf DN 100 dimensioniert, da Leitungen in DN 100 keine höheren thermischen Verluste aufweisen, dafür aber durch geringere Druckverluste dazu beitragen, den Pumpenstromverbrauch zu minimieren.

Insgesamt ist es möglich, bei der so optimierten Netzdimensionierung die kalkulatorischen Netzverluste auf 12,5 bis 18% zu begrenzen. Auch die durch Einsatz von Hausanschlussstationen mit direkter Versorgung mögliche Absenkung der Netztemperatur um bis zu 10 Kelvin hat Anteil an der vorgenannten Senkung der Wärmeverluste. Neben der Reduzierung der thermischen Netzverluste wird durch die erhöhte Spreizung zugleich der Stromverbrauch für die Netzumwälzpumpen erheblich niedriger ausfallen als bei Einsatz von indirekt betriebenen Hausanschlussstationen

Für die zukünftige Anpassung der Wärmeversorgung mittels Nahwärmenetz auf die Effizienzerfordernisse und versorgungstechnischen Gegebenheiten einer nachfossilen Ära, werden durch die Absenkung von Netzverlusten und Temperaturniveau optimale Voraussetzungen geschaffen. Damit ist auch ein wesentlicher Schritt getan, um zu einem späteren Zeitpunkt auf den Einsatz anderer Erneuerbarer Energiesystem zu wechseln. Dies wird dann der Fall sein, wenn z. B. Holz vorrangig und im weit größeren Umfang als heute stofflich eingesetzt werden muss, beispielsweise in der Petrochemie als Ersatz für fossile Kohlenwasserstoffe.

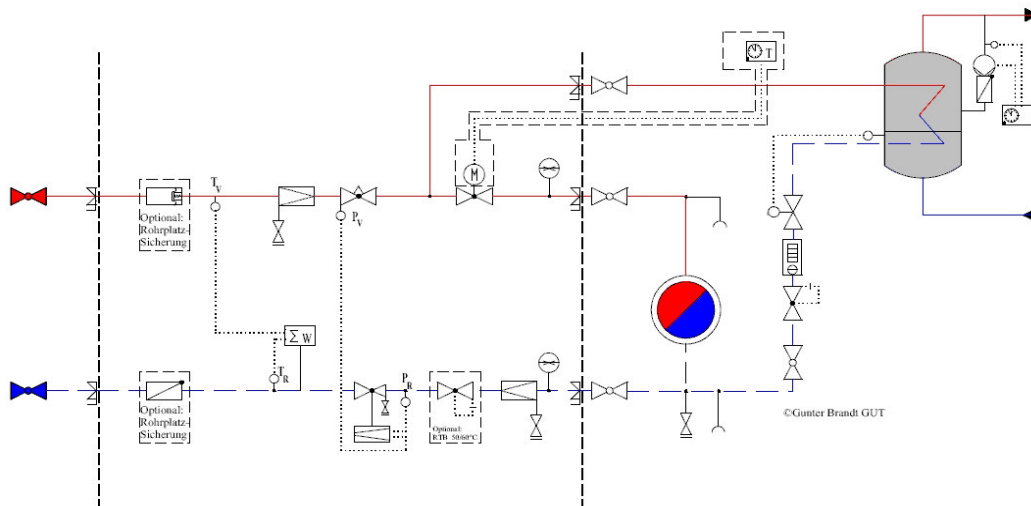
### **Technische Beschreibung Hausanschluss-Stationen**

Zwischen dem Wärmenetz und den Unterverteilungen in den zu versorgenden Objekten erfolgt die hydraulische Verbindung direkt, d. h. ohne Wärmetauscher. Dies erlaubt niedrigere Vor- und Rücklauftemperaturen, sodass die Wärmeverluste des Netzes deutlich geringer ausfallen und weniger Strom für die Umwälzpumpen verbraucht wird. Durch eine zentrale Wasseraufbereitung zur Entsalzung der Heizwassers und gasarme Konditionierung mittels Vakuumentgaser wird ein störungs- und verschleißarmer Netzbetrieb gewährleistet. Die Entgasung des Wassers fördert zudem die Langlebigkeit der Rohrnetze und Heizflächen innerhalb der internen Verteilung. Die zentrale Druckhaltung und Expansionsaufnahme erfolgt mittels Ausdehnungsgefäß und zugehörigem Kompressor zur Aufrechterhaltung eines Gaspolsters mit konstantem Vordruck.

Die Hausanschluss-Stationen haben einen kompakten Aufbau und enthalten im Wesentlichen die folgenden Komponenten:

- Filtersiebe sowohl im Vorlauf zum Nahwärmenetz hin als auch im Rücklauf zur Kundenanlage hin, zum Schutz der Hausanlage und des Nahwärmenetzes vor Schmutzeintrag.
- Differenzdruckregler für die Anpassung des Netzförderdrucks an den tatsächlich erforderlichen Förderdruck für das zu versorgenden Gebäudes.
- Mengengrenzer zur Einstellung der Leistung auf den erforderlichen Wert des zu versorgenden Objektes.
- Durchflussstellventil für die Regelung der Heizleistung. Hier kann bauseits ein Motorsteller aufgesetzt werden, der nach den Vorgaben der Haustemperaturreglung (z. B. im einfachsten Fall realisiert durch einen Uhrenthermostat) die Heizleistung regelt.

- Wärmemengenzähler zur stichtagsgenaue Erfassung der bezogenen Wärmemengen, des Heizwasserdurchsatz, der Monatsspitzenleistung und des Monatshöchstwertes für den Heizwasserdurchsatz.  
Alle Werte werden am Monatsersten gespeichert und sind jeweils für 13 Monate abrufbar.
- Armaturen zum Füllen, Entlüften und Entleeren
- Anschluss für einen Brauchwasserladekreis, der mit einer einfacher aber wirkungsvollen Reglergruppe (bauseits) auf effiziente Weise für guten Warmwasserkomfort sorgt.



Hydraulisches Schaltbild einer Hausanschluss-Station für Direktbetrieb

Die zwei folgenden Abbildungen zeigen Hausanschlussstationen für Wärmeleistungen von 10 bis 30 kW mit und ohne Verkleidung. Bei Leistungen darüber kommen größere, aber hinsichtlich der Komponenten gleichartige Stationen zum Einsatz.



### Förderung für Nahwärmenetz und Hausanschluss-Stationen

Nahwärmenetze werden mit dem KfW-Programm Erneuerbare Energien gefördert, wenn sie zumindest zu 50 % aus Erneuerbaren Energien gespeist und nicht nach § 7a KWKG gefördert werden können. Voraussetzung ist weiterhin ein nachgewiesener Mindestwärmeabsatz über das gesamte Netz von im Mittel 500 kWh pro Jahr und Meter Trasse. Die Förderung beträgt ab dem Jahr 2016 79,20 €/Trassenmeter.



Bei Wärmenetzen mit einem im Mittel über das gesamte Netz erreichten Wärmeabsatz über 3 MWh pro Jahr und Meter Trasse halbiert sich der Förderhöchstbetrag. Dieses Kriterium trifft nicht zu.

Über die Wärmenetzförderung hinaus können die Hausübergabestationen mit jeweils 2.376 € gefördert werden, wenn die Investitionen hierfür komplett und ausschließlich vom Investor und Betreiber des Wärmenetzes durchgeführt werden und kein kommunaler Anschlusszwang besteht.

Die Förderfähigkeit eines Projekts wird bei der KfW-Bank vor der Realisierungsphase festgestellt und die Mittel werden im Projektverlauf bereitgestellt.

## **7. Wärmenetzbetrieb und Voraussetzungen für optimale hydraulische und thermische Gestaltung der Versorgung mit Nahwärme bei den Abnehmern**

Die Nahwärmeleitung wird mittels drehzahl geregelter Netzpumpen vom Verteiler der Wärmeerzeugungseinheit und dem zugehörigen Wärmespeicher aus gespeist. Die Netzpumpe baut den erforderlichen Differenzdruck auf, um sowohl das Heizwasser durch die Rohre des Nahwärmenetzes fließen zu lassen, als auch die Strömungswiderstände in den jeweiligen Heizwärmeverteilungen der Gebäude zu überwinden. In den Gebäuden selbst werden bei Hausanschluss-Stationen im Direktbetrieb (ohne Wärmetauscher) keine weiteren Heizungs-Umwälzpumpen im Sekundärkreislauf<sup>2</sup> benötigt, sofern nicht unterschiedliche Temperaturniveaus für verschiedene Objektbereiche zu gewährleisten sind. In solchen Fällen wird der Einsatz von Mischkreisen mit eigener Pumpenverteilung erforderlich. In den Gebäuden und technischen Anlagen (Getreidetrockner), die ohne Mischkreise versorgt werden können, entfallen folglich die Kosten für den Betrieb einer hauseigenen Umwälzpumpe (> 50 € Stromkosten pro Jahr) sowie deren regelmäßiger Austausch (ca. alle 10 Jahre).

Durch eine intelligente Steuerungskonzeption wird das Zusammenspiel von Wärmeerzeuger, Heizwärme-Pufferspeicher und Spitzenkessel optimiert. Der Holzhackschnitzel-Kessel wie auch das BHKW der Variante 3 können dadurch mit kontinuierlicher Leistung im Bereich des jeweils besten Wirkungsgrades und emissionsoptimiert betrieben werden. Bei Minderabnahme wird Wärme im Speicher eingelagert, die morgens und abends zur Deckung der Lastspitzen zur Verfügung stehen. Der Einsatz des Spitzenkessels wird minimiert und auf Zeiten größerer Kälte, Störungen der Wärmeerzeugungseinheit oder Wartungsunterbrechungen beschränkt. In Zeiten minimalen Wärmeverbrauchs kann der Wärmeerzeugungseinheit im Intervallbetrieb mit vergleichsweise langen Laufzeiten zwischen den einzelnen Betriebspausen arbeiten.

Um eine hohe Effizienz des Wärmetransportes aus der Wärmeerzeugungsanlage über das Wärmenetz zu den Wärmeabnehmern zu erreichen, ist es sinnvoll, die Hydraulik der anzuschließenden Objekte einer Überprüfung zu unterziehen. Die dabei vorgefundenen hydraulischen Mängel, bei denen es sich nach Erfahrung des Büros GUT in der Regel um hydraulische Kurzschlüsse und die Folgen eines fehlenden thermisch-hydraulischen Abgleichs der Heizkreise und Heizkörper handelt, sind zu beheben. Die erforderlichen Maßnahmen sind in der Regel einfach und kostengünstig umzusetzen. In vielen Fällen reicht es aus, vorhandene Fußventile oder Thermostatventilkörper korrekt abzugleichen und/oder Strangreguliertventile zu justieren. Die genaue Durchführung dieser Maßnahmen ermöglicht den Bau und Betrieb des Nahwärmenetzes mit optimierten Nennweiten und minimierten Wärmeverlusten.

---

<sup>2</sup> Heizungsverteilung im jeweiligen Gebäude

Folgende Mängel werden bei der energetischen Analyse von Wohnhäusern, gewerblichen und öffentlichen Gebäuden häufig festgestellt:

1. Die Rücklauftemperaturen liegen beim Einsatz konventioneller Gebäudeheizungen in der Regel viel zu hoch.
2. Die genutzten Temperaturspannen zwischen dem Heizungsvorlauf und -rücklauf fallen zu gering aus.

Als Folge ist der umlaufende Heizungswasser-Volumenstrom viel zu groß. Die Pumpen sind überdimensioniert und verbrauchen zu viel Strom. Die zu geringe Spreizung ist u. a. ein Indiz für ungeeignete hydraulische Regelarmaturen (wie etwa Überströmer oder Umlenkschaltungen) und fehlenden hydraulischen Abgleich der jeweiligen Heizanlage bzw. Heizwärmeverteilung. Dabei gelangt das Heizwasser insbesondere bei geringer Abnahme im Sommer und in der Übergangszeit schlecht ausgenutzt, d. h. zu heiß, in den Rücklauf.

Überhöhte Wärmeverluste (auf der Rücklaufleitung) und ein zu großer Pumpenstromverbrauch sind die Folgen, außerdem kann es zu Geräuschbildung insbesondere an den Thermostatventilen kommen. Bei Versorgung mittels Nahwärme werden bei nicht hydraulisch abgeglichenen Verbrauchern zu groß dimensionierte Leitungen (teurer, verlustreicher) für das Wärmenetz erforderlich.

## 8. Wärmespeicher

Der Ausgleich der täglichen Aufheizspitzen, Schwachlastzeiten und Betriebspausen bei den Wärmeabnehmern erfordert eine thermodynamische Anpassung aller Wärmeerzeuger (Holzhackschnitzelkessel, BHKW, Spitzenkessel). Hierfür ist die Installation und Vorhaltung ausreichender Wärmespeicherkapazität zur Anpassung der unterschiedlichen Verläufe von Wärmenachfrage und -erzeugung sinnvoll.

Zu diesem Zweck wird vorzugsweise am Standort des vorrangigen Wärmeerzeugers ein Wärmepufferspeicher installiert, der den temporären Wärmeüberhang bei geringer Netzabnahme z.B. nachts oder mittags bei starker Sonneneinstrahlung für Zeiträume stärkerer Belastung speichert. Auch ein anderer Standort ist denkbar, führt aber zu höheren Kosten bei hydraulischen Ankopplung an das Verteilnetz, da hier mindestens eine zusätzliche Netzpumpe und weiteren Regeleinrichtungen benötigt werden..

Wärmespeicher bilden, insbesondere beim Einsatz in (Nah-)Wärmenetzen, einen überaus wichtigen Baustein, mit dessen Hilfe die Asynchronizität zwischen Wärmeangebot aus un stetigen Wärmequellen (Sonne) aber auch Wärmeerzeugern mit geringer Dynamik (Holzfeuerung) und Wärmebedarf ausgeglichen und Strategien zur Betriebsoptimierung umgesetzt werden können. Je nach Entwicklungsstand können zukünftig auch weitere Technologien zur Nutzung Erneuerbarer Energien (, solarthermischen Adsorptionswärmepumpen, foto-thermovoltische Hybridsysteme, Brennstoffzellenaggregate, etc.) optimal integriert werden. Im Hinblick auf die zukünftigen Entwicklungen und Erfordernisse sollten Wärmespeicher eher großzügig ausgelegt werden. Die mit zunehmender Kapazität wirksame starke Degression der spezifischen Kosten und der spezifischen Wärmeverluste kommen einer großzügigeren Dimensionierung entgegen. Grund für die Degressionen ist das mit wachsender Speichergröße kleiner werdenden A/V-Verhältnis.

Erfahrungen des Büros GUT mit diversen Nahwärmenetzen und darin eingesetzten Wärmespeichern belegen, dass der Wärmespeicher mindestens so groß dimensioniert werden sollte, dass die Wärme, die der vorrangige Wärmeerzeuger (Holz-/Strohfeuerung) innerhalb von 5 bis 8 Volllaststunden liefert, aufgenommen werden kann. Beispielsweise ergibt sich bei den Leistungsdaten eines optimal für das Nahwärmegebiet und die aktuelle Anschlussbereitschaft ausgelegten Holz-

hackschnitzelkessels mit einer Leistung von 300 kW für (750 kW bei der wirtschaftlich erforderlicher Anschlusszahl von 103 Gebäuden, siehe Kapitel 9) eine Speicherkapazität von mindestens 1,75 bis 2,4 MWh (3,75 MWh bis 6,0 MWh bei 103 Abnehmern). Bei einer nutzbaren Temperaturdifferenz von 40 Kelvin beträgt das Speichervolumen damit 35 bis 55 m<sup>3</sup> (80 - 125 m<sup>3</sup> bei 103 Abnehmern). Dabei ist berücksichtigt, dass eine 100 %-ige Entnahme der eingelagerten Wärme mit Konstanttemperatur nicht möglich ist. Der Grund ist ein Mischungseffekt an den Grenzflächen zwischen der Vorlauf- und der darunter liegenden kühleren Rücklaufschicht, der sich selbst bei optimaler Schichtenbeladung und -entladung aus thermodynamischen Gründen nicht gänzlich unterbindenden lässt. In der Praxis werden bei Kurzzeitspeichern und optimaler Schichtung bis zu 90 % des theoretischen Wertes erreicht. Darin sind die Wärmeverluste, die trotz optimierter Dämmung mit 200 mm Mineralwolle oder gleichwertig nicht zu vermeiden sind, bereits enthalten.

### **Förderung**

Für Wärmespeicher von mindestens 20 m<sup>3</sup> wird unter bestimmten, hier erfüllten Bedingungen, ein Tilgungszuschuss von 250 € je m<sup>3</sup> Speichervolumen gewährt. Die Förderung ist auf 30 % der für den Wärmespeicher nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten beschränkt. Der maximale Tilgungszuschuss je Wärmespeicher beträgt 300.000 €.

## **9. Wärmeversorgung aus einem Biomasse-Heizwerk, Bracht**

### **Varianten 1 a) und 1 b)**

#### **Anschlussgrad, Anschlussdichte**

Im Sinne der Fragebogenaktion können 40 Wohngebäude und aus Sicht der Gutachter zusätzlich die Mehrzweckhalle als Interessenten berücksichtigt werden. Dieser Status wird mit 100% bezeichnet. Die darauf beruhenden Berechnungen führen zu einem nicht wirtschaftlichen Ergebnis. Es wurde deshalb untersucht, welche Anschlussdichte zu einem annähernd darstellbarem Ergebnis führt. Dieses liegt bei 250% der Ausgangssituation. Das entspricht 103 Wärmeabnehmern und einer Wärmeabnahme von ca. 2.680 MWh pro Jahr.

Es wird nachfolgend wiederholt auf diese beiden Anschlusssituationen mit den Begriffen 100% und 250% Bezug genommen.

#### **Geordnete Jahresdauerlinie**

Die Jahresdauerlinie für den Wärmebedarf ist eine graphische Darstellung der Summenhäufigkeit der Wärmeleistung, die anzeigt, wie lange eine bestimmte Wärmeleistung jährlich auftritt bzw. überschritten wird. Unter Berücksichtigung einer näherungsweise linearen Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und Wärmebedarf und der Gleichsetzung des Normwärmebedarfes mit der maximal nachgefragten Wärme lässt sich aus der Jahresdauerlinie der Außentemperatur die Wärme-Jahresdauerlinie ableiten. Die Deckung des Wärmebedarfs durch Wärmeerzeuger, Spitzenkessel und Wärmespeicher wird dargestellt.

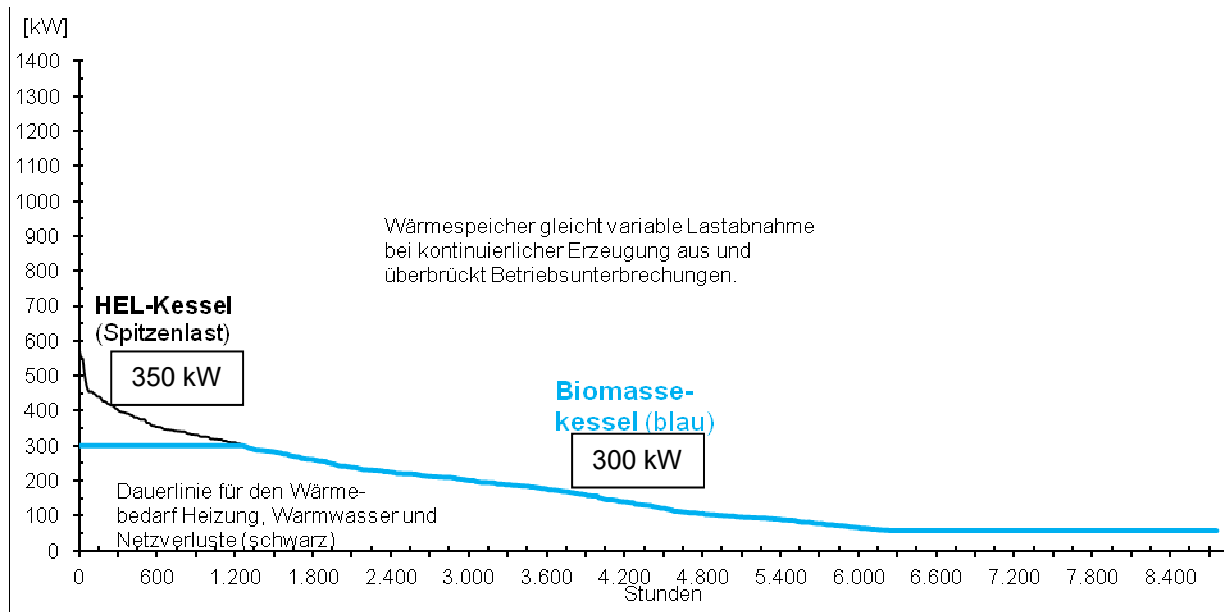


Diagramm 4: Jahresdauerlinie **Variante 1 a) und 1 b) Anschlussgrad: 100%** <sup>3)</sup>  
Wärmenetz mit Biomasse-Heizanlage und HEL-Spitzenkessel

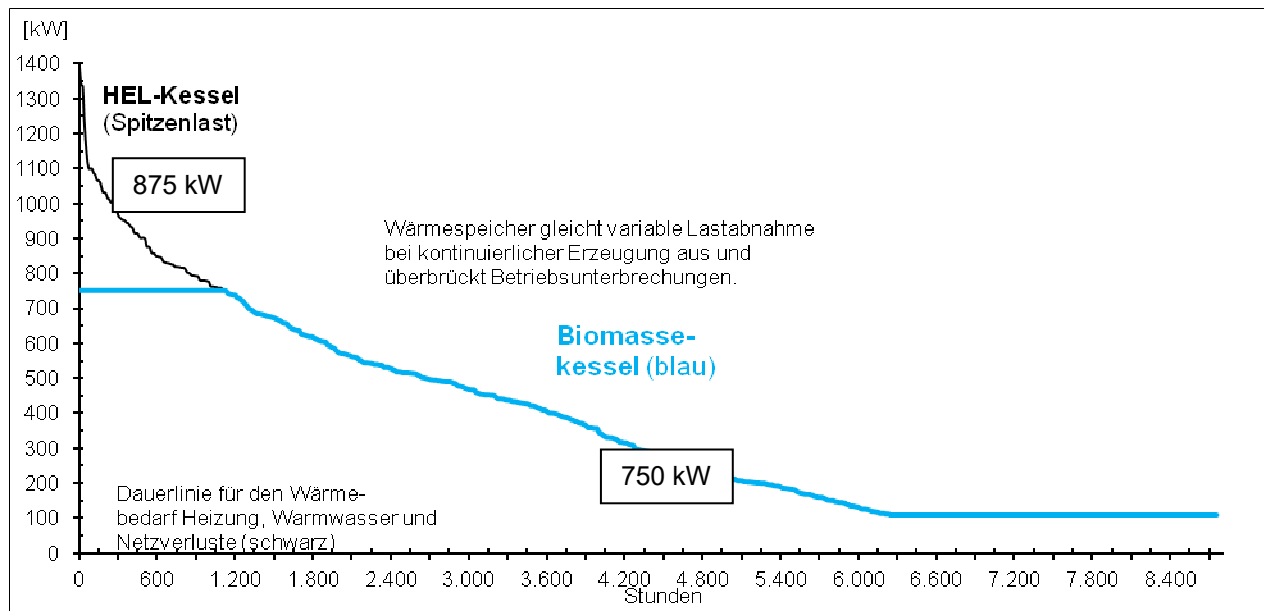


Diagramm 5: Jahresdauerlinie **Variante 1 a) und 1 b) Anschlussgrad: 250%** <sup>3)</sup>  
Wärmenetz mit Biomasse-Heizanlage und HEL-Spitzenkessel

<sup>3)</sup> bezogen auf Fragebogenaktion: 41 Gebäude = 100%

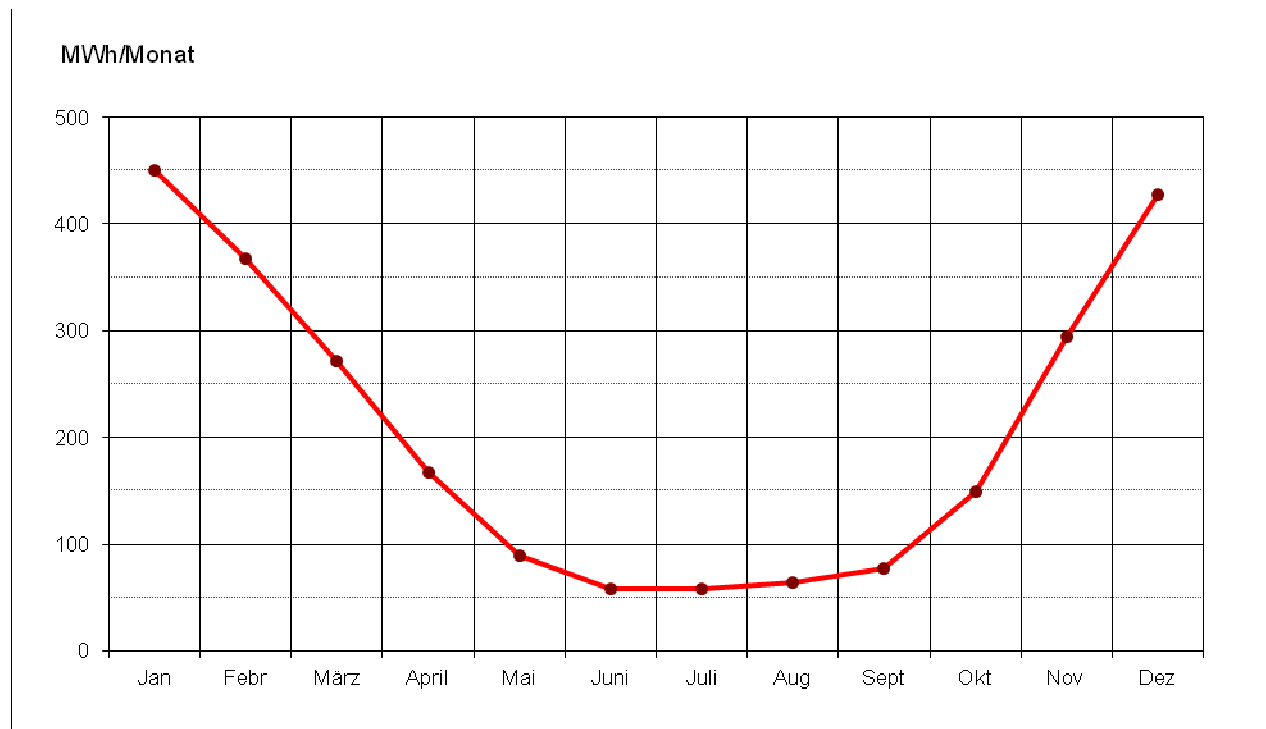


Diagramm 6: Wärmeverbrauch der Gebäude bei Anschlussgrad 250% in Bracht im Jahresverlauf

### Standort Heizwerk

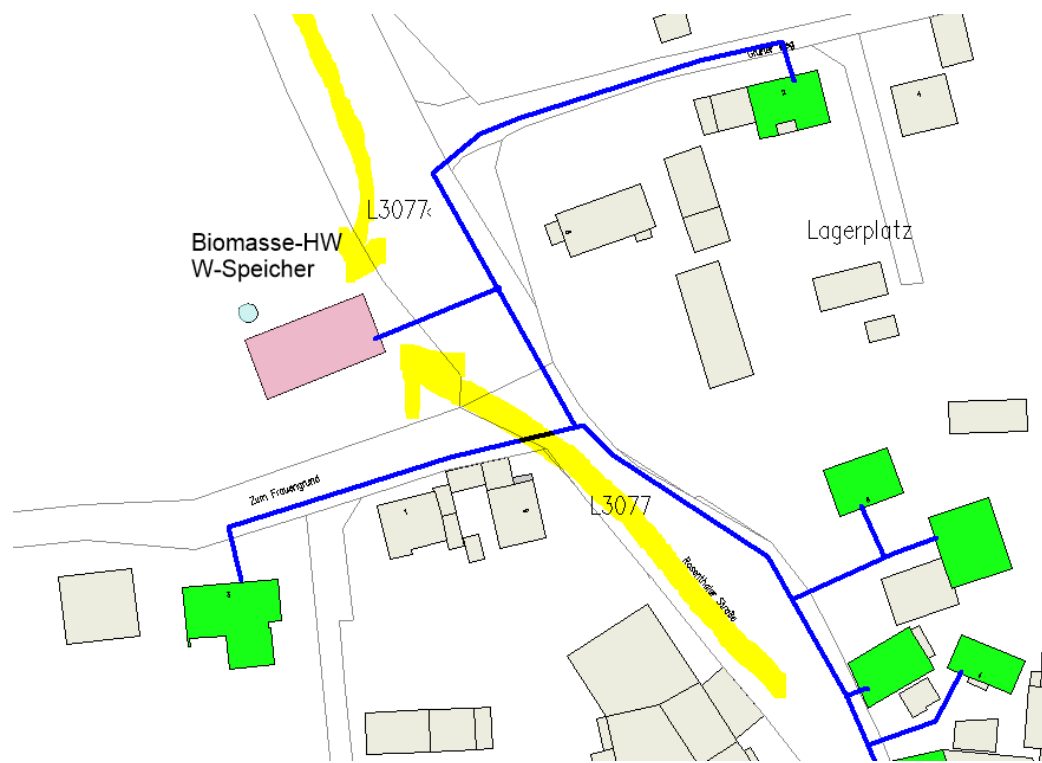
Als Standort für das Biomasse-Heizwerk wird ein Ort angenommen, der möglichst nah am vorkonzipierten Nahwärmenetz liegt, die Aufstellung eines Wärmespeichers toleriert und eine Zufahrtsmöglichkeit für die Belieferung mit dem jeweiligen Brennstoff aufweist. Es wird ein Gebäude mit einer Grundfläche von ca. 12 x 24 Metern vorgesehen. Die Zufahrt der Anlieferfahrzeuge kann über die L 3077 erfolgen. Der Aufstellungsort soll sowohl für die Beheizung der Kesselanlage mit Holzhackschnitzel wie mit Stroh geeignet sein.

### Brennstoff-Lager

Außerhalb des Gebäudes wird ein überdachter Lagerplatz für eine Brennstoffreserve von bis zu 1.000 m<sup>3</sup> (Empfehlung) erforderlich, der zumindest teilweise mittels Leichtbauüberdachung gegen Niederschlag geschützt werden sollte. Der Brennstoff wird durch LKWs oder Spezialhänger für landwirtschaftliche Zugfahrzeuge direkt in die Brennstoffbeschickungseinrichtung entladen, die dem Kessel vorgelagert ist. Ist diese Vorrichtung gefüllt, kann der Brennstoff auf der Lagerfläche neben der Halle abgeladen werden. Der Zwischentransport zur Brennstoffzufuhr des jeweiligen Kessels erfolgt bei Bedarf mit einem geeigneten Teleskop-Radlader.

Die Bunkervorlage wird so ausreichend bemessen, dass sowohl der Betrieb über Feiertage ohne wesentlichen Personalaufwand ermöglicht wird, als auch in Frostperioden ausreichend Reaktionszeit für die Nachbeschickung gewährleistet ist. Dies setzt dies die Existenz eines witterungsgeschützten Außenlagers voraus, da bei extremen winterlichen Witterungsverhältnissen eine sichere Belieferung „just in time“ nicht gewährleistet werden kann.

Der Bunker des Hackschnitzelkessels wird mit einer Aluminium-Klappabdeckung mit integrierter Elektrohydraulik und Fallschutzgittern ausgerüstet. Der Kessel wird aus dem Bunker mittels Fördereinrichtungen mit Brennstoff versorgt.



Lage Heizwerk und Warmwasser-Speicher, Anlieferung Brennstoff

### Wärmeverteilung

Aufgrund der Höhe des Wärmebedarfs, des Lastganges der Wärmeleistung und der erforderlichen Betriebssicherheit wird die Feuerung des jeweiligen Biomasse-Kessels so ausgelegt und betrieben, dass optimale Verbrennungsgüte und Wirkungsgrad über einen Modulationsbereich von 35 - 100% der Nennleistung gewährleistet sind.

Für beste Verbrennungseigenschaften werden die Wärmetauscher des Biomasse-Kessels mit konstantem Volumenstrom durchspült. Die Vorlauftemperatur liegt gleichbleibend in dem von der Steuerung vorgegebenen Niveaubereich von 80 - 90°C. Die Modulation der Abgabeleistung erfolgt durch die Variation des Beimischverhältnisses des umlaufenden Heizwasser aus Speicher und Nahwärmenetz. Dabei erfolgt das Speichermanagement (Ladebetrieb <-> Entladebetrieb) entsprechend der Witterung und Außentemperatur so, dass die Feuerung möglichst kontinuierlich mit konstanter Leistung betrieben werden kann. Nur im Bereich hoher Dauerlast (mittlere Außentemperatur < 0°C) wird die Kesselleistung dahingehend geregelt, dass der Wärmespeicher möglichst weit aufgeladen ist.

Unterschreitet der Ladezustand des Wärmespeichers einen von der Außentemperatur abhängigen Schwellwert, wird der HEL-Spitzenkessel zugeschaltet. Der Kessel wird hochgefahren, wenn bei Vollastbetrieb des Biomasse-Kessels aus dem Speicher bereits über einen längeren Zeitraum (> 2 Stunden) Wärme entnommen werden musste.

Der Biomasse-Heizanlage nachgeschaltet ist ein Verteiler, an den der Wärmespeicher angeschlossen ist. Mittels verlustarm ausgeführter Netzpumpen erfolgt der Transport des Warmwassers durch das Nahwärmenetz zu den Hausübergabestationen der Wärmeabnehmer.

### Spitzenkessel

Der Deckungsanteil der Biomasse-Heizanlage kann je nach Witterungsverlauf in milden Wintern etwas höher liegen, bei strengen Frostwintern jedoch absinken. Auf Zuheizung aus einer Spitzenkesselanlage kann auch bei Einsatz eines Wärmepufferspeichers nicht verzichtet werden. Als Spit-

zenkessel soll im Gebäude des Heizwerks ein Heizölkessel mit einer Leistung von 350 kW (100% Anschlussgrad) bzw. 875 kW (250% Anschlussgrad) installiert und in das Wärmeversorgungskonzept eingebunden werden.

Die abgegebene Wärme aus dem jeweiligen Wärmeerzeuger und dem Spitzenkessel werden durch Wärmemengenzähler (WMZ) erfasst. Die Erfassung der von den einzelnen Gebäuden bezogenen Heizwärme erfolgt ebenfalls durch WMZ, die in die Hausanschluss-Stationen integrierten sind.

## **9.1 Biomasse-Kessel, Brennstoff Holzhackschnitzel**

### **Variante 1 a)**

Der Biomasse-Kessel mit einer Leistung von 300 kW bzw. 750 kW ist für die Verbrennung von Holzhackschnitzeln vorgesehen. Die Qualität der Hackschnitzel sollte der EN ISO 17225-4 entsprechen.

#### Beschickung

Für die Brennstofflagerung und Beschickung wird von einem hinsichtlich der Brennstoffqualität sehr robusten Beschickungslager mit Schubbodenvortrieb und hydraulischer Zuführung zum Kessel ausgegangen. Sind bei der konkreten Ausführung längere Förderkanäle erforderlich, werden diese mit Kratzkettenförderern ausgestattet.

Bei dieser Ausführung werden auch Störstoffe sicher befördert und ausgesondert. Übergrößen können in die Feuerung gelangen und mit verbrannt werden, werden erfahrungsgemäß aber häufig bereits während des hydraulischen Einschubvorganges zerkleinert. Diese Ausführung ist kostenintensiver, besitzt jedoch eine höhere Ausfallssicherheit und erfordert weniger personalintensive Eingriffe. Bei einer Ein-Kesselvarianten ist der Ausfallssicherheit eine höhere Gewichtung beigemessen werden, weshalb diese Lösung für den Variantenvergleich gewählt wurde.

Eine vereinfachte und kostengünstigere Brennstoffbeschickung könnte mittels Horizontalaustragung und Bodenrührwerk realisiert werden. Das Rührwerk wird in Abhängigkeit vom Füllgrad der Austrageschnecke (Regelung über Lichtschranke) angetrieben. Die Austrageschnecke selbst wird unabhängig vom Rührwerk durch eine eigene Antriebseinheit entsprechend der Kesselanforderung in Funktion versetzt.

Die weitere Brennstoffförderung bis zur Brennkammer des Kessels erfolgt mittels Transport- und Stoker-Schnecken, die sich für den Fall bewährt haben, dass als Brennstoff ausschließlich Hackschnitzel garantierter Güte gemäß Auslegung der Beschickung und Feuerung eingesetzt werden. Dies setzt eine konsequente Überwachung und Dokumentation der Brennstoffanlieferungen voraus. Aufgrund der größeren Sensibilität einer solchen Lösung hinsichtlich Brennstoffbeschaffenheit empfiehlt sich eine solche Lösung bei Mehrkesselanlagen und einer eindeutigen Zuordnung der Brennstofflieferung und Güte zu den jeweiligen Lieferanten. Es bleibt dabei erfahrungsgemäß ein erhöhter Personaleinsatzbedarf.

#### Verbrennung

In der Holz-Feuerung werden die Holzschnitzel in einem mehrstufigen Verbrennungsprozess in ihre gasförmigen Bestandteile aufgespalten. Die dabei entstehenden brennbaren Gase verbrennen in den Kesseln als sichtbare Flamme bei einer Temperatur von bis zu 1.000 °C. Die entstehende Wärme wird über Wärmetauscher auf das Heizungswasser übertragen. Die nichtflüchtigen Bestandteile verbrennen im Glutbett auf dem Rost.

Der hydraulische Einschub bzw. die Einschubschnecke fördert das Brennmaterial über den Einschubkanal/-rohr in den Rostbereich. Außen am Einschubkanal/-rohr befinden sich Halterungen für Rückbrandfühler und das thermische Löschventil. Das Brennmaterial wird mit einem elektrischen Heißluftgebläse automatisch gezündet. Eine automatische Unterrostentaschung gewährleistet die kontinuierliche Abreinigung im Bereich der Luftzuführung und Rostelemente. Damit können Überhitzungen im Rostbereich und darauf zurückzuführende kostenintensive Instandhaltungsarbeiten vermieden werden.

### Entaschung/Abgasstrecke

Mittels Messung der Sauerstoffkonzentration im Abgas werden die Regelgrößen für die Verbrennungsführung (Brennstoffzufuhr und Luftzufuhr mit Primär- und Sekundärgebläse) gewonnen und in der Brennersteuerung verarbeitet. Dadurch ist ein optimaler Betrieb hinsichtlich vollständiger Verbrennung, Verbrennungswirkungsgrad und Minimierung der Emissionen - insbesondere CO und NOx – gewährleistet. Die Luftschadstoffgrenzwerte der TA Luft werden eingehalten bzw. unterschritten.

Der größere Anteil der festen Verbrennungsrückstände wird bereits am Ende der Verbrennungszone als mineralische Asche z. B. mittels Austragschnecke aus dem Kessel in den Aschecontainer ausgetragen. Der Aschecontainer ist staubdicht ausgeführt. Um beim Transport bzw. einem ggf. notwendigem Umfüllvorgang auftretende Staubemissionen zu minimieren, wird der Staub im Behälter angefeuchtet.

Die Verbrennungsabgase werden mittels Saugzuggebläse über die gesamte Abgasstrecke transportiert. Der Saugzugventilator sorgt für den erforderlichen Unterdruck im Bereich der Feuerung und dient der Überwindung der Druckverluste im gesamten Kessel und im Abgasstrang.

Ein Zyklon reinigt die Abgase mechanisch von Flugasche. Die abgeschiedene Flugasche wird von einem Entsorgungsunternehmen fachgerecht entsorgt. Die anfallende Kesselasche kann landwirtschaftlich genutzt werden, da die Anlage nur mit unbehandeltem Holz betrieben wird. Es ist davon auszugehen, dass die Asche keine Kontamination durch Stör- und Schadstoffe enthält. Sie ist damit vorbehaltlich einer bestätigenden Messung prinzipiell zum Wiedereintrag in landwirtschaftliche Kulturen geeignet.

Das gereinigte Abgas wird durch einen zweischaligen Abgaskamin abgeleitet. Zwischen Außen- und Innenrohr des Kamins befindet sich eine mineralische Wärmedämmung.

Als zweite Stufe der Abgasreinigung wäre die Installation einer Elektroentstaubungsanlage möglich. Eine solche Anlage wird hier nicht vorgesehen, da der Grenzwert für Staub der TA-Luft durch die mechanische Abreinigung mittels Zyklon erreicht werden kann. Ein Elektrofilter wird daher auch nicht bei den Investitionskosten berücksichtigt. Eine spätere Nachrüstung ist möglich.

Die tatsächliche Ausführung des HHS-Heizwerks kann im Detail je nach Anlagenkonfiguration von der vorstehenden Beschreibung abweichen.

### **Fördermittel**

Es wurden verschiedene Förderprogramme des Bundes und der Länder aufgelegt, die das Ziel haben, durch einen einmaligen Zuschuss Biomasse-Heiztechnik attraktiver zu gestalten. Zu den förderfähigen Anlagen zählen insbesondere Kessel zur Verbrennung naturbelassener Biomasse, insbesondere Holz in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln oder Presslingen.



Über das Marktanreizprogramm des Bundes kann ein Tilgungszuschuss für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung von Biomasse beantragt werden.

Basisförderung	20 €/kW
Staubreduzierung auf max. 15 mg/Nm <sup>3</sup>	20 €/kW
Speicher 30l/kW	10 €/kW

Die WiBank - Wirtschafts- und Infrastrukturbank Hessen Offenbach fördert marktgängige Biomassefeuerungsanlagen mit automatischer Brennstoffbeschickung zur zentralen Wärmeversorgung ab 50 kW Nennwärmeleistung.

Beim Betrieb der Biomassefeuerungsanlagen dürfen, in Abhängigkeit von der Feuerungswärmeleistung, folgende Emissionswerte (bezogen auf trockenes Abgas und Normzustand) bei der Verbrennung von **naturbelassenem Holz** nicht überschritten werden:

Luftschadstoffe	Emissionswerte		
	Staub	NOx	CO
Feuerungswärmeleistung Q	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
50 kW < Q ≤ 150 kW <sup>1)</sup>	150	-	2.000
150 kW < Q ≤ 500 kW <sup>1)</sup>	150	-	1.000
500 kW < Q ≤ 1.000 kW <sup>2)</sup>	150	250	150 <sup>4)</sup>
1.000 kW ≤ Q < 2,5 MW <sup>1)</sup>	100 <sup>3)</sup>	-	500

1) Die Emissionswerte beziehen sich gemäß 1. BImSchV auf 13 % O<sub>2</sub> im Abgas

2) Die Emissionswerte beziehen sich gemäß TA-Luft (2002) auf 11% O<sub>2</sub> im Abgas

3) Bei **nicht** ausschließlich naturbelassenem Holz: 50 mg/Nm<sup>3</sup>

4) Bei Einzelfeuerungsanlagen bis 2,5 MW gilt der Wert nur bei Betrieb mit Nennlast

## 9.2 Biomasse-Kessel, Brennstoff Stroh

### Variante 1 b)

Getreide kann entweder gezielt für energetische Zwecke auf Stilllegungsflächen angebaut werden oder fällt als nicht vermarktbar (z.B. wg. Infektion mit Fusarien, zu hohen Mutterkornanteil, Befall durch Lagerschädlinge) in unterschiedlichen Mengen jedes Jahr in der Landwirtschaft an. Die Verwertung dieser Partien ist in erster Linie eine Aufgabe der Landwirtschaft. Diese Mengen bilden keine Basis für eine breite Energieversorgung. Stroh als Nebenprodukt kann im Gegensatz dazu durchaus eine größere Bedeutung erlangen da es überall in großen Mengen anfällt. So hat bei Roggen das anfallende Stroh fast denselben Energieinhalt wie das Korn. Es lohnt sich also, Überlegungen zur Erschließung dieser Ressource als Brennstoff anzustellen.

Bei einem Wärmebedarf von 80 bis 400 kW besteht die Möglichkeit, direkt mit Rundballen von 1,30 bis 1,80 m zu heizen. Die Stroh-Heizanlage ist ausgestattet mit einer wassergekühlten Feuerstelle, in der das Stroh bei einer Temperatur zwischen 1.000 und 1.200 °C verbrannt wird. Die entstehende Wärme wird direkt zum zirkulierenden Kesselwasser transportiert.

Die ca. 500 kg schweren Hochdruckballen werden über ein Förderband automatisch zum rotierenden Schredder, der Auflösevorrichtung, zugeführt. Anschließend wird das in Strohschnitzelform vorliegende Stroh dosiert über Schieber oder Schnecken in den Brennraum der Heizung transportiert. Ein Ventilator fördert das Stroh über einen Zyklon und eine Zentralschleuse in der Stoker zum Brenner. Eine optimale Verbrennung des Brennstoffes ist aufgrund der Überwachung durch die Lambda-Sonde garantiert. Ein Wirkungsgrad von bis zu 90% wird erreicht.

Ein Heizkesselhersteller in Mecklenburg-Vorpommern fertigt Strohballenvergaserkessel, in denen sogar ganze Rundballen verfeuert werden können, ohne dass diese zuvor geschreddert werden. Und ein niedersächsisches Unternehmen bietet seit 2013 einen 500 kW- Drehrohrheizkessel für Stroh an, der sich auch für den Einsatz von anderen sehr aschereichen Biomassen eignet.

Automatische Heizungen mit der Vorlage von Quaderballen über ein Band können den Arbeitsbedarf reduzieren. Eine solche Anlage wird einschließlich Staubfilter von dem dänischen Hersteller Linka im Leistungsbereich von 400 bis 1000 kW angeboten. Größere Heizwerke ab 2 MW Leistung haben automatische Greifsysteme und ermöglichen einen vollautomatischen Betrieb.

Geht man in kleine Systeme, so kommen als Heizmaterial Strohpellets oder das Getreidekorn in Frage. Bei beiden hat man eine hohe Energiedichte und kann Logistikketten wie beim Holzpellet nutzen. Erste Strohpelletierungsanlagen existieren bereits und geben die Pellets als Brennmaterial sowie als Pferde- und Kleintiereinstreu ab. Die spezifischen Brennstoffkosten liegen aufgrund der energieintensiven zusätzlichen Arbeitsschritte jedoch höher als die für Holzhackschnitzel!

### Emissions-Grenzwerte

Gesetzlich sind Stroh- und Holzheizungen unterschiedlich geregelt. Im Bereich der 1. BimSchV von 15 bis 100 kW ist Stroh ein Regelbrennstoff, Getreide darf nicht verbrannt werden. Oberhalb von 100 kW gilt bei diesen Anlagen bereits die 4. BimSchV und es können Stroh und Getreide verbrannt werden. Hier sind aber sehr viel strengere Grenzwerte einzuhalten. Der Grenzwert für Staub im Abgas sinkt beispielsweise von 150 auf 50 mg/m<sup>3</sup>.

Die Hauptprobleme bei der Stroh- und Getreideverbrennung sind der hohe Staubanteil, die Verschlackung der Aschen und der Chloranteil bei Stroh, der zu starker Korrosion führen kann bzw. der NO<sub>x</sub>-Anteil bei Getreide, der aus dem Rohprotein entstammt. Holzheizkessel lassen sich wegen der Verschlackung nicht mit den halmgutartigen Biomassen betreiben, es gibt aber spezielle Kessel, die für diese Brennstoffe konstruiert sind.

Im Bereich kleiner Kesselleistungen ist das Strohpellet in entsprechend entwickelten Heizanlagen eine Alternative zum Holzpellet. Hier besteht für die Landwirtschaft die Chance, einen Markt für Endkunden aufzubauen und zu beliefern. Über Lohnpelletierung des eigenen Strohs ist diese Technik aber auch für den landwirtschaftlichen Betrieb einsetzbar. Der Vorteil der Pellets gegenüber Holzhackschnitzeln oder Stroh ist die hohe Lagerdichte und die gute Transportlogistik. Aber gegenüber Holzhackschnitzeln bleibt der Preisnachteil, sodass bei größeren Anlagen mit einer Leistung > 100 kW in der Regel Holzhackschnitzel und direkte Strohverfeuerung dem Einsatz von Strohpellets überlegen sind.

### **Fördermittel**

Es wurden verschiedene Förderprogramme des Bundes und der Länder aufgelegt, die das Ziel haben, durch einen einmaligen Zuschuss die teurere Biomasse-Heiztechnik attraktiver zu machen.

Über das Marktanreizprogramm des Bundes kann ein Tilgungszuschuss für automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung von Biomasse von 60 €/kW installierter Leistung, mindestens aber 1.700 € je Anlage beantragt werden.

Die WiBank fördert ebenfalls marktgängige Biomassefeuerungsanlagen mit automatischer Brennstoffbeschickung zur zentralen Wärmeversorgung ab 50 kW Nennwärmeleistung.

Für Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe (wie z.B. Getreidepflanzen, Gräser, Miscanthus) gelten in Abhängigkeit von der Feuerungswärmeleistung die folgenden Emissionswerte, die nicht überschritten werden dürfen:

### Emissionswerte

Luftschadstoffe	Staub	NOx	CO
Feuerungswärmeleistung Q	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
Q < 100 kW <sup>1)</sup>	150	-	4.000
100 kW ≤ Q < 1 MW <sup>2)</sup>	50	500	250 <sup>3)</sup>
1 MW ≤ Q < 500 MW <sup>2)</sup>	20	400	250 <sup>3)</sup>

1) Die Emissionswerte beziehen sich gemäß 1. BImSchV auf 13 % O<sub>2</sub> im Abgas

2) Die Emissionswerte beziehen sich gemäß TA-Luft (2002) auf 11% O<sub>2</sub> im Abgas

3) Bei Einzelfeuerungsanlagen bis 2,5 MW gilt der Wert nur bei Betrieb mit Nennlast

### Kostenvergleich der Biomasse-Brennstoffe

Stroh kostete im Zeitraum Januar 2014 bis September 2015 im bundesweiten Schnitt 92 €/t (frei Hof, lose). In der danach folgenden Zeit unterlag der Strohpreis stärkeren Schwankungen und liegt seit Mai 2016 bei 106 €/t. Im Bundesland Hessen lagen die Kosten bereits 2014/2015 mit 106,67 €/t deutlich über dem Bundesdurchschnitt.

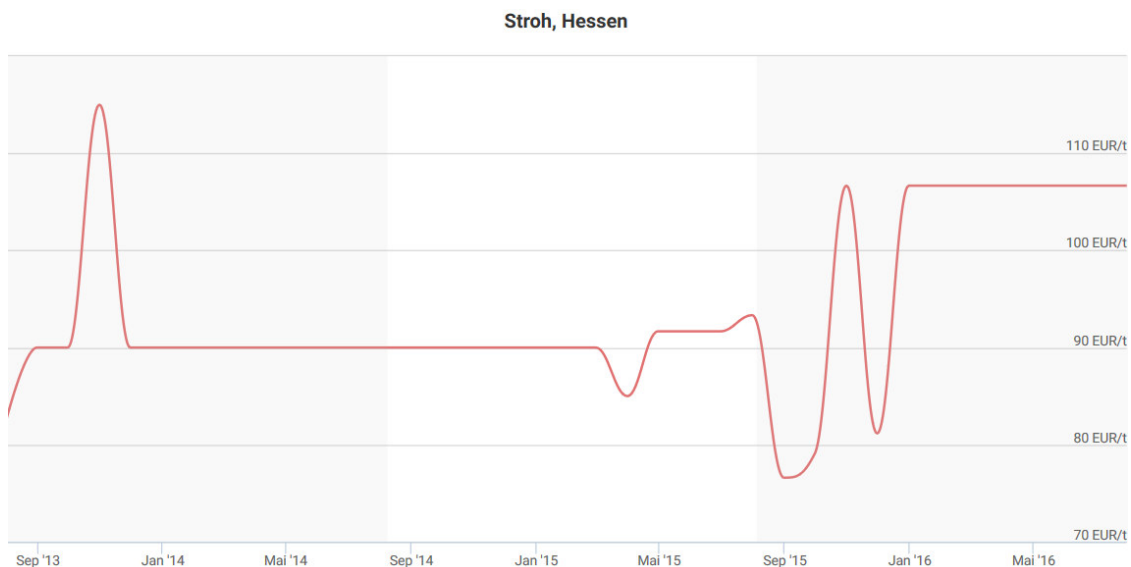


Diagramm 6 Quelle: Agrar heute, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH Hannover

Bei etwa 3,96 MWh/t Energieinhalt ergeben sich im Bundesdurchschnitt 2014/2015 mit ca. 92 €/t (siehe Diagramm) Brennstoffkosten von 23,2 €/MWh, in Hessen von 26,9 €/MWh. Im Vergleich dazu lagen die brennstoffkosten für Holzhackschnitzel mit Wassergehalt 20% (WG 20) bei 29,7 €/MWh.

	<b>Stroh</b> (Quaderballen)	<b>Hackschnitzel</b> (Kiefer)
Dichte in kg/m <sup>3</sup>	130	203
Spanne Wassergehalt in %	10 - 20	15 - 50
Heizwert H <sub>i</sub> in kWh/kg (bei w = 15 %)	3,96	4,33
Heizwert H <sub>i</sub> in kWh/m <sup>3</sup> bei typischem Wassergehalt (Stroh w = 15 %, Hackschnitzel w = 30 %)	513	745
Aschegehalt in %	4 - 8	1 - 1,5
Kosten frei Hof, Hessen, €/t	106,67 <sup>1)</sup>	
Kosten inkl. Lieferung, WG 20, Süden, €/t		128,63 <sup>2)</sup>
Energiekosten €/MWh	26,94 <sup>1)</sup>	29,71 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Quelle: Agrar heute

<sup>2)</sup> C.A.R.M.E.N, Preisdaten 2. Quartal 2016)

## 10. Nahwärmenetz mit solarthermischem Feld und saisonalem Wärmespeicher für Bracht (ohne Siedlung)

### Variante 2

#### Solaranlage

Die Wärmegewinnung erfolgt hierbei mittels einer thermischen Solarkollektoranlage. Die erste überschlägige Dimensionierung der erforderlichen Kollektorfläche ergibt eine Größenordnung von 12.000 m<sup>2</sup>. Der Jahreswirkungsgrad der Anlage liegt angesichts des hohen erforderlichen Temperaturniveaus von 45/85 °C lediglich bei knapp über 30%. Mit dem Ertrag von ca. 3.500 MWh pro Jahr werden dabei sowohl der Gesamtwärmebedarf der ca. 103 Abnehmer und der Wärmeverluste von Netz und Speicher abgedeckt. Die nicht zeitgleich verbrauchte Solarwärme wird im Sommerhalbjahr in zwei Großwärmespeichern mit einem Volumen von insgesamt 53.400 m<sup>3</sup> eingespeichert.

Es ist davon auszugehen, dass bei Inbetriebnahme der Gesamtanlage nicht alle anzuschließenden Gebäude des Versorgungsgebiets bereits auf Solarwärme umgestellt sind. In der Anfangszeit kann daher die Ladungsreserve des Speichers aufgebaut werden, die die Varianz zwischen Wärmebedarf und solarer Wärmeernie ausgleicht. Später ermöglicht die sich tatsächlich im laufenden Betrieb ergebende Reserve ggf. den nachträglichen Anschluss zusätzlicher Wärmeabnehmer an das Versorgungssystem. Dasselbe gilt, wenn aufgrund baulicher Wärmeschutzmaßnahmen in Bestandsgebäuden der Wärmeabsatz sinken sollte.

Die Ausführung der Solarkollektoranlage ist bei Umsetzung des Projekts nach genauer Marktrecherche und Einholung von Angeboten zu konkretisieren und eine Wahl zwischen den Ausführungsvarianten Flach- oder Vakuumröhrenkollektor zu treffen.

#### Flachkollektoren

Hauptmerkmal der Flachkollektoren ist die Ausrichtung einer flachen, ebenen Absorberfläche zur Sonne (keine Krümmung, keine Konzentration). Flachkollektoren werden zur Erwärmung von Schwimmbadwasser, Gemischen aus Wasser und Frostschutz sowie Luft verwendet.

Das am häufigsten eingesetzte Abdeckmaterial für die der Sonne zugekehrten Seite ist Solarglas, vorzugsweise mit Antireflexbehandlung. Aufgrund der optimalen Wärmeleitfähigkeit werden Flachkollektoren meistens mit Kupferabsorber ausgeführt.

Die Oberflächenbeschichtung der Absorber entscheidet neben der Dämmung und den Eigenschaften des Solarglases über die Leistungsfähigkeit des Kollektors. Sie soll hochselektiv sein, das heißt deutlich mehr als 90 % der einfallenden kurzwelligeren Einstrahlung (ca. 300 - 3500 nm Wellenlänge) durch Absorption aufnehmen, aber weniger als 10 % der aufgenommenen Energie wieder in Form langwelliger Strahlung durch Emission abgeben.

Am meisten verbreitet ist eine durch Kathodenzerstäubung aufgebraute Schicht auf Titanbasis in dunkelblauem Farbton. Bei Neuentwicklungen werden Beschichtungen auf der Basis von Keramik-Metall-Nano-Strukturen eingesetzt.

### Vakuurröhrenkollektoren

Vakuurröhrenkollektoren werden ebenfalls zur Erwärmung von Wasser und/oder Wasser-Frostschutz-Gemischen eingesetzt, aber auch zur Erzeugung von Prozessdampf. Der Absorber und damit auch das Wärmedium werden gegen die Außenumgebung durch ein Vakuum isoliert.

Vorwiegen sind zwei Varianten von Vakuurröhren erhältlich: Vakuurröhren, bei denen ein innen liegender Metallabsorber vom Wärmeträgermedium durchströmt wird und Vakuurröhren, bei denen eine Beschichtung auf der Oberfläche der inneren der zwei Glasröhren aufgetragen ist, die direkt vom Wärmeträgermedium durchströmt wird. Die Beschichtungen bestehen i. d. R. aus verschiedenen Lagen aufgedampfter Metallfilme oder nanostrukturierter Metall-Keramik.

Die aufgefangene Wärmeenergie kann durch ein integriertes U- oder koaxiales Rohr abtransportiert werden, das von der Wärmeträgerflüssigkeit direkt durchflossen wird. Bei Absorbern mit „Heat-Pipe“ wird die Wärme aus der Vakuurröhre heraus mittels einer siedenden Flüssigkeit indirekt auf ein vom Wärmeträger durchflossenes Anschlussrohr übertragen. Vorteil dieser Anordnung ist das leichte Auswechseln einer defekten Vakuurröhre ohne Ablassen der Trägerflüssigkeit. Außerdem besitzen „Heat-Pipe“ Absorber eine inhärente Sicherheit gegen Überhitzung bei Anlagenstillstand, z.B. durch Pumpenausfall.

Im Winterhalbjahr bringen Vakuurröhrenkollektoren auf Grund ihrer optimalen Dämmung wesentlich höhere Erträge als Flachkollektoren. Die Widerstandsfähigkeit gegenüber sehr tiefen Temperaturen wird mit durchschnittlich  $-30^{\circ}\text{C}$  angegeben. Grundsätzlich wird jedoch bei Einsatz unter  $-10^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur als Wärmeträger eine Glykoll-Wasser Frostschutzmischung eingesetzt.

Wirkungsgrad und flächenspezifischer Ertrag von Vakuurröhrenkollektoren hängen von mehreren Faktoren ab. Bei vergleichbaren Röhrenkonstruktionen gilt: je größer der Durchmesser der Röhren, desto besser sind spezifischer Flächenertrag und Wirkungsgrad. Verbreitet sind Röhren mit 48 mm und 58 mm Durchmesser. Direktdurchflossene Röhren haben bei gleicher Konstruktion der Röhren einen etwas besseren Wirkungsgrad als Heat-Pipe-Röhren. Bei Vakuurröhrenkollektoren mit CPC-Spiegel liegt die Vakuurröhre vor einem Spiegel, der einen höheren Flächenertrag liefert insbesondere bei diffuser Strahlung (gestreutem Licht) und somit die Leistung und den Wirkungsgrad deutlich erhöht.

Vakuurröhrenkollektoren können gegenüber Flachkollektoren wesentlich höhere Betriebstemperaturen erreichen und eignen sich dadurch auch zur Erzeugung industrieller Prozesswärme. Die Absorbtemperatur und somit auch die Flüssigkeitstemperatur kann je nach Konstruktion und Anwendung bis zu  $350^{\circ}\text{C}$  erreichen. Im Bereich höherer Nutzttemperaturen weisen Vakuurröhrenkollektoren erheblich höhere Wirkungsgrade auf. So können die Vakuurröhrenkollektoren im Vergleich zu Flachkollektoren das Wärmedium noch schneller und bereits bei vergleichsweise

geringere Einstrahlung zum Sieden bzw. Verdampfen bringen. Wird die Wärme nicht rechtzeitig abgeführt (z. B. in einen Pufferspeicher), verdampft bei Drucklosen Systemen ein Teil der Flüssigkeit. Bei Drucksystemen wird der Druck in der Anlage so groß, dass Flüssigkeit durch ein Sicherheitsventil in ein offenes Gefäß abgelassen wird, um ein Bersten der Anlage zu verhindern.

Ähnlich wirkt sich bei Drucksystemen ein Pumpenstillstand z. B. durch einen Stromausfall aus. Wird die Flüssigkeit nicht umgewälzt und der Kollektor somit gekühlt, kann es zur Überhitzung des Trägermediums kommen. Nach Abkühlung des Systems muss dann Wärmeträgerflüssigkeit aufgefüllt werden, bis der notwendige Druck in dem Kreislauf wieder erreicht ist. In jedem Fall müssen Vakuum- wie auch Flachkollektoren so beschaffen sein, dass sie sowohl die maximale Stillstandstemperatur als auch den dabei anstehenden Systemdruck über längere Zeit unbeschadet überstehen.

### **Groß-Wärmespeicher**

Wärmespeicher bieten die Möglichkeit, die Ungleichzeitigkeit zwischen Wärmeerzeugung und Wärmebedarf zu kompensieren. Für die saisonale Wärmespeicherung, d. h. die Verschiebung des Wärmertrags aus der einstrahlungsintensiven Jahreszeit in die Monate des geringen Wärmeertrags und hohen Wärmeverbrauchs sind Heißwasserspeicher einer Größenordnung erforderlich, wie sie bisher selten zum Zweck der Wärmespeicherung gebaut wurden. Gleichwohl sind Stahlbehälter dieser Größe nichts Neues, sondern seit langem bekannt, z.B. als Silobehälter in der Zuckerindustrie oder als Gasometer. Hohe Baukosten und eher niedrige Kosten für fossile Energieträger standen dem Bau von Wärmespeichern dieser Größe bisher entgegen.

Seit dem Boom beim Bau von Biogasanlagen, bei denen in der Regel Großbehälter als Fermenter eingesetzt werden, sind die Preise für entsprechende Behälterbauwerke stark gefallen. In den neunziger und zu Beginn der 2000er Jahre wurden mehrere Großwärmespeicher realisiert (Friedrichshafen, München etc.), mit deren Hilfe Sonnenwärme vom Sommer in den Winter verschoben wurde. Bei den bisher ausgeführten Projekten wurde jedoch keine solarthermische Vollversorgung angestrebt oder realisiert. Zumeist lag der Deckungsanteil unter 50 %, da zu hohe Speicherkosten befürchtet wurden.

Nachdem in den letzten Jahren weitere Kostensenkungen zu verzeichnen sind und neue Erfahrungen beim Bau von Großbehältern mit Wärmedämmung gesammelt wurden, ist der Durchbruch für eine solarthermische Vollversorgung von ganzen Ortschaften absehbar.

Um die Wende auch im Bereich Gebäudeheizung zu beschleunigen, sind Vorreiter erforderlich, bei denen sowohl die generelle Machbarkeit nachgewiesen als auch die Funktion der einzelnen Komponenten optimiert werden kann.



Wärmespeicher in Friedrichshafen (1996), 12.00 m<sup>3</sup>, Durchmesser 32 m, Höhe 12 m

### Be- und Entladung, Schichtung

Die Beladung der Wärmespeicher erfolgt geschichtet und in einem Umlauf.

Das ausgekühlte Speicherwasser wird am unteren Anschluss von Speicher 1 mit einer Temperatur von 35 - 50°C (abhängig vom Ladezustand und der Rücklaufemperatur des Nahwärmenetzes) entnommen und so langsam durch die Solaranlage hindurchgefördert, dass der Sollwert der Vorlaufemperatur des Wärmespeichers von 75 - 80° C direkt erreicht wird. Mit dieser Temperatur strömt das Wasser in den oberen Anschluss von Speicher 2 ein. Der untere Anschluss von Speicher 2 ist mit dem oberen Anschluss von Speicher verbunden. Bei kontinuierlichem Wärmeüberschuss in der strahlungsreichen Zeit März bis September wandert auf diese Weise die Grenze bzw. Grenzschicht zwischen heißen und kühlerem Wasser vom oberen Bereich des Speicher 2 bis nach unten und danach vom oberen Teil des Speichers 1 ebenfalls bis nach unten. Je nach tatsächlicher Gesamteinstrahlung im jeweiligen Jahr kommt gegen Ende September die heiße Schicht am unteren Anschluss von Speicher 1 an und beide Speicher haben den maximalen Ladezustand erreicht.

Im Oktober liegt je nach aktueller Einstrahlung das Äquilibrium, d.h. Solarertrag und Wärmeabnahme durch das Nahwärmnetz sind im zeitlichen Mittel gleichauf. Von tageszeitlichen Schwankungen abgesehen werden weder nennenswerte Wärmemengen eingespeichert noch entnommen. Im Verlauf des Monats geht der direkt oder unmittelbar nutzbare Ertrag der Solaranlage zurück, die Entladephase der Speicher beginnt.

In besonders strahlungsreichen Jahren kann es vorkommen, dass bei bereits durchgängig auf 80°C aufgeladenen Wärmespeichern weiterhin Ertragsüberschüsse über den mittlere Wärmebedarf im NW-Netz hinaus bestehen. Dieser Überschuss kann zur weiteren Anhebung der Speichertemperatur und somit zum Aufbau von Reserven genutzt werden.

Ab Ende Oktober übersteigt der Wärmebedarf im zeitlichen Mittel den Ertrag der Solaranlage und die Speicher werden entladen. Kühles Rücklaufwasser aus dem NW-Netz wird am unteren Zulauf von Speicher 1 eingeleitet und heißes Wasser für den Netzzvorlauf am oberen Anschluss von Speicher 2 entnommen.

Sofern aus Kostengründen relativ niedrige Heißwasserspeicher < 12m eingesetzt werden müssten, wäre der Einsatz einer höhenverschiebbaren Entnahmeeinrichtung sinnvoll. Mit deren Hilfe kann der Stratifikation der Grenzschicht zwischen kühlerem und heißem Wasser begegnet werden. Dazu wird bei moderaten Außentemperaturen < 0°C die Netztemperatur auf 70°C abgesenkt, indem Wasser mit mittlerem Temperaturniveau aus dem Bereich der Grenzschicht beigemischt wird.

Ende März übersteigt im zeitlichen Mittel die Wärmeenergieerzeugung der Solaranlage den Wärmebedarf des NW-Netzes und die Wärmespeicher werden wieder aufgeladen. Bis dahin ist die Grenzschicht bis nahe an den oberen (Vorlauf) Anschluss von Speicher 2 gelangt.

Sollte wieder erwarten die Wärmekapazität als Folge zu hoher Rücklaufemperaturen einzelner Wärmeabnehmer geringer ausfallen, oder der Wärmeverbrauch ansteigen, so könnte kurzfristig mittels einer mobilen Heizanlage Wärme eingespeist werden. Mittelfristig könnte aber auch die Solaranlage erweitert werden. Alternativ kann mittels einer Wärmepumpe dem ausgekühltem Heißwasserspeicher weitere Wärme entnommen und auf das Nutztemperaturniveau angehoben werden. Da dies erst nach der eigentlichen Kälteperiode erfolgt, wird das Problem winterlichen Strommangels aus regenerativen Quellen durch eine derartige Ergänzungs- oder Notlösung nicht verschärft. Der Einsatz einer hierfür zu verwendenden Elektrowärmepumpe könnte dabei auf Zeiten eines hohen Solar- oder Windstromangebotes fokussiert werden.

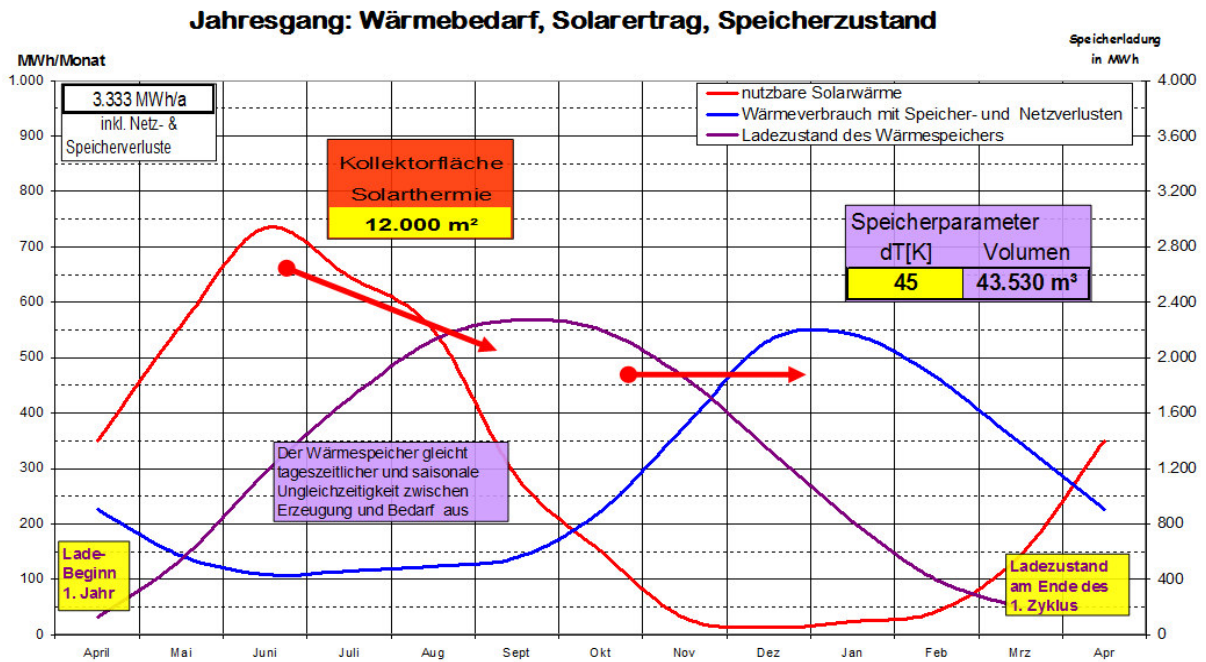


Diagramm 7: Jahresgang Be- und Entladung der Groß-Wärmespeicher im 1. Jahr

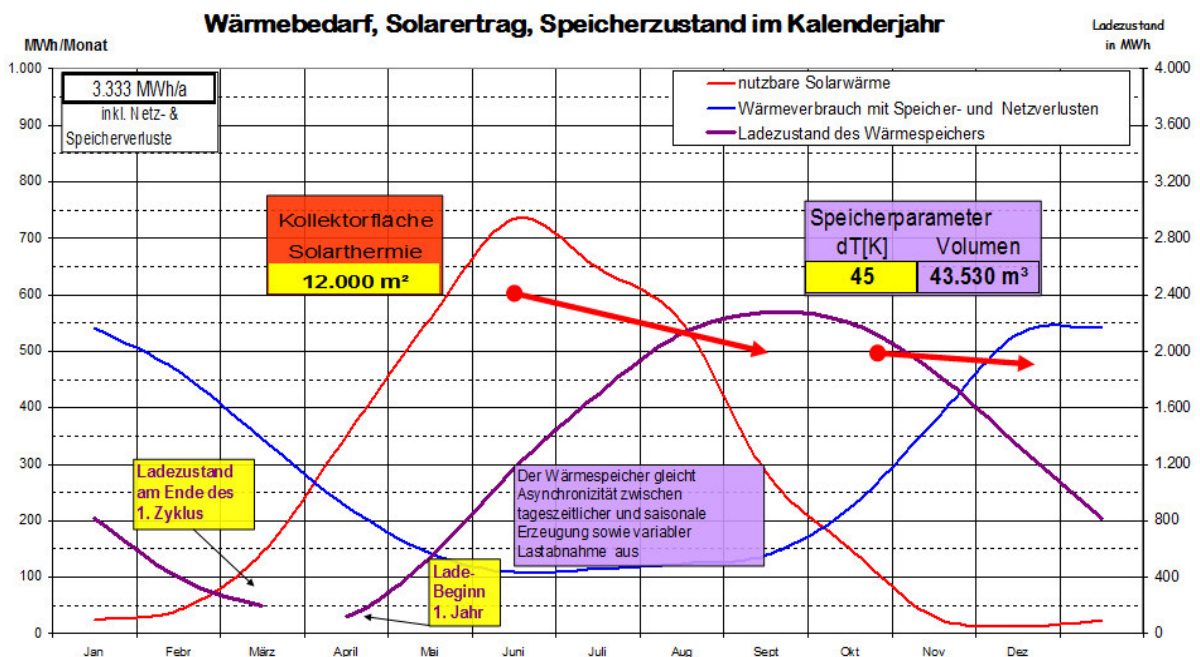


Diagramm 8: Jahresgang Be- und Entladung der Groß-Wärmespeicher im Kalenderjahr

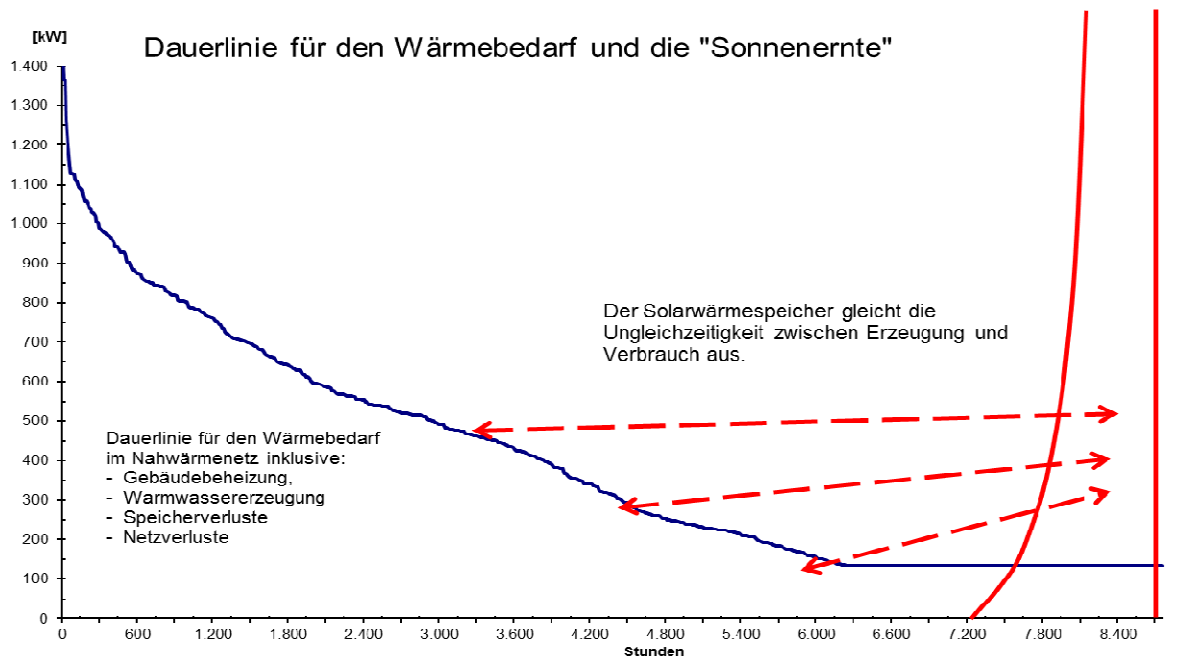
### Gesicherte Vollversorgung

Alle bisher im großen Maßstab realisierten System solarer Wärmeversorgung sind mit einem zusätzlichem Wärmeerzeuger ausgerüstet, bei dem entweder fossile Brennstoffe oder Biomasse eingesetzt werden, seltener elektrische Systeme wie Wärmepumpe oder Direktheizer.

Begründung sind die prohibitiven Kosten für die Wärmespeicherung. Bei saisonalen Speichern müssen die Investitionskosten auf äußerst geringe Nutzzyklenzahlen von 1 pro Jahr, 20 über dem Refinanzierungszeitraum oder 50 - 60 auf die Nutzungsdauer umgelegt werden. Selbst dann, wenn nur sehr geringe Betriebskosten anfallen, müssen die hohen Finanzierungskosten erwirtschaftet werden und haben bisher dazu geführt, dass saisonale Speicherung nicht wirtschaftlich dargestellt



werden kann-



te.

Diagramm 9: Jahresdauerlinie **Variante 2** Wärmenetz mit thermischer Solaranlage und saisonalem Speicher

Es ist hier jedoch der positive Skaleneffekt zu beachten. Der Preis von Heißwasserspeichern ist eine Funktion der Größe mit fallenden spezifischen Kosten bei zunehmendem Volumen. Wenn überhaupt saisonale Speicherung von Solarwärme zur Diskussion steht, so ist der sich ergebende Speicherpreis umso günstiger je größer der Speicher oder auch je höher der Deckungsgrad ist. Allerdings wirkt sich auch eine ungenutzte Überdimensionierung kontraproduktiv aus.

Bei 100%iger Deckung des Wärmebedarfs aus einem Saisonspeicher ist kein Zusatzsystem erforderlich, sofern ein Notfalladapter für den Anschluss einer mobilen Notanlage vorhanden ist. Die damit verbundenen Einsparungen führen mittelbar zu einem weiteren Kostenvorteil gegenüber einer Teilversorgung aus kleineren saisonalen Wärmespeichern.

Ein weiterer Aspekt stellt die Ressourcennutzung dar. Solare Vollversorgung zieht Flächenverbrauch nur für die Solaranlage selbst und den Wärmespeicher nach sich. Dabei ist es zukünftig denkbar, beides zu kombinieren, d. h. Solarspeicher und Solaranlage nutzen übereinander dieselben Flächen. Auch eine Hybridkombination zur Nutzung von Wärme- und Stromerzeugung auf derselben Fläche ist machbar, durch spezielle photovoltaische Beschichtung der thermischen Absorber der Solaranlage. Und auch die bereits seit längerem erörterte Kombination von landwirtschaftlicher Bodennutzung im Verbund mit aufgeständerten Solaranlagen wird inzwischen vom Fraunhofer Institut mittels Demonstrations- und Pilotanlagen intensiv untersucht.

Systeme, die für die Ergänzungsheizung auf Brennstoffe aus extra angebaute Biomasse zurückgreifen, haben demgegenüber einen weitaus höheren Flächenbedarf. Unter Berücksichtigung aller Umwandlungs- und Speicherverluste ist für dieselbe Energiemenge bei Anbaubiomasse etwa 30-mal so viel Fläche erforderlich im Vergleich zu einer solarthermischen Anlage. Deshalb sind zukünftig mit Biomasse betriebene zusätzliche Wärmeerzeuger nur dann sinnvoll, wenn auf ohnehin vorhanden überschüssige und somit flächenschonend gewonnene Biomasse (Resthölzer) zurückgegriffen werden kann. Dies ist immer seltener der Fall, zumal mittlerweile häufiger Kronenholz verwertet wird, welches eigentlich für die Humusbildung im Wald verbleiben sollte.

Unter Berücksichtigung aller vorgenannten Aspekte erscheint es sinnvoll, im vorliegenden Projekt erstmalig eine Vollversorgung ohne Zusatzsystem zu realisieren.

## 11. Punktuelle Wärmenetze mit zentraler Pelletheizung

### Variante 3

Für Bracht und Bracht Siedlung wird alternativ eine kleinteilige Wärmeversorgung mit Pelletheizanlagen untersucht.

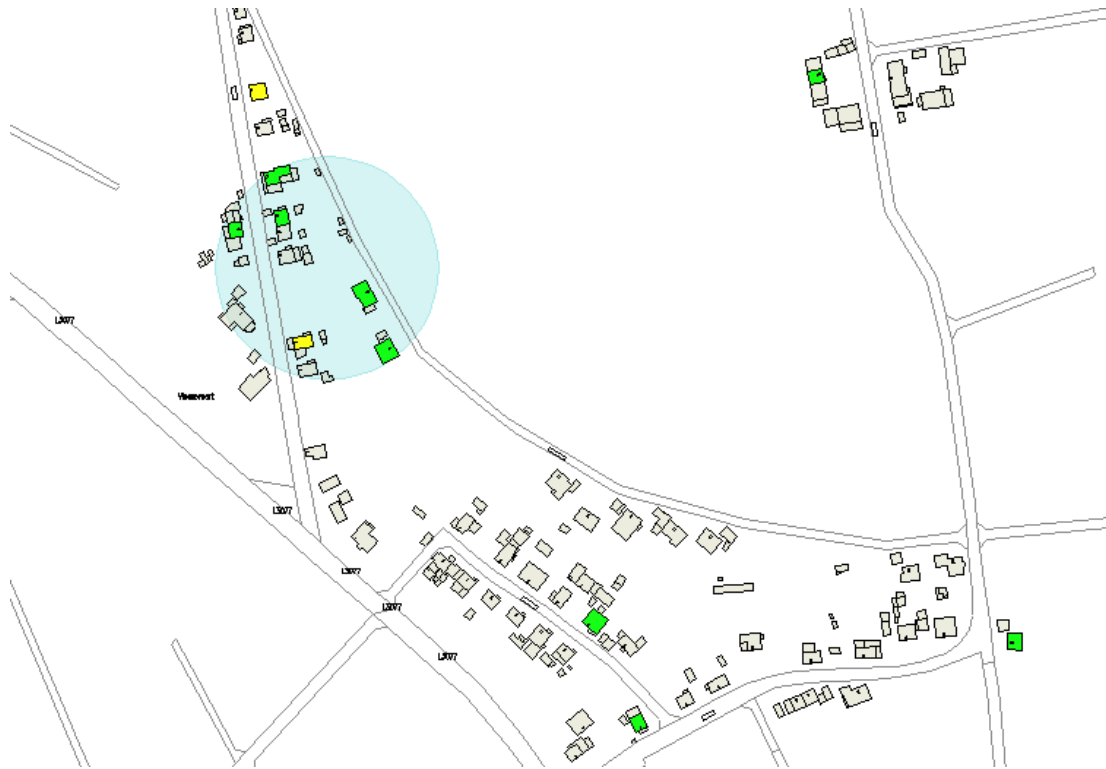
Für mehrere Gebäude wird auf einem Grundstück der beteiligten Wärmeabnehmer eine kleine Heizanlage und von dort ausgehend ein Wärmenetz installiert, aus dem die Gebäude mit Wärme versorgt werden. Vorratslager und Pelletheizung sowie Verteiler und Pumpen etc. können z. B. in einem vorgefertigten Container installiert werden.

Die Kombination der zentralen Pelletheizung mit thermischen Solaranlagen bietet sich vor allem für die Warmwasserbereitung im Sommer an, damit in der sonnenintensiven Jahreszeit ohne Heizwärmebedarf die Pelletheizung weitestgehend „kalt“ bleibt. Die sogenannte „Badewannenkurve“, die im nachstehenden Diagramm 'Wärmeverbrauch im Jahresverlauf' zu sehen ist, zeigt dies deutlich. Dazu sind am Standort der Pelletheizung etwa 30 m<sup>2</sup> Solarkollektoren und ein Brauchwasserspeicher von 3.000 Litern zu installieren. Der Speicher kann sowohl aus der Pelletheizung wie aus den Solarkollektoren aufgeheizt werden. In den einzelnen Gebäuden werden die bestehenden Warmwasserspeicher in die Wärmeversorgung eingebunden. Evtl. sollte ein gut gedämmter Speicher von 200 bis 240 Litern, abhängig von der im Haushalt lebenden Personenzahl, angeschafft werden.

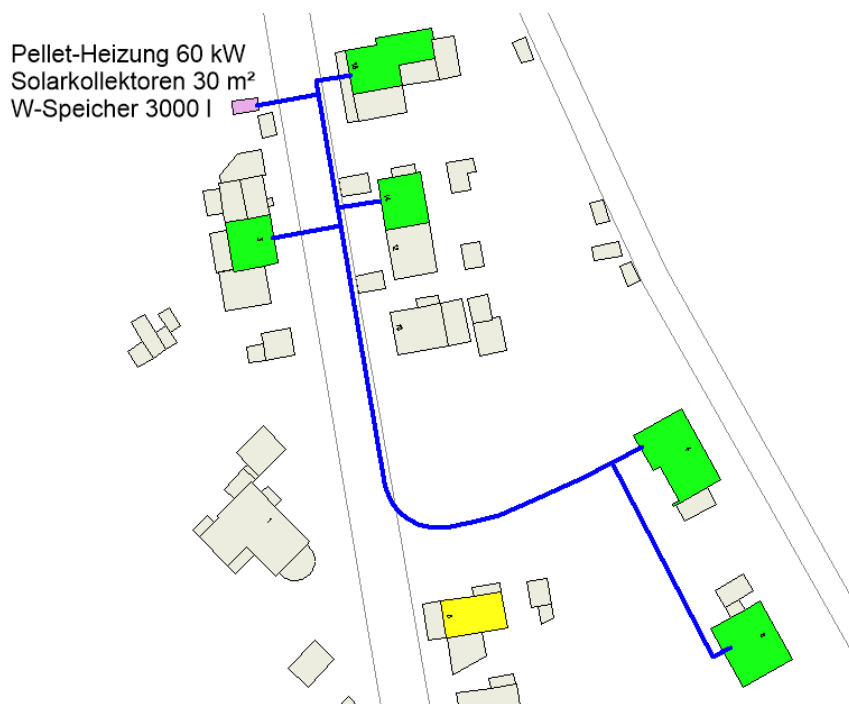


Bereiche für Pelletheizungen, Bracht

Exemplarisch wird eine Kostenanalyse für fünf Gebäude in Am Bahndamm und Waldstraße in Bracht Siedlung dargestellt.



Bereich für Pelletheizung, Bracht Siedlung: Waldstraße und Am Bahndamm



Standort Pelletheizung und Solarkollektoren, kleines Nahwärmenetz Waldstraße und Am Bahndamm

Wärmeverbrauch und beheizte Wohnfläche der Gebäude nach Angaben der Eigner (Fragebögen):

Straße	Nr.	Beheizte Wohnfläche m <sup>2</sup>	mittlerer Wärmeverbrauch kWh/a	Leistung kW
Am Bahndamm	4	120	12.750	8
Am Bahndamm	6	125	14.167	8
Waldstraße	3	125	5.000	3
Waldstraße	14	120	21.250	12
Waldstraße	16	200	25.683	15
		<b>790 m<sup>2</sup></b>	<b>79 MWh/a</b>	<b>46 kW</b>
			GZF 0,90	<b>44 kW</b>

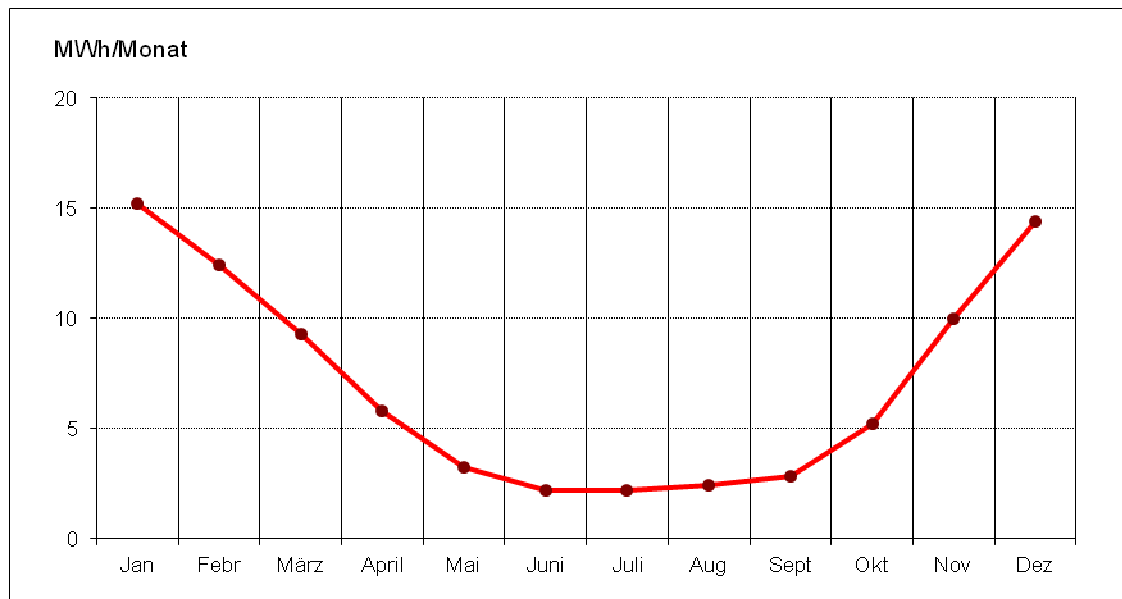


Diagramm 10: Wärmeverbrauch der Gebäude Waldstraße und Am Bahndamm im Jahresverlauf

### Förderung

Gegenstand der Förderung des BAFA sind Anlagen bis zu einer Nennwärmeleistung von 100 kW. Wird der Pelletkessel zusammen mit einem Speicher von mindestens 30 l/kW errichtet, beträgt die Förderung 80 €/kW. Zusätzlich könnte ein Betrag von 5.250 € beantragt werden, wenn ein Kessel mit Brennwertnutzung installiert wird. Weiterhin wird ein Betrag von je 500 € für die Kombination mit einer Solarkollektoranlage und einem Wärmenetz gewährt.

### Kosten, Betrieb, Wärmepreis

Im Anhang ist die detaillierte Kostenermittlung ausgewiesen.

Es werden die Investitionskosten für 215 Trassenmeter Rohrleitung inkl. Tiefbau und fünf Hausanschluss-Stationen überschlägig ermittelt. Das Förderkriterium für Netz und Stationen 500 kWh pro Trassenmeter und Jahr wird knapp erreicht (KfW-Bank).

Die in einem Container von 6 x 2 Metern aufzustellende Pelletheizung wurde auf 60 kW Leistung dimensioniert, um weitere naheliegende ggf. zusätzlich anschließen zu können. Das Lager soll fünf Tonnen Pellets aufnehmen können. Mit 30 m<sup>2</sup> deckt die Solarkollektoranlage den sommerlichen Wärmebedarf größtenteils ab und erbringt mit ca. 15,6 MWh pro Jahr anteilig 19,7% des Wärmeverbrauchs für Abnehmer und Verluste.

Unter Berücksichtigung aller Fördermittel und einem Genossenschaftsbeitrag der Wärmeabnehmer von 3.000 € ergeben sich die spezifische Wärmegestehungskosten zu 82,69 €/MWh bzw. 98,40 €/MWh inkl. Mehrwertsteuer. Damit liegt der kostendeckende Wärmepreis auf einem fast akzeptablen Niveau für die Anschlussbereitschaft von Wärmeabnehmern. Der Wärmepreis für Ölheizkesseln mit Wärmeleistungen bis ca. 30 kW im Bestand unter Berücksichtigung des Jahresnutzungsgrades der Kesselanlage und der anfallenden Nebenkosten (Vollkosten) kann derzeit mit etwa 97 €/MWh inkl. Mehrwertsteuer angegeben werden, wobei der aktuelle HEL-Preis mit 50 € pro Liter berücksichtigt ist.

Bei Aufteilung der Kosten kann folgendes Wärmepreismodell Anwendung finden:

<b>Wärmeverkauf - Ertragssituation aus Betreibersicht</b>			
Refinanzierungszeitraum		15 Jahre	
			€/MWh
Wärmebedarf der Wärmekunden		109 MWh/a	inkl. MWSt
<b>AP</b> Arbeitspreis (netto)	entspricht $AP_{\text{Nahwärme}}$	<b>66,00 €/MWh</b>	<b>78,54</b>
<b>Wärmeverkaufserlöse aus Arbeitspreis (netto)</b>		<b>7.194 €/a</b>	
Delta T (70°C - 40°C) Vorlauf-/Rücklauftemp.		30 K	
spez. Wärmekapazität		1 kWh/kg	
Wärmebedarf der Wärmekunden		109 MWh/a	
Heizwasserdurchlauf bei den Wärmekunden		3.132 m <sup>3</sup> /a	
(Wärmebedarf [MWh/a] ./Delta T [K] ./spez. Wärmekap. [kWh/kg]* 1000 [kg/m <sup>3</sup> ])			
<b>GP</b> Grundpreis Heizwasserdurchfluss (netto)		<b>0,50 €/m<sup>3</sup></b>	<b>0,60</b>
<b>Wärmeverkaufserlöse aus Grundpreis (netto)</b>		<b>1.566 €/a</b>	
Anzahl Wärmekunden		5	
<b>MP</b> Messpreis Wärmemessung *)		<b>50 €/a</b>	<b>59,50</b>
<b>Erlöse aus Jahrespauschale Wärmemessung</b>		<b>250 €/a</b>	
<b>Gesamterlöse aus Wärmeverkauf im 1. Jahr (netto)</b>		<b>9.010 €/a</b>	
jährliche Kosten		-9.000 €/a	
<b>jährlicher Überschuss (netto)</b>		<b>10 €/a</b>	

\*) Austauschkosten Wärmezähler alle 5 Jahre

## 12. Investitionskosten, Wärmepreis, Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für das Wärmenetz werden für Doppelrohrverlegung und Hausanschluss-Stationen ohne Wärmetauscher ermittelt.

Die Kostenermittlung für das Primär-Nahwärmenetz (alle Kostenangaben ohne Mehrwertsteuer) wurde auf der Grundlage einer Berechnung des Wärmeflusses und einer darauf aufbauenden Netzdimensionierung sowie unter Anwendung spezifischer Baukosten für vergleichbare Wärmenetze durchgeführt.

Die Kosten für die Hausanschluss-Stationen wurden inklusive Montagekosten für jeden Gebäudeanschluss berücksichtigt, jedoch ohne die sekundärseitigen internen Kosten für den Anschluss an die jeweilige Hausverteilung in den zu versorgenden Gebäuden.

Für die Funktion des Nahwärmenetzes sind die hydraulische Netzeinbindung und der Wärmepufferspeicher eingerechnet. In den Betriebskosten der Varianten mit Holzhackschnitzelkesselanlage sind Bedienung, Wartung und Unterhalt für den separaten Baukörper (Heizhaus) und die Kosten für die Ascheentsorgung inbegriffen.

Die Gesamtlänge des Wärmenetzes, die für die Kostenanalyse angesetzt wird, wird an die untersuchte Variante angepasst. Bei einem Anschlussgrad von 100% beträgt die Netzlänge inkl. Hausanschlussleitungen 3.920 Trassenmeter und bei einem aus wirtschaftlicher Sicht notwendigem Anschlussgrad von 250% ca. 4.950 Trassenmeter.

Für die Ermittlung der Investitionskosten der Wärmeerzeuger wurden vergleichbare Kosten aus anderen Projekten herangezogen.

Die Kostenanalyse stellt die Gesamtkosten der Wärmeversorgung bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten dar. Die Varianten 1 bis 3 einer zentralen Wärmeversorgung werden der Beheizung der Gebäude mit jeweils einem Wärmeerzeuger wie sie derzeit besteht, gegenüber gestellt. Dabei werden für einige der Bestandskesselanlage aufgrund des Baualters von 19 bis 34 Jahren Kapitalkosten für Ersatzinvestitionen in der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt.

Nach Aufstellung aller Kapital-, Energie- und Betriebskosten wird der spezifische Wärmegestehungspreis jeder Variante errechnet, wobei für die Bestandssituation dieser Wert für alle Anlagen gemittelt wird.

Es wurden die Kosten von drei Versionen gegenübergestellt:

1. zum Ölpreisniveau von 2014
2. zum heutigen Ölpreisniveau Juli 2016 (26.07.)
3. zum Ölpreisniveau in 20 Jahren mit der Annahme, dass der Ölpreis im Jahresmittel um 3% pro Jahr ansteigt

Details und Ergebnisse sind aus der im Anhang ausgewiesenen Kostenanalyse ersichtlich.

### **13. Wärmepreismodell**

Die Gutachter schlagen einen mit dem Wärmekunden vertraglich zu vereinbarenden Wärmepreis vor, der sich aus Wärmepreis (Arbeit) und Grundpreis (Leistung) zusammensetzt. Hinzu kommt ein jährlicher Messpreis.

Der Wärmeabnehmer wird bei diesem Preismodell mit geringeren Grundkosten belohnt, wenn er seine Heizanlage hydraulisch gut einstellt. Der Wärmebezug erfolgt dadurch mit vergleichsweise geringem Heizwasserdurchfluss. Ein spezifisch geringerer Heizwasserdurchsatz erlaubt einen effizienten Betrieb des Nahwärmenetzes, da weniger Strom für die Netzpumpen benötigt wird und die Wärmeverluste auf der Rücklaufleitung niedriger ausfallen.

Der kostendeckende Arbeitspreis variiert zwischen 93 und 165 €/netto, je nach untersuchter Variante und deren Variablen wie Zinssatz, Kapitalrücklaufzeit, Fördersatz, Bürgschaft. Der Grundpreis ist mit 0,60 €/m<sup>3</sup> für den Heizwasserdurchfluss auskömmlich. Hiermit wird in erster Linie der Betrieb des Nahwärmenetzes finanziert. Als dritte Kostenkomponente kommt die Pauschale von ca. 100 €/Jahr für Wärmemessung und den Austausch des Wärmemengenzählers im Fünfjahresrhythmus - wie er vom Eichgesetz gefordert wird - hinzu.

Die Preise müssen jedoch – wie alle anderen Werte – nach Feststellung der tatsächlichen möglichen Wärmekunden erhärtet oder korrigiert und vertraglich vereinbart werden. Ebenfalls vertraglich festzulegen ist die Preissteigerungsrate, der mit maximal 75% der Preissteigerungsrate für leichtes Heizöl von den Gutachtern vorgeschlagen wird. Damit steigt der Wärmepreis in Folge steigender Heizölpreise weniger stark an und vergrößern die Attraktivität der Nahwärme aus Bioenergie.

## 14. Heizkostenvergleich

Der Heizkostenvergleich stellt die Gesamtkosten des Wärmeabnehmers bei unterschiedlichen Versorgungsvarianten dar. Die Werte sind in der Tabelle im Anhang dargestellt. Zur Ermittlung der Vollkosten werden Investitions-, Betriebs- und Energiekosten (netto) der Heizvarianten verglichen, beispielhaft bezogen auf ein Einfamilienhaus mit 180 m<sup>2</sup> beheizter Wohnfläche und einen 4-Personen-Haushalt.

Wärmepreise werden oft den reinen Energiekosten gleichgesetzt. Derzeit liegt der Heizölpreis bei 55 €/MWh inkl. Mehrwertsteuer. Die Preisentwicklung der letzten drei Jahre für Heizöl und Gas wird in den folgenden Graphiken gezeigt:

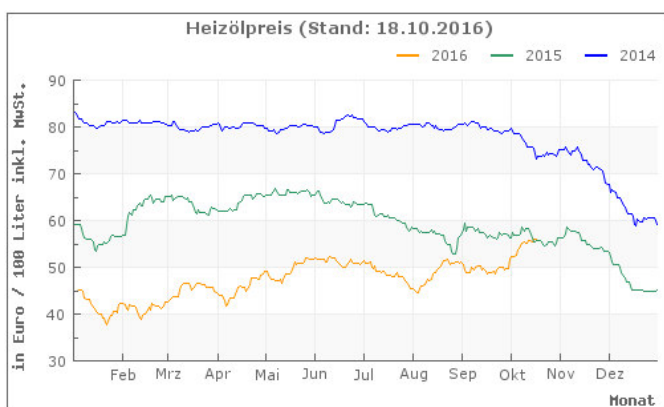


Bild 1 2014 - 2016

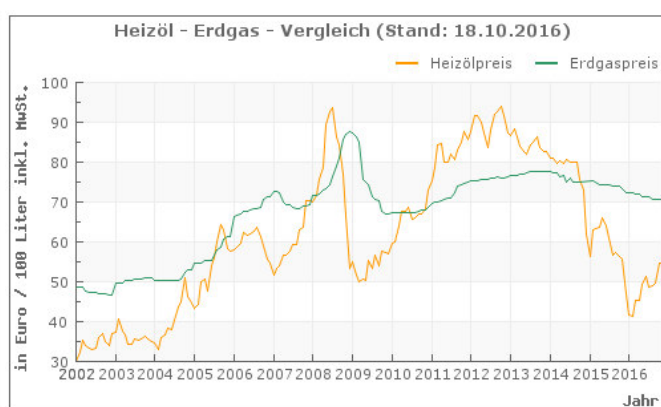


Bild 2 2002 - 2016

Bild 1: Entwicklung der durchschnittlichen Heizöl-Endverbraucherpreise für Standardqualität bei einer Abnahmemenge von 3.000 Litern, frei Haus, inkl. MWSt., Quelle: fastenergie.de

Bild 2: Vergleich - Ölpreis für Standard-Heizöl EL bei einer Abnahmemenge von 3.000 Litern und einer äquivalenten Menge von 33.540 kWh Erdgas bezogen auf den Preis von 100 Liter Heizöl. Quelle: fastenergie.de

Für die Nahwärme-Varianten werden neben dem Wärmebezugspreis auf der Grundlage des vorgeschlagenen Wärmepreismodells die Genossenschaftsanteile und die durchschnittlichen Investitionskosten auf der Sekundärseite für die Anpassung der Heizungsverteilung an die Nahwärme eingerechnet. Die für den Hauseigner/Mieter relevanten **spezifischen Wärmekosten** der Beheizungsarten können somit verglichen werden.

Kostenart	Einheit	Einzelversorgung			Nahwärme		kleine NW
		Heizöl NT-Kessel	Holz- pellets Kessel	El.- Erdsonde Wärmepumpe	Variante 1 NW aus Bio- masseheizwerk	Variante 2 NW aus Solarthermie	Variante 3 NW lokale Pelletfeuerung
<b>spezifische Wärmekosten inkl. MWSt</b>							
ohne Abschreibung heute	€/MWh	79,53	87,55	83,14	138,47	132,52	103,30
mit Abschreibung heute	€/MWh	97,56	121,52	122,33	154,15	148,20	118,98
mit Abschreibung in 20 Jahren	€/MWh	161,67	171,44	189,35	221,44	162,59	169,18

Zum Vergleich der realen Kosten für Raumwärme und Warmwasser sind für alle Beheizungsarten neben den reinen Energiekosten der Wirkungsgrad der Kesselanlage, Stromkosten, Wartung und Abschreibungen heranzuziehen. Der Heizkostenvergleich aus Sicht des **Wärmekunden** (siehe Anhang), beispielhaft für ein Einfamilienhaus mit 4-Personenhaushalt dargestellt, berücksichtigt für die verglichenen Beheizungsarten neben den Energiebezugskosten alle weiteren Betriebs- und Kapitalkosten.

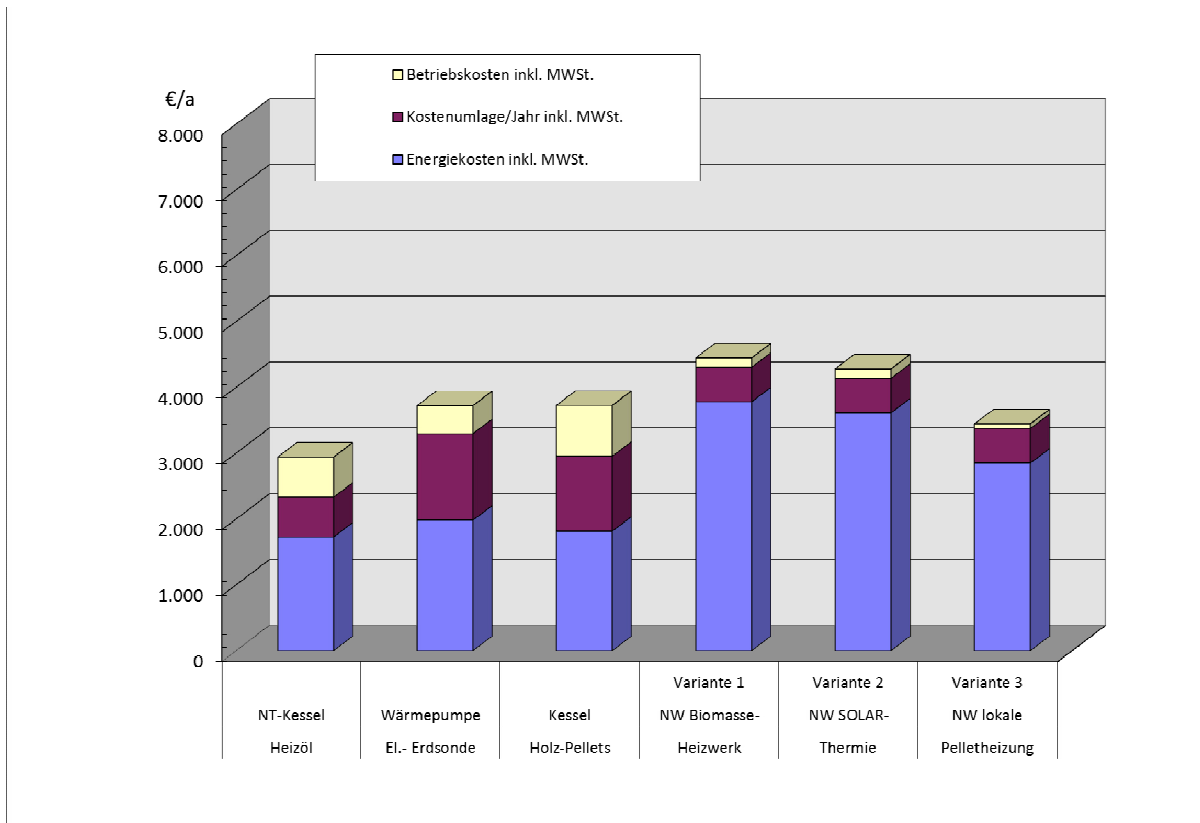


Diagramm 11: Heizkostenvergleich: Einfamilienhaus, 180 m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche, 4 Personen, **Kosten heute (2016)**

Wird die Kostenentwicklung fortgeschrieben, wird der wirtschaftliche Vorteil der Nahwärmelösung „Solarthermie“ deutlich.

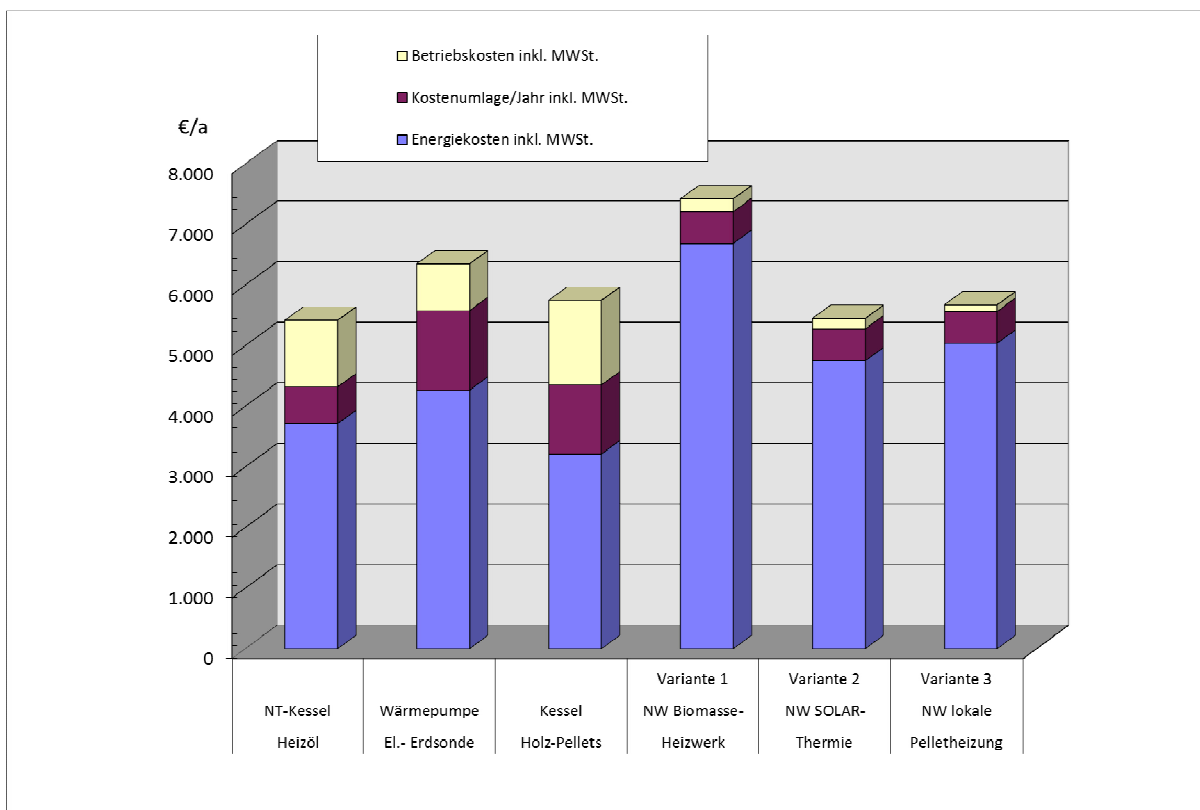


Diagramm 12: Heizkostenvergleich: Einfamilienhaus, 180 m<sup>2</sup> beheizte Wohnfläche, 4 Personen, **Kosten in 20 Jahren**



## 15. Betreibermodelle

Für die Errichtung und den Betrieb eines Nahwärmenetzes und der zugehörigen technischen Anlagen zur Wärmeerzeugung und -speicherung bieten sich folgende Betreibermodelle an.

### Errichtung und Betrieb des Nahwärmenetzes durch eine Genossenschaft

#### Vorteile:

- Keine zusätzliche finanzielle Belastung der Betreiber der Bioenergieanlage, die sich somit weiterhin auf ihr eigenes Geschäftsfeld konzentrieren können.
- Mitbestimmung und Mitwirkungsmöglichkeit aller Wärmebezieher führen zu einer erhöhten Akzeptanz und damit zu einer erhöhten Potenzialausschöpfung. Dies begünstigt die Wirtschaftlichkeit und erlaubt einen vergleichsweise niedrigen Wärmepreis
- Der Wärmepreis muss weder externe Gewinnerwartung und nur vergleichsweise geringe zusätzliche Overhead-Kosten berücksichtigen.
- Kreditbereitschaft und -konditionen der Banken werden durch die Rechtsform Genossenschaft aufgrund eines besonders niedrigen Insolvenzrisikos begünstigt.
- Die genossenschaftlichen Netzbetreiber haben unter Berücksichtigung der vertraglichen Konditionen für die Wärmelieferung aus der Bioenergieanlage alle Kostenkomponenten und deren zukünftige Entwicklung in der Hand.
- Die Netzbetreiber können die Konstruktion eines Wärmeliefervertrages einschließlich Wärmepreis und dessen vertragliche Indizierung an nachvollziehbare betriebliche und energie-wirtschaftliche Indikatoren anbieten und darüber hinaus Gewinne aus rationellem Betrieb und Bewirtschaftung ausschütten oder zur Senkung der Wärmekosten verwenden.
- Der Vermögensgewinn durch den Betrieb des Wärmenetzes verbleibt in der Genossenschaft.
- Die Entscheidungen über zukünftige Entwicklungen werden durch derjenigen, die davon profitieren getroffen, damit verbunden ist ggf. eine erhöhte Innovationsbereitschaft.
- Mit zunehmender Tilgung der Kredite für das Nahwärmenetz wird die Kapitalbeschaffung für Erweiterungen und Investition in weiterführende Technologien für regenerative Energiebeschaffung vor Ort unkompliziert. Dieser Aspekt ist nach eventueller Endschaft der Bioenergieanlage (nach Vergütungsablauf gemäß EEG im Jahr 2030) beachtenswert.
- Stärkung der örtlichen Identität aufgrund der gemeinsamen Sache und der örtlichen Wirtschaft (Arbeit und Geld bleiben vor Ort).
- Unkomplizierte Prozedur bei Austritt oder Eintritt von Mitgliedern – erweiterungsoffenes Betreibermodell.

#### Nachteile:

- Ohne aktive Vorreiter vor Ort geht nichts!
- Der erhöhte Abstimmungsbedarf kann zu Verzögerungen bei der Realisierung führen.
- Soziale Spannungen oder Unverträglichkeiten zwischen Akteuren können die Realisierung be- oder im schlimmsten Fall verhindern.
- Überlastung einzelner „Ehrenamtlicher“ im laufenden Geschäftsbetrieb nach der Euphorie der Startphase.

### **Errichtung und Betrieb des Nahwärmenetzes durch eine GmbH & Co KG**

Eine weitere Möglichkeit für eine örtliche Betreiberschaft stellt die GmbH & Co KG dar, die bislang bei größeren Nahwärmeprojekten unseres Wissens selten realisiert wurde. Ein vom Büro GUT geplantes Netz in den Händen einer GmbH wurde in Wesendorf realisiert. Hier sind als Gesellschafter die Kommune, der Wärmelieferant und Biogasanlagenbetreiber und einer der Wärmeabnehmer beteiligt.

#### **Vorteile:**

- Keine zusätzliche finanzielle Belastung der Betreiber der Bioenergieanlage, die sich somit weiterhin auf ihr eigenes Geschäftsfeld konzentrieren können.
- Kein erhöhter Abstimmungsbedarf vor Ort im Vergleich zur Genossenschaft.

#### **Nachteile:**

- Gewinnerwartungen und Risikoabsicherung der Kommanditisten führen zu vergleichsweise höheren Wärmepreisen.
- Akzeptanzproblem (nur wenige profitieren von Vermögenszugewinn und Betriebsgewinn) führt zu geringerer Potenzialerschließung und damit zu höheren Wärmepreisen.
- Erhöhtes Versorgungsrisiko wegen geringer Haftung dieser Gesellschaftsform verbunden mit weniger struktureller Verankerung bei den Wärmekunden.
- Komplizierte und kostenaufwändige Prozedur bei Ein- und Austritt von Kommanditisten – strukturelle Erweiterungsbehinderung.

### **Errichtung und Betrieb des Nahwärmenetzes durch externe Wärmevertriebsgesellschaft**

#### **Vorteile:**

- Keine zusätzliche finanzielle Belastung der Betreiber der Bioenergieanlage, die sich somit weiterhin auf ihr eigenes Geschäftsfeld konzentrieren können.
- Kostensicherheit, da die Netzbetreiber für Zusatz- und Reserveenergie wesentliche Kostenkomponenten und deren zukünftige Entwicklung in der Hand haben. Der Netzbetreiber sichert sich vertraglich mit externen Sicherheitskomponenten (Betriebsausfallsversicherung) für die Wärmelieferung aus der Bioenergieanlage ab.
- Versorgungssicherheit entspricht der wirtschaftlichen Stabilität des externen Versorgers.
- Der Betreiber kann die Konstruktion eines Wärmeliefervertrages einschließlich des Wärmepreises mit vertraglicher Indizierung an nachvollziehbare energiewirtschaftliche Indikatoren anbieten.

#### **Nachteile:**

- Wärmelieferung und Abrechnung erfolgen zu erhöhten Kosten, da zusätzliche Betriebskosten und die Gewinnerwartungen eines externen Betreibers aus den Erlösen für den Wärmeverkauf gedeckt werden müssen.
- Die Preisindizierung ist analog an die allgemeine Preisentwicklung auf dem Energiemarkt gebunden, ein besonderer Standortvorteil aus der regenerativen Bioenergieanlage kann nicht genutzt werden.
- Akzeptanzhürde bei denjenigen potenziellen Abnehmern, die eine Monopolstellung für die Wärmeversorgung durch Abhängigkeit von einem einzigen großen Versorger befürchten. Dies hat möglicherweise einen negativen Einfluss auf Netzausbau und Wirtschaftlichkeit des

Projekts. Damit verbunden könnten höhere Wärmepreise als bei den anderen beiden Betreibermodellen entstehen.

- Es besteht ein nur geringer örtlicher Einfluss auf die zukünftige Entwicklung des Wärmenetzes und die Auswahl der Zusatzenergiequelle für die Spitzen-, Reserve- und Ausfallsenergie-lieferung.
- Eigentum am Nahwärmenetz, dass aus dem Wärmeverkaufserlös "bezahlt" wird, sowie die Rendite liegen nicht in der Hand lokaler Akteure oder der Ortsgemeinschaft.

## 16. Realisierungsempfehlung

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt besteht aufgrund des aktuellen noch bestehenden Verfalls der Preise für die fossilen Energieträger Heizöl und Flüssiggas für keine der untersuchten Varianten ein wirtschaftlicher Vorteil im Vergleich zum Bestand nach Modernisierung. Es ist fraglich, ob die Vorteile aus Umwelt- und Ressourcensicht in der Lage sind, den Aspekt der nicht gegebenen Wirtschaftlichkeit bei der Entscheidungsfindung zu kompensieren. Erst bei einem Wiederanstieg der Ölpreis auf das Niveau von 2014 und höher wird eine günstige Prognose für die Wirtschaftlichkeit der Realisierung einer zentralen Wärmeversorgung für Bracht möglich. Dabei stellt die Förderung des Projekts zusätzlich eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit dar. Das Förderkriterium von mindestens 500 kWh/Trm Wärmeabnahme kann nur bei einem Anschlussgrad 250% im Vergleich zur Fragebogenaktion (100%) erfüllt werden. Ein gesetzlicher Anspruch auf Förderung besteht jedoch nicht.

Auf Grundlage der aktuell niedrigen Heizölkosten liegt der kostendeckende Wärmepreis mit 13,35 ct/kWh für die Variante 1a - zentrale Wärmeversorgung mit Hackschnitzelfeuerung - um mehr als 3,5 ct/kWh über den durchschnittlichen Vollkosten der Ölheizkessel im Bestand, die mit 9,76 ct/kWh ermittelt wurden (alle Preisangaben inkl. Mehrwertsteuer). Dabei wurden die gegenwärtigen Förderangebote bereits berücksichtigt.

Die Errichtung eines Biomasse-Heizwerks führt unter den vorgenannten Bedingungen erst dann zu einer wirtschaftlich vertretbaren Versorgung der Gebäude in Bracht im Vergleich zur bisherigen Beheizung, wenn das Ölpreisniveau gegenüber dem Stand von Juli 2016 um mehr als 85% auf einen Preis oberhalb von 77,7 ct/l (netto) ansteigt. Dieser Wert liegt noch 7,5% über dem Höchstpreisniveau von 2014. Erst bei einem entsprechenden Wiederanstieg des Ölpreises weist die Kostenanalyse für die beurteilten Varianten Kostengleichstand mit der Bestandsversorgung aus.

Für Variante 2 - zentrale Wärmeversorgung aus Solarthermie mit Saison-Wärmespeicher - liegt der kostendeckende Wärmepreis mit 12,79 ct/kWh um 3 ct/kWh über den durchschnittlichen Vollkosten der Ölheizkesseln im Bestand. Dabei ist eine Sonderförderung für den Wärmespeicher bereits eingerechnet.

Nur unter der Voraussetzung, dass für die eingesetzten Investitionen keine oder nur eine minimale Verzinsung erwartet wird und die Kapitalrücklaufzeit für die besonders langlebigen Komponenten wie Nahwärmenetz, und Hausanschlussstationen auf 25 - 30 Jahre, für den Wärmespeicher auf 50 Jahre ausgedehnt werden könnten, ließen sich nahezu vergleichbare Wärmegestehungskosten erzielen wie bei der Bestandsversorgung mit aktuellem Preisniveau für Heizöl und Flüssiggas.

Für Variante 3 - Punktuelle Wärmenetze mit zentraler Pelletheizung und Solarkollektoren – ergibt sich ein vergleichsweise günstiger kostendeckende Wärmepreis von 9,84 ct/kWh, der nahezu gleichauf mit den durchschnittlichen Vollkosten der Ölheizkessel im Bestand liegt. Hierbei wurde jedoch nicht berücksichtigt, dass aus Gründen der Ausfallsicherheit zu mindest eine besonders

leistungsfähige Bestandsanlage weiter in Reserve vorgehalten werden muss, wahrscheinlich sogar mehrere. Damit ergeben sich Vollkosten die in der Nähe derjenigen liegen, die bei einer zentralen Lösung auf Basis einer Biomassefeuerung anfallen.

**Die Umsetzung der Variante 1a empfiehlt sich aus Kosten- und Sicherheitsgründen trotz des momentanen Tiefstands der Energiepreise, insbesondere hinsichtlich Umweltrelevanz und Ressourcenschonung. Aus Gründen der Robustheit der Beschickungsanlage und Toleranz gegenüber der Brennstoffgüte wird dabei der Einkesselanlage mit hydraulischer Beschickung der Vorzug gegeben. Bei Anlaufschwierigkeiten für diese Variante könnte vorab die Realisierung einzelner lokaler Wärmenetze ( Variante 3) realisiert werden.**

**Die Umsetzung der Variante 2 ist vorzuziehen, wenn eine besonderes innovative und ressourcenschonende Wärmeversorgung gewünscht wird. Da es sich hier um die erstmalig praktizierte Vollsolarversorgung handeln würde, dürfte diese Lösung auf besonders hohen Akzeptanz stoßen, zumal damit eine internationale Beachtung und damit Aufwertung der Gemeinde Bracht verbunden wären.**

**Der rechtzeitige Umstieg auf Erneuerbare Energien für die Wärmeversorgung bevor ein mittel- bis langfristig absehbarer und aus Ressourcensicht unvermeidbar erscheinender Anstieg der Preise für fossile Energieträger die verfügbaren Mittel absorbiert, stellt einen Akt vorausschauenden Handelns dar. Die gegenwärtige Marktschwäche in diesem Bereich lässt erwarten, dass in einem Ausschreibungsverfahren günstigerer Preis erzielt werden können, als unter konservativen Annahmen in den Wirtschaftlichkeitsvergleich eingeflossen sind. Wird mit der Realisierung abgewartet, bis der Ölpreis und damit die Nachfrage nach Alternativen steigen, sind auch ansteigende Ausführungspreise für die Technischen Anlagen zu erwarten.**

**Mit dem Bau der zentralen Wärmeversorgung werden die Weichen für die Integration weiterer zukunftsträchtiger und krisensicherer Versorgungslösungen gestellt.**

**Kostenanalyse der Varianten****Variante 1 a) Nahwärmenetz mit Holzhackschnitzel-Heisanlage**

		Nettopreise o. MWSt.	
<b>Netzlänge</b> inkl. Zubringerleitung von der Kesselanlage u. Gebäude-Zultg			<b>4.950 Trm</b>
Tiefbau			993.264 €
Rohrbau			493.600 €
Datenkabel			27.800 €
<b>Gesamtbaukosten Nahwärmenetz</b>			<b>1.514.664 €</b>
spezifische Kosten Nahwärmenetz	<b>306 €/Trm</b>		
mit Förderung	227 €/Trm		
KfW-Förderung für Nahwärme-Netze	79,2 €/Trm		-392.040 €
max.	40%		
<b>Gesamteigenkosten NW-Netz (mit Förderung)</b>			<b>1.122.624 €</b>
HA-Stationen inkl. WMZ + Anschluss	103 Stck.		307.100 €
Förderung KfW / HA-Station	2.376 €/Stck.		-243.540
<b>Eigenkosten HA-Stationen</b>			<b>63.560 €</b>
<b>Gesamtkosten Wärmeverteilung und Hausanschlüsse m. F.</b>			<b>1.186.184 €</b>
<b>Wärmespeicher</b>	Anzahl/Volumen	1,0 60 m <sup>3</sup>	60 m <sup>3</sup>
	Kosten	6.000 € + 800 €/m <sup>3</sup>	54.000 €
	Einbindung	240 €/m <sup>3</sup>	14.400 €
	Förderung (KfW)	250 €/m <sup>3</sup>	-15.000 €
<b>Gesamteigenkosten Wärmespeicher</b>			<b>53.400 €</b>
<b>Netzhydraulik</b> (bei WSP und Spitzenkessel inkl.)			
Verteiler, Pumpen, Wasseraufbereitung, Druckhaltung			36.000 €
<b>Gesamtkosten Netzhydraulik</b>			<b>36.000 €</b>
<b>HEL-Kessel</b>	Kesselleistung	875 kW	115.416 €
	Container/Gebäude		45.000 €
	HEL	Tanklager 20 m <sup>3</sup>	20.000 €
<b>HS-Heizwerk</b>	Kesselleistung	750 kW inkl. Kamin	310.180 €
	HS-Lager		37.000 €
	Halle/Gebäude inkl. Gründung		80.000 €
<b>ZLT Gesamtanlage</b>			35.000 €
<b>Gesamtkosten HSHHW &amp; Spitzenkessel &amp; WSP &amp; ZLT</b>			<b>642.596 €</b>
<b>Gesamteigenkosten für Erzeugung und Verteilung ohne Förderung</b>			<b>2.568.760 €</b>
<b>Planung und Bauleitung</b>			
Gesamtinvestition			256.900 €
<b>Gesamtkosten inkl. Planung ohne Förderung</b>			<b>2.825.660 €</b>
Anzahl Anschlüsse			103
Beitrag/Anschluss			4.000 €/HA
Einnahmen aus Anschlussbeiträgen			410.000 €
<b>KfW-Förderung für Netz, HaSt und Wärmespeicher</b>			<b>-422.040</b>
Förderung KfW für Biomasse-HW bis 2 MW	20 €/kW		-15.000 €
Staub max. 15 mg/Nm <sup>3</sup>	20 €/kW		-15.000 €
Speicher 30l/kW	10 €/kW		-7.500 €
Förderung WiBank max. 30%, max.	200.000 €		-114.654 €
<b>Betreiberinvest. WE &amp; Netz abzgl. Förderung</b>			<b>1.841.466 €</b>

**Energiebilanz & Kosten-Nutzenbetrachtung**

Wärmeverluste im Netz			55 kW
dito per anno	12,6%		358 MWh/a
Speicherverluste per anno			25 MWh/a
Wärmeleistung der Abnehmer (Spitze)			1.490 kW
Wärmebedarf der Abnahmestellen			<b>2.682 MWh/a</b>
Wärmebedarf der Wärmekunden + Verluste			3.065 MWh/a
Brennstoffeinsatz insgesamt	Etathem	Eta_a 88%	3.482 MWh/a
Deckungsanteil HS-Kessel	3.315 MWh/a	750 kWth	2.917 MWh/a
Restbedarf aus Spitzenkessel Heizöl		15.863 l/a	148 MWh/a
Betriebskosten Spitzenkessel			750 €/a
Betriebskosten HS-Kessel	1,5%		5.208 €/a
Brennstoffkosten (Heizöl) Spitzenkessel	0,42 €/l netto		7.403 €/a
Brennstoffkosten HS-Kessel	28,00 €/MWh netto		92.813 €/a
Strom Netz Kessel	22.980 kWh/a	0,22 €/kWh	5.056 €/a
<b>Kapitaldienst</b>	auf Nettoinvestitionen (nach Förderung und Gen.Beitrag)		
	mit Kapitalzins	3%	
	mit Kapitalrücklaufzeit	20 a	
	ergibt Annuität	6,72%	123.775 €/a
Wartung/Rücklage NW-Netz + HEL + HSHSW	0,75%	1,5%	21.690 €/a
Anlagenbedienung, Verwaltung, Betreuung Hausanschlüsse			44.106 €/a
<b>jährliche Kosten</b>			<b>300.800 €/a</b>
<b>spezifische Wärmegestehungskosten</b>	netto		112,16 €/MWh
	inkl. MWSt	19%	<b>133,46 €/MWh</b>

**Wärmeverkauf - Ertragssituation aus Betreibersicht**

Refinanzierungszeitraum		20 Jahre
Wärmebedarf der Wärmekunden		2.682 MWh/a
<b>AP</b> Arbeitspreis (netto)	entspricht AP <sub>Nahwärme</sub>	<b>92,00 €/MWh</b>
<b>Wärmeverkaufserlöse aus Arbeitspreis (netto)</b>		<b>246.744 €/a</b>
Delta T (70°C - 40°C) Vorlauf-/Rücklaufftemp.		30 K
spez. Wärmekapazität		1,16 kWh/kg
Wärmebedarf der Wärmekunden		2.682 MWh/a
Heizwasserdurchlauf bei den Wärmekunden		77.069 m <sup>3</sup> /a
(Wärmebedarf [MWh/a] ./Delta T [K] ./spez. Wärmekap. [kWh/kg]*1000 [kg/m <sup>3</sup> ])		
<b>GP</b> Grundpreis Heizwasserdurchfluss (netto)		<b>0,60 €/m<sup>3</sup></b>
<b>Wärmeverkaufserlöse aus Grundpreis (netto)</b>		<b>46.241 €/a</b>
Anzahl Wärmekunden		103
<b>MP</b> Messpreis Wärmemessung *)		<b>100 €/a</b>
<b>Erlöse aus Jahrespauschale Wärmemessung</b>		<b>10.250 €/a</b>
<b>Gesamterlöse aus Wärmeverkauf im 1. Jahr (netto)</b>		<b>303.235 €/a</b>
jährliche Kosten		-300.800 €/a
<b>jährlicher Überschuss (netto)</b>		<b>2.435 €/a</b>

\*) Austauschkosten Wärmezähler alle 5 Jahre

**Variante 2 Nahwärmenetz mit solarthermischem Feld und saisonalem Speicher**

<b>Netzlänge</b> [Trassenmeter] inkl. HA-Zuleitungen		<b>4.950</b>	Trm
Tiefbau		993.264	€
Rohrbau		493.600	€
Datenkabel		27.800	€
<b>Gesamtbaukosten Nahwärmenetz</b>		<b>1.514.664</b>	€
spezifische Kosten Nahwärmenetz	<b>306 €/Trm</b>		
mit Förderung	227 €/Trm		
KfW-Förderung für Nahwärme-Netze	79,2 €/Trm	-392.040	€
max.	40%		
<b>Gesamteigenkosten NW-Netz (mit Förderung)</b>		<b>1.122.624</b>	€
HA-Stationen inkl. WMZ + Anschluss	103 Stck.	307.100	€
Förderung KfW / HA-Station	2.376 €/Stck.	-243.540	
<b>Eigenkosten HA-Stationen</b>		<b>63.560</b>	€
<b>Gesamtkosten Wärmeverteilung und Hausanschlüsse m. F.</b>		<b>1.186.184</b>	€
<b>Wärmespeicher</b>	Anzahl	2	
	Volumen	26.705 m <sup>3</sup>	53.410 m <sup>3</sup>
	Kosten	80 €/m <sup>3</sup>	4.272.800 €
	Einbindung	10 €/m <sup>3</sup>	534.100 €
	Förderung (KfW)	250 €/m <sup>3</sup>	-1.000.000 €
<b>Gesamteigenkosten Wärmespeicher</b>		<b>3.806.900</b>	€
<b>Netzhydraulik</b> (bei Verteilung und WSP)			
Verteiler, Pumpen, Wasseraufbereitung, Druckhaltung		35.000	€
<b>Gesamtkosten Netzhydraulik</b>		<b>35.000</b>	€
<b>Solaranlage</b>	250 €/m <sup>2</sup>	10.300 m <sup>2</sup>	2.575.000 €
	Notkessel ("HOTMOBIL")-Anschluss, ZLT, Anbindung		55.000 €
<b>Gesamtkosten Solarthermie, Notversorgung &amp; ZLT</b>		<b>2.630.000</b>	€
<b>Gesamteigenkosten für Solarwärme, Speicher und Netz ohne Förderung</b>		<b>8.404.464</b>	€
<b>Planung und Bauleitung</b>			
NW-Netz, Hausanschlüsse, HA-Stationen		191.176	€
Solaranlage inkl. Freiflächenplanung		115.875	€
Wärmespeicher inkl. Architekt. & Statiker		104.472	€
<b>Planungskosten gesamt</b>		<b>411.523</b>	€
<b>Kosten für Solarwärme, Speicher und Netz inkl. Planung</b>		<b>8.815.987</b>	€
<b>Förderung Netz, Stationen, Wärmespeicher</b>		<b>1.635.580</b>	€
Anzahl Anschlüsse	103	103	
Beitrag/Anschluss	4.000	4.000	€/HA
Einnahmen aus Anschlussbeiträgen		410.000	€
<b>Sonderförderung Demo Solarthermie-Speicherung</b>		<b>1.958.850</b>	€
<b>Betreiberinvestition Solar, Speicher, Netz abzgl. Förd.+Gen.Beiträgen</b>		<b>4.811.557</b>	€

**Energiebilanz & Kosten-Nutzenbetrachtung**

Wärmeverluste im Netz				55 kW
dito per anno	12,6%			385 MWh/a
Wärmeleistung der Abnehmer (Spitze)				1.490 kW
Wärmebedarf der Wärmekunden				<b>2.682 MWh/a</b>
Wärmebedarf der Wärmekunden + Verluste				3.067 MWh/a
Speicherverluste und erforderliche Gesamtwärme	455 MWh/a			3.522 MWh/a
Wärme aus Solarthermie				3.522 MWh/a
Solare Einstrahlung	1.000 kWh/a	$\eta_{\text{therm p.a.}}$	35,0%	
Solaranlage	10.100 m <sup>2</sup>	$\eta_{\text{therm max}}$	78%	7.878 kW <sub>therm</sub>
Restbedarf aus BW-Spitzenkessel Erdgas				0 MWh/a

**Betriebskosten Notversorgung**

		Versicherung		1.000 €/a
Strom Netz	30.670 kWh/a	0,22 €/kWh		6.747 €/a
<b>Kapitaldienst</b>	auf Nettoinvestitionen (nach Förderung und Gen.Beitrag)			
	mit Kapitalzins	2,5%	2,5%	
	mit Kapitalrücklaufzeit	25 a	25 a	
	ergibt Annuität	5,43%	5,43%	261.163 €/a
		Netz + Solar	Wärmespeicher	
Wartung/Rücklage Wärmeverteilung + Solar u. WSP		0,75%	0,25%	237.021 €/a
Bedienung, Verwaltung, Betreuung Kundenanlagen				14.702 €/a
<b>jährliche Kosten</b>				<b>288.281 €/a</b>

<b>spezifische Wärmegestehungskosten</b>	netto	107,49 €/MWh
	19%	<b>127,91 €/MWh</b>

**Wärmeverkaufserlöse bezogen auf das vorstehende Berechnungsmodell****Wärmeverkauf**

Wärmebedarf der Wärmekunden	2.682 MWh/a	inkl. MWSt
<b>Arbeitspreis (netto)</b>	<b>87,00 €/MWh</b>	115,43
<b>Wärmeverkaufserlöse aus Arbeitspreis (netto)</b>	<b>233.334 €/a</b>	
Delta T (80°C - 50°C) Vorlauf-/Rücklauftemp.	30 K	
spez. Wärmekapazität	1,16 kWh/kg	
Wärmebedarf der Wärmekunden	2.682 MWh/a	
Heizwasserdurchlauf bei den Wärmekunden	77.069 m <sup>3</sup> /a	
<b>Grundpreis (netto)</b>	<b>0,60 €/m<sup>3</sup></b>	0,71
<b>Wärmeverkaufserlöse aus Grundpreis (netto)</b>	<b>46.241 €/a</b>	
Anzahl Wärmekunden	103	
Pauschale Wärmemessung / WMZ	<b>100,00 €/a</b>	119,00
<b>Erlöse aus Jahrespauschale Wärmemessung</b>	<b>10.250 €/a</b>	
<b>Gesamterlöse aus Wärmeverkauf im 1. Jahr</b>	<b>316.645 €/a</b>	
jährliche Kosten	-288.281 €/a	
<b>jährlicher Überschuss (netto)</b>	<b>1.545 €/a</b>	

	netto	brutto
<b>Abhängigkeit der Wärmegestehungskosten</b> von Bürgerschaft oder Förderung	€/MWh	€/MWh
keine Bürgerschaft 25 Jahre Finanzierung mit 2,5% Nominalzins	165,88	<b>197,40</b>
Bürgerschaft über 50 Jahre, 1,5% Nominalzins	129,40	<b>153,99</b>
Bürgerschaft über 60 Jahre, 1,5% Nominalzins	124,86	<b>148,59</b>
keine Bürgerschaft, WSP zusätzlich 50% Demo.-Förderung	107,49	<b>127,91</b>



**Variante 3 Punktuelle Wärmenetze mit zentraler Pelletheizung und Solarkollektoren**

<b>Netzlänge</b> inkl. Gebäude-Zuleitungen		<b>215</b>	Trm
Tiefbau		43.700	€
Rohrbau		18.300	€
<b>Gesamtbaukosten Nahwärmenetz</b>		<b>62.000</b>	€
spezifische Kosten Nahwärmenetz	<b>288</b>	€/Trm	
mit Förderung	209	€/Trm	
KfW-Förderung für Nahwärme-Netze max. 40%	79,2	€/Trm	-17.028 €
<b>Eigenkosten NW-Netz (mit Förderung)</b>		<b>44.972</b>	€
HA-Stationen inkl. WMZ + Anschluss	5	Stck.	12.400 €
Förderung KfW / HA-Station	2.376	€/Stck.	-11.880 €
<b>Eigenkosten HA-Stationen (mit Förderung)</b>		<b>520</b>	€
<b>Gesamtkosten Wärmeverteilung und Hausanschlüsse m. F.</b>		<b>45.492</b>	€
<b>Pelletheizung und Solarkollektoren</b>			
Pellet-Kessel	60	kW	6.000 €
Pellet-Lager	5	t	2.200 €
Container	3 x 2	m	2.000 €
Kombispeicher	3.000	l	2.700 €
Solarkollektoren	30	m <sup>2</sup>	5.300 €
Sonstiges			5.000 €
<b>Gesamtkosten Pelletheizung und Solarkollektoren</b>		<b>23.200</b>	€
Förderung Pellet-Kessel BAFA	80	€/kW	4.800 €
Kombinationsbonus Solarkollektoren + Netz	2 x 500	€	1.000 €
Förderung Solarkollektoren	200	€/m <sup>2</sup>	6.000 €
<b>Eigenkosten Pelletheizung und Solarkollektoren (mit Förderung)</b>		<b>11.400</b>	€
<b>Gesamteigenkosten für Wärmeversorgung (mit Förderung)</b>		<b>56.892</b>	€
<b>Gesamtkosten für Wärmeversorgung (ohne Förderung)</b>		<b>97.600</b>	€
Kosten für Planung und Bauleitung (Gesamtinvestition)			11.700 €
<b>Betreiberinvestition inkl. Planung</b>		<b>68.592</b>	€
Einnahme (Genossenschafts)beiträge, Anzahl: 5	3.000	€/HA	15.000 €
<b>Investition abzüglich Beitrag der Wärmeabnehmer</b>		<b>53.592</b>	€
<b>Energiebilanz &amp; Kosten-Nutzenbetrachtung</b>			
Wärmeverluste im Netz			3 kW
dito per anno			23 MWh/a
Speicherverluste per anno			8 MWh/a
Wärmeleistung der Abnehmer (Spitze)			58 kW
Wärmebedarf der Abnahmestellen			109 MWh/a
Wärmebedarf der Wärmekunden + Verluste			139 MWh/a
nutzbare Wärme Solarkollektoren			53 MWh/a
Brennstoffeinsatz WE w20 (Wassergehalt 20%)	4,8	kWh/kg	90%
Brennstoffeinsatz WE w20 (Wassergehalt 20%)			18.000 kg/a
<b>Kapitaldienst</b> auf Nettoinvestitionen (nach Förderung und Gen.Beitrag)			<b>53.592</b> €
mit Kapitalzins/ -rücklaufzeit	3%	15 Jahre	
ergibt Annuität	8,38%		4.491 €/a
Wartung/Rücklage WE + Wärmeverteilung	0,50%		490 €/a
Brennstoffkosten	200	€/1000 kg	3.600 €/a
Strom	830	kWh/a	0,22 €/kWh
Betriebskosten			150 €/a
Bedienung, Verwaltung, Betreuung HA-Stationen			100 €/a
<b>jährliche Kosten</b>			<b>9.000</b> €/a
<b>spezifische Wärmegegostehungskosten</b>	netto		<b>82,69</b> €/MWh
	inkl. MWSt	19%	98,40 €/MWh

## Vergleich der effektiven Wärmekosten für ein Einfamilienhaus

EFH: 180 m<sup>2</sup>, 140 kWh/m<sup>2</sup>a, 4 Personen, 25 l/Person\*Tag

Kostenart	Einheit	Einzelversorgung			Nahwärme		kleine NW
		Heizöl NT-Kessel	Holz- pellets Kessel	El.- Erdsonde Wärmepumpe	Variante 1 NW aus Bio- masseheizwerk	Variante 2 NW aus Solarthermie	Variante 3 NW lokale Pelletfeuerung
Speichergröße im beheizten Gebäude:		200 l Speicher	750 l Speicher	200 l Speicher	300 l Speicher	300 l Speicher	300 l Speicher
<b>Investition - Kapitalkosten</b>							
Kessel, Speicher, Abgasseite	€	6.900	14.000	15.000			
hausinterne Anbindung NW	€				2.000	2.000	2.000
Solaranlage mit Speicher	€						
Förderung Solar/Pellet	€		-1.000				
Abschreibungszeitraum	a	20	20	20	20	20	20
Anschlusskosten NW	€				2.000	2.000	2.000
<b>Gesamt-Investitionskosten</b>	<b>€</b>	<b>6.900</b>	<b>13.000</b>	<b>15.000</b>	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>	<b>4.000</b>
Zins	%	4,0%	4,0%	4,0%	4,0%	4,00%	4,0%
Kostenumlage/Jahr inkl. MWSt.	€/a	508	957	1.104	441	441	441
<b>Energiekosten</b>							
Heizwärmeverbrauch	kWh/a	25.200	25.200	25.200	25.200	25.200	25.200
Wärme für Warmwasser	kWh/a	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960
Wärmeverbrauch/Bezug	kWh/a	28.160	28.160	28.160	<b>28.160</b>	<b>28.160</b>	<b>28.160</b>
Kesselwirkungsgrad (bzg auf Hu)		95%	90%	COP 4,10			
Jahresnutzungsgrad (bzg auf Hu)		87%	83%	JAZ 3,80			
Brennstoffverbrauch Hu	kWhHu/	<b>32.220</b>	34.010				
Brennstoffverbr. Gas Ho	kWhHo/a						
Stromverbrauch WP	kWh/a			7.411			
Energieinhalt	kWhHu/	10					
Brennstoffverbrauch	l/a	3.222					
Brennstoffpreis <sup>ab 04/2016</sup>	€/l	0,42	4,2 ct/kWh				
Leistungspreis Nahwärme	€/m <sup>3</sup>				0,60	0,60	0,60
Leistungskosten bei 30 K	€/a				486	486	486
Arbeitspreis für Strom/Nahwärm	ct/kWh			22,5	9,20	8,70	6,60
Energiekosten für Wärme	€/a	<b>1.353</b>	<b>1.429</b>		<b>2.591</b>	<b>2.450</b>	<b>1.859</b>
Hilfsenergie/Strom	€/a	99	98	<b>1.667</b>			
Energiekosten gesamt netto	€/a	1.452	1.527	1.667	3.177	3.036	2.445
Energiekosten inkl. MWSt.	€/a	<b>1.728</b>	<b>1.817</b>	<b>1.984</b>	<b>3.780</b>	<b>3.613</b>	<b>2.909</b>
wie vor - monatliche Energiekos	€/mo	<b>144</b>	<b>151</b>	<b>165</b>	<b>315</b>	<b>301</b>	<b>242</b>
spezif. Energiekosten inkl. MWSt	ct/kW	<b>6,14</b>	<b>6,45</b>	<b>7,05</b>	<b>13,42</b>	<b>12,83</b>	<b>10,33</b>
Kostensteigerung	%/a	3,0%	2,0%	3,0%	2,0%	0,5%	2,0%
Energiekosten in 20 Jahren	€/a	<b>3.121</b>	<b>2.700</b>	<b>3.584</b>	<b>5.617</b>	<b>3.992</b>	<b>4.323</b>
<b>Betriebskosten</b>							
Grundpreis Nahwärme	€/a				100	100	100
Wartung	€/a	200	300	150			
Schornsteinfeger	€/a	80	95				
Instandsetzung	€/a	150	150	150			
Betriebskosten gesamt netto	€/a	430	545	300	100	100	100
Betriebskosten inkl. MWSt.	€/a	<b>512</b>	<b>649</b>	<b>357</b>	<b>119</b>	<b>119</b>	<b>119</b>
Kostensteigerung	%/a	3,0%	3,0%	3,0%	2,0%	1,0%	2,0%
Betriebskosten in 20 Jahren	€/a	<b>924</b>	<b>1.171</b>	<b>645</b>	<b>177</b>	<b>145</b>	<b>177</b>
<b>Gesamtkosten ohne Abschreibu</b> €/a							
inkl. 19% MWSt.	€/a	<b>2.240</b>	<b>2.465</b>	<b>2.341</b>	<b>3.899</b>	<b>3.732</b>	<b>3.028</b>
<b>Gesamtkosten mit Abschreibung</b>							
inkl. 19% MWSt.	€/a	<b>2.747</b>	<b>3.422</b>	<b>3.445</b>	<b>4.341</b>	<b>4.173</b>	<b>3.470</b>
jährliche Gesamtkosten							
in 20 Jahren inkl. MWSt.	€/a	<b>4.553</b>	<b>4.828</b>	<b>5.332</b>	<b>6.236</b>	<b>4.578</b>	<b>4.941</b>
<b>spezifische Wärmekosten inkl. MWSt</b>							
ohne Abschreibung heute	€/MWh	79,53	87,55	83,14	138,47	132,52	107,53
mit Abschreibung heute	€/MWh	<b>97,56</b>	<b>121,52</b>	<b>122,33</b>	<b>154,15</b>	<b>148,20</b>	<b>123,21</b>
mit Abschreibung in 20 Jahren	€/MWh	<b>161,67</b>	<b>171,44</b>	<b>189,35</b>	<b>221,44</b>	<b>162,59</b>	<b>175,46</b>