

## Leitfaden zur Wärmenutzung bei Biogasanlagen



Quelle: Agrar Portal; Biogasanlage Mehrnbach

## VerfasserInnen

Franz Kirchmeyr

Gertrud Anzengruber

Diese Studie wurde im Auftrag des Ministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft im Rahmen der Klimaschutzinitiative **klima:aktiv biogas** erstellt.

## Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: ARGE Kompost und Biogas Österreich  
Landstrasse 11  
4020 Linz

ARGE Kompost und Biogas Österreich, Linz 2008

## INHALTSVERZEICHNIS:

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>6</b>
1.1	Aufgabenstellung.....	6
<b>2</b>	<b>THERMISCHE ENERGIE.....</b>	<b>7</b>
2.1	Abwärmequellen eines BHKW .....	7
2.2	Die höhere Wertigkeit von Strom.....	8
2.3	Definition gebräuchlicher Begriffe .....	9
2.4	Einsparung von Verbrennungsemissionen.....	11
2.4.1	Raumheizung und Warmwasserbereitung .....	14
<b>3</b>	<b>NAH-/FERNWÄRME.....</b>	<b>16</b>
3.1	Grundlagen .....	16
3.2	Notwendige Netzkennwerte .....	17
3.3	Besonderheiten eines allgemeinen Wärmevertrages .....	25
3.3.1	Allgemeine Bestandteile eines Wärmeliefervertrages .....	25
3.4	Fördermöglichkeiten.....	27
3.5	Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärmeprojekten .....	27
<b>4</b>	<b>NAH-/FERNWÄRME ALS ABWÄRMEKONZEPT EINER BIOGASANLAGE ..</b>	<b>28</b>
4.1	Nah-/Fernwärme ohne garantierter Leistung.....	28
4.1.1	Besonderheiten eines Wärmevertrages „ohne garantierter Leistung“: .....	29
4.2	Nah-/Fernwärme mit garantierter Leistung.....	30
4.2.1	Kosten des zusätzlichen Energiebereitstellungssystems: .....	30
4.3	Fernwärme mit garantierter Leistung inkl. Spitzenlastproduktion .....	30
<b>5</b>	<b>ENERGIEHOLZTROCKNUNG .....</b>	<b>32</b>
5.1	Einleitung und Motivation .....	32
5.2	Definition gebräuchlicher Begriffe .....	33
5.3	Spezifische Trocknungsdaten .....	37
5.4	Wirtschaftlichkeit der Energieholz Trocknung mit Abwärme.....	41
5.5	Hackguttrocknung in der Praxis .....	41
5.6	Erstellung eines Kalkulationsmoduls zur Grobabschätzung.....	42
<b>6</b>	<b>GETREIDETROCKNUNG.....</b>	<b>43</b>
6.1	Spezifische Trocknungsdaten .....	43
6.2	Erstellung eines Kalkulationsmoduls .....	44
<b>7</b>	<b>LITERATURLISTE.....</b>	<b>45</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1.:Wärmequellen 500kW <sub>el</sub> . BHKW, [GE JENBACHER] .....	7
Abb. 2.:Energetischer Endverbrauch nach Nutzungskategorie in österreichischen Haushalten im Jahr 2005 .....	11
Abb. 3.:CO <sub>2</sub> - Äquivalente Berechnungstool für Haushalte mit unterschiedlichen Heizmedien. ....	15
Abb. 4.:Sommer- und Winterlastgänge eines typischen Fernwärmenetzes mit einer Anschlussleistung von 250kW <sub>th</sub> . ....	16
Abb. 5.:Beispiel für die Aufteilung zwischen Grundlast und Spitzenlast anhand einer Jahresdauerlinie der Heizleistung .....	17
Abb. 6.:Berechnungsschema für U-Wert Berechnung .....	21
Abb. 7.:Heizlastberechnung.....	22
Abb. 8.:Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmeprojektes. ....	27
Abb. 9.:Nahwärme ohne garantierter Leistung .....	29
Abb. 10.:Praxisnahes Beispiel für eine Biogasanlage mit Spitzenlastproduktion.....	31
Abb. 11.:Unterschiedliche Energieinhalte von Nadelholz- Hackgut getrocknet und Nadelholz- Hackgut walsfrisch [BIOMASSEVERBAND OÖ]. ....	36
Abb. 12.:Ausschnitt aus dem H,x- Diagramm nach Mollier.....	38
Abb. 13.:Trocknungsbox mit Luftkanalschächten .....	41
Abb. 14.:Allgemeines Trocknungsmodul .....	42

## TABELLENVERZEICHNIS:

Tab. 1.: Direkte Treibhausgas- Verbrennungsemissionen.....	12
Tab. 2.: Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette .....	13
Tab. 3.: Direkte Treibhausgas Verbrennungsemissionen und Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette.....	14
Tab. 4.: Beispiel für die Umrechnung zwischen Feuchtegehalt und Wassergehalt ...	35
Tab. 5.: Heizwert und TS von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt.....	35
Tab. 6.: Max. Wasseraufnahmekapazität von 1 kg Luft bei unterschiedlichen Temperaturen und gleich bleibender rel. Luftfeuchte. ....	39
Tab. 7.: Kaum einen Einfluss hat die rel. Luftfeuchte auf das Sättigungsdefizit, wenn man die Luft entsprechend erwärmt. ....	40

# 1 EINLEITUNG

Seit der Novellierung des Ökostromgesetzes im Jahr 2002 hat es in Österreich einen erheblichen Zuwachs an Biogasanlagen gegeben. Eine neu eingeführte Stromvergütung ermöglicht es seitdem, in großem Stil nachwachsende Rohstoffe (NAWARO) als Gärmaterial einzusetzen, die, auf ihre Masse bezogen, besonders hohe Gasausbeuten ermöglichen. Ebenso erfolgte in dieser Phase eine wesentliche Leistungssteigerung der Anlagen (von durchschnittlich 30 kW<sub>el.</sub> auf 270 kW<sub>el.</sub>). Die installierten Blockheizkraftwerke (BHKW) erzeugen eine mindestens ebenso hohe Wärmeleistung. Diese fällt allerdings nur als Niedertemperaturwärme an und ist im Vergleich zu den Abwärmemengen der Industrie und Energieversorgungsunternehmen verhältnismäßig unbedeutend. Ein Teil der thermischen Energie wird für das Erwärmen des Zugabematerials und die Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur benötigt.

Da Strom einen sehr hochwertigen Energieträger darstellt, gilt diesem bei der Verwertung von Biogas in einem BHKW auch das Hauptaugenmerk. Um die Gesamteffizienz der Biogastechnik noch zu steigern, ist eine Verwendung der noch frei verfügbaren Wärme sinnvoll. Gut geplante Wärmenutzungskonzepte können zusätzlich zum wirtschaftlichen Erfolg einer Biogasanlage beitragen.

## 1.1 Aufgabenstellung

Die Nutzung der Abwärme erhöht die Energieeffizienz und kann die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen steigern. Abwärme kann auf unterschiedlichen Wegen genutzt werden, im Zuge des Projektes wurden daher folgende Betriebserhebungen durchgeführt:

- Anschluss an die Fernwärme ohne garantierter Leistung
- Anschluss an die Fernwärme mit garantierter Leistung
- Anschluss an die Fernwärme und zusätzlicher Spitzenlastproduktion
- Energieholztrocknung
- Getreide- /Maistrocknung

Die Auswahl der beschriebenen Wärmenutzungskonzepte erfolgte aufgrund der Häufigkeit in Österreich.

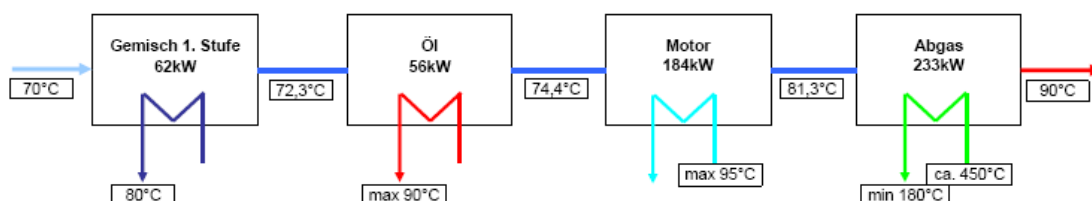
Auf Basis dieser Datengrundlagen werden spezifische Kennzahlen der jeweiligen Konzepte und Excel-Tabellen zum überschlägigen Berechnen bzw. Abschätzen der Realisierbarkeit erstellt. Es werden die Vorteile durch die Nutzung von Abwärme (CO<sub>2</sub>-Einsparungspotenzial, Kennzahlen etc.) aufgezeigt und auf Besonderheiten unterschiedlicher Lieferverträge eingegangen.

**Die Ergebnisse folgender Ausarbeitungen ersetzen allerdings keinesfalls eine für die Umsetzung notwendige Planung und detaillierte Kostenrechnung.**

## 2 THERMISCHE ENERGIE

### 2.1 Abwärmequellen eines BHKW

Vor der Planung eines Wärmenutzungskonzeptes ist die Information über die Besonderheiten der eingesetzten BHKW Technik von Bedeutung. Das gilt vor allem für die hydraulischen Verhältnisse im Wärmeverteilungssystem und im Mess- und Regelsystem. Ferner sind die Vorschriften und technischen Daten der BHKW- Hersteller zu beachten: Das gilt für Temperaturen, Volumenströme, Drücke ebenso wie für die Qualität des eingesetzten Speisewassers in den Kreisläufen. Abbildung 1 zeigt in verschiedenen Stufen, wie die Abwärme eines BHKWs anfallen kann. Dabei gibt es wesentliche Unterschiede hinsichtlich Leistung, Hersteller und Verwendung der Wärme.



**Abb. 1:** Wärmequellen 500kW<sub>el</sub> BHKW, [GE JENBACHER]

Wenn die erwünschte Ausgangstemperatur unter dem Siedepunkt von Wasser (100 °C bei p=1,01325 bar) liegt, wird die Wärme üblicherweise aus dem Motor- bzw. Ölkreislauf ausgekoppelt und hauptsächlich Wasser als Wärmeträgermedium verwendet. Auf eine hochdruckfeste Konstruktion (> 3 bar) kann somit verzichtet werden. Wird Abwärme mit wesentlich mehr als 100 °C benötigt, kann diese aus dem Abgasstrom (ca. 500 °C) des BHKW ausgekoppelt werden. Als Wärmeträger kann Thermoöl verwendet werden. Thermoöle verfügen über eine geringere Wärmeleitfähigkeit als Wasser, weshalb die

Oberfläche des Wärmetauschers vergrößert werden muss. Neben Thermoöl kann bei höheren Endtemperaturen auch Wasser als Kühlmedium verwendet werden, hierbei muss aber darauf geachtet werden, dass ab 110 °C das Dampfesselgesetz wirksam wird. Damit die Abgase nicht kondensieren und dadurch Korrosionsschäden verursacht werden, sollte eine Abkühlung unter 170 °C (bzw. Angaben lt. BHKW Hersteller) vermieden werden. Zusätzlich wird dadurch die unvermeidlich entstehende Kondensationszeit nach jedem Start des BHKW möglichst kurz gehalten.

## **2.2 Die höhere Wertigkeit von Strom**

Vor der energetischen Nutzung von Ausgangsstoffen spricht man von Primärenergie. Primärenergieträger kommen in der Natur direkt vor, wie Stein- und Braunkohle, Erdöl oder Erdgas. Auch Biomasse, gespeicherte Sonnenenergie, zählt vor der energetischen Nutzung zu den Primärenergieträgern. Die Nutzbarmachung der Primärenergieträger erfolgt durch physikalische bzw. chemische Prozesse. Bei jedem Umwandelungsschritt geht dabei ein bestimmter Anteil der im Primärenergieträger enthaltenen Energie verloren. Die direkte Wärmeerzeugung durch Verbrennung ermöglicht sehr hohe Wirkungsgrade von über 90 %. Bei der Stromerzeugung sind hingegen bis dato nur elektrische Wirkungsgrade von max. 55 % möglich. Da dieser elektrische Wirkungsgrad aber nur bei sehr großen Anlagen möglich ist, (mehrere hundert Megawatt) kann die dabei anfallende Wärme kaum genutzt werden.

Die Wertigkeit der produzierten Sekundärenergie hängt von der Vielseitigkeit der produzierten Energie ab. Kann diese sehr vielseitig eingesetzt werden, z.B.: Beleuchtung, Antriebsenergie, Wärmeproduktion etc., spricht man von hochwertiger Energie. Kann diese nur mehr für einen Anwendungsfall genutzt werden, wie z. B.: Niedertemperaturwärme, spricht man von niederwertiger Energie. Aufgrund seiner vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten ist Strom ein sehr hochwertiger Energieträger. Eine Nutzung rein für Wärmeproduktion ist aber aufgrund der Energieverluste bei der Stromerzeugung nicht sinnvoll.



## 2.3 Definition gebräuchlicher Begriffe

**Der Heizwert** ( $H_i$ ) [J/kg], gibt die Energiemenge an, die bei einer vollständigen Verbrennung abgegeben wird. Der aus der Verbrennung entstandene Wasserdampf bleibt hierbei gasförmig und wird nicht genutzt. Früher wurde dieser Wert als „unterer Heizwert  $H_U$ “ bezeichnet.

$H_i$  inferior heating value

**Der Brennwert** ( $H_s$ ) [J/kg], gibt die Energiemenge an, die bei einer vollständigen Verbrennung abgegeben wird. Im Gegensatz zum Heizwert beinhaltet der Brennwert aber zusätzlich die frei werdende Kondensationswärme, dies ist jene Wärmeenergie die durch die Kondensation des entstandenen Wasserdampfes entsteht. Früher wurde dieser Wert als „oberer Heizwert  $H_O$ “ bezeichnet.

$H_s$  superior heating value

Üblicherweise wird der Energieinhalt eines Energieträgers auf den Heizwert bezogen. Bei Gasen wird aber oftmals auch der Brennwert als Bezugsgröße herangezogen.

**Unter Heizlast** [kW] eines Heizsystems versteht man die zur Aufrechterhaltung einer bestimmten Raumtemperatur (20° C) notwendige Wärmezufuhr bei Norm Aussentemperatur. Die Heizlast richtet sich hierbei nach der geographischen Lage des Gebäudes, der Bauweise, dem Isolierflächen, dem Fensterflächen, dem Bestimmungszweck der einzelnen Räume etc. Nach der Heizlast richtet sich die Auslegung der Heizungsanlage.

In einem Wärmenetz bezeichnet man **die Grundlast** [kW] als die Netzbelastung, die laufend mindestens benötigt wird.

In einem Wärmenetz bezeichnet man **die Spitzenlast** [kW] als eine kurzfristig auftretende hohe Energienachfrage.

**Als Teillast** [kW] bezeichnet man den Betriebszustand einer Maschine, wenn diese nicht das maximal mögliche Drehmoment bereitstellt.

**Als Nennleistung** [kW] wird die vom Hersteller abgegebene max. Leistung einer Maschine (BHKW) bezeichnet.

**Mit Volllaststunden** [h] wird der Quotient aus der Jahresenergieproduktion [kWh] einer Energie erzeugenden Anlage (BHKW) dividiert durch deren Nennleistung [kW] bezeichnet. Das Ergebnis ist ein rechnerischer Wert und gibt an, wie hoch die Auslastung der Anlage ist.

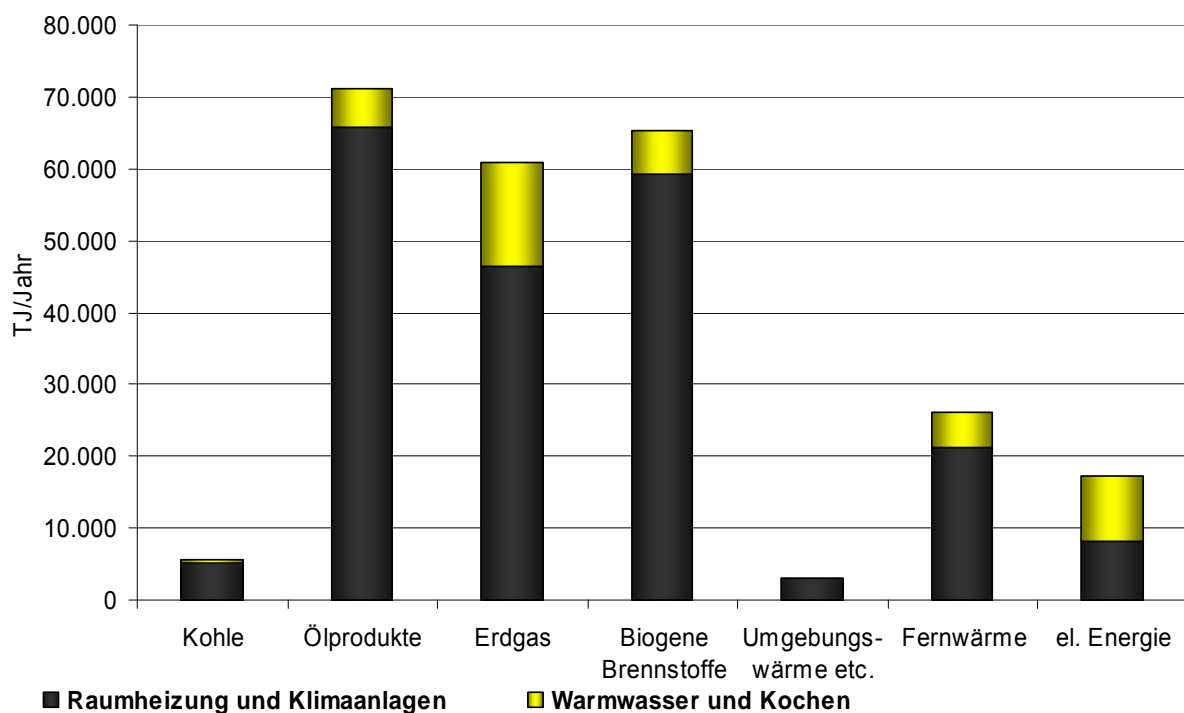
**Redundante Energieversorgung** bedeutet, dass die Aufrechterhaltung der maximal zur Verfügung zu stellende Leistung von zwei unabhängig voneinander arbeitenden Erzeugungseinheiten jeweils zu 100 % durchgeführt werden kann.

Mit **Trassenlänge** [fm] bezeichnet man die Länge der Trasse in der die Nahwärmeleitung zur Versorgung der Wärmekunden verlegt ist.

## 2.4 Einsparung von Verbrennungsemissionen

Nah-/Fernwärme spielt bei der Wärmeversorgung von Gebäuden eine wesentliche Rolle. Dies ist insbesondere unter dem Aspekt sinnvoll, dass heute in Österreich rund ein Drittel des energetischen Endverbrauchs auf den Verwendungszweck „Raumheizung und Warmwasserbereitung“ entfällt und dabei rund 284,8 PJ/Jahr Endenergie<sup>1</sup> aufgewendet werden [STATISTIK AUSTRIA, 2005]. Dabei werden 9,5 Mil. Tonnen CO<sub>2</sub> –Äquivalente pro Jahr ausgestoßen.

Die Abbildung 2 verdeutlicht sehr gut den energetischen Endverbrauch nach den Nutzungskategorien in Österreich für das Jahr 2005. Nach wie vor wird für Raumheizung und Warmwasserbereitung überwiegend fossile Energie verwendet.



**Abb. 2.:** Energetischer Endverbrauch nach Nutzungskategorie in österreichischen Haushalten im Jahr 2005

Die Nutzung der Abwärme von BHKWs ermöglicht eine wesentliche Verbesserung der CO<sub>2</sub> Bilanz und eine weitere Schonung der fossilen Reserven.

<sup>1</sup> energetischer Endenergieverbrauch: ist jene Energiemenge, die dem Verbraucher für die Umsetzung in Nutzenergie zur Verfügung steht, d.h. Energie- Umwandlungseinsatz, Eigenbedarf des Energiesektors, Verteilverluste und sonstige Verluste sind nicht berücksichtigt.

Bevor in den nachfolgenden Punkten auf die Emissionswerte unterschiedlicher Brennstoffe eingegangen wird, müssen vorab noch einige Begriffe etwas genauer betrachtet werden. Unter Treibhausgas (THG)- Emissionen von Brennstoffen werden Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Distickstoffoxid/Lachgas (N<sub>2</sub>O) verstanden. Jeder dieser Stoffe hat unterschiedliche Auswirkungen auf die Umwelt. Um vergleichbare Werte zu erhalten, werden alle Stoffe mit der Klima- Wirksamkeit von CO<sub>2</sub> verglichen. Die zugehörige Einheit nennt man CO<sub>2</sub>- Äquivalent.

Treibhausgasemissionen können sich entweder auf die reinen Emissionen der Verbrennung beziehen oder auch jene Emissionen mit einbeziehen, die bei der Energieträgerbereitstellung entstehen (z.B.: Erdölaufsuchung, -förderung, Raffination, Transport etc.)

Daher ist es wichtig, darauf zu achten, welche Werte man miteinander vergleicht bzw. gegenüberstellt.

**Direkte Treibhausgas- Verbrennungsemissionen** geben jenen Wert der Emissionen an, die direkt bei der Verbrennung eines Brennstoffes entstehen. Die vorgelagerten Emissionen der Energieträgerbereitstellung sind in den Werten der Tabelle 1 nicht berücksichtigt.

**Tab. 1.:** Direkte Treibhausgas- Verbrennungsemissionen [UMWELTBUNDESAMT 2008]

<b>Direkte Treibhausgas- Verbrennungsemissionen</b>				
<b>Energieträger</b>	<b>Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Methan (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Lachgas (N<sub>2</sub>O)</b>	<b>CO<sub>2</sub> Äquivalente</b>
<b>[g/kWh]</b>				
Steinkohle	335	0,324	0,007	344
Heizöl (leicht)	277	0,001	0,002	278
Erdgas	199	0,003	0,004	201
Diesel	277	0,001	0,002	282
Benzin	269	0	0	269
Biogas	0	0,008	0,007	2

Der Einsatz Biogas betriebener BHKWs wirkt CO<sub>2</sub> – neutral und verursacht somit kein CO<sub>2</sub>, da nur soviel freigesetzt wird, wie zuvor beim Pflanzenwachstum gebunden wurde.

Der Wert der **gesamten Treibhausgasemissionen** beinhaltet auch die Emissionen der Energieträgerbereitstellung. Die vorgelagerten Emissionen sind jeweils vom spezifischen Brennstoff abhängig und setzen sich daher auch unterschiedlich zusammen. Diese inkludieren z.B.: die Rohstoffgewinnung, die Rohstoffaufbereitung, die Leitungsverluste, den Transport etc.

**Tab. 2.:** Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette [UMWELTBUNDESAMT 2008]

<b>Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette</b>				
<b>Energieträger</b>	<b>Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)</b>	<b>Methan (CH<sub>4</sub>)</b>	<b>Lachgas (N<sub>2</sub>O)</b>	<b>CO<sub>2</sub>-Äquivalente</b>
<b>[g/kWh]</b>				
Steinkohle	660	3,70	0,03	754
Heizöl (leicht)	337	0,08	0,01	341
Erdgas - Übergabestation	238	1,41	0,002	271
Benzin-Raffinerie	325	0,37	0,00	334
Biogas: 100% Nawaro (Mais) Transportweg 50km	49,5	0,12	0,17	101
Biogas: 100% Schweinegülle Transportweg 0km	7,9	0,042	0,007	11
Biogas: 100% Biotonne Transportweg 20km	10,5	0,043	0,008	13

Berücksichtigt man die vorgelagerten Prozessemissionen so zeigt sich, dass die Umweltbilanz von Biogas zum Teil von den vorgelagerten Prozessen abhängt. Weiters erhält man bei der Biogasproduktion den Fermentationsrückstand der als wertvoller Dünger für die nachstehende Kultur verwendet werden kann.

### 2.4.1 Raumheizung und Warmwasserbereitung

Ca. 30 % des Endenergiebedarfes wird in Österreich für die Bereitstellung von Niedertemperaturwärme (Raumheizung und Warmwasserbereitung) benötigt. Ein Blick auf die Emissionsbilanzen des Umweltbundesamt [UBA ENERGIEBERICHT 2003] zeigt, dass somit rund 10 % der pro Jahr ausgestoßenen Kohlendioxidäquivalente bei der Wärmeversorgung von Gebäuden entstehen.

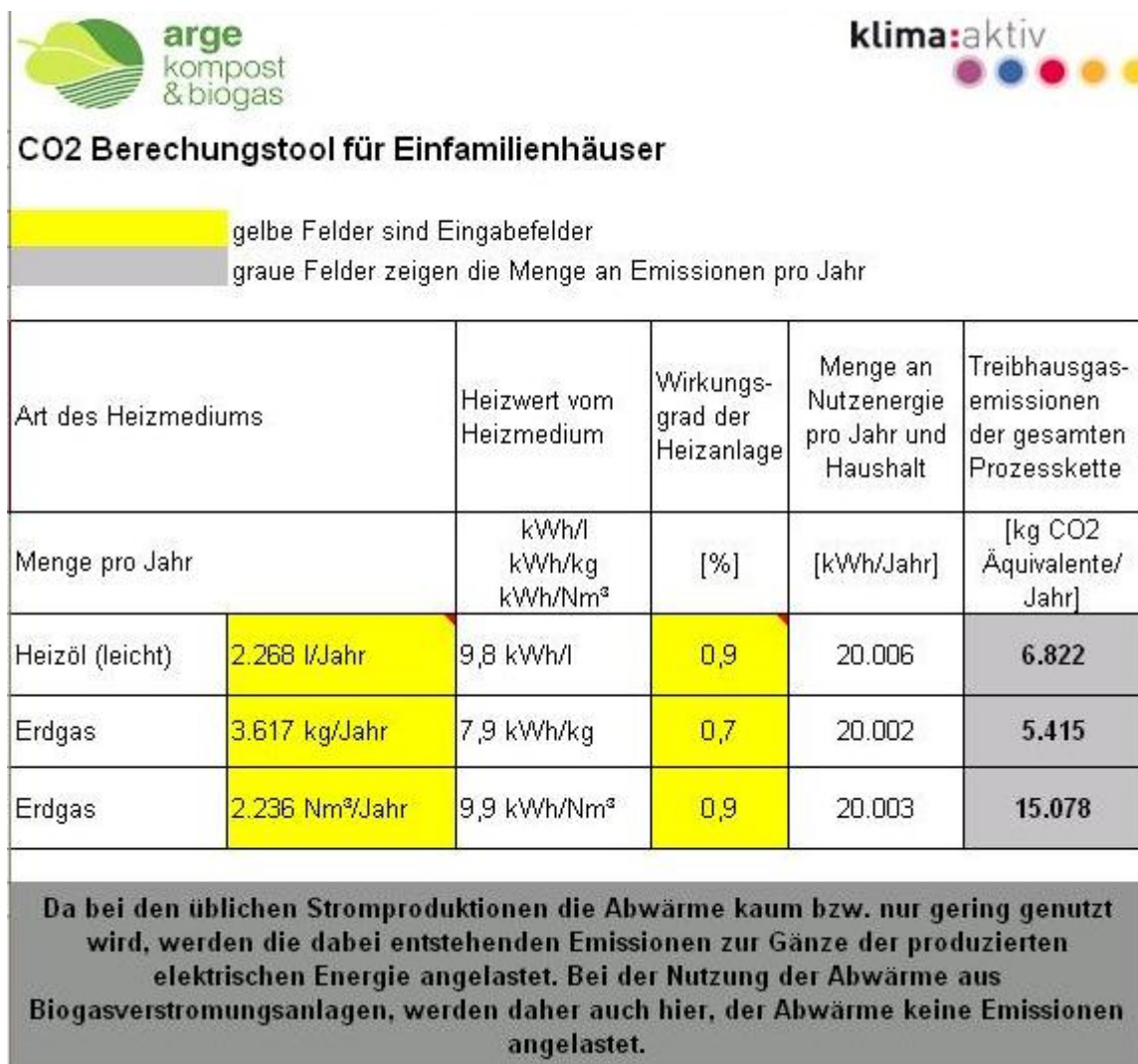
Sehr gut visualisieren die Beispiele in Tab. 3 wie viel CO<sub>2</sub>-Äquivalente je Haushalt und Jahr mit den unterschiedlichen Brennstoffmedien emittiert werden.

**Tab. 3.:** Direkte Treibhausgas Verbrennungsemissionen und Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette. [UMWELTBUNDESAMT 2008].

Art des Heizmediums		Heizwert vom Heizmedium	Wirkungsgrad der Heizanlage	Menge an Nutzenergie pro Jahr und Haushalt	Direkte Treibhausgas Verbrennungsemissionen	Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette
Menge pro Jahr			[%]	[kWh/a]	[kg CO <sub>2</sub> Äquivalente/Jahr]	[kg CO <sub>2</sub> Äquivalente/Jahr]
Heizöl (leicht)	2.268 l/Jahr	9,8 kWh/l	0,9	~20.000	<b>5.559</b>	<b>6.822</b>
Steinkohle	3.617 kg/Jahr	7,9 kWh/kg	0,7	~20.000	<b>6.888</b>	<b>15.078</b>
Erdgas	2.236 Nm <sup>3</sup> /Jahr	9,9 kWh/Nm <sup>3</sup>	0,9	~20.000	<b>1.426</b>	<b>5.415</b>

Tabelle 3 geht von der Berechnungsgrundlage eines durchschnittlichen Einfamilienhaushaltes mit ~ 20.000 kWh Wärme pro Jahr aus. Wie groß bei Energieumwandlungen der Anteil nutzbarer Energie ist, wird durch den Wirkungsgrad ausgedrückt. Die Treibhausgasemissionen zeigen, dass ein beträchtliches Einsparungspotenzial bei Raumheizung und Warmwasserbereitung in Österreich besteht.

Ein CO<sub>2</sub>-Berechnungstool befindet sich auf der Home Page [www.kompost-biogas.info](http://www.kompost-biogas.info) und [www.biogas.klimaaktiv.at](http://www.biogas.klimaaktiv.at). Die Tabelle steht zum Downloaden frei zur Verfügung. In dieser Tabelle kann selbständig berechnet werden, wie viel CO<sub>2</sub>-Äquivalente ein Haushalt pro Jahr in die Atmosphäre emittiert. In den gelben Feldern ist Menge und Art des Heizmediums pro Jahr für einen Haushalt anzugeben. In die Berechnung sind Wirkungsgrade mit einkalkuliert. Bei Heizöl- und Erdgasheizungen wird ein Wirkungsgrad von 0,9 angenommen. Bei Steinkohle- Heizungen wird hingegen ein Wirkungsgrad von 0,7 angenommen. In den grauen Feldern kann das Ergebnis, die Menge der gesamten CO<sub>2</sub>- Äquivalente abgelesen werden. Die grünen Felder zeigen das Einsparungspotenzial, wenn man an Stelle der fossilen Heizmedien die Abwärme eines mit Biogas betriebenen BHKW verwenden würde.



The screenshot shows the 'CO2 Berechnungstool für Einfamilienhäuser' interface. It includes logos for 'arge kompost & biogas' and 'klima:aktiv'. A legend indicates that yellow fields are input fields and grey fields show emission results. A table lists three heating media: Heizöl (leicht), Erdgas, and Erdgas, with their respective input values, heating values, efficiency, and resulting CO2 emissions. A grey box at the bottom contains a note about emissions from electricity production versus biogas CHP plants.

Art des Heizmediums	Heizwert vom Heizmedium	Wirkungsgrad der Heizanlage	Menge an Nutzenergie pro Jahr und Haushalt	Treibhausgasemissionen der gesamten Prozesskette	
Menge pro Jahr	kWh/l kWh/kg kWh/Nm <sup>3</sup>	[%]	[kWh/Jahr]	[kg CO <sub>2</sub> Äquivalente/Jahr]	
Heizöl (leicht)	2.268 l/Jahr	9,8 kWh/l	0,9	20.006	6.822
Erdgas	3.617 kg/Jahr	7,9 kWh/kg	0,7	20.002	5.415
Erdgas	2.236 Nm <sup>3</sup> /Jahr	9,9 kWh/Nm <sup>3</sup>	0,9	20.003	15.078

**Da bei den üblichen Stromproduktionen die Abwärme kaum bzw. nur gering genutzt wird, werden die dabei entstehenden Emissionen zur Gänze der produzierten elektrischen Energie angelastet. Bei der Nutzung der Abwärme aus Biogasverstromungsanlagen, werden daher auch hier, der Abwärme keine Emissionen angelastet.**

**Abb. 3.:** CO<sub>2</sub>- Äquivalente Berechnungstool für Haushalte mit unterschiedlichen Heizmedien.

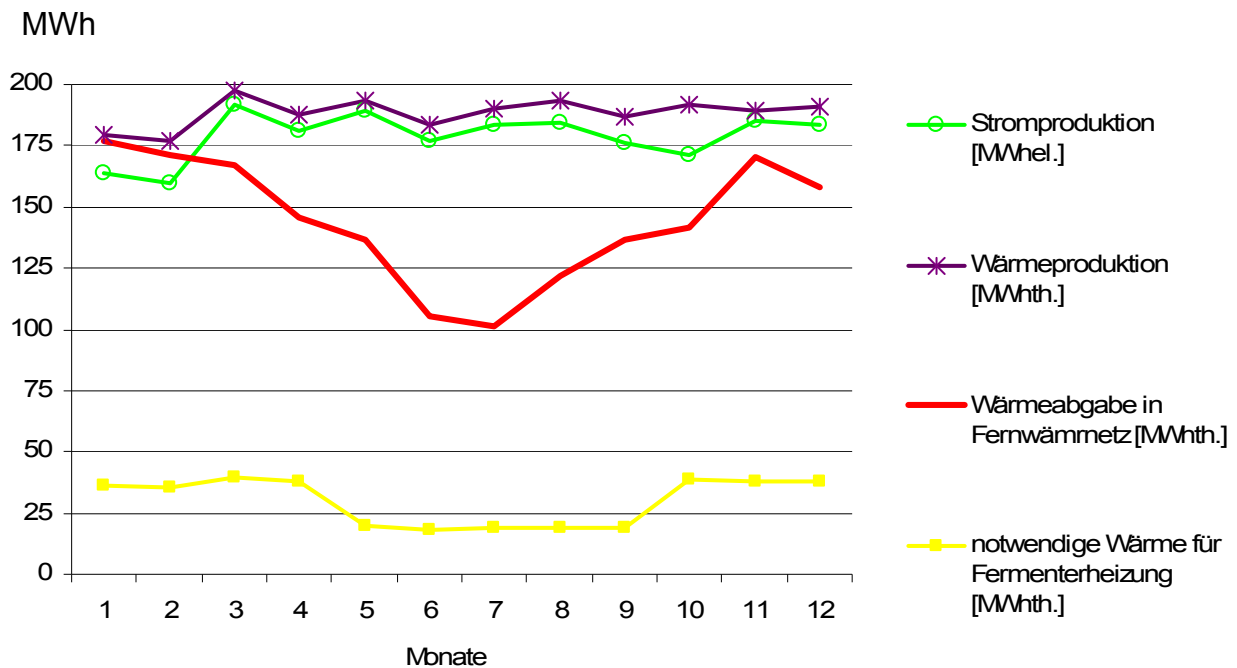
Da bei den üblichen Stromproduktionen die Abwärme kaum bzw. nur gering genutzt wird, werden die dabei entstehenden Emissionen zur Gänze der produzierten elektrischen Energie angelastet. Bei der Nutzung der Abwärme aus Biogasverstromungsanlagen werden, daher auch hier, der Abwärme keine Emissionen angelastet.

### 3 NAH-/FERNWÄRME

#### 3.1 Grundlagen

Interessante Wärmeabnehmer mit ganzjährig hohem Wärmebedarf sind selten oder sie sind zu weit von der Biogasanlage entfernt. Deshalb hat man in der Regel auch bei den Wärmeabnehmern deutliche Wärmebedarfsunterschiede bei Sommer- und Wintermonaten.

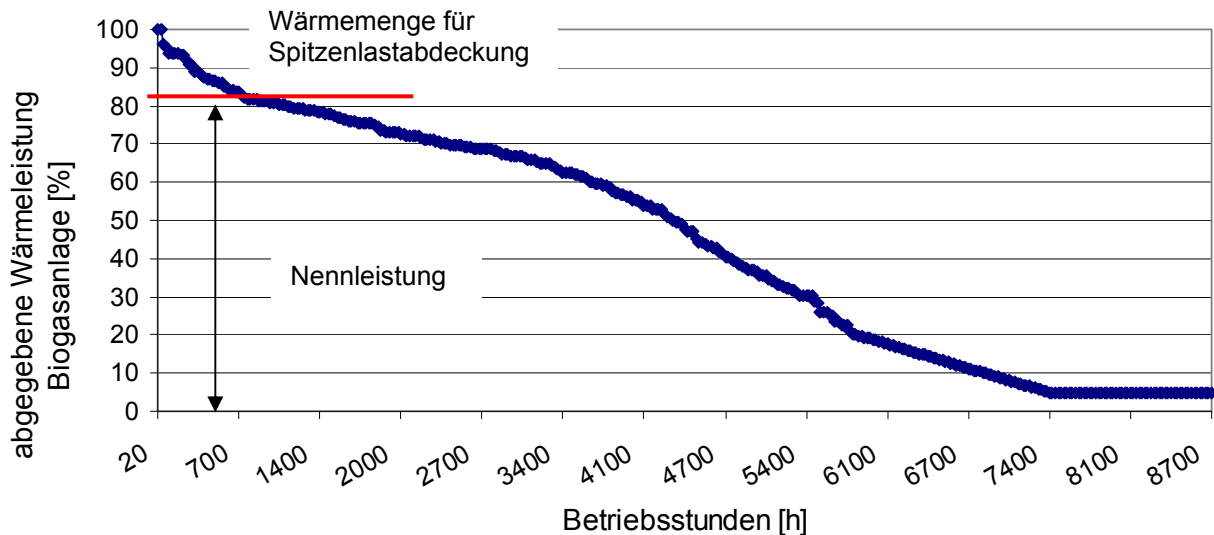
Die Abbildung 4 zeigt eine Biogasanlage mit einer Leistung von 270 kW<sub>th.</sub>. Für das Heizen des Fermenters werden ca. 20 % der produzierten Wärme benötigt. Als Abwärmekonzept wurde ein Nahwärmernetz realisiert. Die Anschlussleistung bei diesem Projekt beträgt 250kW<sub>th.</sub>. Auch bei diesem realisierten Projekt ist ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer- und Winterwärmebedarf erkennbar. Die spezifischen Werte können bis zu 20 % von Jahr zu Jahr schwanken.



**Abb. 4.:** Sommer- und Winterlastgänge eines typischen Fernwärmernetzes mit einer Anschlussleistung von 250kW<sub>th.</sub>



Neben den spezifischen Netzkennwerten für das Auslegen eines Nahwärmenetzes ist bei der Planung der Anlage aus wirtschaftlichen Gründen zwischen Grundlast und Spitzenlast zu unterscheiden. Die Deckung der Grundlast erfolgt in den meisten Fällen durch die thermische Nennleistung des BHKW der Biogasanlage. Spitzenlast muss zur Deckung aus technischen Gründen mit zusätzlicher Energie bereitgestellt werden.



**Abb. 5.:** Beispiel für die Aufteilung zwischen Grundlast und Spitzenlast anhand einer Jahresdauerlinie der Heizleistung

### 3.2 Notwendige Netzkennwerte

Aus technischer Sicht werden die für die Nahwärme geeigneten Einsatzgebiete nur durch die Wärmeverluste in den Verteilungen sowie durch die für die Förderung benötigte elektrische Energie begrenzt. Einen wesentlichen Faktor bei der Abwägung zur Errichtung einer Nahwärmeleitung stellt aber auch die Wirtschaftlichkeit dar. Somit steht die Frage im Raum, bis zu welcher Wärmedichte es überhaupt sinnvoll ist, Nahwärmenetze zu bauen.

Die folgenden Abschnitte enthalten grundsätzliche Informationen zur Auslegung von Nahwärmesystemen angefangen bei der Ermittlung des Wärmebedarfs, über die Volllaststunden bis zur Abschätzung der Netzdichte, Netzverluste und der Preisfindung.

**Die endgültige Dimensionierung und Detailplanung wird schließlich von Fachleuten in einschlägigen Planungsbüros durchgeführt.**

**a) Erhebung von Wärmebedarf und Wärmeleistung:**

Erster Schritt ist die detaillierte und exakte Erhebung von Leistung und Wärmebedarf in einem Versorgungsgebiet. Diese Angaben sind wesentliche Grundlage für die Dimensionierung des Fernwärmenetzes.

Auf der Home Page [www.kompost-biogas.info](http://www.kompost-biogas.info) und [www.biogas.klimaaktiv.at](http://www.biogas.klimaaktiv.at) wird ein Berechnungstool des Wärmeverlustes (=Gebäude-Heizlast) dargestellt. Die Tabellen stehen für das Downloaden frei zur Verfügung. Diese Berechnung ist für eine Abschätzung der Wärmeverluste im frühen Planungsstadium gedacht.

**Begriffsdefinitionen**

**Wärmeleitfähigkeit;  $\lambda$ -Wert [W/mK]:** gibt jene Wärmemenge an, welche durch 1 m<sup>2</sup> einer 1 m dicken Schicht eines Stoffes bei einem Temperaturunterschied von 1° K hindurchgeleitet wird.

**Wärmeübergangswiderstand R [m<sup>2</sup> K/W]**

Der Wärmeübergangswiderstand ist der Widerstand, der dem Wärmestrom beim Übergang von einem Medium zum anderen Medium entgegenwirkt.

$$R \left[ m^2 K / W \right] = \frac{d \left[ m \right]}{\lambda \left[ \frac{W}{m K} \right]}$$

R     Wärmeübergangswiderstand [m<sup>2</sup> K/W]  
d     Schichtdicke des Materials [m]  
 $\lambda$      Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

Der Kehrwert des Wärmeübergangswiderstands ist der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

**Wärmedurchgangskoeffizient; U-Wert [W/m<sup>2</sup>K]:** (früher k-Wert)

Gibt den Wärmestrom an, der in einer Stunde durch eine Bauteilfläche von 1 m<sup>2</sup> hindurchgeht, wenn der Temperaturunterschied der das Bauteil auf beiden Seiten umgebenden Luft 1° K beträgt. Je kleiner der U – Wert desto besser ist die Wärmedämmung des Bauteils. Der U-Wert einzelner Materialien kann aus Tabellen entnommen oder separat berechnet werden.

$$U - Wert [W / m^2 K] = \frac{1}{R [\frac{m^2 K}{W}]}$$

R Wärmeübergangswiderstand [m<sup>2</sup> K/W]

**Heizlast** [kW] ist jene Leistung, die benötigt wird, um ein Gebäude bei Normaußentemperatur auf 20° C zu beheizen. (Durchschnittliche Österreichische Einfamilienhäuser besitzen eine Heizlast von 12 kW bis 15 kW)

**Norm Außentemperatur t<sub>ne</sub> [°C]**

Niedrigste Tagesmitteltemperatur im langjährigen Mittel. Werte können aus Klima-Tabellen entnommen werden.

**Heizgradtage HGT<sub>20/12</sub> [K\*d]**

Summe der Temperaturdifferenzen in einem Zeitraum zwischen 20° C und der mittleren Tagesaußentemperatur, wenn diese 12 °C unterschreiten. Werte können aus Klima-Tabellen entnommen werden.

**Spezifischer Transmissions-Wärmeverlust P<sub>t</sub> [W/m<sup>3</sup>K]**

Wärmeverluste durch die raumumschließenden Bauteile bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Brutto-Rauminhalt und 1° K Temperaturdifferenz.

$$P_t = \frac{\sum (A \cdot U \cdot f)}{V}$$

- A[m<sup>2</sup>] äußere Oberfläche eines Außenbauteiles (von Außenkante zu Außenkante gemessen)
- U [W/m<sup>2</sup>K] aus Tabelle od. eigen Berechnung
- f Korrekturfaktor für Berücksichtigung verminderter Temperaturdifferenzen von nicht an die Außenluft grenzenden Bauteilen
- V [m<sup>3</sup>] Brutto-Rauminhalt der beheizten Gebäudeteile, das ist die Summe der Brutto-Geschoßflächen multipliziert mit den zugehörigen Geschoß-Höhen.

### Lüftungswärmeverlust

Für den Wärmeverlust durch Lüftung sind unabhängig voneinander folgende Werte zu beachten:

- hygienisch erforderlicher Mindestluftwechsel
- Lüftung durch undichte Fenster und Türen
- mechanische Lüftung (wenn vorhanden)

Der größte dieser drei Werte ist für den Lüftungswärmeverlust heranzuziehen.

### Spezifischer Gesamtwärmeverlust = spezifische Gebäude-Heizlast $P_1$ [W/m<sup>3</sup>K]

Mit der berechneten Gebäudeheizlast kann eine überschlägige Abschätzung der erforderlichen Kesselleistung erfolgen.

Der spez. Gesamtwärmeverlust setzt sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlust zusammen, bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Brutto-Rauminhalt und 1° K Temperaturdifferenz.

$$P_1 = P_t + P_L$$

$P_t$     Spezifischer Transmissionswärmeverlust [W/m<sup>3</sup>K]  
 $P_L$     spezifischer Lüftungswärmeverlust [W/m<sup>3</sup>K]

### Gesamt Wärmeverlust = Heizlast $P_{tot}$ [W]

Wärmeleistung, die unter Norm-Außentemperaturen zugeführt werden muss, damit die Berechnungs-Raumtemperatur erreicht wird.

$$P_{tot} = P_1 \cdot V \cdot \Delta T$$

$P_1$     spezifische Gebäude-Heizlast [W/m<sup>3</sup>K]  
 $V$     Brutto Rauminhalt der beheizten Gebäudeteile [m<sup>3</sup>]  
 $\Delta T$     Raumtemperatur – Norm Außentemperatur [K]

Hinweis:

Mit der berechneten Gebäudeheizlast kann eine überschlägige Abschätzung der erforderlichen Kesselleistung erfolgen. Die errechnete Kesselleistung reicht normalerweise auch für die Bereitstellung des Warmwassers während der Heizperiode aus.

In dem vorgegebenen Berechnungsschema wird in Tabellenblatt 1 zuerst der U-Wert (Abb.:6) der einzelnen Bauteile des Haushaltes berechnet. Berechnungsschema in Tabellenblatt 1: Schichtfolge und Dicke der Bauteile kann frei ausgewählt werden. Darauf folgend kann Wärmeleitzahl ( $\lambda$ ) und Wärmeübergangswiderstand (R) berechnet werden. Die Summe aller Einzelwerte ergibt dann den Wärmedurchlasswiderstand (R) für das gesamte Bauteil. Je größer R umso besser ist die Wärmedämmung. Zur Bestimmung des Wärmedurchgangs durch ein Bauteil muss noch der innere und äußere Wärmeübergangswiderstand  $R_{si}$  und  $R_{se}$  bekannt sein.

$R_{si}$  = Wärmeübergangswiderstand Dach / Wand auf der Innenseite

$R_{se}$  = Wärmeübergangswiderstand Dach / Wand auf der Außenseite

Die Wärmeübergangswiderstände ( $R_{si}$  u.  $R_{se}$ ) sind entsprechend der Bauteillage (vertikal, horizontal) und der äußeren Anströmung normiert.

Mit dem Kehrwert des Wärmedurchgangswiderstandes erhält man den Wärmedurchgangskoeffizienten U. Der U-Wert ist von grundlegender Bedeutung für die Berechnung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes. **Je größer der R und je kleiner der U-Wert, umso besser ist die Wärmedämmung.**

### Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizient U [W/m<sup>2</sup>K]

gelbe Felder sind Eingabefelder

rote Felder sind Ergebnisfelder

Betrieb: Max Mustermann  
 Adresse: 4020 Linz  
 Tel:

Objekt:  
**Einfamilienhaus**

Bauteil 1: Erdanliegende Fußböden			
Schichtenfolge	Dicke d [m]	Wärmeleitzahl $\lambda$ [W /mK]	R = d / $\lambda$ [m <sup>2</sup> K / W]
Estrich	0,1	1,4	0,07
Holz	0,02	0,15	0,13
Holzwoleleichtbauplatten		0,1	0,00
Ziegeldecke mit Aufbeton		0,52	0,00
Stahlbeton		2,3	0,00
Stahlbeton		2,3	0,00
$\Sigma$ R			0,20
Wärmeübergangswiderstand $R_{si} + R_{se}$ <input type="button" value="Erdberührte Böden"/>			0,17
<b>Wärmedurchgangskoeffizient U [W / m<sup>2</sup>K]</b>			<b>2,67</b>

Abb. 6.: Berechnungsschema für U-Wert Berechnung

In dem nachfolgenden Tabellenblatt 2 (Abb.: 7) wird die Heizlast ohne Warmwasserbereitstellung und darauf folgend die Heizlast mit Warmwasserbereitstellung durchgerechnet. Mit Hilfe des Ortsnamens oder der Polsteitzahl können Norm Außentemp.  $t_{ne}$  und  $HGT_{20/12}$  aus der Klimatabelle entnommen werden. Der spezifische Transmissionswärmeverlust errechnet sich, wenn die entsprechende Fläche der einzelnen Bauteile angegeben wird. Der spez. Gesamtwärmeverlust setzt sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlust zusammen, bezogen auf 1 m<sup>3</sup> Brutto-Rauminhalt und 1° K Temperaturdifferenz.

Der berechnete Gesamtwärmeverlust ist die Wärmeleistung, die unter Norm-Außentemperaturen zugeführt werden muss, damit die entsprechende Raumtemperatur erreicht werden kann. Zusätzlich sind hinter den einzelnen Zellen erläuternde Kommentare hinterlegt.

<b>Betrieb</b>	Max Mustermann		<b>Objekt:</b>	Einfamilienhaus	
	= gelbe Felder sind Eingabefelder			= rote Felder s. Ergebnisfelder	
WF Faktor				1,4	
Norm Außentemp $t_{ne}$				-14 °C	$\Delta t$
Berechnungs Raumtemperatur $t_i$				21 °C	35 °K
Heizgradtage $HGT_{20/12}$				3900	
Brutto Rauminhalt der beheizten Gebäudeteile				1.500 m <sup>3</sup>	
<b>Transmissionswärmeverlust</b>					
Bauteile	Fläche A [m <sup>2</sup> ]	Wärmed koeffizient U [W/m <sup>2</sup> .K]	Korrek- turfaktor f	A.k.f [W/K]	
EB Erdanliegende Fußböden (1)	24,8	5,88	0,15	21,9	
EW Erdanliegende Außenmauern (2)		8,33	0,5	0,0	
KD Kellerdecken unten unbeheizt (3)		5,88	0,5	0,0	
AF Außenfenster	72	3	1	216,0	
AT Außentüren	8	3	1	24,0	
AW Außenwände (4)	120	5,88	1	705,9	
DD Decken über offenen Bereichen (5)		5,88	0,5	0,0	
AD Außendecken (6)	24,8	5,88	1	145,9	
				0,0	
Summe $\Sigma (A \cdot k \cdot f)$				[W/K]	1113,6
Spezifischer Transmissionswärmeverlust	$P_t = \Sigma(a \cdot k \cdot f) / V = [W/m^3 K]$			0,74	
<b>Lüftungswärmeverlust</b>					
<b>Spezifischer Lüftungswärmeverlust</b>					
Hygienisch notwendig =	Lufrate [m <sup>3</sup> /h]	0,14	der höhere		
durch Fugen gegeben =	$W \times m^3 \times K^{-1}$	0,07	Wert ist zu übernehmen		
			$P_l =$	(W/m <sup>3</sup> K)	0,14
Spezifischer Gesamtwärmeverlust = spez Heizlast			$P_1 = P_t + P_l$	(W/m <sup>3</sup> K)	0,88
Gesamtwärmeverlust $P_{tot}$ [W]	$P_{tot} = P_1 \cdot V \cdot \Delta t = (W)$			46.328 W	
Jahresvollaststunden = $b_j = (f \cdot 24 \cdot HGT_2)$	$f =$	0,55	$b_j =$	1.471 h	
<b>Heizlast und Jahresenergiebedarf ohne Warmwasser</b>					
Heizlast			kW	46,3	
Jahresnutzenenergiebedarf = $Q_{jahr} = P_{tot} \cdot b_j$			kWh	68.141	
<b>Heizlast und Jahresenergiebedarf inkl. Warmwasser</b>					
Personen	5		kWh	5.293	
Heizlast inkl. Warmwasser			kW	46,9	
Jahresnutzenenergiebedarf + Warmwasser			kWh	73.434	

Abb. 7.: Heizlastberechnung

**b) Abschätzung der Volllaststunden möglicher Kunden**

Durchschnittliche Wohnhäuser in Österreich benötigen 1.500 bis 1.800 Volllaststunden /Jahr. Hallenbäder oder ähnliche Bauten haben vergleichsmäßig wesentlich mehr mit ca. 2.500 Volllaststunden/Jahr [BIOMASSEVERBAND OÖ, 2007].

**c) Abschätzung der Wärmebelegung und deren Wirtschaftlichkeit:**

Die Wärmebelegung des Fernwärmenetzes ist die jährlich verkaufte Wärmemenge bezogen auf die Trassenlänge des Netzes. Zielwert:  $\geq 1.200$  kWh/lfm Trasse [ÖKL-MERKBLATT NR. 67 1999].

$$\text{Wärmebelegung [kWh/lfm]} = \frac{\sum \text{Verkaufte Wärmemenge pro Jahr [kWh]}}{\text{Trassenlänge des Netzes [lfm]}}$$

**d) Netzdichte:**

Die Netzdichte gibt die Heizlast pro Laufmeter Nahwärmetrasse an. Bei üblichen Abnehmern sollte die Netzdichte wesentlich über 0,5 kW/lfm Trasse liegen. Gute Projekte haben eine Netzdichte von 1 kW pro Laufmeter Trasse oder darüber. Bei Kunden mit durchgängig hohem Wärmebedarf kann die Netzdichte auch darunter liegen.

$$\text{Netzdichte [kW/lfm]} = \frac{\sum \text{Anschlussleistungen an Fernwärmenetz [kW]}}{\text{Trassenlänge des Netzes [lfm]}}$$

**e) Netzverluste:**

Der Transport der Wärme von der Biogasanlage über das Nahwärmenetz zu den Wärmekunden ist mit unvermeidlichen Verlusten verbunden. Der Wärmeverlust ist physikalisch betrachtet von der Netzlänge, der Höhe, der Vor- und Rücklauftemperaturen sowie von der Isolierstärke und Isoliergüte abhängig. Betrachtet man die Netzverluste prozentuell zur produzierten Wärmemenge so hat auch die Netzdichte einen erheblichen Einfluss.

**f) Gleichzeitigkeitsfaktor**

Die Wärme wird im Allgemeinen nicht von allen Abnehmern gleichzeitig und im vollen Ausmaß benötigt. Für die Auslegung der Heizleistung ist daher ein Gleichzeitigkeitsfaktor der Abnehmerleistung zu berücksichtigen. Dieser hängt von Abnehmerzahl und Art der Abnehmer ab und schwankt zwischen  $g = 0,5$  (große Fernwärmenetze) und  $g = 1$  (kleinere Fernwärmenetze) [ÖKL-MERKBLATT NR. 67 1999]. Das bedeutet, dass bei großen Nahwärmenetzen die Abnehmerleistung doppelt so hoch wie die Leistung der Wärmebereitstellungsanlage sein kann.

$$\text{Gleichzeitigkeitsfaktor } g[\%] = \frac{\text{effektive Wärmehöchstlast Fernwärmenetz}}{\sum \text{Abnehmernennanschußleistung}}$$

Diese Werte schreibt ÖKL-Merkblatt (Nr. 67; Technisch-wirtschaftliche Standard für Biomasse-Fernheizwerke) vor.

**g) Preisregelung und Indexsicherung**

Der Wärmepreis setzt sich normalerweise (aber nicht zwingend) aus zwei Komponenten, dem Grundpreis und dem Arbeitspreis (für die tatsächlich bezogene Wärme), zusammen. Der jährlich zu zahlende Grundpreis dient der Abdeckung der Fixkosten und ist nur abhängig von der Höhe der Anschlussleistung. Dabei ist es üblich, verschiedene Leistungsklassen zu definieren, um Größenunterschieden bei Gebäuden gerecht zu werden. Der Arbeitspreis legt die Kosten pro Einheit bezogener Wärme fest. Die jährlich an die Kunden gelieferte Wärmemenge wird mit dem in jeder Übergabestation eingebauten, geeichten Wärmemengenzähler gemessen. Auf der Basis der abgelesenen Werte erfolgt anschließend die jährliche Heizkostenabrechnung.

**Indexsicherung**

Bei der Preisgestaltung sei darauf hingewiesen, dass ein Index (meist Biomasseindex) in die Berechnung mit aufgenommen werden soll.



Diesbezüglich gibt der Biomasseverband jährlich neue Indexwerte für die Wertsicherung der Preise bekannt, dabei ist zu beachten, dass in den einzelnen Bundesländern leichte Unterschiede bestehen. Als Bsp. werden zwei Indexwerte vom Biomasseverband Oö dargestellt:

Index „Energie aus Biomasse“ (Basis April 2001 = 100). Zusammensetzung:

- 10 % Monatsbezug eines Vertragsbediensteten,
- 20 % Heizöl extra leicht,
- 40 % Brennholz,
- 15 % Strompreis,
- 15 % Baukostenindex

Index „Energie aus Biomasse 2“ (Basis April 2001 =100). Zusammensetzung:

- 10 % Monatsbezug eines Vertragsbediensteten,
- 20 % Gas,
- 40 % Brennholz,
- 15 % Strompreis,
- 15 % Baukostenindex

### **3.3 Besonderheiten eines allgemeinen Wärmevertrages**

Der Wärmelieferungsvertrag zwischen Betreiber und Wärmeabnehmer ist die Rechtsgrundlage für den Anschluss an das Wärmenetz und die Wärmelieferung. Die Laufzeit von Fernwärmeverträgen lehnt sich in der Regel an die Laufzeit der Stromeinspeisung an. Neben dem Wärmevertrag mit dem Endkunden sollten auch allgemeine und technische Rahmenbedingungen zwischen Wärmekunden und Wärmelieferanten vereinbart werden. Ein Wärmevertrag ist von den jeweiligen Gegebenheiten stark geprägt und somit auch von Projekt zu Projekt unterschiedlich.

#### **3.3.1 Allgemeine Bestandteile eines Wärmeliefervertrages**

Grundsätzlich sollte ein Wärmevertrag zwischen Wärmelieferanten und Wärmekunden sehr genau definiert und übereingestimmt werden. Diesbezüglich gibt es Professionisten in den einzelnen Organisationen bzw. Interessensvertretungen. Die wichtigsten Punkte eines Wärmeliefervertrages werden nachstehend angeführt:

- Zweck, Art und Umfang der Wärmeenergieversorgung
- Begrenzung der Wärmeleistung: ist Grundlage für die Bemessung des Grundpreises.

- Eigentumsgrenzen: über Anschlussanlage, Messeinrichtung, Heizwasser, Instandhaltung
- Ort und Stelle der Wärmeübergabestelle
- Wärmepreis: Grundgebühr, Arbeitspreis und Messpreis.
- Wertsicherung: Indexsicherung
- Rechnungslegung und Bezahlung
- Vertragsdauer
- Sonstiges: z.B.: Grundstück- und Gebäudebenutzung

Neben dem Wärmevertrag mit dem Endkunden sollten auch allgemeine und technische Rahmenbedingungen zwischen Wärmekunden und Wärmelieferanten vereinbart werden. Diese Auflistungen zeigen „mögliche Anhaltspunkte“:

- Für die Wärmelieferung muss die Anschluss- und Regelungstechnik erforderlich installiert werden.
- Für den Netzbetrieb können zusätzliche Einrichtungen (Druckmessung, Leistungsmessung, etc.) erforderlich sein.
- Ein eventueller Strombedarf muss mit dem jeweiligen Kunden einvernehmlich vereinbart werden.
- Die kürzestmögliche Netztrasse ist anzustreben.

Anforderung an die Hausanlage:

- Es dürfen keine Absperrorgane eingebaut werden.
- Falls notwendig sind Schmutzfänger zu installieren.

Unterbrechung und Beendigung der Versorgung:

- Die Wärmerversorgung darf wegen betriebsnotwendiger Arbeiten unterbrochen werden.
- die Versorgung kann fristlos eingestellt werden, wenn der Kunde den Bestimmungen des Übereinkommens zuwiderhandelt.

Näheres über Details von Fernwärmeverträgen erhält man vom Biomasseverband Oberösterreich. ([www.biomasseverband-ooe.at](http://www.biomasseverband-ooe.at) >> [Info Service](#) > [Index Energie aus Biomasse und Wärmelieferübereinkommensverträge](#)).

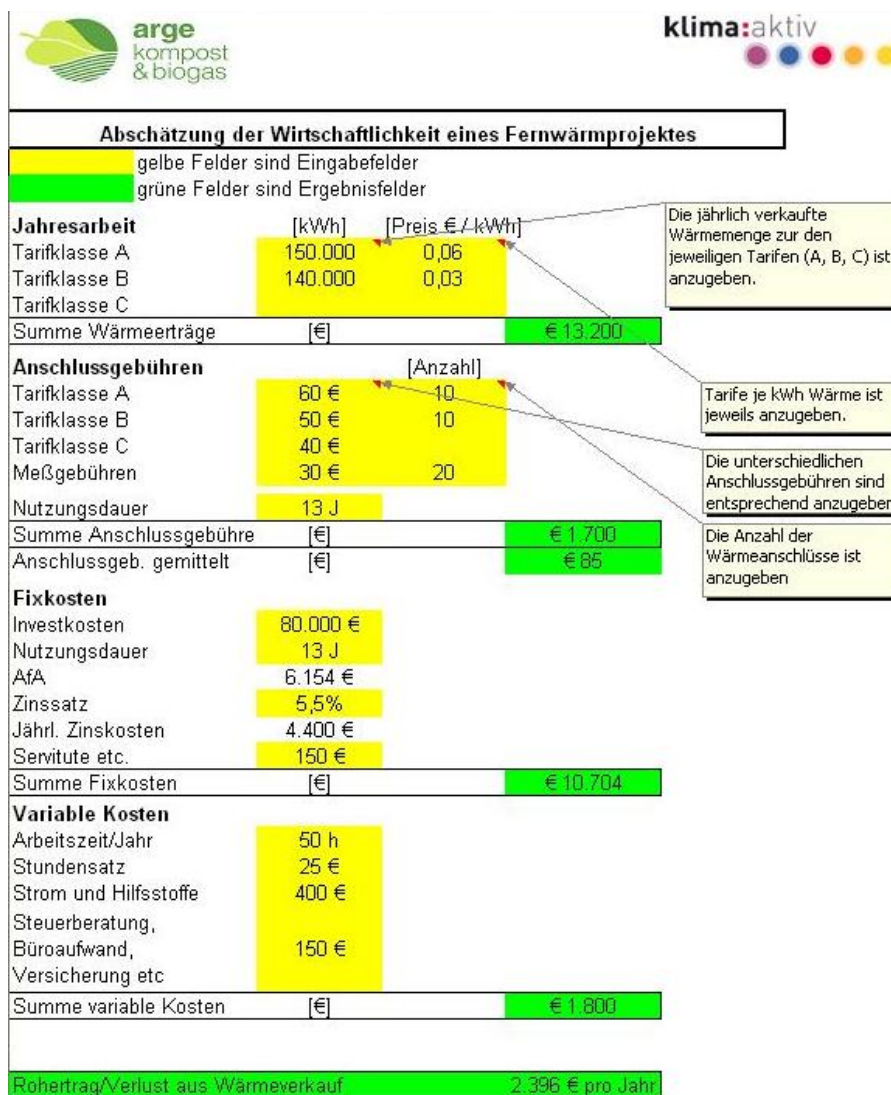
### 3.4 Fördermöglichkeiten

Es gibt unterschiedlichste Fördermöglichkeiten und Förderprogramme zu den jeweiligen Projekten. Um optimale Bedingungen hinsichtlich der Förderung des eingereichten Projektes zu erreichen, sollen die Projektplaner miteinbezogen werden. In den nachstehenden Punkten werden unterschiedliche Förderantragsstellen angeführt.

- Kommunalkredit Austria, [www.public-consulting.at](http://www.public-consulting.at)
- QM-Heizwerke ist ein klima:aktiv Programm [www.gm-heizwerke.at](http://www.gm-heizwerke.at)
- Ämter der Landesregierungen z.B. [www.land-oberoesterreich.gv.at](http://www.land-oberoesterreich.gv.at)

### 3.5 Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärmeprojekten

Auf der Homepage [www.kompost-biogas.info](http://www.kompost-biogas.info) und [www.biogas.klimaaktiv.at](http://www.biogas.klimaaktiv.at) befindet sich ein abrufbares Kalkulationsmodul. In diesem Berechnungsschema kann relativ einfach und überschläßig die Aufwende und Erträge und somit der Rohertrag berechnet werden.



Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmeprojektes			
gelbe Felder sind Eingabefelder			
grüne Felder sind Ergebnisfelder			
<b>Jahresarbeit</b>	[kWh]	[Preis €/kWh]	
Tarifklasse A	150.000	0,06	Die jährlich verkaufte Wärmemenge zur den jeweiligen Tarifen (A, B, C) ist anzugeben.
Tarifklasse B	140.000	0,03	
Tarifklasse C			
Summe Wärmeerträge	(€)		€ 13.200
<b>Anschlussgebühren</b>		[Anzahl]	
Tarifklasse A	60 €	10	Tarife je kWh Wärme ist jeweils anzugeben.
Tarifklasse B	50 €	10	
Tarifklasse C	40 €		
Meßgebühren	30 €	20	Die unterschiedlichen Anschlussgebühren sind entsprechend anzugeben
Nutzungsdauer	13 J		
Summe Anschlussgebühre	(€)		€ 1.700
Anschlussgeb. gemittelt	(€)		€ 85
<b>Fixkosten</b>			
Investkosten	80.000 €		Die Anzahl der Wärmeanschlüsse ist anzugeben
Nutzungsdauer	13 J		
AfA	6.154 €		
Zinssatz	5,5%		
Jährl. Zinskosten	4.400 €		
Servitute etc.	150 €		
Summe Fixkosten	(€)		
<b>Variable Kosten</b>			
Arbeitszeit/Jahr	50 h		
Stundensatz	25 €		
Strom und Hilfsstoffe	400 €		
Steuerberatung, Büroaufwand, Versicherung etc	150 €		
Summe variable Kosten	(€)		
<b>Rohertrag/Verlust aus Wärmeverkauf</b>			2.396 € pro Jahr

Abb. 8.: Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Fernwärmeprojektes.

## 4 NAH-/FERNWÄRME ALS ABWÄRMEKONZEPT EINER BIOGASANLAGE

### 4.1 Nah-/Fernwärme ohne garantierter Leistung

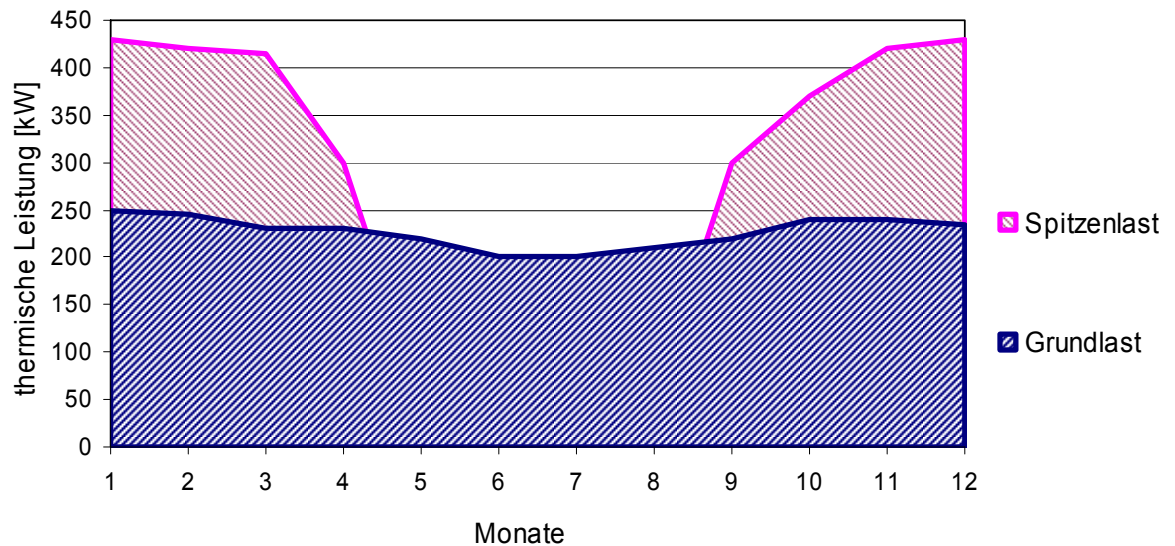
Die Biogasanlage liefert dabei die Wärme an eine bestehende Nahwärme oder an einen Kunden, der seine bisherige Heizanlage als Ausfallreserve und zur Abdeckung der Spitzenlast bestehen lässt.

Der Wärmelieferant, d.h. die Biogasanlage garantiert, zu keiner Zeit eine abzudeckende Mindestleistung und errichtet daher auch keine redundante Versorgung. Der Biogasanlagenbetreiber kann eine Wärmemenge von maximal im Vertrag fixierten Wärmelast liefern. Die tatsächlich gelieferte Wärmemenge ist jedoch von der Abwärmeproduktion der Biogasanlage abhängig und kann somit Schwankungen unterliegen. Bei Störungen bzw. Wartungsarbeiten an der Biogasanlage kann es zu einer starken Reduktion bzw. zu einer Totalunterbrechung der Wärmelieferung kommen.

Bei **Nah-/Fernwärme ohne garantierter Leistung** gibt es in der Praxis unterschiedliche Formen der Ausführung. Hauptsächlich wird aber folgende Vereinbarung getroffen:

- Das Wärmenetz wird mit der Abwärme eines mit Biogas betriebenen BHKW und mit der Wärme eines bestehenden Heizwerkes gemeinsam mit thermischer Energie versorgt. Die Übergabe der Abwärme der Biogasanlage kann direkt am Wärmetauscher der Biogasanlage erfolgen oder aber auch in der Heizzentrale des Heizwerkes. Vorrangig speist die Biogasanlage Wärme ins Wärmenetz ein. Erst nachdem die notwendige Heizlast von der Biogasanlage nicht mehr abgedeckt werden kann oder durch Ausfall des BHKW, wird die Wärme des Heizwerkes hinzu geregelt. Vorteilhaft bei dieser Regelung hat sich erwiesen, dass auch die Wärmelieferung vom Heizwerk an die Biogasanlage durchgeführt werden kann z.B. für das Aufwärmen des Fermenters.

Abbildung 9 verdeutlicht wie die thermische Nennlast/Grundlast der Biogasanlage und die Heizlast eines Heizwerkes kombiniert werden können. Vorteilhaft bei dieser Vereinbarung ist, dass das Heizwerk normalerweise über die Sommermonate nicht in Betrieb ist und somit nicht in Teillast läuft.



**Abb. 9.:** Nahwärme ohne garantierter Leistung

#### 4.1.1 Besonderheiten eines Wärmevertrages „ohne garantierter Leistung“:

Neben den allgemeinen und technischen Rahmenbedingungen eines Wärmeliefervertrages sind im Einzelfall die gegebenen Besonderheiten zu berücksichtigen: so steht im Regelfall die Biogasanlage in keinem Vertragsverhältnis mit dem Wärmeendkunden des Heizwerkes. Es werden nur die gelieferten Energiemengen mit dem verhandelten Tarif mit dem Heizwerk verrechnet. Da zu keiner Zeit eine Wärmelieferung garantiert wird, erfolgt auch keine Berechnung des Grundpreises sondern nur eine Berechnung des Arbeitspreises. Der Arbeitspreis pro MWh thermischer Energie richtet sich üblicherweise nach den Gestehungskosten der Wärmeproduktion des Heizwerkes. Wärmelieferungsunterbrechungen bzw. Leistungsreduktionen die vorhersehbar sind wie z.B. bei Wartungsarbeiten sollen dem Betreiber des Heizwerkes zeitgerecht mitgeteilt werden. Unvorhersehbare Lieferunterbrechungen bzw. Leistungsreduktionen nach Erkennung der Störung sollten so rasch wie möglich mitgeteilt werden.

## 4.2 Nah-/Fernwärme mit garantierter Leistung

Die Biogasanlage tritt dabei üblicherweise als Nahwärmebetreiber gegenüber dem Wärmekunden auf und garantiert die Wärmeversorgung bis zu einer im Vertrag fixierten Wärmelast. Der Abnehmer und Kunde hat in der Regel keine eigene Heizanlage. Damit bei Betriebsunterbrechungen oder Minderleistungen der Biogasanlage die Wärmelieferung garantiert werden kann, ist eine redundante Wärmeversorgung bei der Biogasanlage vorzusehen. Somit ist ein zusätzlicher Heizkessel z.B. Biogas, Biodiesel oder Hackgut notwendig.

Zu berücksichtigen sind wesentliche Punkte:

- Garantierte Wärmeversorgung im Vertragsausmaß gegenüber den Kunden
- Redundante Wärmeversorgung mit zusätzlicher Spitzenlastdeckung
- Verrechnung eines Grundpreises damit bei sehr niedrigen Abnahmemengen zumindest die Fixkosten abgedeckt werden können.

### 4.2.1 Kosten des zusätzlichen Energiebereitstellungssystems:

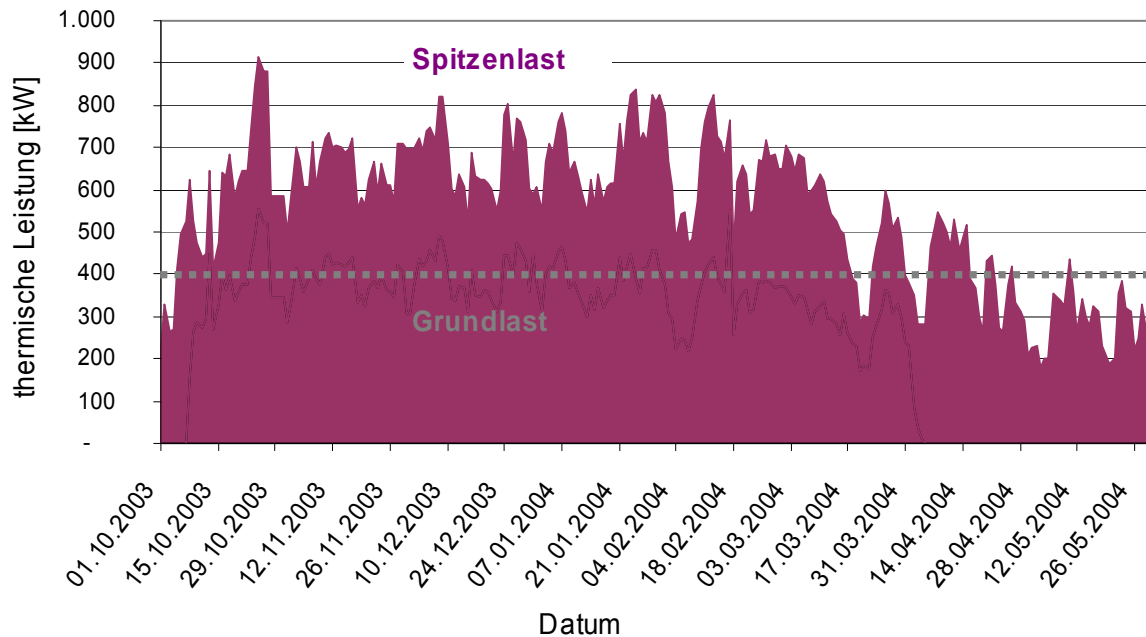
Die Installation des zusätzlichen Energiebereitstellungssystems bedarf einer Analyse hinsichtlich ökologischer und ökonomischer Gesichtspunkte. Da es sich bei Biogas um einen erneuerbaren Energieträger handelt, versuchen viele Betreiber auch bei der ergänzenden Energiebereitstellung nach ökologischen Gesichtspunkten vorzugehen und installierten für die Reservehaltung vielfach Pflanzenölbrenner und für zusätzliche Leistungsabdeckungen Hackgutanlagen. Bei den ökonomischen Gesichtspunkten sind vor allem die Investitionskosten samt Gebäudekosten und die laufenden Kosten für Brennstoff und Wartung zu berücksichtigen.

## 4.3 Fernwärme mit garantierter Leistung inkl. Spitzenlastproduktion

Die Biogasanlage liefert ihre Abwärme an eine bestehende Nahwärme bzw. an Wärmekunden. Damit der in der Nahwärmeversorgung oftmals vorhandene Spitzenlastkessel (ölbefeuert) nicht oder nur kaum in Betrieb genommen werden muss, wird die Versorgung großteils durch die Biogasanlage übernommen. D.h., zusätzlich zur Wärmelieferung entsprechend der Abwärmemöglichkeit des BHKW, bietet der Biogasanlagenbetreiber hier die Lieferung von kurzfristig benötigter Spitzenlast mittels eigenen Kessels an.

Dieser Heizkessel wird großteils mit Biogas betrieben. Damit redundante Versorgung besteht, wird meistens ein zweiter Brenner installiert. Um die zusätzlich notwendige

Biogasmenge bereitstellen zu können, muss kurzfristig die Biogasproduktion im Fermenter erhöht werden, um so den normalen BHKW- Betrieb nicht einzuschränken. Durch die Zugabe von energiereichen und leicht fermentierbaren Substraten (z.B. Getreideschrot) und durch Errichtung eines größeren Gasspeichers kann die Biogasproduktion bzw. Bereitstellung kurzfristig erhöht werden. Nachteilig bei dieser Form der Wärmebereitstellung ist der relativ hohe regel- und steuerungstechnische Aufwand.



**Abb. 10.:** Praxisnahes Beispiel für eine Biogasanlage mit Spitzenlastproduktion

Abbildung 10 zeigt ein praxisnahes Beispiel für eine Nahwärme mit einer thermischen Nahwärmeanschlussleistung von 1MW.

## 5 ENERGIEHOLZTROCKNUNG

### 5.1 Einleitung und Motivation

Die Trocknung von Energieholz mit Abwärme ist eine interessante und nahe liegende Option der Abwärmenutzung, denn das Heizen mit Holz stellt aufgrund steigender fossiler Energiepreise und seiner günstigen CO<sub>2</sub> Bilanz einen wachsenden Zukunftsmarkt dar.

In den folgenden Abschnitten wird untersucht, wie eine Energieholztrocknung mit Abwärme technisch erfolgen kann, wie sich ihre Wirtschaftlichkeit darstellt, sowie welche Randbedingungen für einen Erfolg zu beachten sind.

#### **Wassergehalt von Holz**

Wasser wird in Holz chemisch, physikalisch oder durch Kapillarkräfte gebunden. Bei der Energieholztrocknung geht es hauptsächlich um die Entfernung des freien Wassers aus dem Holzkörper. Frisches Holz hat einen Wassergehalt von über 50 %, frisches Pappelholz sogar von 65 % [WITTKOPF 2005].

Der Wassergehalt von Holzbrennstoffen ist aus mehreren Gründen ein besonders wichtiger Parameter:

- Der Wassergehalt des Holzes bestimmt maßgeblich dessen Lagerungsfähigkeit. Erst ab Wassergehalten < 25 % ist Holz dauerhaft lagerungsfähig, da erst dann die biologischen Zersetzungsprozesse durch Bakterien und Pilze zum Erliegen kommen [WITTKOPF 2005]. Mit den Zersetzungsprozessen steigt der Trockensubstanzverlust (Tab. 5). Der Substanzverlust bewirkt gleichzeitig einen Energie- und damit Wertverlust.
- Bei Lagerung von Holzhackgut mit Wassergehalten >25 % kommt es leicht zu Pilzbefall des Holzes.
- Bei hohen Wassergehalten besteht die Gefahr einer ungünstigen Verbrennung und damit verbunden eine Überschreitung der Emissionswerte, insbesondere bei kleinen Feuerungsanlagen [MARUTZKY U SEEGER 1999].
- Der Heizwert ist stark vom Wassergehalt des Brennstoffes abhängig. Je mehr Wasser im Brennstoff enthalten ist, desto geringer wird sein Heizwert, da während



des Verbrennungsvorganges Wasser unter Energieaufwand verdampft werden muss. [Jonas Görtler 1988]. Die Energie um 1 kg Wasser bei Normalluftdruck zu verdampfen, beträgt 2.257 kJ/kg. Sie wird auch als spezifische Verdampfungswärme des Wassers bezeichnet. Da meist keine Brennwerttechnik<sup>2</sup> zum Einsatz kommt, wird dadurch die verfügbare Energie vermindert.

Lediglich bei der Verbrennung von Hackschnitzeln in großen Heizwerken mit Vorschubrostfeuerung<sup>3</sup> gelangt feuchtes Material zum Einsatz, da die Feuerungstechnik im Vergleich zur Unterschubfeuerung<sup>4</sup> toleranter gegenüber hohen Wassergehalten ist [FRANZEN U. PALZER 2000].

Weitere Informationen stehen unter [www.klimaaktiv.at](http://www.klimaaktiv.at) >> [Energieholz](#) zur Verfügung. Unter anderem befindet sich unter [Downloads](#) ein Kalkulationsblatt zur Ermittlung von Kenndaten und Preisen für Energieholzsortimente.

## 5.2 Definition gebräuchlicher Begriffe

Auf die Darstellung der theoretischen Grundlagen der Trocknung soll im Folgenden verzichtet werden, da sie aus der Vielfalt der einschlägigen Literatur entnommen werden kann. Lediglich zwei Begriffe der Trocknungstechnik sollen an dieser Stelle kurz erläutert werden, da sie bei unpräzisem Gebrauch für Verwirrung sorgen können. Es handelt sich um die Begriffe Feuchte (F) und Wassergehalt (WG) des Trockengutes. Beide Größen werden in Prozent angeben, weswegen es leicht zu Verwechslungen kommen kann.

Der **Wassergehalt** (WG oder w) ist das Verhältnis zwischen gebundenem Wasser ( $m_w$ ) und der Gesamtsubstanz ( $m_G$ ) des Holzes.

$$\text{Wassergehalt, WG [\%]} = \left( \frac{m_w [\text{g}]}{m_G [\text{g}]} \right) \times 100$$

$m_w$ ... gebundenes Wasser  
 $m_G$ ... Gesamtsubstanz

---

<sup>2</sup> Unter Brennwerttechnik versteht man, dass bei der Verbrennung des Brennmaterials auch die Energie genutzt wird, die bei der Kondensation der Abgase frei wird.

<sup>3</sup> Diese Technik erlaubt große Brennstofftoleranzen. Insbesondere in Vorschubrostfeuerungen mit Umkehrflamme erfolgt auf der ersten Zone eine Brennstoffvortrocknung.

<sup>4</sup> Das Material wird von unten durch die so genannte Stockerschnecke der Feuermulde zugeführt. Es erfolgt keine Vortrocknung des Brennstoffmaterials.

Die **Holzfeuchte** ( $F$ ) ist das Verhältnis zwischen gebundenem Wasser ( $m_w$ ) und der Trockensubstanz ( $m_{TS}$ ) des Holzes.

$$Feuchte, F [\%] = \left( \frac{m_w [g]}{m_{TS} [g]} \right) \times 100$$

$m_w$ ... gebundenes Wasser  
 $m_{TS}$ ... Trockensubstanz

Das gebundene Wasser ( $m_w$ ) im Holz wird durch Trocknen im Darrofen bei 102 – 105° C bestimmt. Es errechnet sich aus der Differenz zwischen Gesamtsubstanz ( $m_G$ ) und der Trockensubstanz ( $m_{TS}$ ).

$$m_w [g] = m_G [g] - m_{TS} [g]$$

$m_w$ ... gebundenes Wasser  
 $m_G$ ... Gesamtsubstanz  
 $m_{TS}$ ... Trockensubstanz

Beispiel: Gesamtsubstanz ( $m_G$ ) = 1.000 g; gebundenes Wasser ( $m_w$ ) = 200 g;  
Trockensubstanz ( $m_{TS}$ ) = 800 g

Daraus ergibt sich: Wassergehalt= 20 %      Feuchtegehalt= 25 %

Die Umrechnung zwischen Feuchte auf Wassergehalt kann folgendermaßen durchgeführt werden:

$$Feuchtegehalt [\%] = \left( \frac{Wassergehalt [\%]}{(100 - Wassergehalt) [\%]} \times 100 \right)$$

$$Wassergehalt [\%] = \left( \frac{Feuchtegehalt [\%]}{(100 + Feuchtegehalt) [\%]} \times 100 \right)$$

**Tab. 4.:** Beispiel für die Umrechnung zwischen Feuchtegehalt und Wassergehalt

Feuchtegehalt [%]	Wassergehalt [%]
25 %	20 %
50 %	33 %
81 %	45 %
100 %	50 %
150 %	60 %

Werte für den Wassergehalt sind immer kleiner als Hundert, die Holzfeuchte kann wie aus der Tabelle 4 ersichtlich ist auch Werte über 100 % annehmen.

### Vorteile durch Nutzung von vor getrocknetem Energieholz

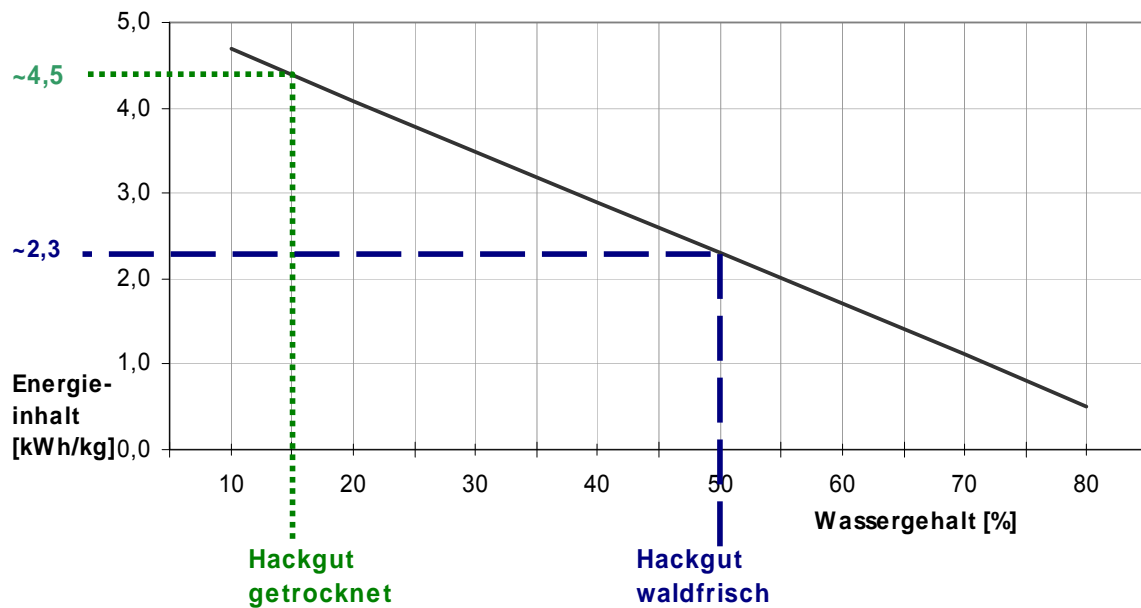
Durch die Trocknung von Hackgut werden Lagerfähigkeit und Heizwert entsprechend verbessert. Waldfrisches Holz weist Wassergehalte von 40 – 60 % auf und besitzt damit einen Energieinhalt von ~ 2 kWh/kg. In Tab. 5 ist sehr gut ersichtlich wie der Heizwert in Abhängigkeit des Wassergehaltes sinkt. Der Trockensubstanzabbau beträgt ca. 0,5 – 1 % pro Monat bei einem Wassergehalt unter 30 %. Bei „grünem“ Material (Wassergehalt 30 bis 55 %) beträgt der Trockensubstanzabbau bis 4 – 6 % pro Monat [HOLZFORSCHUNG AUSTRIA].

**Tab. 5.:** Heizwert und Trockensubstanz von Holz in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Wassergehalt (WG)	Heizwert Hu(w)	Heizwert Hu(w)	Trockensubstanz (TS)
	Nadelholz	Laubholz	Verlust/ pro Jahr
0 %	5,28 kWh/kg	5,0 kWh/kg	~ 0 %
10 %	4,68 kWh/kg	4,4 kWh/kg	~ 5 %
20 %	4,09 kWh/kg	3,9 kWh/kg	~ 5 %
30 %	3,49 kWh/kg	3,3 kWh/kg	~ 10 %
40 %	2,90 kWh/kg	2,7 kWh/kg	~ 30 %
50 %	2,30 kWh/kg	2,2 kWh/kg	~ 50 %
60 %	1,70 kWh/kg	1,6 kWh/kg	~ 60 %

$$Hu(w) = (Huo \cdot (100 - w) - 2,44 \cdot w) / 100 \quad \text{in [MJ/kg]} : 3,6 \text{ in [kWh/kg]}$$

w Wassergehalt [%]  
 Hu(w) Heizwert bei Wassergehalt (w) x  
 Huo 18 unterer Heizwert bei w = 0 in [MJ/kg] - Laubholz  
 Huo 19 unterer Heizwert bei w = 0 in [MJ/kg] – Nadelholz



**Abb. 11:** Unterschiedliche Energieinhalte von Nadelholz- Hackgut getrocknet und Nadelholz- Hackgut walsfrisch [BIOMASSEVERBAND OÖ].

Die Abbildung 11 zeigt sehr eindeutig wie sich der Energieinhalt von Nadelholz- Hackgut in Abhängigkeit des Wassergehaltes verändert. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt der Heizwert des Holzes linear ab, bei rund 80 % Wassergehalt erreicht er den Wert Null, d.h. die gesamte Energie aus der Verbrennung des Holzes wird zur Verdampfung des Wassers aufgewendet. Dies bedeutet, dass trockenes Holz bei der Verbrennung mehr Energie liefert und eine vom Verbraucher geforderte Leistung mit weniger Brennstoffeinsatz bereitgestellt werden kann. Die höhere Energiedichte des trockenen Holzes wirkt sich zudem positiv bei weiteren Logistikschritten wie Transport oder Lagerung aus. Es kann mehr Energie pro Fuhre Holz transportiert werden und Brennstofflager können kleiner dimensioniert werden [Zeilinger 1992].

### Schwindung von Holz

Bis zu einem Wassergehalt von ca. 23 % findet keine Schwindung statt. Es verdunstet nur freies und nicht gebundenes Wasser. Von 23 % bis 0 % Wassergehalt schwindet Holz annähernd linear [BIOMASSEVERBAND OÖ]. Falls Holz unter 23 % Wassergehalt getrocknet wird, ist zu berücksichtigen, dass die Abrechnung nicht in Schüttraummeter (srm), sondern nach der Wärmemenge des Wärmemengenzählers (kWh) oder nach Gewicht und Wassergehalt erfolgen soll.

### 5.3 Spezifische Trocknungsdaten

Es gibt eine Reihe von spezifischen Trocknungsparametern, die einen erheblichen Einfluss auf den Ablauf des Trocknungsprozesses nehmen. Der Trocknungsprozess, auch flächenspezifische Verdampfungsleistung genannt, wird durch die Wärmeleistung, die Trocknungstemperatur, die Luftfeuchte, die Anströmgeschwindigkeit und die Beschaffenheit des Trockengutes definiert.

#### **Trocknungstemperatur**

Hinsichtlich der optimalen Trocknungstemperatur für die Trocknung von Energieholz sei darauf hingewiesen, dass Holz bei einer wasserdampfgesättigten Atmosphäre und steigender Temperatur, zwischen 50 und 60° C pyrogene Substanzen freisetzt. Dies bedeutet, dass die Ausgasung von Holz bei dieser Temperatur einsetzt und somit Energie, die bei der Verbrennung nutzbar wäre, verloren geht [TERLECKI – BRUNNBAUER 1997].

#### **Strömungswiderstand von Schüttgütern**

Der Strömungswiderstand eines Lagergutes für die Durchströmung von Luft hängt von der Durchströmlänge (Schichtdicke), der Strömungsgeschwindigkeit und der Art des zu trocknenden Gutes (Körnung, Form der Einzelteilchen, Verdichtung) ab [WEINGARTMANN 1991]. Für Schüttgüter mit einer Schütthöhe von weniger als 2 m kann näherungsweise ein linearer Zusammenhang zwischen dem Strömungswiderstand und der Durchströmlänge angenommen werden. Wichtiger Einflussfaktor auf den Strömungswiderstand ist in der Praxis die Körnung des Gutes. Feines Material ist bei gleicher Strömungsgeschwindigkeit der Luft um ein Vielfaches schwerer zu durchströmen, als grobes Material.

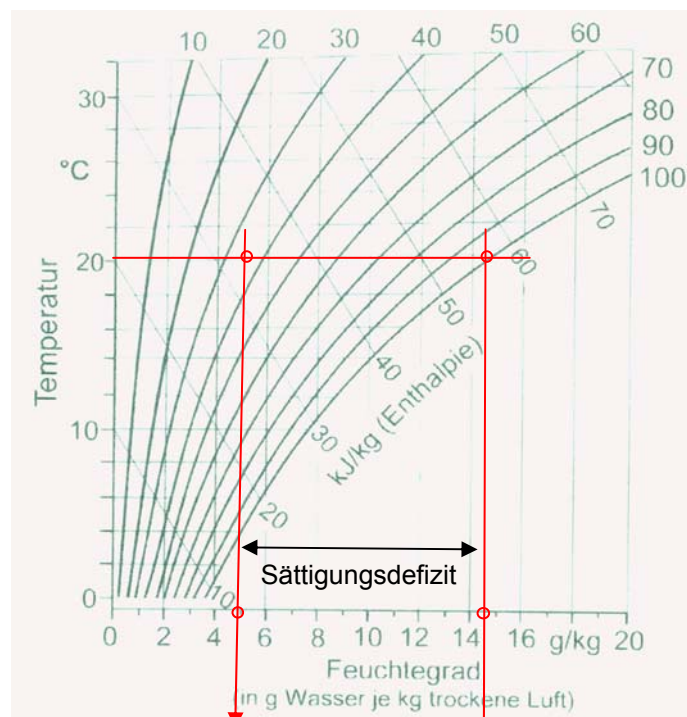
#### **Belüftungsmenge und Luftführung**

Die Wahl der Belüftungsmenge hängt wesentlich von folgenden Faktoren ab: der Ventilatorleistung, der Menge des zu belüftenden Gutes, dem Strömungswiderstand und der angepeilten Trocknungszeit.

Um beispielsweise bei der Trocknung von Hackgut durch Luftzufuhr über einen doppelten Boden einen optimale Luftzufuhr im Trocknungsgut zu gewährleisten, sollte die Oberfläche des gelagerten Gutes möglichst eingeebnet werden. Dies bewirkt, dass der Strömungswiderstand im Trocknungsgut überall gleich hoch ist und es nicht zur Ausbildung von Zonen mit geringerem Widerstand kommt, die dann bevorzugt von der Trocknungsluft durchströmt werden.

## Trocknungspotential der Luft

Der Erfolg der Trocknung hängt sehr stark mit der Temperatur und dem Wasserdampfgehalt der umgebenden Luft ab. Je höher die Temperatur, umso mehr Wasserdampf kann die Luft aufnehmen. Der Wasserdampfgehalt der Luft wird auch durch die relative Luftfeuchte ausgedrückt. Sie gibt an, wie viel Prozent des Maximalgehaltes an Wasserdampf in der Luft bei einer bestimmten Temperatur enthalten ist. Eine relative Luftfeuchte von 100 % bedeutet, dass bei dieser Temperatur kein Wasser mehr von der Luft aufgenommen werden kann es herrscht Sättigung. Steigt die Temperatur der Luft, dann sinkt die relative Luftfeuchtigkeit, weil bei höherer Temperatur mehr Wasserdampf aufgenommen werden kann. Die Differenz zwischen maximalem und aktuellem Wasserdampfgehalt wird als Sättigungsdefizit bezeichnet. Kühlt man die Luft ab, wird das Sättigungsdefizit kleiner bis die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Bei weiterer Abkühlung kann die Luft den Wasserdampf nicht mehr halten, Nebel und Taubildung (Kondensation) sind die Folge [BRUSCHE 1983]. In Abbildung 11 ist das „H,x- Diagramm“ nach Mollier dargestellt. Es ist die Grundlage für Planung, Betrieb und Abstimmung von Trocknungsanlagen.



absolute Luftfeuchte 5,3g Wasser kann je kg Luft

14,3 g/kg Luft max. Wasseraufnahmekapazität

**Abb. 12.:** Ausschnitt aus dem H,x- Diagramm nach Mollier

Mittels des Diagramms ist es möglich, den Trocknungserfolg anhand von Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Trocknungsluft zu bestimmen. Ein Beispiel zur Trocknung soll die Anwendung in der Trocknungspraxis erläutern: Die in einen Gutstapel eintretende Luft hat eine Temperatur von 20° C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 35 %. Setzt man diese beiden Werte mit dem H, x- Diagramm in Beziehung, so erhält man als Ergebnis den Schnittpunkt der Geraden für 20° C und der Kurve von 35 % rel. Luftfeuchtigkeit und in weiterer Folge das Ergebnis für die absolute Feuchte von 5,0 g/kg Luft. Die maximal erreichbare Wasseraufnahmekapazität (100 %) der Trocknungsluft bei 20° C kann aus dem Diagramm entnommen werden und beträgt 14,4 g/kg. Die Differenz zwischen maximalem und aktuellem Wasserdampfgehalt wird als Sättigungsdefizit bezeichnet und beträgt bei diesem Beispiel 9,4 g/kg, jener Wert der für die Trocknung des Gutes ausschlaggebend ist und somit ein Kennwert, welcher für die technische Auslegung von Trocknungsanlagen erforderlich ist.

**Tab. 6.:** Max. Wasseraufnahmekapazität von 1 kg Luft bei unterschiedlichen Temperaturen und gleich bleibender rel. Luftfeuchte.

Ausgangsdaten: 1 kg Luft mit 35 % relativen Luftfeuchte			
Temp. [°C]	Absolute Luftfeuchte [g/kg Luft]	max. mögliche Wasseraufnahme [g/kg Luft]	Sättigungsdefizit [g/kg Luft]
20	5,0	14,4	9,4
30	9,1	36,1	16,4
40	15,9	45,4	26,9
50	39,6	113,1	73,5

Dichte von Luft = 1,204 kg/m<sup>3</sup>

Aus Tabelle 6 ist bei der jeweiligen Temperatur und gleich bleibender relativer Luftfeuchte die max. mögliche Wasseraufnahmekapazität [g Wasser/ kg Luft] zu entnehmen. Mit steigender Temperatur steigt auch die max. mögliche Wasseraufnahme und somit auch das Sättigungsdefizit.

**Tab. 7.:** Kaum einen Einfluss hat die rel. Luftfeuchte auf das Sättigungsdefizit, wenn man die Luft entsprechend erwärmt.

T1 [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	T2 [°C]	abs. Luftfeuchte [g/kg Luft] bei T1	max. mögliche Wasseraufnahme [g/kg] bei T2 [°C]	Sättigungsdefizit [g/kg] in Abhängigkeit von T2 [°C] und abs. Feuchte [g/kg]
0	35	55	1,3	117,9	116,6
	80	55	3,0	117,9	114,9
10	35	55	2,5	117,9	115,5
	80	55	6,0	117,9	111,9
20	35	55	5,0	117,9	112,9
	80	55	11,5	117,9	106,4
25	35	55	6,8	117,9	111,1
	80	55	15,6	117,9	102,3

T1: Temperatur der Umgebungsluft [°C]  
rel. Luftfeuchte: rel. Luftfeuchte [%] der Umgebungstemperatur  
T2: Temperatur der Luft nach dem Heizregister [°C]  
abs. Luftfeuchte abs. Luftfeuchte [g/kg] der Luft bei Umgebungstemperatur

max. mögl. Wasseraufnahme: max. mögliche Wasseraufnahme [g/kg] bei der Temperatur [°C] nach dem Heizregister  
Sättigungsdefizit: Sättigungsdefizit [g/kg] bei der Luft die von T1 auf T2 erwärmt wird unter Berücksichtigung der abs. Luftfeuchte [g/kg] bei Umgebungstemperatur [°C]

Tabelle 7 verdeutlicht relativ gut, dass die absolute Luftfeuchte einer bestimmten Ausgangstemperatur wenig Einfluss auf das Sättigungsdefizit hat, wenn man dabei die Luft entsprechend erwärmt.

### Auslastung von Energieholz Trocknern

Da die jährliche Auslastung des Trockners möglichst hoch sein soll, besteht für den Betreiber einer Trocknungsanlage die Möglichkeit in der warmen Jahreshälfte auf Vorrat zu produzieren. Eine hohe Auslastung lässt sich auch einrichten, falls mehrere sich saisonal ergänzende Produkte im selben Trockner verarbeitet werden können.



#### 5.4 Wirtschaftlichkeit der Energieholz Trocknung mit Abwärme

Der Markt für Energieholz ist aus vielen Gründen sehr vielfältig. Für den Betreiber einer Biogasanlage, der die Abwärme zur Energieholztrocknung nutzen möchte, ist daher Marktkennntnis erforderlich, um einerseits die Suche nach möglichen Geschäftspartnern effizient zu betreiben und andererseits die wirtschaftlichen Chancen und Risiken gut kalkulieren zu können. Die auf dem Markt bezahlten Preise für Energieholz unterscheiden sich zum Teil erheblich und hängen insbesondere ab von der

- Größe der Abnehmer,
- Vertragsgestaltung und –laufzeit,
- Wirtschaftlichen Verknüpfung von Lieferanten und Abnehmer,
- Brennstoffart und –qualität.

Die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einer Energieholztrocknung mittels BHKW- Abwärme ist besonders umfangreich, da sich die einzelnen Brennstoffarten in ihren Produktionsschritten, ihren Rohstoffkosten und ihrem erzielbaren Marktpreis unterscheiden.

#### 5.5 Hackguttrocknung in der Praxis

Für die technische Trocknung von Hackschnitzeln sind prinzipiell mehrere Trocknerbauarten geeignet. Im Zuge des Projektes wurden zwei der gängigsten Hackguttrocknungstypen (Trocknungsbox) in Österreich angesehen. Am Boden befinden sich Luftkanalschächte, aus denen die Warmluft aus dem Kühler des BHKW das Hackgut von unten nach oben durchströmt.



Abb. 13.: Trocknungsbox mit Luftkanalschächten

## 5.6 Erstellung eines Kalkulationsmoduls zur Grobabschätzung

Auf der Homepage [www.kompost-biogas.info](http://www.kompost-biogas.info) und [www.biogas.klimaaktiv.at](http://www.biogas.klimaaktiv.at) befindet sich ein abrufbares Kalkulationsmodul. In diesem Berechnungsschema kann relativ einfach und übersichtlich berechnet werden, wie viel feuchte Hackschnitzel theoretisch mit der Abwärme eines BHKW getrocknet werden können. Es ist ersichtlich, wie hoch der Energiebedarf für die Trocknung einer bestimmten Hackgutmenge und Eingangswassergehalt ist.

Trocknung mit BHKW Abwärme			
gelbe Felder sind Eingabefelder			
grüne Felder sind Ergebnisfelder			
Trocknungsmaterial	Holz-Hackgut	Bitte zwischen Holz-Hackgut und Getreide wählen!	
Leistung Heizregister	400 kW	Temperatur der Luft nach Trocknung	15 °C
Temperatur der Luft nach Heizregister	50 °C	Wirkungsgrad Trockner	0,7
Zustand 1: Umgebungstemperatur und Feuchte			
Umgebungstemperatur	T1 [°C]	10	10
größtmögliche Aufnahme von Wasserdampf bei T1	[g H <sub>2</sub> O/kg L.]	7,54	7,54
rel. Luftfeuchte	[%]	35	80
Absolute Luftfeuchte	[g H <sub>2</sub> O/kg L.]	2,64	6,03
Zustand 2: Heizregister			
Temperatur nach Heizregister	T2 [°C]	50	50
max. Wasseraufnahmekapazität bei T2	[g H <sub>2</sub> O/kg L.]	113,1	113,1
Sättigungsdefizit bei T2 mit Berücksichtigung der absoluten Feuchte bei T1	[kg H <sub>2</sub> O/kg L.]	0,110	0,107
Volumenstrom Ventilator	[kg L./h]	25.075	25.075
th. mögliche Wasseraufnahme bei spez. Ausgangsfeuchte und T2	[kg H <sub>2</sub> O/h]	2.769	2.684
Trockner			
gewünschte Materialmenge für Trocknung	[kg]	13.200 kg wasserhaltiges Material	
Ausgangswassergehalt	[%]	55	55
gewünschter Endwassergehalt	[%]	20	20
notwendige Wassermenge zu Verdampfendes	[kg H <sub>2</sub> O]	4.620	4.620
Notwendiger Zeitbedarf zum Trocken des Materials			
13.200 kg wasserhaltiges Material	[h]	20,3	20,4

**Annahme:** Luft hat nach der Trocknung hat +5°C mehr als die Umgebungstemperatur

Der **Zustand 1** gibt die max. mögliche Wasseraufnahme in g Wasser pro kg Luft. Sowie die absolute Luftfeuchte in g Wasser pro kg Luft.

**Zustand 2** ist das errechnete Sättigungsdefizit [g Wasser/kg Luft] der Luft nach Austritt aus dem Luftheizregister und ist von der Temperatur [°C] und der absoluten Luftfeuchte [g Wasser/kg Luft] abhängig. Die **th. mögliche Wasseraufnahme** ist vom Sättigungsdefizit [kg H<sub>2</sub>O/kg Luft] und vom Volumenstrom [kg Luft/h] abhängig.

Trocknungsdaten wie Menge, Wassergehalt am Anfang und gewünschter Endwassergehalt sind einzugeben.

Notwendiger Zeitbedarf [h] um die entsprechende Menge [kg] an wasserhaltigen Material zu trocknen!

Abb. 14.: Allgemeines Trocknungsmodul

## 6 GETREIDETROCKNUNG

Die technische Trocknung von Getreide ist in der Landwirtschaft sehr weit verbreitet. Immerhin muss 50 % des jährlich in Österreich geernteten Getreides technisch getrocknet werden, da es die für eine dauerhafte Lagerung erforderliche Feuchte von < 14 % bis zur Ernte nicht erreicht hat [KRÖLL U. KAST 1989]. Aufgrund der weiten Verbreitung in der Landwirtschaft ist die Nutzung von Biogasabwärme zur Getreidetrocknung besonders nahe liegend. Nachteilig ist jedoch, dass die Getreidetrocknung nur während der Ernteperiode stattfindet, sodass lediglich mit einer Auslastung der Abwärmenutzung von maximal 4 bis 8 Wochen im Jahr gerechnet werden kann [KRÖLL U. KAST 1989]. Daher stellt die Getreidetrocknung mit Biogas- BHKW- Abwärme nur eine sinnvolle Lösung dar, falls zusätzlich andere Möglichkeiten der Abwärmenutzung in Betracht kommen.

### 6.1 Spezifische Trocknungsdaten

#### Trocknungstemperaturen

Die erforderlichen Trocknungstemperaturen richten sich nach der späteren Verwendung des Getreides. Konsumgetreide wird bei Temperaturen von 60 -110° C getrocknet, während zur Keimfähigkeitserhaltung von Saatgut und Braugerste deutlich niedrigere Temperaturen von 40 – 55° C erforderlich sind [KTBL 2005]. Die zur Verdampfung erforderliche Wärmemenge je kg Wasser liegt, je nach Trocknerbauart und Trocknungstemperatur, zwischen 1,2 und 1,8 kWh<sub>th</sub>/kg H<sub>2</sub>O [KTBL 2005].

Neben der Trocknung von Getreide besteht auch die Möglichkeit zur Trocknung von Körnermais. Körnermais erfordert, aufgrund seiner im Vergleich zu Getreide höheren Feuchtigkeit bei der Ernte, eine stärkere Feuchtereduzierung. Trocknerhersteller gehen bei der Trocknerauslegung von einer Reduzierung der Feuchte um 20 % aus [KTBL 2005]. Gleichzeitig kann Körnermais bei höheren Temperaturen von ca. 60 – 135° C getrocknet werden [KTBL 2005].

#### Trocknungskapazität

Da die Getreidetrocknung weit verbreitet ist, kann davon ausgegangen werden, dass die notwendigen Trocknungskapazitäten in Österreich ausreichend vorhanden sind. Es gilt im Einzelfall zu prüfen, ob die Wärmeerzeugung vorhandener Trocknungsanlagen von den Energieträgern Gas, Öl oder Strom auf Biogasabwärme umgerüstet werden kann. Die technische Ausführung von Getreidetrocknern ist sehr variantenreich und reicht von kleinen Satzrocknern über verschiedene Arten von Umlaufrocknern bis hin zu verschiedenen Durchlaufrocknern.

### **Feuchtegehalt bzw. Wassergehalt**

Unter 5.2 wurden diese zwei Begriffe bereits sehr ausführlich beschrieben. Es sei aber darauf hingewiesen, dass in der Getreidetrocknung hauptsächlich von Feuchtegehalt gesprochen wird, korrekter Weise ist aber der Wassergehalt gemeint.

### **6.2 Erstellung eines Kalkulationsmoduls**

Auf der Internetseite [www.kompost-biogas.info](http://www.kompost-biogas.info) und [www.biogas.klimaaktiv.at](http://www.biogas.klimaaktiv.at) befindet sich ein Kalkulationsmodul für Getreidetrocknung. In diesem Berechnungsschema kann relativ einfach und übersichtlich berechnet werden, wie viel theoretisch mit der Abwärme eines BHKW an feuchtem Getreide getrocknet werden kann. Es ist ersichtlich, wie hoch der Energiebedarf für die Trocknung einer spezifischen Getreidemenge und Feuchtegehaltes ist. Aufbau und Detail siehe 5.6

Die ARGE Kompost und Biogas Österreich bedankt sich für die aktive Mitarbeit der Biogasanlagenbetreiber Josef Höckner, Gerold Wagner, Walter Rosenberger, Ing. Karl Pfiel, Rudi Mayrhofer, Robert Thalhammer, Hannes Schwarzmayer, Walter Rosenberger, Friedrich Schwarz und Ing. Michael Kober.

Weiters bedanken wir uns für die Datenübermittlung des Umweltbundesamtes bei DI Werner Pölz sowie für die gute Zusammenarbeit mit dem Biomasseverband Oö.

## 7 LITERATURLISTE

- [Biomasseverband Oö 2007] Energieinhalt von Hackgut, eigene Berechnungen, Linz 2007
- [Biomasseverband Oö 2007] Schwindung bei Holzrocknung, eigene Berechnungen, Linz 2007
- [Biomasseverband Oö 2007] Volllaststunden /Jahr bei Hallenbädern oder ähnliche Bauten, It Graf Alfred Biomasseverband Oö, 2007
- [Bremer Energieinstitut] Leitfaden Verwendung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Bremen 2007
- [Brusche 1983] Hackschnitzel aus Schwachholz, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Münster 1983.
- [ExWoSt 1998] Schadstoffminimierung im Städtebau, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn 1997
- [Franzen und Palzer 2002] B. Franzen und S. Palzer; Vergleichende Analyse ausgeführter Holzhackschnitzelfeuerungsanlage in Rheinland – Pfalz, Trier 2000
- [Gravens Service 2007] Telefonat bezüglich Kosten von Heizkesseln
- [Jonas, Görtler 1988] A. Jonas, F. Görtler: Holz und Energie, 5. Auflage, Niederösterreichische Landes-Landwirtschaftskammer, Wien 1990.
- [Kröll und Kast 1989] K. Kröll und W. Kast: Trocknungstechnik, Trocknen und Trockner in der Produktion, Heidelberg 1989
- [KTBL 2005] Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft: Faustzahlen für die Landwirtschaft, Darmstadt 2005
- [Marutzky und Seeger 1999] R. Marutzky und K. Seeger: Energie aus Holz und anderer Biomasse, Leinfeld-Echterdingen, 1999
- [Siedelfingen 2001] Klimaschutzkonzept Siedelfingen, Untersuchungen im Auftrag der Stadtwerke Siedelfingen, Stuttgart 2001
- [Statistik Austria, 2005] Nutzenergie Haushalte 2005, auf Anfrage von Statistik Austria It. Dr. Wolfgang Bittermann, Wien 2007.
- [Terlecki-Brunnbauer 1997] M. Terlecki – Brunnbauer: Trocknung von Hackschnitzel mittels Abwärme, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung (ÖKL), Wien 1997
- [UBA 2008] Umweltbundesamt: Integrierte Anlagentechnologien, It Anfrage bei DI Werner Pölz

- [UBA Energiebericht 2003] Stand und Entwicklung der Energieversorgung in Österreich,  
[www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie](http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/energie)
- [ÖKL-Merkblatt Nr.67 1999] Technisch wirtschaftliche Standards für Biomasse  
Fernheizwerke, Wien 1999
- [Pölz u. Salchenegger 2005] W. Pölz und S. Salchenegger; Biogas im Verkehrssektor,  
technische Möglichkeiten, Potential und Klimarelevanz
- [Umweltamt Hessen] Nahwärmefibel, Hessen 2006
- [Waibling 1998] Klimaschutzgutachten Stadt Waiblingen, Zentrum für  
Sonnenenergie- und Wasserstoff- Forschung, Stuttgart 1998
- [Weingartmann 1991] H. Weingartmann: Hackguttrocknung, Österreichisches  
Kuratorium für Landtechnik, Wien 1991.
- [Wittkopf 2005] S. Wittkopf : Bereitstellung von Hackgut zur thermischen  
Verwertung durch Forstbetriebe in Bayern, TU- München  
Wien, 2006
- [Zeilinger 1992] J. Zeilinger: Analyse der Wirtschaftlichkeit verschiedener  
Hackguttrocknungssysteme. Diplomarbeit Universität  
Bodenkultur, Wien 1992.