Gartenbauwissenschaft, 65 (4). S. 145–149, 2000, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

HORTEB – Planungsprogramm für die Heizenergieerzeugung mit Biomasse im Gartenbau – Teil 2: Analyse der im Programm eingehenden Parameter

HORTEB – Planningprogram for greenhouse heating by biomass fuels – Part 2: Analysis of the parameter contains in the program

(gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten)

Ruth Brökeland
Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover

Zusammenfassung

In Teil 1 dieses Beitrags wurden die Grundlagen, der Ablauf des Programms und die darin eingehenden Parameter erläutert. Nun werden die Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen vorgestellt, bei denen die Parameter in ihrem Einfluss auf die Wärmegestehungskosten untersucht wurden.

Der wirklich entscheidende Faktor, der die Wirtschaftlichkeit einer Biomassefeuerung bestimmt, ist der *Preis für fossile Brennstoffe*, allen voran der Heizölpreis und daran gekoppelt der Preis für Erdgas. Weitere wichtige Einflüsse auf die Wärmegestehungskosten haben die Betriebsweise der Feuerungsanlage, die Anlagengröße und die Nutzungsdauer. Der Einfluss des Wärmebedarfs nimmt mit zunehmender Größe der Feuerungsanlage ab. Der zugrunde gelegte Zinssatz hat wie bei allen fremd-finanzierten Investitionen ebenfalls einen nicht zu unterschätzenden Einfluss. Dagegen erhöhen sich die Wärmegestehungskosten mit zunehmender Transportentfernung nur in relativ geringem Maße. Trotzdem sollten Transporte zur Vermeidung von Umweltbelastungen wie Abgase, Lärm und erhöhtes Verkehrsaufkommen auf möglichst kurzen Strecken erfolgen.

Summary

At the Institute for Horticultural and Agricultural Engineering of the University of Hannover the planning program HORTEB ("Horticultural Energy Supply with Biomass") was developed (BRÖKELAND 1998). With this program the energetic use of biomass for heat production can bei planned with consideration of complete process engineering chains. This investigation and the creation of the program were financed by the Federal Minstry for Food, Agriculture and Forestry. The first part of this aritcle described the basics, the sequence of the program and the including parameters. Part 2 presents the results of an analysis of the parameters.

The parameters which are received in the planning program HORTEB were tested in analyses of sensitivity in their effect on the heat production costs. The most important factor, which determines the economy of a biomass firing, is the fuel oil price and the price for natural gas. Further important effects on the heat production costs have the mode of operation of the firing unit (monovalent or bivalent), the unit size and the service life. The effect of the heat requirement decreases with increasing size of the firing unit. The interest rate does have also a great effect on the heat production costs like all foreignfinanced investments do. On the other hand the heat production costs increase relatively low with increasing transportation distance. Nevertheless transportation distances should be as short a as possible to avoid environmental impacts such as exhaust gases, noise and increased traffic volume.

Einleitung

Am Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft der Universität Hannover wurde ein EDV-Programm erstellt, mit dem die energetische Nutzung von Biomasse als Festbrennstoff zur Wärmeerzeugung unter Berücksichtigung vollständiger verfahrenstechnischer Ketten geplant werden kann. Für jeden Einzelfall werden Wirtschaftlichkeitsberechnungen und eine ökologische Bewertung durchgeführt, wobei die Ermittlung der Wirtschaftlichkeitsschwelle der Biomassenutzung in Abhängigkeit vom Heizöl- oder Erdgaspreis eine der wichtigsten Funktionen des Programms darstellt. Die Erstellung des Programms wurde durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziert und erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft in Hamburg.

Vor der Berechnung einer Planungsvariante müssen einige Eingaben zu den Grunddaten (Standort, Gebäudetyp, Gesamtleistung der Feuerungsanlage, mono- oder bivalente Betriebsweise, u. a.) und zu den verfahrenstechnischen Ketten der ausgesuchten Biobrennstoffe gemacht werden. Nach der Berechnung erscheint ein mehrseitiges Lösungsblatt, in dem der Brennstoffbedarf und die Potentiale im betreffenden Landkreis, die Wärmegestehungskosten, die CO_2-Emissionen und die Energiebilanzen ausgewiesen werden. Zur besseren Nachvollziehbarkeit des Ergebnisses werden die zur Berechnung herangezogenen Arbeitsschritte markiert.

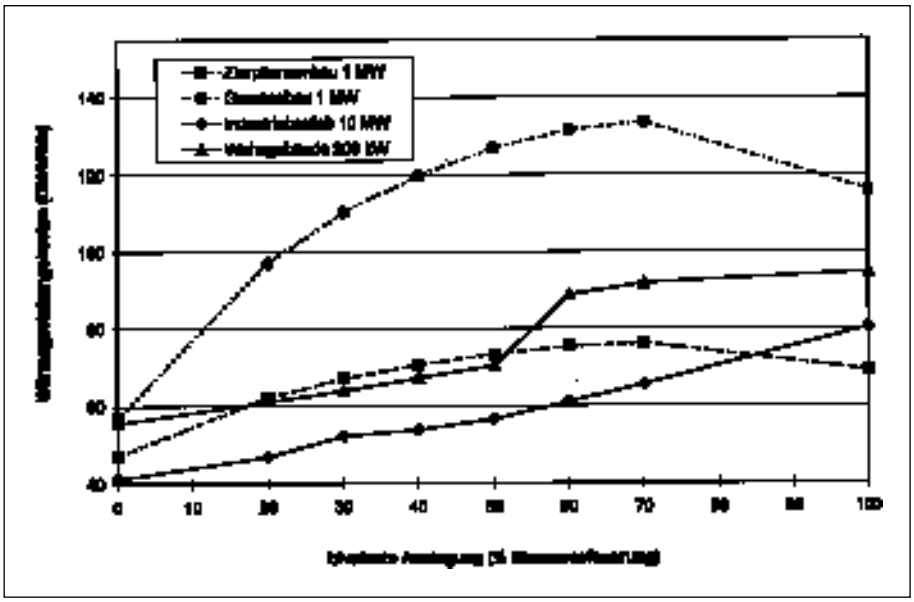


Abb. 1: Einfluss der mono- bzw. bivalenten Betriebsweise von Feuerungsanlagen auf die Wärmegestehungskosten
Influence of monovalent and bivalent operation of firing units on the heat production costs

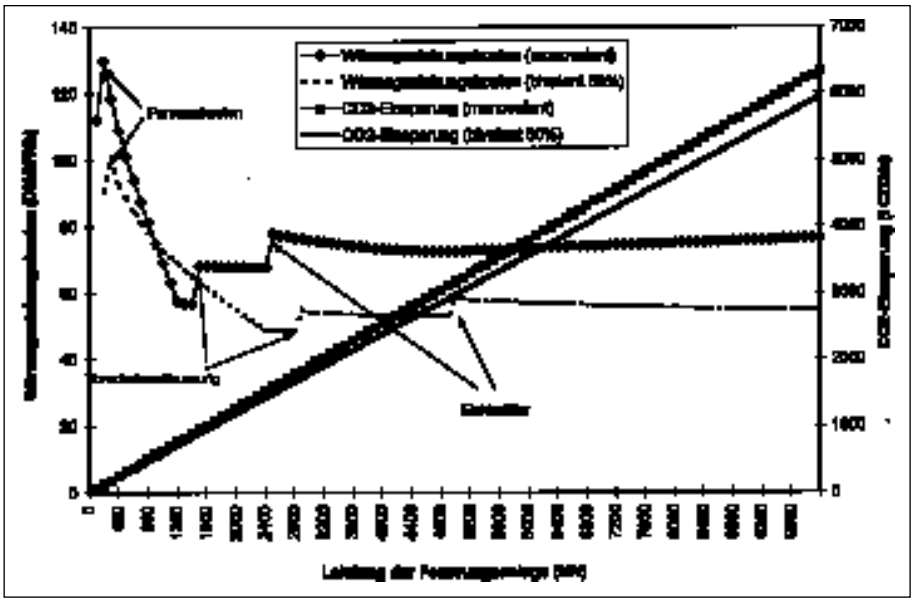


Abb. 2: Einfluss der Anlagengröße (monovalent und bivalent zu 50 %) auf die Wärmegestehungskosten und die CO_2-Einsparung gegenüber der konventionellen Heizölnutzung am Beispiel eines Gewächshauses im Zierpflanzenbau
Influence of the size of combustion plants (monovalent and bivalent operation at 50 %) on the heat production costs and on the CO_2 saving in a greenhouse for ornamental plants production

Festlegung der Parameter

Die im Programm eingehenden Parameter bivalente Betriebsweise der Feuerungsanlage, Anlagengröße, Wärmebedarf, Nutzungsdauer der Biomassefeuerung, Zinssatz, Transportentfernung und Heizölpreis werden bei BRÖKELAND (1998) in Sensitivitätsanalysen in ihrem Einfluss auf die Wärmegestehungskosten untersucht. Als Standard (= 100 %) werden für jeden der gewählten Betriebe eine bivalente Auslegung der Feuerungsanlagen zu je 50 % (Biomasse und Heizöl EL), eine Nutzungsdauer der Biomassefeuerung von 12 Jahren, ein Zinssatz von 7 %, eine Transportentfernung von 50 km und ein Heizölpreis von 0,40 DM/l angenommen.

Als Biobrennstoff wird Waldrestholz genutzt, das mit einem Vollernter (Harvester) geerntet und an der Waldstraße mit einem Hacker (< 80 kW) gehackt wird. Der Transport erfolgt durch einen Hackschnitzeltransporter mit einem Ladevolumen von 80 m², die Hackschnitzel werden in einem vorhandenen Altbau (z. B. eine Scheune) gelagert und in einer kompletten Anlage, d. h. einer stationären Hackschnitzelfeuerung mit neuem Heizhaus, verbrannt.

Auswahl der Betriebe

Im Programm HORTEB stehen insgesamt 14 verschiedene Gebäudetypen zur Auswahl. Beispielhaft werden hier für die Analyse vier Gebäude mit z. T. unterschiedlich großen Feuerungsanlagen herangezogen.

Das *Gewächshaus* eines *Zierpflanzenbaubetriebes* benötigt eine Feuerungsanlage mit einer Gesamtleistung von 1000 kW. Das *Gewächshaus* im *Gemüsebaubetrieb* unterscheidet sich gegenüber dem des Zierpflanzenbaubetriebes durch einen schlechteren Wärmedämmungszustand und durch einen geringeren Wärmebedarf. Die erforderliche Leistung der gesamten Feuerungsanlage beträgt ebenfalls 1000 kW. Als Großverbraucher wurde ein *Industriebetrieb* aus der Lebensmittelverarbeitung mit einer

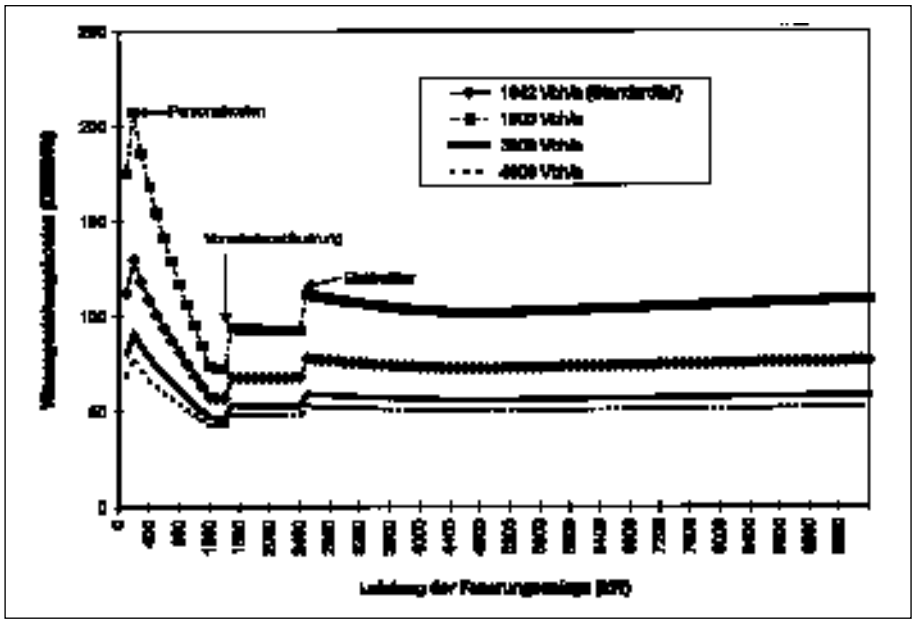


Abb. 3: Einfluss der Anlagengröße (monovalent) bei unterschiedlichem Wärmebedarf auf die Wärmegestehungskosten am Beispiel eines Gewächshauses im Zierpflanzenbau (Vbh/a = Vollbenutzungsstunden pro Jahr)
Influence of the size of combustion plants (monovalent operation) and different heat demands on the heat production costs in a greenhouse for ornamental plants production (Vha/a = full-use-grant per hour)

hohen Dauerlast und einer erforderlichen Kesselleistung von 10 MW gewählt. Die hohe Dauerlast ergibt sich durch den Bedarf an Heißdampf bei der Verarbeitung von Lebensmitteln. Als letztes Beispiel wird ein *Wohngebäude* (z. B. ein Mehrfamilienhaus) mit einer guten Wärmedämmung als Kleinverbraucher mit einem Leistungsbedarf der Feuerungsanlage von 200 kW gewählt.

Ergebnisse und Diskussion

Ein wichtiger Parameter bei der Planung von Feuerungsanlagen stellt die Optimierung der Kesselleistungen bei *bivalenter Betriebsweise* dar. Diese Größe sollte bei der Auslegung von Feuerungsanlagen intensiv untersucht werden, da hier ein entscheidender Einfluss auf die Wärmegestehungskosten besteht und eine Fehlerkorrektur nach Aufstellung der Gesamtanlage kaum mehr möglich ist. Gerade hier können bei den hohen Investitionskosten der Biomassefeuerungen Einsparungen erzielt werden, wenn diese nur einen Teil der Wärmeleistung, dafür aber den größten Anteil des Wärmebedarfs abdecken. Abbildung 1 zeigt diesen Einfluss für die vier ausgewählten Betriebe. Grundsätzlich steigt durch die höheren Investitionskosten einer Biomassefeuerung gegenüber einer Ölfeuerung der Wärmepreis mit zunehmender Leistungsgröße der Biomassefeuerung. Dass bei den Gewächshausbetrieben ein monovalenter Betrieb nur mit Biomasse kostengünstiger ist als bei bivalentem Betrieb mit einer zusätzlichen Ölfeuerung, liegt daran, dass die Biomassefeuerung beim Erreichen eines bestimmten Leistungsbereichs wieder preiswerter in ihrer Investition wird. Die zugrundegelegten Kostenfunktionen für die Investitionen berücksichtigen Degressionseffekte ebenso wie Kostensprünge durch technisch aufwendigere Anlagen.

Der Industriebetrieb kann durch eine bessere Auslastung der Anlage preiswerter heizen als die Gartenbaubetriebe. Doch steigen hier die Kosten bei monovalentem Betrieb der Biomassefeuerung noch einmal an, da mit zunehmender Leistungsgröße die spezifischen Investitionskosten immer größer werden und der Kostenabstand zu einer gleich großen Öl- oder Gasfeuerung ebenfalls immer größer wird.

Die Bivalenzkurve des Wohngebäudes hat zunächst einen sehr ähnlichen Verlauf wie die des Industriebetriebes, allerdings auf einem höheren Kostenniveau. Der deutlich zu erkennende Kostenanstieg von 50 % auf 60 % Auslegungsleistung der Biomassefeuerung kommt durch die erforderlichen Personalkosten zustande, die in HORTEB bei diesen Anlagen ab einer Größe von 100 kW angerechnet werden.

Bei Betrachtung der gesamten verfahrenstechnischen Kette wirkt sich die *Anlagengröße* vor allem im Leistungsbereich bis 1400 kW auf die Wärmegestehungskosten aus, während ihr Einfluss mit zunehmender Leistungsgröße relativ gering wird. Die Sprünge in den Graphen sind durch das Anfallen von Personalkosten und die Erforderlichkeit aufwendigerer Anlagentechniken ab bestimmten Leistungsgrößen zu begründen. Dagegen nimmt die CO_2-Einsparung gegenüber der Nutzung von Heizöl linear mit der Anlagengröße zu. Selbst bei bivalenter Auslegung zu 50 % liegt die Einsparung sehr nahe bei den Werten des monovalenten Betriebs, da, wie im Beispiel des Zierpflanzenbaubetriebes, die Biomasse zu über 94 % an der Wärmeerzeugung beteiligt ist und nur zu knapp 6 % das Heizöl.

Bei einer Gegenüberstellung der Verwendung von Erdgas würden sich um ca. 30 % verminderte CO_2-Einsparungen ergeben, die Linearität in Abhängigkeit von der Anlagegröße bleibt dabei bestehen.

Der *Wärmebedarf* und damit der Bedarf an Brennstoff wird für jeden Einzelfall aus den Jahresdauerlinien ermittelt. Dieser Bedarf kann je nach Witterungsverlauf und Verbraucherverhalten von Jahr zu Jahr schwanken. Bei der Beheizung von Gewächshäusern entstehen diese Schwankungen in Abhängigkeit von der Kulturführung und den Außentemperaturen. Um den Einfluss eines veränderten Wärmebedarfs auf die Wärmegestehungskosten zu untersuchen, werden durch Eingriffe in den Berechnungsvorgang in HORTEB Veränderungen im

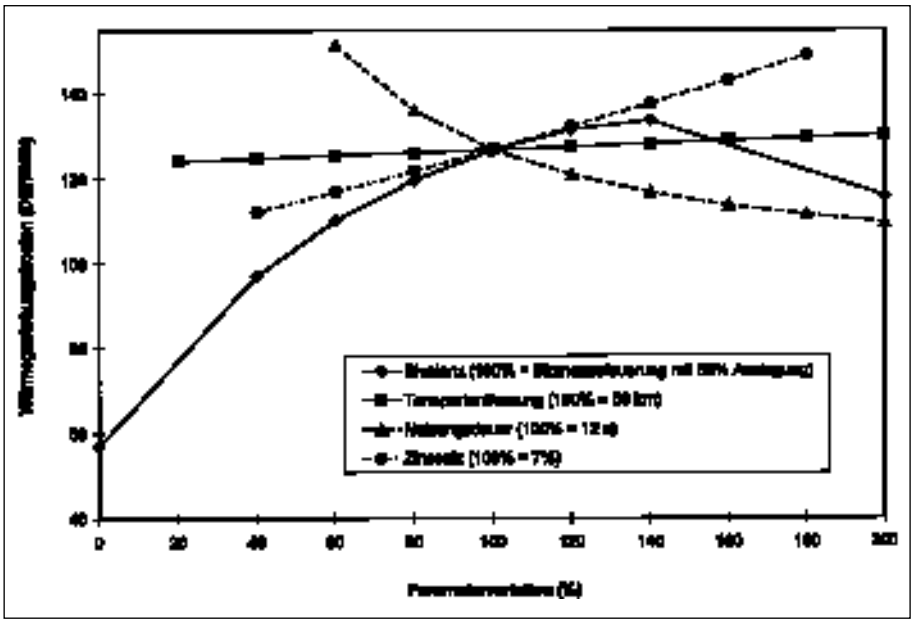


Abb. 4: Sensitivitätsanalyse bezüglich der Wärmegestehungs-kosten für ein Gewächshaus im Gemüsebau
Analysis of the influence of different parameters on the heat costs for a greenhouse for vegetable production

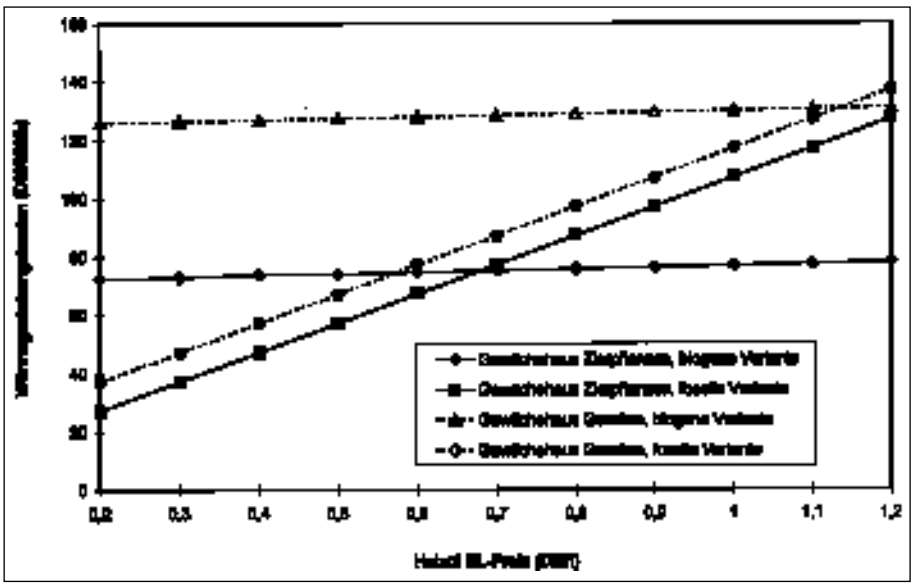


Abb. 5: Wirtschaftlichkeitsgrenzen der Beispiele „Gewächshaus im Zierpflanzenbau“ und „Gewächshaus im Gemüsebau“ in bezug auf den Heizölpreis
Threshold of economic efficiency concerning the price of fuel oil for greenhouses for ornamental plants and crop production

Wärmebedarf eines Gewächshauses simuliert. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse dieser Simulation.

Durch Erhöhung der Vollbenutzungsstunden, was einem vergrößerten Wärmebedarf entspricht, auf 3000 Vbh/a und 4000 Vbh/a werden die Wärmegestehungskosten gesenkt, während bei 1000 Vbh/a die Kosten steigen. Dabei wirkt eine Senkung der Vollbenutzungsstunden auf 1000 Vbh/a stärker auf die Kosten ein als eine Anhebung auf 3000 oder 4000 Vbh/a, so dass keine lineare Abhängigkeit zwischen der Auslastung der Anlage und den Wärmegestehungskosten vorhanden ist. Je geringer der Wärmebedarf, desto stärker wirken sich die Investitionskosten auf die Wärmegestehungskosten aus.

Trotz ihrer Beschränkungen ist eine andere Vorgehensweise als die Verwendung von Jahresdauerlinien zur Ermittlung des Wärmebedarfs nicht üblich. In VDI 2067 (1988) wird das Jahr für die Planung von Energieanlagen in wenige Typtage mit entsprechendem Wärme- und Strombedarf unterteilt. Da die Vorgaben dieser Richtlinie als unzureichend für die Erstellung repräsentativer Jahresdauerlinien bewertet werden (V. TSCHISCHWITZ 1994), werden in HORTEB Jahresdauerlinien verwendet, die für vorhandene Gebäude ermittelt und veröffentlicht wurden. Auch LILLICH (1993) empfiehlt, für die Grobplanung, d. h. wenn keine zeitliche Zuordnung des Wärmebedarf erforderlich ist, nicht VDI 2067 (1988) zugrundezulegen, sondern auf vorhandene Jahresdauerlinien zurückzugreifen.

Die Abbildung 4 zeigt die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Parameter Bivalenz, Nutzungsdauer, Zinssatz und Transportentfernung beispielhaft für den Gemüsebaubetrieb. Die Änderung der *Nutzungsdauer* der Anlage hat erheblichen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten. Da diese im voraus nicht bekannt ist, bestehen verschiedene Ansätze zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit. Um hier eine Festlegung auf eine bestimmte Betrachtungsweise zu vermeiden, kann in

HORTEB die Angabe zur Nutzungsdauer geändert werden. Deutlich zeigt sich, dass eine Verlängerung der Nutzungsdauer der Biomassefeuerung eine kostensenkende Wirkung hat.

Auch der kalkulatorische *Zinssatz* wirkt sich, wie bei grundsätzlich allen fremdfinanzierten Investitionen, relativ stark auf die Wärmegestehungskosten aus. Mit steigendem Zinssatz steigen auch die Wärmegestehungskosten.

Im Gegensatz zu den bereits genannten Parametern hat die *Transportentfernung* für den Brennstofftransport nur einen geringen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten einer Biomasse-Feuerungsanlage. Damit sind aus ökonomischer Sicht selbst große Transportentfernungen unproblematisch, besonders wenn hochverdichtete Brennstoffe transportiert werden. Trotzdem sollten Transporte durch eine gute logistische Abstimmung auf möglichst kurzen Strecken erfolgen, um die Belastungen für die Umwelt durch Abgase, Lärm und erhöhtes Verkehrsaufkommen so gering wie möglich zu halten.

Als letzter Parameter wird hier der *Preis für Heizöl EL* angesprochen, der von 0,20 DM/l bis 1,20 DM/l variiert wurde. Sein Einfluss wird für beide Beispiele der Gewächshäuser in Abbildung 5 dargestellt. Für den Zierpflanzenbaubetrieb bestünde ab einem Heizölpreis von ca. 0,67 DM/l ein wirtschaftlicher Vorteil gegenüber der reinen Heizölnutzung, während der Gemüsebaubetrieb unter den gewählten Bedingungen erst ab ca. 1,13 DM/l Heizöl wirtschaftlich mit Biomasse heizen könnte. Der Grund für diesen preislichen Unterschied bei beiden Betrieben liegt, genau wie beim unterschiedlichen Wärmepreis, in dem geringeren Heizenergieverbrauch des Gemüsebaubetriebes. Denn dadurch verteilen sich die Investitions- und Brennstoffkosten auf eine geringere Wärmemenge.

Durch den geringen Anteil, den das Heizöl bei beiden Betrieben zur Deckung des Wärmebedarfs leistet (im Beispiel des Zierpflanzenbaubetriebes 5,65%, beim Gemüsebaubetrieb 5,13%), bleiben die Wärmegestehungskosten der Biomassevarianten weitgehend von einer Preissteigerung bei Heizöl EL unbeeinflusst.

Diese Zahlen stellen die Ergebnisse von Beispielrechnungen in HORTEB dar und sind daher nicht allgemeingültig.

Am Beispiel von Dänemark wird der Einfluss des Ölbzw. Ergaspreises besonders deutlich, weil dort durch eine CO_2- und Energiesteuer auf fossile Brennstoffe regenerative Energien seit einigen Jahren einen Durchbruch erfahren haben. Da neben den politischen Rahmenbedingungen vor allem das Angebot auf dem Weltmarkt den Preis für fossile Brennstoffe bestimmt, kann spätestens mit der Verknappung und Verteuerung des Erdöls auch in Deutschland mit einer wirtschaftlichen Nutzung der Biomasse gerechnet werden. Dadurch, dass in HORTEB keine Subventionen berücksichtigt werden, kann diese Wirtschaftlichkeitsschwelle in Abhängigkeit vom Heizölpreis für jeden Einzelfall ermittelt werden.

Literatur

BRÖKELAND, R. (1998): Planungsprogramm zur Nutzung von Biomasse für die Heizenergieversorgung von Gewächshäusern – HORTEB. Dissertation. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover. Gartenbautechnische Informationen Heft 44.

LILLICH, K. H. (1993): Auslegungsverfahren für Blockheizkraftwerke. HLH (Heizung, Lüftung, Haustechnik) Bd. 44 (1993), Nr. 10, S. 583–586.

V. TSCHISCHWITZ, H. (1994): Analyse von Jahresdauerlinien und Tagesganglinien der thermischen und elektrischen Leistung zur Auslegung von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung. Diplomarbeit. Technische Universität Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Energietechnik.

VDI 2067 (1988): VDI-Richtlinie 2067. Blatt 7. Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. Beuth Verlag, Berlin.

Eingegangen: 31.8.1999/18.10.1999

Anschrift der Verfasserin: Dr. rer. hort. Ruth Brökeland, Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover.