

# Energieträger im Gartenbau

- Alternativen zu Erdöl und Erdgas -



**Baden-Württemberg**

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LÄNDLICHEN RAUM

## Impressum

Bearbeitet von den Beratungskräften für Technik sowie Betriebswirtschaft im Gartenbau der Landratsämter sowie der Regierungspräsidien:

Regierungspräsidium Stuttgart, Ruppmannstraße 21, 70565 Stuttgart

Regierungspräsidium Freiburg, Bertoldstraße 43, 79098 Freiburg i. B.

Regierungspräsidium Karlsruhe, Schlossplatz 1-3, 76131 Karlsruhe

Regierungspräsidium Tübingen, Konrad-Adenauer-Straße 20, 72072 Tübingen

Landratsamt Ludwigsburg - Landwirtschaft, Auf dem Wasen 9, 71640 Ludwigsburg

Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald, Fachbereich 580 Landwirtschaft, Europaplatz 3, 79206 Breisach

Landratsamt Karlsruhe, Landwirtschaftsamt, Am Viehmarkt 1, 76646 Bruchsal

Landratsamt Tübingen, Abteilung Landwirtschaft, Eberhardstraße 21, 72108 Rottenburg

Ansprechpartner an den Regierungspräsidien und Landratsämtern in Baden-Württemberg

	<b>Reg.Bez. Stuttgart</b>	<b>Reg.Bez. Karlsruhe</b>	<b>Reg.Bez. Freiburg</b>	<b>Reg.Bez. Tübingen</b>
<b>Förderung</b>	Regierungspräsidium Stuttgart Georg Schmitt 0711/904-2909	Regierungspräsidium Karlsruhe Angelika Appel 0721/926-2758	Regierungspräsidium Freiburg Michael Würth 0761/208-1288	Regierungspräsidium Tübingen Michaela Ach 07071/757-3365
<b>Technik</b>	Landratsamt Ludwigsburg Peter Heise 07141/144-4956	Landratsamt Karlsruhe Katja Wenkert 07251/74-1834	Landratsamt Breisgau- Hochschwarzwald Peter Berwanger 0761/2187-5835	Landratsamt Tübingen Ralf Ludewig 07472/9862-23

### Herausgeber:

Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg,

Referat Garten-, Obst- und Weinbau, Kernerplatz 10, 70182 Stuttgart

November 2005

MLR - 29/2005-24

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Die Standardenergieträger Heizöl EL und Erdgas</b> .....	<b>7</b>
1.1 Heizöl EL .....	7
1.2 Erdgas.....	8
1.3 Brennstoffpreise im Vergleich .....	9
<b>2. Andere Energieträger</b> .....	<b>11</b>
2.1 Fossile Energieträger (Kohle) .....	11
2.2 Biogene Festbrennstoffe.....	12
2.2.1 Holz .....	13
2.2.2 Halmgutartige Biomasse (z.B. Stroh) .....	20
2.2.3 Getreide .....	22
2.3 Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen.....	24
<b>3. Wirtschaftlichkeitsberechnung</b> (Vergleich Heizöl, Pellets, Hackschnitzel, Kohle)....	<b>25</b>
<b>4. Andere Energiebereitstellungsverfahren</b> .....	<b>29</b>
4.1 Blockheizkraftwerke .....	29
4.2 Geothermie .....	32
4.3 Abwärmenutzung .....	34
<b>5. Contracting</b> .....	<b>35</b>
<b>6. Genehmigungsaspekte</b> .....	<b>36</b>
<b>7. Fördermöglichkeiten alternativer Energien</b> (Stand 04.11.2005) .....	<b>40</b>
7.1 Förderprogramme des Landes Baden-Württemberg .....	40
7.2 Sonstige Förderprogramme .....	41
7.3 Indirekte Förderungen (Stromeinspeisungs-Zuschläge) .....	42
<b>Quellenangaben</b> .....	<b>43</b>

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Brennstoffvergleich im Raum Stuttgart .....	9
Tabelle 2: Wichtige Kohle-Kenndaten.....	11
Tabelle 3: Potenziale des Energieträgers Holz in Baden-Württemberg.....	13
Tabelle 4: Spezifische Investitionskosten für Feststoff-Biomassefeuerungen.....	19
Tabelle 5: Wirtschaftlichkeitsberechnung Strohfeuerungsanlage (Leistung: 1 MW).....	21
Tabelle 6: Wirtschaftlichkeitsberechnung Getreidefeuerungsanlage (Leistung 1: MW).....	23
Tabelle 7: Energieverbrauch und Energiekosten im Modellbetrieb.....	26
Tabelle 8: Kostenvergleich bei Variante 1 (Temperaturführung Tag/Nacht 18/16°C).....	27
Tabelle 9: Kostenvergleich bei Variante 2 (Temperaturführung Tag/Nacht 16/14°C).....	27
Tabelle 10: Einspeisevergütung für Strom aus einem BHKW bei Inbetriebnahme 2006 .....	30
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeitsberechnung BHKW .....	31
Tabelle 12: Genehmigungsverfahren für Feuerungsanlagen nach dem Bundes- Immissionsschutzgesetz.....	37
Tabelle 13: Wichtige Rechtsvorschriften bei alternativen Energieträgern .....	39

## **Bilderverzeichnis**

Titelbild: Blick auf ein Hackschnitzzellager einer Gärtnerei	
Abbildung 1: Prinzipskizze einer Rostfeuerung .....	16
Abbildung 2: Prinzipskizze einer Unterschubfeuerung .....	17
Abbildung 3: Gewächshausanlage mit 6 Abteilungen .....	25

## Abkürzungsverzeichnis

AfA	Abschreibung
AltholzV	Altholzverordnung
AFP	Agrarinvestitionsförderungsprogramm
BauGB	Baugesetzbuch
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
1. BImSchV	Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen
BioAbfV	Bioabfallverordnung
BiomasseV	Biomasseverordnung
BHKW	Blockheizkraftwerke
BetrSichV	Betriebssicherheitsverordnung
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
FeuVO	Feuerungsverordnung
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
FWL	Feuerungswärmeleistung
H <sub>i</sub>	Heizwert eines Brennstoffes
H <sub>s</sub>	Brennwert eines Brennstoffes
KEA	Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg
KfW-Bank	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-Stunde
LBO	Landesbauordnung Baden-Württemberg
MJ	Megajoule
MW	Megawatt
NawaRo	Nachwachsende Rohstoffe
TA-Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TM	Trockenmasse
UVP	Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung
WHG	Wasserhaushaltsgesetz

## Einleitung

In baden-württembergischen Gartenbaubetrieben werden rund 90 % der Gewächshäuser mit den Energieträgern Heizöl EL und Erdgas beheizt. Heizungsanlagen, die mit diesen Brennstoffen betrieben werden, haben hohe Jahresnutzungsgrade um 90 %, einen hohen Bedienungskomfort und gewährleisten einen vollautomatischen Betrieb mit einem relativ geringen Überwachungsaufwand. Auf Grund des rasanten Anstiegs der Heizölpreise in diesem Jahr suchen viele Gartenbaubetriebe nach Möglichkeiten zur Senkung der Heizkosten.

Zu einer Reduzierung des Wärmeverbrauchs führen zum Beispiel Wärmedämmungsmaßnahmen, die Beseitigung von undichten Stellen im Gewächshaus, die Verbesserung der Regeltechnik oder auch eine Änderung des Heizsystems. Ein weiterer Lösungsansatz könnte der Anbau weniger wärmebedürftiger Kulturen oder gar das Stilllegen von Kulturflächen sein. Das Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum hat Einzelheiten hierzu im Dezember 2000 in der Broschüre "*Maßnahmen zur Senkung der Heizkosten*" veröffentlicht. Diese sind nach wie vor aktuell und sollten bei den Überlegungen zur Einsparung von Kosten in diesem Bereich erste Priorität haben.

Eine weitere Möglichkeit zur Verminderung der Kosten ist die Verwendung anderer Energieträger zur Energieerzeugung. Im Vergleich zum bisher überwiegend eingesetzten Heizöl oder Erdgas sind diese jedoch durch eine veränderte Kostenstruktur gekennzeichnet: den geringeren Brennstoffkosten (z.B. bei Holzbrennstoffen) stehen deutlich höhere Investitionskosten gegenüber. Dies muss in die Investitionsentscheidung unbedingt einbezogen werden.

In dieser Broschüre werden Energieträger, die für eine Beheizung von Gewächshäusern genutzt werden können, beschrieben und in Modellrechnungen die anfallenden Kosten verglichen. Dabei wird deutlich, dass die Wirtschaftlichkeit eines Brennstoffes von vielen Faktoren abhängig ist. Die Beispielsberechnungen zeigen auch, dass man keinesfalls mit Pauschalberechnungen operieren sollte. Betriebe, die das ganze Jahr über relativ hohe Gewächshaustemperaturen benötigen, sind eher in der Lage, eine Heizung mit anderen Brennstoffen wirtschaftlich zu betreiben, als Betriebe, die überwiegend Kulturen mit relativ geringem Wärmebedarf anbauen. Jeder Betrieb muss individuell betrachtet werden.

Bevor ein Umstieg auf einen anderen Energieträger erfolgt, sollte jedoch zunächst immer abgeklärt werden, ob bereits alle Möglichkeiten zur Energieeinsparung ausgeschöpft wurden.

# 1. Die Standardenergieträger Heizöl EL und Erdgas

## 1.1 Heizöl EL

Eine Ölheizung besteht aus den Komponenten Heizkessel, Brenner, Öltank und Abgaseinrichtung. Die Investitionskosten (ohne Mehrwertsteuer) für Ölheizungen liegen je nach Anlagengröße und Ausstattung bei etwa 50 bis 80 €/kW Heizleistung. Kosten für bauliche Einrichtungen sind hierin nicht enthalten.

Mindestanforderungen an Heizöl EL (extra leicht) sind in der DIN 51 603-1 festgelegt. Der Heizwert<sup>1</sup>  $H_i$  (früher  $H_u$ ) beträgt 42,6 MJ/kg bei einer Dichte von max. 0,86 kg/dm<sup>3</sup> bei 15 °C. Das entspricht einem Heizwert von 10,2 kWh/Liter. Der Schwefelgehalt beträgt maximal 0,2 % und soll ab 2008 maximal 0,1 % betragen. Neben der Standardqualität wird von den Mineralölfirmen eine ca. 2 ct/l teurere Premiumqualität angeboten, die zusätzlich mit Additiven versehen ist. Daneben gibt es auch Heizöl EL schwefelarm mit einem Schwefelgehalt von maximal 0,05 %. Dieses ist für Heizkessel mit Brennwerttechnik zur Nutzung der Energie in den Abgasen erforderlich. Schwefelarmes Heizöl ist 3 bis 4 ct/Liter teurer als die Standardqualität. Der Unterschied zwischen Heizwert und Brennwert<sup>2</sup> liegt bei 6 %. Aufgrund der höheren Investitionskosten für die Brennwerttechnik und des höheren Preises für schwefelarmes Heizöl rechnet sich die Brennwerttechnik im Gartenbaubetrieb derzeit nicht.

### **Einflüsse auf Preis und Verfügbarkeit von Heizöl EL**

Der Ölpreis ist eine schwer kalkulierbare Größe. Aufgrund der vielfältigen Einflüsse ist eine Preisentwicklung kaum vorhersehbar. Der Heizölpreis ist abhängig vom Rohölpreis, vom Dollarkurs, von der Nachfrage, der vorhandenen Raffineriekapazität und den Lagerbeständen. Der Rohölpreis wird von der Weltwirtschaft, dem Verbrauch, der Ölförderung, politischen Entwicklungen und dem Wetter beeinflusst. Daneben unterliegt er auch spekulativen Einflüssen.

---

<sup>1</sup> Heizwert  $H_i$ : Heizwert ist die bei einer Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge eines Brennstoffes, bei der es **nicht** zur Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes kommt.

<sup>2</sup> Brennwert  $H_s$ : Der Brennwert enthält zusätzlich zum Heizwert auch die Wärmemenge, die im Wasserdampf der Abgase enthalten ist. Er ist also höher als der Heizwert.

Bedingt durch die weltweit stetig steigende Nachfrage nach Erdöl bei gleichzeitig immer aufwändiger und teurer werdender Förderung ist von einem nachhaltig hohen Ölpreis auszugehen. Nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht, sondern schon allein aus Klimaschutzgründen wächst der Druck, CO<sub>2</sub>-neutrale Brennstoffe einzusetzen.

## **1.2 Erdgas**

Für Erdgasheizungen werden die gleichen Heizkessel verwendet wie für Ölheizungen. Für die Brennwerttechnik gibt es spezielle Brennwertkessel, die unter Umständen nur für Erdgas geeignet sind. Erdgas kommt in den natürlichen Lagerstätten in unterschiedlicher Qualität vor. Es besteht zu über 80 % aus Methan. Unterschieden werden die Qualitäten LL-Gas und E-Gas. Erdgas LL (früher Erdgas L) hat einen Heizwert von 8,8 kWh/m<sup>3</sup> und einen Brennwert von 9,8 kWh/m<sup>3</sup>. Erdgas E (früher Erdgas H) hat einen Heizwert von 10,4 kWh/m<sup>3</sup> und einen Brennwert von 11,5 kWh/m<sup>3</sup>. Im süddeutschen Raum wird hauptsächlich Erdgas E angeboten. Erdgas enthält fast keinen Schwefel. Aufgrund des niedrigeren Kohlenstoffanteils sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas geringer als aus der Verbrennung von Heizöl EL. Aus diesen Gründen wird das Erdgas immer als umweltfreundlicher Brennstoff dargestellt.

### **Einflüsse auf Preis und Verfügbarkeit von Erdgas**

Erdgas unterliegt nicht wie Heizöl täglichen Preisschwankungen. Der Erdgaspreis wird vom Gasversorgungsunternehmen festgesetzt. Er ist dann meist für 6 Monate oder länger stabil. Der Gaspreis ist abhängig von den Konditionen der Vorlieferanten. Er wird in Abhängigkeit verschiedener Faktoren meist im Halbjahresrhythmus angepasst. Ein wesentlicher Faktor ist die Entwicklung des Ölpreises. Daher folgt der Gaspreis etwa im Halbjahresabstand dem Ölpreis nach. In Süddeutschland bewegt sich der Gaspreis meist deutlich über dem Ölpreis. Der Gaspreis besteht i. d. R. aus den Komponenten Arbeitspreis und Leistungspreis. Der Arbeitspreis ist das Entgelt für die gelieferte Wärmemenge. Der Leistungspreis ist das Entgelt für das vorgelagerte Leitungsnetz und bemisst sich nach der installierten Leistung der Heizung. Hinzu kommt oft noch ein Messpreis, ein Entgelt für die Messeinrichtungen. Aufgrund des Leistungspreisanteils kann der Gaspreis trotz gleicher Preiskonditionen je nach Betrieb unterschiedlich sein. Eine Heizanlage mit hoher Auslastung, also vielen Vollbenutzungsstunden pro Jahr, ist wirtschaftlicher zu betreiben, als eine Heizanlage mit niedriger Auslastung, wie

z. B. in einem Gemüsebaubetrieb. Zierpflanzenbaubetriebe kommen oft nur auf 1.000 bis 1.500 Vollbenutzungsstunden pro Jahr, Gemüsebaubetriebe deutlich unter 1.000 Vollbenutzungsstunden. Industriebetriebe, die das Gas nicht nur für Heizzwecke, sondern auch für Produktionsprozesse einsetzen, haben hier wesentlich günstigere Bedingungen.

Erdgas ist wie Erdöl ein fossiler Energieträger. Es reicht nicht ewig. Die statistische Reichweite bei gegenwärtiger Förderung liegt bei 66 Jahren, beim Öl bei 45 Jahren.

### 1.3 Brennstoffpreise im Vergleich

Tabelle 1 zeigt den Stand der Preise für im Gartenbau übliche Brennstoffe vom 15.11.2005. Sie ist so aufgebaut, dass Brennstoffpreise direkt miteinander verglichen werden können. Spalte 6 zeigt den Brennstoffpreis in Euro je Megawattstunde (€/MWh) für den jeweiligen Brennstoff. In Spalte 8 ist für jeden Brennstoff der vergleichbare Ölpreis angegeben. So wird die Relation zum Öl sofort deutlich. In beiden genannten Spalten sind die unterschiedlichen Preise, Heizwerte und Nutzungsgrade berücksichtigt. In Spalte 8 ist darüber hinaus noch das unterschiedliche Handling der Brennstoffe bewertet. Die festen Brennstoffe erfordern einen höheren Wartungsaufwand, da z. B. Asche entsorgt werden muss.

Tabelle 1: Brennstoffvergleich im Raum Stuttgart

<b>Brennstoff - Preisvergleich, Raum Stuttgart</b>								
Stand: 15.11.2005								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Brennstoffart	Einheit	Heizwert kWh/Einheit	Preis €/Einheit	Jahres- nutzungs- grad	Wärmekosten €/MWh	Faktor	vergleich- barer Ölpreis €/l	Investi- tions kosten €/KW
Heizöl EL	l	10,20	0,470 €	0,86	<b>53,58</b>	<b>1,00</b>	<b>0,47</b>	<b>80 - 120</b>
Propan, 15 t Abnahme	kg	12,87	0,665 €	0,88	<b>58,72</b>	<b>0,77</b>	<b>0,52</b>	<b>100 - 200</b>
Propan, 5 t Abnahme	l	6,88	0,490 €	0,88	<b>80,93</b>	<b>1,45</b>	<b>0,71</b>	<b>100 - 150</b>
Anthrazit Nuß 5 (Sonderpr.)	kg	8,95	0,185 €	0,82	<b>25,21</b>	<b>1,26</b>	<b>0,23</b>	<b>150 - 200</b>
Gasflammkohle Nuß 4	kg	8,02	0,175 €	0,82	<b>26,61</b>	<b>1,40</b>	<b>0,25</b>	<b>100 - 180</b>
Importkohle 0-50mm	kg	7,21	0,128 €	0,82	<b>21,65</b>	<b>1,56</b>	<b>0,20</b>	<b>300 - 400</b>
Holzpellets (Industrieware)	kg	4,90	0,135 €	0,82	<b>33,60</b>	<b>2,30</b>	<b>0,31</b>	<b>150 - 250</b>
Holz hackschnitzel	m³	730,00	14,000 €	0,80	<b>23,97</b>	<b>0,016</b>	<b>0,22</b>	<b>200 - 400</b>
Grünuthackschnitzel	m³	600,00	8,000 €	0,80	<b>16,67</b>	<b>0,019</b>	<b>0,15</b>	<b>250 - 500</b>
Erdgas H GP 1500 VB	m³	9,57	0,461 €	0,88	<b>54,56</b>	<b>1,042</b>	<b>0,48</b>	<b>80 - 120</b>

Die Preise enthalten alle Steuern außer der Mehrwertsteuer.  
Preise gelten für Tankzugabnahme oder vergleichbare Mengen.

Spalte 9 in Tabelle 1 enthält Investitionskosten (einschließlich baulicher Einrichtungen) für die entsprechenden Heizanlagen. Sie dient der Abschätzung der ungefähren Kosten für die Umstellung auf einen anderen Brennstoff. Für eine exakte Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in jedem Fall konkrete Kostenvoranschläge einzuholen. Die Investitionskosten können standortbedingt sehr unterschiedlich sein.

Der in dieser Tabelle angegebene Faktor (Spalte 7) ermöglicht eine Umrechnung des jeweiligen Brennstoffpreises auf den vergleichbaren Ölpreis. Dies ist dann interessant, wenn für einen in der Tabelle aufgeführten Brennstoff ein anderer Preis gezahlt wird, als in der Tabelle angegeben. Der aktuelle Brennstoffpreis wird dann mit dem Faktor für diesen Brennstoff multipliziert. So erhält man den vergleichbaren Ölpreis. Muss beispielsweise für Anthrazit Nuss 5, Sonderpreis statt 0,185 €/kg nur 0,175 €/kg gezahlt werden, dann ist der vergleichbare Ölpreis  $0,175 \times 1,26 = 0,22$  €/l Heizöl EL.

Die in Tabelle 1 angegebenen Preise allein können kein Kriterium zur Entscheidung für den einen oder anderen Brennstoff sein. Hier müssen andere wichtige Kriterien mit berücksichtigt werden. Das sind:

- Die langfristige Verfügbarkeit des Brennstoffes
- Eine Abschätzung der zukünftigen Brennstoffpreisentwicklung
- Die Kosten einer geeigneten Heizanlage mit allen erforderlichen Nebeneinrichtungen
- Anlagenspezifische Aufwendungen für Reinigung, Beschickung, Entaschung, Wartung und Einsatz von Hilfsenergie
- Umweltauflagen
- Der Platzbedarf der Heizanlage mit Brennstofflager, Entaschung und evtl. Rauchgasreinigung oder Wärmerückgewinnung
- Finanzierung und Fördermöglichkeiten.

Die Heizanlagen für feste Brennstoffe sind deutlich teurer als eine Ölheizung und haben auch einen höheren Platzbedarf. Je höher der Automatisierungsgrad einer solchen Heizanlage ist, desto höher sind die Investitionskosten.

## 2. Andere Energieträger

### 2.1 Fossile Energieträger (Kohle)

Kohle ist ein fester Brennstoff mit relativ hoher Energiedichte. Kohle wird weltweit gehandelt. Die verschiedenen Kohlearten unterscheiden sich vorwiegend durch den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und die unterschiedlichen Heizwerte. Für jede Kohleart sind spezielle Heizanlagen erforderlich. Je nach Herkunft der Kohle sind die Bestandteile der Kohlen und die Brenneigenschaften unterschiedlich.

Tabelle 2: Wichtige Kohle-Kenndaten

<b>Kenndaten</b>	<b>Gasflammkohle</b>	<b>Anthrazit Nuss 5</b>	<b>Koks 4</b>	<b>Braunkohle 3“ - Brikett</b>
Heizwert (kWh/kg)	8,14 – 8,95	8,4 – 9,2	7,21	5,5
Flüchtige Bestandteile (%)	28 – 40	6 – 10	0 – 2	42
Wasser (%)	3 – 6	2 – 4	12 – 16	19
Asche (%)	3 – 5	3 – 5	6 – 8	3,5
Schwefel (%)	0,8	0,8	0,8	0,35
Schüttdichte (kg/m <sup>3</sup> )	700 – 780	700 – 780	480 – 580	740

Quelle: KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0694 (2000): „Brennstoffe im Gartenbau“

Für die unterschiedlichen Kohlearten kommen verschiedene Feuerungen in Frage. Gasflammkohle wird mit einer Unterschubfeuerung verbrannt. Aufgrund des hohen Anteils flüchtiger Bestandteile bildet sich eine große Flamme. Der Brennraum muss daher relativ groß sein, um einen guten Ausbrand zu gewährleisten.

Anthrazit und Koks können in Füllschachtkesseln verbrannt werden. Bei diesen Kohlen bildet sich nur eine relativ kleine Flamme.

Die jeweilige Kohle wird in einem Bunker neben dem Heizkessel gelagert und von dort über eine spezielle Fördereinrichtung in den Heizkessel transportiert. Kohleheizungen lassen sich zwar automatisieren, sind aber aufgrund der körnigen oder stückigen Beschaffenheit der Koh-

le nicht so gut automatisierbar wie eine Öl- oder Gasheizung. Arbeitsaufwand und höherer Aufwand für Hilfsenergie müssen berücksichtigt werden.

Auch die Investitionskosten für Kohleheizungen sind höher als für Öl- oder Gasheizungen. Die Asche muss vorschriftsmäßig entsorgt werden bzw. kann je nach Absprache an den Kohlelieferanten abgegeben werden. Die Emissionen (u.a. Staub, Schwefel, CO<sub>2</sub>) sind bei Kohlefeuerungen am höchsten. Sie sind deshalb aus Klimaschutzgründen nicht empfehlenswert. Dennoch kann eine Kohleheizung aufgrund günstiger und längerfristig stabiler Kohlepreise durchaus interessant sein.

### **Einflüsse auf Preis und Verfügbarkeit von Kohle**

Aufgrund der relativ hohen Energiedichte kann Steinkohle weltweit gehandelt werden. Braunkohle hat eine deutlich geringere Energiedichte und ist daher nur teuer zu transportieren. Deshalb wird sie eher reviernah verwendet. Kohle wird generell vor allem im Kraftwerksbereich und in der Industrie eingesetzt, also in relativ großen Anlagen.

Aktuelle Preise enthält Tabelle 1. Die Kohlepreise sind relativ stabil. Sie schwanken sehr viel weniger als die Ölpreise, obwohl hier auch ähnliche Abhängigkeiten bestehen wie beim Öl. So spielen die Förderkosten und die Transportkosten eine Rolle, aber auch die Nachfrage, die Wirtschaftslage und der Dollarkurs. Kohle unterliegt aber nicht wie Öl spekulativen Einflüssen. Der Kohlepreis wird in Verträgen längerfristig ausgehandelt.

Von allen fossilen Energieträgern weist Kohle die höchsten Vorräte aus. Die statistische Reichweite beträgt bei gegenwärtiger Förderung mehr als 200 Jahre. Kohle hat für den Wärmemarkt in Deutschland aber nur eine untergeordnete Bedeutung. Sie wird vorwiegend zur Stromerzeugung eingesetzt.

## **2.2 Biogene Festbrennstoffe**

Biogene Festbrennstoffe sind Energieträger organischer Herkunft, die zum Zeitpunkt ihrer energetischen Nutzung in fester Form vorliegen. Beispiele hierfür sind Waldrestholz oder Stroh. Gemäß den unterschiedlichen Eigenschaften wird zusätzlich zwischen halmgutartigen

und holzartigen Brennstoffen unterschieden. Ferner ist Industrierestholz und sonstige holzartige Biomasse zur Energiegewinnung verfügbar.

### 2.2.1 Holz

Die Vorteile von Holz gegenüber fossilen Energieträgern liegen darin, dass Holz ein nachwachsender Rohstoff ist (siehe Tabelle 3), der in der Regel aus einer nachhaltigen Waldwirtschaft oder der Landschaftspflege stammt. Die Verbrennung ist kohlendioxidneutral, es entsteht wenig Schwefeldioxid. Insgesamt produzieren moderne Holzheizungen nur geringe Emissionen. Darüber hinaus ist Holz ein preiswerter Brennstoff sowie unproblematisch und gefahrlos bei Lagerung und Transport.

Tabelle 3: Potenziale des Energieträgers Holz in Baden-Württemberg

<b>Brennstoffart</b>	<b>Aufkommen Mio. t/a</b>	<b>Derzeitige Nutzung in % des Aufkommens</b>
Waldrestholz	1,2	50
Industrie- und Sägerestholz	1	90
Landschaftspflegeholz	0,5	40

Quelle: MLR 2005

Durch die stetig steigenden Preise der fossilen Energieträger Öl und Gas ist Holz als Brennstoff wettbewerbsfähig. Heizen mit Holz kann jedoch höhere logistische Anforderungen mit sich bringen. Ausreichender Platz für den Versorgungsbunker und die Verkehrsflächen für die Anlieferung sind erforderlich.

Folgende Möglichkeiten bieten sich für die Gartenbaupraxis an, Holz als Energieträger zu beziehen:

- Waldrestholz, Landschaftspflegeholz,
- Sägerestholz, Industrierestholz.

Moderne Holzfeuerungsanlagen sind benutzerfreundlich und dank des Einsatzes modernster Steuer- und Regelungstechnik ein vollwertiger Ersatz zu anderen derzeit eingesetzten Heizsystemen.

Wichtige Grundlagen für Planer und Betreiber von Holzfeuerungsanlagen liefert das Qualitätsmanagementsystem QM-Holzheizwerke. Darin sind die wesentlichen Bestandteile der Projektierung, der Planung, des Baus sowie der Betriebsoptimierung enthalten. Eine Anwendung dieses Qualitätsmanagementsystems beim Bau einer neuen Holzfeuerungsanlage wird deshalb empfohlen. Weitere Informationen sind im Internet unter [www.qmholzheizwerke.de](http://www.qmholzheizwerke.de) erhältlich.

Holz muss als Brennstoff entsprechend aufbereitet werden, z. B. als Hackschnitzel oder Pellets. Der Preis wird beeinflusst durch die Qualität des Ausgangsmaterials (u.a. Wassergehalt, Rindenanteil) und die Transportwege. Aber nicht nur der Preis ist entscheidend für die Auswahl, sondern vor allem die regionale Verfügbarkeit und die ins Auge gefasste Anlagentechnologie.

### **Holzpellets**

Holzpellets sind Presslinge aus Holzspänen des Holzverarbeitenden Gewerbes. Holzeigene Bindstoffe machen das Pellet formstabil und beständig. Holzpellets sind in Deutschland seit 1996 als Brennstoff in Kleinf Feuerungsanlagen zugelassen. Sie sind ein im Gegensatz zu Holzhackschnitzeln nach DIN 51731 genormter Brennstoff. Holzpellets der Größengruppe HP5 haben einen Durchmesser von 4 bis 10 mm und eine Länge von unter 50 mm. Die derzeit auf dem Markt befindlichen Pellets haben einen Durchmesser von durchschnittlich 5 mm. Der Heizwert von Holzpellets liegt bei 4,9 kWh/kg. Dies entspricht etwa dem Heizwert von einem halben Liter Heizöl. Die Schüttdichte der Pellets ist für einen Holzbrennstoff vergleichsweise hoch; sie liegt bei 650 kg/m<sup>3</sup> und macht sich durch einen deutlich geringeren Lagerplatzbedarf als bei Hackschnitzeln bemerkbar. Da Pellets besonders schütt- und rieselfähig sind, können sie mit dem Tankwagen geliefert und in einen Lagerraum oder Lagertank eingeblasen werden, aus dem sie bei Bedarf automatisch in die Feuerung transportiert werden.

### **Holzhackschnitzel**

Jede Art von Holz kann zu Hackschnitzeln verarbeitet werden. Die Qualität von Holzhackschnitzeln hängt von der Herkunft des Holzes (Baumart, Umweltbelastungen u.a.), den Fakto-

ren Wassergehalt, Rindenanteil, Schüttdichte und der Homogenität ab. Entscheidend ist auch das Aufbereitungsverfahren, je nachdem, ob das Holz mit schneidenden oder brechenden Werkzeugen behandelt wurde. So genanntes Schreddermaterial ist beispielsweise deutlich schlechter rieselfähig. Je heterogener das Brennmaterial ausfällt, umso robuster muss die Förder- bzw. Kesseltechnik gewählt werden.

Für den Gartenbau können derzeit Holzhackschnitzel eine bedeutende Alternative sein, insbesondere wegen des relativ geringen Preises je MWh Nutzwärme. Ein Schüttraummeter Hackschnitzel ersetzt, je nach Wassergehalt, bis zu 100 Liter Heizöl EL.

### **Spezifische Anforderungen beim Heizen mit Holzhackschnitzeln**

Derzeit existiert noch keine einheitliche Norm für Holzbrennstoffe, ein entsprechender Entwurf liegt allerdings auf europäischer Ebene bereits vor. Beim Einkauf sollte deshalb auf die bestehenden Regelwerke (z.B. QM-Holzheizwerke) zurückgegriffen werden. Uneinheitliche Brennstoffqualitäten wirken sich auf die Brennstoffzufuhr und den Verbrennungsprozess ungünstig aus. Die Lagerfähigkeit und die Energieausbeute werden durch den Wassergehalt maßgeblich beeinflusst, bei gleichem Volumen kann die Energiedichte je Schüttraummeter zwischen 550 und 1050 KWh schwanken. Dies ist bei der Dimensionierung des Lagerplatzes zu berücksichtigen.

Sehr wichtig ist die Abstimmung der Heizanlage auf die Hackschnitzelqualität.

### **Dimensionierung der Anlage**

Für den Einsatz in Gartenbaubetrieben kommen heute vorrangig Holzhackschnitzel zum Einsatz. Grundsätzlich sind Anlagen zur Verbrennung von Biomasse teurer als vergleichbare Öl- oder Gaskessel. Dagegen ist der Biomasse-Brennstoff deutlich billiger als Heizöl oder Erdgas. Deshalb sind derartige Anlagen so auszulegen, dass sie die höchstmögliche Auslastung im Volllastbereich erzielen. Die korrekte Auslegung einer Holzheizanlage setzt detaillierte Kenntnisse über den Jahresverlauf des Wärmebedarfs im Betrieb voraus. Im Zweifelsfall ist es ratsam, den Biomassekessel lieber etwas kleiner auszulegen, denn auch eine Anlage, die nur 40 % des gesamten Jahresheizleistungsbedarfs bereitstellt, kann bei einer entsprechend hohen Anzahl an Vollbenutzungsstunden bis zu 80 % der gesamten Jahreswärmemenge erzeugen.

Um die Auslastung eines Holzkessels zu erhöhen, empfiehlt sich der Einsatz eines Pufferspeichers. Bei einer sinnvollen Ergänzung mit einem Pufferspeicher kann dieser Wert sogar auf über 90 % gesteigert werden.

Der verbleibende Spitzenlastanteil von etwa 10 - 20 % des Jahresenergiebedarfs wird von einer Reserveanlage abgedeckt, die üblicherweise mit fossilen Energieträgern betrieben wird. Auf diese Weise kann die Anzahl der Volllaststunden erhöht und die Kesseldimension kleiner gewählt werden. In diesem Zuge lassen sich die Lastwechsel verringern, womit auch die Emissionen weiter sinken.

### Wärmeerzeugung

Als ausgereifte Verbrennungsanlagen im Leistungsbereich zwischen 100 und 1000 kW stehen mit der Rostfeuerung (Abbildung 1), der Unterschubfeuerung (Abbildung 2) und der Vorofenfeuerung ausgereifte Technologien zur Verfügung. Alle drei Verfahren verfügen über spezifische Vor- und Nachteile.

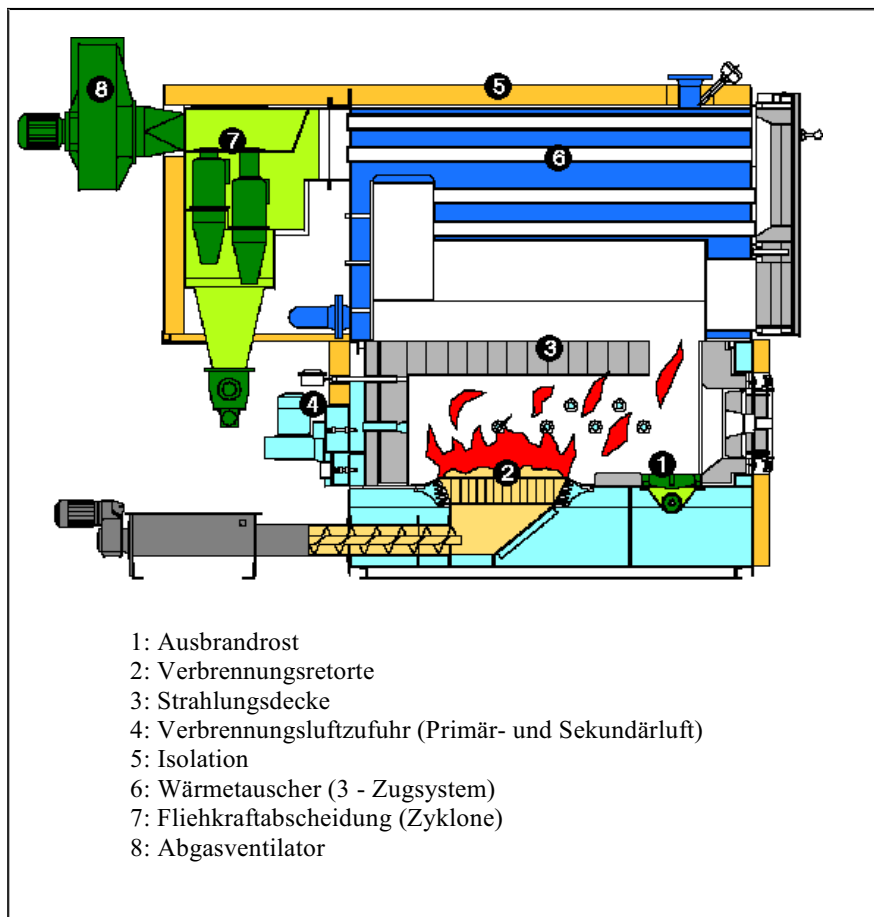


Abbildung 1: Prinzipskizze einer Rostfeuerung

Quelle: Schmid AG, CH - Eschlikon ( 2003)

Produkt: Holzfeuerungen & Anlagensysteme, Internetauftritt: [www.holzfeuerung.ch](http://www.holzfeuerung.ch)

Die Rostfeuerung eignet sich dann, wenn ein Brennstoff mit schwankender Qualität, insbesondere höherem Wassergehalt (bis 50 %), eingesetzt werden soll. Die Rostfeuerung ist allerdings äußerst regelträge, d.h. auf Lastwechsel kann nur sehr langsam reagiert werden. Diese Technik eignet sich daher vor allem für die Grundlastabdeckung. Die Investitionskosten für Rostfeuerungen liegen derzeit noch höher als für vergleichbare Unterschubfeuerungen.

Unterschubfeuerungen weisen im Gegensatz zur Rostfeuerung Vorteile bei der Regelbarkeit auf. Lastzustände können vergleichsweise schnell geändert werden. Daher sind diese Anlagen auch für den längeren Betrieb im Teillastbereich prädestiniert. Allerdings stellen sie höhere Anforderungen an die Homogenität der Beschaffenheit des Brennstoffs. Unter anderem muss der Wassergehalt des Brennstoffs niedriger sein als bei Rostfeuerungen. Er darf maximal 40 % betragen.

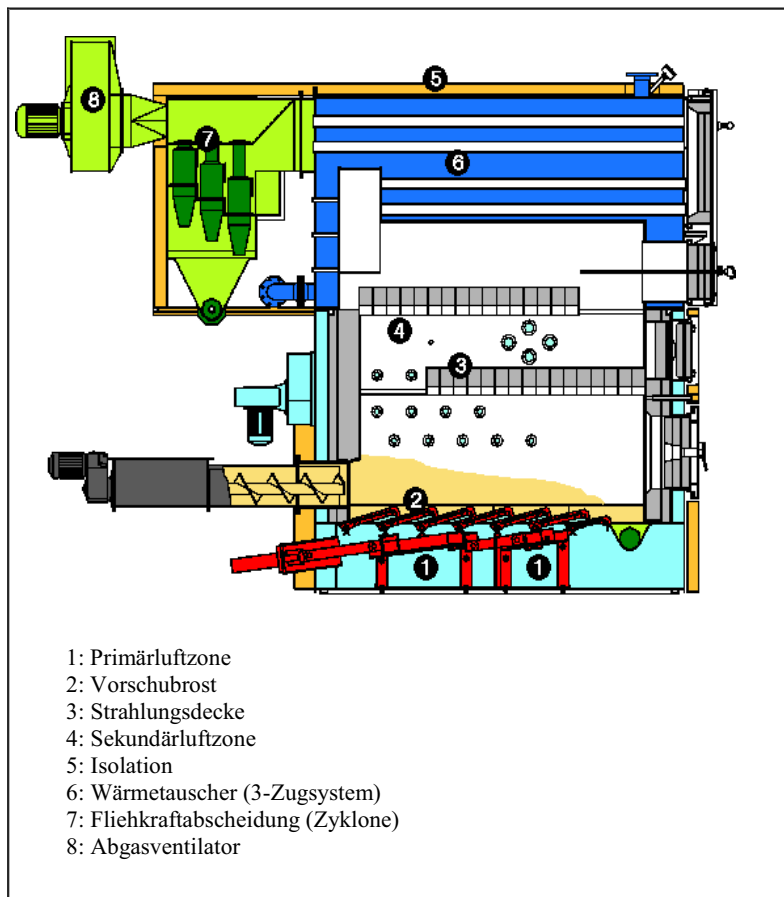


Abbildung 2: Prinzipskizze einer Unterschubfeuerung

Quelle: Schmid AG, CH - Eschlikon ( 2003)

Produkt: Holzfeuerungen & Anlagensysteme, Internetauftritt: [www.holzfeuerung.ch](http://www.holzfeuerung.ch)

Die Vorofenfeuerung zeichnet sich durch einen separaten Feuerungsraum - einen sog. Entgasungsraum - aus. Der eigentliche Kessel mit dem Flammenraum ist dieser Komponente nachgelagert. Im Vorofen wird der Brennstoff durch dosierte Luftzugabe zum Teil verbrannt. Durch die entstehende Wärme wird der andere Teil des Brennstoffs vergast. Diese gasförmigen Produkte werden in den Flammraum des Kessels geleitet, wo sie unter Zugabe von Sekundärluft verbrennen. Eine Vorofenfeuerung kann auch an einen bestehenden Ölkessel angeschlossen werden. Solche Anlagen zeichnen sich vor allem durch ihre gute Regelbarkeit aus, können allerdings nicht mit allen Hackschnitzelsortimenten betrieben werden.

Für die Beförderung des Brennstoffes vom Bunker zum Kessel stehen verschiedene Systeme zur Verfügung. Offene oder geschlossene Förderschnecken transportieren das Material nach dem Prinzip der „Archimedischen Schraube“. Größere Holzstücke oder Fremdkörper können allerdings zum Verklemmen der Mechanik führen. Kratzketten sind für dieses Problem ebenfalls anfällig. Eine geringe Verstopfungsneigung weisen hydraulische Fördersysteme auf. Hier werden keilförmige Schiebeleche auf Schiebestangen hin und her bewegt. Dies ist allerdings mit deutlich höheren Investitionskosten verbunden.

Zur Entaschung der Rost- oder Unterschubfeuerungen wird der grobe Ascheanteil direkt aus der Feuerung ausgeschleust. Dies geschieht z.B. mit Hilfe eines Schneckensystems, welches die Rostasche zum Aschebehälter befördert. In der notwendigen Entstaubungseinrichtung muss dann noch die anfallende Flugasche abgeschieden werden. Die Flugasche ist, bedingt durch höhere Schadstoffbelastung, getrennt zu sammeln und ordnungsgemäß zu entsorgen.

Bei der Lagerung des Brennmaterials ist zunächst auf einen geeigneten und befestigten Untergrund zu achten. Das Brennmaterial sollte zwingend mit einem Witterungsschutz gelagert werden, um eine Wiederbefeuchtung zu vermeiden. Das Brennstofflager muss so dimensioniert sein, dass mindestens ein Vorrat für 5 Tage bei Volllastbetrieb gelagert werden kann. Häufig ist es sinnvoll, den Bunker auf mindestens 100 m<sup>3</sup> auszulegen, um eine Sattelzugladung (2 x 40 m<sup>3</sup>- Container) einlagern zu können.

### **Spezifische Investitionskosten**

Tabelle 4 zeigt die spezifischen Investitionskosten in €/kW für Feststoff-Biomassefeuerungen für verschiedene Leistungsbereiche. Dabei handelt es sich um Komplettkosten für Kessel, Brennstofflagerung, Brennstoffförderung, Ascheaustrag, Rauchgasreinigung und die erforder-

lichen baulichen Maßnahmen. Es zeigt sich, dass eine größere Anlage bei gleicher Technologie spezifisch günstiger ist als eine kleinere Variante. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Technologien, etwa Unterschub- und Rostfeuerungen, die spezifischen Kosten beeinflussen: die Unterschubfeuerung liegt im unteren Bereich der angegebenen Kosten, die Rostfeuerung rangiert an der oberen Grenze.

Der erneute Anstieg der Investitionskosten im Leistungsbereich oberhalb 1 MW ist im wesentlichen auf erhöhte Anforderungen bei der Abgasreinigung zurückzuführen. Holzfeuerungen sind ab 1 MW Feuerungswärmeleistung grundsätzlich als genehmigungsbedürftige Anlagen eingestuft, in Kombination mit weiteren Feuerstätten (z.B. Erdöl oder Erdgas) kann eine Genehmigung bereits bei geringeren Leistungen erforderlich sein. Damit sind entsprechend höhere immissionsschutzrechtliche Anforderungen einzuhalten.

Tabelle 4: Spezifische Investitionskosten für Feststoff-Biomassefeuerungen

<b>Thermische Leistung in kW</b>	<b>Anlagekosten in Euro/kW</b>
100 - 500 kW	200 - 400 €
500 - 999 kW	150 - 350 €
1000 - 5000 kW	200 - 400 €

Quelle: Leitfaden Bioenergie (Fichtner 2000/ Neubarth und Kaltschmitt 2000/ Hartmann und Kaltschmitt 2002).

Im Vergleich zu einer konventionellen Heizung liegen die Investitionen für eine Holzfeuerung, je nach Größe und Ausführung um das 1,5 - 3,0-fache über denen einer vergleichbaren Öl- oder Gaskesselanlage.

### **Wärmegestehungskosten**

Um eine Aussage über die tatsächliche Wirtschaftlichkeit einer Holzfeuerungsanlage (vergl. hierzu Kapitel: Wirtschaftlichkeitsberechnung, Seite 25) zu machen, ist es wichtig, die so genannten Wärmegestehungskosten zu ermitteln. Diese errechnen sich anhand einer Vollkosten-

rechnung, welche Investitions- und Finanzierungskosten, Kapitalverzinsung, Wartungs- und Reparaturaufwand, Kosten für Ascheentsorgung und Brennstoffkosten berücksichtigt.

Zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit muss eine solche Vollkostenrechnung auch für die fossile Alternative erstellt werden. Auf dieser Grundlage kann dann die unternehmerische Entscheidung getroffen werden. Zentrale Kriterien sind dabei die Prognose des eigenen Wärmebedarfs und die Preisentwicklung der Brennstoffe.

Wenn der Brennstoffpreis für Hackschnitzel gegenüber Erdöl entsprechend niedrig und die Auslastung der Anlage ausreichend hoch ist, sind in der Regel Holzhackschnitzelheizungen kostengünstiger als herkömmliche Ölheizungen. Die Brennstoffkosten sind mit nachhaltigen Preisen zu kalkulieren.

### **2.2.2 Halmgutartige Biomasse (z.B. Stroh)**

Der Brennstoff Stroh ist als nachwachsender Rohstoff in ländlichen Gebieten in großen Mengen vorhanden, da Stroh in der Landwirtschaft als Nebenprodukt anfällt. Die Verbrennung ist sowohl als Ballen (Groß- oder Kleinballen), als Häckselgut oder als Pellet möglich.

In Deutschland sind noch nicht viele Heizanlagen in einer Größenordnung über 100 kW im Einsatz. Dabei gilt auch zu beachten, dass bei Anlagen über 100 kW die strengen Abgasgrenzwerte der TA-Luft einzuhalten sind. Dies ist nur durch sehr gute Filtertechnik erreichbar, die die Anschaffung erheblich verteuert.

Der Heizwert ( $H_i$ ) beträgt bei Stroh 17,2 MJ/kg TM und bei Heu 16,6 MJ/kg TM. Das bedeutet, dass ca. 2,5 kg trockenes Stroh 1 Liter Heizöl ersetzen können.

Im Bereich der Feuerungstechnik ist die automatische Brennstoffzufuhr problematisch. Auch muss eine trockene Strohlagerung in ausreichender Menge gegeben sein.

Der Ascheschmelzpunkt liegt mehrere hundert Grad Kelvin tiefer als bei Holz, deshalb kann die Asche an der Innenseite der Feuerungsanlage festbacken, was letztendlich zur Verschlackung führt. Zusätzlich ist bei Heu und Stroh der Chlorgehalt und der Aschegehalt etwa um das 10 - fache (Größenordnung: 0,5 Gewichtsprozent bei Holz, 5 Gewichtsprozent bei Stroh) gegenüber Holz höher.

Im höheren Temperaturbereich kann es zu Hochtemperatur-Chlorkorrosion kommen. Deshalb haben die Kessel in der Regel keine so lange Lebensdauer, ebenso sind auch erhöhte HCl - Emissionen möglich. Es kommt häufiger zu verstärkten Ablagerungen in den Rauchgaszügen.

Zur Vermeidung der Ascheschmelzung (Ascheschmelzpunkt Weizenstroh bei ca. 1000 °C) werden beispielsweise wassergekühlte Wendekammern oder Verbrennungsroste eingesetzt. Gleichzeitig können die Kessel und Rauchgaszüge mit automatischen Rohrreinigern sowie mit automatischen Ascheräumungssystemen ausgestattet werden. Derzeit wird an technischen Lösungen zur Emissionsminderung gearbeitet. Einige Anbieter können bereits die Grenzwerte nach TA-Luft einhalten. Emissionen hängen jedoch sehr stark von der Qualität des Brennstoffes ab.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung (siehe Tabelle 5) bezieht sich auf eine Strohheizanlage mit einer Wärmeleistung von 1 MW und einer jährlichen Laufzeit von 1.500 Vollbenutzungsstunden zur Verbrennung von Strohballen. Die Brennstoffzufuhr erfolgt über eine Strohtransportbahn. Die Länge der Transportbahn kann so gewählt werden, dass der Brennstoffvorrat für ca. 4 Tage ausreicht. Mit einem Ballenauflöser können Quader oder Rundballen zerkleinert werden. Das Halmgut wird über Rohrleitungen mit Hilfe eines Gebläseluftstromes zum Kesselraum transportiert. Am Rohrende wird das Halmgut in einem Zyklon vom Luftstrom getrennt und über eine Zellenradschleuse luftdicht an das Beschickungssystem übergeben. Der Wirkungsgrad der Anlage beläuft sich auf ca. 88%. Der Kessel ist mit automatischer pneumatischer Rohrreinigung sowie mit einem automatischen Aschenräumsystem ausgestattet. Die Rauchgasreinigung erfolgt über einen Gewebefilter.

Tabelle 5: Wirtschaftlichkeitsberechnung Strohfeuerungsanlage (Leistung: 1 MW)

Kosten der Anlage (netto) incl. 21m Strohtransportbahn zur Brennstoffbeschickung, Verbrennungseinrichtung und Ascheaustrag (ohne bauliche Veränderungen)	205.000 €
Jahreskosten (5% Zins, 10% Abschreibung (Afa), 3% Reparatur)	31.775 €
Nebenkosten für Ascheentsorgung, Bedienstunden, Hilfsenergie	7.041 €
Energiekosten (ersetzt werden 150.000 l Heizöl, entspricht 481.278 kg Stroh) bei einem Strohpreis von 40 €/t	19.280 €
Summe jährliche Kosten:	58.096 €
Einsparung an Heizölkosten (150.000 l bei einem Preis von 50 Cent/l) und Nebenkosten für die Ölheizung	75.938 €
<b>Jährliche Einsparung (Kostenvorteil)</b>	<b>17.842 €</b>

Die Wirtschaftlichkeit der Anlage ist sehr stark vom Strohpreis abhängig. Dieser kann je nach Herkunft und Transportweg sehr stark variieren und ist deshalb vor allem für Anlagen in länd-

lichen Gebieten interessant. Weitere Anmerkungen zur Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen sind am Ende des folgenden Kapitels aufgeführt.

### **2.2.3 Getreide**

Getreide wird aufgrund der niedrigen Preise und der Möglichkeit, minderwertiges Getreide (z. B. durch Fusariumbefall) oder Getreideausputz energetisch nutzen zu können, als Brennstoff interessant. Getreide besitzt für die Verbrennung gute mechanische und physikalische Eigenschaften. Es besitzt eine relativ hohe Dichte, eine gute Rieselfähigkeit und eine große Homogenität, so dass hier optimale Transport- und Dosierfähigkeit gegeben sind. Auch die Zufuhr des Getreidebrennstoffes in den Brennraum der Feuerungsanlage ist z. B. mit Förderschnecken leicht möglich. Der Heizwert von Getreide ist mit dem von Holz vergleichbar. Er liegt bei ca. 4 kWh/kg. Ein Liter Heizöl EL lässt sich durch ca. 2,5 kg Getreide ersetzen.

Auf Grund der ungünstigen Brennstoffeigenschaften von Getreide (höherer Schadstoffausstoß als Holz) ist Getreide in Kleinfeuerungsanlagen (1. BImSchV) bis 100 kW nicht als Regelbrennstoff zugelassen. Das bedeutet, dass für die Verbrennung von Getreide in Feuerungen bis 100 kW eine Sondergenehmigung vom zuständigen Landratsamt bzw. der Großen Kreisstadt erteilt werden muss. Die Erteilung dieser Ausnahmegenehmigung ist an vorgegebene Schadstoffgrenzwerte gebunden. In größeren Feuerungsanlagen ab 100 kW kann Getreide allgemein eingesetzt werden. Allerdings ist für eine solche Feuerung eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich, und es gelten die Emissionsgrenzwerte der TA Luft.

Weitere Nachteile sind der hohe Ascheanteil und der niedrige Asche-Schmelzpunkt bei Getreide (Erweichungspunkt von Getreideasche bei ca. 700°C). Somit ist die Gefahr der schnellen Verschlackung gegeben. Die Ascheerweichung lässt sich durch Beimischen von 1-2 % Branntkalk verhindern. Ebenso möglich ist das Mischen mit anderen Brennstoffen wie z.B. Hackschnitzeln oder Pellets. Auch der Chlorgehalt ist bei Getreide (Körner und Stroh) gegenüber Holz höher. Im höheren Temperaturbereich kann es deshalb zur Hochtemperatur-Chlorkorrosion kommen, die die Kessel angreift und damit zu einer kürzeren Lebensdauer führt. Zusätzlich kommt gegenüber Holz ein höherer Wartungsaufwand infolge vermehrter Staubablagerungen in den Rauchgaszügen hinzu.

Die Verbrennungstechnik für Getreide und Halmgüter hat noch nicht den hohen technischen Entwicklungsstand wie bei Holzfeuerungsanlagen erreicht. Es besteht daher noch ein großes Entwicklungspotential bei der Optimierung der Getreideverbrennung. Die wenigen Anlagen, in denen zur Zeit Getreide verbrannt wird, sind in der Regel Holzverbrennungsanlagen, die an die Bedingungen zur Getreideverbrennung angepasst wurden (z.B. wassergekühlte Verbrennungsroste oder Mulden zur Verringerung der Ascheschmelze oder Ascheschieber). Zur Minderung der Staubemissionen reichen die in Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW eingesetzten üblichen Multizyklone nicht aus. Zur Einhaltung der Grenzwerte sind z. B. teurere und wartungsaufwändigere Gewebefilter nötig.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung (siehe Tabelle 6) wird beispielhaft an einer Heizanlage zur Verfeuerung von Getreidekörnern mit einer Wärmeleistung von 1 MW durchgeführt. Zugrunde gelegt ist eine Jahreslaufzeit von 1.500 Volllaststunden. Die Kesselanlage besteht aus einer wassergekühlten Brennmulde, einem Nachbrennraum, einem Verbrennungsluftgebläse und einer Zündvorrichtung. Der Brennstoff wird mit Hilfe eines Schneckenstokers zum Brennraum transportiert. Auch diese Anlage verfügt über eine automatische Entaschung und Rauchgasreinigung mittels eines Gewebefilters. In den Investitionskosten ist der Bau eines Lagerraumes für den Brennstoff nicht mitberücksichtigt. Auch hier spielt der Preis und die Verfügbarkeit des Brennstoffes eine erhebliche Rolle in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit.

Tabelle 6: Wirtschaftlichkeitsberechnung Getreidefeuerungsanlage (Leistung 1: MW)

Kosten der Anlage (netto) incl. Brennstoffzufuhr, Verbrennungseinrichtung und Ascheaustrag (ohne bauliche Veränderungen)	185.000 €
Jahreskosten (5% Zins, 10% Afa, 3% Reparatur)	28.675 €
Nebenkosten für Ascheentsorgung, Bedienungsstunden, Hilfsenergie	6.616 €
Energiekosten (ersetzt werden 150.000 l Heizöl, entspricht 421.730 kg Getreide) bei einem Getreidepreis von 60 €/t	25.304 €
Summe jährliche Kosten:	60.595 €
Einsparung an Heizölkosten (150.000 l bei einem Preis von 50 Cent/l) und Nebenkosten Ölheizung	75.938 €
<b>Jährliche Einsparung (Kostenvorteil)</b>	<b>15.343 €</b>

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Stroh und Getreide können nur als Anhaltswert dienen. Es liegen zu wenige Daten über ausgeführte Anlagen vor. Im Bereich Gartenbau ist derzeit keine Anlage bekannt. Diese Anlagen sollten, wie andere Heizanlagen mit Festbrennstoffen auch, im Grundlastbetrieb eingesetzt werden. Für die Spitzenlast ist dann noch eine Öl- oder Gasheizung erforderlich.

### **2.3 Nutzung der Abwärme von Biogasanlagen**

Biogas besteht hauptsächlich aus dem Kohlenwasserstoff Methan, das bei jeder sauerstofffreien Umwandlung von Biomasse entsteht. In feuchter Umgebung und unter Luftabschluss verrottet Biomasse durch die Stoffwechselaktivität natürlicher Methanbakterien. Als Biomasse können eingesetzt werden: Gülle, pflanzliche Biomasse (z. B. Mais), organische Pflanzenreste oder Lebensmittelabfälle. Aufgrund der Vergütungen nach dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe besonders interessant. Der Gärrest kann als Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden. Zum Betreiben einer Biogasanlage sind in der Regel landwirtschaftliche Flächen sowohl zur Produktion der Biomasse als auch zur Ausbringung der Gärreste in erheblichem Umfang notwendig.

Das Biogas muss vor der Verwertung in einem Verbrennungsmotor entwässert und entschwefelt werden. Der Motor erzeugt über einen Generator Strom, der ins Netz eingespeist wird. Hier werden Wirkungsgrade um 35 % erreicht. Der thermische Wirkungsgrad des Motors liegt bei 50 %.

Die Wärme wird allerdings bei den meisten Biogasanlagen kaum verwertet, da entsprechende Abnehmer in der Nähe der Anlagen in der Regel fehlen. Liegt ein Gartenbaubetrieb in der Nähe eines landwirtschaftlichen Betriebes, der eine Biogasanlage betreibt, dann kann die Wärmeversorgung der Gärtnerei mit Wärme von der Biogasanlage interessant sein.

Zunächst ist zu prüfen, ob das Wärmeerzeugungsprofil der Biogasanlage zu dem Wärmebedarfsprofil des Gartenbaubetriebes passt. Die Biogasanlage liefert im Sommer mehr Wärme

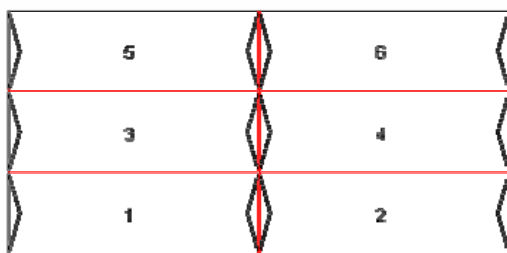
als im Winter. Der Gartenbaubetrieb dagegen braucht im Sommer wenig oder keine Wärme, aber im Winter sehr viel.

Für den Wärmetransport werden Fernwärmeleitungen mit vorisolierten, erdverlegten Rohren benötigt, die zwischen 100 und 200 €/lkm kosten. Müssen Hindernisse unterfahren werden, können die Kosten deutlich steigen.

### 3. Wirtschaftlichkeitsberechnung

(Vergleich Heizöl, Pellets, Hackschnitzel, Kohle)

In einem Beispiel (Abbildung 3) ist dargestellt, wie sich die Kosten verändern, wenn die bestehende Heizung (Heizöl EL) einer Gewächshausanlage mit 6.000 m<sup>2</sup> durch einen 2. Energieträger ergänzt wird.



Grundfläche: 6.000 m<sup>2</sup>  
Hüllfläche: 7.951 m<sup>2</sup>  
Dach: Einfachglas  
Giebel und Stehwände: Isolierglas  
Energieschirm im Dachbereich

Abbildung 3: Gewächshausanlage mit 6 Abteilungen

In Tabelle 7 werden Energieverbrauch und Energiekosten im Modellbetrieb dargestellt. Ausgehend vom oben genannten Beispiel werden zwei Varianten bei der Temperaturführung berücksichtigt. Variante 1 mit einer Heiztemperatur von Tag/Nacht 18/16°C, Variante 2 mit einer Heiztemperatur von Tag/Nacht 16/14°C.

**In den folgenden Modellrechnungen wird davon ausgegangen, dass die genannten Temperaturen der Varianten 1 und 2 ganzjährig konstant in der gesamten Gewächshausanlage gefahren werden!**

Tabelle 7: Energieverbrauch und Energiekosten im Modellbetrieb

<b>Jährlicher Energieverbrauch und Energiekosten</b>				
	<b>Variante 1</b>		<b>Variante 2</b>	
	<b>Menge</b>	<b>Kosten</b>	<b>Menge</b>	<b>Kosten</b>
Gewächshausgrundfläche	6.000 m <sup>2</sup>		6.000 m <sup>2</sup>	
Heizöl EL	215.000 Liter	107.500 €	168.000 Liter	84.000 €
Heizöl EL/m <sup>2</sup>	36 Liter	17,92 €	28 Liter	14,00 €
Zusatzenergie Strom	20.000 KWh	2.400 €	16.000 KWh	2.000 €
<b>Gesamt</b>		<b>109.900 €</b>		<b>86. 000 €</b>
<b>Gesamt/m<sup>2</sup></b>		<b>18,32 €</b>		<b>14,33 €</b>

Wie aus den folgenden Tabellen 8 und 9 zu entnehmen ist, wird in den Varianten 1 und 2 des Betriebsmodells zur bestehenden Ölheizung eine Alternativheizung (Pellets, Hackschnitzel bzw. Kohle) eingerichtet. Dabei wurde unterstellt, dass die Ölheizung noch nicht abgeschrieben ist und weiterhin jährliche Festkosten für diese Ölheizung anfallen.

In den Zeilen "Jährliche Ersparnis gegenüber Heizöl EL" im Vergleich beider Tabellen wird deutlich, dass bei Variante 2 die Ersparnis aufgrund des geringeren Energiebedarfs bei nahezu gleicher Heizleistung deutlich geringer ausfällt als bei Variante 1.

In den Beispielrechnungen wurden keinerlei staatliche Förderungen mit einberechnet. Bei Berücksichtigung solcher Förderungen verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der geförderten Anlagen.

Tabelle 8: Kostenvergleich bei Variante 1 (Temperaturführung Tag/Nacht 18/16°C)

	Heizöl EL	HEL + Pellets	HEL + Hackschnitzel	HEL+ Kohle(Anthrazit)
Heizleistung	1.330 kW	1.330 kW 500 kW	1.330 kW 500 kW	1.330 kW 750 kW
Investitionskosten	100.000 €	160.000 €	190.000 €	140.000 €
Brennstoffverbrauch	215.000 L	25.000 L 380 t	25.000 L 2.850 m³	15.000 L 240 t
Brennstoffpreis	0,50 €	0,50 € 120,00 €	0,50 € 12,00 €	0,50 € 185,00 €
Energiekosten	107.500 €	12.500 € 45.600 €	12.500 € 34.200 €	7.500 € 44.400 €
Nebenkosten <sup>1)</sup>	1.344 €	156 € 4.550 €	156 € 5.500 €	94 € 3.600 €
Jahreskosten <sup>2)</sup>	13.500 €	10.200 € 21.600 €	10.200 € 25.650 €	10.200 € 19.000 €
Summe	122.344 €	22.856 € 71.750 €	22.856 € 65.350 €	17.794 € 67.000 €
<b>Kosten der Variante</b>	<b>122.344 €</b>	<b>94.606 €</b>	<b>88.206 €</b>	<b>84.794 €</b>
<b>Jährliche Ersparnis gegenüber Heizöl EL (0,50 €/Liter)</b>		<b>27.738 €</b>	<b>34.138 €</b>	<b>37.550 €</b>
<b>Jährliche Ersparnis gegenüber Heizöl EL (0,40 €/Liter)</b>		<b>8.500 €</b>	<b>14.900 €</b>	<b>17.300 €</b>

Tabelle 9: Kostenvergleich bei Variante 2 (Temperaturführung Tag/Nacht 16/14°C)

	Heizöl EL	HEL + Pellets	HEL + Hackschnitzel	HEL + Kohle(Anthrazit)
Heizleistung	1.240 kW	1.240 kW 500 kW	1.240 kW 500 kW	1.240 kW 750 kW
Investitionskosten	100.000 €	160.000 €	190.000 €	140.000 €
Brennstoffverbrauch	168.000 L	18.000 L 300 t	18.000 L 2.250 m³	10.000 L 200 t
Brennstoffpreis	0,50 €	0,50 € 120,00 €	0,50 € 12,00 €	0,50 € 185,00 €
Energiekosten	84.000 €	9.000 € 36.000 €	9.000 € 27.000 €	5.000 € 37.000 €
Nebenkosten <sup>1)</sup>	1.050 €	113 € 4.400 €	113 € 5.300 €	63 € 3.450 €
Jahreskosten <sup>2)</sup>	13.500 €	10.200 € 21.600 €	10.200 € 25.650 €	10.200 € 19.000 €
Summe	98.550 €	19.313 € 62.000 €	19.313 € 57.950 €	15.263 € 59.450 €
<b>Kosten der Variante</b>	<b>98.550 €</b>	<b>81.313 €</b>	<b>77.263 €</b>	<b>74.713 €</b>
<b>Jährliche Ersparnis gegenüber Heizöl EL (0,50 €/Liter)</b>		<b>17.237 €</b>	<b>21.287 €</b>	<b>23.837 €</b>
<b>Jährliche Ersparnis gegenüber Heizöl EL (0,40 €/Liter)</b>		<b>2.050 €</b>	<b>6.100 €</b>	<b>7.840 €</b>

<sup>1)</sup> Nebenkosten: Bei Öl die Vorfinanzierung des Brennstoffs, bei Holz **zusätzlich** die Mehrkosten für Wartung/Reinigung, Zusatzenergie, Ascheentsorgung, etc. Die Kosten für die Zusatzenergie Strom bei "Heizöl EL" sind hier im Gegensatz zu Tabelle 7 nicht berücksichtigt, da sie sich im Vergleich der verschiedenen Kombinationen nicht verändern und daher keinen Einfluss haben.

<sup>2)</sup> Jahreskosten (Kosten aus der Investition): Zins, Abschreibung (unterschiedliche Sätze bei den Varianten HEL und HEL + Pellets oder Hackschnitzel wegen unterschiedlicher Nutzungsintensität der HEL-Anlage), Reparaturkostenanteil.

Bei Einsatz eines 2. Energieträgers, der im Grundlastbetrieb gefahren wird, kann mit einer Heizleistung von 500 kW in Variante 1 (Tabelle 8) ein Anteil von knapp 90 % und in Variante 2 (Tabelle 9) etwas mehr als 90 % der Jahresheizenergie dieses Betriebes gedeckt werden. Das stimmt aber nur dann, wenn dieser 2. Energieträger sehr gut regelbar ist.

Ist im Modellbetrieb z.B. eine Kleinlast von mindestens 30 % erforderlich, dann kann der 2. Energieträger im Grundlastbereich nur den Leistungsbereich zwischen 150 kW und 500 kW abdecken. Um auch den Leistungsbereich unterhalb von 150 kW abzudecken, ist ein Pufferspeicher erforderlich. Bei einem Leistungsbedarf unter 150 kW kann zusätzlich zum betrieblichen Energiebedarf der Pufferspeicher gefüllt werden.

Der gefüllte Pufferspeicher liefert Wärmeenergie, wenn Leistungen unter 150 kW anfallen und bietet auch Reserven bei einem Leistungsbedarf über 500 kW. Auf diese Weise ist es möglich, mit einem relativ kleinen Leistungsanteil einen großen Anteil des Jahresheizenergiebedarfs zu decken.

**Die Beispiele zeigen, dass - wie bereits eingangs erwähnt - keinesfalls mit Pauschalberechnungen operiert werden sollte. Jeder Betrieb muss individuell gerechnet werden. Je höher der Ölpreis, desto größer die Ersparnis bei den Kombinationsverfahren (HEL + Pellets bzw. Hackschnitzel) gegenüber einer ausschließlichen Ölheizung (HEL).**

**Nach Erfahrungen der Technikberater Gartenbau sind insbesondere für Gartenbaubetriebe mit hohem Heizenergieverbrauch (mehr als 100.000 Liter Heizöl/Jahr) Überlegungen zur Umstellung auf preiswertere Brennstoffe interessant. Angesichts der hohen Investitionskosten für die alternativen Heizanlagen ist bei einem niedrigeren Heizenergieverbrauch derzeit nur sehr schwer ein wirtschaftlicher Betrieb zu erreichen.**

## **4. Andere Energiebereitstellungsverfahren**

### **4.1 Blockheizkraftwerke**

Wird in einer Anlage gleichzeitig Wärme und Strom produziert und zur Nutzung bereitgestellt, spricht man von der so genannten Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Unter diesen Begriff fallen sowohl große Heizkraftwerke, wie auch kleinere Kompaktanlagen, die als Blockheizkraftwerke (BHKW) bezeichnet werden.

#### **Funktionsprinzip**

In der Regel bestehen Blockheizkraftwerke aus herkömmlichen Verbrennungsmotoren, die einen Generator betreiben. Neben dem erzeugten Strom fällt durch den Betrieb des Motors Wärme an, die für Heizzwecke zur Verfügung steht. Der Anteil dieser thermischen Energie liegt zwischen 50 und 55 % der Gesamtleistung. Zur gleichen Zeit werden rund 30 bis 35 % mechanische Energie produziert, die in Strom umgewandelt wird.

Bei den verwendeten Kraftstoffen dominieren Heizöl und Erdgas, wobei in jüngster Zeit immer häufiger regenerative Energieträger wie Pflanzenöl und Biogas eingesetzt werden.

#### **BHKW im Gartenbau**

Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz eines Blockheizkraftwerkes ist die gleichzeitige Nutzung von Strom und Wärme. Während die thermische Energie in ein bestehendes Warmwasser-Heizsystem eingespeist wird, gibt es bei der Stromverwendung zwei Möglichkeiten:

1. Verwendung im Betrieb z. B. für Assimilationsbelichtung
2. Einspeisung in das Netz.

Im ersten Fall ist es sinnvoll, das BHKW mit fossilen Brennstoffen zu betreiben. Die Einspeisung des Stroms ins Netz lohnt kaum (siehe Tabelle 10), da die Vergütung je kWh hier nach dem KWK-Gesetz erfolgt. Wegen der hohen Investitionskosten rechnet sich eigenerzeugter Strom in der Regel nur bei entsprechendem Strombedarf (siehe Tabelle 11).

Soll nur die Wärme eines BHKW genutzt werden, sind regenerative Energieträger (Pflanzenöl, Biogas) sinnvoll, da die Einspeisevergütung (Grundvergütung, NawaRo- und KWK-Bonus) weitaus höher liegt. Erfolgt beispielsweise die Inbetriebnahme eines solchen BHKW's im Jahr 2006, so beträgt die Grundvergütung bei Anlagen bis 150 kW Stromleistung 11,16 ct/kWh. Für jedes spätere Inbetriebnahmejahr sinkt die Grundvergütung um jeweils 1,5 %. Die Grundvergütung des entsprechenden Einstiegsjahres wird über 20 Jahre garantiert. Darüber hinaus kann ein Bonus von 6 ct/kWh für den Einsatz nachwachsender Rohstoffe (NawaRo-Bonus) und 2,0 ct/kWh für die Nutzung der anfallenden Wärme (KWK-Bonus) gewährt werden. Bei nur teilweiser Wärmeverwertung wird der KWK-Bonus entsprechend gekürzt. Zu beachten ist hierbei, dass Pflanzenöl mit derzeit 60 ct/l teurer ist als Heizöl und zudem einen geringeren Heizwert (9,6 kWh/l) aufweist.

Tabelle 10: Einspeisevergütung für Strom aus einem BHKW bei Inbetriebnahme 2006

<b>fossile Brennstoffe nach KWK-Gesetz</b>		<b>regenerative Brennstoffe (Rapsöl-BHKW) nach EEG</b>			
			bis 150 kW	bis 500 kW	bis 5000 kW
Einspeisevergütung <sup>1)</sup>	ca. 3,85 ct/kWh	Grundvergütung <sup>3)</sup>	11,16 ct/kWh	9,60 ct/kWh	8,64 ct/kWh
vermiedene Netzkosten	ca. 0,50 ct/kWh	NawaRo-Bonus	6,00 ct/kWh	6,00 ct/kWh	4,00 ct/kWh
KWK-Zuschlag 1 <sup>2)</sup>		KWK-Bonus <sup>4)</sup>	2,00 ct/kWh	2,00 ct/kWh	2,00 ct/kWh
2006 u. 2007	2,25ct/kWh				
2008 u. 2009	2,10ct/kWh				
2010	1,94ct/kWh				
<b>Gesamt</b>	<b>6,3 – 6,6 ct/kWh</b>	<b>Gesamt</b>	<b>19,16 ct/kWh</b>	<b>17,60 ct/kWh</b>	<b>14,64 ct/kWh</b>

<sup>1)</sup> richtet sich nach dem Baseload-Strom Preis der EEX Strombörse in Leipzig (Stand I/2005)

<sup>2)</sup> Zuschläge nach §5 KWK-Gesetz

<sup>3)</sup> sinkt jährlich für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 1,5%. Zur Einstufung in die Schwellenwerte wird die Jahressumme der abzunehmenden Kilowattstunden durch die Summe der Zeitstunden eines Jahres (8760) geteilt (§ 12, Abs. 2 EEG)

<sup>4)</sup> Der KWK-Bonus wird für den Teil des Stroms vergütet, der der genutzten Wärme entspricht

## Wirtschaftlichkeitsberechnung

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeitsberechnung BHKW

	BHKW (Heizöl EL)		BHKW (Pflanzenöl)	
	mit Assimilations- belichtung 2.500 Lux	ohne Assimilati- onsbelichtung	geringe Laufzeit	hohe Laufzeit
Mechanische Leistung	150 kW	150 kW	150 kW	150 kW
Thermische Leistung	236 kW	236 kW	275 kW	275 kW
Vollbenutzungsstunden	1.500 h	1.500 h	1.500 h	3.000 h
Investitionskosten BHKW	114.500 €	114.500 €	124.465 €	124.465 €
Stromerzeugung	225.000 kWh	225.000 kWh	225.000 kWh	450.000 kWh
Jahresstromverbrauch	250.000 kWh	50.000 kWh	nicht relevant	nicht relevant
Strompreis	0,11 €/kWh	0,11 €/kWh	nicht relevant	nicht relevant
Preis Heizöl / Pflanzenöl	0,50 €/Liter	0,50 €/Liter	0,60 €/Liter	0,60 €/Liter
Heizwert Heizöl / Pflanzenöl	10,20 kWh/l	10,20 kWh/l	9,60 kWh/l	9,60 kWh/l
Jahresbrennstoffverbrauch BHKW	64.286 Liter	64.286 Liter	78.125 Liter	156.250 Liter
Wärmeerzeugung	354.000 kWh	354.000 kWh	412.500 kWh	825.000 kWh
<b>Erlöse pro Jahr</b>				
Stromersatz	24.750 €	5.500 €	nicht relevant	nicht relevant
Stromeinspeisevergütung	0 €	11.812 €	38.610 €	77.220 €
Wärmerzeugung	20.580 €	20.580 €	23.512 €	47.024 €
Wert für KWK-Bonus	nicht relevant	nicht relevant	4.500 €	9.000 €
Mineralölsteuerrückerstattung	3.418 €	3.418 €	nicht relevant	nicht relevant
Stromsteuerersparnis	2.767 €	820 €	nicht relevant	nicht relevant
<b>Summe</b>	<b>51.515 €</b>	<b>42.130 €</b>	<b>66.622 €</b>	<b>133.244 €</b>
<b>Kosten pro Jahr</b>				
Abschreibung	7.633 €	7.633 €	8.298 €	9.335 €
Generalüberholung	1.862 €	1.862 €	1.862 €	3.723 €
Zins	3.435 €	3.435 €	3.112 €	3.112 €
Wartung	3.308 €	3.308 €	1.446 €	2.893 €
Brennstoff	32.143 €	32.143 €	46875 €	93750 €
<b>Summe</b>	<b>48.381 €</b>	<b>48.381 €</b>	<b>61.592 €</b>	<b>112.813 €</b>
<b>Mehrkosten (-) bzw. Ersparnis (+) gegenüber Ölhei- zung bei Heizölpreis 0,50 €/L</b>	<b>+ 3.134 €</b>	<b>- 6.251 €</b>	<b>+ 5.030 €</b>	<b>+ 20.432 €</b>
<b>Mehrkosten (-) bzw. Erspar- nis (+) gegenüber Ölheizung bei Heizölpreis 0,40 €/L</b>	<b>+ 5.428 €</b>	<b>- 3.956 €</b>	<b>+ 328 €</b>	<b>+ 11.027 €</b>

## 4.2 Geothermie

Geothermische Energie ist als Wärme unter der festen Erdoberfläche gespeichert. Ein Liter Erdinhalt enthält im Durchschnitt 2,6 kWh. Die Temperatur der Erde nimmt zum Erdinneren hin je 100 m um ca. 3° C zu und erreicht im Erdkern mehr als 5.000 °C. Der Wärmehalt der Erde würde den heutigen Weltenergiebedarf für 30 Millionen Jahre decken können. Das Erdwärmepotenzial ist also riesig, fast unerschöpflich, ähnlich wie die Sonnenenergie. Allerdings ist der Aufwand zur Nutzung dieses Energiepotenzials sehr hoch.

Bei der Erdwärmennutzung unterscheidet man die oberflächennahe Geothermie (bis 400 m Tiefe) und die Tiefengeothermie.

Mit Tiefbohrprojekten erreichte man bisher eine maximale Tiefe von 12 km. In verschiedenen Tiefbohrprojekten mit Tiefen um 2.000 bis 5.000 m wurden Gesteinsschichten mit Temperaturen um 200 bis 300 °C erreicht. Der Aufwand zur Nutzung dieses Erdwärmepotenzials ist enorm und rechnet sich nur für Großanwendungen.

Die Nutzung der oberflächennahen Geothermie ist möglich mit Erdwärmekollektoren, die in 1,2 bis 2 m Tiefe verlegt werden, mit Erdwärmesonden bis 150 m Tiefe oder über das Grundwasser.

Mit Erdwärmekollektoren ist eine spezifische Wärmeentzugsleistung von 10 bis 40 W/m<sup>2</sup> Kollektorfläche möglich. Für 100 kW Heizleistung braucht man also mindestens 2.500 m<sup>2</sup> Kollektorfläche. Das reicht dann gerade für 500 m<sup>2</sup> Gewächshausfläche. In der Praxis dürfte das kaum reichen, da bis 2 m Tiefe das Erdreich im Winter stark auskühlt.

Erdwärmesonden sind nicht so witterungsabhängig. Die spezifische Wärmeentzugsleistung von Erdwärmesonden liegt bei 20 bis 80 W/m Sondenlänge. Das Temperaturniveau liegt bei 10 bis 15 °C. In einigen Gebieten der Erde reicht vulkanisches Gestein näher an die Erdoberfläche heran. Dort werden schon in geringeren Tiefen höhere Temperaturen erreicht.

Ist ausreichend Grundwasser vorhanden, kann dieses als Wärmeträgermedium verwendet werden. Über einen Förderbrunnen wird das Wasser entnommen. Nachdem ihm in der Wärmepumpe Wärme entzogen wurde, kann das abgekühlte Wasser über einen Schluckbrunnen

wieder in den Boden gelangen. Die Brunnen müssen weit genug auseinander liegen und die Fließrichtung des Grundwassers muss beachtet werden. Das abgekühlte Wasser darf nicht zum Förderbrunnen fließen.

Da man mit der niedrigen Temperatur des Grundwassers oder des Bodens (ca. 10 - 15 °C) nicht heizen kann, muss das Temperaturniveau erst mit einer Wärmepumpe angehoben werden. Zum Antrieb der Wärmepumpe benötigt man Energie, i.d.R. Strom, bei großen Anlagen mit Verbrennungsmotorantrieb Heizöl oder Gas. Um möglichst effektiv zu arbeiten, soll das Temperaturniveau des Heizsystems möglichst niedrig sein. Je geringer die Differenz zwischen Bodentemperatur und Heizsystemtemperatur ist, desto günstiger kann die Wärmepumpe arbeiten.

Die Investitionen für Systeme zur Erdwärmenutzung sind sehr hoch. Die Kosten liegen bei 2.500 €/kW. Für eine Öl- oder Gasheizung sind dagegen nur 80 – 120 €/kW (inkl. Gebäudekosten) zu investieren. Zusätzlich benötigt die Geothermieheizung noch ein Niedertemperaturheizsystem.

Angesichts der sehr hohen Investitionen kann sich so eine Anlage nur rechnen, wenn sie eine sehr hohe Auslastung hat. Dies erreicht man, wenn nur ein kleiner Leistungsanteil (< 50 %) im Grundlastbetrieb gefahren wird. Die Niedertemperaturheizung kann dann auf diesen Leistungsanteil ausgelegt werden.

Neben den hohen Investitionskosten sind für die Wirtschaftlichkeit einer Erdwärmeheizung die Stromkosten von entscheidender Bedeutung. Für eine Wirtschaftlichkeitsberechnung ist nicht die Leistungsziffer der Wärmepumpe ausschlaggebend, sondern die Jahresarbeitszahl. Sie enthält auch den Stromverbrauch der erforderlichen Hilfsaggregate wie z.B. für die Pumpen zur Förderung des Wassers. Arbeitet die Wärmepumpenanlage mit einer Jahresarbeitszahl (Verhältnis von in einer Heizperiode erzielter Wärme zum eingesetzten Strom) von 4,0, so wird mit Einsatz von 1 kWh Strom 4,0 kWh Wärme produziert. Wenn 1 kWh Strom 8,0 ct kostet, betragen die Kosten für 1 kWh Wärme unter diesen Bedingungen  $8,0 / 4 = 2,0$  ct. Zum Vergleich kostet durch Heizöl erzeugte Wärme etwa 5 ct/kWh, ist also mehr als doppelt so teuer (bei ausschließlicher Betrachtung der reinen Brennstoffkosten).

Eine Wärmepumpenanlage mit Erdwärmenutzung rechnet sich nur, wenn die Investitionen möglichst niedrig gehalten werden können, die Jahresarbeitszahl der Anlage möglichst über

4,0 und der Strompreis zum Betrieb der Elektrowärmepumpe nicht zu weit über 5,0 ct/kWh liegt. Im Praxisbetrieb werden meist nur Jahresarbeitszahlen von 2,0 - 3,5 erreicht. Bei Grundwassernutzung können die Voraussetzungen etwas günstiger sein. Bei höheren Strompreisen und größeren Anlagen kann auch der Antrieb der Wärmepumpe mit Verbrennungsmotor interessant sein, aber nur, wenn auch die Abwärme ständig genutzt wird.

### **4.3 Abwärmenutzung**

Unter Abwärmenutzung versteht man die Nutzung desjenigen Teils der Gesamtwärme eines Prozesses - z. B. eines Kraftwerksbetriebes -, der selbst nicht verbraucht wird und insofern eine Wärmequelle darstellt. Hier bietet sich z. B. die Nutzung von Kühlwasser aus einem Kraftwerksbetrieb an. Allerdings schränken die niedrigen Wassertemperaturen von ca. 28°C die Einsatzmöglichkeiten stark ein. In Gewächshäusern würde dies Heizsysteme mit extrem großen Heizflächen erforderlich machen, wodurch die Wirtschaftlichkeit von vorne herein in Frage gestellt wäre. Ferner ist der Transport des Kühlwassers über längere Strecken unwirtschaftlich.

Da der Transport von elektrischer Energie billiger ist als der von Wärme, bietet sich vielmehr die Abwärmenutzung bei kleinen, dezentralen Stromerzeugern, wie Blockheizkraftwerken oder Biogasanlagen an. Begünstigt durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) entstehen zur Zeit vielerorts entsprechende Anlagen. Das Kühlwasser dieser Anlagen ist aufgrund seiner Temperatur von 50°-90°C problemlos für die Beheizung von Gärtnereien einzusetzen. Dazu ist allerdings die räumliche Nähe zur Gewächshausanlage erforderlich.

Die Kosten für Fernwärmeleitungen hängen sehr stark vom Aufwand für die Verlegung ab. Sie belaufen sich auf mindestens 100 - 200 €/lkm.

## 5. Contracting

Vor allem für alternative Energiekonzepte bieten sich, bedingt durch die hohen Investitionskosten und das teilweise notwendige Know-How, auch alternative Finanzierungsmöglichkeiten an. Contracting (engl. Vertrag schließend) ist ein Konzept, das in seinem Umfang von der reinen Wärmelieferung bis hin zur energetischen Optimierung des Betriebes reichen kann. Es ist zunehmend verbreitet und vereinzelt auch in Gartenbaubetrieben bereits erfolgreich umgesetzt.

Der Bezug der Wärme erfolgt über einen Dienstleister, der die Anlage mit eigenem Kapital errichtet (z.B. in den Gebäuden des Betriebes, der die Wärme benötigt). Basis hierfür sind langfristige Verträge, i. d. R. mit zweigliedrigem Preissystem, welches aus einem fixen Grundpreis und einem variablen Arbeitspreis besteht. Als Ausgangspunkt für Preisanpassungen werden häufig die Indexzahlen des Statistischen Bundesamtes vertraglich vereinbart. Ein solches Leistungspaket bieten Heizanlagen-Hersteller, große Handwerks- und örtliche Energieversorgungsunternehmen oder auch Energieagenturen an. Im Mittelpunkt des Interesses stehen derzeit vor allem alternative Brennstoffe wie Holz oder Pflanzenöl.

Vorteilhaft für den Gartenbaubetrieb ist, dass zum einen keine finanziellen Mittel gebunden werden und zum anderen die Energiekosten durch langfristige Verträge plan- und überschaubar bleiben. Rückstellungen für Instandhaltung, Wartung und Ersatz obliegen dem Contractor. Darüber hinaus muss sich der Gärtner weder um die Anlage noch um den Brennstoffeinkauf kümmern.

Eine Alternative hierzu ist, insbesondere bei sehr großen Anlagen, die Gründung einer Betriebsgesellschaft. Partner können hierbei Gartenbaubetriebe sowie Unternehmen der Energiewirtschaft oder private Beteiligungsfirmen sein.

## 6. Genehmigungsaspekte

**Die Nutzung von alternativen Energieträgern ist in zahlreichen Rechtsvorschriften geregelt. Je nach Art und Umfang der Anlage kann die Durchführung eines Genehmigungsverfahrens erforderlich sein. Im Folgenden sind die wichtigsten Gesetze und Verordnungen aufgelistet (Stand August 2005).**

### Landesbauordnung Baden-Württemberg (LBO)

Feuerungsanlagen gelten mit der Maßgabe, dass dem Bezirksschornsteinfegermeister mindestens zehn Tage vor Beginn der Ausführung die erforderlichen technischen Angaben vorgelegt werden und er vor der Inbetriebnahme die Brandsicherheit und die sichere Abführung der Verbrennungsgase bescheinigt, als verfahrensfreie Vorhaben (§ 50 Abs.1). Dies bezieht sich jedoch lediglich auf die Anlage selbst und gilt nicht für zu errichtende Gebäude wie beispielsweise eine Lagerstätte.

### Feuerungsverordnung (FeuVO)

Mit der Feuerungsverordnung werden die Anforderungen an Feuerungs-, Wärme- und Brennstoffversorgungsanlagen definiert. Hier finden sich Regelungen zur Beschaffenheit von Feuerstätten, Abgasanlagen und zur Brennstofflagerung. Sie ist auch bei der Aufstellung von Wärmepumpen, Blockheizkraftwerken und ortsfesten Verbrennungsmotoren zu beachten.

### Erneuerbare Energien Gesetz (EEG-Gesetz)

Im Gesetzestext sind die Bedingungen und die Sätze festgelegt, zu denen Strom aus erneuerbaren Energien vergütet werden.

### Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Das Gesetz schreibt eine Genehmigungspflicht für alle Anlagen vor, die Schadstoffe ausstoßen, wie beispielsweise Feuerungs- und Biogasanlagen oder Blockheizkraftwerke (Tabelle 12). Die exakten Grenzwerte für den Ausstoß verschiedener Schadstoffe sind in den Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zum BImSchG festgelegt. Welche Regelung im Einzelfall anzuwenden ist, wird sowohl durch den Brennstoff bzw. das Substrat als auch durch die Feuerungswärmeleistung (FWL) der Anlage bestimmt. Die Zuständigkeit liegt bei den Bau-

behörden oder Gewerbeaufsichtsbehörden, bzw. bei den Umweltämtern der Stadt- und Landkreise.

Tabelle 12: Genehmigungsverfahren für Feuerungsanlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz

Brennstoffart	Genehmigungsverfahren bei Feuerungswärmeleistungen von ...		
	nicht genehmigungsbedürftig Anwendungsbereich der 1. BImSchV	vereinfachtes Verfahren § 19 BImSchG	förmliches Verfahren § 10 BImSchG
Kohle, Koks, Kohlebriketts	< 1 MW	1 bis 50 MW	≥ 50 MW
Biogas	< 10 MW	10 bis 50 MW (Verbrennungsmotoren 1 bis 50 MW)	≥ 50 MW
Heizöl EL, Erdgas	< 20 MW	20 bis 50 MW	≥ 50 MW
Naturbelassenes Holz	15 kW bis 1 MW	1 bis 50 MW	≥ 50 MW
Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe	15 bis 100 kW	100 kW bis 1 MW	1 bis 50 MW

### Regelung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) bei bivalenter Wärmeerzeugung:

Wird die Wärmeerzeugung eines Betriebs mit verschiedenen Brennstoffen oder auch einer Mischung aus Kesseln und einem BHKW erzeugt, muss geprüft werden, ob diese Feuerungsanlagen gemeinsam die Genehmigungsschwelle überschreiten. Dazu wird die installierte Feuerungswärmeleistung der Kessel für feste Brennstoffe sowie für Verbrennungsmotoren durch die spezifische Genehmigungsschwelle von 1 MW geteilt. Ebenso verfährt man mit den installierten Leistungen bei Gas und Öl. Hier beträgt der Teiler 20 MW. Beide Teilergebnisse werden addiert. Ist die Summe kleiner 1, ist kein Genehmigungsverfahren nach BImSchG erforderlich.

### Baugesetzbuch (BauGB)

Beim Bau von Biogasanlagen ist sowohl die Landesbauordnung als auch das Baugesetzbuch zu beachten. Letzteres entscheidet über die Zulässigkeit von Standorten.

### Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)

Bei immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftigen Anlagen ist abhängig von der Kapazität und dem Standort der Anlage ggf. die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich.

### Wasserhaushaltsgesetz (WHG)

In Frage kommende Anlagen (Biogas, Grundwasserwärmepumpen) müssen so beschaffen sein und so eingebaut, aufgestellt, unterhalten und betrieben werden, dass eine Verunreinigung der Gewässer oder eine sonstige nachteilige Veränderung ihrer Eigenschaften nicht zu besorgen ist (Besorgnisgrundsatz).

### Bioabfallverordnung (BioAbfV)

Diese kommt bei Biogasanlagen zur Anwendung, wenn Abfälle im Sinne der BioAbfV kofermentiert werden, so dass der Gärrückstand insgesamt zu einem behandelten Bioabfall wird. Beschrieben werden u.a. Anforderungen bei der Hygienisierung, Höchstbegrenzungen bei Schwermetallen und Störstoffen sowie Nachweis- und Untersuchungspflichten.

### Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG-Gesetz)

Wie dem Namen bereits zu entnehmen ist, geht es hier um die Erhaltung, Modernisierung und Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. Im Einzelnen sind geregelt:

- Anschluss-, Abnahme- und Vergütungspflicht
- Zulassungsvoraussetzungen
- Meldepflicht
- Nachweis des eingespeisten Stroms
- Zuständigkeiten.

### Biomasseverordnung (BiomasseV)

Die BiomasseV regelt, welche Stoffe als Biomasse gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umweltauflagen einzuhalten sind.

### Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)

Größere Dampferzeuger sowie Kessel, in denen Heißwasser von einer höheren Temperatur als der dem atmosphärischen Druck entsprechenden Siedetemperatur erzeugt wird, bedürfen einer Erlaubnis nach der Betriebssicherheitsverordnung.

### Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Für Stromerzeugungs- oder KWK-Anlagen, bei denen die erzeugte elektrische Energie zur Versorgung Dritter verwendet wird, ist eine Genehmigung nach dem Energiewirtschaftsgesetz notwendig.

Tabelle 13: Wichtige Rechtsvorschriften bei alternativen Energieträgern

	Kohle	Holz	Stroh	Getreide	Biogas	Geothermie	Photovoltaik	BHKW	Fern- und Abwärme
Altholzverordnung		x							
Baugesetzbuch					x			x	
Bioabfallverordnung					x				
Biomasseverordnung		x	x	x	x				
Bundes-Immissionsschutzgesetz	x	x	x	x	x			x	
Dampfkesselverordnung	x	x							
Energiewirtschaftsgesetz							x	x	
Erneuerbare-Energien-Gesetz		x	x	x	x	x	x	x	
Feuerungsverordnung	x	x	x	x				x	
Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz								x	
Landesbauordnung BW	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Umweltverträglichkeitsprüfung					x				
Wasserhaushaltsgesetz					x	x			
Wassergesetz für BW						x			
Bundesberggesetz						x			

Quelle: Peter Berwanger, Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald

## 7. Fördermöglichkeiten alternativer Energien (Stand 04.11.2005)

Im folgenden werden die Fördermöglichkeiten im Energiebereich für den Gartenbau (ohne Wohnhaus) erläutert. Es handelt sich um eine Übersicht ohne Anspruch auf Vollständigkeit. Zu Einzelheiten der Programme fragen Sie bitte die Beratungskräfte für Technik im Gartenbau an den Landratsämtern bzw. die in Kapitel 7 angegebenen Ansprechpartner. Diese können Ihnen auch Auskunft über Kombinationsmöglichkeiten oder Ausschlussbedingungen mit anderen Programmen geben.

### 7.1 Förderprogramme des Landes Baden-Württemberg

- **Agrarinvestitionsförderungsprogramm (AFP) 2005**

(Zuschuss und/oder Zinsverbilligung)

Was	Förderung der <b>Energieeinsparung</b> (Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen, energiesparender Gewächshäuser, Wärme- und Kälte­dämmung), <b>umweltverträgliche Energieträger</b> (Fernwärme und Gas), alternative Energiequellen (thermische Solaranlagen, Biomasseanlagen, Biomasseverfeuerung); Laufzeit der Richtlinie bis zum 31.12.2006 (ab 2007 neue Fördertranche)
Ansprechpartner	Gartenbauberater (S. 2), untere Landwirtschaftsbehörden der Landratsämter Internet: <a href="http://www.landwirtschaft-bw.de">www.landwirtschaft-bw.de</a>

- **Förderprogramm Energieholz Baden-Württemberg** (Zuschuss)

Was	a) Energieerzeugungsanlagen auf Holzhackschnitzelbasis b) Sonstige innovative Maßnahmen im Bereich Holzenergie; Laufzeit der Richtlinie bis zum 31.12.2006
Ansprechpartner	Forstdirektion Freiburg Tel.: 0761-208-1322; Internet: <a href="http://www.wald-online-bw.de">www.wald-online-bw.de</a>

- **Förderprogramm Klimaschutz-Plus - Allgemeines CO<sub>2</sub> Minderungsprogramm**  
(Zuschuss)

Was Emissionsminderung: BHKW, Holzpellettheizung, baulicher Wärmeschutz, Elektro-Wärmepumpen-Anlagen, Heizungsanlagenerneuerung, solarthermische Anlagen

Ansprechpartner KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg, Karlsruhe  
Tel: 0721/98471-0;  
Internet: [www.klimaschutz-plus.baden-wuerttemberg.de](http://www.klimaschutz-plus.baden-wuerttemberg.de)

- **Umweltschutz- und Energiesparförderprogramm**  
(Zinsverbilligung, nur für Gewerbebetriebe)

Was Vorhaben zur rationellen Energieverwendung und zum Einsatz erneuerbarer Energieträger in Betrieben (Überprüfung im Einzelfall); z. B. Umstellung auf weniger energieintensive Fertigungsverfahren, Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmerückgewinnung

Ansprechpartner L-Bank Baden-Württemberg, Postfach 10 29 43; 70025 Stuttgart  
Tel.: 0711/122-2345; [www.l-bank.de](http://www.l-bank.de); Beantragung über Hausbank

## 7.2 Sonstige Förderprogramme

- **Sonderkreditprogramm Umweltschutz und Nachhaltigkeit** (Zinsverbilligung)

Was Maßnahmen des Umweltschutzes, erneuerbare Energien

Ansprechpartner Landwirtschaftliche Rentenbank  
Tel.: 069/2107-700; Internet: [www.rentenbank.de](http://www.rentenbank.de)

- **Bundesförderprogramm Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien** (Zuschuss oder Zinsverbilligung oder Teilschulderlass; nur für Gewerbebetriebe)

Was                   Automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse (Pelletanlagen), manuell beschickte Scheitholzvergaserkessel

Ansprech-           Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Referate 433/434/435,  
partner               Telefon: 06196/908-625; Fax: 06196/908-800; Internet: [www.bafa.de](http://www.bafa.de)

- **Umwelt- und Energiesparprogramme der KfW** (Zinsverbilligung; nur für Gewerbebetriebe)

Was                   Steuer- und Regeltechnik, Wärmerückgewinnung, regenerative Energiequellen, Photovoltaik-Anlagen

Ansprech-           Kreditanstalt für Wiederaufbau – KfW  
partner               Infotelefon: 01801 3355770, Internet: [www.kfw-foerderbank.de](http://www.kfw-foerderbank.de);  
Antragstellung über Hausbank

### 7.3 Indirekte Förderungen (Stromeinspeisungs-Zuschläge)

- **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)**

Was                   Ausgleich für die Einspeisung von Strom aus Biomasseanlagen

Ansprech-           Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
partner               (BMU); Internet: [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

- **Kraft-Wärme Kopplungsgesetz**

Was                   Ausgleich für die Einspeisung von Strom aus KWK-Anlagen auf Basis von Steinkohle, Braunkohle, Abfall, Biomasse (nicht EEG)

Ansprech-           Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)  
partner               Energie-Hotline: 08000/736 734; Internet: [www.erneuerbare-energien.de](http://www.erneuerbare-energien.de)

## Quellenangaben

KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0694 (2000): „Brennstoffe im Gartenbau“

KTBL-Arbeitsblatt Nr. 0697 (2001): „Steinkohle als Brennstoff für den Gartenbau“

KTBL Schrift Nr. 417 (2003): „Energetische Nutzung von Getreide in Kleinfeuerungsanlagen“, Bonn

K. Maurer (2003): „Heizenergie aus Getreide und Gras“; Vortrag Schwäbisch Gmünd 30.09./01.10.2003 (Landesanstalt für landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen an der Uni Hohenheim)

Dr. Ruth Brökeland (2004): „Heizen mit Getreide“, Infoblatt C.A.R.M.E.N., Straubing

Dr. Ruth Brökeland (2005): „Fragen und Probleme der Stroh- und Getreideverbrennung“, Vortrag Facharbeitskreis Biomasse, Köllitsch 18.01.2005

Karlfried Cost (2003/2004): Holz, Getreide, Biomasse Heizungen – Stroh, Getreidestroh, Agriserve, Frankfurt

Holzfeuerungen & Anlagensysteme, Internetauftritt: [www.holzfeuerung.ch](http://www.holzfeuerung.ch)

Planungshandbuch QM Holzheizwerke, Band 4 der Schriftenreihe QM Holzheizwerke, CARMEN, Straubing 2004

Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Informationszentrum Energie, Förderprogramme im Energiebereich für mittelständische Unternehmen (Bundes- und Landesprogramme)

Fichtner 2000/ Neubarth und Kaltschmitt 2000/ Hartmann und Kaltschmitt 2002: Leitfaden Bioenergie