

Leitfaden

Bioenergie im Gartenbau



LEITFADEN BIOENERGIE IM GARTENBAU

Herausgeber

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (FNR)
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel. : 0 38 43 / 69 30 - 0
Fax: 0 38 43 / 69 30 - 1 02
info@fnr.de • www.fnr.de

Gefördert durch das Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

ISBN-13: 978-3-00-020655-9



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz



Leitfaden

Bioenergie im Gartenbau

Gülzow, 2006

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes: „Energetische Nutzung von Biomasse im Unterglasgartenbau“ (FKZ 22015703) erstellt. Das Projekt wurde von der FNR mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) finanziert.

Herausgegeben von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Hofplatz 1, 18276 Gülzow, mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz.

Die vorliegende Publikation wurde erstellt durch

Dr. Isabelle Schuster
Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik
Institut für Biologische Produktionssysteme
Leibniz Universität Hannover
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover
Tel.: (05 11) 762-26 46
Fax: (05 11) 762-26 49
Internet: www.bgt.uni-hannover.de

Herausgeber:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Hofplatz 1
18276 Gülzow
Tel.: (0 38 43) 69 30-0
Fax: (0 38 43) 69 30-102
E-Mail: info@fnr.de
Internet: www.fnr.de

Redaktion:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
Abt. Öffentlichkeitsarbeit

Gestaltung und Produktion:

tangram documents, Bentwisch
Internet: www.tangram.de

Alle Rechte vorbehalten.

Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Herausgebers in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt, verbreitet oder archiviert werden.

ISBN-13: 978-3-00-020655-9

Inhaltsverzeichnis



	Abbildungsverzeichnis	5
	Tabellenverzeichnis	7
1	Einleitung	9
2	Regenerative Energiequellen für die Gewächshausbeheizung	11
2.1	Verfügbarkeit, Bereitstellung und Aufbereitung biogener Festbrennstoffe	11
2.1.1	Holz	12
2.1.2	Halmgut	13
2.1.3	Energiegetreide	15
2.2	Brennstoffeigenschaften	15
2.2.1	Emissionen	16
2.2.2	Energiegehalt	19
2.2.3	Physikalische Brennstoffeigenschaften	21
2.3	Biomassefeuerungsanlagen	22
2.3.1	Holz	23
2.3.2	Halmgut	27
2.3.3	Getreide	29
2.3.4	Sicherungseinrichtung	30
2.4	Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Biomasse-KWK)	30
2.4.1	Dampfprozesse	34
2.4.2	Organic Rankine Cycle	34
2.4.3	BHKW mit Biomassevergaser	35
2.4.4	Abwärmenutzung einer Biogasanlage	35
2.5	Rechtliche Grundlagen	38
2.6	Biogene Festbrennstoffe im Vergleich: Zusammenfassung und Empfehlungen	42
3	Wirtschaftlichkeit	45
3.1	Energiesparende Maßnahmen	45
3.2	Zusatzinvestitionen beim Einsatz von Biomassekesseln und Blockheizkraftwerken	49
3.2.1	Brennstofflagerung	49
3.2.2	Staubabscheidung	54

3.2.3	Maßnahmen zur HCl- und NO _x -Reduzierung	59
3.2.4	Pufferspeicher	59
3.3	Wirtschaftlichkeitsberechnungen an Modellbetrieben	70
3.3.1	Zierpflanzenbau	72
3.3.2	Gemüsebau	77
3.3.3	Abschließende Betrachtung	80
3.4	Beispielbetriebe aus der Praxis	81

4 Förderprojekte und Planungshilfen der FNR e. V.83

5 Fördermöglichkeiten85

6 Literaturhinweise, Adressverzeichnis und Ansprechpartner90

6.1	Literaturhinweise	90
6.2	Technik-/Energieberater	92
6.3	Universitäten und Fachhochschulen	94
6.4	Vereine und Verbände	95
6.5	Herstellerverzeichnis und Planungsbüros	96

7 Literaturverzeichnis97

Abbildungsverzeichnis



Abb. 2-1:	Zusammenhang verschiedener Potenziale	11
Abb. 2-2:	Allgemeine Umrechnungsfaktoren für Holzmen- gen (Faustzahlen)	12
Abb. 2-3:	Die Brennstofforgel: Schütt- und Stapeldichten biogener Festbrennstoffe im Vergleich zu Heizöl und Steinkohle	14
Abb. 2-4:	Korrosion im Kessel und in den Rauchgaszügen	17
Abb. 2-5:	Korrosion im Kessel und in den Rauchgaszügen	17
Abb. 2-6:	Durchschnittliche Aschegehalte biogener Festbrennstoffe	18
Abb. 2-7:	Bildung von Ascheklumpen bei der Verbrennung von Getreide	18
Abb. 2-8:	Bildung von Ascheklumpen bei der Verbrennung von Getreide	18
Abb. 2-9:	Verschlackter Brennraum vor der Reinigung	19
Abb. 2-10:	Verschlackter Brennraum nach der Reinigung	19
Abb. 2-11:	Systematik der Feuerungsprinzipien automatisch beschickter Feuerungsanlagen (vereinfachte schematische Darstellung ohne Luftführung und Ascheaustrag)	24
Abb. 2-12:	Schematische Darstellung einer Unterschubfeuerung	24
Abb. 2-13:	Vorschubrostfeuerung nach dem Gegenstromprinzip	25
Abb. 2-14:	Funktionsweise einer Kolbenbeschickung	25
Abb. 2-15:	Prinzip des Vortrockners der Firma KÖB	26
Abb. 2-16:	Schematische Darstellung einer Vorofenfeuerung	27
Abb. 2-17:	Ballenfeuerung mit Ballenteiler und halmguttauglichem Rost	28
Abb. 2-18:	Rückbrandsicherung bei Hackschnitzel- und Pelletfeuerungen	31
Abb. 2-19:	Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Einflussfaktoren auf das Gesamtsystem und notwendige Maßnahmen	33
Abb. 2-20:	Schematische Darstellung einer Biomasse-KWK mit ORC-Prozess	34
Abb. 2-21:	Verfahrensschema einer Biogasanlage	37
Abb. 3-1:	4-Stufen-Modell zur Verringerung der Heizkosten	45
Abb. 3-2:	Typischer Verlauf des Temperaturanstiegs bei der Hackgutlagerung in Abhängigkeit vom Wassergehalt	50
Abb. 3-3:	Rundholz-Pultdachhalle mit Rundholzverbindern	52
Abb. 3-4:	Lagerhalle mit ebenerdigem Schubboden. Beschickung mit dem Radlader.	52
Abb. 3-5:	Beispiele für Hochbehälterbauformen als Rundsilos oder Viereck-Silobatterie mit Schrägauslauf	52
Abb. 3-6:	Hängende Gewebesilos (aus Trevira) in verschiedenen Ausführungen	53
Abb. 3-7:	Heuturm für gehäckseltes Halmgut beim Befüllen und Belüften sowie beim Entleeren.....	53
Abb. 3-8:	Beispiel eines Hackschnitzzellagers mit Wechselcontainer	53
Abb. 3-9:	Schematische Darstellung unterschiedlicher Systeme zur Lageraustragung	55
Abb. 3-10:	Schematische Darstellung eines Zyklonfilters	56
Abb. 3-11:	Aufbau eines Multizyklonfilters	56
Abb. 3-12:	Abreinigungs- (links) und Filtrationsvorgang (rechts) eines Gewebefilters im Querschnitt	57

Abb. 3-13:	Funktionsprinzip eines Elektrofilters	58
Abb. 3-14:	Schematischer Aufbau eines Zwei-Kammer Plattenelektrofilters	58
Abb. 3-15:	Schematischer Aufbau eines Rauchgaswäschers ohne Einbauten	58
Abb. 3-16:	Jahresdauerlinie des Modelbetriebs „Zierpflanzenbau_warm“	63
Abb. 3-17:	Jahresdauerlinie des Modelbetriebs „Gemüsebau_kalt“	63
Abb. 3-18:	Bereitstellung des Jahresheizbedarfes für den Modellbetriebe „Zierpflanzenbau_warm“ durch Grundlastkessel und Speicher in Abhängigkeit vom Anteil der Grundlastheizung (Speicherauslegung für 2 h Ladezeit)	64
Abb. 3-19:	Bereitstellung des Jahresheizbedarfes für den Modellbetriebe „Gemüsebau_kalt“ durch Grundlastkessel und Speicher in Abhängigkeit vom Anteil der Grundlastheizung (Speicherauslegung für 2 h Ladezeit)	64
Abb. 3-20:	Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergröße (Ladezeit)	65
Abb. 3-21:	Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergröße (Ladezeit)	67
Abb. 3-22:	Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergröße unter Berücksichtigung von 0,1 % Wärmeverlust des Speichers pro h	67
Abb. 3-23:	Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergröße unter Berücksichtigung von 0,1 % Wärmeverlust des Speichers pro h	68
Abb. 3-24:	Einbindung des Pufferspeichers – Ladevorgang mittels Grundlastkessel. Der Grundlastkessel läuft mit Nennlast.	68
Abb. 3-25:	Einbindung des Pufferspeichers – Entladevorgang. Der Grundlastkessel läuft mit Nennlast.	68
Abb. 3-26:	Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers (liegend) und gelochte Verteilrohre innen	69
Abb. 3-27:	Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers mit Grundlast- und Spitzenlastkessel, Vorregelung der Ringleitung mit Dreiwegemischer	70
Abb. 3-28:	Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers mit Grundlast-, Spitzenlastkessel und BHKW, Vorregelung der Ringleitung mit Dreiwegemischer	70
Abb. 3-29:	Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers mit Grundlast-, Spitzenlastkessel und BHKW, Vorregelung der Ringleitung mit hydraulischer Weiche	70
Abb. 3-30:	Schritte der Modellbetriebsbildung und anschließende Wirtschaftlichkeitsberechnungen	71
Abb. 4-1:	Projekt Hennstedt: Biogasanlage und Holzheizkraftwerk versorgen einen Tomatenbetrieb mit Wärme und CO ₂	83

Tabellenverzeichnis



Tabelle 2-1:	Elementaranalyse fester Bioenergieträger.....	15
Tabelle 2-2:	Ascheerweichungstemperaturen biogener Festbrennstoffe.....	19
Tabelle 2-3:	Verbrennungstechnische Daten von festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern	20
Tabelle 2-4:	Größenklassen für Holzpellets nach DIN CEN/TS 14961	21
Tabelle 2-5:	Anforderungen an die Größenverteilung nach der österreichischen Norm für Holzhackgut (ÖNORM M7133).....	22
Tabelle 2-6:	Schütt- und Stapeldichten biogener Festbrennstoffe.....	22
Tabelle 2-7:	Gegenüberstellung der für den Gartenbau wichtigsten Bauarten automatisch beschickter Feststofffeuerungen (ohne spezielle Halmgutfeuerung)	27
Tabelle 2-8:	Gegenüberstellung der für den Gartenbau wichtigsten Bauarten automatisch beschickter Halmgutfeuerungen	29
Tabelle 2-9:	Mindestvergütung für Strom aus Biomasse (Neuanlagen) nach EEG § 8.....	32
Tabelle 2-10:	Einspeisevergütung für Strom aus einem Blockheizkraftwerk (BHKW) bei Inbetriebnahme 2006	32
Tabelle 2-11:	Beispielberechnungen zur Abwärmenutzung einer Biogasanlage für einen Warmhaus- sowie einen Beet- und Balkonpflanzenbetrieb	37
Tabelle 2-12:	Wichtige Rechtsvorschriften beim Einsatz alternativer Energieträger.....	38
Tabelle 2-13:	Emissionsgrenzwerte für nicht genehmigungspflichtige Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (1. BImSchV).....	41
Tabelle 2-14:	Emissionsgrenzwerte für genehmigungspflichtige Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA-Luft).....	41
Tabelle 2-15:	Biogene Festbrennstoffe im Vergleich	43
Tabelle 3-1:	Checkliste mit Maßnahmen zur Minderung von Energieverlusten im Unterglasanbau	46
Tabelle 3-2:	Baulich Maßnahmen zur Energieeinsparung.....	49
Tabelle 3-3:	Jährliche Trockenmasseverluste bei der Holzlagerung in Haufen im Freien, (z. T.: mehrmonatige Lagerung auf ein Jahr hochgerechnet.).....	50
Tabelle 3-4:	Anteile der einzelnen Aschefraktionen an der Gesamtasche.....	56
Tabelle 3-5:	Durchschnittliche Aschegehalte von naturbelassenen Biomasse-Festbrennstoffen im Vergleich zu Stein- und Braunkohle	56
Tabelle 3-6:	Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“	61
Tabelle 3-7:	Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“.....	61
Tabelle 3-8:	Allgemeine Annahmen für das Programm HORTEX.....	72
Tabelle 3-9:	Allgemeine Annahmen für das Programm HORTEB.....	73
Tabelle 3-10:	Grundannahmen der Modellbetriebe für den Zierpflanzenbau	74
Tabelle 3-11:	Angenommene Temperaturführung in den Modellbetrieben.....	74
Tabelle 3-12:	Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_kalt“	75
Tabelle 3-13:	Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_temperiert“	75

Tabelle 3-14: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“	76
Tabelle 3-15: Amortisationszeit der Modellbetriebsvarianten „Zierpflanzenbau“	77
Tabelle 3-16: Grundannahmen der Modellbetriebe für den Gemüsebau	78
Tabelle 3-17: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“	78
Tabelle 3-18: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Gemüsebau_warm“	79
Tabelle 3-19: Amortisationszeit der Modellbetriebsvarianten „Gemüsebau“	80

Einleitung



Die Nutzung von Biomasse als Energieträger gewinnt im Unterglasgartenbau aufgrund der aktuellen hohen Preise für fossile Brennstoffe zunehmend an Bedeutung. Holz in Form von Hackschnitzeln oder Pellets, Getreide als Ganzpflanzenhäcksel, Stroh oder Energiekorn, all diese nachwachsenden Rohstoffe bieten die Möglichkeit Heizöl oder Erdgas zu ersetzen und somit den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu reduzieren. Auch die Abwärmenutzung eines zum Beispiel mit Rapsöl betriebenen Blockheizkraftwerkes (BHKW) oder die Abwärmenutzung einer Biogasanlage können eine wirtschaftliche Alternative darstellen.

Ende 2004 wurde eine bundesweite Umfrage zur Erfassung der energetischen Ist-Situation im deutschen Unterglasgartenbau durchgeführt. Finanziell unterstützt wurde diese Studie vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Die Studie belegt, dass für die Gewächshausbeheizung im deutschen Gartenbau nach wie vor hauptsächlich Heizöl EL und Erdgas zum Einsatz kommen. Lediglich 5 % der befragten Betriebe heizen bislang mit Holz. Eine Umstellung auf alternative Energieträger ist jedoch auch nicht für jeden Gartenbaubetrieb sinnvoll. Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang speziell ein möglichst gleichmäßig hoher Wärmebedarf des Betriebes, so dass der alternative Festbrennstoffkessel oder das Blockheizkraftwerk kontinuierlich und somit effizient betrieben werden kann. Jedoch spielen auch diverse andere Faktoren eine wichtige Rolle, die eine individuelle Beratung und Planung unerlässlich machen. Auf diese Faktoren wird in den folgenden Kapiteln des Leitfadens näher eingegangen.

Der vorliegende Leitfaden soll des Weiteren die Verfügbarkeit alternativer Brennstoffe in Deutschland erläutern, den Stand der Technik sowie Eigenschaften und Vor- und Nachteile alternativer Brennstoffe neu-

tral aufzeigen und somit dem Betriebsleiter eine Entscheidungshilfe bieten. Auch rechtliche Grundlagen spielen bei der Entscheidungsfindung eine wichtige Rolle und werden im Leitfaden angesprochen.

Um einen Eindruck zu vermitteln, welche Kosten bei einer Umstellung auf alternative Brennstoffe entstehen, befasst sich der Leitfaden auch mit dem Thema Wirtschaftlichkeit. Zunächst wird kurz auf Energiesparmaßnahmen eingegangen, die in jedem Fall vor einer Investition in eine neue Heizanlage durchgeführt werden sollten. Bei der Investition in eine Biomasseheizanlage entstehen neben den Kosten für einen neuen Kessel in der Regel weitere Kosten. Hinzu kommen beispielweise Brennstofflager, Filtersystem, Ascheentsorgung etc. Auf diese Faktoren wird ebenfalls im Kapitel Wirtschaftlichkeit eingegangen. Zur Veranschaulichung wurden Beispielrechnungen an Modellbetrieben durchgeführt. Der Betriebsleiter kann seinen Gartenbaubetrieb in den Modellbetrieben wiederfinden und so einen Eindruck gewinnen, ob eine Umstellung für den eigenen Betrieb in Frage kommt. Des Weiteren werden fünf Praxisbetriebe vorgestellt, die bereits vor einigen Jahren auf alternative Energieträger umgestellt haben.

Aktuell gibt es in Deutschland von Bund und Ländern Förderprogramme, die den Einsatz alternativer Brennstoffe unterstützen. Auf eine ausführliche Darstellung und Beschreibung europäischer, bundesweiter und länderspezifischer Förderprogramme wurde an dieser Stelle jedoch verzichtet, da die Konditionen einem ständigen Umbruch unterliegen. Stattdessen sind Kontaktadressen und Ansprechpartner aufgeführt, die Auskunft über aktuelle Informationen zur Förderung geben.

Abschließend bietet der Leitfaden Tipps zu interessanter Literatur zum Thema Bioenergie, eine Auflistung für den Gartenbau zuständiger Technik- und Energieberater mit Kontaktadressen, sowie Universi-



täten und Fachhochschulen, die sich mit diesem Themengebiet beschäftigen.

Der vorliegende Leitfaden richtet sich an alle Betriebsleiter sowie interessierte Personen und Einrichtungen, die sich über Möglichkeiten der energetischen Nutzung von Biomasse speziell zur Gewächshausbeheizung informieren möchten.

Wie bereits erwähnt ersetzt der Leitfaden jedoch keine individuelle Planung durch einen unabhängigen Fachberater. Er dient ausschließlich der Information und bietet somit Entscheidungshilfen.

Regenerative Energiequellen für die Gewächshausbeheizung



In diesem Kapitel werden die Grundlagen zum Thema „Wärme aus Biomasse für die Gewächshausbeheizung“ vorgestellt. Zunächst wird die Verfügbarkeit, Bereitstellung und Aufbereitung alternativer Brennstoffe in Deutschland aufgezeigt. Welche Alternativen zu Heizöl und Ergas kommen zur Gewächshausbeheizung in Frage und wo sind sie auch in ausreichendem Maße auf Dauer verfügbar? Für den Betriebsleiter sind bei einer möglichen Umstellung der Energieversorgung auf Biomasse neben den Eigenschaften der unterschiedlichen Biomassefeue-rungsanlagen auch die Brennstoffeigenschaften von Bedeutung. Diese Bereiche werden in den Kapiteln 2.2 und 2.3 erläutert.

Neben der reinen Wärmeerzeugung aus alternativen Brennstoffen wird in diesem Kapitel auch die Alternative der Biomasse-Kraft-Wärmekopplung dargestellt (Kapitel 2.4).

Abschließend wird zusammenfassend ein Überblick über die verschiedenen Brennstoffe gegeben und einige allgemeine Empfehlungen zum Einsatz alternativer Brennstoffe ausgesprochen.

2.1 Verfügbarkeit, Bereitstellung und Aufbereitung biogener Festbrennstoffe

Verfügbarkeit nach /FNR 2005/

Bei der Betrachtung des in Deutschland verfügbaren Potenzials an Biomasse zur energetischen Nutzung sind verschiedene Potenziale zu berücksichtigen (Abbildung 2-1). Das **theoretische Potenzial** beschreibt zunächst das gesamte theoretisch nutzbare Energieaufkommen in Deutschland. Das **technische Potenzial** beschreibt den Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der derzeitigen technischen Möglichkeiten „technisch nutzbar“ ist. Das **wirtschaftliche Potenzial** ist wiederum der An-

teil des technischen Potenzials, der wirtschaftlich konkurrenzfähig genutzt werden kann. Es wird stark von den konventionellen Systemen und den jeweiligen Energieträgerpreisen beeinflusst. Letztendlich bleibt das **erschließbare Potenzial** oder Erwartungspotenzial (ein Teil des wirtschaftlichen Potenzials), das den zu erwartenden tatsächlichen Beitrag zur Energieversorgung beschreibt. Das Erwartungspotenzial liegt also im Regelfall erheblich, teilweise sogar um mehrere Größenordnungen unter dem theoretischen Potenzial. Insgesamt liegt das technisch nutzbare Potenzial biogener Festbrennstoffe in Deutschland bei etwa 1.100 PJ/a /nach FNR 2005/. Biogene Festbrennstoffe lassen sich unterscheiden in holzartige Biomasse, halmgutartige Biomasse und Energiegetreide. Im Folgenden wird kurz auf das in Deutschland verfügbare Potenzial, die Bereitstellung und Aufbereitung der unterschiedlichen Festbrennstoffe eingegangen. Eine detaillierte Zusammenstellung, die auch auf weltweite und europäische Potenziale eingeht ist /FNR 2005/ zu entnehmen.



Quelle: /Schuster 2006/

Abb. 2-1: Zusammenhang verschiedener Potenziale

2.1.1 Holz

Insgesamt stehen in Deutschland etwa 424 PJ/a an Holz aus dem Wald, ca. 57 PJ/a an Industrierestholz, etwa 78 PJ/a an Altholz und rund 10 PJ/a an sonstigen quantifizierbaren Holzurückständen zur Verfügung. Das gesamte technische Potenzial des Energieträgers Holz (aus Holzurückständen) liegt damit bei etwa 569 PJ/a /IE 2003/. Hinzu kommen schätzungsweise 122 PJ/a aus Energiepflanzen (Kurzumtriebsholz) /nach IE 2003/.

Die Bereitstellung von holzartigen Festbrennstoffen erfolgt aus

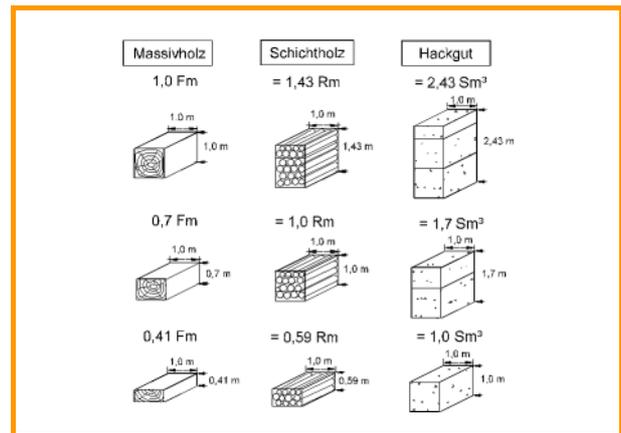
- Durchforstungs- und Waldrestholz,
- Landschaftspflegeholz,
- Holznebenprodukten und Holzabfällen,
- Holz aus Kurzumtriebsplantagen.

Je nach Beschaffenheit kann das anfallende Holz zu Scheitholz, Holzhackschnitzeln oder Holzpellets aufbereitet werden. Für den Gartenbau ist die Verwendung von **Scheitholz** zur Gewächshausbeheizung aufgrund nicht vorhandener automatischer Beschickungssysteme eher ungeeignet. Die Aufbereitung zu **Hackschnitzeln** mit stationären oder mobilen Hackern oder Schreddern führt aufgrund unterschiedlicher Quellen des Holzes bzw. der Holz Mischung (Waldrestholz, Altholz, etc.) zu Hackschnitzeln unterschiedlichster Qualität. Die Zusammensetzung und auch Aufbereitung (Homogenität, Rieselfähigkeit) der Hackschnitzeln sind entscheidend für eine gute Automatisierbarkeit und somit einen reibungslosen Ablauf bei der Beschickung des Brennstofflagers und des Kessels. Für grobe Chargen ist eine robuste Förder- und Kesseltechnik notwendig, um die Störanfälligkeit zu minimieren (siehe Kapitel 2.3 Biomassefeuerungsanlagen).

Aus Holzspänen oder Sägemehl können **Holzpellets** hergestellt werden. Holzpellets sind nach DIN 51 731 als Regelbrennstoff in Deutschland zugelassen. Der Vorteil von Holzpellets gegenüber Hackschnitzeln besteht in der Homogenität bezüglich der physikalisch-mechanischen Eigenschaften dieses Brennstoffs (hohe volumetrische Energiedichte, gute Fließ- und Dosiereigenschaften zur automatischen Beschickung, hohe Lagerstabilität, u. a.). Der Nachteil besteht jedoch in deutlich höheren Produktions- und somit Brennstoffkosten. Beim Einsatz von Holzpellets ist es zu empfehlen, genormtes Material zu verwenden, um eine gleichbleibende Qualität sicherzustellen. Für normgerechte Pellets sind die zulässigen Abmessungen (Länge, Höhe, Breite) in der DIN 51 731 festgelegt. Die Fließ- und Transporteigenschaften von Schüttgütern werden jedoch – außer durch Partikel-

form und -größe – auch durch die Partikelgrößenverteilung sowie den Feinanteil (z. B. Abrieb von Pellets) bestimmt /Hartmann 2007/. Ein solches Klassifizierungssystem stellt die ÖNORM M7133 aus Österreich dar.

Abbildung 2-2 zeigt die allgemeinen Umrechnungsfaktoren für Holz mengen (Faustzahlen). Holz wird je nach Aufbereitung auf dem Markt in der Regel in Festmetern (Fm), Raummeter (Rm) oder Schüttraummeter (Sm³) angeboten.



Quelle: nach /Hartmann 2007/

Abb. 2-2: Allgemeine Umrechnungsfaktoren für Holz mengen (Faustzahlen)

Fm = Festmeter, Rm = Raummeter, Sm³ = Srm = Schüttraummeter

Anmerkung: die unbemaßte Kantenlänge beträgt jeweils 1 m.

Im Folgenden werden kurz die unterschiedlichen Bereiche vorgestellt, in denen energetisch nutzbares Holz anfällt und zu welchen Brennstoffformen es aufbereitet werden kann. Detaillierte Informationen sind /Kaltschmitt und Hartmann 2001/ zu entnehmen.

Durchforstungs- und Waldrestholz

Bei der Produktion von hochwertigem Stammholz fallen minderwertige Sortimente an. Dazu zählt zum Beispiel das **Schwachholz** (konkurrierende, kranke oder minderwertige Bäume) aus regelmäßigen Durchforstungszyklen (z. B. alle 10 Jahre). Schwachholz ist geeignet zur Produktion von Hackschnitzeln oder Scheitholz. Bei jeder Durchforstung kann von einem durchschnittlichen flächenspezifischen Hackschnitzelaufkommen von rund 70 Sm³ pro Hektar ausgegangen werden /Wippermann 1985/. Nach der Entnahme von sämtlichem industriell nutzbaren Holz verbleibt noch das sogenannte **Waldrestholz**, das auch als **Schlagabraum** bezeichnet wird. Dazu zählen



das nicht zu Industrieholz aufgearbeitete Kronenderbholz, kurze Stammabschnitte, Reisholz und die Rinde des aufgearbeiteten Holzes, sofern eine Waldentrindung durchgeführt wird /Mombächer und Augustin 1993/. Waldrestholz wird aufgearbeitet zu Scheitholz oder Hackschnitzeln, die somit für eine energetische Verwertung zur Verfügung stehen.

Landschaftspflegeholz

Zum Landschaftspflegeholz zählt Pflegeschnittholz, Straßenbegleitholz, landwirtschaftlicher Baumschnitt, Baumschnitt aus Parks und Anlagen, Wasserstraßenrandgehölze, Schwemmholz u. ä. /nach Kaltschmitt und Hartmann 2001/. Landschaftspflegeholz wird in der Regel zu Hackschnitzeln aufbereitet. Da es aus einer Mischung von reinem Holz, Rinde, Laub und Nadeln besteht ist der Heizwert in der Regel geringer als bei sogenannten „weißen“ Hackschnitzeln (ausschließlich Holz ohne Rindeanteile).

Holznebenprodukte und Holzabfälle

Bei der industriellen Holzverarbeitung fallen neben dem gewünschten Hauptprodukt Nebenprodukte an, die zum Teil zur energetischen Nutzung zur Verfügung stehen. Dieses **Industrierestholz** (Hackschnitzel, Abschnitte, Späne, Spreißel, Rindenstücke, Sägemehl, usw.) können zu Hackschnitzeln oder Pellets aufbereitet werden. Anfallendes **Altholz** (Altmöbel, Verpackungsmaterial, Holz aus Gebäudeabbrüchen, Renovierungen, u. s. w.) kann nicht ohne weiteres für die Wärmeenergiegewinnung eingesetzt werden, da es aufgrund seiner unterschiedlichsten Herkunft/Nutzungsgeschichte mit verschiedensten Fremdstoffen belastet sein kann. Für die Verwertung von Altholz gilt daher seit dem 1. März 2003 in Deutschland die Altholzverordnung /AltholzV 2002/. Sie unterteilt das anfallende Altholz in vier Kategorien, A I bis A IV (siehe Kapitel 2.5 Rechtliche Grundlagen). Je nach Verunreinigungsgrad darf Altholz in unterschiedlichen Anlagen mit angepassten Anforderungen an Verbrennungsführung und Abgasreinigung eingesetzt werden. Da Altholz der Kategorie A I Brennstoffen der Ziffern 4 und 5 der 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) entspricht und somit in Deutschland zu den Regelbrennstoffen zählt, darf es ohne Sondergenehmigung verwendet werden. Für die Kategorien A II-IV sind Sondergenehmigungen zu beantragen.

Holz aus Kurzumtriebsplantagen, Energiewälder

Bei schnellwachsenden Baumarten von Kurzumtriebsplantagen handelt es sich im Gegensatz zu den

anderen Bereichen nicht um Rückstände, Nebenprodukte oder Abfälle, sondern um gezielt und ausschließlich für die Wärmeenergiegewinnung angebaute Pflanzen. In der Regel werden züchterisch bearbeitete Sorten der Balsampappel, Weide oder Aspe in kurzen Umtriebszeiten von 3 bis 10 Jahren angebaut. Nach dem Prinzip „einmal pflanzen, mehrmals ernten“ wird Holz über einen Zeitraum von 25-30 Jahren erzeugt /LWF 2005/. Im Durchschnitt ist von jährlich ca. 9 t/ha Trockenmasse auszugehen /Hartmann 2005/. Der rechtliche Status von Energiewäldern ist bundesweit noch nicht einheitlich geregelt. Auskunft dazu erteilen die zuständigen Behörden /LWF 2005/. Es besteht die Möglichkeit Stilllegungsflächen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe zu nutzen, sofern die Erzeugnisse im Nichtnahrungsmittel- oder Futtermittelsektor verwendet werden. Grundsätzlich sollten Alternativen zur Nahrungsmittelproduktion ökologisch vertretbar und einzelbetrieblich rentabel sein, um im Ergebnis zur Erhaltung der Struktur des ländlichen Raumes beitragen zu können /Hofmann 1998/.

Der Anbau von schnellwachsenden Hölzern zur Energiebereitstellung befindet sich in Deutschland noch in der Erprobungsphase und hat zur Zeit noch keine wirtschaftliche Bedeutung. In Skandinavien gibt es bereits umfangreiche Erfahrungen mit dem Anbau dieser Baumarten /3N 2005/.

2.1.2 Halmgut

Das Brennstoffpotenzial (technisches Potenzial) halmgutartiger Rückstände und Nebenprodukte liegt bundesweit in einer Spannbreite von 178 bis 207 PJ/a /IE 2003/. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um aus der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion anfallendes Stroh. Hinzu kommt halmgutartige Biomasse von nicht für die Viehhaltung benötigtem Grünland sowie der Landschaftspflege unterliegenden Flächen. Gras sowie Landschaftspflegematerial können ebenfalls zur Biogasgewinnung eingesetzt werden und stehen damit nur eingeschränkt als Festbrennstoff zur Verfügung /nach FNR 2005/. Hinzu kommen schätzungsweise 122 PJ/a aus Energiepflanzen (Getreideganzpflanzen) /nach IE 2003/.

Zu den Halmgutbrennstoffen zählen Stroh, Getreideganzpflanzen und Miscanthus. Sie stehen ähnlich wie Holz als trockener oder feuchter Brennstoff, als Stück- oder Hackgut zur Verfügung.



Stroh

Zum Stückgut zählen Ballen unterschiedlichster Form (je nach Presse entstehen Kleinballen, Rundballen oder Quaderballen). Für den Gartenbau kommen aufgrund der erforderlichen Automatisierung Rund- und Quaderballen aus Großballenpressen in Frage, da bei kleineren Hochdruckballen der manuelle Arbeitsaufwand relativ hoch ist.

In Form von Schüttgut steht Stroh als Brennstoff folgendermaßen zur Verfügung (Mischformen sind möglich):

- Strohlänggut und Strohhäcksel: Halmgut unzerkleinert als Länggut oder zerkleinert als Strohhäcksel verwendet. Länggut eher bei Heu oder feuchtem Gras, da sich Stroh relativ schlecht verdichten lässt.
- Silage: Halmgut wird mit hohem Wassergehalt konventionell geerntet, siliert (Feuchtkonservierung), gelagert und mechanisch Entwässert (Auspressung).
- Strohpellets: Halmgut kann mit mobilen Maschinen auf dem Feld pelletiert (verdichtet) werden oder Transport von Ballen oder Häckselgut zu einer stationären Pelletieranlage.

Zu beachten ist die deutlich geringere Schüttdichte von Strohhäcksel im Vergleich zu Strohballen. Je nach Brennstoffbeschaffenheit werden daher unterschiedliche Lager- und Transportkapazitäten benötigt.

Getreideganzpflanzen

Da das Getreidekorn noch nicht als Regelbrennstoff anerkannt ist (siehe Kapitel 2.5), ist der Einsatz von Getreideganzpflanzen bzw. Getreideganzpflanzenhäcksel im Gartenbau nicht ohne weiteres möglich. Nähere Informationen siehe Kapitel „Energiegetreide“. Problematisch ist ebenfalls die ungleichmäßige Abreifung des Erntematerials. Häufig ist die zu erntende Strohmasse noch feucht (bis 40 % Wassergehalt), wenn für den Kornanteil die Druschreife (< 20 % Wassergehalt) bereits erreicht ist /nach Hartmann 2005/. Die momentan verfügbare Technik zur Ernte von Getreideganzpflanzen ist noch nicht ausgereift und auch die schädlingfreie Lagerung ist noch problematisch.

Miscanthus

Es besteht die Möglichkeit Miscanthus in Form von Miscanthushäcksel als Brennstoff zu nutzen. Die Verarbeitung/Aufbereitung entspricht in etwa der Herstellung von Strohhäcksel. Problematisch ist die sehr geringe Schüttdichte von ca. 70 kg/Sm³ im Vergleich zu Getreideganzpflanzenhäcksel (150 kg/Sm³) oder Strohgroßballen (140 kg/m³). Es sind dem entspre-

chend deutlich größere Lagerräume notwendig. Für den Gartenbau ist Miscanthus daher wenig interessant. Abbildung 2-3 verdeutlicht sehr gut die Auswirkungen unterschiedlicher Schüttdichten auf das benötigte Lagervolumen. Der Inhalt jeder dargestellten Säule entspricht dem Energiegehalt von einem Liter Heizöl (Säule ganz rechts im Bild). Das notwendige Lagervolumen für Stroh übersteigt das Volumen des Heizöltanks um ein Vielfaches. Wiederum übersteigt das Volumen der Säule, die mit Miscanthus gefüllt ist das Volumen der Strohsäule.



Quelle: /Schuster 2006 in Anlehnung an das TFZ Straubing/

Abb. 2-3: Die Brennstofforgel: Schütt- und Stapeldichten biogener Festbrennstoffe im Vergleich zu Heizöl und Steinkohle

Halmgutfeuerungsanlagen gibt es im deutschen Unterglasgartenbau bislang nur vereinzelt. Zwar zählt Stroh, ob in Ballenform, als Pellets oder als Strohhäcksel, bereits zu den Regelbrennstoffen, Getreideganzpflanzen jedoch nicht. Aufwendige Verfahren zur Erlangung einer Sondergenehmigung sind die Folge. Zudem ist die Verbrennung von Halmgut aufgrund einer relativ niedrigen Ascheerweichungstemperatur und erhöhten Emissionen im Vergleich zu Holz problematisch (siehe Kapitel 2.2 Brennstoffeigenschaften). Anlagen zur Holzverbrennung können daher nicht ohne weiteres zur Halmgutverbrennung eingesetzt werden. Bislang gibt es in Deutschland nur wenige Kesselhersteller, die speziell für die Halmgutverbrennung entwickelte Kessel anbieten. Eine Auflistung von Kesselherstellern finden Sie im Kapitel 6.



2.1.3 Energiegetreide

In Deutschland fallen pro Jahr ca. 250.000–300.000 t Ausputzgetreide an (Restgetreide oder mindere Qualitäten), die mit Ausnahme einer Nutzung in Biogasanlagen nicht sinnvoll genutzt werden. Seit dem 1. Juli 2004 gilt zudem ein Verschneidungsverbot, welches das Zumischen von Ausputzgetreide zu Futtermitteln untersagt. Zum Teil entstehen dem Landwirt sogar Entsorgungskosten für zum Beispiel mit *Fusarium* belastetes Getreide, da es zumindest unbehandelt nicht in Biogasanlagen eingesetzt werden darf. Neben dem anfallenden Ausputzgetreide ist es möglich Getreide gezielt zur späteren energetischen Verwertung anzubauen. Der Anbau ist im Vergleich zum herkömmlichen Anbau für die Nahrungsmittelproduktion weniger aufwendig, da bei der Produktion keine Brotqualität erzeugt werden muss. Getreidesorten, die speziell für die Nahrungsmittelproduktion angebaut werden, besitzen einen hohen Proteingehalt. Im Gegensatz dazu enthalten Sorten zur Brennstoffproduktion einen geringen Proteingehalt, da dieser maßgeblich an der Bildung von Stickoxiden bei der Verbrennung beteiligt ist. Weizen, Roggen und Triticale zählen zu den Getreidesorten, die sich für die energetische Verwertung eignen.

Getreide bedarf vor dem Einsatz als Brennstoff keiner weiteren Aufbereitung wie beispielsweise Holz oder

Stroh. Die Logistik für Ernte, Lagerung und Fördertechnik ist aus der Landwirtschaft bereits vollständig vorhanden. Problematisch ist zur Zeit noch die Einordnung von Energiegetreide in die 1. Bundes-Immissionsschutzverordnung. Im § 3, Abs. 1, 1. BImSchV wird es nicht als Regelbrennstoff aufgeführt. Die Auslegung von § 3 Abs. 1 Nr. 8: „Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe“ ist jedoch Sache der Länder. Bislang wurde allein in Nordrhein-Westfalen festgelegt, wie mit dem Brennstoff Getreide verfahren werden kann und welche Auflagen gelten (siehe Kapitel 2.5 Rechtliche Grundlagen).

2.2 Brennstoffeigenschaften

nach /Hartmann 2007/

Zu den **Hauptelementen** pflanzlicher Biomasse zählen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O). Mit einem Anteil von ca. 40–50 % der Trockenmasse, je nach Biomasse-Festbrennstoff, bestimmt der Kohlenstoff im Wesentlichen den Energiegehalt. Gemeinsam mit Wasserstoff (H), der ebenfalls Energie liefert, wird der Heizwert des Brennstoffs bestimmt. Sauerstoff hingegen unterstützt hauptsächlich den Oxidationsvorgang während der Verbrennung. Tabelle 2-1 liefert eine Übersicht der unterschiedlichen Gehalte verschiedenster Biomasse-Festbrennstoffe im Vergleich zu Kohle.

Tabelle 2-1: Elementaranalyse fester Bioenergieträger

Anmerkung: Tabelle enthält Mittelwerte, daher sind in Einzelfällen starke Abweichungen möglich.

Bioenergieträger	C	H	O	N	S	Cl
	in % der Trockenmasse					
Holz						
Fichtenholz mit Rinde	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Buchenholz mit Rinde	47,9	6,2	45,2	0,22	0,015	0,006
Pappelholz (Kurzumtrieb)	47,5	6,2	44,1	0,42	0,031	0,004
Weidenholz (Kurzumtrieb)	47,1	6,1	44,3	0,54	0,045	0,004
Rinde von Nadelholz	51,4	5,7	38,7	0,48	0,085	0,019
Stroh						
Roggenstroh	46,6	6,0	42,1	0,55	0,085	0,40
Weizenstroh	45,6	5,8	42,4	0,48	0,082	0,19
Triticalestroh	43,9	5,9	43,8	0,42	0,056	0,27
Gerstenstroh	47,5	5,9	41,1	0,46	0,089	0,40
Maisstroh	45,7	5,3	41,7	0,65	0,12	0,35
Rapsstroh	47,1	5,9	40,0	0,84	0,27	0,47
Sonnenblumenstroh	42,5	5,1	39,1	1,11	0,15	0,81
Hanfstroh	46,1	5,9	42,5	0,74	0,10	0,20

Tabelle 2-1: Elementaranalyse fester Bioenergieträger

Anmerkung: Tabelle enthält Mittelwerte, daher sind in Einzelfällen starke Abweichungen möglich. (Forts.)

Bioenergieträger	C	H	O	N	S	Cl
	in % der Trockenmasse					
Körner						
Roggenkörner	45,7	6,4	44,0	1,91	0,11	0,16
Weizenkörner	43,6	6,5	44,9	2,28	0,12	0,04
Triticalekörner	43,5	6,4	46,4	1,68	0,11	0,07
Rapskörner	60,5	7,2	23,8	3,94	0,10	-
Ganzpflanzen						
Roggenganzpflanzen	48,0	5,8	40,9	1,14	0,11	0,34
Weizenganzpflanzen	45,2	6,4	42,9	1,41	0,12	0,09
Triticaleganzpflanzen	44,0	6,0	44,6	1,08	0,18	0,14
Sonstiges						
Miscanthus (Chinaschilf)	47,5	6,2	41,7	0,73	0,15	0,22
Landschaftspflegeheu	45,5	6,1	41,5	1,14	0,16	0,31
Rohrschwengel	41,4	6,3	43,0	0,87	0,14	0,50
Weidelgras	46,1	5,6	38,1	1,34	0,14	1,39
Straßengrasschnitt	37,1	5,1	33,2	1,49	0,19	0,88
zum Vergleich						
Steinkohle	72,5	5,6	11,1	1,3	0,94	< 0,1
Heizöl EL	85,9	13,3	0,4	0,2	0,43	--

Quelle: nach /FNR 2005/

2.2.1 Emissionen

Bei jeder Verbrennung entstehen Emissionen. Unterschiedliche Faktoren können jedoch den Schadstoffgehalt dieser Emissionen beeinflussen. Einen großen Einfluss hat zunächst die Art der Verbrennung. Die Verbrennungsgüte wirkt sich direkt auf Schadstoffe wie Kohlenmonoxid (CO) und flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen (Gesamt-C) aus, da es sich hierbei um Rückstände einer unvollständigen Verbrennung handelt. Optimal für eine gute, gleichmäßige Verbrennung ist der Volllastbetrieb. Speziell bei Biomassekesseln führt der Betrieb in Teillast oder gar kleinster Wärmeleistung zu einem verminderten Wirkungsgrad und erhöhten Emissionen und sollte daher vermieden werden. Der Einsatz eines Wärmepufferspeichers (siehe Kapitel 3.2.4 Pufferspeicher) sowie eine optimale Kesselauslegung helfen diese Problematik zu minimieren.

Neben der Verbrennung sind auch die Zusammensetzung und Qualität des eingesetzten Brennstoffs von wesentlicher Bedeutung.

Tabelle 2-1 zeigt neben den Hauptelementen die emissionsrelevanten Elemente Schwefel, Stickstoff und Chlor der unterschiedlichen biogenen Festbrennstoffe. Mit zunehmendem Gehalt dieser Elemente sowie zunehmendem Aschegehalt steigt direkt der Schadstoffgehalt im Abgas. Bei den verschiedenen Festbrennstoffen bestehen zum Teil starke Unterschiede sowohl im Bezug auf den Gehalt emissionsrelevanter Elemente als auch im Bezug auf den Aschegehalt (siehe Tabelle 2-1 bzw. weitere Details in folgenden Kapiteln).

Stickstoff

Bei der Verbrennung geht Stickstoff (N) nahezu vollständig in die Gasphase über. Der Stickstoffgehalt hat daher direkte Auswirkung auf die Stickstoffoxid-Bildung (NO_x). In der Asche verbleibt kein Stickstoff. Holzbrennstoffe besitzen einen relativ geringen Stickstoffgehalt, die Gefahr der NO_x-Grenzwertüberschreitung ist gering. Getreideganzpflanzen hingegen, speziell das Getreidekorn, besitzen im Vergleich zu Holz aufgrund des hohen Proteingehalts deutlich mehr Stickstoff. Die vorgeschriebenen NO_x-Grenzwerte der

TA-Luft sind als schwierige Hürde zu betrachten. Düngung und Sortenwahl haben einen Einfluss, können aber grundsätzlich die Probleme der NO_x -Emissionen durch eine Änderung der Konzepte nicht lösen.

Schwefel

Im Vergleich zu Kohlebrennstoffen ist der Schwefelgehalt von Biofestbrennstoffen relativ gering. Mit ca. 0,3 % Schwefel in der Trockenmasse (i. d. TM) besitzt Rapsstroh den höchsten Schwefelgehalt unter den biogenen Festbrennstoffen. Im Vergleich dazu besitzt Steinkohle einen Schwefelgehalt von ca. 0,9 % i. d. TM. Der Schwefelgehalt hat einen direkten Einfluss auf die Bildung von Schwefeldioxid-Emission (SO_2) und Partikelemissionen. Im Gegensatz zum Stickstoff sind 40–90 % des Schwefels je nach eingesetzter Entstaubungseinrichtung (Filter) in der Asche eingebunden. Insgesamt ist der Schwefelgehalt in den Emissionen von biogenen Festbrennstoffen relativ gering. Er entspricht in etwa den SO_2 -Emissionen bei der Heizölverbrennung.

Chlor

Ein hoher Chlorgehalt im Brennstoff birgt die Gefahr der Kesselkorrosion, da es beim Vorhandensein von Chlor (CL) zur Bildung von Salzsäure (Chlorwasserstoff HCl) und schädlichen Chloremissionen (Dioxine und Furane) kommen kann (Abbildungen 2-4 und 2-5). Der Chlorgehalt ist jedoch stark abhängig von der Düngung der eingesetzten Biomasse. Im Allgemeinen besitzt Holz einen eher geringen Chlorgehalt von 0,005–0,02 % i. d. TM und ist daher in der Regel unproblematisch. Im Gegensatz dazu besitzt Getreide/Stroh einen relativ hohen Chlorgehalt von 0,2–0,5 % i. d. TM. Um die hohen Chlorgehalte, die speziell im Getreidehalm und somit im Stroh vorhanden sind, zu reduzieren, bietet sich die Möglichkeit der Bodentrocknung direkt nach der Ernte. So kommt es noch auf dem Feld zu einer teilweisen Auswaschung des Chlors durch Regen. Aus verbrennungstechnischer Sicht ist daher ausgewaschenes „graues“ Stroh gegenüber frischem „gelben“ Stroh zu bevorzugen /Hartmann 2007/. Generell sollte jedoch eine besonders chlorhaltige Düngung vermieden werden.

Staubemissionen

Staubemissionen setzen sich zusammen aus unverbrannten Brennstoffbestandteilen und Aschepartikeln. Sie sind abhängig vom Aschegehalt des Brennstoffs, von Bewegungen im Glutbett, vom Vorhandensein von Ablagerungszonen, vom Wartungszustand des Kessels und von der gewählten Brennstoffqualität. Die Anlagenauslastung ist im Bezug auf Staubemissionen von



Quelle: /BLT Wieselburg 2005/

Abb. 2-4: Korrosion im Kessel und in den Rauchgaszügen



Quelle: /BLT Wieselburg 2005/

Abb. 2-5: Korrosion im Kessel und in den Rauchgaszügen

geringer Bedeutung. In der Regel benötigen sämtliche Verbrennungsanlagen, die mit biogenen Festbrennstoffen betrieben werden, einen Filter zur Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte für Staubemissionen. Beim Einsatz von Holzbrennstoffen kann bei kleineren Anlagen ein Zyklonfilter ausreichend sein (siehe Kapitel 3.2.2 Staubabscheidung). Bei größeren Anlagen oder bei Stroh- oder Getreideheizungen ist in der Regel die Installation von speziellen Filteranlagen wie zum Beispiel Elektro- oder Gewebefiltern (siehe Kapitel 3.2.2 Staubabscheidung) notwendig, da hohe Staubemissionen auftreten und die vorgeschriebenen Grenzwerte sonst nicht eingehalten werden können. Speziell bei der Getreideverbrennung liegen die gemessenen Staubemissionen um ein Vielfaches über den Grenzwerten. Neben dem Einsatz von Elektro- oder Gewebefiltern bestehen weitere Ansätze zur Reduzierung des Staubes im Abgas:

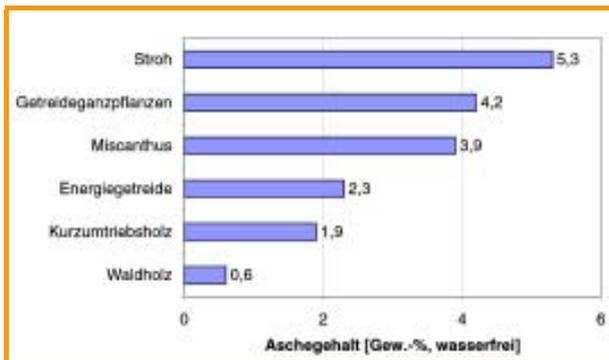




- Auswahl einer optimalen Getreideart und -sorte,
- Minimierung des Kaligehaltes bzw. der Kalidüngung von Energiegetreide,
- Keine unnötige Verwirbelung im Feuerbereich,
- Abgaswäsche.

Asche

Abbildung 2-6 stellt einige durchschnittliche **Aschegehalte** der verschiedenen Brennstoffe dar. Zum Vergleich liegt der Aschegehalt von Steinkohle bei 8,3 % und von Braunkohle bei 5,1 %. Der Aschegehalt von Getreide und Stroh ist im Vergleich zu Holz relativ hoch (zum Teil 4–5 Mal so hoch) und variiert ja nach Getreideart. Problematisch beim Getreide ist der hohe Anteil (bis 60 %) an unverbranntem Material, der in mehreren Versuchsanlagen festgestellt wurde (nach /FNR-Bioenergie 2006/: Getreideverbrennung). Der Aschegehalt von Holz ist neben der Holzart zusätzlich abhängig vom Mischungsverhältnis der Bestandteile Holz, Rinde und Laub.



Quelle: /Kaltschmitt und Hartmann 2001/ und /Hartmann 2007/

Abb. 2-6: Durchschnittliche Aschegehalte biogener Festbrennstoffe

Mittelwerte: Stroh (Roggen, Weizen, Triticale), Getreideganzpflanzen (Roggen, Weizen, Triticale), Energiegetreide (Roggen-, Weizen-, Triticalekörner), Kurzumtriebsholz (Weide und Pappel), Waldholz (Fichte und Buche).

Bei Stroh und Getreide ist neben dem relativ hohen Aschegehalt die **Ascheerweichungstemperatur** (siehe Tabelle 2-2) problematisch. Wird bei der Verbrennung diese Temperatur unterschritten, so kommt es vom Verkleben und der Bildung von Ascheklumpen bis hin zum völligen Aufschmelzen der Asche (Verschlackung). Zu große Schlackestücke können die Luftzufuhr im Brennraum und den automatischen Ascheabtransport behindern und somit zu einem schlechten Ausbrand führen. Beim Einsatz von Brennstoffen mit niedrigem Ascheerweichungspunkt besteht somit ein



Quelle: /BLT Wieselburg 2005/

Abb. 2-7: Bildung von Ascheklumpen bei der Verbrennung von Getreide



Quelle: /BLT Wieselburg 2005/

Abb. 2-8: Bildung von Ascheklumpen bei der Verbrennung von Getreide

erhöhtes Risiko der Verschlackung (siehe Abbildungen 2-7 bis 2-10). Bei Holzbrennstoffen liegt die Ascheerweichungstemperatur bei etwa 1.200 °C. Bei Getreidestroh hingegen liegt sie bei etwa 900 °C und bei Getreidekörnern bei ca. 700 °C. Da für die Verbrennung von Halmgut und Getreide häufig noch modifizierte Holzkessel eingesetzt werden, diese etwa



bei einer Verbrennungstemperatur von 1.000 °C gefahren werden, kommt es somit in der Regel zur Schlackebildung. Einige Möglichkeiten die Schlackebildung zu reduzieren oder zu verhindern sind in Kapitel 2.3.3 Energiegetreide aufgeführt.



Quelle: /BLT Wieselburg 2005/

Abb. 2-9: Verschlackter Brennraum vor der Reinigung



Quelle: /BLT Wieselburg 2005/

Abb. 2-10: Verschlackter Brennraum nach der Reinigung

Ascheverwertung/-entsorgung

Die Entsorgung der anfallenden Aschen spielt für einen Gartenbaubetrieb, der eine Biomasseheizanlage betreibt eine wichtige Rolle. Unbelastete Asche (unbelastet nach Düngemittelverordnung /DüMV 2003/), die beispielsweise bei der Verbrennung von Waldrestholz entsteht, kann im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zur Düngung auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen ausgebracht werden. Die Ausbringung von Düngemitteln unterliegt generell der Düngemittelverordnung. Sie regelt auch explizit die Ausbringung von Aschen aus der Verbrennung von pflanzlichen Stoffen. Nach Anlage 2 Tabelle 12 der DüMV dürfen nur Feuerraum-

aschen (keine Zyklon- oder Feinstflugaschen) aus der Monoverbrennung von naturbelassenen pflanzlichen Ausgangsstoffen zur Herstellung von organisch-mineralischen Düngemitteln oder von Wirtschaftsdüngern, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln verwendet werden. Können Aschen nicht wie zuvor beschrieben genutzt werden, müssen sie nach den gesetzlichen Vorgaben entsorgt werden.

Tabelle 2-2: Ascheerweichungstemperaturen biogener Festbrennstoffe

Brennstoff	Ascheerweichungstemperatur [°C]
Fichtenholz (mit Rinde)	1.426
Palletholz (Kurzumtrieb)	1.335
Weidenholz (Kurzumtrieb)	1.283
Rinde (Nadelholz)	1.440
Roggenstroh	1.002
Weizenstroh	998
Triticalestroh	911
Gerstenstroh	980
Rapsstroh	1.273
Weizenganzpflanzen	977
Triticaleganzpflanzen	833
Weizenkörner	687
Triticalekörner	730
Miscanthus	973

Quelle: nach /Hartmann 2007/

Geruchsbelästigung

Bei der Verbrennung von Getreide kommt es im Teillastbetrieb und beim An- und Abfahren der Anlage zu einer störenden Geruchsentwicklung. Der Einsatz eines Pufferspeichers, wie er für jede Biomasseheizanlage empfohlen wird, ist unbedingt notwendig. Sinnvoll ist zusätzlich eine automatische Zündung, so dass eine Glutbetherhaltung nicht mehr notwendig ist.

2.2.2 Energiegehalt

Auf Grund unterschiedlicher Zusammensetzung und Beschaffenheit der verschiedenen biogenen Festbrennstoffe besitzen sie auch einen unterschiedlichen Energiegehalt ausgedrückt im Heizwert. Der Heizwert (H_u) beschreibt die Wärmemenge, die bei der vollständigen Oxidation eines Brennstoffs ohne Berücksichtigung der Kondensationswärme (Verdamp-

Tabelle 2-3: Verbrennungstechnische Daten von festen, flüssigen und gasförmigen Bioenergieträgern

	Wassergehalt in %	Masse in kg	Heizwert in MJ/kg	Energieinhalt		Heizöl- äquivalent in l
				MJ	kWh	
Scheitholz (bezogen auf 1 Rm)						
• Hartholz (Buche)						
- lufttrocken	18	482	14,6	7.058	1.961	196
- sommertrocken	35	608	11,1	6.751	1.875	188
• Weichholz (Fichte)						
- lufttrocken	18	345	14,9	5.144	1.429	143
- sommertrocken	35	436	11,3	4.924	1.368	137
Hackgut (bezogen auf 1 m³)						
• Hartholz (Buche)						
- lufttrocken	18	283	14,6	4.144	1.151	115
- waldfrisch	50	464	8,0	3.702	1.028	103
• Weichholz (Fichte)						
- lufttrocken	18	202	14,9	3.015	838	84
- waldfrisch	50	332	8,1	2.699	750	75
Gewichtsmaße allg. (bezogen auf 1 t)						
• Holzpellets (DINplus)	10	1.000	18	18.000	5.000	500
• Hartholz (Buche)						
- lufttrocken	18	1.000	14,6	14.649	4.069	500
- sommertrocken	35	1.000	11,1	11.106	3.085	308
• Weichholz (Fichte)						
- lufttrocken	18	1.000	14,9	14.895	4.137	414
- sommertrocken	35	1.000	11,3	11.301	3.139	314
• Halmgut (Stroh, Getreide etc.)	15	1.000	14,5	14.509	4.030	403
Biokraftstoffe (bezogen auf 1 m³)						
• Rapsöl	< 0,1	920	37,6	34.592	9.609	961
• RME	< 0,03	880	37,2	32.736	9.093	909
Biogas (bezogen auf 1 m³)	< 1	1,2	25,9	21,6	6	0,6

Quelle: nach /FNR 2005b/

fungswärme) des im Abgas befindlichen Wasserdampfes freigesetzt wird /FNR 2005/. Normale Kessel können die entstehende Kondensationswärme nicht nutzen. Sie geht mit den Abgasen verloren. Brennwertkessel hingegen sind in der Lage auch die Kondensationswärme und somit den oberen Heizwert (H_o), auch Brennwert genannt, zu nutzen, so dass der Brennstoff effizienter eingesetzt werden kann.

Tabelle 2-3 stellt vergleichend die Heizwerte der unterschiedlichen Brennstoffe dar.

Es wird deutlich, dass speziell Holzpellets aufgrund ihrer hohen Dichte auch einen relativ hohen Heizwert

(H_u) besitzen. Das Heizöläquivalent liegt bei 500 l bezogen auf 1 t Holzpellets.

Neben der Zusammensetzung und Beschaffenheit des eingesetzten Brennstoffs hat der **Wassergehalt** einen wesentlichen Einfluss auf den Heizwert.

Das in der Biomasse vorhandene Wasser verdunstet während der Verbrennung. Dies erfordert Energie. Energie, die als Wärme genutzt werden könnte, wenn das Wasser nicht im Brennstoff enthalten wäre. Optimal für die Verbrennung ist daher ein möglichst trockener Brennstoff. Für Brennstoffe mit hohem Wasser-

gehalt bietet sich die Möglichkeit der Rückkondensation des entstandenen Wasserdampfs und somit die Nutzung der latenten Wärme. Tabelle 2-3 verdeutlicht noch einmal den Einfluss des Wassergehalts auf den Heizwert: luftgetrocknetes Buchenholz mit einem Wassergehalt von 18 % hat einen Heizwert von 14,6 MJ/kg. Sommertrocken (35 % Wassergehalt) hat das Buchenholz hingegen einen Heizwert von 11,1 MJ/kg.

Des Weiteren hat der Wassergehalt einen Einfluss auf die Lagerfähigkeit des biogenen Festbrennstoffs. Wassergehalte über 16 % führen in der Regel zu biologischen Abbau- oder Umwandlungsprozessen, die mit Heizwert-Verlusten verbunden sind /Kaltschmitt und Hartmann 2001/.

Der Wassergehalt biogener Festbrennstoffe schwankt zwischen 10 und 65 % und ist abhängig von:

- Brennstoffart (Holz, Getreidestroh, Getreidekorn, etc.),
- Brennstoffzusammensetzung (z. B. Waldhackschnitzel, Industriebhackschnitzel, etc.),
- Brennstoffalter,
- Jahreszeit (Einfluss durch Temperaturschwankungen, Niederschläge, Wind, etc.).

Normgerechte Holzpellets nach DIN 51 731 haben einen Wassergehalt von maximal 12 % /DIN 51 731/.

2.2.3 Physikalische Brennstoffeigenschaften

Bei der Planung einer Heizanlage, die mit biogenen Festbrennstoffen betrieben werden soll, ist es wichtig, sich bereits im Vorfeld sowohl über die chemischen als auch über die physikalischen Eigenschaften des einzusetzenden Brennstoffs zu informieren. Es sollte immer zunächst der Brennstoff bestimmt und danach die Heizanlage ausgelegt werden. Die chemischen Eigenschaften der verschiedenen Brennstoffe wurden bereits im vorherigen Kapitel beschrieben. Zu den wichtigsten physikalisch-mechanischen Brennstoffeigenschaften zählen Partikelgröße, Größenverteilung, Feinanteil, Brückenbildungsneigung, Lagerdichte und Rohdichte. Für normgerechte Holzpellets beispielsweise sind die zulässigen **Partikelgrößen** (Länge, Höhe, Breite) in der DIN CEN/TS 14961 festgelegt (siehe Tabelle 2-4).

Die Fließ-, Transport- und Lagereigenschaften von Schüttgütern werden – außer durch Partikelform und -größe – auch durch die **Partikelgrößenverteilung** sowie den **Feinanteil** (z. B. Abrieb von Pellets) bestimmt /Hartmann 2005/. Das Mischungsverhältnis der einzelnen Partikelgrößenklassen ist wichtig, da es spezi-

Tabelle 2-4: Größenklassen für Holzpellets nach DIN CEN/TS 14961

Bezeichnung, Größengruppe	Durchmesser D (mm)	Länge L (mm)
D06	≤ 6 (± 0,5)	≤ 5 x D
D08	≤ 8 (± 0,5)	≤ 5 x D
D10	≤ 10 (± 0,5)	≤ 5 x D
D12	≤ 12 (± 1,0)	≤ 4 x D
D25	≤ 25 (± 1,0)	≤ 4 x D

Quelle: /Hartmann 2007/

ell bei zu großen Teilen zu Störfällen bei der Brennstoffzuführung in den Kessel kommen kann. Eine Klassifizierung nach Partikelgrößenverteilung ist daher sinnvoll. Beispiel für ein solches Klassifizierungssystem ist die ÖNORM M7133 aus Österreich (siehe Tabelle 2-5).

Seit 2005 gibt es die Norm CEN/TS 335 bzw. CEN/TS 14961:2005 „Feste Biobrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und -klassen“, die als erste Norm für biogene Festbrennstoffe europaweit gilt. Sie legt folgende Parameter fest:

- Wassergehalt,
- Aschegehalt,
- Korngrößenverteilung,
- Schüttraumdichte,
- Stickstoff- und Chlorgehalt,
- Heiz- bzw. Brennwert.

Die ersten drei Parameter sind Pflichtangaben, die anderen Parameter können als informative Zusatzparameter erhoben werden.

Möglichst homogene Materialeigenschaften sind ebenfalls für die Reduzierung der Brückenbildungsneigung (Rieselfähigkeit) eines Brennstoffs von Bedeutung. Unter **Brückenbildung** wird das Bilden von Hohlräumen in Silos oder Tagesvorratsbehältern von Schüttgut verstanden. Durch inhomogene Oberflächen oder/und ungleichmäßige Partikelgrößen kann bei der Entnahme das Nachrutschen/Rieseln des Brennstoffs in die darunter liegenden Förderaggregate behindert werden.

Die Rohdichte eines Brennstoffs beschreibt die eigentliche Materialdichte. Tabelle 2-6 gibt eine Übersicht über die Rohdichten unterschiedlicher Gehölze, die in Weichhölzer (bis 0,55 g/cm³) und Harthölzer (über 0,55 g/cm³) unterschieden werden können. Die Rohdichte hat einen Einfluss auf die **Lagerdichte**





(**Schütt- oder Stapeldichte**) eines Brennstoffs. Die Schüttdichte ist definiert als der Quotient aus der Masse des in einen Behälter eingefüllten Brennstoffs und dem Volumen dieses Behälters /DIN 51 705/. Informationen über die Lagerungsdichte sind eine wichtige Grundlage für die Dimensionierung des Brennstoffla-

gers. Die verschiedenen biogenen Festbrennstoffe unterscheiden sich zum Teil erheblich in ihrer Lagerdichte (Beispiele in Tabelle 2-6). Abbildung 2-3 verdeutlicht die Daten aus der Tabelle sehr anschaulich. Der Energiegehalt jeder einzelnen Säule entspricht dem Energiegehalt von einem Liter Heizöl EL.

Tabelle 2-5: Anforderungen an die Größenverteilung nach der österreichischen Norm für Holzhackgut (ÖNORM M7133)

	Zulässige Massenanteile und jeweilige Bandbreite für Teilchengröße (nach Siebanalyse)				Zulässige Maximalwerte	
	max. 20 %	60–100 %	max. 20 %	max. 4 %	Querschnitt	Länge
G 30	> 16 mm	16–2,8 mm	< 2,8 mm	< 1 mm	3 cm ²	8,5 cm
G 50	> 31,5 mm	31,5–5,6 mm	< 5,6 mm	< 1 mm	5 cm ²	12 cm
G 100	> 63 mm	63–11,2 mm	< 11,2 mm	< 1 mm	10 cm ²	25 cm

Quelle: /Hartmann 2007/

Tabelle 2-6: Schütt- und Stapeldichten biogener Festbrennstoffe

Brennstoff	Schüttdichte/ Stapeldichte	Öläquivalente kg Brennstoff/l OE	Öläquivalente l Brennstoff/l OE
Heizöl EL	840 kg/m ³	0,84	1,00
Rapsöl	920 kg/m ³	0,97	1,05
Steinkohle (w = 5,1 %)	860 kg/Sm ³	1,28	1,49
Ethanol	790 kg/m ³	1,34	1,70
Holzpellets (w = 10 %)	850 kg/Sm ³	2,16	3,33
Strohpellets (w = 10 %)	603 kg/Sm ³	2,36	3,91
Scheitholz Buche (lufttrocken, w = 15 %)	459 kg/Rm	2,35	5,11
Scheitholz Fichte (lufttrocken, w = 15 %)	297 kg/Rm	2,30	7,73
Kiefern-Hackschnitzel (lufttrocken, w = 15 %)	217 kg/Sm ³	2,25	10,36
Sägemehl (Fichte lufttrocken, w = 15 %)	170 kg/Sm ³	2,30	13,51
Getreideganzpflanzen-Häcksel (lufttrocken, w = 15 %)	150 kg/Sm ³	2,53	16,85
Stroh-Großballen (lufttrocken, w = 15 %)	140 kg/m ³	2,52	18,00
Miscanthus-Häcksel (lufttrocken, w = 15 %)	70 kg/Sm ³	2,45	35,04

Quelle: nach /TFZ 2005/

2.3 Biomassefeuerungsanlagen

Auf dem Markt stehen spezielle Biomasseheizkessel von verschiedenen Kesselherstellern zur Verfügung. Eine Liste mit Herstellern ist im Kapitel 6 zu finden. Kessel für den Einsatz von Holzscheiten, -hackschnitzeln oder -pellets sind auf dem deutschen Markt von diversen Anbietern zu beziehen. Kesselhersteller, die spezielle Getreidekessel vertreiben, sind bislang je-

doch kaum vertreten. Neben speziell für die Getreideverbrennung entwickelten Kesseln werden häufig auch adaptierte Holzkessel angeboten.

Für alle Anlagen, die mit Biomasse betrieben werden gilt, dass sie in der Regel ein trägeres Leistungsverhalten haben als Öl- oder Gas-betriebene Anlagen. Für eine Ölheizung gilt: Flamme an → Wärme, Flamme aus → keine Wärme. Bei einer Biomasseheizung und auch bei Kohleheizungen heizt der Kessel



stets nach. Der Biomassekessel sollte daher zum Teil einige Grad niedriger gefahren werden. Besonders bei trägern Leistungsregelverhalten ist der Einsatz eines Pufferspeichers (siehe Kapitel 3.2.4 Pufferspeicher) zu empfehlen, um die entstehende Wärme optimal/maximal auszunutzen und die für den Gartenbaubetrieb typischen, schnellen Lastschwankungen, wie sie zum Beispiel beim Öffnen des Energieschirms entstehen, ausgleichen zu können. Lastspitzen, aber auch der Grundlastbereich unter etwa 30 % Nennleistung der Biomassekessel müssen jedoch nach wie vor durch Heizöl oder Gas abgedeckt werden, da Biomassekessel in der Regel maximal bis auf 25–30 % der Volllast geregelt werden können /Raab et al. 2005a/ und /Brökeland 2001/.

2.3.1 Holz

nach /Hartmann und Rossmann 2003/

Allgemein ist zunächst anzumerken, dass Holzqualität und Anlagentechnik stets aufeinander abgestimmt sein sollten. Die Automatisierbarkeit der aufbereiteten Holzarten ist unterschiedlich. Pellets eignen sich aufgrund ihrer homogenen Struktur sehr gut für eine vollautomatische Beschickung. Hackschnitzel sind je nach Güteklasse mehr oder weniger homogen, so dass sie sich ebenfalls zur automatischen Beschickung eignen. Jedoch gibt es Unterschiede bei den Zuführungssystemen der Brennstoffe. Beim Einsatz von kostengünstigeren Förderschnecken besteht die Gefahr der Verkantung von vereinzelt größeren Hackschnitzeln und somit eines Störfalles. Dieses kann durch den Einsatz von zum Beispiel hydraulischen Schiebern vermieden werden. Für Grobhackgut (Teilchenlänge über ca. 4 cm) sind Kolbenbeschickungssysteme sinnvoll. Scheitholz ist für den Einsatz im Gartenbau aufgrund der mangelnden automatischen Beschickung ungeeignet.

Eine vollautomatische Beschickung ist jedoch die erste Voraussetzung für den Einsatz einer Feuerungsanlage in einem Gartenbaubetrieb. Die für den Gartenbau relevanten Feststofffeuerungsprinzipien sind in Abbildung 2-11 zusammengefasst.

Folgende drei Bauarten kommen hauptsächlich zum Einsatz:

Unterschubfeuerung (besitzt Verbrennungsröhre), Quereinschubfeuerungen (mit/ohne bewegtem oder starrem Verbrennungsrost) und Abwurffeuerungen (meist Pelletfeuerungen). Starre Roste werden eher bei kleineren Anlagen mit geringer Leistung eingesetzt und sind eher geeignet für aschearme Brenn-

stoffe (siehe Kapitel 2.2 Brennstoffeigenschaften). Bewegte Roste bieten den Vorteil eines verbesserten Brennstoff- und Aschetransportes und somit einer Homogenisierung des Brennstoffbettes. Verschiedene Varianten der Rostfeuerung kommen zum Einsatz: Vorschubrosttechnik, Wanderrost-, Rückschubrost-, Vor/Rückschubrost und Walzenrostfeuerungen. Die Roste können horizontal und geneigt montiert sein. Zum Teil werden auch Kombinationen eingesetzt wie zum Beispiel Unterschubfeuerung mit rotierendem Rost.

Die verschiedenen Feuerungstechniken bieten unterschiedliche Vor- und Nachteile. Bei der Unterschub- und Rostfeuerung beispielsweise entsteht ein sogenanntes Festbett: der Brennstoff wird von der Verbrennungsluft mit einer relativ geringen Anströmgeschwindigkeit durchströmt. Die Folge ist ein sehr festes Brennstoffbett. Durch eine Erhöhung der Anströmgeschwindigkeit werden die Brennstoffpartikel aufgelockert und angehoben bis hin zur Wirbelschichtfeuerung (Schwebezustand der Partikel). Es kommt zu einem gleichmäßigen Ausbrand. Im Gartenbau kommen in der Regel Feuerungen mit niedriger Anströmgeschwindigkeit zum Einsatz.

Unterschubfeuerung

Bei der Unterschubfeuerung wird der Brennstoff mit einer Förderschnecke, die lastabhängig gesteuert werden kann, von unten in die Retorte (Feuermulde) eingeschoben (Abbildung 2-12). Durch Einblasen von Verbrennungsluft (Primärluft) in die Retorte kommt es zur Trocknung, anschließend zur pyrolytischen Zersetzung und der Vergasung des Brennstoffs bis hin zum Abbrand der Holzkohle. Damit es zu einer vollständigen Oxidation der Brenngase kommen werden sie kurz vor der heißen Nachbrennkammer mit Sekundärluft vermischt. Die weitergeleiteten heißen Gase geben nun die Wärme an den Wärmeübertrager ab. Die Abgase werden darauffolgend zum Beispiel durch den Zyklon als Trägheitsentstauber (siehe Kapitel 3.2.2) in das Kaminsystem und abschließend in die Atmosphäre geleitet.

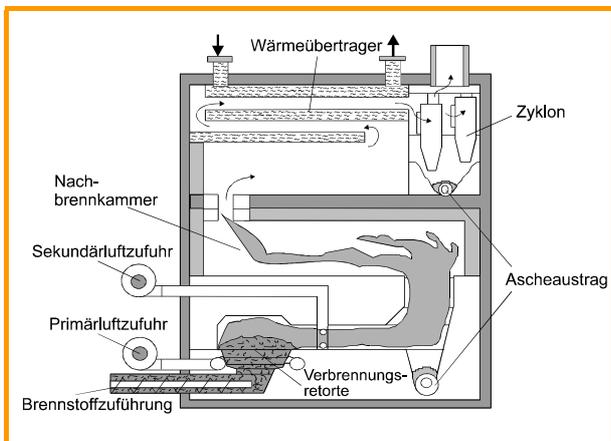
Der Brennstoff sollte auf Grund der Schneckenförderung feinkörnig und gleichmäßig beschaffen sein („gute“ Hackschnitzel oder Pellets), da es sonst zur Verkantung von Holzspänen in der Förderschnecke und somit zu Störfällen kommen kann. Die Unterschubfeuerung ist geeignet für aschearme und relativ trockene Brennstoffe mit einem maximalen Wassergehalt von 40 % /MLR 2005/, da im Gegensatz zum Quereinschub keine Vortrocknung des Brennstoffs bei



Prinzip	Variante	Typ	Schema	Nennwärmeleistung	Brennstoffe
Unterschubfeuerung				ab 10 kW (bis 2,5 MW)	Holzhackschnitzel, Holzpellets
Quereinschubfeuerung (mit Schnecken oder Kolben)	als Rostfeuerung	starrer Rost (z. T. mit Ascheräumer oder Kipprost)		ab 35 kW	Holzhackschnitzel, Holzpellets
		bewegter Rost (Vorschubrost)		ab 100 kW (bis > 20 MW)	Holzhackschnitzel, Holzpellets, Späne, Rinde
	als Schubbodenfeuerung (ohne Rost)	mit Wasserkühlung unter dem Glutbett (z. T. manuelle Entaschung, kein Schieber)		ab 25 kW (bis 800 kW)	Hackschnitzel, Holzpellets (ab 15 kW) Halmgut Körner
		ohne Wasserkühlung unter dem Glutbett		ab 25 kW (bis 180 kW)	Holzhackschnitzel Holzpellets (ab 15 kW)

Quelle: nach /Hartmann und Rossmann 2003/

Abb. 2-11: Systematik der Feuerungsprinzipien automatisch beschickter Feuerungsanlagen (vereinfachte schematische Darstellung ohne Luftführung und Ascheaustrag)



Quelle: /Nussbaumer und Hartmann 2001/

Abb. 2-12: Schematische Darstellung einer Unterschubfeuerung

der Zuführung stattfindet. Für besonders feuchte Brennstoffe eignet sich nur eine Unterschubfeuerung mit rotierendem Rost. Sie wird jedoch vorwiegend in skandinavischen Ländern für sehr feuchte und gefrorene Brennstoffe verwendet und kommt im deutschen Gartenbau nur selten zum Einsatz.

Quereinschubfeuerung

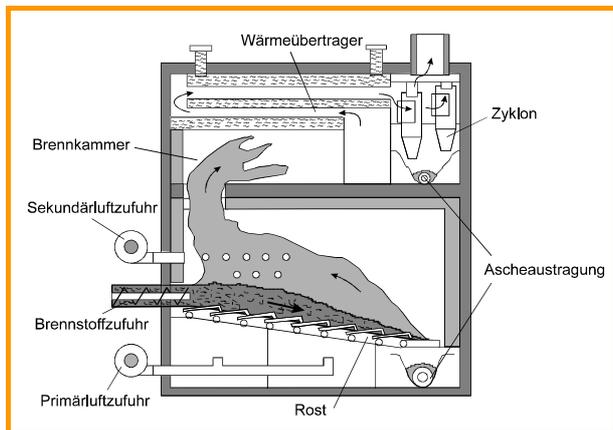
Quereinschubfeuerungen stehen als Rostfeuerung oder Schubbodenfeuerung (ohne Rost) auf dem Markt zur Verfügung. Sind sie mit Rost ausgestattet kann dieser bewegt (Vorschubrost) oder starr (mit Ascheräumer oder Kipprost) sein.

Rostfeuerungen eignen sich im Gegensatz zu Unterschubfeuerungen auch für den Einsatz von Brennstoffen mit schwankender Qualität (Wasserge-

halt bis max. 50 % /MLR 2005/), auf Lastwechsel reagieren sie im Vergleich jedoch relativ langsam.

Vorschubrostfeuerung

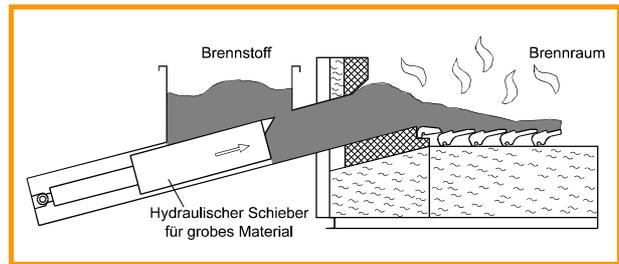
Der Brennstoff wird bei der Vorschubrostfeuerung auf einen horizontalen oder schräg stehenden Vorschubrost beschickt (Abbildung 2-13). Auch Planroste, Treppenroste, Wanderroste und Walzenroste sind möglich. Feines Material kann mit einer Förderschnecke, grobes Material durch Kolbenbeschickung (hydraulischer Schieber) zugeführt werden (Abbildung 2-14). Durch Bewegung der einzelnen Rostelemente wandert der Brennstoff auf dem Schrägrost nach unten, dabei wird stirnseitig Primärluft in die Rostelemente eingeblasen. Die Zufuhr von Primärluft bewirkt unter anderem eine Rostkühlung und reduziert somit die Gefahr der Überhitzung und daraus resultierender Schlackebildung, speziell bei kritischen Brennstoffen (z. B. bei der Stroh- oder Getreideverbrennung). Sekundärluft wird oberhalb des Rostes oder kurz vor Eintritt des Brenngases in die Brennkammer zugeführt. Je nach Strömungsrichtung der Brenngase kann zwischen dem Gegenstromprinzip mit Umkehrflamme, dem Gleichstromprinzip und dem Mittelstromprinzip unterschieden werden. Feuerungen nach dem Gleichstromprinzip sind für trockene Brennstoffe sowie für Brennstoffe mit niedriger Ascheerweichungstemperatur geeignet.



Quelle: /Nussbaumer und Hartmann 2001/

Abb. 2-13: Vorschubrostfeuerung nach dem Gegenstromprinzip

Feuerungen nach dem Gegenstromprinzip sind besonders geeignet für relativ feuchte Brennstoffe (bis 60 % Wassergehalt), da hierbei in der oberen Zone des Rostes eine ausgeprägte Vortrocknung des Brennstoffs stattfindet. Der Rost kann entsprechend in drei Zonen eingeteilt werden: 1. Zone: Trocknung, 2. Zone: Hauptverbrennungszone, 3. Zone: Ausbrand der



Quelle: /Nussbaumer und Hartmann 2001/

Abb. 2-14: Funktionsweise einer Kolbenbeschickung

Holzkohle. Zur Vortrocknung des Brennstoffs gibt es auch die Möglichkeit spezielle Vortrockner in ein beliebiges System zu integrieren (Abbildung 2-15). In einer speziellen Förderschnecke werden beispielsweise die frischen Waldhackschnitzel vor der Kesselschnecke vorgetrocknet. Über einen Wärmetauscher wird auf ca. 80 °C vorgewärmte Luft von unterhalb der Schnecke in die Hackschnitzel eingeblasen. Durch kontinuierliches Befördern der Hackschnitzel mit der groß dimensionierten Schnecke wird eine gleichmäßige Trocknung gewährleistet. Die Temperatur der zugeführten Luft wird über die Ablufttemperatur des Vortrockners geregelt.

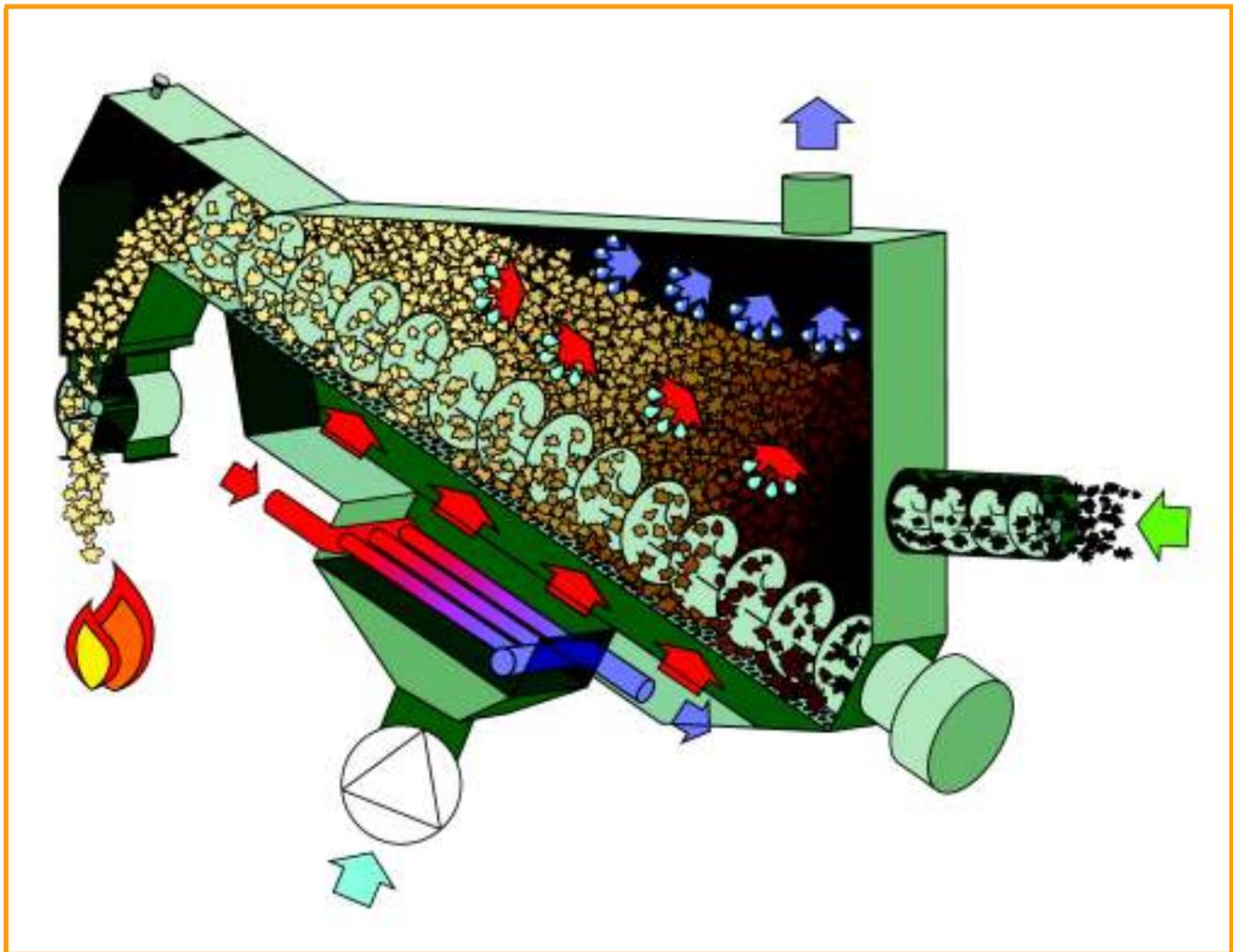
Feuerungen mit Rotationsgebläse

Bei dieser Bauart fällt der zugeführte Brennstoff auf einen bewegten Rost. Die Brenngase gelangen in eine darüber liegende horizontale zylindrische Nachbrennkammer, in der die Sekundärluft über ein frontseitiges Rotationsgebläse einströmt /Nussbaumer und Hartmann 2001/. Die eingeblasene Luftsäule wird in Rotation versetzt und somit ergibt sich im Brennraum eine intensivere und gleichmäßigere Vermischung der Gase. Die Feuerung kann dadurch mit niedrigem Luftüberschuss betrieben werden; dies begünstigt einen guten Gasausbrand und hohen Wirkungsgrad /Nussbaumer und Hartmann 2001/.

Vorofenfeuerung

Die Vorfeuerung bietet die Möglichkeit, vorhandene Öl- oder Gaskessel auf feste Brennstoffe umzustellen, weil anstelle des Öl- oder Gasbrenners die Vorfeuerung an den Kessel angeflanscht wird /Tantau 1983/. Der Platzbedarf bei dieser Feuerung ist sehr hoch, da Primär- und Sekundärverbrennung räumlich getrennt voneinander stattfinden (Abbildung 2-16). Das Vorofenmodul setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- Brennstoffbeschickungseinheit,
- Vorschubrost (bei kleineren Anlagen auch Festroste),
- schamottierter Vorofen (Entgasungsraum).



Quelle: /KÖB 2006/

Abb. 2-15: Prinzip des Vortrockners der Firma KÖB

Die Brenn- und Abgase werden anschließend unter Sekundärluft über einen Flansch oder wärmege- dämmten Flammkanal in das nachgeschaltete Kessel- modul geleitet. Dort findet je nach Ausführung noch eine Nachverbrennung statt. Anschließend strömen die heißen Gase in den integrierten Wärmeübertrager.

Für den Gartenbau haben Vorofenfeuerungen heutzutage keine weitere Bedeutung.

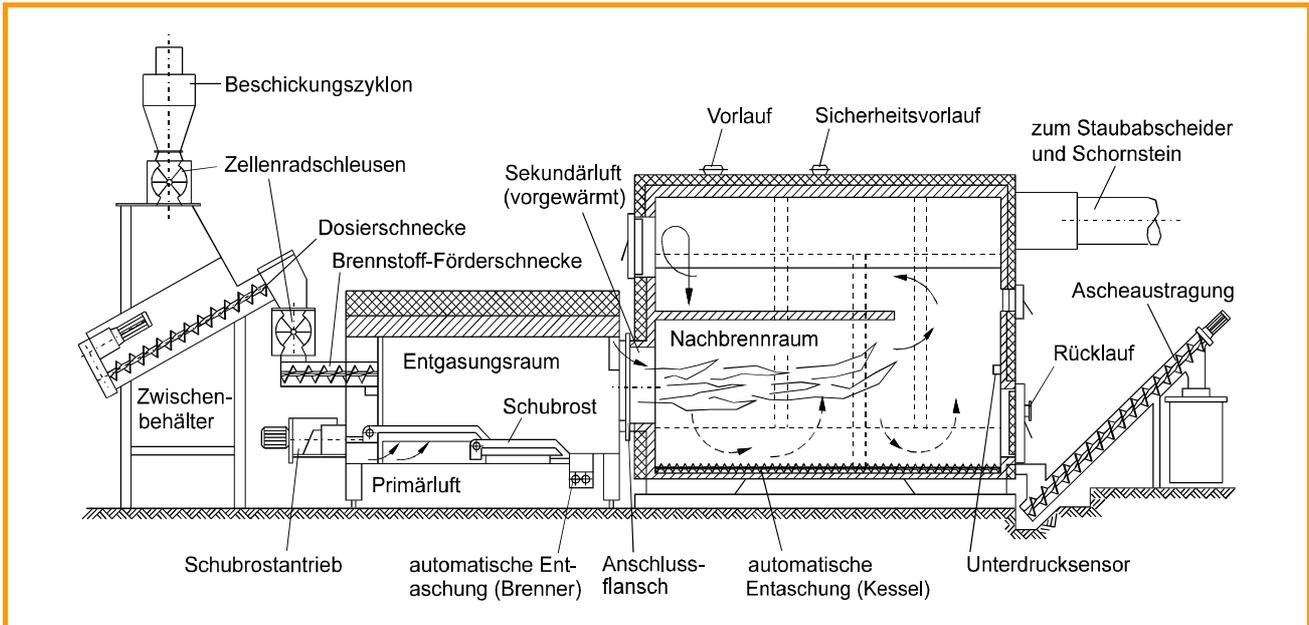
Abwurffeuerungen (als Pelletfeuerungen)

Bei Abwurffeuerungen handelt es sich um Anlagen mit Fall- bzw. Füllschacht oder Fallrohr. Sie sind für den Einsatz von Holzpellets geeignet. Die Pellets werden mit Hilfe einer Förderschnecke zugeführt und fal- len über den Füllschacht auf das Glutbett, das sich in einer Brennschale oder auf einem Kipprost befindet. Primär- und Sekundärluft werden von unten und/oder seitlich dem Glutbett zugeführt. Abwurf- feuerungen sind auf dem Markt in der Regel nur in

kleineren Leistungsbereichen verfügbar. Sie sind da- her im Gartenbau nur von geringer Bedeutung.

Einblasfeuerungen und Wirbelschichtfeuerungen

Zur Verbrennung von Spänen, Sägemehl und anderen feinkörnigen Holzresten (Wassergehalt unter 15- 20 %) eignen sich Einblasfeuerungen. Der Brennstoff wird in der Regel mit Hilfe einer pneumatischen För- derung mit Trägerluft in den Brennraum eingeblasen. Die feine Struktur und die deutlich stärkere Anströ- mung des Brennstoffs in Wirbelschichtfeuerungen (im Vergleich zu Rostfeuerungen), bedingt hohe Staub- frachten im Abgas. Das Feststoffbett wird kontinuier- lich aufgewirbelt und somit verstärkt Partikel mitge- rissen. Daher ist die Filterung mit Zyklonfiltern in der Regel nicht ausreichend, so dass zusätzliche Gewebe- oder Elektrofilter installiert werden müssen. Einblas- oder Wirbelschichtfeuerungen sind nur in sehr gro- ßem Leistungsbereich verfügbar und aufgrund relativ



Quelle: /Nussbaumer und Hartmann 2001/

Abb. 2-16: Schematische Darstellung einer Vorofenfeuerung

hoher Kosten (spezieller Filter etc.) im Gartenbau kaum zu finden.

Tabelle 2-7 gibt eine zusammenfassende Übersicht der erwähnten Bauarten von Festbrennstofffeuerungen. Generell gilt für alle Feuerungen, dass Feuerraum und Nachbrennkammer immer an die jeweilige Brennstoffqualität, speziell im Bezug auf Wassergehalt, Aschegehalt und Ascheerweichungstemperatur des Brennstoffs angepasst sein sollten, um technische Störungen zu vermeiden. Beispielsweise kann es beim Einsatz von trockenem Brennmaterial in einer Anlage, die für frische Waldhackschnitzel ausgelegt ist, zu einer Erhöhung der Feuerraumtemperatur kommen und daraus resultierend zu Materialproblemen und Schlackebildung.

2.3.2 Halmgut
nach /Hartmann und Rossmann 2003/

Nur von wenigen deutschen Herstellern stehen zur Zeit speziell für die Halmgutverbrennung entwickelte Kessel zur Verfügung (siehe Liste von Kesselherstellern in Kapitel 6). In der Regel kommen für Strohhäcksel oder Strohpellets angepasste Holzkessel zum Einsatz. Die bereits im vorherigen Kapitel vorgestellte Feuerungs- und Anlagentechnik für holzartige Brenn-

Tabelle 2-7: Gegenüberstellung der für den Gartenbau wichtigsten Bauarten automatisch beschickter Feststofffeuerungen (ohne spezielle Halmgutfeuerung) (Aschegehalt bezogen auf die Trockenmasse)

Feuerungstyp	Leistungsbereich [kW]	Brennstoffe	Wassergehalt [% FM]
Unterschubfeuerung	10–2.500	Holz hackschnitzel mit Aschegehalt bis 1 % und Holzpellets	5–50
Vorschubfeuerung	150–15.000	alle Holzbrennstoffe, Aschegehalt bis 50 %	5–60
Unterschubfeuerung mit rotierendem Rost	2.000–5.000	Hackschnitzel mit hohem Wassergehalt, Aschegehalt bis 5 %	40–65
Vorofenfeuerung mit Rost	20–1.500	trockene Holz hackschnitzel, Aschegehalt bis 5 %	5–35
Feuerung mit Rotationsgebläse	80–540	Schleifstaub, Späne, Hackschnitzel	bis 40

Quelle: nach /Kaltschmitt und Hartmann 2001/

stoffe ist jedoch nicht ohne weiteres zur Verbrennung von Halmgut einsetzbar. Das liegt daran, dass landwirtschaftliche Festbrennstoffe wie Stroh, Gras, Ganzpflanzengetreide oder Getreidekörner gegenüber Holzbrennstoffen vielerlei Unterschiede aufweisen, die einerseits eine aufwändigere und teurere Feuerungstechnik erforderlich machen und andererseits das Einhalten der derzeit gültigen Emissionsbegrenzungen erschweren /nach Hartmann und Rossmann 2003/. Spezielle Halmgutfeuerungen hingegen können nach richtiger Einstellung auch mit Holzbrennstoffen betrieben werden. Halmgutbrennstoffe unterscheiden sich von Holzbrennstoffen durch einen höheren Gehalt an Kalium, Natrium, Chlor und Stickstoff, sowie durch deutlich höhere Aschegehalte und eine geringere Ascheerweichungstemperatur. Systeme für speziell aschearme Holzbrennstoffe wie zum Beispiel die Unterschubfeuerungen sind für den Einsatz von Halmgut daher ungeeignet. Bei den zuvor beschriebenen Rostfeuerungen sind Halmgüter zum Teil durch spezielle Mechanismen zur Begrenzung der Verbrennungsraumtemperatur und somit der Vermeidung von Schlackebildung einsetzbar. Dazu zählen unter anderem wassergekühlte Rostelemente oder Brennraumboflächen bzw. Brennraummulden und kontinuierliches Bewegen von Brennstoff und Asche, wie es beispielsweise bei der Vorschubrostfeuerungen eingesetzt wird. Bei Schüttgutfeuerungen besteht die Möglichkeit einen Wärmetauscher direkt unter der Brennmulde zu platzieren, um somit die Temperatur frühzeitig zu reduzieren.

Ein weiterer wichtiger Unterschied zwischen Holz- und Halmgutbrennstoffen besteht im Schadstoffausstoß, der bei Halmgut in der Regel höher liegt. Besonders wichtig bei Halmgutfeuerungen ist daher die Korrosionsbeständigkeit der Bauteile, speziell im Bereich des Wärmetauschers. In der Regel sind aufwändige Entstaubungseinrichtungen notwendig, um Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Im Folgenden werden die für den Gartenbau relevanten Feuerungssysteme kurz dargestellt. Detaillierte Informationen sind unter /Raab et al. 2005/ sowie /Kaltschmitt und Hartmann 2001/ nachzulesen.

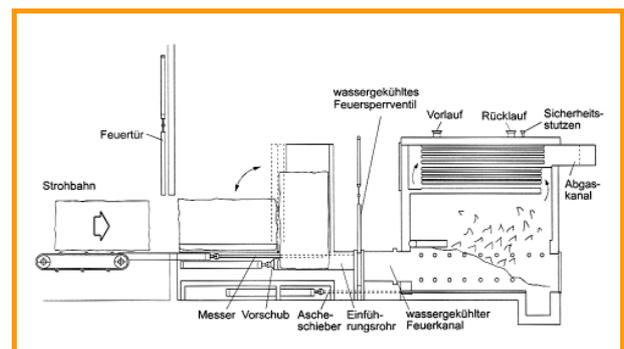
Ballenauflöser- und Schüttgutfeuerungen

Diese Anlagen können zum einen mit zerkleinerten Ballen oder mit bereits zerkleinertem Material wie Strohpellets oder Strohhäcksel betrieben werden. Bei Ballenauflöserfeuerungen wird der Strohballen vor der Verbrennung zerkleinert und das lose Stroh in kurzen zeitlichen Abständen automatisch in die Feuerung gefördert. Sowohl bei Ballenauflöser- als auch bei

Schüttgutfeuerungen erfolgt der Transport des losen Schüttguts mit Förderschnecken oder mit Hilfe eines Gebläseluftstroms. Als Feuerung kommt beispielsweise die Vorschubrostfeuerungen mit Wasserkühlung zum Einsatz. Durch einen Wasserwärmetauscher unter der Brennmulde wird Wärme abgenommen und somit die Gefahr der Verschlackung reduziert. In der Regel werden oszillierende Ascheschieber zur automatischen Entsorgung der hohen Aschemengen eingesetzt. Vorschubrostfeuerungen mit Wasserkühlung sind theoretisch auch für den Einsatz von Getreidekörnern geeignet. Bei kleineren Anlagen kommen auch Schubbodenfeuerungen zum Einsatz.

Ballenfeuerung mit Ballenteiler

Der in Ballenform vorliegende Brennstoff wird bei dieser Feuerung nicht als ganzer Ballen sondern portioniert in den Brennraum befördert (Abbildung 2-17). Nach dem Scheibentrennprinzip wird der auf einer Transportbahn herantransportierte Ballen mit Hilfe einer Kippeinrichtung senkrecht gestellt, damit ein horizontal arbeitendes, hydraulisch vorgeschobenes Trennmesser im unteren Ballenteil eine jeweils ca. 30 cm hohe Scheibe abtrennen kann /Kaltschmitt und Hartmann 2001/. Mit Hilfe eines Schubbodens werden diese Strohscheiben durch eine Rückbrandschleuse in den Brennraum geschoben. Der Vorteil dieser Anlage liegt in der kontinuierlichen Beschickung. Größere Leistungsschwankungen wie beispielsweise bei Ganzballenfeuerungen werden somit vermieden.



Quelle: nach /Linka/

Abb. 2-17: Ballenfeuerung mit Ballenteiler und halmgut-tauglichem Rost

Ganzballenfeuerungen

Feuerungsanlagen, die mit Ganzballen betrieben werden, sind in zwei Varianten zu finden: kontinuierlich beschickte Anlagen (ab ca. 2.000 kW) oder absätzig beschickte Anlagen (ab ca. 350 kW). Dabei geschieht die Beschickung der absätziggen Anlagen meist mit Hilfe eines Frontlader-Schleppers.



Bei der Ganzballenfeuerung findet eine chargenweise Verbrennung statt, ähnlich wie bei handbeschickten Anlagen. Charakteristisch für Chargenabbrand sind mehr oder weniger große Schwankungen von Leistung, Temperatur, Luftüberschuss und Schadstofffreisetzung. Die Anlagen sollten daher möglichst immer unter Volllast betrieben werden, um eine gleichmäßige Wärmeerzeugung zu gewährleisten. Voraussetzung dafür ist eine entsprechend großer Wärmespeicher.

Bei Anlagen mit oberem Abbrand ist der Verbrennungsablauf diskontinuierlich und somit nur schwer regelbar. Der Vorteil dieses Anlagentyps liegt jedoch in der Vielseitigkeit der einsetzbaren Ballengrößen. Auf dem deutschen Markt werden diese Anlagen allerdings zur Zeit noch nicht angeboten.

Auch bei Ballenfeuerung gibt es das Prinzip des unteren Abbrands, allerdings sind diese Anlagen nicht variabel, so dass sie nur für eine Ballenform und -größe ausgelegt sind. Durch das Prinzip des unteren Abbrands laufen die Anlagen gleichmäßiger und sind somit besser regelbar.

Auch bei Ganzballenfeuerungsanlagen ist genau wie bei Schüttgutfeuerungsanlagen eine Wasserkühlung sinnvoll, um mit der Verbrennungsraumtemperatur nicht in den kritischen Bereich der Ascheerweichung zu gelangen. Statt eines wassergekühlten Rostes ist hier der Brennraum von einem Wassermantel umgeben.

Tabelle 2-8 liefert zusammenfassend eine Übersicht über die verschiedenen Halmgutfeuerungsanlagen.

Tabelle 2-8: Gegenüberstellung der für den Gartenbau wichtigsten Bauarten automatisch beschickter Halmgutfeuerungen

Feuerungstyp	Leistungsbereich [kW]	Brennstoffe	Aufbereitung zur Beschickung
Ganzballenfeuerung		Quaderballen	keine
- kontinuierlich beschickt	ab 2.000		
- absätzig beschickt	ab 350		
Ballenfeuerung mit Ballenteiler	500–3.000	Quaderballen	Ballenteilen durch Abscheren von Teilstücken

Tabelle 2-8: Gegenüberstellung der für den Gartenbau wichtigsten Bauarten automatisch beschickter Halmgutfeuerungen (Forts.)

Feuerungstyp	Leistungsbereich [kW]	Brennstoffe	Aufbereitung zur Beschickung
Ballenfeuerung mit Ballenauflöser	≥ 500	Quaderballen	Ballenauflöser mit Häckselgut oder Langstrohbereitung
Halmguttaugliche Schüttgutfeuerungen		Häckselgut, Pellets, (Quaderballen)	Feldhäcksler bzw. Pelletierung, ggf. Ballenauflöser
- Schubbodenfeuerung	50–3.000		
- Vorschubrostfeuerung	2.500–> 20.000		

Quelle: /Kaltschmitt und Hartmann 2001/ und /Hartmann und Rossmann 2003/

2.3.3 Getreide

Ähnlich wie bei der Halmgutverbrennung gibt es in Deutschland bislang nur wenig Kesselhersteller, die spezielle Anlagentechnik zur Getreideverbrennung anbieten. Bei den derzeit verfügbaren Anlagen handelt es sich in der Regel um Anlagen aus der Holzverbrennung, die entsprechend den Möglichkeiten/Anforderungen angepasst wurden. Dazu zählen folgende Maßnahmen, alle mit dem Ziel die Verbrennungstemperatur zu senken und ein Erreichen der Ascheerweichungstemperatur zu verhindern:

- wassergekühlte Verbrennungsroste oder Brennmulden,
- bewegte, selbstreinigende Verbrennungsroste,
- Einsatz von Ascheschiebern und Aschebrechern, um die entstehende Asche möglichst schnell aus dem Brennraum herauszufördern,
- Zumischung von 1 bis 2 % Brandkalk (das Verhältnis von Calcium zu Kalium (Ca/K-Verhältnis) bestimmt die Ascheerweichungstemperatur des Brennstoffs, je höher der Ca-Gehalt desto höher die Ascheerweichungstemperatur, desto geringer die Gefahr der Verschlackung).

Für die Getreideverbrennung geeignet sind Vorschubrostfeuerungen. Unterschubfeuerungen kommen aufgrund der hohen Aschegehalte und der niedrigen Ascheerweichungstemperatur des Getreides nicht in Frage.



Da bislang kaum Getreidekessel zum Einsatz kommen, liegen aus der Praxis auch noch keine Erfahrungsberichte bezüglich Haltbarkeit, Korrosionsanfälligkeit, etc. vor. Von einigen Kesselherstellern werden aufgrund der Korrosionsproblematik Edelstahlkessel angeboten, diese jedoch meist nur in kleinen Leistungsbereichen, so dass sie für den Gartenbau noch keine Bedeutung haben. Eine weitere Methode, die bei großen Anlagen angewandt wird, um einer möglichen Chlorkorrosion vorzubeugen, stellt das Einspritzen von Kalkhydrat in den Brennraum dar. Es wird anschließend zusammen mit den gebundenen Schadstoffen durch Gewebefilter wieder aus den Rauchgasen entfernt.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit des Mischens von Getreide mit Holzhackschnitzeln oder Pellets, um Schadstoffbelastungen in den Abgasen zu reduzieren. Es muss jedoch stets darauf geachtet werden, dass es nicht zu einer Entmischung des Brennstoffs kommt.

Hersteller für Biomassefeuerungen beginnen erst damit, sich mit dem Brennstoff Getreide zu befassen. Da die Eigenschaften doch erheblich von denen anderer Brennstoffe abweichen, sind häufig Veränderungen der Feuerungen erforderlich. In diesem Bereich besteht zur Zeit noch ein relativ großes Entwicklungspotenzial. Durch eine offizielle Zulassung des Getreides als Regelbrennstoff würden die Entwicklungen auf diesem Gebiet sicher stark intensiviert werden /nach Brüggemann 2006/.

2.3.4 Sicherungseinrichtung

Für alle Biomassefeuerungen ist es gesetzlich vorgeschrieben, dass sie mit einer Absicherung gegen Rückbrand im Brennstoffzuführungssystem ausgestattet sein müssen.

Eine Fallstufe zwischen Austragschnecke und Stokerschnecke allein ist nicht ausreichend sicher. Daher werden häufig Kombination einer Fallstufe mit folgenden Maßnahmen im System integriert:

- Löschwassersicherung zum Fluten der Stokerschnecke,
- Absperrklappe oder -schieber,
- Zellenradschleuse.

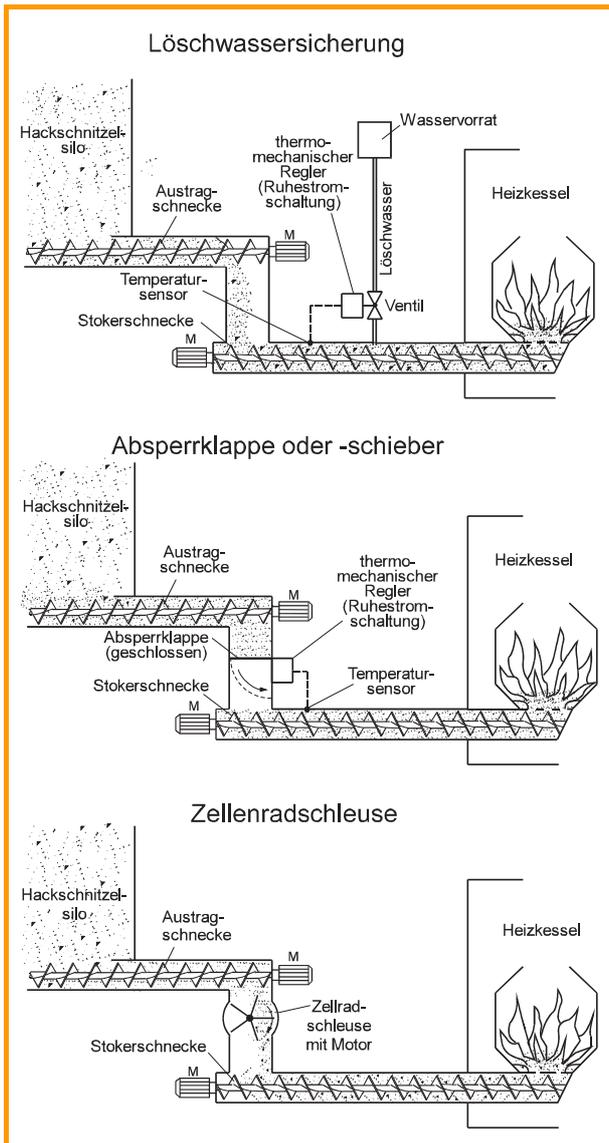
Das Überschreiten einer kritischen Temperatur, gemessen mit einem Temperatursensor an der Schnecke, öffnet über einen thermomechanischen Regler und damit stromlos ein Ventil (Abbildung 2-18 oben), das meist an die Trinkwasserleitung angeschlossen ist. Somit kommt es zu einer Flutung der Stokerschnecke. Eine **Löschwassersicherung** wird jedoch meist nur in Kombination mit anderen Sicherungssystemen eingesetzt, da

durch unregelmäßige/seltene Wartung die Ventile klemmen können. Außerdem besteht die Gefahr, dass der Temperatursensor einen zündschnurartigen Rückbrand nicht erfasst und das System somit nicht rechtzeitig ausgelöst wird. Eine weitere oder auch zusätzliche Einrichtung ist eine **Absperrklappe** oder ein **Absperrschieber**, die ebenfalls über einen thermomechanischen Regler ausgelöst werden (Abbildung 2-18 mitte). Nachteil bei diesem System ist jedoch, dass das Absperrn im Ernstfall durch Ablagerungen behindert werden kann und dass bei einer Verpuffungsreaktion das System zu träge reagiert. Eine sichere Lösung bietet eine **Zellenradschleuse** (Abbildung 2-18 unten). Sie besteht aus einem stählernen Zellenrad, das sich in einem gusseisernen Gehäuse dreht und über einen Elektromotor angetrieben wird. So bleibt der Brandweg von der Stokerschnecke zur Austragschnecke stets verschlossen. In der Praxis ist meist eine Kombination aus Löschwassersicherung und einem der anderen beiden genannten Sicherungssysteme zu finden.

2.4 Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (Biomasse-KWK)

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) nutzt das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Es besteht aus einem Verbrennungsmotor, der sowohl mit fossilen (Heizöl oder Erdgas) als auch mit biogenen Energieträgern (Pflanzenöl oder Biogas) betrieben werden kann. Mit dem Verbrennungsmotor wird ein Generator zur Stromerzeugung angetrieben. Neben dem erzeugten Strom wird die Abwärme des Motors über Kühlwasser-, Öl- und Abgaswärmetauscher nutzbar gemacht. Der Anteil thermischer Energie eines BHKW liegt etwa bei 50–55 % der Gesamtleistung /MLR 2005/. Die erzeugte thermische Energie wird optimaler Weise in ein bestehendes Warmwasser-Heizsystem eingespeist. Strom kann entweder vom Betrieb selbst genutzt oder in das öffentliche Netz eingespeist und nach dem Erneuerbare Energie Gesetz (EEG) vergütet werden. Durch die kombinierte Nutzung von Strom und Wärme ergibt sich ein relativ hoher Gesamtwirkungsgrad von 80 bis 90 % /Wenzel in KTBL 2006/. Der elektrische Wirkungsgrad eines BHKW liegt demnach meist zwischen 30 und 40 %.

Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz eines BHKW im Gartenbau ist zunächst ein hoher Bedarf an Strom (ab etwa 30.000 bis 40.000 kWh/a) und Wärme (auch im Sommer). Durch den Einsatz



Quelle: /FNR 2003/

Abb. 2-18: Rückbrandsicherung bei Hackschnitzel- und Pelletfeuerungen

eines BHKW können die jährlichen Heizkosten im Gartenbaubetrieb gesenkt werden. Ein weiteres Vorteil liegt in der Unabhängigkeit des Gärtners vom öffentlichen Netz z. B. bei Stromausfall. Durch die eigene Stromproduktion können besondere Spitzen im Stromverbrauch abgefangen werden, die sonst hohe Kosten bedeuten würden. Zusätzlich kann der Gärtner gegebenenfalls das entstehende CO_2 zur CO_2 -Düngung im Gewächshaus einsetzen.

Wird ein BHKW mit nachwachsenden Rohstoffen betrieben, sind die Betreiber der Stromnetze öffentlicher Versorgung nach dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (EEG) verpflichtet, Strom aus erneuerbaren Energiequellen vorrangig aufzunehmen und entsprechend den Vorgaben des EEG zu vergüten

(EEG § 4 und § 5). Die Kosten für die Herstellung des Stromanschlusses trägt der Einspeiser, die Kosten für einen gegebenenfalls erforderlichen Ausbau des Netzes werden vom Netzbetreiber übernommen (EEG § 13).

Die Einspeisevergütung beim Betreiben eines BHKW mit regenerativen Brennstoffen setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- Mindestvergütung,
- NawaRo-Bonus (**N**achwachsender **R**ohstoff-Bonus),
- KWK-Bonus (**K**raft-**W**ärme-**K**opplungs-Bonus),
- Technologie-Bonus.

Die **Mindestvergütung** richtet sich nach der Leistung der Anlage sowie dem Zeitpunkt der Inbetriebnahme der Anlage (siehe Tabelle 2-9). Die Vergütungssätze unterliegen einer jährlichen Degression. Seit dem 1. Januar 2005 wird die Mindestvergütung jährlich für ab diesem Zeitpunkt neu in Betrieb genommene Anlagen um jeweils 1,5 % gesenkt und auf zwei Stellen hinter dem Komma gerundet. Seit dem 30.06.2006 ist die Mindestvergütung für Althölzer der Klassen A III und A IV für neue, in Betrieb gehende Anlagen auf 3,9 Cent/kWh reduziert. Für diese Anlagen gelten zudem keine Bonusregelungen. Es ist zu beachten, dass Altholz der Altholzkategorie A III und A IV nur dann als Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung gilt, wenn die Anlage bereits vor dem 28.06.2004 immissionsschutzrechtlich genehmigt wurde (vgl. § 2 Absatz 3 Satz 2 der Biomasse Verordnung).

Den zusätzlichen **NawaRo-Bonus** oder Biomasse-Bonus erhält der Betreiber von Anlagen, die ausschließlich mit Pflanzen- und Pflanzenbestandteilen aus Land- und Forstwirtschaft, Gartenbau und Landschaftspflege sowie Gülle oder Schlempe aus landwirtschaftlichen Brennereibetrieben betrieben werden. Der Bonus ist ebenfalls leistungsgestaffelt:

- bis einschließlich einer Leistung von 500 kW: 6,0 Cent/kWh
- bis einschließlich einer Leistung von 5.000 kW: 4,0 Cent/kWh
- bis einschließlich einer Leistung von 5.000 kW bei Einsatz von Holz: 2,5 Cent/kWh.

In Kraft-Wärme-Kopplung arbeitende Anlagen bis maximal 20.000 kW erhalten zusätzlich einen **Effizienzbonus** oder auch **KWK-Bonus** von 2,0 Cent/kWh. Es wird jedoch lediglich der Strom vergütet, der im gekoppelten Betrieb erzeugt wurde und nicht im Kondensationsbetrieb ohne Wärmenutzung. Als Wärmenutzung gilt dabei ausschließlich die Nutzung außerhalb der An-

Tabelle 2-9: Mindestvergütung für Strom aus Biomasse (Neuanlagen) nach EEG § 8

Jahr der Inbetriebnahme	„Grundvergütung“ (Anlagen im Sinne von Absatz 1 Satz 1 EEG)				
	Erneuerbare Energien nach EEG, außer Altholz der Kategorien A III und A IV				Altholz der Kategorien A III und A IV
	bis einschließlich 150 kW [Cent/kWh]	bis einschließlich 500 kW [Cent/kWh]	bis einschließlich 5.000 kW [Cent/kWh]	bis einschließlich 20.000 kW [Cent/kWh]	
2007	10,99	9,46	8,51	8,03	3,72
2008	10,83	9,32	8,38	7,91	3,66
2009	10,67	9,18	8,25	7,79	3,61
2010	10,51	9,04	8,13	7,67	3,56
2011	10,35	8,90	8,01	7,55	3,51
2012	10,19	8,77	7,89	7,44	3,46
2013	10,04	8,64	7,77	7,33	3,41

Quelle: /BMU 2005/

lage wie die Erzeugung von Raum- oder Prozesswärme, also zum Beispiel die Abwärmenutzung durch einen Gartenbaubetrieb /nach Kraleman 2006/. Der KWK-Bonus gilt nur für Neuanlagen, bei Umrüstung von Altanlagen muss die Investition der Erweiterung mindestens 50 % einer vergleichbaren Neuanlage betragen.

In Verbindung mit dem KWK-Bonus wird beim Einsatz innovativer Technologien wie zum Beispiel Vergasung, Trockenfermentation, Brennstoffzellen, Gasturbinen, Dampfmotoren, Organic-Rankine-Anlagen, Stirling-Motoren, etc. zusätzlich ein **Technologiebonus** von 2,0 Cent/kWh gewährt. Im Gegensatz zum KWK-Bonus wird hier jedoch der gesamte produzierte Strom vergütet.

Die **Mindestvergütung** wird gestaffelt berechnet. Das bedeutet, dass für eine größere Anlage zunächst für die ersten 150 kW der höhere Vergütungssatz angesetzt wird, dann bis 500 kW der nächst niedrigere Vergütungssatz usw. (§ 12, Abs. 2). Dieses Berechnungsverfahren gilt für die Mindestvergütung, den NaWaRo-Bonus und den KWK-Bonus. Eine ausführliche Darstellung der einzelnen Vergütungen mit Beispielkalkulationen bietet die Veröffentlichung „Mindestvergütungssätze nach dem neuen Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) vom 21. Juli 2004“, siehe /BMU 2006/.

Für Neuanlagen ist die gesamte Vergütung für einen Zeitraum von 20 Jahren garantiert. Zu beachten ist, dass ab dem 01.01.2007 die Zünd- und Stützfeuerung von neuen Bioenergieanlagen ausschließlich auf dem Einsatz von Biomasse beruhen muss. Der Anteil

Tabelle 2-10: Einspeisevergütung für Strom aus einem Blockheizkraftwerk (BHKW) bei Inbetriebnahme 2006

fossile Brennstoffe nach KWK-Gesetz	
Einspeisevergütung ^a	ca. 3,85
vermiedene Netzkosten	0,50
KWK-Zuschlag 1 ^b 2006 und 2007	2,25
2008 und 2009	2,10
2010	1,94
Gesamt	6,3–6,6

Regenerative Brennstoffe (Rapsöl-BHKW) nach EEG			
	bis 150 kW	bis 500 kW	bis 5.000 kW
Grundvergütung ^c	11,16	9,60	8,64
NaWaRo-Bonus	6,00	6,00	4,00
KWK-Bonus ^d	2,00	2,00	2,00
Gesamt	19,16	17,60	14,64

Quelle: /MLR 2005/

- richtet sich nach dem Baseload-Strom Preis der EEX Strombörse in Leipzig (Stand I/2005)
- Zuschläge nach § 5 KWK-Gesetz
- sinkt jährlich für ab diesem Zeitpunkt 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)
- Der KWK-Bonus wird für den Teil des Stroms vergütet, der der genutzten Wärme entspricht.



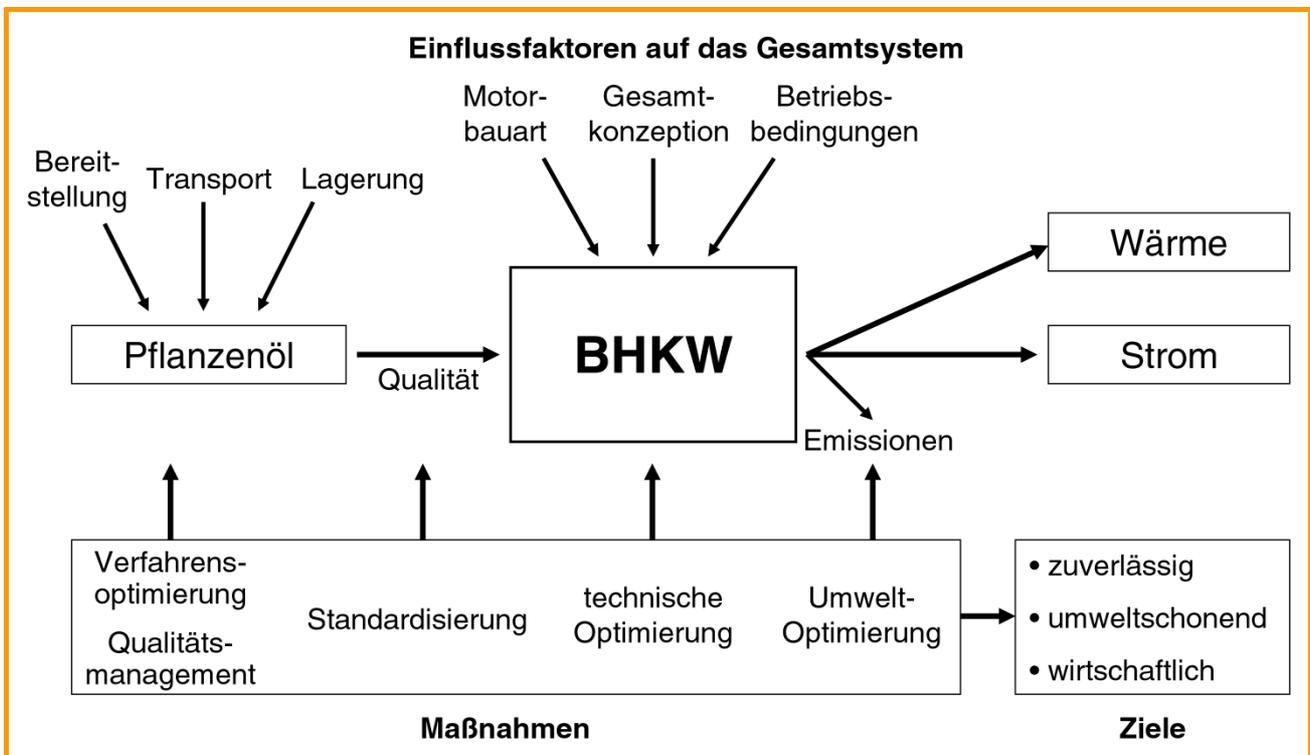
des Zündöls ist nicht begrenzt, wird sich aber aus wirtschaftlichen Gründen auf ein Minimum begrenzen /Kralemann 2006/.

Eine Stromspeisung in das öffentliche Netz lohnt sich in der Regel kaum, wenn das BHKW mit fossilen Rohstoffen betrieben wird (siehe Tabelle 2-10).

Beim Einsatz flüssiger biogener Energieträger in BHKWs geht die Tendenz in Richtung Raps- und Palmöl. Pflanzenöl trägt einerseits wegen dessen Regenerierbarkeit zur Ressourcenschonung bei und leistet andererseits einen Beitrag zum Umweltschutz durch das geringere Gefährdungspotenzial auf Boden und Gewässer (hohe Lager- und Transportsicherheit) sowie durch die verbesserte CO₂-Bilanz /nach Widmann und Thuneke 2000/. Die Kraftstoffqualität stellt bei der Nutzung in pflanzenöлтаuglichen Motoren einen der entscheidendsten Einflussfaktoren dar. Häufig ist eine mangelnde Qualität des Pflanzenöls der Hauptgrund für Betriebsstörungen am BHKW. Rapsöl sollte daher dem RK-Qualitätsstandard 05/2000 (Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff) oder besser der Vornorm DIN E 51 605 entsprechen. Zu Problemfällen beim Betrieb eines BHKW mit Pflanzenöl kommt es meist nur durch mangelnde Planung und folglich einer fehler-

haften Abstimmung von eingesetztem Pflanzenöl, Motortechnik, Abgasreinigungsanlage etc. Die technisch bedingten Schwierigkeiten haben also selten ihre Ursache im eigentlichen Prinzip des pflanzenöлтаuglichen Motors, sondern hängen häufig mit Fehlern bei der Planung, Ausführung und beim Betrieb (z. B. mangelnde Wartung, Unterschätzung der Kontrollarbeiten, mangelnde Kraftstoffqualität etc.) zusammen /nach Widmann und Thuneke 2000/. Bei einer Umrüstung herkömmlicher Dieselmotoren ist darauf zu achten, dass die am Motor vorhandenen kraftstoffführenden Komponenten (Pumpen, Dichtungen, Leitungen) ausreichend dimensioniert und beständig gegenüber dem Langzeiteinsatz von Pflanzenöl sind. Die Verwendung hochwertiger Motor- und Peripheriekomponenten ist wegen der stärkeren Beanspruchung der Materialien durch Pflanzenöle empfehlenswert /Thuneke et al. 2002/. Zusammenfassend zeigt Abbildung 2-19 die verschiedenen Einflussfaktoren auf den Betrieb eines Pflanzenöl-BHKW.

Für den Einsatz eines mit Pflanzenöl betriebenen BHKW im Gartenbau ist es wichtig, die Auslegung des BHKW und des Pufferspeichers auf den Gartenbaubetrieb anzupassen. Eine genaue Kalkulation ist



Quelle: /Widmann und Thuneke 2000/

Abb. 2-19: Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Einflussfaktoren auf das Gesamtsystem und notwendige Maßnahmen



zwingend erforderlich, da das BHKW abschaltet, sobald die Kapazität des Wärmespeichers erschöpft ist. Daher kann es zum Teil sinnvoller sein, im Sommer das BHKW nur auf halber Leistung laufen zu lassen, da dann das BHKW nicht abgestellt werden muss. Es ist zu bedenken, dass Strom zugekauft werden muss, solange das BHKW nicht läuft.

Eine Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz ist bei BHKWs für den Einsatz von naturbelassenem Pflanzenöl erst ab 1.000 kW Feuerungswärmeleistung (entspricht einem Kraftstoffverbrauch von ca. 100 l/h) erforderlich /Thüneke 2006/.

Zu den weiteren Formen der Kraft-Wärme-Kopplung zählen die Wärme- und Stromerzeugung mit Dampfprozessen, Organic Rankine Cycle (ORC), Holzvergasung und Stirlingmotoren. Des Weiteren ist es möglich ein BHKW mit Biogas zu betreiben. Im Folgenden werden die verschiedenen Methoden kurz dargestellt.

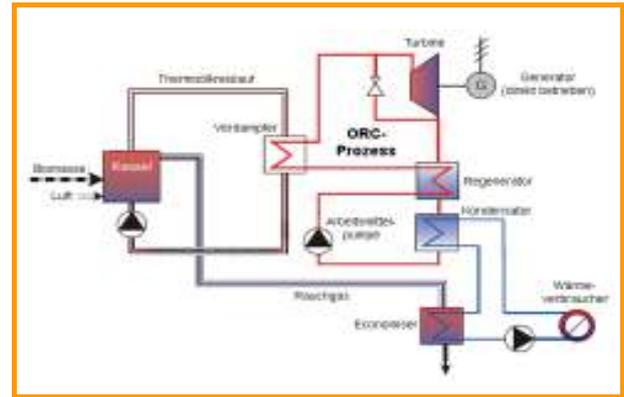
2.4.1 Dampfprozesse

Die Dampfturbinentechnologie wird u. a. in Großkraftwerken und in der Abfallverbrennung bereits vielfach eingesetzt. Für den Gartenbau ist diese Form der Wärme- und Stromerzeugung aufgrund hoher Sicherheitsanforderungen (die Anlagen laufen unter sehr hohem Druck) und einem intensiven Überwachungsaufwand der Anlagen zu teuer. Des Weiteren haben Dampfprozesse im niedrigen Leistungsbereich, wie sie für den Gartenbau interessant sind, geringe elektrische Wirkungsgrade. Daher wurde basierend auf dem Wasser-Dampf-Prozess ein ähnliches Verfahren, der Organic Rankine Cycle (ORC)-Prozess entwickelt.

2.4.2 Organic Rankine Cycle

An Stelle von Wasser wird bei dem ORC-Prozess ein organisches Arbeitsmedium mit günstigeren Verdampfungseigenschaften bei tieferen Temperaturen und Drücken sowie weiteren speziell abgestimmten thermodynamischen Eigenschaften verwendet. Für Biomasse-KWK-Anlagen eignet sich besonders Silikonöl. Abbildung 2-20 zeigt eine schematische Darstellung einer Biomasse-Kraft-Wärme-Kopplung mit ORC-Prozess.

Die im Biomassekessel erzeugte Wärme wird über einen Thermoölkreislauf an den ORC-Prozess übertragen. Als Wärmeträgermedium wird Thermoöl ver-



Quelle: /BIOS 2006/

Abb. 2-20: Schematische Darstellung einer Biomasse-KWK mit ORC-Prozess

wendet, da dadurch die für den Betrieb des ORC-Prozesses erforderlichen Temperaturen (Thermoölvorlauftemperatur 300 °C) erreicht werden können und gleichzeitig ein fast druckloser Kesselbetrieb möglich ist. Somit ist kein Dampfkesselwärmer notwendig. Durch die vom Thermoöl an den ORC-Prozess übertragene Wärme wird das Arbeitsmedium (Silikonöl) verdampft. Der Dampf gelangt zu einer langsam laufenden Axialturbine, in der unter Entspannung ins Vakuum mechanische Arbeit geleistet wird, die im Generator Strom erzeugt. Der entspannte aber noch überhitzte Dampf wird einem Regenerator zur internen Wärmerückgewinnung zurückgeführt, wodurch eine Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrads erreicht wird. Anschließend gelangt das Arbeitsmedium in den Kondensator. Die dort abgeführte Wärme kann im Gartenbau zur Gewächshausbeheizung genutzt werden, ebenso wie die den Rauchgasen entzogene Wärme (Integration eines Rauchgaskondensators). Über eine Pumpe wird das Kondensat (Arbeitsmedium) abschließend wieder auf Betriebsdruck gebracht und dem Verdampfer zugeführt, der ORC-Kreislauf ist geschlossen.

Zu den Vorteilen einer ORC-Anlage zählen:

- hohe Robustheit (geringe Störanfälligkeit),
- gute Regelbarkeit,
- geringer Wartungs- und Instandhaltungsaufwand,
- sehr gutes Teillastverhalten und Eignung für schnelle Lastwechsel (besonders interessant für den Gartenbau),
- hoher Gesamtwirkungsgrad.

Derzeit sind in Deutschland, Österreich und der Schweiz ca. 60 Anlagen in Bau oder Betrieb /Kralemann 2006/.

2.4.3 BHKW mit Biomassevergaser

/FNR-Bioenergie 2006/

Die Vergasung der Biomasse stellt eine vielversprechende Option, insbesondere zur Stromerzeugung, dar. Dies gilt aufgrund der realisierbaren hohen Wirkungsgrade bezogen auf die bereitgestellte elektrische Energie und wegen der zu erwartenden prozessbedingten geringeren Emissionen im Vergleich zu einer Stromerzeugung über eine direkte Biomasseverbrennung. Deshalb wurden in den letzten Jahren auch erhebliche Forschungsanstrengungen unternommen, diese Technologie großtechnisch verfügbar zu machen, was bisher aber nur ansatzweise gelungen ist. Kommerziell werden gegenwärtig nur einige wenige Vergasungsanlagen ausschließlich zur Wärmebereitstellung betrieben. Anlagen zur Stromerzeugung – nur hier kommt der eigentliche Vorteil der Vergasung voll zum Tragen – existieren derzeit nur als Pilotprojekte (seit 2002 läuft eine Pilotanlage im österreichischen Güssing und versorgt den Ort mit Strom und Fernwärme; siehe www.renet.at) im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten. Probleme gibt es dabei besonders mit der Gasreinigung, da die vergaste Biomasse hohe Staubgehalte und teilweise erhebliche Anteile an kondensierbaren organischen Stoffen aufweist. Die nachgeschaltete Gasturbine bzw. der Gasmotor verlangen jedoch ein weitgehend kondensat- und staubfreies Brenngas. Dieses sicherzustellen ist derzeit nur mit einem hohen technischen Aufwand möglich, der aufgrund der damit verbundenen Kosten und der ungelösten technischen Probleme unter den gegenwärtigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen kaum umgesetzt werden kann und daher für den Gartenbau noch nicht in Frage kommt. Deshalb stellt die Vergasung bisher nur eine – wenn auch wichtige – Option für die Zukunft dar. Praktisch hat sie noch keine Bedeutung. Näheres ist im Band 29 der Schriftenreihe *Nachwachsende Rohstoffe der FNR „Analyse und Evaluierung der thermochemischen Vergasung von Biomasse“* /FNR 2006a/ nachzulesen.

2.4.4 Abwärmenutzung einer Biogasanlage

In Deutschland liegt das Potenzial an Biogas, Klär- und Deponiegas bei etwa 23–24 Mrd. m³/a /FNR 2005a/. Dabei produziert allein der landwirtschaftliche Sektor ca. 85 % des möglichen Biogasaufkommens. Insgesamt ergibt sich ein theoretisches Potenzial für die Biogas, Klär- und Deponiegaserzeugung von ca. 417 PJ/a /FNR 2006/. Im Bezug auf den Primärenergieverbrauch in Deutschland im Jahr 2005 von 14.238 PJ/a entspricht das einem Anteil von 2,9 % /BMU 2006a/.

Für einen Gartenbaubetrieb bedeutet die Anbindung an eine Biogasanlage zur Abwärmenutzung meist eine deutliche Reduzierung der bisherigen Heizkosten. Jedoch lohnt es sich für den Gärtner bis auf Ausnahmen nicht, selbständig eine Biogasanlage zu betreiben. In der Regel betreiben Landwirte die Biogasanlagen und bei räumlicher Nähe ist die Abwärmenutzung durch Unterglas-Gartenbaubetriebe sinnvoll.

Die Energiegewinnung durch Vergärung ist seit langem bekannt, doch erst seit Anfang der 90er Jahre ist eine nennenswerte Nutzung in derzeit über 3.000 landwirtschaftlichen Anlagen in Deutschland zu beobachten /FNR-Bioenergie 2006/. Nach eigener Schätzung sind bundesweit derzeit ca. 40 Anlagen in Kooperation mit Gärtnereien in Betrieb. Biogas besteht zu etwa 50–75 % aus Methan (CH₄), 25–45 % aus Kohlendioxid (CO₂) sowie aus geringen Anteilen Wasser (2–7 % H₂O), Schwefelwasserstoff (< 1 % H₂S) und Spurengasen (< 2 %). Es entsteht beim Abbau organischer Substanz durch Bakterien, die organisches Material zunächst in Zucker, organische Säuren und Alkohole aufspalten. Anschließend kommt es durch den Einsatz spezieller Bakterien zur Bildung von Essigsäure und Wasserstoff und abschließend durch methanbildende Bakterien zur Bildung von Biogas.

Biogas kann aus der Mischung verschiedenster Substrate gewonnen werden. Dazu zählen:

- Grundsubstrat: Gülle (Rinder-, Schweine-, Geflügel-, Mischgülle)
- Kosubstrat aus der Landwirtschaft:
 - Grüngut,
 - Mais,
 - Getreide (Rest- oder Ausschussgetreide, unbelastet!),
 - Biomasse von Stilllegungsflächen,
 - etc.
- außerlandwirtschaftliche Kosubstrate:
 - Verarbeitungsrückstände aus der Lebensmittelindustrie (z. B. Trester, Schlempe, Fettabscheiderückstände),
 - Gemüseabfälle von Großmärkten,
 - Speiseabfälle oder Rasenschnitt und Bioabfall aus der Kommunalentsorgung.

Mit der Kofermentation außerlandwirtschaftlicher Reststoffe werden zwar natürliche Stoffkreisläufe geschlossen, doch es können auch Schadstoffe (insbesondere Schwermetalle) und Störstoffe auf die landwirtschaftlichen Nutzflächen gelangen, weshalb hier die Düngemittel-, Dünge- sowie die Bioabfallverordnung und die EU-Hygiene-Verordnung zu berücksichtigen sind /nach FNR 2005a/. Im Allgemeinen sind





die Gärreste jedoch ein hochwertiger Dünger. Der dünnflüssige Gärrest dringt wesentlich besser in den Boden ein und kann somit von den Pflanzen schneller aufgenommen werden. Es kommt daher zu reduzierten Stickstoffverlusten durch Emissionen. Durch die anaerobe Vergärung wird der Anteil organischer Trockensubstanz deutlich verringert und geruchsintensive Stoffe stark minimiert /3N 2006/.

Eine Biogasanlage besteht im Wesentlichen aus Vorgrube, Faulbehälter und Gärückstandslager (Güllelager) für die flüssigen Komponenten (siehe Abbildung 2-21). Je nach Art der Kosubstrate werden zusätzlich Annahmehunker, Zerkleinerung, Störstoffabtrennung und Hygienisierung erforderlich /nach FNR 2005a/.

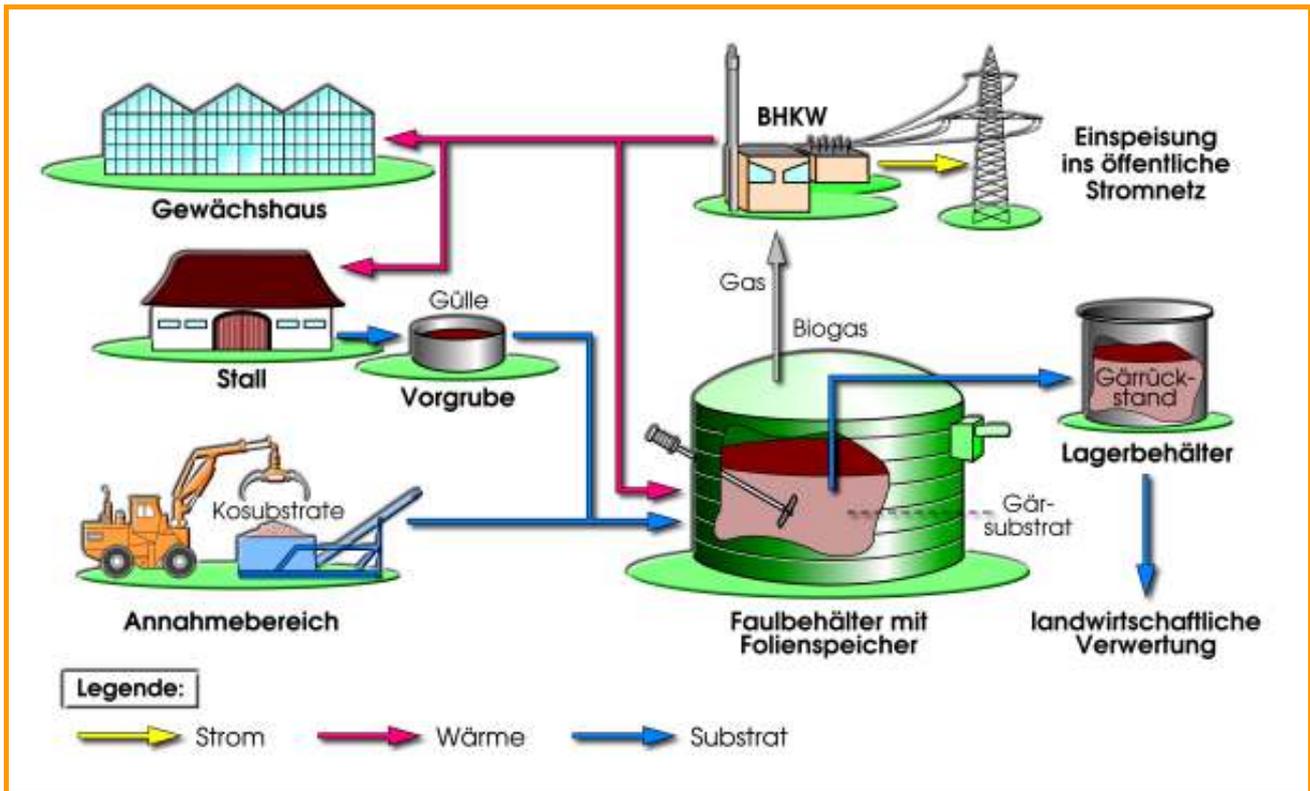
Das entstehende Gas wird zunächst in einen Gasspeicher geführt und muss vor der Weiterleitung in ein BHKW aufbereitet werden. Da Biogas neben Methan auch Wasserdampf und Spuren von Schwefelwasserstoff enthält, kann es zur Bildung von Schwefelsäure kommen, die beim Einsatz im BHKW erhebliche Schäden anrichten würde. Daher wird das Biogas vor dem weiteren Einsatz entschwefelt und das Wasser auskondensiert. Eine weitere Möglichkeit wäre die Aufbereitung von Biogas zu Erdgasqualität. Somit könnte das Biogas durch die Einspeisung ins Erdgasnetz effizienter genutzt werden. Der technische Mehraufwand zur Reinigung des Biogases zu Erdgasqualität ist jedoch sehr hoch und kostenintensiv. In Deutschland befindet sich die Einspeisung bislang noch im Entwicklungs- und Pilotstadium.

Das mit dem Biogas betriebene BHKW erzeugt Strom, der in das öffentliche Netz eingespeist werden kann und entsprechend nach EEG vergütet wird. Bei der Verstromung entsteht thermische Energie: Kühlwasser-, Ölkühler- und Abgasabwärme, sowie Abstrahlungswärme des Motors. Die gesamte Abwärme des BHKW steht jedoch nicht zu Heizzwecken zur Verfügung. Zum einen können die Abstrahlungsverluste des Motors nur schwer genutzt werden, zum anderen fließt ein nicht unerheblicher Teil (20–40 %) der thermischen Energie als Prozesswärme zurück in den Fermenter. Zudem ist bei der Planung einer Biogasanlage und kombinierter Abwärmenutzung durch einen Gartenbaubetrieb zu bedenken, dass das Wärmeangebot der Anlage im Winter geringer ist als im Sommer, da der Fermenter im Winter mehr Wärme benötigt. Im Sommer hingegen steht in Abhängigkeit von der Größe der Biogasanlage vergleichsweise viel Wärme zur Verfügung, die in der Regel meist nicht einmal von Warmhausbetrieben vollständig abgenommen

werden kann. Für eine effiziente Wärmenutzung sollte sichergestellt sein, dass die Abwärme des BHKW möglichst vollständig abgenommen wird, da sonst die nicht genutzte Wärme über einen Notkühler vernichtet werden muss. Der Anlagenbetreiber erhält in diesem Fall für den produzierten Strom nicht die maximale Vergütung. Um dieses Problem zu umgehen, ist die Integration eines Pufferspeichers (siehe Kapitel 3.2.4) in das System unbedingt zu empfehlen. Eine gründliche Planung und damit eine genaue Dimensionierung der gesamten Anlage und die Berücksichtigung des Jahreslastgangs des Gartenbaubetriebs sind weitere Voraussetzungen für die erfolgreiche Wärmenutzung einer Biogasanlage. Grundsätzlich sollte das thermische Angebot von Biomasseheizanlagen ca. 40–60 % der benötigten Spitzenlast betragen, um damit etwa 70–80 % des Jahresheizenergiebedarfs des Gartenbaubetriebs abzudecken /nach Wenzel in KTBL 2006/. Bei Biogasanlagen steigt die Abdeckung des Jahresheizenergiebedarfs teilweise noch deutlich höher, da die Anlagen kontinuierlich laufen und somit auch kontinuierlich Wärme abgenommen werden kann. Im Gegensatz zu Festbrennstoffkesseln, die nicht beliebig heruntergeregelt werden können.

Beispielkalkulationen von Wenzel /KTBL 2006/ belegen, dass es durch die Abwärmenutzung einer Biogasanlage sehr gut möglich ist, die Grundlast in einem Gartenbaubetrieb abzudecken (siehe Tabelle 2-11). Die prozentuale Abdeckung des Jahresenergiebedarfs hängt von der Größe des installierten BHKW ab. Generell ist es so, dass bei zunehmender Abdeckung des Jahresenergiebedarfs der Anteil der genutzten Wärme aus dem Biogas-BHKW abnimmt. Soll der gesamte Wärmebedarf über eine Biogasanlage abgedeckt werden, sinkt der Wärmenutzungsanteil deutlich ab. Daraus lässt sich aber nicht schlussfolgern, dass bei geringer Abwärmenutzung der Vorteil für den Anlagenbetreiber ebenso geringer ist, wie die Beispielkalkulationen belegen. Es wurde gezeigt, dass auch bei geringer Wärmenutzung der Gartenbaubetrieb ein lukrativer Partner für den Betreiber einer Biogasanlage sein kann und der Gärtner durch die Anbindung an eine Biogasanlage meist eine deutliche Reduzierung der Heizkosten hat /Wenzel in KTBL 2006/.

Weitere detaillierte Informationen zu Biogasanlagen sind der Handreichung Biogas /FNR 2006/ zu entnehmen. Ziel der Handreichung ist es, bestehende Informationslücken zum Thema Biogas zu schließen und potenzielle Anlagenbetreiber und andere Beteiligte durch die Planungsphasen bis hin zur Umsetzung zu



Quelle: /FNR 2005a/

Abb. 2-21: Verfahrensschema einer Biogasanlage

Tabelle 2-11: Beispielberechnungen zur Abwärmenutzung einer Biogasanlage für einen Warmhaus- sowie einen Beet- und Balkonpflanzenbetrieb

	B+B-Betrieb		Warmhausbetrieb	
Fläche [m ²]	5.000		10.000	
Jahresenergiebedarf [kWh]	655.000		4.730.000	
Spezifischer Bedarf [kWh/m ²]	130		473	
Spitzenlast [kW]	1.050		3.000	
	BHKW-Abwärmenutzung			
	Beispiel 1	Beispiel 2	Beispiel 3	Beispiel 4
Leistung elektrisch [kW]	145	390	415	1.100
Leistung thermisch [kW], davon nutzbar [kW]	210 160	560 420	600 450	1.600 1.200
Max. Abwärme [kWh](bei 8.000 Bh Biogas-BHKW)	1.280.000	3.360.000	3.600.000	9.600.000
Wärmenutzungsstunden [h]	2.664	1.496	5.208	3.659
Genutzte Abwärme [kWh]	426.240	628.320	2.343.600	4.390.800
Anteil am Jahresenergiebedarf [%]	65	96	50	93
Anteil genutzter Abwärme [%]	33	19	65	46
KWK-Strom [kWh]	386.280	583.440	2.161.320	4.024.900
Erlös KWK-Bonus [€] (Vergütung: 2 Cent/kWh)	7.726	11.669	43.226	80.498
Erlös Wärmeverkauf [€] (bei 1,5 Cent/kWh)	6.394	9.425	35.154	65.862

Quelle: /Wenzel in KTBL 2006/



begleiten. Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) bietet auf den Internetseiten einen Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas an /KTBL 2006b/. Durch Angabe von Substratzusammensetzung und -menge wird eine geeignete Biogasanlage modelliert. Ausgegeben werden Gasausbeute, Investitionsbedarf und jährliche Kosten sowie eine abschließende Leistungs-/Kostenrechnung.

2.5 Rechtliche Grundlagen

Tabelle 2-12 zeigt zunächst eine Übersicht der für den Gartenbau relevanten Rechtsvorschriften beim Einsatz alternativer Energieträger. Anschließend werden die Inhalte der verschiedenen Gesetze und Verordnungen (in alphabetischer Reihenfolge) kurz erläutert.

Altholzverordnung

Die Altholzverordnung regelt die Verwertung und Beseitigung von Holzabfällen. Sie behandelt drei Schwerpunkte:

1. Stoffliche Verwertung von Altholz:
 - a. Aufbereitung zu Hackschnitzeln und Holzspänen für die Herstellung von Holzwerkstoffen,
 - b. Gewinnung von Synthesegas zur weiteren chemischen Nutzung und
 - c. Herstellung von Aktivkohle/Industrieholzkohle.
2. Energetische Verwertung von Altholz: Einsatz von Holzabfällen als Brennstoff in nicht genehmigungspflichtigen Anlagen.
3. Beseitigung von Altholz.

In der Verordnung wird das Altholz in vier Kategorien eingeteilt, um eine schadstofffreie stoffliche oder energetische Nutzung zu gewährleisten (nach /AltholzV 2002/):

- Altholzkategorie A I: naturbelassenes oder lediglich mechanisch bearbeitetes Altholz, das bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit holz-fremden Stoffen verunreinigt wurde.
- Altholzkategorie A II: verleimtes, gestrichenes, beschichtetes, lackiertes oder anderweitig behandeltes Altholz ohne halogenorganische Verbindungen in der Beschichtung und ohne Holzschutzmittel.
- Altholzkategorie A III: Altholz mit halogenorganischen Verbindungen in der Beschichtung ohne Holzschutzmittel.
- Altholzkategorie A IV: mit Holzschutzmitteln behandeltes Altholz, wie Bahnschwellen, Leitungsmasten, Hopfenstangen, Rebpfähle, sowie sonstiges Altholz, das aufgrund seiner Schadstoffbelastung

nicht den Altholzkategorien A I, A II oder A III zugeordnet werden kann, ausgenommen PCB-Altholz.

Altholz der Kategorie A I entspricht den Brennstoffen der Ziffern 4 und 5 der 1. BImSchV und zählt somit in Deutschland zu den Regelbrennstoffen. Es darf daher ohne Sondergenehmigung verwendet werden. Für die Kategorien A II-IV sind Sondergenehmigungen zu beantragen.

Baugesetzbuch (BauGB)

Das deutsche Baugesetzbuch ist das wichtigste Gesetz des Bauplanungsrechts. Es entscheidet unter anderem über die Zulässigkeit von Standorten bei der Planung von Biogasanlagen /nach MLR 2005/.

Tabelle 2-12: Wichtige Rechtsvorschriften beim Einsatz alternativer Energieträger

	Kohle	Holz	Stroh	Ge-treide	Bio-gas	BHKW
Altholz-verordnung		x				
Baugesetz-buch					x	x
Bioabfall-verordnung					x	
Biomasse-verordnung		x	x	x	x	
Bundes-Immissions-schutzgesetz	x	x	x	x	x	x
Dampfkessel-verordnung	x	x				
Energiewirt-schaftsgesetz						x
Erneuerbare Energien Gesetz		x	x	x	x	x
Feuerungs-verordnung	x	x	x	x		x
Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz						x
Landes-bauordnung	x	x	x	x	x	x
Umweltver-träglichkeits-prüfung					x	
Wasserhaus-haltsgesetz					x	

Quelle: nach /Peter Berwanger in MLR 2005/



Bauordnung (BauO) oder Landesbauordnung (LBO)

Die Bauordnung (BauO) oder Landesbauordnung (LBO) (bundeslandspezifisch) ist wesentlicher Bestandteil des öffentlichen Baurechts. Die Kompetenz für das Bauordnungsrecht liegt bei den Bundesländern.

Die Bauordnungen regeln u. a. die Bedingungen, welche bei jedem Bauvorhaben zu beachten sind. Die Anforderungen beziehen sich sowohl auf das Grundstück als auch auf seine Bebauung (z. B. Einhaltung von Abständen, Statik, Brandschutz und Wärmeschutz, Art der Heizung und Verkehrssicherheit, Abführung der Verbrennungsgase, etc.). Des Weiteren regelt die Bauordnung die Formalien des Bauordnungsrechts.

Bioabfallverordnung (BioAbfV)

Die Bioabfallverordnung regelt Anforderungen an die Behandlung von Bioabfällen, Schadstoffgrenzwerte, Höchstaufbringmengen, Untersuchungspflichten, Aufbringverbote und Nachweispflichten. Zur Anwendung kommt sie im Gartenbau bzw. in der Landwirtschaft z. B. bei Biogasanlagen, wenn Abfälle im Sinne der BioAbfV kofermentiert werden, so dass der Gärrückstand insgesamt zu einem behandelten Bioabfall wird /MLR 2005/.

Biomasseverordnung (BiomasseV)

Diese Verordnung regelt für den Anwendungsbereich des Erneuerbare-Energien-Gesetzes, welche Stoffe als Biomasse gelten, welche technischen Verfahren zur Stromerzeugung aus Biomasse in den Anwendungsbereich des Gesetzes fallen und welche Umweltaforderungen bei der Erzeugung von Strom aus Biomasse einzuhalten sind (§ 1 der BiomasseV).

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)

Das Bundes-Immissionsschutzgesetz ist das deutsche Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgängen. Es enthält verschiedene Verordnungsermächtigungen, von denen die Bundesregierung durch den Erlass von bisher 33 Rechtsverordnungen Gebrauch gemacht hat /BUM 2005/. Für den Gartenbau von besonderer Bedeutung sind die folgenden Verordnungen:

- 1. BImSchV – Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen,
- 4. BImSchV – Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen,
- 13. BImSchV – Großfeuerungsanlagen-Verordnung,

- 17. BImSchV – Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe.

Die **1. BImSchV** gilt für die Einrichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Feuerungsanlagen, die keiner Genehmigung nach § 4 des BImSchG bedürfen.

Im § 3 der 1. BImSchV sind unter anderem auch die zugelassenen **Regelbrennstoffe** definiert, sowie Brennstoffe, für die eine Sondergenehmigung einzuholen ist (Auszug der für den Gartenbau relevanten Absätze im Bezug auf den Einsatz alternativer Brennstoffe):

„..., **4.** naturbelassenes stückiges Holz einschließlich anhaftender Rinde, beispielsweise in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln, sowie Reisig und Zapfen, ...,

5.a Preßlinge aus naturbelassenem Holz in Form von Holzbriketts entsprechend DIN 51 731, Ausgabe Mai 1993, oder vergleichbare Holzpellets oder andere Preßlinge aus naturbelassenem Holz gleichwertiger Qualität,

6. gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit keine Holzschutzmittel aufgetragen oder infolge einer Behandlung enthalten sind und Beschichtungen keine halogenorganischen Verbindungen oder Schwermetalle enthalten,

7. Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonst verleimtes Holz sowie daraus anfallende Reste, soweit kein Holzschutzmittel aufgetragen oder infolge einer Behandlung enthalten sind und Beschichtungen keine halogenorganischen Verbindungen oder Schwermetalle enthalten,

8. Stroh oder ähnliche pflanzliche Stoffe,

9. ..., naturbelassene Pflanzenöle oder Pflanzenölmethylester, ...,

11. ..., oder Biogas aus der Landwirtschaft, ... /BMU 2005, Text der 1. BImSchV/.

Die in § 3 Abs. 1 Nr. 6 und 7 genannten Holzbrennstoffe dürfen nur in Betrieben der Holzbearbeitung oder Holzverarbeitung eingesetzt werden und kommen daher für den Gartenbau nicht in Frage.

Unter die **4. BImSchV** fallen sämtliche genehmigungspflichtige Anlagen, die somit auch automatisch der TA-Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) unterliegen.

Bei den genehmigungspflichtigen Anlagen gibt es die Möglichkeit ein normales oder ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren zu durchlaufen. Folgende für den Gartenbau in Frage kommende Anlagen benötigen laut 4. BImSchV, Anhang 1.2 eine Genehmigung nach § 19 BImSchG im vereinfachten Verfahren:



- feste Brennstoffe
 - Anlagen, die mit Kohle, Koks einschließlich Petrolkoks, Kohlebriketts, Torfbriketts, Brenntorf, **naturbelassenem Holz**, emulgiertem Naturbitumen, Heizölen (ausgenommen Heizöl EL) betrieben werden **ab 1 MW bis < 50 MW**.
 - Anlagen, die mit Stroh oder ähnlichen pflanzlichen Stoffen betrieben werden **ab 100 kW bis < 1 MW**.
- gasförmige Brennstoffe
 - Anlagen, die mit Klärgas, **Biogas** (ausgenommen naturbelassenem Erdgas, Flüssiggas, Gasen der öffentlichen Gasversorger oder Wasserstoff) betrieben werden **ab 10 MW bis < 50 MW**.
 - Anlagen, die mit naturbelassenem Erdgas, Flüssiggas, Gasen der öffentlichen Gasversorger oder Wasserstoff betrieben werden **ab 20 MW bis < 50 MW**.
- flüssige Brennstoffe
 - Anlagen, die mit Heizöl EL, Methanol, Ethanol, **naturbelassenen Pflanzenölen** oder Pflanzenölmethylestern betrieben werden **ab 20 MW bis < 50 MW**.

Folgende für den Gartenbau in Frage kommende Anlagen benötigen laut 4. BImSchV, Anhang 1.3 eine Genehmigung nach § 10 BImSchG:

- Anlagen, die mit **Holz (außer naturbelassenem Holz)** betrieben werden und Anlagen die **mit Stroh oder ähnlichen pflanzlichen Stoffen** betrieben werden **ab 1 MW bis < 50 MW**.

Die aufgeführten Leistungsangaben beziehen sich auf die Feuerungswärmeleistung.

Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe mit einer Nennwärmeleistung bis 15 kW dürfen gemäß 1. BImSchV ohne weitere Einschränkung nur mit den in § 3 Abs. 1 Nr. 1 bis 4 oder 5a genannten Brennstoffen betrieben werden. Beim Betrieb von Feuerungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung von über 15 kW, die keiner Genehmigung bedürfen, sind jedoch in der 1. BImSchV festgelegte Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Tabelle 2-13 stellt wichtige Grenzwerte dar. Dabei sind Feuerungswärmeleistung und Nennwärmeleistung folgendermaßen definiert:

Feuerungswärmeleistung: der auf den unteren Heizwert bezogene Wärmeinhalt des Brennstoffs, der einer Feuerungsanlage im Dauerbetrieb je Zeiteinheit zugeführt werden kann.

Nennwärmeleistung: die höchste von der Feuerungsanlage im Dauerbetrieb nutzbar abgegebene

Wärmemenge je Zeiteinheit; ist die Feuerungsanlage für einen Nennwärmeleistungsbereich eingerichtet, so ist die Nennwärmeleistung die in den Grenzen des Nennwärmeleistungsbereichs fest eingestellte und auf einem Zusatzschild angegebene höchste nutzbare Wärmeleistung; ohne Zusatzschild gilt als Nennwärmeleistung der höchste Wert des Nennwärmeleistungsbereichs.

Für genehmigungspflichtige Anlagen gilt die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft). Grenzwerte sind Tabelle 2-14 zu entnehmen.

Brennstoff Getreide: Anlagen über 100 kW Feuerungswärmeleistung fallen unter die 4. BImSchV und sind somit generell genehmigungspflichtig. Für Anlagen, die mit Stroh oder ähnlichen pflanzlichen Stoffen betrieben werden gilt von 100–1.000 kW Feuerungswärmeleistung ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren, über 1 MW ein förmliches Verfahren. Sollen Anlagen über 100 kW mit Getreide betrieben werden so ergibt sich ein erhöhter Aufwand für Genehmigung und Emissionsüberwachung. Bislang darf Getreide nach den bestehenden Immissionsschutzbestimmungen im Leistungsbereich bis 100 kW in Deutschland nicht als Brennstoff genutzt werden.

Düngeverordnung (DüngeV)

Dies ist die Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Sie dient in Teilen auch der Umsetzung der Richtlinie 91/676/EWG zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (ABl. EG Nr. L 375 S. 1).

Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)

Zu den Zielen des Energiewirtschaftsgesetzes zählen die verbraucherfreundliche und umweltverträgliche Versorgung mit Elektrizität und Gas, die Sicherung des wirksamen Wettbewerbs und eines langfristigen, leistungsfähigen und zuverlässigen Betriebs von Energieversorgungsnetzen.

Feuerungsverordnung (FeuVO)

Die Feuerungsverordnung definiert Anforderungen an Feuerungs-, Wärme- und Brennstoffversorgungsanlagen. Darunter fallen Regelungen zur Beschaffenheit von Feuerungsstätten, Abgasanlagen und Brennstofflager. Sie ist auch bei der Aufstellung von Wärmepumpen, Blockheizkraftwerken und ortsfesten Verbrennungsmotoren zu beachten /MLR 2005/.

Tabelle 2-13: Emissionsgrenzwerte für nicht genehmigungspflichtige Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (1. BImSchV)

Feuerungsanlagen		Grenzwerte	
Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe			
	a) $NWL \leq 15 \text{ kW}$	Keine Grenzwerte	
	b) $NWL > 15 \text{ kW}$	Staub:	
		• Holz* und Stroh**	150 mg/m ³ (für alle festen Brennstoffe)
		Kohlenmonoxid:	Gestuft nach Nennwärmeleistung
		• Holz*:	4 g/m ³ bei NWL bis 50 kW 2 g/m ³ bei NWL über 50 bis 150 kW 1 g/m ³ bei NWL über 150 bis 500 kW 500 mg/m ³ bei NWL über 500 kW
		• Stroh**:	800 mg/m ³ bei NWL bis 100 kW 500 mg/m ³ bei NWL über 100 bis 500 kW 300 mg/m ³ bei NWL über 500 kW
Ölfeuerungsanlagen		Rußzahl:	≤ 1 (Zerstäubungsbrenner)
(FWL < 10 MW)		Abgasverluste:	11 % bei NWL über 4 bis 25 kW 10 % bei NWL über 25 bis 50 kW 9 % bei NWL über 50 kW
Gasfeuerungsanlagen		Abgasverluste:	11 % bei NWL über 4 bis 25 kW 10 % bei NWL über 25 bis 50 kW 9 % bei NWL über 50 kW
(FWL < 10 MW)			

Quelle: /BMU 2005/

NWL: Nennwärmeleistung

FWL: Feuerungswärmeleistung

*: unbehandeltes Holz nach BImSchV 1, § 3 Abs. 1 Nr. 4–5a.

**: Stroh und ähnliches nach BImSchV 1, § 3 Abs. 1 Nr. 8.

Tabelle 2-14: Emissionsgrenzwerte für genehmigungspflichtige Anlagen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA-Luft)

Parameter	naturbelassenes Holz*	Altholz, Industrierestholz**	Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe***	Biogas	naturbel. Pflanzenöl
Staub	FWL ab 5 MW: 20 mg/m ³	FWL ab 5 MW: 20 mg/m ³	FWL ab 1 MW: 20 mg/m ³	5 mg/m ³	-
	FWL < 5 MW: 50 mg/m ³	FWL < 5 MW: 50 mg/m ³	FWL < 1 MW: 50 mg/m ³		
	FWL < 2,5 MW: 100 mg/m ³	FWL < 2,5 MW: 50 mg/m ³			
NO _x	250 mg/m ³	400 mg/m ³	FWL ab 1 MW: 400 mg/m ³	200 mg/m ³	350 mg/m ³
			FWL < 1 MW: 500 mg/m ³		
SO ₂	-	-	-	350 mg/m ³	-
CO	150 mg/m ³	150 mg/m ³	250 mg/m ³	80 mg/m ³	80 mg/m ³

Quelle: /BMU 2005/

FWL: Feuerungswärmeleistung

 *: Altanlagen sollten die Anforderungen zur Begrenzung der staubförmigen Emissionen, CO und SO₂ Emissionen spätestens ab 2010 einhalten. Einzelfeuerungen mit einer FWL kleiner 2,5 MW dürfen die Emissionen von CO im Abgas von 250 mg/m³ nicht überschreiten (gilt bei Betrieb mit Nennlast).

 **: Altanlagen dürfen die Emissionen von Stickstoffoxiden im Abgas von 500 mg/m³ nicht überschreiten.

***: Altanlagen sollten die Anforderungen zur Begrenzung der staubförmigen Emissionen spätestens ab 2010 einhalten.





Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (Erneuerbare Energien Gesetz – EEG)

§ 1 des EEG: „Zweck dieses Gesetzes ist es, insbesondere im Interesse des Klima-, Natur- und Umweltschutzes eine nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zu ermöglichen, die volkswirtschaftlichen Kosten der Energieversorgung auch durch die Einbeziehung langfristiger externer Effekte zu verringern, Natur und Umwelt zu schützen, einen Beitrag zur Vermeidung von Konflikten um fossile Energieresourcen zu leisten und die Weiterentwicklung von Technologien zur Erzeugung von Strom aus Erneuerbaren Energien zu fördern. Zweck dieses Gesetzes ist ferner, dazu beizutragen, den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung bis zum Jahr 2010 auf mindestens 12,5 Prozent und bis zum Jahr 2020 auf mindestens 20 Prozent zu erhöhen“.

Gesetz zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)

Bei immissionsschutzrechtlichen genehmigungsbedürftigen Anlagen ist abhängig von der Kapazität und dem Standort der Anlage gegebenenfalls die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung erforderlich /MLR 2005/.

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

In diesem Gesetz sind Erhaltung, Modernisierung und Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung geregelt. Darunter fallen beispielsweise Anschluss-, Abnahme- und Vergütungspflicht, Zulassungsvoraussetzungen, Meldepflicht, Nachweis des eingespeisten Stroms und Zuständigkeiten /nach MLR 2005/.

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)

Durch die TA-Luft wird eine bundeseinheitliche Praxis bezüglich der Luftreinhaltung bei Genehmigung, wesentlichen Änderungen und Sanierung von genehmigungsbedürftigen industriellen und gewerblichen Anlagen sichergestellt.

Die TA Luft ist gegliedert in einen Immissions- und einen Emissionsteil.

Der Immissionsteil enthält Vorschriften und Immissionsgrenzwerte zum Schutz der Nachbarn vor unverträglich hohen Schadstoffbelastungen. Der Emissionsteil enthält Anforderungen zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen und legt entsprechende Emissionswerte für alle relevanten Luftschadstoffe fest /BMU 2006/. Dabei werden Anforderungen sowohl an neue Industrieanlagen als auch an Altanlagen festgelegt. Die wichtigsten Grenzwerte sind in Tabelle 2-14 aufgelistet.

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 Veränderung ihrer Eigenschaften ausgeschlossen wird (Besorgnisgrundsatz) /MLR 2005/.

2.6 Biogene Festbrennstoffe im Vergleich: Zusammenfassung und Empfehlungen

Tabelle 2-15 gibt noch einmal zusammenfassend einen Überblick über die Eigenschaften der alternativen Festbrennstoffe aus Biomasse. Alle alternativen Festbrennstoffe haben gemeinsam, dass es sich um nachwachsende Rohstoffe handelt und die Verbrennung Kohlendioxid-neutral erfolgt (geschlossener CO₂-Kreislauf).

Zum Abschluss des Kapitels „Regenerative Energiequellen für die Gewächshausbeheizung“ folgen einige allgemeine Empfehlungen zum Einsatz von alternativen Festbrennstoffen im Gartenbau /nach Brökeland 2001/.

- **Raumbedarf für Biomassekessel** beachten (Fläche, Höhe): Biomassefeuerungsanlagen besitzen deutlich größere Abmessungen als Öl- oder Gasfeuerungsanlagen. Bei vorhandenem Platz können die Anlagen in bestehenden Gebäuden untergebracht werden, anderenfalls ist der Bau eines einfachen Heizhauses erforderlich. Alternativ werden auch Container-Anlagen angeboten.
- **Platzbedarf für Brennstofflagerung und -anlieferung** beachten: Durch die im Vergleich zu Heizöl deutlich geringere Energiedichte von biogenen Festbrennstoffen sind größere Lagerkapazitäten vorzuhalten. Es wird jedoch empfohlen, nicht mehr als 10 % des Jahresbrennstoffbedarfs am Betrieb selbst zu lagern. Eine Überdachung des Lagerplatzes ist empfehlenswert, je nach Einsatzbereich und Brennstoff jedoch nicht zwingend notwendig.
- **Brennstoffqualität** mit Förder- und Kesseltechnik abstimmen: Der Anlagenhersteller gibt vor, welche Brennstoffqualitäten hinsichtlich des Feuchtebereichs, der Stückigkeit und weiterer Merkmale für seine Feuerungsanlage geeignet sind. An diese Vorgaben sollte sich der Betreiber unbedingt halten, da ansonsten erhöhte Emissionen und Schäden an der Anlage möglich sind. Es wird empfohlen, die Qualität der Brennstoffe mit dem Lieferanten vertraglich

Tabelle 2-15: Biogene Festbrennstoffe im Vergleich

	Holz ^a		Halmgut ^b			Getreideganzpflanzen ^b		Energiegetreide ^b
	Hack-schnitzel	genormte Pellets	Ballen	Häcksel	genormte Pellets	Ballen	Häcksel	
Stickstoffgehalt	gering		mittel			hoch		hoch
Chlorgehalt	gering		hoch			hoch		mittel
Geruchsbelästigung	-		-			im Teillastbereich		im Teillastbereich
Staubemissionen ^c	gering		hoch			hoch		hoch
Aschegehalt [Gew.-%], wasserfrei	0,5–2,0		4,8–5,9			4,1/4,4 (Weizen/ Triticale)	2,1/2,7 (Weizen/ Triticale)	
Ascheerweichungs-punkt [°C]	1.238–1.426		911–1.002			833/977 (Weizen/ Triticale)	687/730 (Weizen/ Triticale)	
Heizwert H _u [MJ/kg], 15 % WG	15,5/15,3 (Buche/ Fichte)	17,0 (nach DIN)	14,5					
Heizwert H _u [MJ/kg], wasserfrei	18,4–18,8		17,1–17,4			17,0/17,1 (Weizen/ Triticale)	16,9/17,0 (Weizen/ Triticale)	
Regelbrennstoff nach BImSchG	ja		ja			nein		nein
Optimierungsbedarf:								
Anbautechnik	-/gering		-			-		gering
Erntetechnik	-/gering		-			mittel		gering
Lagertechnik	gering		gering			mittel		-
Fördertechnik	gering		gering			gering		-
Kesseltechnik	gering		hoch			hoch		hoch
Lagerung:								
Korngrößenverteilung bei Schüttgut	mäßig homogen	homogen	-	homogen	homogen	-	homogen	homogen
Schüttraumdichte bei 15 % WG [kg/m ³]	195–260	650	140	65		190	150	760
und resultierender Platzbedarf	mittel	gering	mittel	hoch	gering	mittel	mittel	gering
Brückenbildung bei Schüttgut	mittel	gering	-	mittel	gering	-	mittel	-
Brandgefahr	gering	gering	mittel		gering	mittel		-

Quellen: /FNR 2005/, /Kaltschmitt und Hartmann 2001/, eigene Erfahrungswerte

a. Weide, Pappel, Fichte, Buche.

b. Roggen, Weizen, Triticale.

c. Ausprägung: gering: Zyklonfilter teilweise ausreichend; hoch: Einsatz von Gewebe- oder Elektrofilter notwendig zur Einhaltung der Grenzwerte.

- festzulegen und den oder die Brennstofflieferanten bereits in der Planungsphase in das Projekt mit einzubinden.
- **Regelmäßige Wartung und Reinigung** der Feuerungsanlage: Neben dem bestimmungsgemäßen

Einsatz der Brennstoffe trägt eine gute Wartung der Anlagen wesentlich zum störungsfreien Betrieb und zur Langlebigkeit der Anlage bei. Die Hersteller der Feuerungsanlagen legen normalerweise die Vorgehensweise und die Häufigkeit bzw. Zeitinter-





valle für die Wartung fest und stellen dem Betreiber hierfür Checklisten zur Verfügung.

- **Gute Einbindung** der Kesselregelung in die Klimaregelung, Pufferspeicher: Eine gute Kesselregelung sollte für eine Einbindung in die Klimaregelung geeignet sein. Der Einsatz von ausreichend dimensionierten Pufferspeichern kann hierbei Lastschwankungen ausgleichen und die Auslastung des Biomassekessels deutlich erhöhen.
- **Erfahrenes Planungsbüro** einbinden: Eine gute Planung des Gesamtkonzeptes, bei dem neben der technischen Planung auch weitere Rahmenbedingungen berücksichtigt werden, ist entscheidend für einen erfolgreichen Betrieb der Biomassefeuerungsanlagen. Die Erfahrungen zeigen, dass eingesparte Planungsleistungen im Vorfeld in der Regel durch spätere Fehlerkorrekturen nachträglich (und häufig mehrfach) bezahlt werden müssen. Kesselhersteller bieten diese Planungsleistungen normalerweise nicht an, so dass das Einbinden eines mit der Projektierung von Biomassefeuerungsanlagen erfahrenes Planungsbüros sinnvoll ist. Dieses sollte unter anderem vergleichende Wirtschaftlichkeitsberech-

nungen nach VDI 2067 durchführen und dem Betreiber erläutern können.

- Auf **vorhandene Erfahrungen** zurückgreifen: Die Installation von Biomassefeuerungsanlagen ist bisher noch keine Selbstverständlichkeit, dennoch bestehen inzwischen zahlreiche Anlagen in Gartenbaubetrieben und in Biomasse-Heizwerken. Die Betreiber dieser Anlagen sind in der Regel gerne bereit, von ihren Erfahrungen zu berichten und hilfreiche Tipps zu geben. Wichtig ist hierbei, dass für eine Besichtigung Projekte ausgesucht werden, die in der Größenordnung mit dem eigenen betrieblichen Bedarf vergleichbar sind.
- **Tatsächlichen Wärmebedarf der Gewächshäuser** verwenden: nicht die bereits im Betrieb installierte Leistung sollte als Gesamtwärmebedarf der Gewächshausanlage angesehen und zur Auslegung der Biomasseheizung herangezogen werden, sondern der tatsächliche Wärmebedarf der Gewächshäuser. Sonst kommt es häufig zu einer unnötig kostenintensiven Überdimensionierung der gesamten Heizanlage.

Wirtschaftlichkeit



Ob eine Biomasseheizanlage für einen Gartenbaubetrieb wirtschaftlich ist, hängt von den verschiedensten Faktoren ab und ist generell individuell zu bestimmen. Die folgenden Unterkapitel erläutern die unterschiedlichen Einflussfaktoren und geben Hilfestellungen, um den eigenen Gartenbaubetrieb einschätzen zu können.

Generell ist es sinnvoll, zunächst die Maßnahmen zur Energieeinsparung im Betrieb durchzuführen, die ohne zusätzlichen oder nur mit geringem Kostenaufwand umgesetzt werden können. Hier findet sich in der Regel in den meisten Betrieben ein nicht unerhebliches Potenzial zur Energieeinsparung. Kapitel 3.1 geht näher auf die verschiedenen Energiesparmaßnahmen ein und bietet anhand einer Checkliste die Möglichkeit, den eigenen Betrieb diesbezüglich zu überprüfen.

Bei der Umstellung eines Gartenbaubetriebs auf eine Biomasseheizanlage, sind nicht nur die Kosten für einen Biomassekessel mit den Kosten für einen herkömmlichen fossilen Heizkessel zu vergleichen. Welche weiteren Zusatzinvestitionen berücksichtigt werden müssen wird in Kapitel 3.2 erläutert.

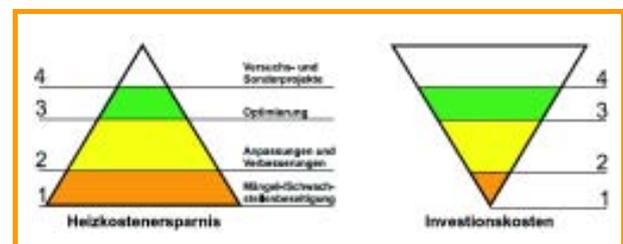
Um einen ersten Eindruck zu gewinnen, ob sich eine Umstellung auf Biomasse für den eigenen Betrieb rechnet, werden in Kapitel 3.3 Beispielkalkulationen an verschiedenen Modellbetrieben vorgestellt. Unterschiedlich ausgestattete Betriebe verschiedener Größe (2.000–16.000 m² im Zierpflanzenbau, 4.000–32.000 m² im Gemüsebau) wurden bezüglich einer Umstellung kalkuliert.

Abschließend stellt Kapitel 3.4 Praxisbetriebe vor, die ihre Gewächshäuser bereits mit Biomasse beheizen.

3.1 Energiesparende Maßnahmen

Die Möglichkeiten bei der Unterglas-Pflanzenproduktion Energie einzusparen, ohne kostenintensive Investitionen zu tätigen, werden in diesem Kapitel kurz dargestellt. Detaillierte Informationen sind folgenden Literaturquellen zu entnehmen: /KTBL 2006/,

/KTBL 2006a/, /Lange et al. 2002/, /STMLF 2001/, /Gartenbau-Versicherung 2000/.



Quelle: nach /Gartenbau-Versicherung 2000/

Abb. 3-1: 4-Stufen-Modell zur Verringerung der Heizkosten

Das in Abbildung 3-1 gezeigte vierstufige Modell zur Verringerung des Energieverbrauchs verdeutlicht sehr gut, dass es unterschiedliche Möglichkeiten in einem Gewächshausbetrieb gibt, um Energiekosten zu senken. Unabhängig davon, in welchem Bereich eine Verbesserung erzielt werden soll (Gewächshauhülle, Heizungsanlage, Mess- und Regeltechnik, Inneneinrichtung/Bewässerung) sollte zunächst immer mit Stufe 1, der Mängel- und Schwachstellenbeseitigung begonnen werden. Dazu zählen beispielsweise das Überprüfen der Verglasung und Konstruktion auf Dichtigkeit, die regelmäßige Kontrolle der Energieschirme, die Kontrolle und Eichung der Messfühler, etc. Mit sehr geringem Kostenaufwand kann so bereits ein gewisses Einsparpotenzial in Abhängigkeit vom Zustand des jeweiligen Betriebs erreicht werden. Auf Stufe 2 werden Anpassungen und Verbesserungen vorgenommen. Wenn im Betrieb ein Klimacomputer vorhanden ist, sollte dieser entsprechend seinen Möglichkeiten eingesetzt werden (Einsatz statischer und dynamischer Regelstrategien). Wichtig ist auch die Wärmeverteilung im Gewächshaus, die eventuell durch eine angepasste Regelung oder/und den Einsatz von Ventilatoren verbessert werden könnte. Ein weiterer Punkt ist beispielsweise die Dauer des Ablaufens des Wassers bei Anstaubewässerung. Ge-

schiebt dieser Vorgang zu langsam wird unnötig Energie für die Wasserverdunstung aufgebracht. Auf dritter Stufe werden bereits kostenintensivere Maßnahmen durchgeführt wie beispielsweise Um- oder Neubauten. Diese Maßnahmen eignen sich für Betriebe, die bereits technisch gut ausgestattet sind und einen hohen Wärmebedarf haben /nach Gartenbau-Versicherung 2000/. Bei Stufe 4 werden mittel- bis langfristige kostenintensive Neu- oder Umbauten getätigt. Sie können geeignet sein für Sondersituationen, Großbetriebe oder Versuchsanlagen. Größere Investi-

tionen sollten jedoch stets gründlichst von Fachleuten geplant und kalkuliert werden.

Die folgende Checkliste (Tabelle 3-1) liefert eine Übersicht und Hilfestellungen zur Optimierung des eigenen Betriebs. Sie hilft herauszufinden, welche Potenziale bereits ausgeschöpft sind und deckt Schwachstellen auf, die in einem nächsten Schritt behoben werden können. Des Weiteren verdeutlicht Tabelle 3-2 das Energieeinsparpotenzial verschiedener baulicher Maßnahmen.

Tabelle 3-1: Checkliste mit Maßnahmen zur Minderung von Energieverlusten im Unterglasanbau

1. Gewächshaushülle

	Situation gut, wenn	Handlungsbedarf, wenn
Konstruktion		
Sprossen	abgedeckt	nicht abgedeckt (Kältebrücken)
Steh- und Giebelwände	Isoliert (z. B. Luftpolsterfolie)	nicht isoliert
Fundamente		
Wärmedämmung	z. B. Dämmplatten	keine Maßnahme
Verglasung (Bedachung)		
Scheiben	in Ordnung	verrutscht, kaputt
Scheiben	sauber	verschmutzt
Stehwand-/Giebelverglasung	Doppeleindeckungen (z. B. 2. Glasscheibe)	keine Dämmmaßnahme
Verkittung	dicht	undicht
Klemmpofile	vorhanden	schadhaft
Lüftung		
Klappen schließen	dicht (Abdichtprofil)	undicht
Klappen öffnen	gleichmäßig	ungleichmäßig
Zugseile gespannt	gleichmäßig	ungleichmäßig
Zugseile	in Ordnung	beschädigt
Rinnen		
Wärmedämmung	vorhanden	keine
Türen/Tore		
schließen	vollständig, leicht	unvollständig, schwer
Energieschirm/Schattierung		
Gewebe	nicht beschädigt	beschädigt
schließt allgemein	dicht	undicht
am Zugband	dicht	undicht
am Gitterbinder	dicht	undicht
Schürzen an Stehwand	dicht	undicht
Gewebe an Giebel	dicht	undicht
Schirmpakete, wenn offen	klein	groß

Tabelle 3-1: Checkliste mit Maßnahmen zur Minderung von Energieverlusten im Unterglasanbau (Forts.)

2. Heizungsanlage

	Situation gut, wenn	Handlungsbedarf, wenn
Heizkessel		
Manometer	in Ordnung	defekt
Druckprüfung (Manometer)	in Ordnung	zu niedrig/zu hoch
Absperrventile	beweglich	lecken oder sitzen fest
Wasserverlust	nein	ja
Schwitzwasserspuren	nein	ja
Kesselisolierung	vollständig	unvollständig
Rauchgaszüge	gereinigt/dicht	nicht gereinigt/undicht
Brenner (einmal pro Jahr)	gereinigt	nicht gereinigt
Wartung/Inspektion/Reinigung	durchgeführt	nicht durchgeführt
Brennwerttechnik (Gas)	vorhanden	nicht vorhanden
Rauchgaskondensator (Gas)	dicht	undicht
Ölleitungen	dicht	undicht
Lufterhitzer		
Wartung	durchgeführt	nicht durchgeführt
CO-Kontrolle	durchgeführt	nicht durchgeführt
Ausdehnungsanlage		
Wasserstand	in Ordnung	nicht in Ordnung
Wassermangelsicherung	in Ordnung	nicht in Ordnung
<i>bei offener Anlage:</i>		
Isolierung des Gefäßes	vorhanden	nicht vorhanden
Schornstein		
Zustand	trocken	feucht
Risse	keine	vorhanden
Reinigungsklappen	dicht	undicht
Abgasrohr	dicht	undicht
Isolierung	ja	nein
Verteilanlagen		
Drosselklappen	beweglich	festgesetzt
Isolierung	vorhanden	nicht vorhanden
Kessel-Beimischpumpe	läuft nur bei Bedarf	läuft immer
Handmischer/Motormischer	beweglich	sitzen fest
Schieber	dicht	undicht
Pumpentyp	Trockenläufer	Nassläufer
Umwälzpumpen	geregelt	nicht geregelt
Schmutzfänger	gereinigt	nicht gereinigt
Zu- u. Ringleitungen		
Vorregelung	vorhanden	ungeregelt
Isoliermaterial	in Ordnung	beschädigt
Wärmeverteilung		
Ventile	beweglich	sitzen fest



Tabelle 3-1: Checkliste mit Maßnahmen zur Minderung von Energieverlusten im Unterglasanbau (Forts.)

	Situation gut, wenn	Handlungsbedarf, wenn
Handmischer/Motormischer	beweglich	sitzen fest
Entlüftungsschrauben	in Ordnung	sitzen fest
Anstrich/Rohre	gut erhalten	rostig
Anordnung Heizungssystem	pflanzennah	hohe Rohrheizung
CO₂-Meßgerät		
Eichung	durchgeführt	nicht erfolgt
CO₂-Anlage		
Kondenswasser im Abscheider	entfernt	vorhanden
Verteilschläuche	in Ordnung	beschädigt/verklemt

3. Mess- und Regeltechnik

	Situation gut, wenn	Handlungsbedarf, wenn
Temperatur/Luftfeuchtigkeit, Sensoren		
Wartung /Inspektion/Eichung	durchgeführt	nicht durchgeführt
Anordnung	pflanzennah	von Pflanzen entfernt
Klimacomputer		
Funktion und richtige Positionierung der Messfühler, Messbox in Ordnung		defekt, Fehlfunktion
Wetterstation/Kontrolle	durchgeführt	nicht durchgeführt
Überprüfung der eingestellten Sollwerte auf Einhaltung	korrekt	Abweichungen
<u>Energiesparende Sollwerteinstellungen:</u>		
früheres Ablüften	eingestellt	ungenutzt
Erhöhung Lüftungstemperatur	eingestellt	ungenutzt
Energieschirme später öffnen	eingestellt	ungenutzt
Energieschirme früher schließen	eingestellt	ungenutzt
keine Bewässerung nachts	eingestellt	ungenutzt
Dynamische Temperaturführungsstrategien	eingestellt	ungenutzt

4. Inneneinrichtung/Bewässerung

	Situation gut, wenn	Handlungsbedarf, wenn
Wassersparende Bewässerungssysteme		
schnelles Abfließen des Wassers bei der Anstaubewässerung	gewährleistet	funktioniert nicht
Verdunstungsminderung (z. B. minimale Verdunstungsfläche, Mattenabdeckung mit Gewebe oder Nadelfolie)	vorhanden	fehlt
Bewässerungssteuerung		
nach Einstrahlung oder Tensiometer	erfolgt	keine Steuerung
keine Bewässerung nachts	eingestellt	nicht eingestellt
Hohe Nettokulturfläche		
Kultursystem (z. B. Rolltische, Bodenkultur, Zweilag-Systeme)	optimiert	keine Maßnahmen getroffen
Umluftventilatoren		
Abbau von Temperaturgradienten	vorhanden	fehlt

Quelle: /KTBL 2006a/

Tabelle 3-2: Baulich Maßnahmen zur Energieeinsparung

Maßnahme	Einsparpotenzial bezogen auf die behandelte Fläche [%]	Entstehende Kosten [€/m ²]	Kosten pro eingespartem Prozent Energie [€/‰]
Dämmplatten an Fundamenten	60–70	1–2	0,02
Noppenfolie an Steh- und Giebelwänden	35–40	3–5	0,11
Zweischeibenverglasung bei Stehwänden	30–32	5–6	0,18
Aufblasbare Doppelfolie im Dachraum	40–50	15–20	0,39
Energieschirme	20–40	10–20	0,50
Stegdoppelplatten	40–45	20–30	0,58
Niedrige Rohrheizung	15–18	10–20	0,83
Nachrüsten eines Aluminiumsprossensystems	40–50	50–60	1,22

Quelle: /KTBL 2006a/

3.2 Zusatzinvestitionen beim Einsatz von Biomassekesseln und Blockheizkraftwerken

Bei der Umstellung der Wärmeversorgung eines Gartenbaubetriebs von Heizöl oder Erdgas auf Biomasse sind in der Regel neben der Investition in einen neuen Biomasseheizkessel weitere Investitionen notwendig. Dazu zählen die Einrichtung eines **Brennstofflagers**, häufig sind zusätzliche **Entstaubungseinrichtungen** erforderlich, um gesetzlich vorgeschriebene Grenzwerte einzuhalten. Die Investition in einen **Pufferspeicher**, zur optimalen Ausnutzung der Biomasseheizanlage, ist unbedingt zu empfehlen. Teilweise sind in den Betrieben bereits entsprechende Vorrichtungen vorhanden (beispielsweise kann ein alter Tank als Brennstofflager verwendet werden), teilweise muss jedoch auch alles neu angeschafft werden. In diesem Fall kommen auf den Betrieb weitere Investitionen zu, die bei der Planung einer Biomasseheizanlage und Wirtschaftlichkeitsberechnungen unbedingt berücksichtigt werden müssen.

3.2.1 Brennstofflagerung

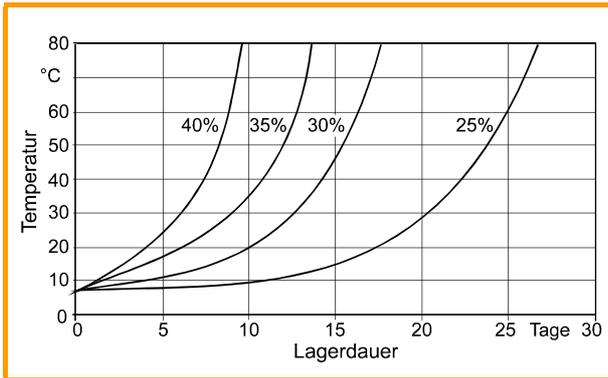
Die Brennstofflagerung ist bei der Planung einer Biomasseheizanlage ein wichtiger Punkt, da alternative Brennstoffe wie Holzhackschnitzel oder Pellets deutlich geringere Lagerdichten haben und somit entsprechend großen Lagerraum oder große Lagerflächen im Vergleich zu Heizöl oder gar Erdgas benötigen. Grundsätzlich ist die Lagerung von Holz, Stroh oder Getreide mit einem hohen Risiko eines Substanzverlustes und der Qualitätsveränderung durch biologische Abbauprozesse verbunden /Hartmann und Kaltschmitt 2002/. Zu den möglichen Lagerungsrisiken zählen /nach Hartmann 2001/:

- Substanzverlust durch biologische Prozesse (Verlustrisiko),
- Selbstentzündung (Gefährdungsrisiko),
- Pilzwachstum und Pilzsporenbildung (Gesundheitsrisiko),
- Geruchsbelästigung (Umweltrisiko),
- Wiederbefeuchtung bzw. Umverteilung des Wassergehalts (Qualitätsrisiko),
- Agglomeration durch Frosteinwirkung (technisches Risiko),
- Entmischung und Feinabrieb (Qualitätsrisiko) und
- auftretendes Wasser bzw. Sickersaft (Umweltrisiko).

Während der Lagerung von organischem Material finden kontinuierlich biologische Ab- und Umbauprozesse statt, die im Wesentlichen von der Brennstoffart, dem Wassergehalt und der vorherrschenden Temperatur beeinflusst werden. Ab- und Umbauprozesse biogener Festbrennstoffe finden verstärkt bei lignocellulosehaltigen Brennstoffen wie Holz und Stroh statt und spielen bei der Getreidelagerung eher eine untergeordnete Rolle. Eine Folge dieser Prozesse ist die Selbsterhitzung des Brennstoffs. Abbildung 3-2 verdeutlicht den typischen Verlauf des Temperaturanstiegs bei der Hackgutlagerung in Abhängigkeit vom Wassergehalt. Zu der dargestellten Temperaturerhöhung kommt es zum einen durch die Respiration noch lebender Zellen, zum anderen durch Aktivität vorhandener Pilze und Bakterien. In Einzelfällen kann sich das Material sogar bis zur Selbstentzündung erhitzen, obwohl Pilze allgemein Temperaturen von über 60 °C nicht überleben und Bakterien ihre Aktivität bei Temperaturen um 80 °C einstellen. Die Ursachen für diesen weiteren Temperaturanstieg bis 100 °C und gegebenenfalls darüber sind jedoch noch nicht vollständig geklärt /Hartmann 2001/. Verantwortlich für die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs



stiegs sind neben der Brennstoffart unter anderem Wassergehalt, Materialdichte sowie Lager- bzw. Schütthöhe. Ausschlaggebend sind auch die klimatischen Rahmenbedingungen und der Anfangsbefall des eingelagerten Brennstoffs mit Pilzen und Bakterien. Es sollte daher darauf geachtet werden, möglichst gering belastetes Material zu verwenden. Tabelle 3-3 zeigt zusammenfassend eine Übersicht der jährlichen Trockenmasseverluste bei der Holzlagerung in Haufen im Freien.



Quelle: /Bursche 1983/

Abb. 3-2: Typischer Verlauf des Temperaturanstiegs bei der Hackgutlagerung in Abhängigkeit vom Wassergehalt

Tabelle 3-3: Jährliche Trockenmasseverluste bei der Holzlagerung in Haufen im Freien, (z. T.: mehrmonatige Lagerung auf ein Jahr hochgerechnet.)

Material/Lagerart	Verlust (% TM/a)
feines Waldhackgut, frisch, unabgedeckt	20 bis > 35
feines Waldhackgut, getrocknet, abgedeckt	2 bis 4
grobstückiges Waldhackgut (7 bis 15 cm), frisch, abgedeckt	ca. 4
Rinde, frisch, unabgedeckt	15 bis 22
Holzstangen (Fichte, Kiefer), frisch, unabgedeckt	1 bis 3
junge Ganzbäume (Pappel, Weiden) frisch, unabgedeckt	6 bis 15

Quelle: nach /Hartmann 2001/

Neben dem genannten Temperaturanstieg kommt es bei der Brennstofflagerung auch zu Pilzwachstum. Pilzsporen, die bei Verlagerungsprozessen (Um- und Auslagerungsvorgänge) des Brennstoffs in die menschlichen Atemwege gelangen, können zu Erkrankungen

und Allergien führen. Vorrangig sollte, wie bereits erwähnt, auf eine gute Brennstoffqualität mit geringem Anfangsbefall geachtet werden. Schutzmaßnahmen wie beispielsweise die Vermeidung von Luftbewegung, die Automatisierung von Umschlagsprozessen sowie der Einsatz von Mikrofiltern in Fahrzeugkabinen können das Risiko zusätzlich minimieren.

Das Pilzwachstum hat des Weiteren einen wesentlichen Einfluss auf den Substanzabbau. Halmgutartige Biomasse besitzt zum Zeitpunkt der Ernte zwar in der Regel relativ geringe Wassergehalte, der Luftaustausch kann aber aufgrund der praxisüblichen Ballenpressung behindert werden und somit Pilzwachstum begünstigen. Bei der Strohernte ist ebenfalls auf eine möglichst geringe Verunreinigung durch grüne Begleitflora zu achten, da diese aufgrund höherer Wassergehalte zu nesterartiger Schimmelbildung im Ballen führen kann /nach Hartmann 2001/. Soweit möglich sollten zur Minimierung möglicher Brennstoffverluste durch Pilze und Bakterien während der Lagerung folgende Maßnahmen umgesetzt werden /Hartmann 2001/:

- geringst möglicher Wassergehalt bei Einlagerung,
- Vermeidung von Nadeln und Blättern als leicht mikrobiell angreifbares Material,
- Minimierung der Lagerdauer,
- Vermeidung von Wiederbefeuchtung,
- guter Luftzutritt und dadurch maximale Wärme- und Feuchtigkeitsabfuhr,
- optimale Schütthöhe,
- möglichst grobe Materialstruktur bei Langzeitlagerung zur Verbesserung des Luftzutritts,
- Vermeidung von stumpfen Schneidewerkzeugen bzw. von Prallzerkleinerungstechniken bei feucht einzulagernder Biomasse,
- Realisierung einer aktiven Trocknung oder Belüftungskühlung.

Nähere Informationen zum Substanzabbau bei der Lagerung von holz- und halmgutartiger Biomasse sind /Hartmann 2001/ zu entnehmen.

Neben dem Substanzabbau durch Bakterien und Pilze ist bei der Lagerung von Getreide bzw. Getreideganzpflanzen auch die Gefahr von Verlusten durch Ratten- und Mäusefraß zu berücksichtigen.

Falsche Lagertechnik kann zu einer inhomogenen Brennstoffqualität führen. Dadurch kommt es zu Problemen bei der Brennstoffzufuhr und zu einem schlechteren Verbrennungsprozess. Es ist daher wichtig, sich bei der Planung des Brennstofflagers bereits an den Eigenschaften des Brennstoffs zu orientieren

sowie das Lager entsprechend zu dimensionieren und auszustatten. Im Folgenden werden die wichtigsten Lagerungstechniken mit den dazu gehörigen Lager- ein- und -austragsystemen vorgestellt.

3.2.1.1 Lagerungstechniken nach /Hartmann 2001/

Die Lagerung von Biomasse zur energetischen Nutzung kann im Freien oder in Gebäuden stattfinden. Je nach Brennstoffart (Holz, Halmgut, Getreide, etc.) und Brennstoffaufbereitung (Vortrocknung, Häckseln, Pelletierung, etc.) sind unterschiedliche Lagerungstechniken sinnvoll. Ebenfalls zu unterscheiden ist zwischen großen Langzeitlagern und kleineren Vorratsbunkern. Sind die entsprechenden räumlichen Voraussetzungen in einem Betrieb gegeben, ist es optimal, ein großes Brennstofflager direkt mit der Heizzentrale zu verbinden. Häufig besteht jedoch nur die Möglichkeit einen kleineren Vorratsbunker, aus dem ca. eine Woche lang der Wärmebedarf der Gewächshausanlage gedeckt werden kann, in der Nähe der Feuerungsanlage aufzustellen. In diesem Fall sind weitere Transportsysteme zwischen Hauptlager und Vorratsbunker notwendig.

Bei der **Bodenlagerung im Freien** kann zwischen einer Lagerung ohne und mit Witterungsschutz unterschieden werden. Die **Lagerung ohne Witterungsschutz** ist verbreitet bei unaufbereitetem Holz. Schüttgut sollte dabei möglichst auf befestigtem Untergrund gelagert und ein Feuchteintritt vermieden werden. Bei einer Brennstoffbeschickung und -entnahme mit dem Radlader ist eine belastbare/befahrbare Bodenplatte aus Beton, Asphalt oder auch eine Konstruktion aus Holz erforderlich. Die **Bodenlagerung mit Witterungsschutz** wird für aufbereitete Brennstoffe empfohlen, um die bereits erreichte Trocknungsstufe beizubehalten. Es kann sich um eine lose Abdeckung beispielsweise mit einer Kunststoffplane handeln oder um eine fest installierte Bedachung. Bei der Abdeckung mit Kunststoffplanen ist zu beachten, dass gasundurchlässige Folien ein weiteres Abtrocknen des Brennstoffs verhindern. Eine gute Durchlüftung des Lagers sollte sowohl bei einer losen Abdeckung als auch bei festen Bedachungen stets gewährleistet sein.

Die **Lagerung in Gebäuden** bietet einen sehr guten Witterungsschutz. Dies ist besonders wichtig für Brennstoffe, die bereits durch Vorbehandlung aufgewertet wurden (Trocknung, Pelletierung u. a.). Für die

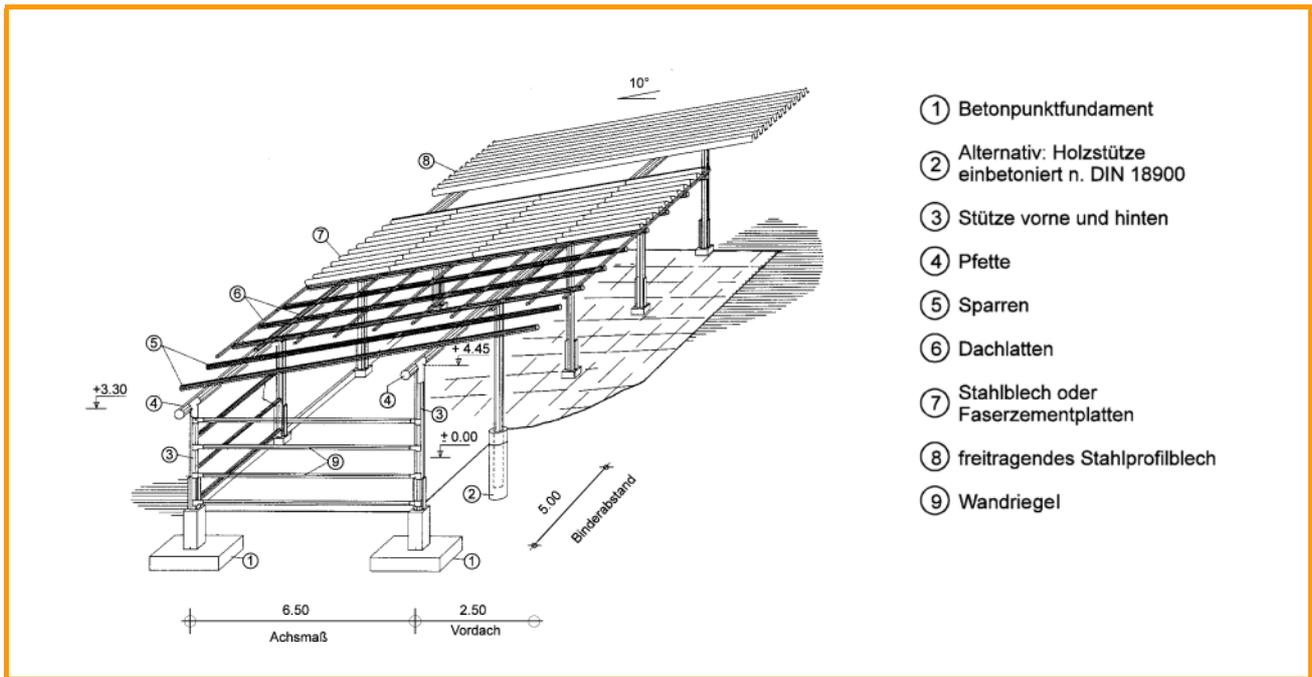
Brennstofflagerung können auch vorhandene Hallen oder Gebäude genutzt werden. Diese müssen zum Teil an die entsprechenden Lageranforderungen angepasst werden. Brennstoffbunker können sowohl ober- als auch unterirdisch eingerichtet werden. Neben der Nutzung bereits bestehender Gebäude ist auch die Konstruktion von **Rundholzbergehallen** möglich (Abbildung 3-3). Es ist dabei stets auf eine gute Durchlüftung des Brennstoffs zu achten (speziell bei der Holzhackschnitzzellagerung), damit keine Kondenswasserbildung auftritt, die zu Gebäudeschäden führen kann. Bei Schüttgütern sind spezielle Anforderungen an die Seitendruckstabilität der Gebäude zu beachten. Abbildung 3-4 zeigt beispielhaft eine Lagerhalle mit ebenerdigen Zugboden. Die Hallenlagerung eignet sich für alle biogenen Festbrennstoffe.

Speziell für die Lagerung von Schüttgut (Holz-, Strohpellets, Getreide) eignen sich **Hochbehälter/Silos**. Sie können aus Holz, Kunststoff oder Metall (Wellblechkonstruktionen) bestehen (siehe Abbildung 3-5) und werden in Gebäuden oder unter einer Abdeckung im Freien aufgestellt. Silos bieten zudem eine gute Möglichkeit Belüftungssysteme zu integrieren. Die Befüllung des Lagers kann je nach Rieselfähigkeit des Brennstoffs pneumatisch oder mechanisch mit Fördersystemen realisiert werden. Bei sehr guter Rieselfähigkeit ist für den Brennstoffaustrag kein weiteres Austragsystem notwendig, sofern der Auslauf trichterförmig bzw. der Behälter mit einem Schrägboden ausgestattet ist. Verschiedene Ein- und Austragsysteme wie Förderschnecken oder Schubböden werden im folgenden Kapitel vorgestellt.

Neben festen Silos gibt es auf dem Markt auch **Silos mit flexiblen Wänden**. Sie bestehen aus einem gewebeverstärktem Kunststoffschlauch (Trevira) der in ein Stahlgerüst eingespannt wird (Abbildung 3-6). Diese Art der Lagerung eignet sich jedoch nur für fließfähige, trockene Brennstoffe, da bis auf die atmungsaktive Silowand keine weitere Belüftung integriert werden kann. Brückenbildung aufgrund der Brennstoffbeschaffenheit kann besonders einfach behoben werden, worin sich ein Vorteil dieses Systems zeigt.

Eine Sonderbauform des Hochsilos ist der **Heuturm** (Abbildung 3-7). Er bietet gute Durchlüftungsmöglichkeiten und durch die Brennstoffverdichtung wird eine Lagerraumausnutzung wie von Rundballen erreicht. Bei dem Heuturm handelt es sich um eine vollautomatische Lagervariante, die aufgrund möglicher Instabilität des Abwurfschachtes jedoch nicht für die Lagerung von Pellets oder Hackgut eingesetzt werden kann.





Quelle: /Rittel 1990/

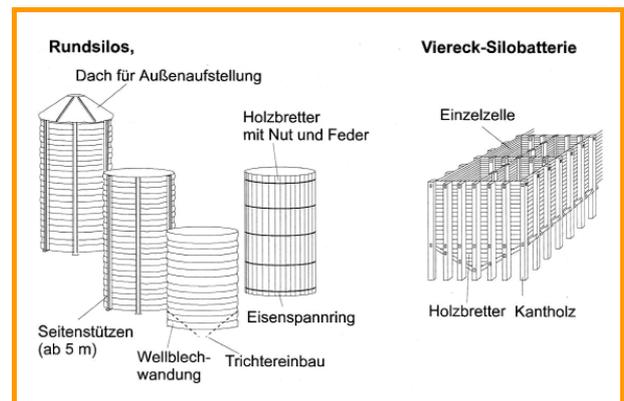
Abb. 3-3: Rundholz-Pultdachhalle mit Rundholzverbindern



Quelle: /Schuster 2006/

Abb. 3-4: Lagerhalle mit ebenerdigem Schubboden. Beschickung mit dem Raadlader.

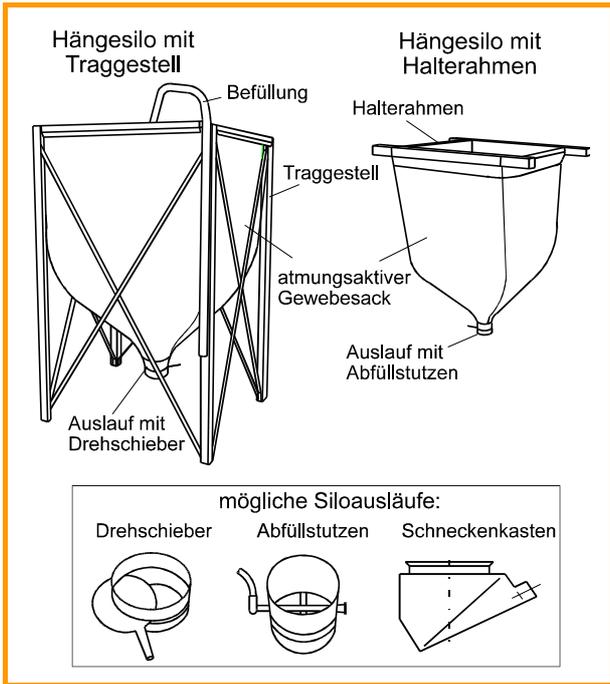
Sind die großen Brennstofflager nicht unmittelbar über ein automatisches Zuführungssystem mit der Feuerungsanlage verbunden, müssen wie bereits erwähnt zusätzlich kleinere Vorratslager (Kurzzeitlager) direkt an der Anlage installiert werden. Je nach Energiebedarf sollten diese Lager eine Brennstoffversorgung für mindestens 3–5 Tage (Wochenende, Feiertage etc.) sicherstellen. Für die Kurzzeitlagerung kommen Rundsilos, Lagerhallen (ober- oder unterirdisch) oder auch **Wechselcontainer** mit integriertem Schubboden in Frage.



Quelle: /Schön et al. 1998/

Abb. 3-5: Beispiele für Hochbehälterbauformen als Rundsilos oder Viereck-Silobatterie mit Schrägauslauf

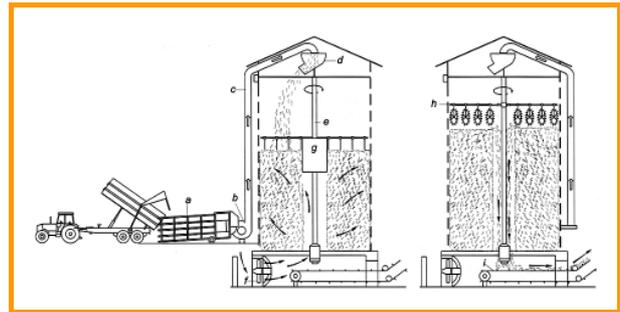
Generell sollte bei der **Hackschnitzellagerung** im Lager eine Nachtrocknung möglich sein (Schutz vor Nässe, ausreichende Belüftung), die die energetische Nutzung des Brennstoffs verbessert. Der Wassergehalt der Hackschnitzel muss bei der Einlagerung bereits unter 30 % liegen, da die natürliche Nachtrocknung von feucht eingelagertem Material sonst nicht ausreicht /Schröder et al. 2005/. Der Einsatz von Wechselcontainern zur Kurzzeitlagerung an der Anlage kann bei kleineren Anlage (unter 1 MW) eine kostengünstige Alternative zu einem feststehenden Lager sein, da zusätzlich nur eine elektrische Versorgung



Quelle: /Hartmann und Höldrich 2003/

Abb. 3-6: Hängende Gewebesilos (aus Trevira) in verschiedenen Ausführungen

der Schubböden im Container und beispielsweise die Installation einer Querförderschnecke notwendig ist (Abbildung 3-8). Bei größeren Anlagen werden häufig auch schlichte witterungsgeschützte Lagerplätze verwendet, wobei der Kesselvorratsbunker (Kurzzeitlagerung) dann beispielsweise mit einem Radlader befüllt wird. Brennstoffbunker für die Hackschnitzella-

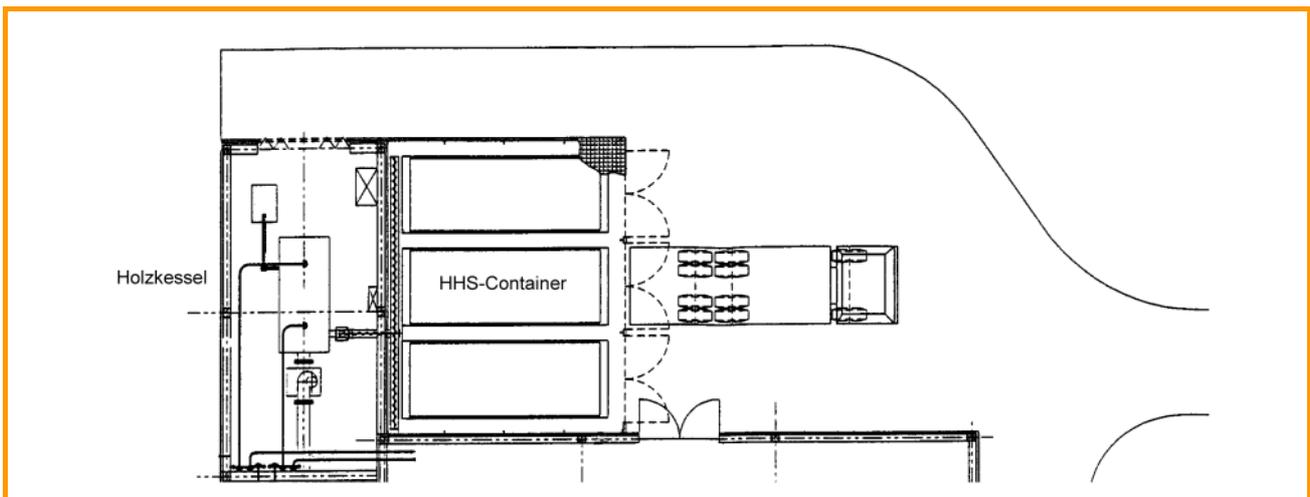


Quelle: /Hartmann 2001/

Abb. 3-7: Heuturm für gehäckseltes Halmgut beim Befüllen und Belüften (links) sowie beim Entleeren (rechts). (a: Dosier mit Schubboden, b: Gebläse, c: Förderleitung, d: Verteiler, e: Zentralmast, f: Ventilator, g: Luftabschlussglocke, h: Räumgerät mit Sternrechen, i: Förderband)

gerung können sowohl ober- als auch unterirdisch eingerichtet werden.

Pellets werden meist in Silos oder kleineren Hallen gelagert. Da Pellets pneumatisch gefördert werden können, sind für die Lage des Vorratsraumes größere Freiheitsgrade als bei Hackschnitzeln möglich /Schröder et al. 2005a/. Wichtig ist ein trockener und staubdichter Lagerraum, um den geringen Wassergehalt der Pellets beizubehalten. Detaillierte Informationen zur Lagerung von Holzpellets bietet das kostenlose Informationsblatt „Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets“ vom Deutschen Energie-Pellet-Verband e. V. (siehe /DEPV 2005/). **Halmgutballen** werden in der Regel in Lagerhallen gestapelt.



Quelle: /Fichtner 2000/

Abb. 3-8: Beispiel eines Hackschnitzellagers mit Wechselcontainer



3.2.1.2 Lagerein- und -austragsysteme nach /Schröder et al. 2005b/

Hackschnitzel können in ober- oder unterirdischen Brennstoffbunkern gelagert werden. Bei unterirdischen Brennstoffbunkern ist die direkte Befüllung vom Transportfahrzeug des Brennstofflieferanten vorteilhaft. Oberirdische Lager werden entweder mit dem **Radlader** befüllt oder automatisch über Abladegruben, aus denen die Hackschnitzel mittels **Schnecken** oder **Trog- bzw. Kratzkettenförderern** in das Lager gefördert werden. Zum Brennstoffaustrag werden in der Regel Querförderschnecken oder Trog- bzw. Kratzkettenförderer eingesetzt. Abbildung 3-9 gibt eine Übersicht über verschiedene Systeme zur Lageraustragung. **Austragsschnecken** sind für runde Silos mit einem Durchmesser von bis 10 m geeignet. Bei besonders großen Silos ist der Drehschneckenausstrag weit verbreitet. Bei kleineren Silos (bis 5 m Durchmesser) hingegen kommen eher Konusschnecken zum Einsatz. Eine weitere Möglichkeit zum Brennstoffaustrag aus Siloanlagen ist der Einsatz von **Wanderschnecken** (siehe Abbildung 3-9 unten rechts). Bei der Lagerung in Bunkern oder Wechselcontainern kommen häufig **Schubbodensysteme** zum Einsatz. Der Schubboden besteht aus Mitnehmern, die über Hydraulikzylinder angetrieben werden und so eine Vorschubbewegung erzeugen, die den Brennstoff zur Austragsöffnung transportiert. Je nach Breite und Anzahl der Schubelemente kann eine Förderleistung von bis zu 20 m³/h erzielt werden.

Pellets können generell mit sämtlichen Systemen ein- oder ausgetragen werden, die sich auch für den Einsatz von Hackschnitzeln eignen. Im Gegensatz zu Hackschnitzeln können Pellets aufgrund ihrer homogenen Struktur auch **pneumatisch** gefördert werden. Die maximale Länge des Luftschlauchs zur Eintragung beträgt ca. 30 m. Bei einer Saugaustragung darf der Heizraum bis zu 20 m entfernt vom Pelletlager liegen /BIZ 2002/.

Das Abladen und Einlagern von **Halmgutballen** geschieht meist mit **Gabelstaplern** oder **Radladern** mit speziellen Zinken zur Aufnahme der Ballen. Die Hallenauslagerung geschieht bei größeren Anlagen mit einem fest installierten **Hallenkran** automatisch, ansonsten ebenfalls mit Hilfe von Gabelstaplern.

3.2.2 Staubabscheidung

Bei der Verbrennung von Biomasse fällt im Brennraum die sogenannte **Grob- oder Rostasche** an. Sie

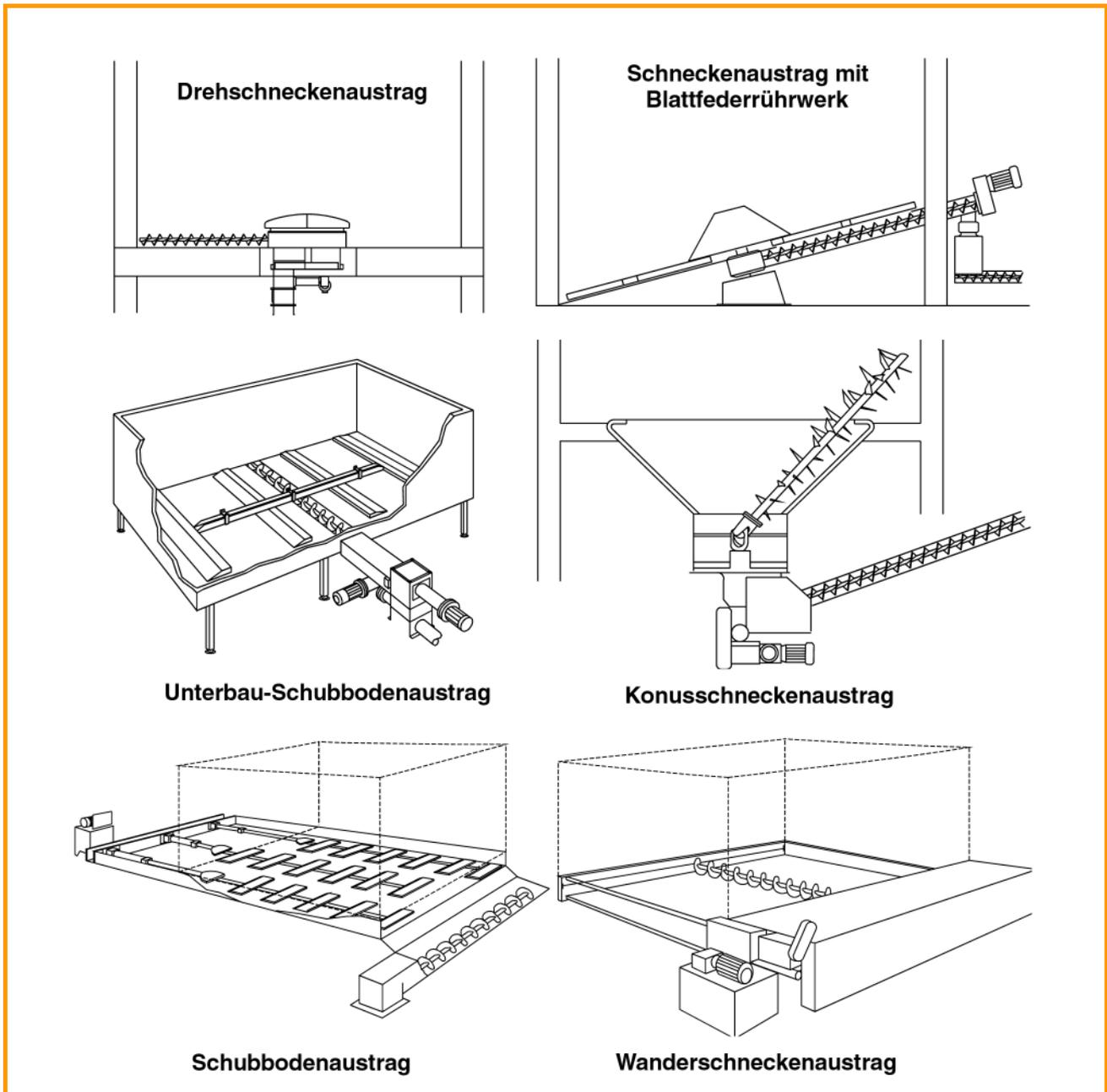
besteht überwiegend aus mineralischen Rückständen der eingesetzten Biomasse sowie Verunreinigungen wie Sand, Erde und Steinen. Hinzu kommen zum Teil gesinterte Ascheteile und Schlackebrocken. Die Grobasche wird über den Rost in entsprechende Aschecontainer befördert und entsorgt. Neben der genannten Grobasche entsteht bei der Verbrennung von Biomasse zusätzlich Zyklonflugasche und Feinstflugasche. **Zyklonflugasche** sind in den Rauchgasen mitgeführte Reste, überwiegend anorganische Brennstoffteile, die als Stäube im Wendekammer- und Wärmetauscherbereich der Feuerung sowie in den Kessel nachgeschalteten Fliehkraftscheidern (Zyklonfiltern) anfallen /Obernberger 2001/. Zur Filterung von **Feinstflugasche** können Gewebe- oder Elektrofilter eingesetzt werden. Je nach eingesetztem Festbrennstoff kommt es zu unterschiedlich starkem Ascheanfall in den drei genannten Bereichen (Tabelle 3-4).

Zur Einhaltung gesetzlich vorgeschriebener Emissionsgrenzwerte sind bei Biomasseheizanlagen in der Regel Filtersysteme notwendig. Je nachdem welcher Brennstoff in welcher Qualität eingesetzt wird kommen unterschiedliche Filtersysteme zum Einsatz. Tabelle 3-5 verdeutlicht die Aschegehalte verschiedener biogener Festbrennstoffe. Im Folgenden wird auf die Funktionsweisen der unterschiedlichen Filtersysteme eingegangen.

3.2.2.1 Zyklonfilter

Zyklonfilter oder auch Fliehkraftabscheider oder Trägsheitsentstauber stellen als relativ kostengünstige Filter aufgrund ihrer einfachen Bauweise die wichtigsten Staubabscheider zur Abscheidung von Grobparkeln ab ca. 2 µm /Nussbaumer 2001/ dar.

Abbildung 3-10 zeigt den schematischen Aufbau eines Zyklonfilters. Dieser besteht im oberen Bereich aus einem zylindrischen Abscheideraum und im unteren Bereich aus einem konischen Abscheideraum. Durch tangentialen Strömungseinlass werden die Rauchgase in eine Drehbewegung versetzt. Somit wirken Fliehkräfte auf die Staubpartikel, die sich an der Außenwand ablagern und in den Staubabscheideraum herunter sinken. Über ein Tauchrohr wird das gereinigte Gas mit Hilfe eines Saugzuggebläses abgeführt. Die Abscheideleistung bzw. der Entstaubungsgrad ist abhängig von der Zyklongeometrie sowie der Größe und Dichte der Partikel. Wird eine Biomasseheizanlage in Teillast gefahren, kann sich durch eine geringere Strömungsgeschwindigkeit der Rauchgase die Abscheideleistung des Zyklonfilters verringern



Quelle: /Hartmann 2001/

Abb. 3-9: Schematische Darstellung unterschiedlicher Systeme zur Lagerastragung

/Raab et al. 2005b/. Durch eine Parallelschaltung mehrerer Zyklone zu einem sogenannten Multizyklon (Abbildung 3-11) kann eine verbesserte Abscheideleistung erzielt werden, ohne die Strömungsgeschwindigkeit zu erhöhen. Multizyklone scheiden bei akzeptablen Druckverlusten nur Teilchen größer $10\ \mu\text{m}$ effizient ab, was in Hackschnitzel- und Rindenfeuerungen zu Reststaubgehalten im Rauchgas von $120\text{--}400\ \text{mg}/\text{m}^3$ führt /Spliethoff 2000/. Nach einstimmiger Meinung der Anlagenhersteller reichen die bei

größeren Holzfeuerungsanlagen bis 1 MW Feuerungswärmeleistung eingesetzten Fliehkraftabscheider zur Einhaltung der vorgeschriebenen Grenzwerte für Staub häufig nicht aus /Brökeland 2004/. Die Grenzwerte bei der Verbrennung von Stroh und Getreide sind durch den ausschließlichen Einsatz von Zyklonfiltern nicht einzuhalten. In diesem Fall ist es notwendig weitere Entstaubungseinrichtungen wie beispielsweise Gewebefilter vor dem Ausleiten der Rauchgase in den Kamin einzubinden.

Tabelle 3-4: Anteile der einzelnen Aschefractionen an der Gesamtasche

	Rinden- feuerung	Hackgut- feuerung	Sägespäne- feuerung	Stroh- und GGP- feuerung
	[Gew.-%]			
Grob- asche	65–85	60–90	20–30	80–90
Zyklon- flugasche	10–25	10–30	50–70	2–5
Feinst- flugasche	2–10	2–10	10–20	5–15

Anmerkung: Die Angaben gelten bei Rinde und Hackgut für Rost- und Unterschubfeuerungen, bei Sägespänen für Unterschubfeuerungen und bei Stroh- und Getreideganzpflanzenfeuerungen (GGP) für Zigarrenbrenner.

Quelle: /Oberberger 2001/

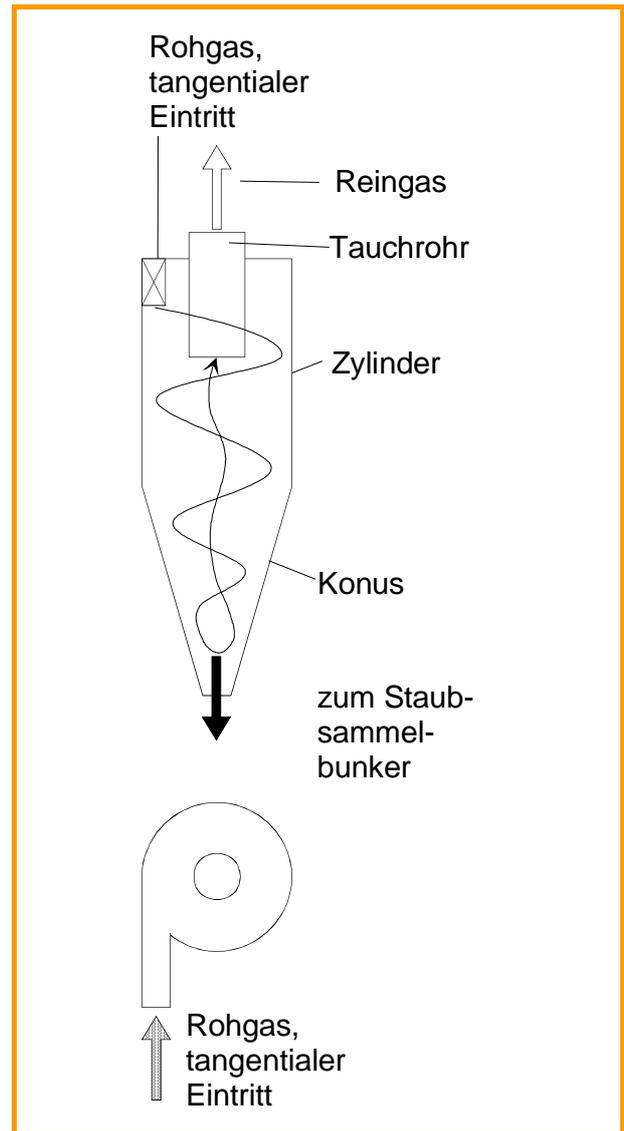
Tabelle 3-5: Durchschnittliche Aschegehalte von naturbelassenen Biomasse-Festbrennstoffen im Vergleich zu Stein- und Braunkohle

Brennstoff/Biomasseart	Durchschnittlicher Aschegehalt (wf) [Gew.-%]
Holz mit Rinde (Fichte, Buche)	0,6
Kurzumtriebsholz (Pappel, Weide)	1,9
Körner (Roggen, Weizen, Triticale)	2,3
Miscanthus	3,9
Getreideganzpflanzen (Roggen, Weizen, Triticale)	4,2
Stroh (Roggen, Weizen, Triticale, Gerste)	5,3
Braunkohle	5,1
Steinkohle	8,3

Quelle: nach /Hartmann 2007/

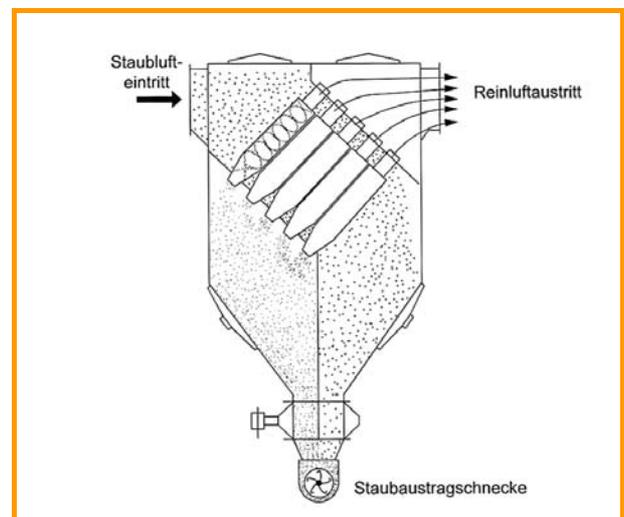
3.2.2.2 Gewebefilter

Neben den Trägheitsentstaubern gibt es weitere Filtersysteme, sogenannte Gewebefilter, die darauf basieren, dass das zu reinigende Abgas durch eine poröse Gewebe- oder Filzschicht geführt wird. Die Staubpartikel werden an der Gewebeschicht zurückgehalten, dringen jedoch nicht in das Filtermedium ein. Es entsteht mit der Zeit ein sogenannter Filterkuchen. Die Partikel werden aufgrund des Siebeffektes (die Partikelgröße ist größer als die Porengröße des Filters) und



Quelle: /Spliethoff 2000/

Abb. 3-10: Schematische Darstellung eines Zyklonfilters



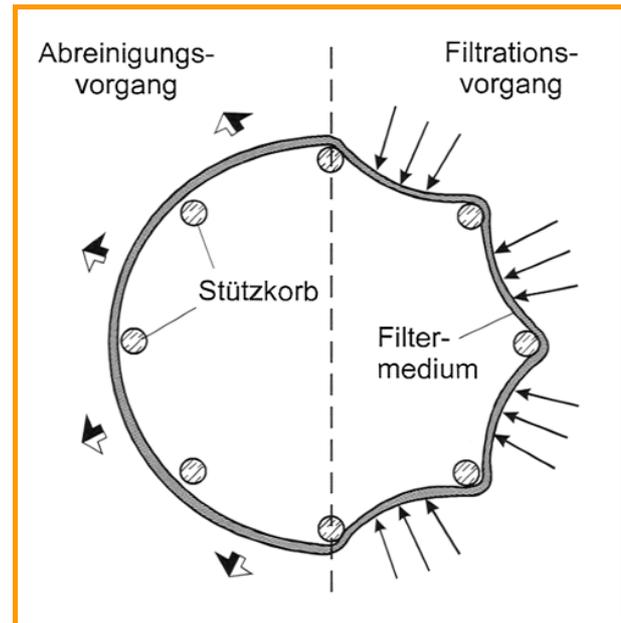
Quelle: /Baumbach 1994/

Abb. 3-11: Aufbau eines Multizyklonfilters

aufgrund von Adhäsionskräften am Filtermedium gehalten. Durch die vorherrschenden Adhäsionskräfte können zum Teil auch Partikel herausgefiltert werden, die kleiner sind als die Filterporen. Durch ein periodisches Rückspülen des Filters mit gereinigter Abluft oder mit Druckluft wird der Filterkuchen vom Filter entfernt und somit gereinigt. Abbildung 3-12 zeigt schematisch den Filtrations- und Abreinigungsverfahren eines Gewebefilters. Für Gewebefilter können verschiedenste Filtermedien eingesetzt werden wie beispielsweise Natur- und Kunstfasern, vereinzelt auch anorganisches Fasermaterial (Glas-, Mineral-, Metallfasern) oder auch Metallfolien /nach Raab et al. 2005b/. Beim Einsatz von Gewebefiltern sollte darauf geachtet werden, dass Temperaturen zwischen 120 und 240 °C eingehalten werden. Beim Unterschreiten dieses Temperaturbereichs kann es zur Taupunktunterschreitung und folglich zum Zusetzen des Filters kommen. Der Filter wird daher beim Anfahren der Kesselanlage mit einem Bypass umgangen oder alternativ elektrisch beheizt. Zu hohe Temperaturen können das Filtermaterial beschädigen. Bei Abgas-temperaturen über 180 °C besteht bei Gewebefiltern die Gefahr der Neubildung von Dioxinen und Furanen /Raab et al. 2005b/. Um die Bildung dieser Substanzen zu vermeiden, sollte daher die Betriebstemperatur der Gewebefilter unter 150 °C, zumindest aber unter 180 °C liegen /Nussbaumer 2001/. Durch die Zugabe von kalziumhaltigen Sorptionsmitteln zum Filtergewebe können zum Teil auch saure Rauchgasbestandteile (z. B. HCL) abgeschieden werden. Ebenso sollte das Filtermaterial sicher vor Funkenflug geschützt werden. Dies geschieht häufig durch das Vorschalten eines Zyklonfilters. Im Gegensatz zu Zyklonfilteranlagen ist die Filterleistung von Gewebefiltern unabhängig von der Kesselauslastung. Sowohl im Teil- als auch im Vollastbetrieb der Biomasseheizanlage werden konstante Filterleistungen erzielt. Je nach Filterart und Staubzusammensetzung können bei Holzfeuerungen Reingaskonzentrationen von unter 1–10 mg/m³ erreicht werden /Nussbaumer 2001/.

3.2.2.3 Elektrofilter

Das Abscheideprinzip von Elektrofiltern unterliegt, im Gegensatz zur Trägheitsentstaubung, keiner physikalischen Einschränkung hinsichtlich der Feinheit der abzuscheidenden Partikel /Nussbaumer 2001/. Elektrofilter bieten daher den höchsten Abscheidegrad im Vergleich zu Zyklon- und Gewebefiltern. Es können Reingaskonzentrationen zwischen 10–20 mg/m³ erreicht werden /Raab et al. 2005b/. Der Aufbau eines



Quelle: /Nussbaumer 2001/

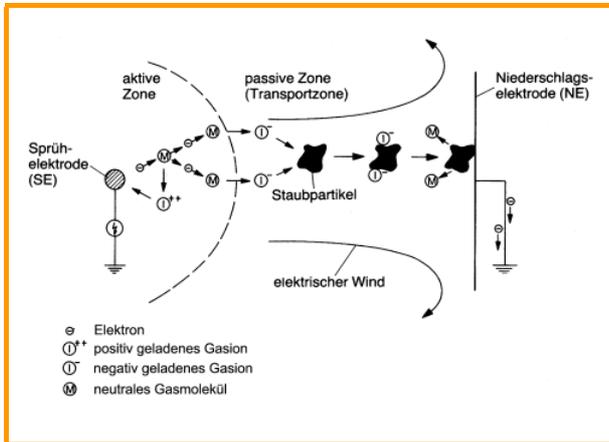
Abb. 3-12: Abreinigungs- (links) und Filtrationsvorgang (rechts) eines Gewebefilters im Querschnitt

Elektrofilters ist jedoch auch deutlich aufwändiger und somit kostenintensiver. Das Abscheideprinzip beruht auf einer negativen Aufladung der Staubteilchen im Abgas durch den Einfluss eines elektrischen Feldes (Sprühelektroden). Gelangt der Abgasstrom mit den negativ geladenen Teilchen an die positiv geladene Niederschlagselektrode, lagern sich die Staubteilchen dort an (siehe Abbildung 3-13). Durch eine Klopfvorrichtung wird die Niederschlagselektrode periodisch gereinigt. Im Gegensatz zu Gewebefiltern sind Elektrofilter unempfindlich gegenüber Funkenflug. Bei Temperaturen über 150 °C besteht jedoch ebenfalls die Gefahr der Dioxinbildung /Nussbaumer 2001/. Der Abscheidegrad eines Elektrofilters ist abhängig vom elektrischen Widerstand der Rauchgase zwischen den beiden Elektroden und von der elektrischen Leitfähigkeit der Staubpartikel. Der Widerstand des Rauchgases sinkt mit abnehmender Temperatur und mit zunehmender Rauchgasfeuchte /Raab et al. 2005b/. Je geringer der elektrische Widerstand des Rauchgases, desto besser die Filterwirkung des Elektrofilters.

Bei der Verbrennung von halmgutartiger Biomasse kann der Einsatz eines Elektrofilters Probleme bereiten, da der Staubwiderstand trockener Strohasche höher ist als der von Kohleasche, für die diese Filter ursprünglich entwickelt wurden. Dies führt zu Schwierigkeiten bei der Abreinigung der Niederschlagselektrode, da die Asche durch ihren hohen elektrischen Widerstand ihre Ladung schlechter abgibt

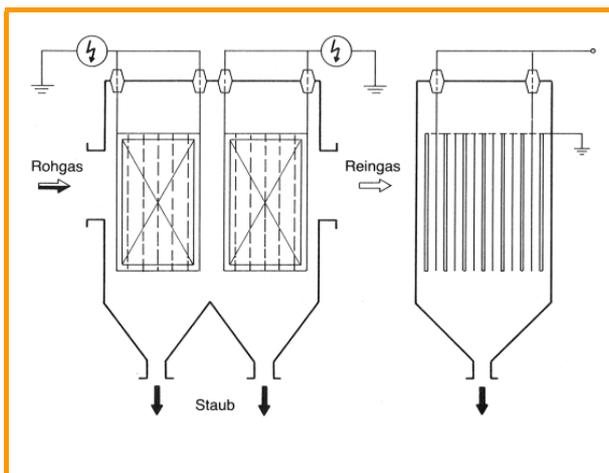


und somit anhaftet /Raab et al. 2005b/. Zu den wichtigsten Bauarten von Elektrofiltern zählen Platten-, Segment-, Waben- oder Röhrenfilter. Abbildung 3-14 zeigt den schematischen Aufbau eines zweifeldrigen Plattenelektrofilters.



Quelle: /Fritz und Kern 1992/

Abb. 3-13: Funktionsprinzip eines Elektrofilters



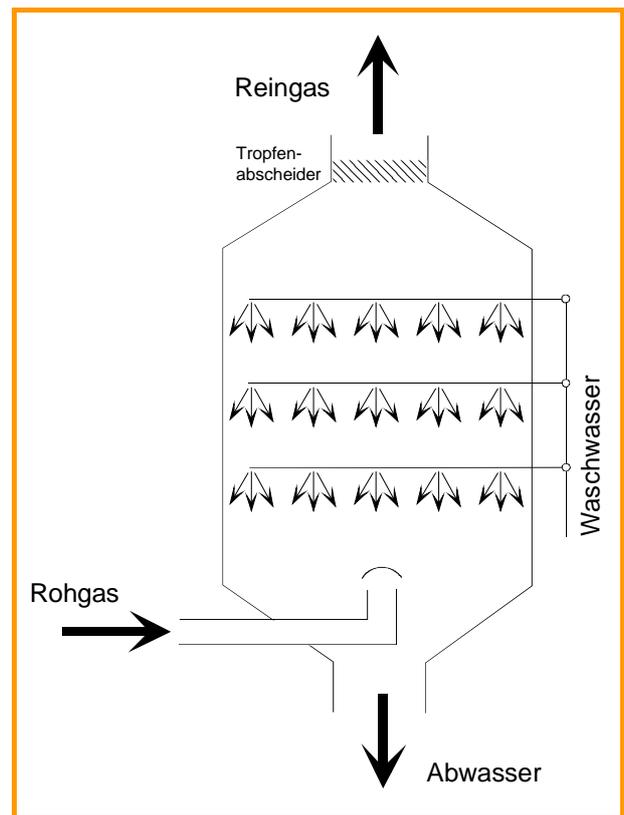
Quelle: /Fritz und Kern 1992/

Abb. 3-14: Schematischer Aufbau eines Zwei-Kammer Plattenelektrofilters

3.2.2.4 Rauchgaswäscher

Das Rauchgas einer Heizanlage wird durch einen sogenannten Wäscher geleitet, in den fein zerstäubtes Wasser (Waschflüssigkeit) im Gegenstromprinzip eingedüst wird (siehe Abbildung 3-15). Die im Rauchgas enthaltenen Staubpartikel lagern sich an die Wassertropfchen an und werden so aus dem Abgas entfernt. Anschließend geschieht die Abscheidung von Flüssigkeit und benetztem Staub durch einfache Tropfenabscheider oder Fliehkraftabscheider. Der Reinigungsgrad des Rauchgaswäschers wird über den

Differenzdruck bestimmt. Um Reingaskonzentrationen von unter 10 mg/m^3 zu erzielen, sind hohe Druckdifferenzen notwendig, die unter entsprechend hohem Energieverbrauch erzeugt werden müssen. Rauchgaswäscher werden hauptsächlich beim Auftreten saurer Schadgase (z.B. HCl oder SO_2), wie beispielsweise bei der Halmgutverbrennung eingesetzt, da vor allem gasförmige und flüssige Schadstoffe aus dem Rauchgas gefiltert werden können. Diese können bereits bei relativ geringen Druckdifferenzen ausreichend gefiltert werden. Zum Abscheiden von Staubpartikeln sind Rauchgaswäscher nur bedingt einsetzbar. Partikel aus Abgasen der Holzfeuerungen weisen eine schlechte Benetzbarkeit auf, daher wird keine zufriedenstellende Abscheidung erzielt /Nussbaumer 2001/. Zu den wichtigsten Bauarten von Rauchgaswäschern zählen Waschtürme, Venturi- und Radialstromwäscher. Nähere Informationen sind /Nussbaumer 2001/ zu entnehmen.



Quelle: /IVD 2000/

Abb. 3-15: Schematischer Aufbau eines Rauchgaswäschers ohne Einbauten

3.2.3 Maßnahmen zur HCl- und NO_x-Reduzierung

Zu den Maßnahmen der HCl-Reduzierung zählen Feinstaubabscheider kombiniert mit **Trockensorb-tion** und der Einsatz von **Rauchgaswäschern**. Zusätzliche Maßnahmen zur HCl-Reduzierung sind in erster Linie beim Einsatz von halmgutartigen Brennstoffen notwendig, da diese Brennstoffe einen erhöhten Chlorgehalt aufweisen.

Bei der Trockensorb-tion wird ein Sorbtionsmittel (beispielsweise Kalkhydrat) in das Rauchgas einge-mischt, wo es mit dem Chlor zu Calciumchlorid rea-giert und somit im Feinstaubfilter abgeschieden wer-den kann. Der Abscheidegrad von Chlor bei der Trockensorb-tion beträgt ca. 90 % /Nussbaumer et al. 1994/. Eine weitere Möglichkeit ist der Einsatz von Rauchgaswäschern, wie sie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben wurden. Im Gegensatz zur Staub-abscheidung in Rauchgaswäschern kann bei der HCl-Abscheidung auch mit einem Wäscher einfacher Bauart mit geringem Druckverlust ein Abscheidegrad von 90 % erreicht werden /Raab et al. 2005b/.

Die NO_x-Gehalte im Rauchgas bei der Biomasse-verbrennung sind im wesentlichen vom Stickstoffgehalt des eingesetzten Brennstoffs abhängig. Speziell bei Getreide und Getreideganzpflanzen aber auch bei Stroh sind die vorgeschriebenen Grenzwerte der TA-Luft meist nicht ohne zusätzliche Maßnahmen zur NO_x-Reduzierung einzuhalten. Die Maßnahmen zur Stickstoffoxidreduzierung im Rauchgas können in Primär- und Sekundärmaßnahmen eingeteilt werden. Primärmaßnahmen greifen direkt in die Verbrennung ein und vermindern somit die Entstehung von Stickstoffoxiden. Eine Möglichkeit ist die **Rauchgasrück-führung**. Durch den Verdünnungseffekt, der zu einem verminderten Sauerstoffpartialdruck führt und durch die kühlende Wirkung der Rauchgase auf die Flammentemperatur, kann eine begrenzte Minderung der NO_x-Bildung erzielt werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die **Luftstufung im Feuerraum**. Dabei wird zunächst nur ein Teil der zur Verbrennung notwendigen Luft am Brenner zugeführt, der restliche Teil wird weiter unten/hinten im Brenn-raum eingeblasen. Dadurch kommt es im Bereich nahe des Brenners zur Bildung einer Reduktionszone, in der Stickstoffoxid abgebaut wird. Problematisch ist der Einsatz dieser Methode jedoch bei Brennstoffen mit niedriger Ascheerweichungstemperatur, da es lokal zur Erhöhung der Verbrennungstemperatur und folglich zur Schlackebildung kommen kann.

Sekundärmaßnahmen zur Minderung der NO_x-Gehalte im Rauchgas werden der Feuerung nachgeschaltet und reduzieren bereits entstandene Stickstoffoxide. Zum Einsatz können zwei Verfahren kommen: das SNCR-Verfahren oder das SCR-Verfahren. Beim **SNCR-Verfahren** (Selektive Nicht-Katalyti-sche Reduktion) wird Ammoniak (NO₃) oder Harnstoff (CO(NH₂)₂) in die Brennkammer einge-düst (Temperaturbereich von 850–950 °C), wodurch eine NO_x-Abbaureaktion ausgelöst wird. Zur Erzielung einer befriedigenden Entstickungswirkung muss mit überstöchiometrischen Reduktionsmittelmengen ge-arbeitet werden, der nicht reagierende Anteil ver-bleibt als sogenannter Schlupf im Abgas /Raab et al. 2005b/. Die erreichbaren Reduktionsgrade liegen zwischen 60 und 70 % /nach Raab et al. 2005b/. Beim **SCR-Verfahren** (Selektive Katalytische Reduktion) wird den Rauchgasen ebenfalls Ammoniak zugeführt. Das Rauchgasgemisch wird anschließend in einen Katalysator geleitet, in dem es zu einem Abbau der Stickoxide zu molekularem Stickstoff kommt. Das SCR-Verfahren ermöglicht eine NO_x-Reduktion von 80–95 % /nach Raab et al. 2005b/. Der Einsatz des SCR-Verfahrens in Kombination nach einer Biomasse-feuerung birgt die Gefahr der Deaktivierung des akti-ven Katalysatormaterials, insbesondere durch in den Flugstäuben enthaltene Alkaliverbindungen /Siegle et al. 1997/.

3.2.4 Pufferspeicher

nach /Tantau 2006/

Konventionelle Wärmeerzeuger, die mit Heizöl oder Erdgas betrieben werden, sind schnell regelbar und können deshalb dem wechselnden Wärmebedarf der Gewächshausanlage in der Heizleistung angepasst werden. Bei alternativen Energien wie z. B. Holzhack-schnitzeln ist eine schnelle Anpassung der Heizlei-tung an den wechselnden Wärmebedarf der Ge-wächshäuser schwieriger. Eine Holzheizung kann nicht kurzfristig ein- und ausgeschaltet werden, da ein guter Wirkungsgrad mit geringen Emissionen nur zu erreichen ist, wenn die Kesselanlage über längere Zeit mit Nennlast gefahren werden kann. Bei anderen Energiequellen – wie z. B. der Abwärme von Biogas-anlagen – steht die Wärme mit relativ konstanter Lei-tung kontinuierlich an und muss so gut wie möglich genutzt werden. Hinzu kommt, dass für die Nutzung alternativer Energien meist hohe Investitionen erfor-derlich sind, die das zwei- bis vierfache der Investi-tion einer Ölheizung betragen können. Das ist ein Grund, eine solche Heizung nicht für die Spitzenlast



auszulegen, sondern für eine Grundlast, die dann z. B. 40 bis 50 % der erforderlichen Auslegungsleistung (Auslegungsfall) liefert, damit aber 85 bis 90 % des Jahresenergiebedarfes decken kann. Die Spitzenlast wird dann z. B. durch eine Ölheizung abgedeckt. Im Vergleich zu Heizöl sind alternative Brennstoffe inzwischen deutlich preiswerter. Damit auch die Gesamtkosten (feste Kosten + variable Kosten) möglichst niedrig sind, sollte die alternative Energie so gut wie möglich genutzt werden. Aus diesen Gründen wird in Kombination mit alternativen Energien der Einsatz eines Pufferspeichers empfohlen. Damit kann z. B. am Tage überschüssige Wärme der Grundlastheizung gespeichert werden und steht damit in der Nacht für Leistungsspitzen zur Verfügung, so dass die Spitzenlastheizung eventuell nicht benötigt wird. Für eine optimale Nutzung alternativer Energieträger spielt die richtige Auslegung und Einbindung eines Pufferspeichers eine entscheidende Rolle. Dieses wird in den folgenden Kapiteln genauer behandelt.

3.2.4.1 Anforderungen an Pufferspeicher

Bei der Auswahl eines Pufferspeichers sollten folgende Anforderungen beachtet werden:

Maximale Speicherkapazität: Das vorhandene Speichervolumen sollte möglichst vollständig genutzt werden. Dazu muss der Speicher als Schichtspeicher ausgeführt werden. Die Anschlüsse zum Laden und Entladen müssen so gestaltet sein, dass im Speicher keine Vermischung erfolgt. Nur dann steht beim Entladen die erforderliche Vorlauftemperatur bis zum Ende des Entladevorganges zur Verfügung. Für diese Anforderung ist ein stehender Speicher günstiger als ein liegender Speicher.

Optimale Einbindung: In der Literatur sind verschiedene Anschlussmöglichkeiten zu finden /Sennekamp 2006/. Im Einzelfall müssen die betrieblichen Bedingungen berücksichtigt werden. Es sollten aber auf keinen Fall alle Wärmeerzeuger direkt an den Speicher angeschlossen (Speicher als hydraulische Weiche) werden. Diese Anschlussmöglichkeit erscheint zunächst am einfachsten, kann aber entscheidende Nachteile haben. In Phasen, in denen der Wärmebedarf beispielsweise relativ gering ist und somit nur eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf vorherrscht, kann es zur Durchmischung des Wassers im Speichers kommen. Der Pufferspeicher sollte daher parallel zu den Wärmeerzeugern angeschlossen werden, so dass nur die überschüssige Wärme in den Speicher gelangt und nur bei auftretenden Lastspitzen der Speicher entla-

den wird. Wichtig ist auch, dass der Speicher direkt angeschlossen wird und nicht über einen Wärmetauscher geladen und entladen wird. Dazu muss der Speicher aber mit dem Druck der Heizungsanlage beaufschlagt werden. Obgleich ein druckloser Speicher eventuell etwas preiswerter ist, sollte nicht auf den direkten Anschluss verzichtet werden.

Optimale Regelung: Neben der richtigen hydraulischen Einbindung muss der Pufferspeicher in ein Gesamtregelungskonzept eingebunden werden. So ist es unsinnig, den Speicher im Sommer ständig voll aufzuladen, da dann die Wärmeverluste unnötig groß werden. Besser ist es, am Tage nur die Wärmemenge zu speichern, die in der Nacht bei Berücksichtigung der Grundlastheizung benötigt wird. Dabei spielt das Regelverhalten der Grundlastheizung eine entscheidende Rolle. Muss z. B. die Holzheizung möglichst lange mit konstanter Leistung laufen, dann ist festzulegen, wie lange pro Tag die Holzheizung mit Nennlast laufen sollte. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch bei „Stillstand“ (Betriebsbereitschaft) durch die Gluterhaltung noch ca. 5 bis 10 % der Heizleistung an Wärme produziert wird.

Geringe Wärmeverluste: Wichtig zur Verminderung der Speicherverluste ist eine ausreichende Isolierung. Vorgeschrieben sind mindestens 100 mm Stärke. In der Literatur werden bereits Isolierstärken bis 500 mm empfohlen /Gimmelsberger 2006/. Dabei ist zu beachten, dass die Auflagepunkte (Fundamente) ausreichend isoliert werden. Ferner ist bei der Ausführung der Isolierung zu beachten, dass an der Oberseite die Isolierung nicht durch die mechanische Belastung (Gewicht) zusammengedrückt wird und damit die erforderliche Isolierdicke nicht eingehalten werden kann. In der Praxis hat sich Hartschaum bewährt. Besonders wichtig ist eine gute Wärmedämmung an den Anschlüssen. Ferner muss verhindert werden, dass warmes Wasser durch Schwerkraft in die Anschlussleitungen zirkuliert. Ein Anschluss mittels Siphon wirkt als Schwerkraftbremse.

3.2.4.2 Auslegung des Pufferspeichers

Für die Auslegung eines Pufferspeichers finden sich in der Literatur Angaben von 50 bis 100 l pro kW Kesselleistung /Schreiner 2006/. Die neue Bundesförderung wurde bei Scheitholzkesseleln an ein Mindestpufferspeichervolumen von 55 l pro kW Kesselleistung gekoppelt /BAFA 2006/. Das richtige Speichervolumen hängt entscheidend von den jeweiligen Betriebsbedingungen ab. Ein möglichst großer Pufferspeicher hat aus wärmetechnischer Sicht Vorteile, so lange

nicht die Wärmeverluste diese Vorteile zunichte machen. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht gibt es ein ökonomisches Optimum bei dem die Energiekostenvorteile den festen Kosten des Speichers gegenübergestellt werden müssen. Eine solche Berechnung kann nur für den Einzelfall erfolgen.

Modellrechnungen

In diesem Kapitel wird anhand von Beispielsrechnungen (Modellbetriebe, siehe Tabelle 3-6 und 3-7) aufgezeigt, welchen Anteil ein Pufferspeicher unter bestimmten Betriebsbedingungen an der Deckung des Jahresheizbedarfes übernehmen kann. Dazu wurde der stündliche Heizbedarf einer Gewächshausanlage mit HORTEX /Rath 2001/ berechnet und die Stundenwerte als Exceldatei gespeichert.

Tabelle 3-6: Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“

	Kulturführung temperiert (12–18 °C)
Bauweise	Venlo (3/4) + dt. Normhaus (1/4)
Dach	Einfachglas
Giebel	Doppelverglasung (Venlo), Einfachglas + Noppenfolie (dt. Normhaus)
Stehwand	Doppelverglasung (Venlo), Einfachglas + Noppenfolie (dt. Normhaus)
Ausstattung	Energieschirm einlagig, gering aluminisiert
Heizungssystem	Gemischt (Venlo), Vegetationsheizung (dt. Normhaus)
Auslegungswärmeleistung	800 kW
Grundfläche	4.000 m ²

Quelle: nach /Philipp 2006/

Für die Ergebnisse der Modellrechnungen ist wichtig, dass nachts ein Energieschirm den Wärmebedarf und damit die Energiespitzen reduziert.

Mit den Stundenwerten in der Exceldatei wurden verschiedene Betriebsbedingungen simuliert:

- Anteil der Grundlastheizung von 10 bis 100 % (Auslegungswärmeleistung),
- Pufferspeicher von 1 bis 10 h Wärmespeicherkapazität, bezogen auf die Auslegungswärmeleistung.

Die Angabe der Speicherkapazität in Stunden soll die Speicherkapazität zunächst unabhängig machen von den Lade- und Entladetemperaturen und von der Größe der Kesselanlage. Eine Angabe von z. B. 2 h La-

Tabelle 3-7: Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“

	Kulturführung warm (> 18 °C)
Bauweise	Venlo
Dach	Einfachglas
Giebel	Doppelverglasung
Stehwand	Doppelverglasung
Ausstattung	Energieschirm einlagig, nicht aluminisiert
Heizungssystem	Vegetationsheizung
Auslegungswärmeleistung	1.830 kW
Grundfläche	8.000 m ²

Quelle: nach /Philipp 2006/

dezeit bedeutet, dass der Speicher mit maximaler Kesselleistung (Auslegungsfall) in 2 h geladen wird oder umgekehrt der Speicher allein bei Volllast 2 h Wärme liefert. Wird die Grundlastheizung (z. B. Holzheizung) für 50 % der erforderlichen Leistung ausgelegt, wird der Speicher in diesem Beispiel (2 h Ladezeit) in 4 h geladen.

Die breite Spreizung der Ladezeit bis zu 10 h, bezogen auf die Auslegungswärmeleistung, wurde gewählt, um grundsätzliche Aussagen zur Speicherdimensionierung treffen zu können.

Als erster Rechenschritt wird für jede Stunde des Jahres ermittelt, ob mit der jeweiligen Grundlast ein Wärmeüberschuss zum Laden des Speichers vorhanden ist oder, wenn die Grundlast nicht ausreicht, der Speicher entladen werden kann. Dabei sind folgende Bedingungen zu beachten: wenn der Speicher leer ist, kann nicht weiter entladen werden; wenn der Speicher voll ist, kann nicht weiter geladen werden. Auf diese Weise wird für ein Jahr auf Stundenbasis das Laden und Entladen des Speichers simuliert. Anschließend werden die Stundenwerte „Grundlast“ aufsummiert und als Anteil zur Deckung des Jahresheizbedarfes angegeben. Ähnlich wird die aus dem Speicher entnommene Wärme aufsummiert und ebenfalls als Anteil zur Deckung des Jahresheizbedarfes dargestellt. Grundlastwärme und Speicherwärme ergeben bei diesem Ansatz den Anteil nutzbarer alternativer Energie am Jahresheizbedarf. Der verbleibende Rest muss mittels Spitzenlastheizung (z. B. Ölheizung) gedeckt werden. Im praktischen Betrieb sollte auch die Spitzenlastheizung den Speicher aufladen. Damit lässt sich die



Größe der Spitzenlastheizung deutlich verringern. Die Berechnungen wurden für die Modellbetriebe aus Tabelle 3-6 und 3-7 durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse der beiden Extreme „Zierpflanzenbau_warm“ und „Gemüsebau_kalt“ dargestellt. Zu beachten ist, dass der Zierpflanzenbetrieb mit 4.000 m² und der Gemüsebetrieb mit 8.000 m² Gewächshausfläche gerechnet wurde.

3

Auslegung der Grundlastheizung

Für die Effizienz eines Pufferspeichers ist die Auslegung der Grundlastheizung von entscheidender Bedeutung. In Abbildung 3-16 ist eine Jahresdauerlinie für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ dargestellt. Die maximale Heizleistung wird nur ein bis zwei Stunden im Jahr benötigt. Die Auslegungsleistung (Auslegung nach /DIN 4701/) ist ca. acht Stunden pro Jahr erforderlich. Wird die Biomasseheizung als Grundlastheizung für z. B. 50 % der Auslegungsleistung ausgelegt (Abbildung 3-16), kann damit bereits ein großer Anteil des jährlichen Wärmebedarfes gedeckt werden. In Kombination mit einem Pufferspeicher können dann teilweise auch noch Leistungsspitzen abgedeckt werden. In Abbildung 3-17 ist die Jahresdauerlinie für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ dargestellt. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei „Zierpflanzenbau_warm“, allerdings sind pro Jahr weniger Heizstunden erforderlich. Jahresdauerlinien sind eine wichtige Hilfe bei der Auslegung alternativer Energien wie Biomasse, Abwärme einer Biogasanlage, Wärmepumpenheizung und anderen.

Für die Modellberechnungen wird angenommen, dass im Sommer bei geringer Heizleistung die Grundlastheizung in Kombination mit dem Pufferspeicher den Wärmebedarf decken kann. Das gilt z. B. für die Nutzung der Abwärme einer Biogasanlage oder für eine Holzpellettheizung. Eine Holzhackschnitzelheizung sollte im Sommer abgeschaltet werden, womit ein geringerer Deckungsgrad am Jahresheizbedarf einhergeht, da der Wärmebedarf durch den Spitzenlastkessel gedeckt werden muss.

Wirksamkeit des Pufferspeichers

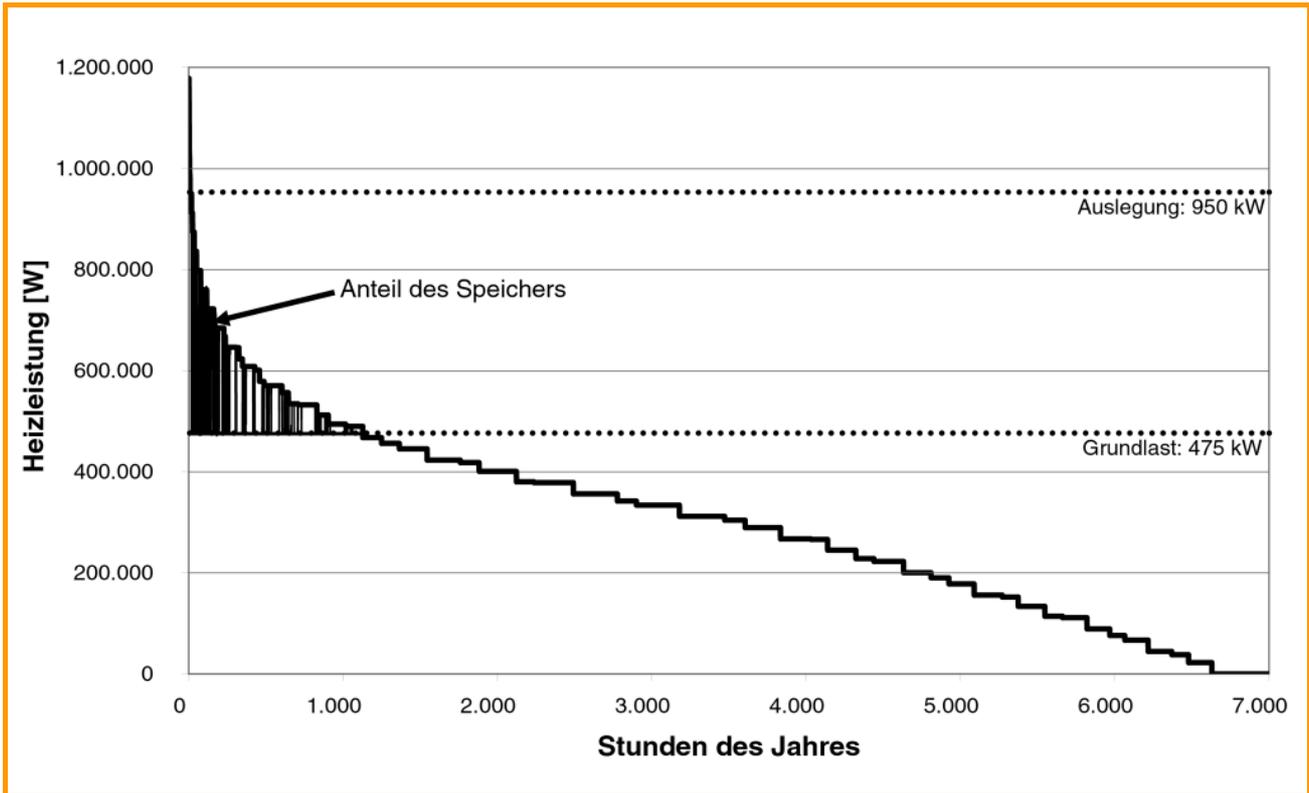
Die Zusammenhänge lassen sich anschaulich darstellen, wenn wie in Abbildung 3-18 und 3-19 gezeigt, der Anteil von Grundlastheizung und Pufferspeicher am Jahreswärmebedarf in Beziehung zum Anteil der Grundlast an der Auslegungsleistung dargestellt wird. Abbildung 3-18 zeigt das Ergebnis der Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“. Es ist zu erkennen, dass bei einer Auslegung des Kessels mit

z. B. 50 % Grundlast bereits 93,5 % des Jahresheizbedarfs gedeckt werden können. Mit Pufferspeicher werden bereits 97 % des Jahresheizbedarfs gedeckt, so dass mit der preiswerten alternativen Energie fast die gesamte Jahreswärmemenge erzeugt wird und das teure Heizöl nur noch einen sehr kleinen Anteil (3 %) decken muss. Der Speicheranteil am Jahresheizbedarf hängt entscheidend von den Betriebsbedingungen ab. Das zeigen auch die Ergebnisse des Modellbetriebes „Gemüsebau_kalt“ (Abbildung 3-19). In diesem Fall kann der Pufferspeicher einen größeren Anteil am Jahresheizbedarf leisten. Der Speicher ist in diesem Beispiel besonders effektiv, wenn die Grundlastheizung nur ca. 15 % der Auslegungsleistung abdeckt. Als Beispiel für eine solche Auslegung ist die Nutzung der Abwärme einer Biogasanlage zu nennen. Soll die kontinuierlich anfallende Abwärme möglichst vollständig genutzt werden, darf ihr Anteil an der Auslegungsleistung nicht zu groß sein.

Grundsätzlich sind zur optimalen Nutzung alternativer Energien Kulturen vorteilhaft, die im Winter niedrige Temperaturen und im Sommer deutlich höhere Temperaturen erfordern (Beispiel „Gemüsebau_kalt“). Auch durch den Einsatz neuerer energiesparender Klimaregelstrategien lässt sich die Nutzung der Grundlastheizung und damit auch der alternativen Energien weiter verbessern /Ludolph 2006/.

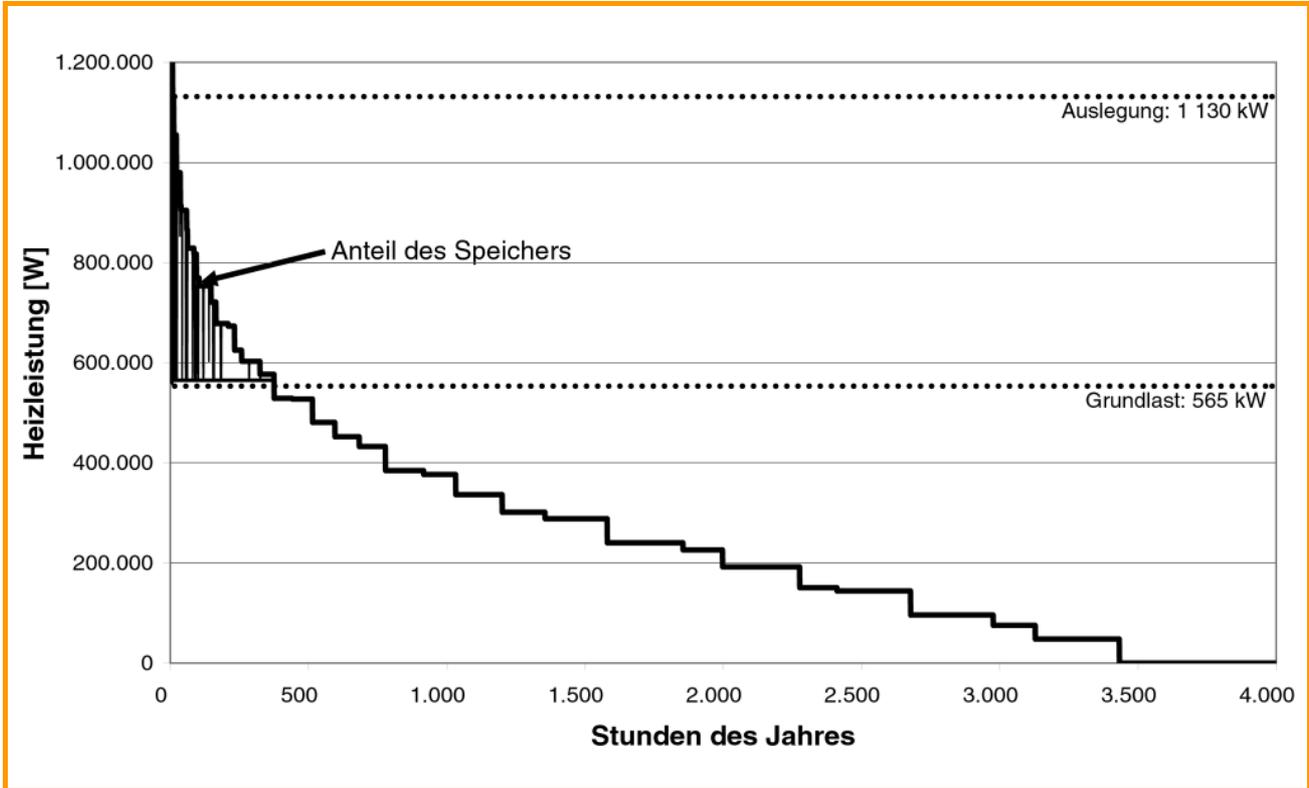
Einfluss der Speichergröße

In Abbildung 3-20 ist für „Zierpflanzenbau_warm“ der Einfluss der Speichergröße (Ladezeit des Speichers) auf den Anteil des Speichers am Jahresheizbedarf dargestellt. Wie erwartet wird deutlich, dass bei höherem Anteil Grundlast (50 %) der Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf kleiner ist im Vergleich zu einem niedrigeren Anteil Grundlast (30 %). Daraus lässt sich ableiten, dass beim Einsatz eines Pufferspeichers der Grundlastanteil reduziert werden sollte. Das bedeutet in der Regel auch eine Senkung der Investitionskosten für die alternative Heizung. Allerdings wird auch deutlich, dass es aus energetischer Sicht keine optimale Speicherauslegung gibt. Ein größerer Speicher bringt in diesem Beispiel (Abbildung 3-20) auch immer einen größeren Nutzen. Da das ökonomische Optimum der Speicherauslegung von dem monetären Nutzen und von den Investitionskosten abhängt, kann ein preiswerter Pufferspeicher (z. B. gebrauchte Flüssiggastanks) größer gewählt werden als ein teurer Speicher. Wird der Einfluss der Speichergröße für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ (Abbildung 3-21) betrachtet, so lässt sich bei 50 %



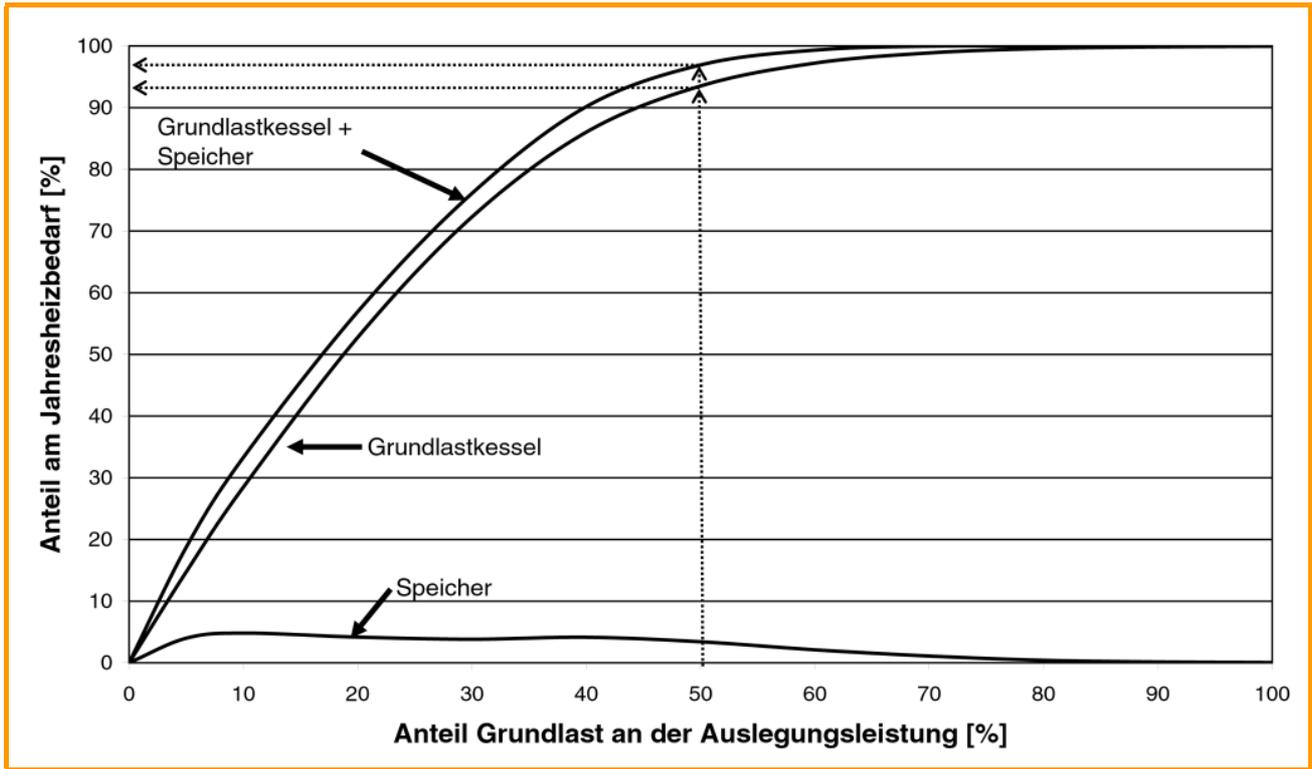
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-16: Jahresdauerlinie des Modelbetriebs „Zierpflanzenbau_warm“



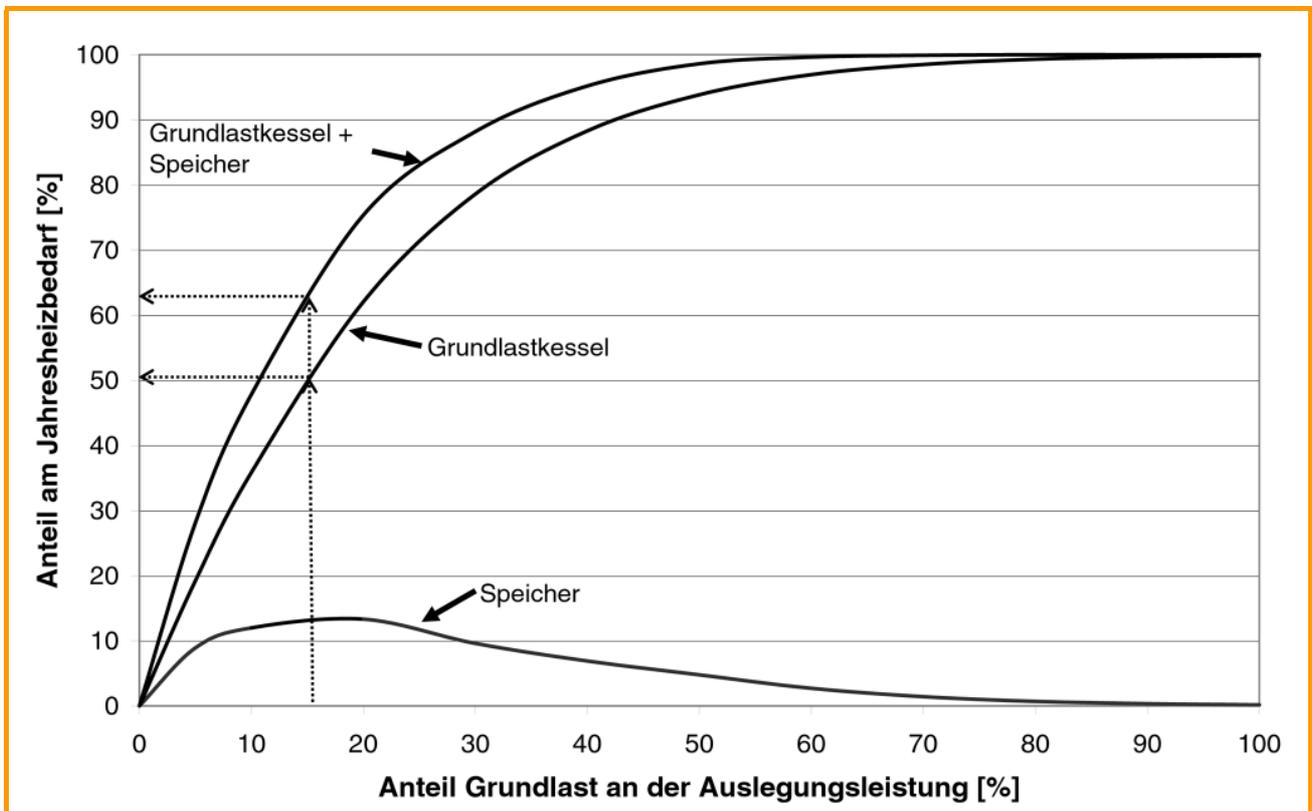
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-17: Jahresdauerlinie des Modelbetriebs „Gemüsebau_kalt“



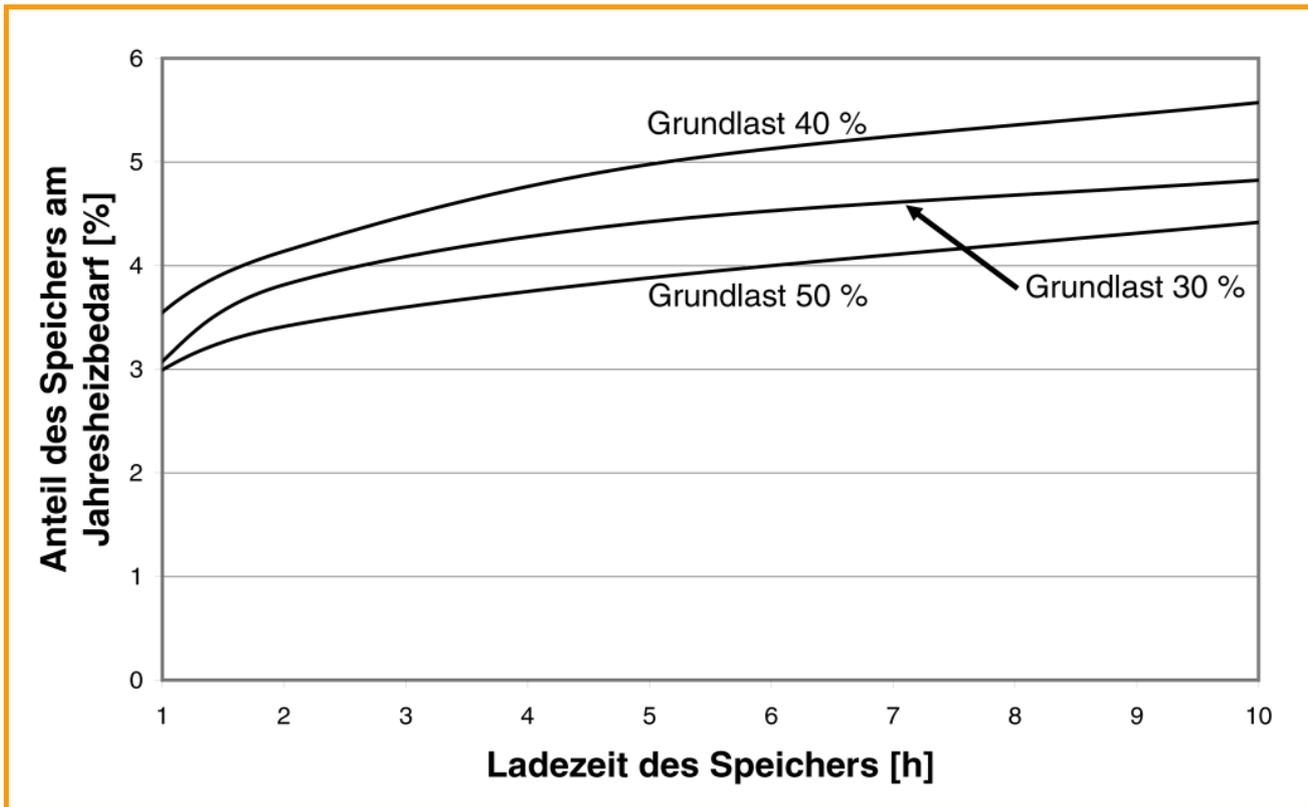
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-18: Bereitstellung des Jahresheizbedarfes für den Modellbetriebe „Zierpflanzenbau_warm“ durch Grundlastkessel und Speicher in Abhängigkeit vom Anteil der Grundlastheizung (Speicherauslegung für 2 h Ladezeit)



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-19: Bereitstellung des Jahresheizbedarfes für den Modellbetriebe „Gemüsebau_kalt“ durch Grundlastkessel und Speicher in Abhängigkeit vom Anteil der Grundlastheizung (Speicherauslegung für 2 h Ladezeit)



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-20: Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergöße (Ladezeit)

Grundlast ein relativ breiter Optimalbereich (ca. 5 bis 10 h Ladezeit) für die Speicherauslegung erkennen. Bei 30 und 40 % Grundlast steigt der Nutzen eines Pufferspeichers mit zunehmender Speichergöße auch in diesem Beispiel an. Bei 30 % Grundlast steigt der Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizenergiebedarfes in dem untersuchten Bereich (1 bis 10 h Ladezeit) sogar von 8 % auf 13 % an.

Damit ist keine eindeutige Aussage zur sinnvollen Speichergöße möglich. Mit zunehmender Speichergöße wird die Zunahme des Nutzens (in % des Jahresheizbedarfes) kleiner. Andererseits ist zu erwarten, dass auch die Kosten nicht linear steigen, sondern – bezogen auf die Speicherkapazität – ein großer Speicher günstiger sein kann als ein kleinerer.

Berechnung des Speichervolumens

Zur Umrechnung der Ladezeit in das erforderliche Speichervolumen müssen die Betriebsbedingungen näher betrachtet werden. Bei einem Warmwasserspeicher hängt die Speicherkapazität neben dem Wasservolumen von der nutzbaren Temperaturdifferenz ab. Heizungsanlagen im Gartenbau werden in der Regel für eine Vorlauftemperatur von 90 °C und für eine

Rücklauftemperatur von 70 °C ausgelegt. Damit ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 20 °C oder 20 K. In der Literatur wird häufig mit einer größeren Temperaturdifferenz von 90/60 °C (eventuell auch 90/40 °C) gerechnet. Für den Betrieb des Speichers muss sichergestellt werden, dass zunächst die 90 °C Vorlauftemperatur beim Laden erreicht werden. Die Kesselthermostaten haben meist eine Schaltdifferenz von 10 °C. Das kann bedeuten, dass der Brenner bei 80 °C ein- und bei 90 °C ausgeschaltet wird. Somit ergibt sich eine mittlere Vorlauftemperatur von ca. 85 °C. Deshalb sollte zumindest im Winter der Kesselthermostat etwas höher eingestellt werden, damit der Pufferspeicher auf volle Kapazität aufgeladen werden kann. Die Rücklauftemperatur der Gewächshausheizung wird bei richtiger Auslegung übers Jahr betrachtet die 70 °C selten erreichen. Nur bei maximaler Heizlast kommt das Heizungswasser mit 70 °C oder eventuell sogar noch etwas wärmer zurück. Wird beispielsweise mit einer Temperaturdifferenz ΔT des Wasserspeichers von 30 K (90/60 °C), einer Ladezeit z_1 von 1 h und einer Auslegungsheizleistung von $Q_{Aus} = 1 \text{ kW}$ gerechnet sowie die spezifische Wärme $c_p = 0,001163 \text{ kWh}/(\text{kg K})$ und die Dichte $\rho = 1,02 \text{ kg/l}$ des Fördermediums Wasser berücksichtigt, dann er-



gibt sich ein auf die Auslegungsleistung bezogenes Speichervolumen V_{sp} von:

$$V_{sp} = z_l / (\rho \cdot c_p \cdot \Delta T) = 28,1 \text{ l pro kW Auslegungsleistung.}$$

Für einen Speicher von 2 h Ladezeit ergibt sich ein Wert von 56,2 l pro kW Auslegungsleistung.

Die Angabe l/kW kann auf die Auslegungsleistung oder auf die Grundlast bezogen werden. So müsste z. B. der Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ mit einer Auslegungsleistung von 950 kW (s. Abbildung 3-16) einen Pufferspeicher (bei 2 h Ladezeit) mit einem Volumen von 53,4 m³ haben. Bezieht man dieses Volumen (53,4 m³) nicht auf die Auslegungsleistung sondern auf die Grundlast mit 475 kW, wie es häufiger in der Literatur zu finden ist, ergibt sich ein Wert von 112 l pro kW Grundlast.

3.2.4.3 Speicherverluste

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit eines Pufferspeichers sind auch die Speicherverluste zu berücksichtigen. Die Speicherverluste hängen von dem Verhältnis Speicherfläche zu Speichervolumen, von der Isoliertdicke, dem Isoliermaterial und von den Betriebsbedingungen ab, d. h. wie lange der Speicher auf hoher Temperatur (z. B. 90 °C) gehalten wird. Zur Vereinfachung der Betrachtung wird im Folgenden davon ausgegangen, dass der Speicher im Mittel über ein Jahr auf 70 °C (Spanne von 50–90 °C) mittlerer Speichertemperatur t_{sp} gehalten wird und die Umgebungstemperatur (mittlere Außentemperatur t_L) 9 °C beträgt. Im Vergleich zu diesen Annahmen dürften die tatsächlichen Speicherverluste kleiner sein.

Rechenbeispiel:

Für einen Tank mit 100 m³ Speichervolumen V_{sp} , 3,0 m Durchmesser und einer Länge von 14,2 m beträgt die Speicherfläche $A = 147,4 \text{ m}^2$. Bei einer Stärke d von 0,1 m und einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,038 \text{ W/(m K)}$ des Isoliermaterials beträgt der Wärmeverlust Q_{verl} :

$$Q_{verl} = A \cdot \lambda / d \cdot (t_{sp} - t_L)$$

$$Q_{verl} = 147,4 \cdot 0,038 / 0,1 \cdot (70 - 9)$$

$$Q_{verl} = 3,4 \text{ kW}$$

Ein 100 m³ Speicher hat mit 30 K Temperaturdifferenz folgende Speicherkapazität:

$$Q_{sp} = V_{sp} \cdot \rho \cdot c_p \cdot T$$

$$Q_{sp} = 100 \cdot 1,02 \cdot 1,163 \cdot 30 = 3.559 \text{ kWh.}$$

Damit ergibt sich eine theoretische Entladezeit von:

$$Q_{sp} / Q_{verl} = 3.559 / 3,4 = 1.047 \text{ h}$$

oder in Prozenten ausgedrückt, beträgt der Wärmeverlust

$$Q_{verl} / Q_{sp} \cdot 100 = 0,1 \text{ \% pro Stunde.}$$

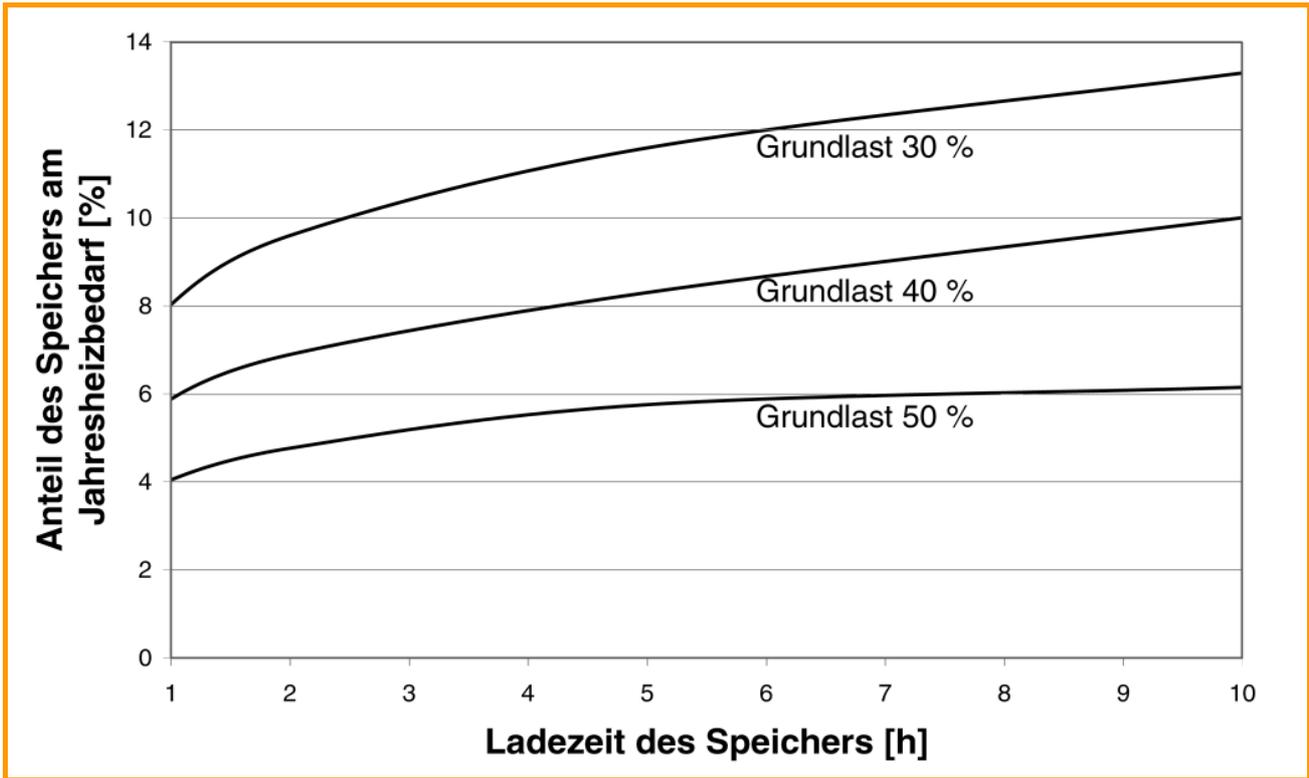
In einem Jahr müsste der Speicher, um die Verluste auszugleichen, ca. 8,5 mal aufgeladen werden. Eine Verdopplung der Isolierstärke (200 mm) halbiert in etwa die Wärmeverluste.

Wird der Wärmeverlust des Pufferspeichers bei den Simulationsrechnungen berücksichtigt, ergeben sich im Vergleich zu den Abbildungen 3-20 und 3-21 Kurven mit einem deutlichen Maximum. In Abbildung 3-22 ist der Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizenergiebedarf in Abhängigkeit von der Ladezeit des Speichers aufgetragen. Der Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ erhält den größten energetischen Nutzen bei einer Speicherauslegung von 1 bis 2 h Ladezeit. Mit einer Vergrößerung des Speichers steigen die Wärmeverluste. Die Abbildungen 3-20 und 3-21 zeigen, dass der Nutzen eines Speichers mit zunehmender Größe immer langsamer steigt oder sogar stagniert. Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich auch für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“.

Es muss deutlich gemacht werden, dass die Kurven in den Abbildungen 3-22 und 3-23 nur für die angegebenen Bedingungen (100 m³, 100 mm Isolierung) gelten. Wird zum Beispiel der Speicher statt mit 100 mm mit 200 mm isoliert, verschiebt sich das Maximum weiter in Richtung größerer Speicher. Auch muss dieses energetische Maximum nicht mit dem ökonomischen Optimum zusammenfallen, so dass die „günstigste“ Speichergröße für jeden Anwendungsfall ermittelt werden muss.

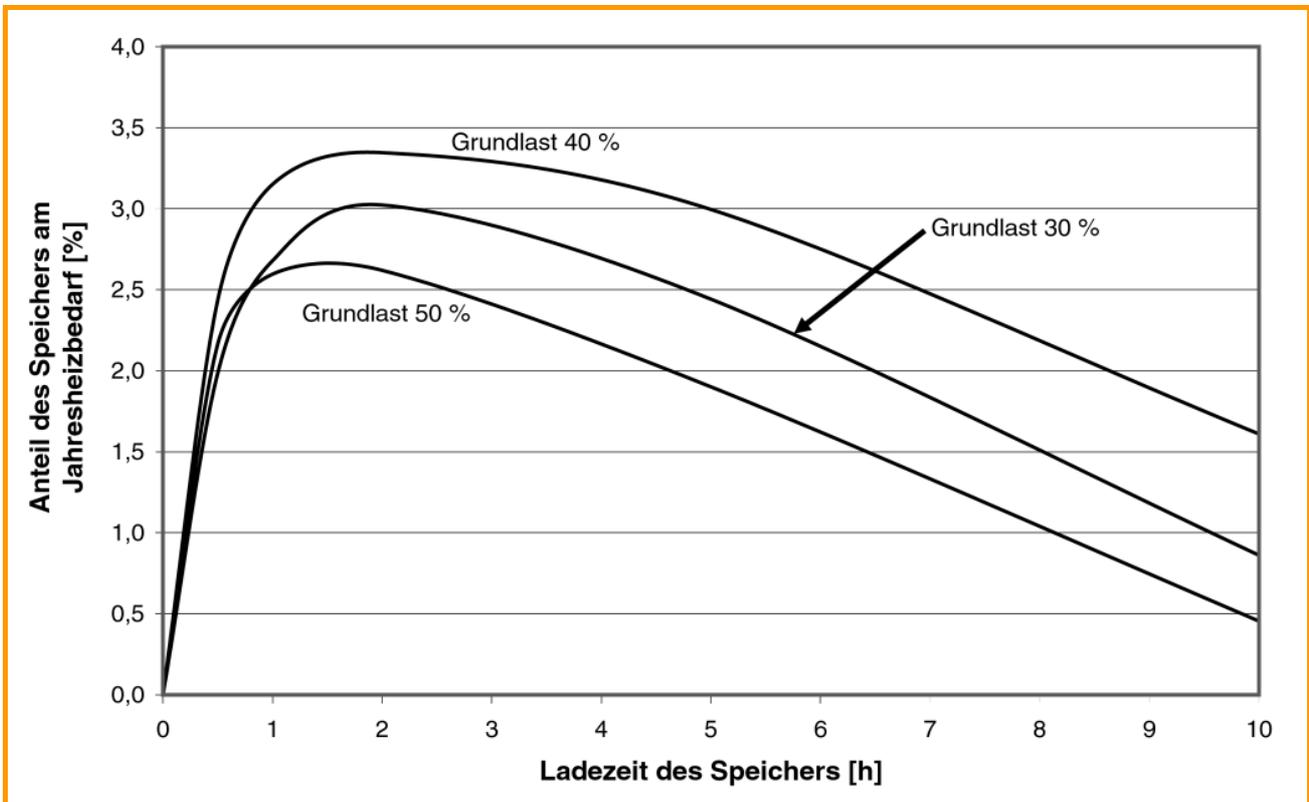
3.2.4.4 Hydraulische Einbindung des Pufferspeichers

Wie bereits oben ausgeführt, sollte der Pufferspeicher direkt in die Heizungsanlage eingebunden werden. Der Einsatz von Wärmetauschern führt zu Temperaturverlusten und erschwert die Schichtung im Speicher. Die Verwendung des Pufferspeichers als hydraulische Weiche ist nicht zu empfehlen, da hierbei ungünstige Betriebsbedingungen die Schichtung im Speicher aufheben und damit die Einsatzmöglichkeit



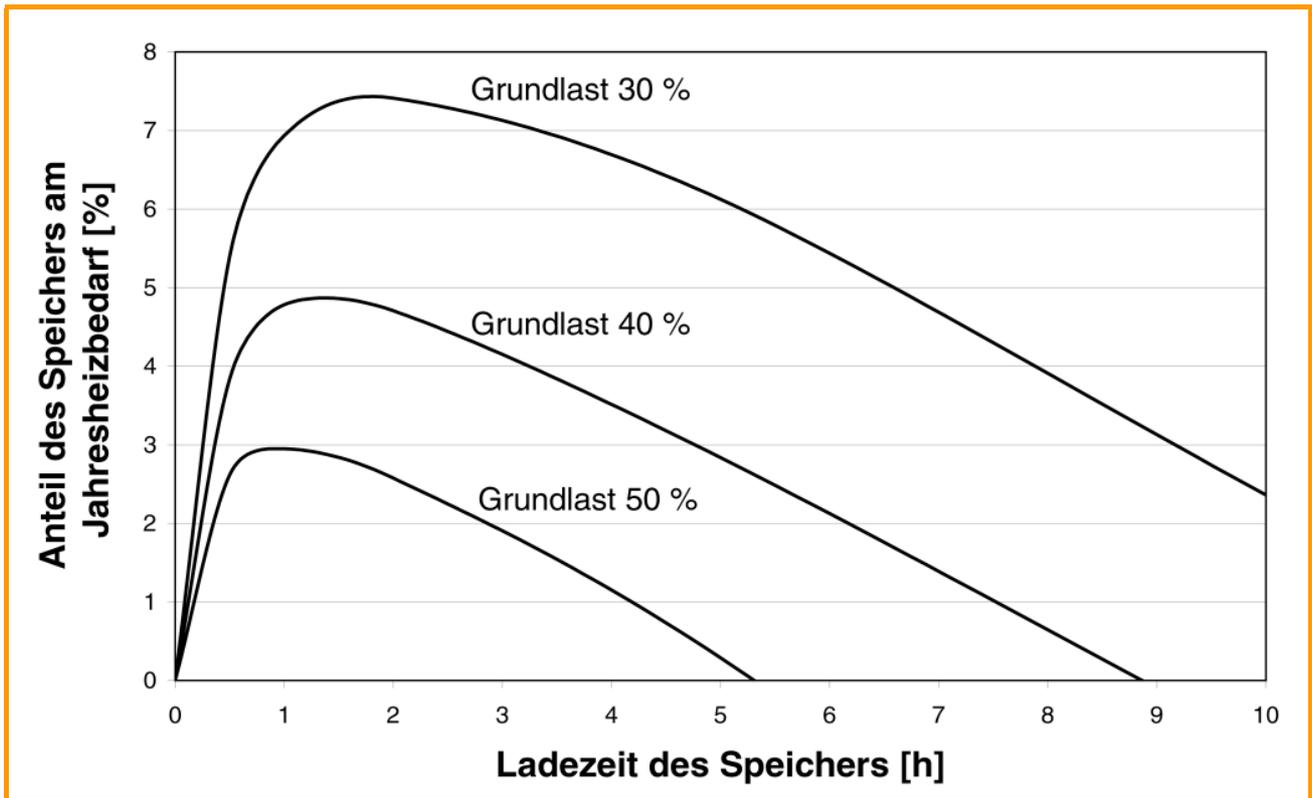
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-21: Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergöße (Ladezeit)



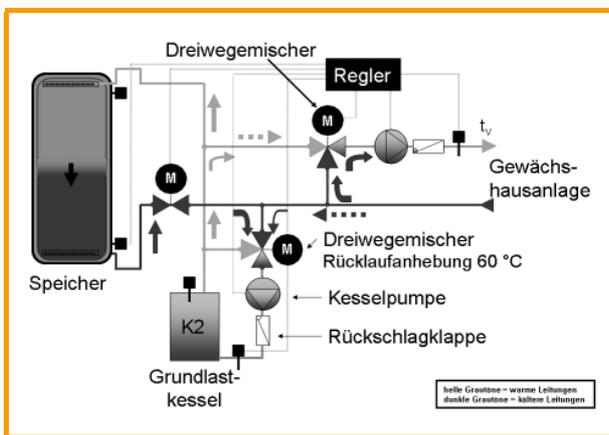
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-22: Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergöße unter Berücksichtigung von 0,1 % Wärmeverlust des Speichers pro h



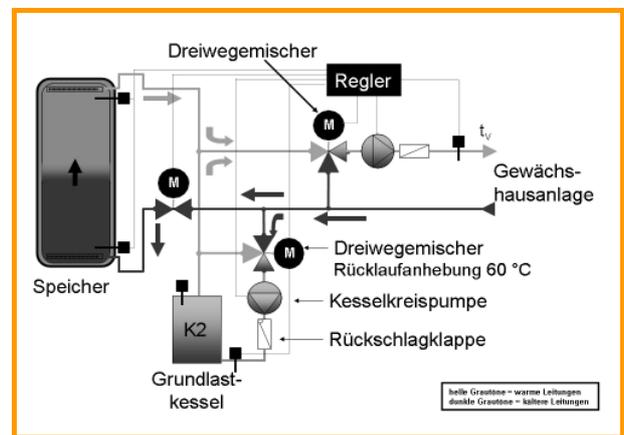
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-23: Anteil des Pufferspeichers am Jahresheizbedarf für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ in Abhängigkeit von der Grundlastheizung und der Speichergröße unter Berücksichtigung von 0,1 % Wärmeverlust des Speichers pro h



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-24: Einbindung des Pufferspeichers – Ladevorgang mittels Grundlastkessel. Der Grundlastkessel läuft mit Nennlast.



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-25: Einbindung des Pufferspeichers – Entladevorgang. Der Grundlastkessel läuft mit Nennlast.

ten des Pufferspeichers deutlich reduzieren können. In Abbildung 3-24 und 3-25 sind Beispiele für die Einbindung eines Pufferspeichers dargestellt. Abbildung 3-24 zeigt die Strömung des Heizungswassers beim Laden und Abbildung 3-25 beim Entladen des Speichers. Der Spitzenlastkessel wurde zur Vereinfachung der Darstellung weggelassen.

Laden und Entladen des Pufferspeichers

Es wird davon ausgegangen, dass der Grundlastkessel mit Nennleistung läuft. Beim Laden des Speichers (Abbildung 3-24) ist der Wärmebedarf der Gewächshausanlage kleiner als die Leistung der Grundlastheizung. Der Dreiwegemischer für die Ringleitung ist teilweise geschlossen, so dass nicht die gesamte Menge Kesselvorlaufwasser zur Beheizung der Ge-

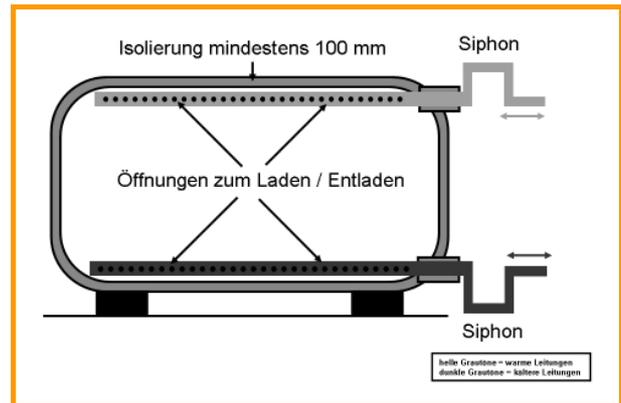
wächshäuser eingesetzt wird. Die „überschüssige“ Wassermenge gelangt von oben in den Pufferspeicher. Entsprechend gelangt kälteres Rücklaufwasser aus dem Pufferspeicher in den Kesselrücklauf. Der Dreiwegemischer im Kesselrücklauf muss dafür sorgen, dass die minimale Kesselrücklauftemperatur von z. B. 60 °C nicht unterschritten wird, um eine Taupunktunterschreitung im Kessel und damit verbundene Korrosionsprobleme zu verhindern. Wenn der Speichertank voll ist, d. h. der untere Temperaturfühler im Speichertank eine Erhöhung der Wassertemperatur auf 80 bis 90 °C signalisiert, muss der Grundlastkessel abgeschaltet werden. Die Gewächshausanlage erhält dann die Wärme aus dem Puffertank.

Ist der Wärmebedarf der Gewächshausanlage größer als die Leistung des Grundlastkessels, dann wird parallel zum Grundlastkessel der Speicher entladen (Abbildung 3-25). In diesem Falle ist der Dreiwegemischer der Ringleitung weit geöffnet, so dass eine größere Menge Vorlaufwasser angefordert wird, als vom Grundlastkessel zur Verfügung steht. Die Differenz kommt aus dem Vorlauf des Pufferspeichers. Entsprechend wird ein Teil des Heizungsrücklaufwassers in den Pufferspeicher geleitet. Zeigt der obere Temperaturfühler im Speichertank eine Abnahme der Wassertemperatur auf unter 75 °C an, dann ist der Speicher leer und das Durchgangsventil wird geschlossen. In diesem Falle müsste der Spitzenlastkessel zugeschaltet werden.

Anschlussleitungen

Für eine optimale Nutzung der Speicherkapazität muss die Schichtung im Speicher erhalten bleiben. Die Mischzone, in welcher durch Diffusion ein Ausgleich zwischen dem heißen Wasser oben und dem kälteren unten erfolgt, sollte möglichst klein sein. Dazu ist es wichtig, dass beim Einleiten von Vorlaufwasser oben oder Rücklaufwasser unten keine vertikalen Konvektionsströmungen im Pufferspeicher entstehen. Das Wasser muss mit möglichst geringer Geschwindigkeit horizontal eingeleitet werden. Am einfachsten erfolgt das mittels gelochter Rohre mit großem Durchmesser (siehe Abbildung 3-26). Die Querschnittsfläche der Löcher sollte mindestens so groß wie die Querschnittsfläche der Zuleitung sein.

Die Schichtung im Speicher ist umso stabiler je größer die Temperaturunterschiede sind. Auch aus diesem Grund sollte versucht werden, beim Entladen Rücklaufwasser mit möglichst niedrigen Temperaturen einzuleiten.



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-26: Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers (liegend) und gelochte Verteilrohre innen (hell = warm, dunkel = kalt)

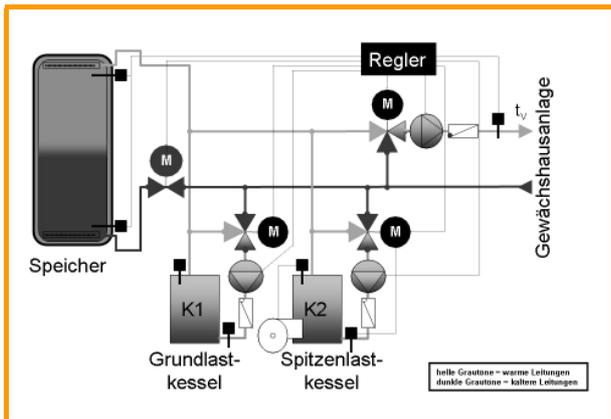
Beispiele für kombinierte Einbindung von Pufferspeicher, Grundlastkessel, Spitzenlastkessel und Blockheizkraftwerk

Abbildung 3-27 zeigt ein Beispiel für eine Standardsituation: Grund- und Spitzenlastkessel mit Pufferspeicher und als Vorregelung der Ringleitung ein Dreiwegemischer oder -ventil. Wie bereits erwähnt, sollte ein Feststoffkessel (z. B. Holz) immer mit einem Spitzenlastkessel kombiniert werden. Wird zusätzlich mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) Strom erzeugt, kann zur Nutzung der Abwärme das Blockheizkraftwerk wie in Abbildung 3-28 hydraulisch eingebunden werden. Damit das BHKW bei Speicherüberlauf nicht wegen Überhitzung abschaltet, ist der Rücklauf des BHKW an den Rücklauf der Ringleitung angeschlossen, so dass das BHKW das kältere Wasser aus der Gewächshausanlage erhält. Der Einsatz einer hydraulischen Weiche (s. Abbildung 3-29) bietet zwar durch die hydraulische Entkopplung bei mehreren Wärmeerzeugern regelungstechnische Vorteile, führt aber in Kombination mit einem Pufferspeicher zu Problemen und ist nicht zu empfehlen. Weiterhin dürfen in den Gewächshausabteilungen keine Vierwegemischer eingesetzt werden, da die Temperatur des Rücklaufwassers angehoben wird und damit die verfügbare Temperaturdifferenz für den Speicher zu klein wird.

3.2.4.5 Regelung

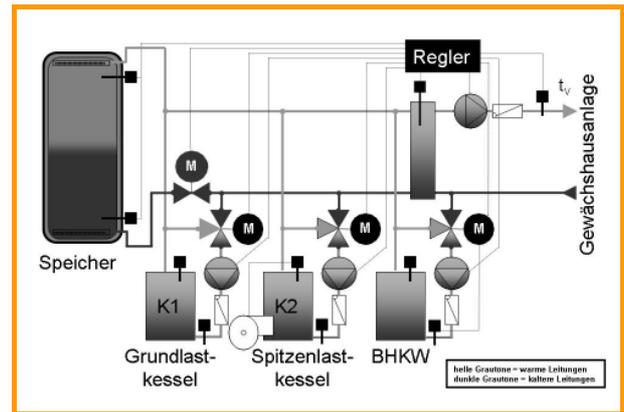
Zur optimalen Nutzung der Speicherkapazität ist die Regelung der Wärmeerzeugung in Abhängigkeit vom Wärmebedarf der Gewächshausanlage wichtig. Dazu sollte möglichst ein Klimacomputer eingesetzt werden. Eine verbesserte Nutzung des Pufferspeichers lässt sich mit neueren Regelstrategien wie z. B. Temperatursum-





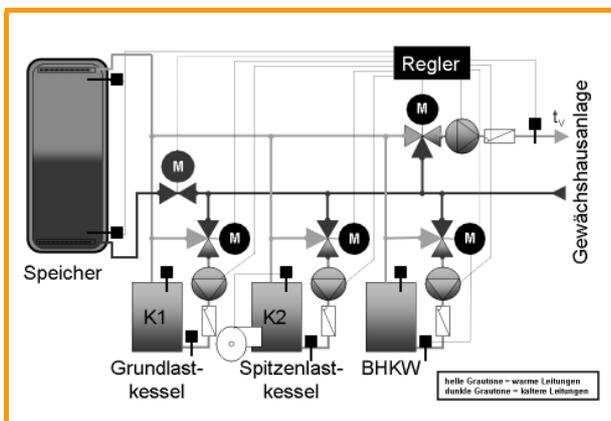
Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-27: Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers mit Grundlast- und Spitzenlastkessel, Vorregelung der Ringleitung mit Dreiwegemischer (hell = warm, dunkel = kalt)



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-29: Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers mit Grundlast-, Spitzenlastkessel und BHKW, Vorregelung der Ringleitung mit hydraulischer Weiche (hell = warm, dunkel = kalt)



Quelle: /Tantau 2006/

Abb. 3-28: Hydraulischer Anschluss des Pufferspeichers mit Grundlast-, Spitzenlastkessel und BHKW, Vorregelung der Ringleitung mit Dreiwegemischer (hell = warm, dunkel = kalt)

menregelung über mehrere Tage – möglichst eine Woche – erreichen. Wird die Wärmeerzeugung in die Regelstrategien einbezogen, können die Temperaturen in den Gewächshäusern immer dann gesenkt werden, wenn Grundlastkessel und Pufferspeicher nicht mehr ausreichen und der Spitzenlastkessel mit dem teureren Energieträger zugeschaltet werden müsste. Damit lassen sich Lastspitzen brechen und die Ausnutzung der preiswerten Alternativenergie wird verbessert. Sinnvoll ist in diesem Zusammenhang ein Energiemanagement, um die vorhandenen preiswerten Energieträger möglichst optimal nutzen zu können. In einem solchen Konzept ist der Pufferspeicher das zentrale Element. Die richtige Aufladung des Pufferspeichers ist eine wichtige Voraussetzung für einen energiesparenden, wirtschaftlichen Betrieb der gesamten Anlage. Dafür

müssen zusätzliche Temperaturfühler über die Höhe des Pufferspeichers verteilt werden, damit der Ladezustand vom Klimacomputer erfasst werden kann. Für die „richtige“ Entscheidung bzw. Strategie ist die Einbeziehung einer kurzfristigen Wetterprognose unbedingt erforderlich. Es gibt inzwischen die Möglichkeit, Wettervorhersagen automatisch auf den Klimacomputer zu laden. Damit besteht die Möglichkeit, den Wärmebedarf der nächsten 24 oder 48 h zu berechnen und den Pufferspeicher nur so weit wie erforderlich aufzuladen.

3.2.4.6 Investitionskosten

Wie bereits ausgeführt, sollten Pufferspeicher möglichst preiswert sein, damit sie aus ökonomischer Sicht größer gewählt werden können und einen größeren Nutzen bringen. In der Literatur werden als Beispiel folgende Preise angegeben /Flubacher 2006/:

Neu 100-m³-Tanks → 65.000–70.000 Euro inklusive Anschluss und Isolierung.

Gebrauchte 100-m³-Tanks aus den Niederlanden: ca. 25.000 Euro inkl. Transport (z. B. bis Soest, ohne Anschluss und eventuell nur 60 mm Isolierung).

3.3 Wirtschaftlichkeitsberechnungen an Modellbetrieben

Zur Veranschaulichung und der besseren Einschätzung des eigenen Gartenbaubetriebs bezüglich einer möglichen Umstellung auf alternative Brennstoffe, wurden sogenannte Modellbetriebe oder „typische“ Betriebe gebildet. Die im folgenden vorgestellten Bei-

spielrechnungen ersetzen jedoch keineswegs betriebs-spezifische Kalkulationen. Sie stellen lediglich eine Orientierungshilfe dar, um die Situation des eigenen Gartenbaubetriebs besser einschätzen zu können.

Zur Gewinnung einer Datengrundlage zur Bildung von Modellbetrieben können verschiedene Verfahren angewendet werden:

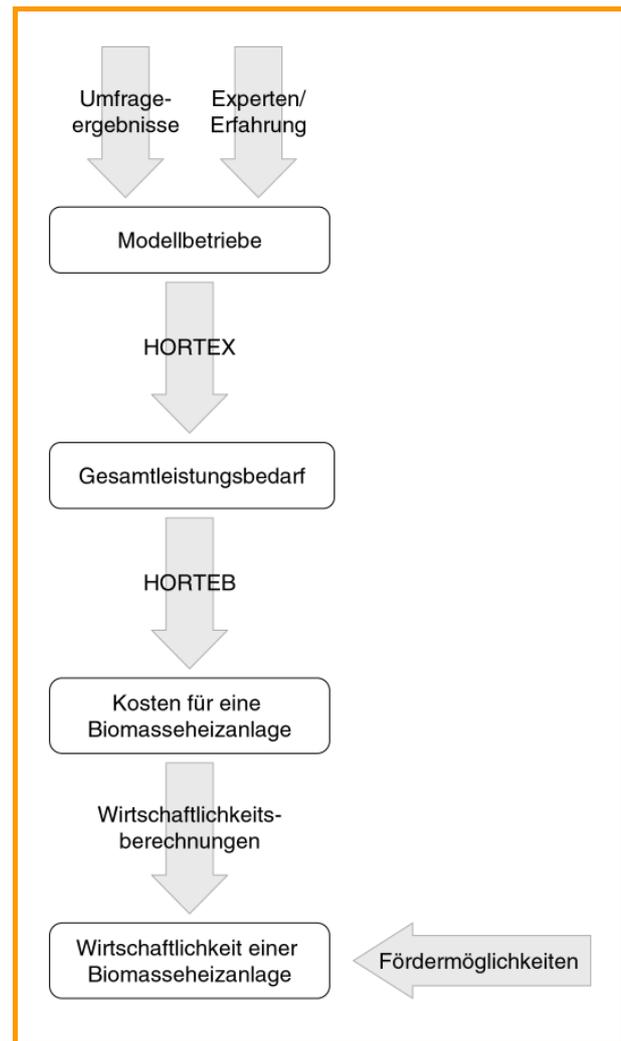
- Bildung von Durchschnittsbetrieben,
- Verwendung von Referenzbetrieben,
- Bildung typischer Betriebe.

Mit Hilfe von Statistiken und Datensammlungen kann die Bildung von **Durchschnittsbetrieben** erfolgen. Durch die Erhebung von realen Betrieben können **Referenzbetriebe** dargestellt werden. Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung **typischer Betriebe**, die auf unterschiedliche Weise generiert werden können. Zum einen können reale Betriebe, aber auch Buchführungsstatistiken Verwendung finden, zum anderen ist die Nutzung von Engineering-Daten (z. B. vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, KTBL) oder die Konstruktion in Expertenrunden möglich /Hemme 2000/.

Die im Folgenden vorgestellten Modellbetriebe wurden basierend auf den Ergebnissen der Umfrage „Energetische Nutzung von Biomasse im Unterglasgartenbau“ (weitere Informationen siehe Kapitel 4) und Erfahrungen von Experten (Technik- und Energieberater für den Gartenbau) gebildet. Es wurden drei Zierpflanzenbaubetriebe und zwei Gemüsebaubetriebe entwickelt. Der Leistungsbedarf der Modellbetriebe wurde mit Hilfe des Programms HORTEX /Rath 2001/ ermittelt. Der Leistungsbedarf in Kombination mit weiteren Annahmen für zum Beispiel Nutzungsdauer, Energiekosten, Kosten für Heizkessel, etc. wurden anschließend in dem Programm HORTEB /Brökeland 1998/ verrechnet. HORTEB liefert als Resultat die Investitionskosten einer Biomasseheizanlage im Vergleich zu einer konventionellen Heizanlage, die mit fossilen Energieträgern betrieben wird (Heizöl oder Erdgas). Die alternative Biomasseheizanlage besteht dabei aus Biomassegrundlastkessel, neuem fossilen Spitzenlastkessel sowie Kostenannahmen für Hydraulik, Gebäude, Planung und Genehmigung, Zins- und Kapitalkosten etc.

Kurze Beschreibungen der Programme HORTEX und HORTEB sind Kapitel 4 zu entnehmen. Detaillierte Informationen zu HORTEB sind bei /Brökeland 1998/ und /Brökeland 2003/ nachzulesen.

Anhand der Modellbetriebe und der resultierenden HORTEB-Ergebnisse wurden abschließend die Amortisationszeiten berechnet:



Quelle: /Schuster 2006/

Abb. 3-30: Schritte der Modellbetriebsbildung und anschließende Wirtschaftlichkeitsberechnungen

Amortisationsdauer [a] = Investitionskosten (alternativ) [€] / Gesamtkostenvorteil [€/a]
 Gesamtkostenvorteil [€/a] = jährliche Kosten (fossil) [€/a] – jährliche Kosten (alternativ) [€/a]

Die Abschreibungen sind in den Ergebnissen aus HORTEB berücksichtigt.

Abbildung 3-30 verdeutlicht die Schritte der Modellbetriebsbildung und der anschließenden Berechnungen.

Allgemeine Annahmen für das Programm HORTEX

Die in Tabelle 3-8 aufgelisteten Werte wurden für alle Modellbetriebe identisch angenommen. Alle Gewächshäuser wurden in Blockbauweise aufgebaut, es gibt daher kein freistehendes Gewächshaus. Es wurden feste Werte für Stehwandhöhe, Kappenbreite und Dachneigungswinkel von deutschen Normgewächshäusern angenommen, ebenso für Venlo-Gewächshäusern angenommen, ebenso für Venlo-Gewächshäusern angenommen.

häuser. Alle Modellbetriebe werden monovalent mit Heizöl EL beheizt. Als Standort wurde der Raum Hannover mit einem durchschnittlichen Winter angenommen.

Tabelle 3-8: Allgemeine Annahmen für das Programm HORTEX

Deutsches Normgewächshaus	
Stehwandhöhe	2,80 m
Kappenbreite	12,55 m
Dachneigungswinkel	26,50 °
Venlo-Gewächshaus	
Stehwandhöhe	4,00 m
Kappenbreite	3,20 m
Dachneigungswinkel	25,10 °
U'-Werte	
Einfachglas	7,6 W/(m²K)
Doppelverglasung	4,7 W/(m²K)
Doppelfolie	5,1 W/(m²K)
Energieeinsparung Noppenfolie	37 %
Energieschirm, gering aluminisiert	
Energieeinsparung	41 %
Lichtdurchlässigkeit	50 %
Berücksichtigung bei Kalkulationen	50 %
Heizungssystem	Wärmeverbrauchs faktor
gemischtes Heizsystem	1
Vegetationsheizung	0,88
Energieträger, monovalent	Heizöl EL
Heizwert von Heizöl EL	10,06 kWh/l
Jahresbetriebsnutzungsgrad	0,9
Standort	Raum Hannover
Winter	durchschnittlich

Blockbauweise aller Gewächshäuser
Quelle: /Schuster 2006/

Allgemeine Annahmen für das Programm HORTEB
Als Standort für die Berechnungen in HORTEB wurde ebenfalls der Raum Hannover festgelegt. Aus dem Programm HORTEX wurde der berechnete Gesamt-Leistungsbedarf des jeweiligen Modellbetriebs in HORTEB übernommen. Die Leistung der Biomassefeuerung im Bezug auf den Gesamtleistungsbedarf beträgt bei allen Berechnungen 40 %. Somit können 80–90 % des Jahresheizenergiebedarfs mit dem Biomassekessel (Grundlast) abgedeckt werden. Weitere Annahmen sind in Tabelle 3-9 zusammengefasst. Der angenommene alternative Brennstoff ist Waldrestholz mit einem Preis von 37,50 €/Fm. Es wurde davon ausgegangen, dass im Betrieb ein Neubau (Rundholzbergehalle „System Weihenstephan“) zur Hackschnitzel-lagerung errichtet werden muss. Ebenso wird für die stationäre Biomassefeuerungsanlage ein neues Gebäude benötigt. Besonders das feste Gebäude für die Feuerungsanlage macht einen wesentlichen Kostenfaktor aus. In vielen Praxisbetrieben besteht die Möglichkeit bereits bestehende Gebäude zu nutzen, so dass die Kalkulation für diese Betriebe noch günstiger ausfällt und sich eine Umstellung auf Biomasse möglicherweise früher rentiert. Bei den Modellbetriebs-rechnungen wurde es jedoch als sinnvoll erachtet, so weit möglich die maximal entstehenden Kosten aufzuführen, um den obersten Bereich möglicher Kosten darzustellen. Aus diesem Grund wurden ebenfalls auf das Berücksichtigen von möglichen Fördergeldern bei den Kalkulationen verzichtet. Angaben zu Nutzungsdauer, Zinssatz etc. wurden aus den HORTEB-Vorgaben übernommen (siehe /Brökeland 2003/).

3.3.1 Zierpflanzenbau

Tabelle 3-10 zeigt die Grundannahmen der Modellbetriebe für den Bereich Zierpflanzenbau.

- Die Modellbetriebe sind folgendermaßen aufgeteilt:
- Kalthausbetrieb,
 - Betrieb mit temperiert beheizten Gewächshäusern,
 - Warmhausbetrieb.

Der angenommene Temperaturverlauf ist Tabelle 3-11 zu entnehmen. Die Temperaturführung im Kalthausbetrieb entspricht in etwa der Produktion von Ericen, Callunen, Azaleen. Die Temperaturführung im temperiert beheizten Betrieb entspricht in etwa der Produktion von Primeln, Margeriten, Hortensien, Weihnachtsster-nen. Die Temperaturführung im Warmhausbetrieb spiegelt beispielsweise die Produktion von Orchideen-jungpflanzen, Begonien oder Knollenbegonien wieder. Die angenommenen Werte können von den Tempera-turwerten in der Praxis zum Teil abweichen. In der Pra-

Tabelle 3-9: Allgemeine Annahmen für das Programm HORTEB

Standort	Raum Hannover
Leistungsbedarf	Hortex-Ergebnis
Jährliche Vollbenutzungsstunden des Wärmeabnehmers ^a	1.800 Vbh/a bzw. 760 Vbh/a
Jahresnutzungsgrad Biomassekessel (Grundlast)	80 %
Jahresnutzungsgrad fossil betriebener Kessel (Spitzenlast), bei bivalentem Betrieb	85 %
Jahresnutzungsgrad fossil betriebener Kessel bei monovalentem Betrieb	85 %
Leistung der Biomassefeuerung im Bezug auf den Gesamtleistungsbedarf	40 %
Leistung des fossil betriebenen Reserve-/Spitzenlastkessels im Bezug auf den Gesamtleistungsbedarf	75 %
Kosten des biogenen Brennstoffs Waldrestholz	37,50 €/Fm
fossiler Brennstoff, bei bivalentem Betrieb	100 % Heizöl
Heizölkosten	0,55 €/l
Erdgaskosten	0,55 €/m ³
Stromkosten	0,13 €/kWh

Alternativer Brennstoff: Waldrestholz

Transportentfernung 20 km

Erntemethode: Durchforstung mit Vollernter

Hackereinsatz an der Waldstraße

Brennstofftransport mit LKW, Hackschnitzeltransporter mit 80 m³

Hackschnitzellagerung im Neubau (Rundholzbergehalde „System Weihenstephan“)

stationäre Feuerungsanlage in neuem Gebäude

Annahmen zu Nutzungsdauer, Zinssatz etc. wurden entsprechend den HORTEB-Vorgaben verwendet.
Quelle: /Schuster 2006/

a. je nach Betrieb, siehe Erläuterungen im Text

xis werden sich auch häufig Betriebe wiederfinden, die eine gemischte Produktion betreiben. Da es jedoch unmöglich ist die Vielzahl der unterschiedlichen Gartenbaubetriebe in wenigen Modellbetrieben wiederzuspiegeln, wurde die Aufteilung der Modellbetriebe in kalt, temperiert und warm gewählt. Der Gärtner kann seinen eigenen Betrieb anschließend anhand der Ergebnisse der unterschiedlichen Modelle zuordnen.

Jeder Betrieb wurden in vier Betriebsgrößen gerechnet: 2.000 m², 4.000 m², 8.000 m² und 16.000 m².

Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_kalt“

Der Kalthausbetrieb besteht aus deutschen Normgewächshäusern. Die Hälfte der Gewächshäuser ist komplett mit Einfachglas eingedeckt und durch zusätzliche Noppenfolie an den Stehwänden isoliert. Die übrigen Häuser sind mit Doppelfolie eingedeckt. Alle Häuser sind mit einer Vegetationsheizung und einlagigen, gering aluminisierten Energieschirmen ausgestattet. Die angenommene Abdichtungsgüte der Energieschirme ist „mittel“. Dies entspricht einem älteren Schirm mit leichten Undichtigkeiten. In den Gewächshäusern ist keine Belichtungsanlage installiert.

Tabelle 3-12 gibt einige Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für die vier unterschiedlichen Betriebsgrößen an. Die Investitionskosten für eine neue Heizanlage bestehend aus neuem Grund- und Spitzenlastkessel, Kosten für ein neues Gebäude, Planungskosten etc. liegen je nach Betriebsgröße zwischen 184.290 und 685.019 €. Daraus ergeben sich jährliche Kosten zwischen 29.832–114.567 €. Der prozentuale Anteil der Brennstoffkosten an den jährlichen Gesamtkosten liegt bei 26 bis 34 %.

Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_temperiert“

Die Modellbetriebe mit temperiert beheizten Gewächshäusern bestehen zu einem Drittel aus Gewächshäusern der Venlobauweise und zu zwei Dritteln aus deutschen Normgewächshäusern. Die Velohäuser sind mit Einfachglas im Dach und Doppelverglasung an den Stehwänden eingedeckt. Die deutschen Normgewächshäuser sind durchgängig mit Einfachglas eingedeckt und durch zusätzliche Noppenfolie an den Stehwänden isoliert. In allen Gewächshäusern ist ein gemischtes Heizsystem installiert sowie einlagige, gering aluminisierte Energieschirme. Die Abdichtungsgüte der Energieschirme in den Venlohäusern ist „gut“, in den deutschen Normgewächshäusern beträgt sie „mittel“. Alle Gewächshäuser sind in Blockbauweise angeordnet, es ist keine Belichtungsanlage installiert.

Tabelle 3-13 gibt einige Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für die vier unterschiedlichen Betriebsgrößen an. Die Investitionskosten für eine neue Heizanlage bestehend aus neuem Grund- und Spitzenlastkessel, Kosten für ein neues Gebäude, Planungskosten etc. liegen je nach Betriebsgröße zwischen 224.732 und 979.532 €. Daraus ergeben sich jährliche Kosten zwischen 52.566–277.867 €. Der prozentuale Anteil der Brennstoffkosten an den jährlichen Gesamtkosten liegt bei 46 bis 57 %.



Tabelle 3-10: Grundannahmen der Modellbetriebe für den Zierpflanzenbau

	Kulturführung				
	kalt (< 12 °C)		temperiert (12–18 °C)		warm (> 18 °C)
Beispielkulturen	Erika, Calluna, Azaleen		Primeln, Margeriten, Hortensien, Weihnachtssterne		Orchideenjungpflanzen, Knollenbegonien, Begonien
Gewächshaustyp	Venlo (1/2)	dt. Norm (1/2)	Venlo (3/4)	dt. Norm (1/4)	Venlo
Dachflächen	Einfachglas	Doppelfolie	Einfachglas	Einfachglas	Einfachglas
Giebel	Einfachglas + Noppenfolie	Doppelfolie	Doppelverglasung	Einfachglas + Noppenfolie	Doppelverglasung
Stehwand	Einfachglas + Noppenfolie	Doppelfolie	Doppelverglasung	Einfachglas + Noppenfolie	Doppelverglasung
Heizungssystem	Vegetationsheizung		gemischt		gemischt
Energieschirm	einlagig, gering aluminisiert		einlagig, gering aluminisiert		einlagig, gering aluminisiert
Klimaregelung	Nachtabsenkung strahlungsabhängige Schirmsteuerung		Nachtabsenkung strahlungsabhängige Schirmsteuerung		Nachtabsenkung strahlungsabhängige Schirmsteuerung
Energieträger	Heizöl		Heizöl		Heizöl

Quelle: /Schuster 2006/

Tabelle 3-11: Angenommene Temperaturführung in den Modellbetrieben

Modellbetrieb		Kalenderwoche	Innentemperatur Tag [°C]	Innentemperatur Nacht [°C]	Lüftungstemperatur [°C]
Zierpflanzenbau	kalt	1-18	10	8	12
		19-36	12	10	14
		37-52	10	8	12
	temperiert	1-36	16	14	20
		37-52	18	16	22
	warm	1-52	21	19	25
Gemüsebau	kalt	1-9	10	6	18
		10-40	12	10	20
		41-52	10	6	18
	warm	1-16	19	17	21
		17-34	20	16	22
		35-46	19	16	21
	(frostfrei)	47-51	3	3	21
	52	19	17	21	

Quelle: /Schuster 2006/

Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“

Der „typische“ Warmhausbetrieb wurde gebildet aus Venlogewächshäusern, die mit Einfachglas im Dach und Doppelverglasung an den Stehwänden eingedeckt sind. In allen Häusern (Blockbauweise) sind ein

gemischtes Heizsystem und gering aluminisierte neuwertige Energieschirme (einlagig) mit einer sehr guten Abdichtungsgüte installiert. Eine Belichtungsanlage ist nicht montiert.

Tabelle 3-12: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_kalt“

Ergebnisse HORTEX	Betriebsgröße ^a [m ²]			
	2.000	4.000	8.000	16.000
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [l/a]	26.939	51.482	94.144	180.090
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [kWh/a]	271.006	517.909	947.089	1.811.705
Energieverbrauch ^b pro m ² -Grundfläche [kWh/m ²]	131	131	121	111
Auslegungswärmeleistung [kW]	439	970	1.812	2.193

Ergebnisse HORTEB				
Leistung Biomassekessel [kW]	176	388	725	877
Leistung Spitzenlastkessel [kW]	329	728	1.359	1.645
Wärmegestehungskosten [€/MWh]	93,80	82,33	73,90	71,50
Investitionskosten gesamt [€]	195.180	379.183	620.899	718.138
davon: Biomassefeuerung und Zubehör [€]	58.941	108.905	176.689	204.829
Fossile Feuerung [€]	17.256	31.885	51.730	59.969
Gebäude [€]	68.305	142.162	241.073	279.065
Hydraulik [€]	25.219	46.773	70.420	80.606
Planung und Genehmigung [€]	25.458	49.459	80.987	93.670
Gesamtkosten jährlich [€/a]	31.100	60.314	101.138	118.417
davon Gesamtbrennstoffkosten [€/a]	7.823	17.264	32.289	39.065
davon Gesamtbrennstoffkosten [%/a]	25	29	32	33

Quelle: /Schuster 2006/

- a. gerundete Werte
b. inklusive Zusatzenergie für Energiebereitstellung und Energieausbringung

Tabelle 3-13: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_temperiert“

Ergebnisse HORTEX	Betriebsgröße ^a [m ²]			
	2.000	4.000	8.000	16.000
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [l/a]	91.147	163.987	319.053	597.870
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [kWh/a]	916.939	1.649.709	3.209.673	6.014.572
Energieverbrauch ^b pro m ² -Grundfläche [kWh/m ²]	453	402	392	372
Auslegungswärmeleistung [kW]	553	1.027	2.001	3.585

Ergebnisse HORTEB				
Leistung Biomassekessel [kW]	221	411	804	1.434
Leistung Spitzenlastkessel [kW]	415	770	1.508	2.689
Wärmegestehungskosten [€/MWh]	53,09	49,47	45,79	43,44
Investitionskosten gesamt [€]	237.610	397.164	672.334	1.056.318
davon: Biomassefeuerung und Zubehör [€]	70.479	113.829	191.537	299.701
Fossile Feuerung [€]	20.634	33.326	56.077	87.745
Gebäude [€]	84.952	149.544	261.416	386.558
Hydraulik [€]	30.552	48.661	75.608	144.534
Planung und Genehmigung [€]	30.993	51.804	87.696	137.781

Tabelle 3-13: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_temperiert“ (Forts.)

Ergebnisse HORTEB	Betriebsgröße ^a [m ²]			
	2.000	4.000	8.000	16.000
Gesamtkosten jährlich [€/a]	54.065	93.559	169.585	286.801
davon Gesamtbrennstoffkosten [€/a]	24.636	45.715	89.560	159.630
davon Gesamtbrennstoffkosten [%/a]	46	49	53	56

Quelle: /Schuster 2006/

- a. gerundete Werte
- b. inklusive Zusatzenergie für Energiebereitstellung und Energieausbringung

Tabelle 3-14: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_warm“

Ergebnisse HORTEX	Betriebsgröße ^a [m ²]			
	2.000	4.000	8.000	16.000
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [l/a]	129.023	239.083	452.012	866.717
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [kWh/a]	1.297.971	2.405.175	4.547.241	8.719.173
Energieverbrauch ^b pro m ² -Grundfläche [kWh/m ²]	644	594	563	543
Auslegungswärmeleistung [kW]	560	1.025	1.932	3.337

Ergebnisse HORTEB				
Leistung Biomassekessel [kW]	224	410	773	1.335
Leistung Spitzenlastkessel [kW]	420	769	1.449	2.503
Wärmegestehungskosten [€/MWh]	53,00	49,49	46,00	43,63
Investitionskosten gesamt [€]	240.155	396.538	652.103	995.124
davon: Biomassefeuerung und Zubehör [€]	71.169	113.657	185.684	283.516
Fossile Feuerung [€]	20.836	33.276	54.364	83.006
Gebäude [€]	85.960	149.287	253.472	370.704
Hydraulik [€]	30.866	48.596	73.526	128.099
Planung und Genehmigung [€]	31.325	51.722	85.057	129.799
Gesamtkosten jährlich [€/a]	54.656	93.418	163.661	268.082
davon Gesamtbrennstoffkosten [€/a]	24.933	45.646	86.040	148.600
davon Gesamtbrennstoffkosten [%/a]	46	49	53	55

Quelle: /Schuster 2006/

- a. gerundete Werte
- b. inklusive Zusatzenergie für Energiebereitstellung und Energieausbringung

Tabelle 3-14 gibt einige Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für die vier unterschiedlichen Betriebsgrößen an. Die Investitionskosten für eine neue Heizanlage bestehend aus neuem Grund und Spitzenlastkessel, Kosten für ein neues Gebäude, Planungskosten etc. liegen je nach Betriebsgröße zwischen 227.162 und 930.108 €. Daraus ergeben sich jährliche Kosten zwischen 53.144–260.519 €. Der prozen-

tuale Anteil der Brennstoffkosten an den jährlichen Gesamtkosten liegt bei 47 bis 57 %.

Wirtschaftlichkeit „Zierpflanzenbau“

Aus den Investitionskosten sowie den jährlichen Gesamtkosten wurde anschließend die Amortisationsdauer der Investitionen für die unterschiedlichen Betriebe berechnet (Tabelle 3-15).

Tabelle 3-15: Amortisationszeit der Modellbetriebsvarianten „Zierpflanzenbau“

Modellbetrieb	Fläche [m ²]	Investitionskosten [€]		Jährliche Kosten [€/a]		Amortisationszeit [a]
		fossil	alternativ	fossil	alternativ	
Zierpflanzenbau_kalt	16.000	155.539	718.138	128.677	118.417	-
	8.000	135.059	620.899	107.255	101.138	-
	4.000	86.614	379.183	59.482	60.314	-
	2.000	46.782	195.180	28.145	31.100	-
Zierpflanzenbau_temperiert	16.000	254.175	1.056.318	466.820	286.801	6
	8.000	145.679	672.334	262.622	169.585	7
	4.000	90.304	397.164	136.404	93.559	9
	2.000	56.336	237.610	74.656	54.065	12
Zierpflanzenbau_warm	16.000	231.819	995.124	434.014	268.082	6
	8.000	141.455	652.103	252.519	163.661	7
	4.000	90.176	396.538	136.145	93.418	9
	2.000	56.902	240.155	75.576	54.656	11

Quelle: /Schuster 2006/

Eine Umstellung auf alternative Brennstoffe rechnet sich nach oben genannten Bedingungen für keinen der Modellbetriebe „Zierpflanzenbau_kalt“. Die errechnete Amortisationsdauer liegt jeweils deutlich über der angesetzten Nutzungsdauer von 15 Jahren, eine Investition ist somit nicht rentabel. Für die Modellbetriebe „Zierpflanzenbau_temperiert“ ergibt sich ein Amortisationszeitraum von 6 Jahren (Betrieb mit 16.000 m² Grundfläche), 7 Jahren (Betrieb mit 8.000 m²), 9 Jahren (Betrieb mit 4.000 m²) und 12 Jahren (Betrieb mit 2.000 m²).

Für die Modellbetriebe „Zierpflanzenbau_warm“ ergeben sich ähnliche Amortisationszeiten: 6 Jahren (Betrieb mit 16.000 m² Grundfläche), 7 Jahren (Betrieb mit 8.000 m²), 9 Jahren (Betrieb mit 4.000 m²) und 11 Jahren (Betrieb mit 2.000 m²).

Wie bereits erwähnt, wurden bei den Kalkulationen die maximal entstehenden Kosten angenommen. In der Praxis werden sich beispielsweise häufig Betriebe finden, die ihre alten, bislang mit fossilen Rohstoffen betriebenen Kessel weiterhin als Spitzenlastkessel nutzen können und somit mit geringeren Investitionskosten und daraus resultierenden jährlichen Gesamtkosten belastet werden. Für den Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_temperiert, 4.000 m²“ reduziert sich die Investitionssumme bei vorhandenem Spitzenlastkessel beispielsweise von 397.164 € auf 363.838 €. Die Amortisationsdauer reduziert sich um ein Jahr auf 8 Jahre und die jährlich anfallenden Kosten sind um etwa 4.000 € geringer. Ein besonders großer Kostenpunkt bei der Anschaffung einer neuen Anlage ist auch

die Konstruktion eines neuen Gebäudes für die Biomasseheizanlage. Ist diese in dem Modellbetrieb „Zierpflanzenbau_temperiert, 4.000 m²“ bereits vorhanden, ergibt sich eine Investitionssumme von 225.188 €. Die jährliche Belastung liegt dann bei 82.502 € und die Amortisationsdauer sinkt auf 4 Jahre. Können sowohl der alte Ölkessel als auch das bestehende Gebäude weiter genutzt werden, ergibt sich eine Investitionssumme von 186.863 € und die jährlichen Kosten betragen 77.957 €. Die Amortisationsdauer liegt in diesem Fall nur noch bei 3 Jahren.

3.3.2 Gemüsebau

Die Grundannahmen für die Modellbetriebe „Gemüsebau“ sind Tabelle 3-16 zusammengefasst. Die Modellbetriebe sind folgendermaßen aufgeteilt:

- Warmhausbetrieb (> 18 °C),
- Kalthausbetrieb (< 12 °C).

Tabelle 3-11 zeigt die Werte der angenommenen Temperaturführung. Die Klimaführung im Kalthausbetrieb entspricht in etwa der Produktion von Feldsalat und Küchenkräutern. Die Temperaturführung im Warmhausbetrieb spiegelt beispielsweise die Tomaten- oder Gurkenproduktion wieder. Jeder Betrieb wurde in vier Betriebsgrößen gerechnet: 4.000 m², 8.000 m², 16.000 m² und 32.000 m². Die Betriebsgrößen wurden für diese Modellbetriebe größer gewählt, da Gemüsebaubetriebe häufig über größere Gewächshausflächen verfügen als Zierpflanzenbaubetriebe.



Tabelle 3-16: Grundannahmen der Modellbetriebe für den Gemüsebau

	Kulturführung	
	kalt (< 12 °C)	warm (> 18 °C)
Beispielkulturen	Feldsalat, Küchenkräuter	Tomate, Gurke
Gewächshaustyp	Venlo	Venlo
Dachflächen	Einfachglas	Einfachglas
Giebel	Einfachglas + Noppenfolie	Doppelverglasung
Stehwand	Einfachglas + Noppenfolie	Doppelverglasung
Heizungssystem	Vegetationsheizung	Vegetationsheizung
Energieschirm	einlagig, nicht aluminisiert	einlagig, nicht aluminisiert
Klimaregelung	Nachtabenkung	Nachtabenkung
	strahlungsabhängige Schirmsteuerung	strahlungsabhängige Schirmsteuerung
Energieträger	Heizöl	Heizöl

Quelle: /Schuster 2006/

Tabelle 3-17: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“

Ergebnisse HORTEX	Betriebsgröße ^a [m ²]			
	4.000	8.000	16.000	32.000
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [l/a]	53.751	99.872	192.387	362.524
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [kWh/a]	540.735	1.004.712	1.935.413	3.646.991
Energieverbrauch ^b pro m ² -Grundfläche [kWh/m ²]	131	121	121	111
Auslegungswärmeleistung [kW]	873	1.845	3.217	4.707

Ergebnisse HORTEB				
Leistung Biomassekessel [kW]	349	738	1.287	1.883
Leistung Spitzenlastkessel [kW]	437	923	1.609	2.354
Wärmegestehungskosten [€/MWh]	80,72	71,30	64,68	61,31
Investitionskosten gesamt [€]	330.430	601.326	905.890	1.200.888
davon: Biomassefeuerung und Zubehör [€]	100.372	179.176	275.589	370.053
Fossile Feuerung [€]	21.467	38.322	58.943	79.146
Gebäude [€]	129.361	244.523	362.551	443.132
Hydraulik [€]	36.131	60.872	90.649	151.919
Planung und Genehmigung [€]	43.100	78.434	118.160	156.638
Gesamtkosten jährlich [€/a]	53.222	99.353	157.151	217.954
davon Gesamtbrennstoffkosten [€/a]	15.542	32.855	57.316	83.845
davon Gesamtbrennstoffkosten [%/a]	29	33	36	38

Quelle: /Schuster 2006/

- a. gerundete Werte
b. inklusive Zusatzenergie für Energiebereitstellung und Energieausbringung

Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“

Der Modellbetrieb „Gemüsebau_kalt“ besteht aus Gewächshäusern der Venlobauweise, die durchgängig mit Einfachglas eingedeckt sind. An den Steh- und Giebelwänden ist zur Isolierung Noppenfolie angebracht. Die Gewächshäuser verfügen über eine Vegetationsheizung und sind mit einlagig, nicht aluminisierten Energieschirmen ausgestattet. Zur Klimaregelung werden die Nachtabsenkung sowie die strahlungsabhängige Schirmsteuerung eingesetzt. Tabelle 3-17 zeigt einige Ergebnisse der Berechnungen in HORTEX und HORTEB. Je nach Betriebsgröße und entsprechendem Jahresenergieverbrauch liegen die Investitionskosten für die Kombination aus Biomasse-Grundlastkessel und fossilem Spitzenlastkessel zwischen 330.430 und 1.200.888 €. Es ergeben sich somit jährliche Gesamtkosten zwischen 53.222–217.954 €. Der prozentuale Anteil der Brennstoffkosten an den jährlichen Kosten variiert von 29–38 %.

Modellbetrieb „Gemüsebau_warm“

Die Venlo-Gewächshäuser der Modellbetriebe „Gemüsebau_warm“ sind im Dachbereich mit Einfachglas und im Giebel- und Stehwandbereich mit Doppelverglasung eingedeckt. Ausgestattet sind die Gewächshäuser mit Vegetationsheizung und einlagig, nicht aluminisierten Energieschirmen. Zur Klimaregelung werden strahlungsabhängige Schirmsteuerung und Nachtabsenkung eingesetzt. Tabelle 3-18 zeigt die Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen. Die Investitionskosten für eine neue Anlage (bestehend aus Biomassekessel und fossilem Kessel) liegen im Bereich von 404.028 und 2.384.037 €. Es ergeben sich somit jährliche Gesamtkosten von 95.332–612.158 €. Prozentual machen die Brennstoffkosten 49–52 % der jährlichen Kosten aus.



Tabelle 3-18: Ergebnisse der HORTEX- und HORTEB-Berechnungen für den Modellbetrieb „Gemüsebau_warm“

Ergebnisse HORTEX	Betriebsgröße ^a [m ²]			
	4.000	8.000	16.000	32.000
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [l/a]	160.002	315.718	607.512	1.128.745
Jahresenergieverbrauch, Heizöl [kWh/a]	1.609.620	3.176.123	6.111.571	11.355.175
Energieverbrauch ^b pro m ² -Grundfläche [kWh/m ²]	382	382	372	352
Auslegungswärmeleistung [kW]	1.049	2.084	4.044	7.107

Ergebnisse HORTEB				
Leistung Biomassekessel [kW]	420	834	1.618	2.843
Leistung Spitzenlastkessel [kW]	787	1.563	3.033	5.330
Wärmegestehungskosten [€/MWh]	49,35	45,61	43,27	46,77
Investitionskosten gesamt [€]	404.028	690.832	1.174.550	2.384.037
davon: Biomassefeuerung und Zubehör [€]	115.712	196.900	329.008	509.140
Fossile Feuerung [€]	33.878	57.647	96.325	149.063
Gebäude [€]	152.365	268.603	412.552	503.109
Hydraulik [€]	49.373	77.574	183.464	911.764
Planung und Genehmigung [€]	52.699	90.109	153.202	310.961
Gesamtkosten jährlich [€/a]	95.332	175.028	322.209	612.158
davon Gesamtbrennstoffkosten [€/a]	46.696	92.798	180.063	316.440
davon Gesamtbrennstoffkosten [%/a]	49	53	56	52

Quelle: /Schuster 2006/

- a. gerundete Werte
 b. inklusive Zusatzenergie für Energiebereitstellung und Energieausbringung

Tabelle 3-19: Amortisationszeit der Modellbetriebsvarianten „Gemüsebau“

Modellbetrieb	Fläche [m ²]	Investitionskosten [€]		Jährliche Kosten [€/a]		Amortisationszeit [a]
		fossil	alternativ	fossil	alternativ	
Gemüsebau_kalt	32.000	399.234	1.363.190	283.066	236.871	-
	16.000	221.958	965.957	187.600	164.137	-
	8.000	136.818	629.540	109.109	102.633	-
	4.000	80.119	347.896	53.860	55.254	-
Gemüsebau_warm	32.000	1.098.025	2.384.037	996.413	612.158	6
	16.000	303.826	1.174.550	528.539	322.209	6
	8.000	149.607	690.832	271.961	175.028	7
	4.000	91.705	404.028	139.247	95.332	9

Quelle: /Schuster 2006/

Wirtschaftlichkeit „Gemüsebau“

Nach den Berechnungen der Amortisationsdauer ist eine Umstellung der Modellbetriebe „Gemüsebau_kalt“ auf alternative Brennstoffe wirtschaftlich nicht sinnvoll, da die Amortisationszeit über der angesetzten Nutzungsdauer liegt. Für die Modellbetriebe „Gemüsebau_warm“ ergeben sich folgende Amortisationszeiten (siehe Tabelle 3-19): 6 Jahre (Betrieb mit 32.000 m²), 6 Jahre (Betrieb mit 16.000 m²), 7 Jahre (Betrieb mit 8.000 m²), 9 Jahre (Betrieb mit 4.000 m²).

Ebenso wie für die Berechnungen der Zierpflanzenbaumodellbetriebe gilt auch hier, dass die entstehenden Kosten erheblich reduziert werden und somit die Amortisationsdauer verringert wird, wenn ein Spitzenlastkessel oder/und ein Gebäude für die neue Anlage bereits im Betrieb vorhanden sind.

3.3.3 Abschließende Betrachtung

An dieser Stelle sollte noch einmal erwähnt werden, dass es sich bei den beschriebenen Betrieben und Berechnungen um Modellbetriebe handelt. Die Ergebnisse können einen Anhaltspunkt geben, um die Umstellung des eigenen Betriebes auf die Abdeckung der Grundlast mit einer Biomasseheizanlage einschätzen zu können. Die Kalkulationen können eine individuelle Planung jedoch keinesfalls ersetzen. Jeder Betrieb bietet unterschiedlichste Voraussetzungen, sei es im Bezug auf Wärmebedarf, Räumlichkeiten, Lage, regionale Brennstoffverfügbarkeit, etc. Eine unabhängige, kompetente Beratung ist daher unbedingt zu empfehlen. Die Ergebnisse machen ebenfalls deutlich, dass die mögliche Wirtschaftlichkeit einer Biomasseheizanlage nicht allein über den Wärmebedarf eines Betriebes festgelegt werden kann. Die Faustzahl, dass eine Um-

stellung ab ca. 100.000 l Heizölverbrauch sinnvoll ist, ist so nicht richtig. Neben dem Gesamtwärmebedarf spielt die Gleichmäßigkeit der Wärmeabnahme eine entscheidende Rolle. So ist die Umstellung für einen Betrieb mit mittlerem Gesamtwärmebedarf aber konstantem Wärmebedarf über das Jahr gesehen möglicherweise sinnvoll. Für einen Betrieb, dessen hoher Gesamtwärmebedarf sich jedoch aus hohem Wärmebedarf in wenigen Monaten des Jahres zusammensetzt, ist die Umstellung meist nicht wirtschaftlich. Somit zeigt sich auch hier erneut die Bedeutung einer genauen Planung des Vorhabens. Zu beachten ist zudem folgendes: soll die neue Biomasseanlage beispielsweise 40 % der zu installierenden Heizleistung betragen, so ist nicht die im Betrieb installierte Gesamtleistung aller Kessel als 100 % anzusetzen. Es sollte unbedingt der genaue Wärmebedarf des Betriebes ermittelt werden, da in den meisten Gartenbaubetrieben mehr Kesselleistung installiert ist als wirklich notwendig. Somit können die Kosten für eine Biomasseheizanlage reduziert werden.

Ein weiterer Aspekt, der erwähnt werden sollte, sind die in HORTEX und HORTEB getroffenen Annahmen. Es wurde bereits mehrfach erwähnt, dass mit der gewählten Ausstattung der Modellbetriebe immer nur einen Teil der Praxis abgebildet werden kann. Es ist jedoch auch zu bedenken, dass die HORTEB-Berechnungen auf Vorgaben und Kostenannahmen für bestimmte Positionen beruhen. Diese enthaltenen Kostenannahmen und -funktionen basieren zwar auf Praxis- und Literaturdaten und bilden somit Durchschnittswerte ab, im Einzelnen können diese Annahmen in der Praxis jedoch sehr variabel sein. Des Weiteren ist in der aktuellen HORTEB-Version die Einbindung eines Pufferspeichers beim Einsatz eines

Biomasseheizkessels noch nicht vorgesehen und wurde daher bei den Berechnungen nicht berücksichtigt.

3.4 Beispielbetriebe aus der Praxis

Zierpflanzenbaubetrieb mit Biogasanlage

Etwa zwischen Rheine und Osnabrück liegt im Ort Recke der Zierpflanzenbaubetrieb von Manfred Rieke. Produziert werden hauptsächlich Phalenopsis, sowie Cylamen, Beet- und Balkonpflanzen, Callunen, Gaultherien und Stauden. Der Betrieb besteht aus 8.000 m² Unterglasfläche und 140.000 m² Freilandfläche. Zur Beheizung seiner Gewächshäuser verwendet Herr Rieke die Abwärme einer Biogasanlage, die bereits im Dezember 2005 in Betrieb genommen wurde. Mittels Trockenfermentation wird das Biogas aus Mais und Getreide gewonnen. Die Anlage wird von fünf Gesellschaftern betrieben, wobei jeder der Gesellschafter für einen bestimmten Bereich zuständig ist: Zwei Landwirte sichern die Rohstoffbeschaffung, ein Lohnunternehmer kümmert sich um die Logistik, der Gartenbaubetrieb nutzt die anfallende Abwärmenutzung und der fünfte Gesellschafter ist als Betreiber und Geschäftsführer für die Biogasanlage verantwortlich. Die Anlagenführung wird dabei von der Firma Schmack, Schwandorf, unterstützt. Zur Zeit liefert die gesamte Anlage eine Leistung von 499 kW elektrisch und 700 kW thermisch (der Motor ist momentan von 625 kW auf 499 kW gedrosselt). Zur optimalen Ausnutzung der erzeugten Wärme wurde im Betrieb ein 200.000 l fassender Pufferspeicher aufgestellt. Die Spitzenlast kann sowohl mit Erdgas als auch mit Heizöl EL (fossiler Kessel mit 2,8 MW) abgedeckt werden. Im Jahr verbraucht der Betrieb Rieke etwa 4,5 Mio. kWh die zu 90 % mit der Abwärme der Biogasanlage abgedeckt werden können. Insgesamt betragen die Kosten der gesamten Anlage etwa 2,5 Mio. € (inklusive BHKW, Pufferspeicher etc.).

Zierpflanzenbaubetrieb mit Holzhackschnitzelanlage mit Contracting

Im badischen Malsch liegen drei Gartenbaubetriebe in unmittelbarer Nachbarschaft: Betrieb Reiß, Rampf und Reiter. Das besondere daran ist ihr gemeinsamer Geschäftsbereich: eine zentrale Energieversorgungsanlage (Brennstoff: Holzhackschnitzel). Mit der Biomasseheizanlage (2 MW) werden über die Verbrennung preisgünstiger Holzhackschnitzel jährlich rund 5.000 MWh Wärme erzeugt. Ursprünglich wurde die Heizanlage darauf ausgerichtet, etwa 80 % des jährlichen Heizbedarfs zu decken, Spitzen- und Schwach-

last wurden von einem Ölkessel geliefert. 2005 wurden sowohl der Hackschnitzelkessel als auch der Pufferspeicher (150 m³) optimiert. Nun werden ca. 90 % des jährlichen Heizbedarfs durch alternative Energie abgedeckt (entspricht ca. 9.000 Sm³ Holzhackschnitzel pro Jahr). Ein Elektrofilter sorgt für die Einhaltung der vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte. Im Zierpflanzenbaubetrieb (23.000 m²) von Herrn Reiß werden seit dem jährlich noch etwa 50.000 l Heizöl benötigt. Mit dem Unternehmen KWA aus Bietigheim-Bissingen haben die Gartenbaubetriebe einen Contracting-Vertrag abgeschlossen. Somit übernahm KWA Planung, Bau und Finanzierung und kümmert sich nun um den Betrieb der Biomasseheizanlage. Verfeuert werden Hackschnitzel, die zu 75 % aus Landschaftspflegeholz und zu 25 % aus Waldrestholz bestehen. Mit den Gartenbaubetrieben rechnet das Unternehmen die gelieferte Wärme ab.

Zierpflanzenbaubetrieb mit Biogasanlage und Pflanzenöl-BHKW

In dem Zierpflanzenbaubetrieb von Georg Welzel in Kerken werden Weihnachtssterne, Pelargonien, diverse Sommerblüher und Stauden produziert. Zusätzlich erfolgt im Betrieb sowohl im Sommer als auch im Winter die Bewurzelung von Stecklingen, wodurch große Vermehrungsflächen nahezu ganzjährig auf 22 °C Raumtemperatur geheizt werden müssen. Aufgrund schwankender und kontinuierlich steigender Energiepreise hat Georg Welzel sich bereits frühzeitig mit alternativen Energien beschäftigt. Mit dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2000 wurde für ihn die Grundlage geschaffen, eine Biogasanlage wirtschaftlich zu betreiben. Da ein Gartenbaubetrieb allein keine Biogasanlage betreiben kann, gründeten die Gesellschafter Karl-Josef Heimes (Landwirt), Bernd Knott (Lohnunternehmer) und Georg Welzel (Gärtner) 2002 die Biogas Rahm GmbH. Der Gartenbaubetrieb ist verantwortlich für kaufmännische Aufgaben und nutzt die Überschusswärme zur Beheizung der 27.500 m² Gewächshausfläche. Der Landwirt betreibt die Biogasanlage (Biogasanlage der Firma Envitc mit BHKW der Firma Pro2) und kümmert sich um das Stoffmanagement. Der Lohnunternehmer ist zuständig für Transport/Sicherung der Stoffströme und die Ausbringung der Gärrückstände auf landwirtschaftlichen Flächen. Diese Aufgabenbereiche der drei Betriebe werden mit der Biogas GBR abgerechnet.

In der Biogasanlage (626 kW elektrisch, ca. 850 kW thermisch) werden 8.000 m³ Rinder- und Schweinegülle, Mais, Gemüseabfälle, Treber und Pflanzenfett vergoren. Zur optimalen Wärmenutzung ist ein



200 m³ Pufferspeicher vorhanden. Zur Abdeckung der Spitzenlast stehen im Betrieb vier fossile Kessel (Heizöl, Erdgas) mit insgesamt 5 MWh zur Verfügung.

Im Laufe der Jahre wurde die Unterglasfläche auf insgesamt 3,8 ha ausgeweitet, so dass sich die Gesellschafter für den zusätzlichen Bau eines mit Pflanzenöl betriebenen BHKW entschieden. 2005 wurde die BHKW-Anlage der Firma Mittes (Österreich) mit Unterstützung des Heizungsbauers Goumanns sowie der drei Gesellschafter geplant, umgesetzt und Ende 2005 in Betrieb genommen. Die Motoren liefen zunächst mit Raps- und Sojaöl, konnten dann aber auf das kostengünstigere Palmöl umgestellt werden.

Die Anlage besteht aus drei nebeneinander separat aufgestellten BHKWs. Jeder Motor erreicht eine elektrische Leistung von 330 kW, zusammen 990 kW, sowohl elektrisch als auch thermisch. Zusätzlich gibt es zwei beheizbare Vorratsbehälter für das Pflanzenöl (120.000 l), da es erwärmt werden muss, um einen einwandfreien Betrieb der Motoren zu ermöglichen. Ein Werkstattmeister der Firma Knott wartet regelmäßig die Pflanzenölanlage. Im Gartenbaubetrieb von Georg Welzel werden jährlich rund 5–7,5 Mio. kWh Wärme benötigt. Dieser Jahresenergiebedarf kann zu 90–95 % mit Abwärme aus der Biogasanlage und dem Pflanzenöl-BHKWs abgedeckt werden. Somit lässt sich der jährliche Heizölverbrauch auf ca. 40.000–70.000 l reduzieren. Für die gesamte Biogasanlage entstanden Kosten in Höhe von 1,4 Mio. € (inkl. BHKW). Die Investitionskosten des Pflanzenöl-BHKWs lagen bei rund 850.000 € (3 × 220.000 € BHKW + Trafo, Pflanzentankanlage, Genehmigung, etc.). Die gesamte Heizungsanbindung der Biogas- und Bioölanlage, sowie die Regeltechnik beläuft sich auf ca. 300.000 €.

Zierpflanzenbaubetrieb mit Biomassekessel für Holzpellets und Getreide

Der Wärmebedarf im Zierpflanzenbaubetrieb von Jens Wöbb wird zu 100 % aus alternativen Brennstoffen abgedeckt. Im Februar 2006 wurde zur Produktion von Rosen und Tulpen (3.000 m² Gewächshausfläche) ein Biomassekessel zur Verbrennung von Holzpellets und Getreide installiert. Der Kessel hat eine Leistung von 500 kW und läuft zur Zeit noch ausschließlich mit Holzpellets. Die Feinstauemissionen werden durch einen Zyklonfilter reduziert. Der jährliche Energiebedarf des Betriebes liegt bei etwa 0,8–1 Mio. kWh. Zusätzlich zur Gewächshausfläche werden 250 m² Wohnhaus und ein Arbeitsraum (50 m²) beheizt. Die Integration eines Pufferspeichers

(20.000 l) in das neue Heizsystem erfolgte nachträglich, um den Biomassekessel möglichst kontinuierlich betreiben zu können. Somit wurde die Auslastung des Kessels erhöht. In Zukunft will Herr Wöbb auch die Verbrennung von Getreide testen. Durch den Einsatz des Pufferspeichers sowie das Mischen von Getreide und Holzpellets zur Verbrennung will Herr Wöbb dem Problem der Geruchsbelästigung im Standbybetrieb beim Einsatz von Getreide vorbeugen. Ein Mischungsverhältnis von 2 kg Getreide und 0,5 kg Holzpellets ist im Betrieb geplant. Für die Lagerung des Biobrennstoffs wurde ein neues Lager mit 185 m³ erbaut. Dabei wird der Brennstoff mittels einer flexiblen Förderschnecke zum Kessel transportiert.

Die Investitionskosten der gesamten Anlage beliefen sich auf 180.000 €, die sich aus 160.000 € für den Biomassekessel, 7.000 € für den Pufferspeicher und 13.000 € für das neu errichtete Brennstofflager (185 m³) zusammensetzen. Finanzielle Unterstützung durch Fördergelder bekam Herr Wöbb von der KfW Bank und der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien Hansestadt Hamburg.

Zierpflanzenbaubetrieb mit Holzhackschnitzelanlage

Seit Februar 2002 beheizt Karin Engels die Gewächshäuser (2,4 ha) ihres Zierpflanzenbaubetriebes (5,75 ha) bereits mit einer Holzhackschnitzelanlage. Die eingesetzten Hackschnitzel bestehen aus Alt- und Restholz. Der Biomassekessel deckt mit 780 kW die Grundlast ab und ist mit einer Rauchgasrückführung zur optimierten Kesselausnutzung ausgestattet. Durch den Einsatz eines Zyklonfilters können die vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte eingehalten werden. Zur Abdeckung von Spitzenlast und sehr geringem Heizbedarf werden alte Heizölkessel mit insgesamt 4,3 MW eingesetzt. Die Investitionskosten der Holzfeuerungsanlage betragen etwa eine halbe Million Euro. Das verfügbare Alt- und Restholz wird aus einem Umkreis von etwas 40 km bezogen und im Betrieb in einer Lagerhalle mit 2.000 m³ Fassungsvermögen (ausreichend für 3–4 Monate) zwischengelagert. Aus der Lagerhalle wird das Material über eine robuste Schubbodenfördereinheit zum Kessel transportiert. Des Weiteren ist ein 240 m³ fassender Pufferspeicher vorhanden, um die Kesselleistung möglichst konstant zu halten. Mit einem Verbrauch von etwa 7.000–10.000 Sm³ Hackschnitzel pro Jahr kann Karin Engels etwa 95 % des jährlichen Energiebedarfs abdecken.

Förderprojekte und Planungshilfen der FNR e. V.

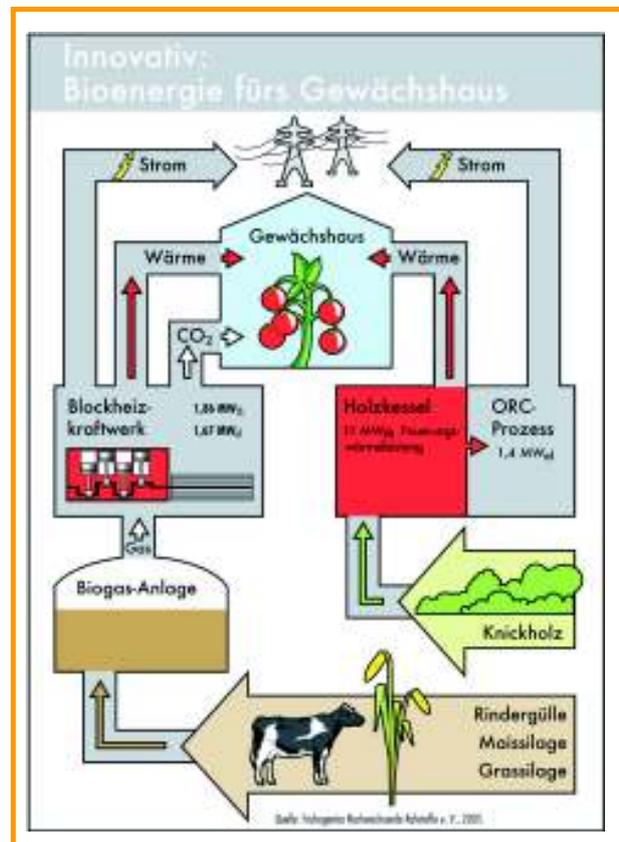


Im Folgenden wird eine Auswahl der Projekte mit Bezug auf das Themengebiet „Energetische Nutzung von Biomasse im Gartenbau“ vorgestellt, die vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz direkt oder über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. gefördert wurden.

Projekt Hennstedt: Biogas + Holzkessel + ORC-Prozess nach /Seyfert und Conrad 2006/

Das Biomasseheizkraftwerk Hennstedt (Biokraft Hennstedt GmbH) in Schleswig-Holstein besteht aus einer Biogas- und einer Holzkesselanlage. In beiden Anlagenkomponenten wird durch Kraft-Wärme-Kopplung Wärme und Strom erzeugt. Für die Stromproduktion in der Holzkesselanlage wird dabei eine Dampfturbine mit Silikonöl anstatt üblicherweise mit Wasser betrieben (ORC-Technik). Ein nahe gelegener Tomatenbetrieb (6 ha Unterglas) nutzt die entstehende Wärme des Holzkessels und der Biogasanlage sowie das Kohlendioxid, das direkt aus den Abgasen der Biomasseanlage ausgekoppelt und den Pflanzen zugeführt wird. Abbildung 4-1 gibt eine Übersicht über das gesamte Projekt. Das Biomasseheizkraftwerk Hennstedt ist bei Gesamtinvestitionskosten von 14,3 Mio. Euro mit insgesamt knapp vier Millionen Euro aus dem Landesförderprogramm „Initiative Biomasse und Energie“, aus dem Bundesforschungsprogramm „Nachwachsende Rohstoffe“ sowie mit EU-Geldern bezuschusst worden. Pro Jahr werden im Hennstedter Biomasseheizkraftwerk aus rund 100.000 Tonnen Rinder- und Schweinegülle, 16.000 Tonnen nachwachsenden Rohstoffen und organischen Reststoffen sowie 15.000 Tonnen Knickholz circa 17.000 MWh Strom und 47.000 MWh Wärme gewonnen. Der Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und nach dem EEG vergütet, die Wärme wird weitgehend durch den Gewächshausbetrieb abgenommen. Die Hennstedter Gewächshaus GmbH will jährlich rund 3,3 Millionen Kilogramm Tomaten in Nord-

deutschland vermarkten. Bis zu 50 neue Arbeitsplätze für Vollzeit- und Saisonkräfte werden aus der Produktion der roten Früchte erwartet. Weitere acht Arbeitsplätze entstehen im Biomasseheizkraftwerk.



Quelle: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2005

Abb. 4-1: Projekt Hennstedt: Biogasanlage und Holzkesselkraftwerk versorgen einen Tomatenbetrieb mit Wärme und CO₂

Bundesweite Umfrage zur energetischen Nutzung von Biomasse im Unterglasgartenbau

(Förderkennzeichen 22015703,

Förderzeitraum 06/2004–11/2006)

Mitarbeiter des Fachgebiets Biosystem- und Gartenbautechnik (Leibniz Universität Hannover) bearbeiten in Kooperation mit der Technischen Universität München (Fachgebiet Technik im Gartenbau) sowie der Humboldt-Universität zu Berlin (Fachgebiet Gartenbautechnik) ein Projekt zur energetischen Nutzung von Biomasse im Unterglasgartenbau. Im Rahmen einer bundesweiten Umfrage wurden Gartenbaubetriebe aus den Bereichen Zierpflanzenbau und Gemüsebau befragt. Die eigentliche Umfrage wurde von speziell geschulten Studenten sowie wissenschaftlichen Mitarbeitern der drei Universitäten durchgeführt. Folgende Schwerpunktthemen wurden bei der Befragung aufgenommen:

- Ausstattung des Betriebs (Grundfläche, Bedachungsmaterial, Alter und Nutzung der Gewächshäuser, bereits vorhandene energiesparende Maßnahmen, Heizsysteme und Einrichtung der Gewächshäuser, etc.),
- Energetische Ist-Situation des Betriebs (Jahresenergieverbrauch, genutzte Energieträger, Anzahl und Alter vorhandener Brenner und Kessel, Regelung, etc.),
- Optimierung und Einstellung des Betriebsleiters zum Thema „energetische Nutzung von Biomasse“ (Beurteilung der Gewächshäuser durch die Betriebsleiter selbst, Optimierungsbedarf, Informationsstand bezüglich Nutzung von Biomasse, etc.).

Das Hauptziel der Studie bestand in der Erfassung der energetischen Ist-Situation im deutschen Unterglasanbau. Des Weiteren geben die Umfrageergebnisse Auskunft über das noch vorhandene Energieeinsparpotential sowie die Einstellung der Gärtner zur Nutzung von Biomasse als Energieträger. Die Ergebnisse dienen ebenfalls als Grundlage zur Bildung der in Kapitel 3.3 vorgestellten Modellbetriebe und entsprechenden Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Abschließend wurde im Rahmen des Projektes der vorliegende Leitfaden erstellt.

HORTEX – Planung der Energieversorgung von Gewächshausanlagen

HORTEX /Rath 2001/ ist ein computergestütztes Beratungssystem für die Planung und den Betrieb von Gewächshausheizungsanlagen. Es wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Gartenbautechnische Expertensysteme“ entwickelt und kombiniert konventionelle Simulationsmodelle mit wissenschaftlichen Darstellungstechniken. Es werden Energiebedarfs-

und Energieverbrauchsberechnungen durchgeführt. Das Programm beinhaltet eine komfortable grafische Bedienoberfläche. Gefördert wurde das Projekt vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz. HORTEX kann am Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik der Leibniz Universität Hannover käuflich erworben werden. Weitere Informationen siehe /BGT 2006/.

HORTEB – Planungsprogramm zur energetischen Nutzung von Biomasse

nach /Brökeland 2003/

Das Planungsprogramm HORTEB zur energetischen Nutzung von Biomasse wurde im Rahmen des Projektes 95NR149-F erstellt und vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz gefördert, wobei die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) die Projektträgerschaft übernommen hat.

Das Programm ist vorrangig für die Erstellung von Vorstudien zukünftiger Biomasse-Projekte geeignet, wobei es die Bereiche Wirtschaftlichkeitsberechnung nach VDI 2067, CO₂- und Energiebilanzierung sowie Bestimmung des regionalen Potenzials an Biobrennstoffen abdecken kann. Es bietet den Vorteil, Wissenslücken in der Vorplanung durch die vorhandene Datenbasis und integrierte Kostenfunktionen schließen zu können. Zu zahlreichen Planungsdetails bietet das Programm die Möglichkeit, durch individuelle Eingaben eine verbesserte Anpassung an den Planungsfall und damit eine höhere Genauigkeit der Berechnungsergebnisse zu erzielen. Eine Optimierung der einzelnen Planungsfälle wird dabei vom Programm nicht durchgeführt. Da bei jedem Biomasse-Projekt Entscheidungen anstehen, die sich nicht in jedem Fall nach dem wirtschaftlichen Optimum richten oder richten können und sich diese für ein Planungsprogramm nur schwer mathematisch darstellen lassen, wurde auf eine Optimierungsfunktion bewusst verzichtet. Dagegen haben die NutzerInnen des Programms die Möglichkeit, einzelne Planungsgrößen zu verändern und durch eine neue Berechnung zu einem schnellen Ergebnis und damit näher an eine optimierte Lösung zu kommen. Als Zielgruppe für eine Anwendung des Programms kommen Ingenieurbüros, Energieagenturen, kommunale Energieberater, gegebenenfalls Forschungseinrichtungen sowie alle interessierten Nichtfachleute in Frage. HORTEB kann am Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik der Leibniz Universität Hannover käuflich erworben werden. Weitere Informationen siehe /BGT 2006/.



Fördermöglichkeiten



Förderungen für den Einsatz alternativer Brennstoffe oder/und energiesparender Maßnahmen gibt es in Deutschland je nach Förderprogramm zum einen in Form von Zuschüssen für Beratung, Investitionskosten, Machbarkeitsstudien, etc., zum anderen durch zinsverbilligte Darlehen, Teilschulderlass, Stromeinspeisevergütung oder Bürgschaften.

Auf eine ausführliche Darstellung und Beschreibung europäischer, bundesweiter und länderspezifischer Förderprogramme wurde an dieser Stelle verzichtet, da diese Förderungen momentan einem ständigen Umbruch unterliegen. Stattdessen finden Sie im Folgenden eine Zusammenstellung von Ansprechpartnern und Kontaktadressen bezüglich Fördermöglichkeiten für den Agrarbereich. Auf den Internetseiten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR, www.bio-energie.de) ist zudem eine Auflistung aktueller Förderprogramme zu finden, die regelmäßig aktualisiert wird.

Europa

Forschungszentrum Jülich GmbH

52425 Jülich

- Claudia Häfner, Tel.: 02461/61-8664

Fax: 02461/61-2880

www.nks-energie.de

www.fz-juelich.de/ptj

Deutschland

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)

(BAFA – Fördermaßnahmen Biomasseanlagen)

Frankfurter Straße 29-35

65760 Eschborn

Tel.: 06196/908-625

Fax: 06196/908-800 oder 06196/94226

www.bafa.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Alexanderplatz 6

10178 Berlin

Tel.: 01888/305-0

Fax: 01888/305-4375

www.erneuerbare-energien.de

Landwirtschaftliche Rentenbank

Postfach 10 14 45

60014 Frankfurt am Main

Tel.: 069/210-0

Fax: 069/2107-444

www.rentenbank.de

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

-Referat 514-

Projektträger Agrarforschung

53168 Bonn

Hausanschrift:

Deichmanns Aue 29

53179 Bonn

Tel.: 0228/6845-3517

Fax: 0228/6845-3444

projektraeger-agrarforschung@ble.de

www.ble.de

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW),

KfW-Förderbank

Tel.: 01801/335577

Fax: 069/74319500

info@kfw.de

www.kfw-foerderbank.de

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Hofplatz 1
18276 Gülzow
Tel.: 03843/6930-199
Fax: 03843/6930-102
info@fnr.de
www.fnr.de
www.bio-energie.de

Baden-Württemberg

Forstdirektion Freiburg

Abteilung 6
Bertoldstraße 43
79098 Freiburg i. Br.
Tel.: 07703/9337-42
Fax: 07703/9337-36
www.wald-online-bw.de

Ministerium ländlicher Raum des Landes

Baden-Württemberg
Postfach 103444
70029 Stuttgart
Tel.: 0711/126-0
Fax: 0711/126-2922
www.foerderwegweiser-landwirtschaft-bw.de

Bayern

Technologie- und Förderzentrum

Schulgasse 18
94315 Straubing
Tel.: 09421/300-216
Fax: 09421/300-211
www.tfz.bayern.de

**Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft
und Forsten**

Postfach 22 00 12
80535 München
Tel.: 089/2182-0
Fax: 089/2182-2677
www.stmlf.bayern.de

C.A.R.M.E.N. e. V.

Schulgasse 18
94315 Straubing
Tel.: 09421/960-300
Fax: 09421/960-333
contact@carmen-ev.de
www.carmen-ev.de

Berlin

Landesverband Gartenbau und Landwirtschaft Berlin

Boelckestraße 117
12101 Berlin
Tel.: 030/7863763
Fax: 030/7865085

Brandenburg

Investitionsbank des Landes Brandenburg

Steinstraße 104-106
14480 Potsdam
Tel.: 0331/660-0
Fax: 0331/660-1660
www.ilb.de

Bremen

Gartenbaukammer Bremen

Paul-Feller-Straße 25
28199 Bremen
Tel.: 0421/53641-0
Fax: 0421/552182
www.hdgbremen.de

Landwirtschaftskammer Bremen

Johann-Neudörffer-Straße 2
28355 Bremen
Tel.: 0421/5364170
Fax :0421/5364176
info@lwk-bremen.de
www.lwk-bremen.de

Hamburg

Behörde für Wirtschaft und Arbeit

Amt Strukturpolitik, Arbeitsmarkt, Agrarwirtschaft
und Agrarförderung
Alter Steinweg 4
20459 Hamburg
Tel.: 040/42841-1672
Fax: 040/42841-3201
www.forst-hamburg.de

Landwirtschaftskammer Hamburg

Brennerhof 121
22113 Hamburg
Tel.: 040/78129120
Fax: 040/787693
lwk.pohl@t-online.de
www.forst-hamburg.de/landwirtschaftskammer.htm

Hessen**Hessisches Ministerium für Umwelt, ländlichen Raum und Verbraucherschutz**

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden
Tel.: 0611/8150
Fax: 0611/8151941
www.hmulv.hessen.de

Landestreuhandstelle Hessen**Geschäftsbereich der Landesbank Hessen-Thüringen Girozentrale**

Neue Mainzer Straße 52-58
60311 Frankfurt am Main
Tel.: 069/9132-01
Fax: 069/291517
www.lth.de

Mecklenburg-Vorpommern**Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern**

Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin
Tel.: 0385/588-0
Fax: 0385/588-6024
www.mv-regierung.de

Niedersachsen**BFL-Bauförderung Landwirtschaft**

Engelstraße 52
48143 Münster
Tel.: 0251/493-370
Fax: 0251/493-372
www.bfl-online.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Mars-la-Tour-Straße 1-13
26121 Oldenburg
Tel.: 0441/8010
Fax: 04 41/801180
info@lwk-niedersachsen.de
www.lwk-niedersachsen.de
www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/foerderung.html

Nordrhein-Westfalen**Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen**

Schwannstraße 3
40476 Düsseldorf
Tel.: 0211/4566-0
Fax: 0211/4566-456
www.munlv.nrw.de

Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Energie des Landes Nordrhein-Westfalen

Haroldstraße 4
40213 Düsseldorf
Tel.: 0211/837-02
Fax: 0211/837-2200
www.mwme.nrw.de

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

Nevinghoff 40
48147 Münster
Postfach 59 80, 48135 Münster
Tel.: 02 51/2376-0
Fax: 02 51/2376-362
info@lwk.nrw.de
www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/foerderung/index.htm

Energieagentur NRW

Kasinostraße 19-21
42103 Wuppertal
Tel.: 0202/245 52-0
Fax: 0202/245 52-30
www.ea-nrw.de

Rheinland-Pfalz**Dienstleistungszentrum ländlicher Raum-Mosel**

Görresstraße 10
54470 Bernkastel-Kues
Tel.: 06531/956-0
Fax: 06531/956-103
www.dlr-mosel.rlp.de

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

Burgenlandstraße 7
55543 Bad Kreuznach
Tel.: 06 71/7930
Fax: 06 71/793199
lwk-rlp@t-online.de
www.lwk-rlp.de



Saarland

Landwirtschaftskammer für das Saarland

Dillinger Straße 67
66822 Lebach
Tel.: 06881/928-0
Fax: 06881/928-100
lwk-saar-martin@t-online.de
www.lwk-saarland.de

Sachsen

Staatliche Ämter für Landwirtschaft bzw. Landwirtschaft und Gartenbau

www.landwirtschaft.sachsen.de

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie

Zur Wetterwarte 11
01109 Dresden
Tel.: 0351/8928-0
Fax: 0351/8928-225
www.umwelt.sachsen.de/lfug

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Archivstraße 1
01097 Dresden
Tel.: 0351/564-0
Fax: 0351/564-2026
www.smul.sachsen.de

Sachsen-Anhalt

Zuständiges Amt für Landwirtschaft und Flurneueordnung (ALF)

www.sachsen-anhalt.de

Investitionsbank Sachsen-Anhalt

Domplatz 12
39104 Magdeburg
Tel.: 0800/5600757
www.ib-sachsen-anhalt.de

Schleswig-Holstein

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume

Mercatorstraße 3
24106 Kiel
Tel.: 0431/988-7201
Fax: 0431/988-0
Internetredaktion@mlur.landsh.de
www.mlur.schleswig-holstein.de

Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein

Holstenstraße 106-108
24103 Kiel
Tel.: 0431/9797-0
Fax: 0431/9797-121
lksh@lksh.de
www.lwk-sh.de

Investitionsbank Schleswig-Holstein

Fleethörn 29-31
24103 Kiel
Postanschrift:
Postfach 11 28
24100 Kiel
Tel.: 0431/9905-3001
info@ib-sh.de
www.ib-sh.de

Thüringen

Landwirtschaftsamt Rudolstadt

Preilipper Straße 1
07407 Rudolstadt
Tel.: 03672/305-0
Fax: 03672/305-1099
www.thueringen.de/lwa-ru/

Thüringer Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Infrastruktur

Abteilung Energie, Technologie und Tourismus
Postfach 90 05 52
99105 Erfurt
Tel.: 0361/3797-999
Fax: 0361/3797-990
www.th-online.de

Thüringer Landesverwaltungsamt, Abteilung Landwirtschaft

Weimarplatz 4

99423 Weimar

Tel.: 03643/5881-18

Fax: 03643/5881-13

Landwirtschaft@tlvwa.thueringen.de

www.thueringen.de/de/tmlnu/foerderung/





Literaturhinweise, Adressverzeichnis und Ansprechpartner

Im Folgenden finden Sie eine Zusammenstellung von Literaturhinweisen zum Themengebiet Bioenergie – alternative Brennstoffe. Anschließend folgt eine Liste der Energie- und Technikberater in Deutschland sowie ein Adressverzeichnis der Universitäten, Fachhochschulen, Vereine und Verbände, die sich unter anderem mit Bioenergie im Gartenbau beschäftigen. Abschließend finden Sie Hinweise an welcher Stelle Sie umfassende und aktuelle Informationen über Kesselhersteller, Brennstofflieferanten und Planungsbüros in Ihrer Nähe beziehen können.

6.1 Literaturhinweise

Kostenfreie Literatur

Bioenergie allgemein

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Energieträger im Gartenbau – Alternativen zu Erdöl und Erdgas. Referat L3, Weinbau und Gartenbau, 2006.

(www.stmlf.bayern.de/gartenbau/erwerbsgartenbau/22409/)

Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoff (3N): Biogene Festbrennstoffe. 8-seitige Infobroschüre zur energetischen Nutzung von Scheitholz, Holzhackenschnitzeln, Holzpellets sowie Stroh und Getreide. 2005

(www.3-n.info/index.php?con_kat=118&con_lang=1)

FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. 353 S. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005. (www.fnr.de)

FNR (Hrsg.): Basisdaten Bioenergie Deutschland. Flyer der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005. (www.fnr.de)

FNR (Hrsg.): Basisdaten Biogas Deutschland. Flyer der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005. (www.fnr.de)

FNR (Hrsg.): Basisdaten Biokraftstoffe Deutschland. Flyer der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005. (www.fnr.de)

FNR (Hrsg.): Bioenergie. Informationsbroschüre der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005. (www.fnr.de)

FNR (Hrsg.): Konzept zur energetischen Nutzung von Biomasse. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2004. (www.fnr.de)

Hartmann, H., K. Thuncke, A. Höldrich und P. Rossmann: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Redaktion: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2003. (www.fnr.de)

Biobrennstoffe

Brökeland, R., R. Bühl und S. Hiendlmeier: Heizen mit Energiekorn. Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungsnetzwerk e. V. (C.A.R.M.E.N.), Straubing, 2006.

(www.carmen-ev.de/dt/hintergrund/publikationen/getreideheizen.pdf).

Heizen mit Getreide. 2006

(www.getreideheizung.de/info/getreideheizung.pdf).

FNR (Hrsg.): Holzpellets. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005. (www.fnr.de)

Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets. Deutscher Energie-Pellet-Verband e. V. (DEPV) Informationsblatt 01-2005-A. (www.depv.de/info_index.html)

KTBL-Arbeitsblätter:
(www.ktbl.de/ktbl_arbeitsblatt/inhalt_gartenbau.htm)
- Heise, P.: Brennstoffe im Gartenbau, 2000. Lfd. Nr. 0694.
- Brökeland, R.: Holz als Brennstoff im Gartenbau, 2001. Lfd. Nr. 0699.

Merkblätter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
(www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-merkblatt/):
- Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. Merkblatt Nr. 10, November 2002.
- Hackschnitzel richtig lagern. Merkblatt Nr. 11, Dezember 2002.
- Der Energiegehalt von Holz und seine Bewertung. Merkblatt Nr. 12, Dezember 2003.
- Anbau von Energiewäldern. Merkblatt Nr. 19, Juli 2005.

Biogas

Biogas – eine Einführung. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., 2. Auflage, Gülzow 2005. (www.fnr.de)

Biogas. 12-seitige Broschüre des Niedersachen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe (3N). (Infomaterial-Download: www.3-n.info)

Handreichung – Biogasgewinnung und -nutzung. Erstellt durch Institut für Energetik und Umwelt gGmbH in Kooperation mit der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft und dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. Herausgeber: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2004. (www.fnr.de)

Energieeinsparung

KTBL-Arbeitsblatt:
(www.ktbl.de/ktbl_arbeitsblatt/inhalt_gartenbau.htm)
- Bredenbeck, H.: Energieeinsparung durch Wärmedämmung der Gewächshauhülle, 2001. Lfd. Nr. 0698.

Landesinitiative Zukunftsenergien NRW: Der Weg zur Rationellen Energienutzung im Gartenbau (Top 10 der Energieeinsparung). (www.energieland.nrw.de/service/brosch_down/Bek_Gartenbau.pdf)

Kostenpflichtige Literatur

Bioenergie allgemein

Hartmann, H. und M. Kaltschmitt (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Band 3. 2. Aufl. Landwirtschaftsverlag, Münster, 2002. (www.fnr.de)

Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001.

Kleemann, M. und M. Meliß: Regenerative Energiequellen. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993.

Lange, D., G. Hack, N. Belker, M. Brockmann, O. Domke, S. Krusche, W. Sennekamp und F.-J. Vieweg: Rationelle Energienutzung im Gartenbau – Leitfaden für die betriebliche Praxis. Vieweg Verlag, 2002.

Biobrennstoffe

Mombächer, R. und H. Augustin (Hrsg.): Holz-Lexikon. DRW, Stuttgart, 1993.

Wippermann, H. J.: Wirtschaftliche Nutzung von Waldrestholz. Holzzentralblatt, DRW, Stuttgart, 1985.

Biogas

FNR (Hrsg.): Trockenfermentation – Stand der Entwicklungen und weiterer F+E-Bedarf. Gülzower Fachgespräche, Band 24. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2006. (www.fnr.de)

Energieeinsparung

Gartenbau-Versicherung (Hrsg.): Heizkosten sparen. Beiträge zur Betriebssicherheit 22, 4. Aufl., Gartenbauversicherung, Wiesbaden, 2000.

KTBL-Veröffentlichungen (<https://sec.ktbl-shop.de>):

- Tantau, H.-J.: Pufferspeicherauslegung und -einbindung. 2006. Lfd. Nr. 07180. Bestellnr. 26718.
- Brennpunkt Energie: Reduktion von Energiekosten im Gartenbau. Beiträge der IPM-Lehrschau 2006 vom 02.–05. Februar 2006. Bestellnr. 40056.



6.2 Technik-/Energieberater

Im Folgenden eine nach Postleitzahlen sortierte Auflistung der Technik- und Energieberater für den Gartenbau in Deutschland.

PLZ-Bereich 0

Dr. Wilfried Marx
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft Fachbereich Gartenbau und Landespflege mit Lehranstalt Dresden-Pillnitz
Söbrigener Straße 3a
01326 Dresden-Pillnitz
Tel.: 0351/2612-708
wilfried.marx@pillnitz.lfl.smul.sachsen.de

Reinhard Gierschner
Staatliches Amt für Landwirtschaft und Gartenbau Großenhain
Remonteplatz 2
01558 Großenhain
Tel.: 03522/311-503
reinhard.gierschner@afl10.smul.sachsen.de

Iris Winter
Staatliches Amt für Landwirtschaft und Gartenbau Rötha-Wurzen
Johann-Sebastian-Bach-Platz 1
04571 Rötha
Tel.: 034206/589-37
iris.winter@afl07.smul.sachsen.de

PLZ-Bereich 2

Fritz S. Sollmann
Landwirtschaftskammer Hamburg Abteilung Gartenbauberatung
Ochsenwerder Landscheideweg 277
21037 Hamburg
Tel.: 040/7372547
lwk.sollmann@t-online.de

Thomas Daniel
Gartenbauzentrum der Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
Thiensen 16
25373 Ellerbek
Tel.: 04120/7068-136
tdaniel@lksh.de

Torsten Plagemann
Gartenbaukammer Bremen
Johann-Neudörffer-Str. 2
28355 Bremen
Tel.: 0421/53641-20
plagemann@hdgbremen.de

PLZ-Bereich 3

Werner Gabloffsky
Gödinger Straße 23
31157 Sarstedt
Tel.: 05066/1427
werner@gabloffsky.de

PLZ-Bereich 4

Otto Domke
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Gartenbauzentrum Straelen, Köln-Auweiler
Hans-Tenhaeff-Str. 40 - 42
47638 Straelen
Tel.: 02834/704-124
otto.domke@lwk.nrw.de

Björn Wenzel
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Gartenbauzentrum Straelen, Köln-Auweiler
Hans-Tenhaeff-Str. 40 - 42
47638 Straelen
Tel.: 02834/704-156
bjoern.wenzel@lwk.nrw.de

Norbert Belker
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münsterstr. 62-68
48167 Münster
Tel.: 02506/309-613
norbert.belker@lwk.nrw.de

Walter Sennekamp
Grottenkamp 24
48308 Senden
Tel.: 02597/8584
wsennekamp@t-online.de

PLZ-Bereich 5

Franz-Josef Viehweg
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen Gartenbauzentrum Straelen/Köln-Auweiler Beratung Baumschule
Gartenstraße 11
50765 Köln
Tel.: 0221/5340-176
franz-josef.viehweg@lwk.nrw.de

Gabriele Hack
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Endenicher Allee 60
53115 Bonn
Tel.: 0228/703-1325
gabriele.hack@lwk.nrw.de

PLZ-Bereich 6

Jörg Simon
LLH Friedberg Beratungsstelle Gartenbau
Homburger Str. 17
61169 Friedberg
Tel.: 06031/6008-93
simonj@llh.hessen.de

Jürgen Zörner
LLH Wiesbaden Beratungsstelle Gartenbau
Mainzer Str. 17
65185 Wiesbaden
Tel.: 0611/39236-45
zoernerj@llh.hessen.de

Elmar Thewes
Landwirtschaftskammer für das Saarland C2 Gartenbau, Obst- und Weinbau
Dillinger Str. 67
66822 Lebach
Tel.: 06881/928-104
lwk-saar-thewes@t-online.de

Dr. Karl Schockert
Dienstleistungszentrum ländlicher Raum (DLR) - Rheinpfalz - Abteilung Gartenbau
Breitenweg 71
67435 Neustadt/W.
Tel.: 06321/671-235
karl.schockert@dlr.rlp.de

PLZ-Bereich 7

Peter Heise
Landratsamt Ludwigsburg Fachbereich Landwirtschaft
Auf dem Wasen 9
71640 Ludwigsburg
Tel.: 07141/144-4956
peter.heise@landkreis-ludwigsburg.de

Ralf Ludewig
Landratsamt Tübingen Abt. 40 Landwirtschaft, Bau-recht und Naturschutz
Wilhelm-Keil-Str. 50
72072 Tübingen
Tel.: 07071/207-4032
r.ludewig@kreis-tuebingen.de

Katja Wenkert
Landratsamt Karlsruhe, Fachbereich II – Landwirtschaftsamt
Beiertheimer Allee 2
76137 Karlsruhe
Tel.: 07251/74-1834
lwa.gow@landratsamt-karlsruhe.de

Peter Berwanger
Landratsamt Breisgau-Hochschwarzwald, Fachbereich 580 Landwirtschaft
Europaplatz 3
79206 Breisach
Tel.: 0761/2187-5835
peter.berwanger@lkbh.de

PLZ-Bereich 8

Petra Scherbauer
Amt für Landwirtschaft und Forsten Landshut Gartenbauzentrum Bayern Süd-Ost
Am Lurzenhof 3
84036 Landshut
Tel.: 0871/975189-555
petra.scherbauer@alf-la.bayern.de

Stefan Wiegert
Amt für Landwirtschaft und Forsten Augsburg Abteilung Gartenbau
Johann-Niggel-Str. 7
86316 Friedberg
Tel.: 0821/26091-135
stefan.wiegert@alf-au.bayern.de



PLZ-Bereich 9

Corina Finke
Amt für Landwirtschaft und Forsten Fürth Gartenbauzentrum Bayern Mitte
Jahnstr. 7
90763 Fürth
Tel.: 0911/99715-412
corina.finke@alf-fu.bayern.de

Helmut Kanz
Amt f. Landwirtschaft u. Forsten Kitzingen Dienstort Bamberg
Galgenfuhr 21
96050 Bamberg
Tel.: 0951/91726-137
helmut.kanz@alf-kt.bayern.de

Dr. Carsten Reuter
Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau
An der Steige 15
97209 Veitshöchheim
Tel.: 0931/9801-164
carsten.reuter@lwg.bayern.de

Stefan Kirchner
Amt für Landwirtschaft und Forsten, Gartenbauzentrum Bayern Nord
Mainbernheimer Str. 103
97318 Kitzingen
Tel.: 09321/3009-184
stefan.kirchner@alf-kt.bayern.de

6.3 Universitäten und Fachhochschulen

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik
Herrenhäuser Str. 2
30419 Hannover
Tel.: 0511/762-2646
Fax: 0511/762-2649
info@bgt.uni-hannover.de
- Prof. Dr. Hans-Jürgen Tantau, Tel.: 0511/762-2647,
Tantau@bgt.uni-hannover.de
- Dr. Isabelle Schuster, Tel.: 0511/762-5344,
Schuster@bgt.uni-hannover.de
www.bgt.uni-hannover.de

Technische Universität München
Fachgebiet Technik im Gartenbau
Dürnast 4
85253 Freising
Tel.: 08161/71-3443
Fax: 08161/71-3723
gartentec@wzw.tum.de
- Prof. Dr. Joachim Meyer, Tel.: 08161/71-3448,
Joachim.Meyer@wzw.tum.de
- Carina Menk, Tel.: 08161/71-3447,
Carina.Menk@wzw.tum.de
- Markus Pietzsch, Tel.: 08161/71-3447,
Markus.Pietzsch@wzw.tum.de
www.tec.wzw.tum.de/gartentech/deutsch/index.html

Humboldt-Universität zu Berlin
Fachgebiet Gartenbautechnik
Lentzeallee 55/57
14195 Berlin
Tel.: 030/3147-1315
Fax: 030/3147-1142
- Prof. Dr. Uwe Schmidt, Tel.: 030/31471-314,
U.Schmidt@agrار.hu-berlin.de
- Christian Huber, Tel.: 030/31471-130,
christian.huber@agrار.hu-berlin.de
www.plantputer.net

Universität Kassel
Forschungsschwerpunkt Bioenergie
<http://cms.uni-kassel.de/index.php?id=1297>

Fachhochschule Osnabrück
Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur
Prof. Dr. Bertram, Andreas
Oldenburger Landstraße 24
49090 Osnabrück
Tel.: 0541/969-5176
Fax: 0541/969-5051
a.bertram@fh-osnabrueck.de
www.al.fh-osnabrueck.de

Fachhochschule Trier
Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (IfaS)
Standort Umwelt-Campus Birkenfeld
Postfach 13 80
D-55761 Birkenfeld
- Bernhard Wern (fachlich), Tel.: 06782/171-569
- Kerstin Schäfer (technisch), Tel.: 06782/171-953
Fax: 06782/171264
Biomasseportal Rheinland-Pfalz:
www.biomasse-rlp.de/hib/

6.4 Vereine und Verbände

AG Bio-Rohstoffe

kontakt@nawaro-kommunal.de

www.nawaro-kommunal.de

- Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH

Werner-Eisenberg-Weg 1

D-37213 Witzenhausen

Tel.: 05542/9380-0

Fax: 05542/9380-77

- Ingenieurgemeinschaft Witzenhausen

Fricke & Turk GmbH

Bisshäuser Aue 12

D-37213 Witzenhausen

Tel.: 05542/9308-0

Fax: 05542/9308-20

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

Hofplatz 1

18276 Gülzow

Tel.: 03843/6930-199

Fax: 03843/6930-102

info@fnr.de

www.fnr.de

www.bio-energie.de

Forschungsgemeinschaft Biologisch Abbaubare Werkstoffe e. V. (FBAW)

Christopher Straeter

Herrenhäuser Str. 2

D-30419 Hannover

Tel.: 0511/762-3885

Fax: 0511/762-2649

straeter@fbaw.uni-hannover.de

www.fbaw.uni-hannover.de

3N-Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe

info@3-n.info

www.3-n.info/

- Geschäftsstelle Werlte

Dr. Marie-Luise Rottmann-Meyer

Kompaniestraße 1

49757 Werlte

rottman@3-n.info

Tel.: 05951/9893-12

Fax: 05951/9893-11

- Büro Göttingen

Michael Kralemann

Rudolf-Diesel-Str. 12

37075 Göttingen

kralemann@3-n.info

Tel.: 0551/30738-18

Fax: 0551/30738-21

Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe Straubing

Schulgasse 18

94315 Straubing

www.konaro.bayern.de

- Wissenschaftszentrum

Tel.: 09421/187-101

Fax: 09421/187-111

contact@wissenschaftszentrum-straubing.de

www.wissenschaftszentrum-straubing.de

- Technologie- und Förderzentrum

Tel.: 09421/300-216

Fax: 09421/300-211

poststelle@tfz.bayern.de

www.tfz.bayern.de

- C.A.R.M.E.N. e. V.

Tel.: 09421/960-300

Fax: 09421/960-333

contact@carmen-ev.de

www.carmen-ev.de

HeRo

Kompetenzzentrum für HessenRohstoffe e. V.

Am Sande 20

37213 Witzenhausen

Tel.: 05542/6003-350

Fax: 05542/6003-358

www.hero-hessen.de

Kompetenznetzwerk Dezentrale Energietechnologien e. V. (deENet)

Ständeplatz 15

34117 Kassel

Tel.: 0561/788096-10

Fax: 0561/788096-22

info@deenet.org

www.deenet.org/

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)

Fachgruppe Technik und Bauwesen im Gartenbau

Godesberger Allee 142-148

53175 Bonn

- Thomas Hölscher, Tel.: 0228/81002-21,

t.hoelscher@ktbl.de

- Till Belau, Tel.: 0228/81002-20,

t.belau@ktbl.de

www.ktbl.de



Zentralverband Gartenbau (ZVG)

info@g-net.de

www.g-net.de/index.php

- **Standort Bonn**

Godesberger Allee 142-148

53175 Bonn

Postfach 20 14 63, 53144 Bonn

Tel.: 0228/81002-0

Fax: 0228/81002-48

info@g-net.de

- **Standort Berlin**

Claire-Waldoff-Straße 7

10117 Berlin

Tel.: 030/200065-0

Fax: 030/200065-27

6.5 Herstellerverzeichnis und Planungsbüros

Auf den Internetseiten der Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e. V. (FNR) (www.bio-energie.de) finden Sie unter dem Menüpunkt „Datenbank“ umfassende Adresslisten zu folgenden Bereichen:

Biomasse allgemein

- Brennstoffhändler
- Planungsbüros für Biomasseanlagen

Feste Biomasse

- Marktübersicht Pelletkessel
- Hersteller von Pellets
- Anbieter von Pelletier- und Brikettieranlagen
- Anbieter von Pelletkesseln
- Anbieter von Hackschnitzelkesseln
- Anbieter von Strohfeuerungsanlagen

Flüssige Biomasse

- Anbieter BHKW
- Anbieter Pressen
- Motorenumrüster
- Anbieter Tanksysteme

Biogas

- Anbieter und Planungsbüros



Literaturverzeichnis



/AltholzV 2002/

Altholz V: Verordnung über die Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz vom 15.8.2002. BGBl. I S. 3302, 2002.

/BAFA 2006/

BAFA: Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

www.bafa.de/1/de/aufgaben/energie/erneuerbare_energien.php (28.05.2006).

/Baumbach 1994/

Baumbach, G.: Luftreinhaltung. Springer Verlag, Berlin, 1994. (Abb. 7.9, S. 348. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Science and Business Media)

/BGT 2006/

Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik, Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover. www.bgt.uni-hannover.de.

/BIOS 2006/

BIOS: Bioenergiesysteme GmbH. www.bios-bioenergy.at

/BIZ 2002/

BIZ: Holzpellets. Energiem die nachwächst. Informationsbroschüre des Biomasse Info-Zentrums (BIZ), Juni, 2002.

/BLT Wieselburg 2005/

Lasselsberger, L.: HBLuFA Wieselburg, BLT – Biomass | Logistics | Technology. Österreich. <http://blt.josephinum.at>

/BMU 2006/

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. www.bmu.de.

- Mindestvergütungssätze nach dem EEG mit Beispielskalkulationen: www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/verguetungssaetze_nach_eeg.pdf

- TA-Luft: www.bmu.de/luftreinhaltung/ta_luft/doc/2594.php

/BMU 2006a/

BMU (Hrsg.): Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung. Stand Mai 2006. Umweltpolitik.

/Brökeland 1998/

Brökeland, R.: Planungsprogramm zur Nutzung von Biomasse für die Heizenergieversorgung in Gewächshäusern – HORTEB. Gartenbautechnische Information, Heft 44. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover, 1998.

/Brökeland 2001/

Brökeland, R.: Holz als Brennstoff im Gartenbau. KTBL, Darmstadt (KTBL-Arbeitsblatt Gartenbau 0699), 2001.

/Brökeland 2003/

Brökeland, R.: Handbuch zum Planungsprogramm HORTEB. 2. Auflage. Gartenbautechnische Informationen, Heft 51. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover, 2003.

/Brökeland 2004/

Brökeland, R.: Heizen mit Getreide. Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungsnetzwerk e. V. (C.A.R.M.E.N.), Straubing, 2004.

/Brüggemann 2001/

Brüggemann, C.: Getreideverbrennung contra Welt-hunger? In: Energie Pflanzen 3, S. 15-17. 2001.

/Brüggemann 2006/

Brüggemann, C.: Wärmeerzeugung aus Getreide und Stroh. Vortrag im Rahmen der Tagung „Wärmeerzeugung aus biogenen Festbrennstoffen“. Veranstalter: Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe Kompetenzzentrum (3N) und Landkreis Aurich. Aurich, 23.03.2006.

/Bursche 1983/

Bursche, R.: Hackschnitzel aus Schwachholz- KTBL Schrift 290, Landwirtschaftsverlag, Münster, 1983.

/CEN 2004/

CEN: Standards for solid biofuels: „Solid biofuels – Fuel specifications and classes“ CEN TC 335 Solid Biofuels, Working Group 2.

/DEPV 2005/

DEPV: Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets. Informationsblatt 01-2005-A. Deutscher Energie-Pellet-Verband e. V., Mannheim, 2005.

/DIN 4701/

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 4701 (Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden), 1983.

/DIN 51 705/

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 51 705 (Prüfung fester Brennstoffe – Bestimmung der Schüttdichte). Beuth, Berlin, 1979.

/DIN 51 731/

Deutsches Institut für Normung (Hrsg.): DIN 51 731 (Prüfung fester Brennstoffe – Presslinge aus naturbelas- senem Holz – Anforderungen und Prüfung). Beuth, Berlin, 1996.

/DüMV 2003/

DüMV: Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten, und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung-DüMV) vom 26.November 2003.

/Fichtner 2000/

Fichtner GmbH & Co. KG, Stuttgart. In: Leitfaden Bio- energie, Sonderpublikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR), Gülzow, 2000.

/Flubacher 2006/

Flubacher, K.: Wir wollen Gärtner sein. Nach wie vor. Taspo 140, Nr. 15, S. 5. 2006.

/FNR 2001/

Hartmann, H.: Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen. In: Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzenge- treide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Gülz- ower Fachgespräche Band 17. Fachagentur Nachwach- sende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2001.

/FNR 2003/

Hartmann, H., K. Thuncke, A. Höldrich und P. Rossmann: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Redaktion: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2003.

/FNR 2005/

FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/FNR 2005a/

FNR (Hrsg.): Biogas – eine Einführung. 2. Aufl. Fach- agentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/FNR 2005b/

FNR (Hrsg.): Basisdaten Bioenergie Deutschland. Stand August 2005. Faltblatt der Fachagentur Nachwach- sende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/FNR 2006/

Handreichung – Biogasgewinnung und -nutzung. 3. überarbeitete Auflage. Erstellt durch Institut für Energetik und Umwelt gGmbH in Kooperation mit der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft und dem Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Land- wirtschaft e. V. Herausgeber: Fachagentur Nachwach- sende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2004.

/FNR-Bioenergie 2006/

FNR: Beratung der FNR zum Thema Bioenergie. www.bio-energie.de. 2006.

/FNR 2006a/

FNR (Hrsg.): Analyse und Evaluierung der thermo-che- mischen Vergasung von Biomasse. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 29. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2006.

/Fritz und Kern 1992/

Fritz, W. und H. Kern: Reinigung von Abgasen. 3. Auf- lage, Vogel, Würzburg, 1992.

/Gartenbau-Versicherung 2000/

Gartenbau-Versicherung (Hrsg.): Heizkosten sparen. Beiträge zur Betriebssicherheit 22, 4. Aufl., Gartenbau- versicherung, Wiesbaden, 2000.

/Gimmelsberger 2006/

Gimmelsberger, J.: Efficient Energy supply (Electricity and District Heat) for the City of Linz, 2006. www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthe- men/industrie/IPPC_Konferenz/Gimmelsberger_.pdf (28.06.2006).

/Hack 2005/

Mündliche Information von Gabriele Hack, Landwirt- schaftskammer Nordrhein-Westfalen, Rheinland, Zent- rale Bonn.

/HG 2006/

Heizen mit Getreide. www.getreideheizung.de. 2006.

/Hartmann 1996/

Hartmann, H.: Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut. Reihe „Gelbes Heft“ 60, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, 1996.

/Hartmann 2001/

Hartmann, H.: Transport, Lagerung, Konservierung und Trocknung. In: Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001. (Abb. 7.6, S. 216. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Science and Business Media)

/Hartmann und Kaltschmitt 2002/

Hartmann, H. und M. Kaltschmitt (Hrsg.): Biomasse als erneuerbarer Energieträger. Schriftenreihe „Nachwach- sende Rohstoffe“ der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Band 3. 2. Aufl. Landwirtschafts- verlag, Münster, 2002.

/Hartmann und Höldrich 2003/

Hartmann, H. und A. Höldrich: Bereitstellung von Fest- brennstoffen. In: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2003.

/Hartmann und Rossmann 2003/

Hartmann, H. und P. Rossmann: Feuerungen und Anla- gentechnik. In: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2003.

- /Hartmann 2005/
Hartmann, H.: Produktion, Bereitstellung und Eigenschaften biogener Festbrennstoffe. In: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.
- /Hartmann 2007/
Hartmann, H.: Brennstoffeigenschaften und Mengenplanung. In: Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2006.
- /Hemme 2000/
Hemme, T.: Ein Konzept zur international vergleichenden Analyse von Politik- und Technikfolgen in der Landwirtschaft. Hrsg.: Bundesanstalt für Landwirtschaft (FAL), Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft 215, Braunschweig, 2000.
- /Hofmann 1998/
Hofmann, M.: Bewirtschaftung schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen im Kurzumtrieb. Forschungsinstitut für schnellwachsende Baumarten, Merkblatt 11. Hann. Münden, 1998.
- /IE 2003/
IE: Institut für Energetik und Umwelt gGmbH: Monitoring zur Biomasseverordnung auf Basis des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus Umweltsicht. Endbericht, Leipzig, Dezember 2003.
- /IE 2004a/
IE: Berechnungen des Instituts für Energetik und Umwelt. 2004.
- /IVD 2000/
IVD: Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen, Universität Stuttgart. In: FNR (Hrsg.): Leitfaden Bioenergie, Sonderpublikation des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML) und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 1. Aufl., Gülzow, 2005.
- /Jirjis 1996/
Jirjis, R.: Storage and Drying of Biomass – New Concepts. Proceedings of the 1st International Biomass Summer School 1996, Institut für Verfahrenstechnik, TU-Graz, Selbstverlag, Graz, 1996.
- /Kaltschmitt und Hartmann 2001/
Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001.
- /Kleemann und Meliß 1993/
Kleemann, M. und M. Meliß: Regenerative Energiequellen. 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1993.
- /KÖB 2006/
KÖB & SCHÄFER GmbH. www.koeb-schaefer.com.
- /Kralemann 2006/
Kralemann, M.: Statusbericht – Kraft-Wärme-Kopplung mit biogenen Festbrennstoffen im kleineren Leistungsbereich. 3N-Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe, Büro Göttingen, Januar 2006.
- /KTBL 2006/
KTBL (Hrsg.): Brennpunkt Energie – Reduktion von Energiekosten im Gartenbau. Beiträge zur IPM-Lehrschau 2006 vom 2. bis 5. Februar 2006 in Essen. KTBL-Heft 56. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, 2006.
- /KTBL 2006a/
KTBL (Hrsg.): Energiesparende Maßnahmen – Checkliste mit Maßnahmen zur Minderung von Energieverlusten. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, 2006. Kostenlos verfügbar unter: www.ktbl.de/gartenbau/index.htm
- /KTBL 2006b/
KTBL (Hrsg.): Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas. <http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do>
- /Lange et al. 2002/
Lange, D., G. Hack, N. Belker, M. Brockmann, O. Domke, S. Krusche, W. Sennekamp und F.-J. Vieweg: Rationelle Energienutzung im Gartenbau – Leitfaden für die betriebliche Praxis. Vieweg Verlag, 2002.
- /Leuchtweis 2004/
Leuchtweis, C.: Energiebereitstellung durch Biomasseheizwerke in Bayern. In LWF aktuell 48, S. 6. 2004.
- /Linka/
Linka Maskinfabrik (Firmenunterlagen), Lem, Dänemark.
- /Ludolph 2006/
Ludolph, D.: Energiesparen mit dynamischen Regelstrategien. Deutscher Gartenbau 60, Nr. 26, S. 29. 2006.
- /LWF 2005/
Burger, F., W. Sommer und G. Ohrner: Anbau von Energiewäldern. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.), Merkblatt 19, Juli 2005.
- /Mitchell et al. 1990/
Mitchell, C. P., J. B. Hudson, D. N. A. Gardner, P. G. S. Storry and I. M. Gray: Wood fuel supply strategies. Vol. 1: Contractor Report, ETSU B1176-P1, Department of Energy, UK, 1990.
- /MLR 2005/
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg (Hrsg.): Energieträger im Gartenbau – Alternativen zu Erdöl und Erdgas. Referat Garten-, Obst und Weinbau, Stuttgart, 2005.
- /Mombächer und Augustin 1993/
Mombächer, R. und H. Augustin (Hrsg.): Holz-Lexikon. DRW, Stuttgart, 1993.
- /3N 2005/
Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoff (3N): Biogene Festbrennstoffe. 8-seitige Infobroschüre zur energetischen Nutzung von Scheitholz, Holzhackschnitzeln, Holzpellets sowie Stroh und Getreide. 2005.
- /3N 2006/
Niedersachsen Netzwerk Nachwachsende Rohstoff (3N): Biogas. 12-seitige Infobroschüre. 2006.



/Nussbaumer et al. 1994/

Nussbaumer, T., P. Hasler, A. Jenni, M. Erny und W. Vock: Emissionsarme Altholznutzung in 1-10 MW Anlagen. DIANE Energie 2000 Programm, Eidgenössische Drucksachen und Materialzentrale, EDMZ-Nr. 805 180 d, Bern, 1994.

/Nussbaumer 2001/

Nussbaumer, T.: Abgasreinigung und -kondensation. In: Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001. (Abb. 9.63, S. 377. Mit freundlicher Genehmigung von Springer Science and Business Media)

/Nussbaumer und Hartmann 2001/

Nussbaumer, T. und H. Hartmann: Automatisch beschickte Feuerungen. In: Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001.

/Oberberger 2001/

Oberberger, I.: Direkte thermischer Umwandlung (Verbrennung): Aschen und deren Verwertung. In: Kaltschmitt, M. und H. Hartmann (Hrsg.): Energie aus Biomasse – Grundlagen, Techniken und Verfahren. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2001.

/ÖNORM M7133/

ÖNORM M7133: Holzhackgut für energetische Zwecke – Anforderungen und Prüfbestimmungen. Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Wien, Österreich, 1998.

/Philipp 2006/

Philipp, I.: Energetische Nutzung von Biomasse im Unterglasgartenbau. Posterbeitrag zur Lehrschau „Brennpunkt Energie“, Internationale Pflanzenmesse (IPM) 02.–05.02.2006, Essen.
www.ktbl.de/gartenbau/ipm-2006/index.htm (24.06.2006).

/Raab et al. 2005/

Raab, K., B. Jahraus, P. Heinrich, V. Siegele und H. Spliethoff: Feuerungstechniken für die Biomasseheizung. In: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/Raab et al. 2005a/

Raab, K., B. Jahraus, P. Heinrich, V. Siegele und H. Spliethoff: Spitzen-/Reservelast-Bereitstellung. In: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/Raab et al. 2005b/

Raab, K., V. Siegele und H. Spliethoff: Möglichkeiten der Emissionsminderung. In: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/Rath 2001/

Rath, T. (2001): Hortex 3.0 – grafisches Softwaresystem zur Planung der Energieversorgung von Gewächshausanlagen.
www.bgt.uni-hannover.de/hortex.html (28.06.2006).

/Rittel 1990/

Rittel, L.: Einfachgebäude mit Rundholz bauen. Top Agrar, 10, S. 84–88, 1990.

/Rosenqvist und Aasling 2000/

Rosenqvist, E. und J. Mansanti Aasling: Intelligrow – a new climate control concept. Grön Viden 122, S. 1–8. 2000.

/Schön et al. 1998/

Schön, H. et al.: Die Landwirtschaft Band 3, Landtechnik Bauwesen. 9. Aufl., BLV Buchverlag GmbH & Co.KG, München, 1998.

/Schreiner 2006/

Schreiner, M.: Scheitholz-Pellets-Kombikessel.
www.energieberatung.ibs-hlk.de/planpellet_kombike.htm (27.05.2006).

/Schröder et al. 2005a/

Schröder, G., B. Jahraus, P. Heinrich, V. Siegele und H. Spliethoff: Brennstofflagerung. In: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/Schröder et al. 2005b/

Schröder, G., B. Jahraus, P. Heinrich, V. Siegele und H. Spliethoff: Lagerein- und -austagssysteme. In: Leitfaden Bioenergie – Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 2. Aufl. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Gülzow, 2005.

/Schuster 2006/

Schuster, I.: Fachgebiet Biosystem- und Gartenbautechnik, Institut für Biologische Produktionssysteme, Leibniz Universität Hannover, 2006.

/Sennekamp 2006/

Sennekamp, W.: Wohin mit kurzfristig überschüssiger Wärme? – Wärmespeicher im Gartenbau. Vortrag auf dem Ahlemer Betriebsleitertag, Hannover, 18.01.2006.

/Seyfert und Conrad 2006/

Seyfert, Ch. und Ch. Conrad: Medien-Information – Zu Gast bei Freunden auch in Dithmarschen: Estlands Landwirtschaftsministerin Ester Tuiksoo besucht die Hennstedter Biokraft und die Gewächshaus GmbH. Presstext des Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume. 21. Juni 2006.

/Siegle et al. 1997/

Siegle, V., D. Förtsch, H. Spliethoff, K. Hein, J. Sontow, M. Kaltschmitt, H. Maier und B. Reinicke: Untersuchungen zur Umrüstung eines Steinkohlekraftwerkes für die Mitverbrennung von Biomasse. Fortschrittliche Energiewandlung und -anwendung, Bd. 1, VDI-Bericht 1321, Bochum, 1997.

/Spliethoff 2000/

Spliethoff, H.: Verbrennung fester Brennstoffe zur Strom- und Wärmeerzeugung. Fortschritt-Bericht VDI, Reihe 6, Nr. 443. 2000.

/STMLF 2001/

Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Beratungsservice – Heizkosten im Gartenbau. 24-seitige Broschüre der Arbeitsgruppe „Energieeffizienz“ der Länder Bayern und Baden-Württemberg, 2001. Kostenlos verfügbar unter: www.stmlf.bayern.de/gartenbau/erwerbsgartenbau/heizkosten_gartenbau.pdf

/Tantau 1983/

Tantau, H.-J.: Heizungsanlagen im Gartenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 1983.

/Tantau 2006/

Tantau, H.-J.: Pufferspeicherauslegung und -einbindung. Taspo Magazin, 6/2006, S. 31–37. KTBL, Darmstadt (KTBL-Arbeitsblatt Gartenbau 0718), 2006.

/TFZ 2005/

Technologie- und Förderzentrum, Straubing, 2005.

/Thuneke et al. 2002/

Thuneke, K., E. Remmele und B. Widmann: Pflanzenölbetriebene Blockheizkraftwerke – Leitfaden. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München (Materialien Umwelt & Entwicklung Bayern 170), 2002.

/Thuneke 2006/

Thuneke, K.: Pflanzenöl als Kraftstoff für BHKW. In: Brennpunkt Energie – Reduktion von Energiekosten im Gartenbau. Beiträge zur IPM-Lehrschau 2006 vom 2. bis 5. Februar 2006 in Essen. KTBL-Heft 56. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, 2006.

/Widmann und Thuneke 2000/

Widmann, B. und K. Thuneke: Energetische Nutzung von Pflanzenölen in BHKW: Die Praxis im Spiegel der derzeitigen Nutzung. Gülzower Fachgespräche: „Energetische Nutzung von Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung“, 2000.

/Wippermann 1985/

Wippermann, H. J.: Wirtschaftliche Nutzung von Waldrestholz. Holzzentralblatt, DRW, Stuttgart, 1985.



Für Ihre Notizen

