Gartenbauwissenschaft, **66** (1). S. 2–8, 2001, ISSN 0016–478X. © Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

HORTEB – Planungsprogramm für die Heizenergieerzeugung mit Biomasse im Gartenbau Teil 1: Grundlagen und Beschreibung des Programms

HORTEB – Planning Program for Greenhouse Heating by Biomass Fuels I: Basics and description of the program

Ruth Brökeland[1], C. von Zabeltitz[1] und H.-J. Wippermann[2]
([1]Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover; [2]Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg)

Zusammenfassung

Nachwachsende Rohstoffe werden im Gartenbau zur Zeit kaum energetisch genutzt. Eine Versorgungsstruktur, wie sie für Erdöl und Erdgas ausgereift vorhanden ist, fehlt hier. Deshalb wurde ein Planungsprogramm (HORTEB – Horticultural Energy Supply with Biomass) entwickelt, mit dem alle Glieder der verfahrenstechnischen Kette von der Ernte der Biomasse bis zur Verbrennung hinsichtlich des Energiebedarfs und der Brennstoffbereitstellungskosten geplant werden können.

Weiterhin werden im Programm die energetischen Potentiale von verschiedenen Biomassearten und der Heizenergiebedarf im Gartenbau (jeweils auf Landkreisebene) ermittelt und gegenübergestellt. Damit kann für den Einzelbetrieb eine Abschätzung der Versorgungsmöglichkeiten durchgeführt werden.

Eine Anwendung dieses EDV-Programms auf nichtgartenbauliche Bereiche ist ebenfalls möglich.

Dieser Beitrag (Teil 1) erläutert neben den Grundlagen den Ablauf des Programms und die für die Berechnungen eingehenden Parameter. In Teil 2 werden die Ergebnisse einer Parameteranalyse vorgestellt.

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 be planned with consideration of complete process egineering chains. For each individual case calculations of the heat production costs, the CO_2-emissions and the energy balances are made. To determine the break-even point each individual case of biomass use is compared with the use of fossil fuel oil and natural gas. This investigation and the creation of the program were financed by the Federal Ministry for Food, Agriculture and Forestry.

A special attention was put on the energy supply for greenhouse heating. In horticulture there is energy-intensive crop and plant production. Because of the limited resources of fossil fuels we must look for alternative fuel sources. In northern countries the use of biomass for heat production has the greatest importance. In horticulture the heat production by using biofuels would give an important contribution for environmentelfair plant production.

The application of the program HORTEB to non-horticultural ranges is also possible, because 14 different building types (e. g. greenhouses, residential buildings, school building, office building, hospital) are flown into the investigation.

This article (part 1) describes the basics, the sequence of the program and the including parameters. Part 2 presents the results of an analysis of the parameters.

Einleitung

Angesichts schwindender Ressourcen an fossilen Brennstoffen und des wachsenden Problems der Klimagefährdung durch einen CO_2-Anstieg in der Atmosphäre nimmt das Interesse an regenerativen Energiequellen zu. Wo vorrangig Wärme erzeugt werden soll, erlangt in den nördlichen Breiten die energetische Nutzung von Biomasse zunehmend an Bedeutung. Biomasse hat Sonnenenergie gespeichert und kann mit relativ geringem Aufwand geerntet, transportiert, gelagert und bei Bedarf in Heizenergie umgewandelt werden.

Da eine Versorgungsstruktur, wie sie für Erdöl und Erdgas ausgereift vorhanden ist, bei Biobrennstoffen fehlt, muß in der Planung die gesamte verfahrenstechnische Kette der Brennstoffbereitstellung und -verwertung bis hin zur Entsorgung anfallender Asche berücksichtigt werden. Um diese Planung zu erleichtern und verschiedene Alternativen ohne großen Rechenaufwand hinsichtlich Kosten, CO_2-Emissionen und Energiebilanzen vergleichen zu können, wurde mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten am Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft der Universität Hannover das Planungsprogramm HORTEB („Horticultural Energy Supply with Biomass“) entwickelt (BRÖKELAND 1998). Durch intensive Zusammenarbeit mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) in Hamburg wurden vor allem die Holzbrennstoffe (z. B. Waldholz, speziell Durchforstungsholz und Waldrestholz, Holz aus Kurzumtriebsflächen sowie Sägerestholz) mit ihren Möglichkeiten

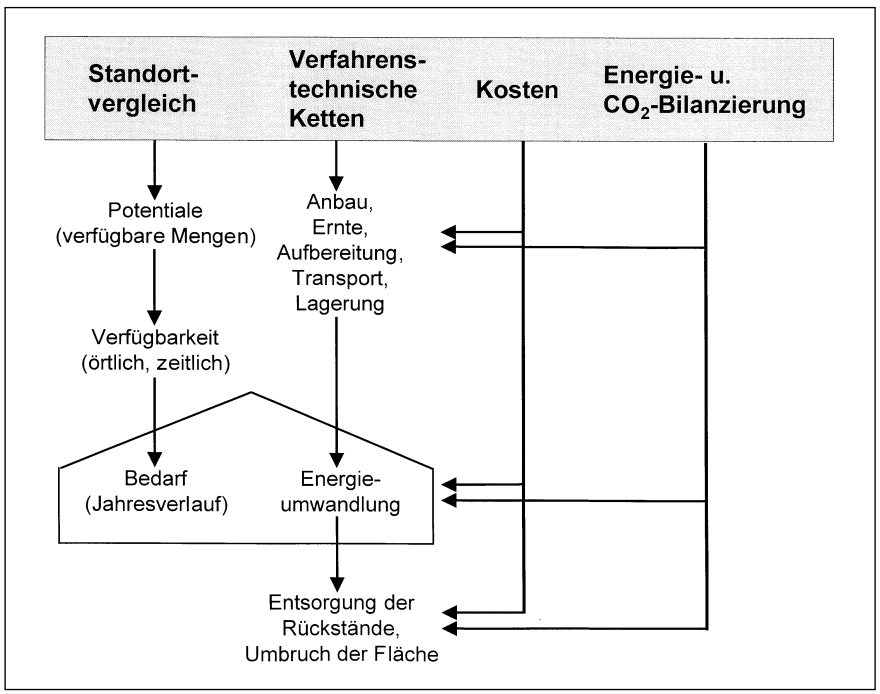


Abb 1: Schema des Konzeptes einer energetischen Nutzung von Biomasse mit dem Programm HORTEB
Plan of the energetic use of biomass with the program HORTEB

zur Brennstoffbereitstellung detailliert untersucht (WIPPERMANN 1992, 1993, 1994, 1995a, 1995b, 1996, 1997).

Das Hauptaugenmerk dieser Untersuchung hat der Heizenergieversorgung von Gewächshäusern gegolten, da für den Gartenbau mit seinem energieintensivem Unterglasanbau eine alternative Wärmequelle erschlossen werden sollte. Außerdem würde eine Wärmeerzeugung aus Biomasse im Gartenbau einen wichtigen Beitrag zur umweltgerechten Pflanzenproduktion leisten. Bei einer Erneuerung der Feuerungsanlage ist eine Entscheidung für oder gegen eine Biomassefeuerung von großer Bedeutung, da das Investitionsvolumen der Heizungsanlage 15 … 30 % der gesamten Gewächshauseinrichtung ausmacht, während der Aufwand für das Heizmaterial nur 5 … 15 % des Betriebsertrags entspricht (RATH 1997). Durch eine bivalente Betriebsweise (Biomasse für die Grundlast, fossile Brennstoffe für Spitzenlasten) könnten dabei erhebliche Kosten eingespart werden. Dies ist eine besonders wichtige Planungsgröße, da Fehler in der Auslegung später nicht zu korrigieren sind.

Eine Anwendung des Programms auf nicht-gartenbauliche Bereiche sollte ebenfalls ermöglicht werden, so daß insgesamt 14 verschiedene Gebäudetypen in die Untersuchung eingeflossen sind. Neben zwei Gewächshäusern (Zierpflanzenanbau, Gemüseanbau) sind dies Wohngebäude mit unterschiedlicher Wärmedämmung, ein Bürogebäude, ein Schulzentrum, mehrere Hallenbäder mit unterschiedlicher Ausstattung sowie zwei Industriebetriebe.

Grundlagen

Ausgehend von einem Gewächshausbetrieb oder einem anderen Verbraucher, der seinen Heizenergiebedarf ganz oder teilweise mit Biomasse decken will, werden verschiedene verfahrenstechnische Ketten zur Brennstoffbereitstellung aufgestellt, die nach Kosten, Energieverbrauch und CO_2-Emissionen miteinander verglichen werden können.

Die Brennstoffaufbereitung ist mit der Feuerungstechnik abzustimmen. Bei der Aufstellung von verfahrenstechnischen Ketten werden Prozeßabläufe aus der land- und forstwirtschaftlichen Praxis entlehnt, und für bewährte Maschinen und Geräte aus Tabellenwerken und Veröffentlichungen durchschnittliche Bedingungen, Verfahren und Arbeitszeiten entnommen (BIALONSKY u. a. 1990, BÖGE 1993, BUKOLD 1993, FRÖBA 1995, FRÖBA U. JÄGER 1996, KBM 1995, KTBL 1994a u. 1994b, LWK HANNOVER 1989, LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN 1997, LWK WESER-EMS 1995, LV SACHSEN-ANHALT 1994, MERHOLZ 1981, RENIUS 1985, VON ZABELTITZ 1996). Bei neuen Maschinen, die sich noch in der Entwicklung befinden, wurde auf Herstellerangaben bzw. auf Versuchsberichte und Arbeitsstudien zurückgegriffen (BOSSEL 1983, BRUSCHE 1983, BUSSE 1986, CLAAS 1997, DANFORS 1994, DANFORS U. NORDÉN 1992, 1994, 1995a, 1995b, DÖHRER 1994, DREINER u. a. 1994, FRERICHS o. J., FÜRLL U. HAHN 1994, FÜRLL U. SCHURICHT 1998, GIGLER u. a. 1996, HARTMANN 1995 u. 1997, HARTMANN U. MAYER 1997, HARTMANN u. a. 1996, HARTMANN U. THUNEKE 1997, HOFSTETTER 1983, IFFA 1996, ISENSEE U. KATH-PETERSEN 1995, KALTSCHMITT u. a. 1995, KATH-PETERSEN 1994, KÜPPERS u. a. 1997, LÖFFLER u. a. 1988, LÜSCHEN U. MÜLLER 1992, MEIERING, 1992, NORODOSLWASKY U. OBERNBERGER 1994, QUAS 1995, REMLER U. FISCHER 1996).

Als Brennstofform bieten sich für Holz Hackschnitzel an, während Halmgüter als ganze Ballen oder als Häcksel verbrannt werden können. Außerdem läßt sich Sägemehl oder gehäckseltes Stroh zu Pellets verdichten. Mit solchem Brennmaterial ist die automatische Beschickung der Feuerungsanlage möglich, was gegenüber manuell beschickten Anlagen deutliche Vorteile bei Beschickung und Bedienung hat und sich günstig auf den Verbrennungsverlauf und damit auf die Abgaswerte auswirkt.

Tab. 1: Beschreibung der im Programm HORTEB verwendeten Biobrennstoffe
Description of the bio fuels used in the program HORTEB

Biomasse	**Beschreibung**
Waldholz	Schwachholz aus Durchforstungen und Waldrestholz der forstlichen Ernte.
Sägerestholz	Restholz in Form von Hackschnitzeln und Spreißeln, die bei der Holzbearbeitung, z. B. in Sägewerken, in großem Mengen anfallen.
Industrierestholz	Restholz, das bei der Verarbeitung vorgetrockneten Holzes in Gewerbebetrieben anfällt.
Altholz	Bestehend aus Holzverpackungen, Rüstholz, Paletten und Schalbrettern; hier wird nur unbelastetes Holz betrachtet, für das keine zusätzliche, technisch aufwendige Rauchgasreinigung nach der Verbrennung erfolgen muß.
Kurzumtriebsholz	Holz von Kurzumtriebsflächen, die mit schnellwachsenden Baumarten (z. B. Pappeln, Weiden) bepflanzt und in regelmäßigen Abständen von mehreren Jahren beerntet werden.
Reststroh	Stroh, das im Getreideanbau jährlich in großen Mengen als Reststoff anfällt und für die Verbrennung zur Verfügung steht.
Getreideganzpflanzen	Die gesamte oberirdische Pflanze, also Korn und Stroh, wird verwendet, so daß sich ein theoretischer Flächenertrag in doppelter Höhe gegenüber dem reinen Strohertrag ergibt; der Anbau dieses Biobrennstoffs bietet sich auf landwirtschaftlichen Stillegungsflächen für den non-food-Bereich an.
Miscanthus	Das vor einigen Jahren viel diskutierte Chinaschilf, das ursprünglich als Ziergras in Europa eingeführt und erst sehr viel später als nachwachsender Rohstoff entdeckt wurde, hat die Erwartungen an Ertrag und Robustheit nicht erfüllt; durch züchterischen Fortschritt könnte zukünftig die Anbaueignung verbessert werden, weshalb diese Energiepflanze mit in das Programm aufgenommen wurde.

Die verfahrenstechnischen Ketten umfassen alle Vorgänge von der Ernte bis zur Ausbringung der Aschen und schließen bei der Nutzung von Energiepflanzen ihren Anbau sowie den Umbruch der Flächen bei mehrjährigen Kulturen ein. Um die Zusammenstellung der Maschinenketten zu erleichtern, sind sie in zahlreiche Arbeitsschritte (insgesamt mehr als 200) unterteilt. Für jeden Arbeitsschritt sind die Kenndaten „Kosten", „CO_2-Emission" und „Energiebedarf" (fossile Energie) berechnet und in einer Kenndatentabelle zusammengefaßt worden, die sowohl als Datenbasis in HORTEB dient als auch für weitere Verwendungen nützlich ist (BRÖKELAND 1998).

Die physikalischen Eigenschaften der Biobrennstoffe (Feuchtegehalt, Heizwert, Lagerungsdichte) verändern sich im Laufe der gesamten Bereitstellungskette und werden deshalb für jeden Arbeitsschritt ermittelt und festgelegt und bei der Berechnung der Kenndaten berücksichtigt.

Alle Arbeitsschritte werden bei BRÖKELAND (1998) ausführlich und im Programm HORTEB in Stichworten beschrieben. Die zur Berechnung herangezogenen Arbeitsschritte werden markiert, um die Nachvollziehbarkeit des Ergebnisses zu gewährleisten. Zur besseren Orientierung ist jeder Arbeitsschritt mit einer Nummer versehen, die im Programm und bei BRÖKELAND (1998) konsequent verwendet wird.

Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchung ist ein Standortvergleich, den jeweiligen Heizenergiebedarf im Gartenbau den regional vorhandenen Potentialen an Biomasse gegenübergestellt. Hierzu werden zum einen für jeden Landkreis nach den Angaben der statistischen Landesämter der Heizenergiebedarf anhand der existierenden Unterglasflächen hochgerechnet, zum anderen wurden für die Potentialberechnung die land- und forstwirtschaftlichen Flächen herangezogen und mit den jeweiligen Durchschnittserträgen der einzelnen Kulturen verrechnet.

Es zeigt sich, daß allein das Potential an verwertbarem Waldholz in den meisten Bundesländern mehrfach ausreicht, um theoretisch alle Gewächshäuser zu beheizen. Eine detaillierte Darstellung der Ergebnisse für jeden Landkreis in Deutschland ist in BRÖKELAND (1998) enthalten.

Im Programm HORTEB werden als Ergebnis für den Planungsfall der Brennstoffbedarf und die Potentiale im Landkreis ausgewiesen, um so für den Einzelbetrieb eine Abschätzung der Versorgungsmöglichkeiten durchzuführen. Durch diese kleinräumige Betrachtung wird ein Überblick über die jetzige Energiesituation gegeben. Wenn sich zukünftig ein Markt für Biobrennstoffe entwickelt, kann sich die Situation durch Erschließung neuer Quellen und durch gezielten Vertragsanbau von Energiepflanzen noch günstiger darstellen.

Biomassearten

Biobrennstoffe können in der Land- und Forstwirtschaft in beträchtlichen Mengen anfallen, oder gezielt durch Anbau von Energiepflanzen bereitgestellt werden. Im Programm HORTEB werden folgende Biomassearten berücksichtigt:

Gebäudetypen

Nicht nur für den Gartenbau stellen die nachwachsenden Rohstoffe zukünftig ein wichtige alternative Wärmequelle dar. Deshalb kann neben zwei Gewächshäusern (für Zierpflanzen- und für Gemüseanbau) zwischen weiteren Gebäudetypen gewählt werden, die sich durch unterschiedliche wärmetechnische Eigenschaften auszeichnen. Dazu gehören Wohngebäude mit unterschiedlicher Wärmedämmung, ein Niedrigenergiehaus, ein Krankenhaus, ein Schulzentrum, ein Bürogebäude, zwei Industriebetriebe sowie mehrere Hallenbäder (ganzjährig geöffnet, im Sommer geschlossen, mit Zusatzeinrichtungen).

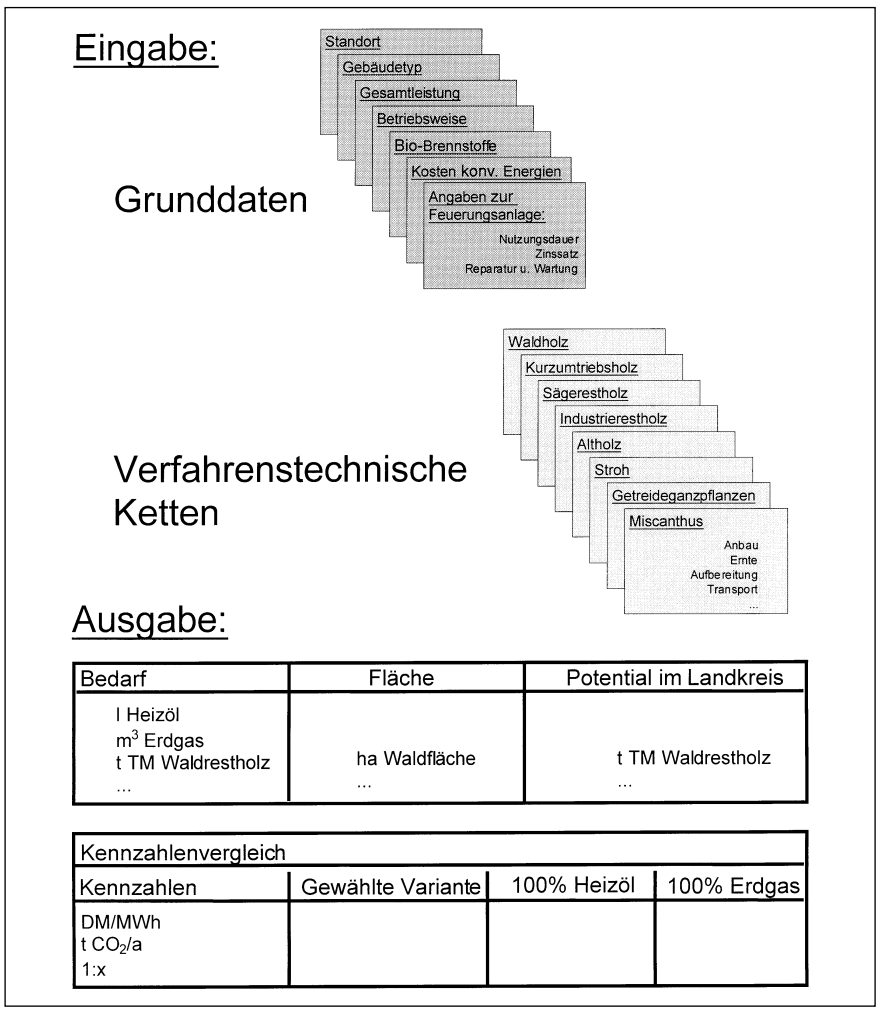


Abb. 2: Schematische Darstellung des Programmablaufs
Sequence of the program

Programmablauf

Zu Beginn einer Berechnung ist die Eingabe der Grunddaten erforderlich. Anschließend müssen Angaben zu den ausgewählten Biobrennstoffen und den Verfahrensketten gemacht werden. Nachdem das Programm alle Berechnungen durchgeführt hat, erscheint ein Lösungsblatt, auf dem die Grunddaten für das betreffende Objekt und die Ergebnisse ausgewiesen sind.

Angaben zu den Grunddaten:

- Standort des Betriebes (Landkreis)
- Gebäudetyp
- Größe der geplanten Feuerungsanlage insgesamt
- Betriebsweise der Feuerungsanlage (monovalent biogen oder bivalent mit fossiler Anlage in Abstufungen von 10 %)
- Brennstoffzusammensetzung (biogene und gegebenenfalls fossile Brennstoffe)
- eventuell Preise für Holzreststoffe (Industrierestholz, Sägerestholz, Altholz)
- Preise für Heizöl EL, Erdgas und Strom
- Nutzungsdauer, kalkulatorischer Zinssatz, Anteil für Reparatur und Wartung für die biogene und die fossile Feuerungsanlage
- bei vorhandener fossiler Feuerungsanlage wird gefragt, ob diese bereits abgeschrieben ist.

Auswahl der Verfahrensketten:

Nach der Eingabe der Grunddaten werden nun je nach ausgewählter Brennstoffzusammensetzung vom Programm Angaben zu den verfahrenstechnischen Ketten gefordert. Hierzu gehören z. B. Fragen nach Transportentfernung vom Ort der „Brennstoffernte“ bis zum Verbraucher, gewünschter Brennstofform, Wahl der Erntemaschine und Art des Brennstofflagers (vorhandener Altbau oder Neubau). Zudem kann zwischen Verbrennung in einer kompletten stationären Biomassefeuerung mit neuem Heizhaus oder einer Container-Feuerungsanlage gewählt werden.

Die Abfrage erfolgt, unterstützt durch die Programmlogik, in der Weise, daß nur praktisch durchführbare Verfahrensketten erstellt werden können und somit Eingabefehler vermieden werden.

Sind alle Angaben zu den Verfahrensketten der ausgewählten Biobrennstoffe gemacht, wird durch Anklicken des Schalters „Lösung berechnen!“ die Berechnung ausgelöst. An dieser Stelle tauchen Fehlermeldungen mit entsprechenden Hinweisen auf, wenn Angaben fehlen oder fehlerhaft sind. Nach Bestätigung dieser Fehlermeldung erscheint automatisch das entsprechende Dialogfeld, in dem die fehlenden Angaben nun nachgetragen oder korrigiert werden können.

Ergebnisdarstellung

Nachdem eine Lösung berechnet worden ist, erscheint ein mehrseitiges Lösungsblatt. Um die Ergebnisse leichter zuordnen zu können, sind dort die gemachten Angaben zu den Grunddaten noch einmal aufgeführt. Als ein Ergebnis wird der gesamte Brennstoffbedarf für die ausgewählte Variante ausgewiesen. Für die biogenen Brennstoffen, die direkt von land- und forstwirtschaftlichen Flächen kommen, wird außerdem der Flächenbedarf genannt, den der berechnete Betrieb für seine Heizenergieversorgung beanspruchen würde. Zum Vergleich werden die vorhandenen Potentiale in dem betreffenden Landkreis genannt.

Als weitere Ergebnisse werden in einem Kennzahlenvergleich die Wärmegestehungskosten, der CO_2-Ausstoß und die Energiebilanz für die gewählte Variante solcher mit ausschließlicher Heizöl- oder Erdgasnutzung gegenübergestellt. Dieser Vergleich wird auch in graphischer Form auf der zweiten Seite des Lösungsblattes dargestellt. Hier läßt sich mit einem Blick erkennen, ob eine Biomassenutzung wirtschaftlich ist oder nicht. Ergänzend werden die Kosten der CO_2-Einsparung der Biomasse-Variante genannt. Damit kann die energetische Nutzung von Biomasse in ihrer Effizienz bei der Senkung des CO_2-Gehaltes in der Atmosphäre auch mit anderen regenerativen Energiequellen verglichen werden.

Zur Erläuterung der Berechnung werden die Wärmegestehungskosten aufgeteilt nach den Kosten für den Brennstoff und für die Feuerungsanlagen, die Angaben erfolgen in DM/MWh. Zusätzlich werden die Anteile, die die Feuerungsanlagen jeweils zur Deckung des Wärmebedarfs leisten, genannt. Diese Angabe ist bei bivalentem Betrieb wichtig, da (je nach Auslegung) mit nur einer der beiden Feuerungen in den meisten Fällen ein Großteil des Wärmebedarfs gedeckt werden kann. Unter Berücksichtigung dieser Anteile und der Brennstoffanteile bei der Verwendung mehrerer biogener Brennstoffe läßt sich so das Ergebnis der Wärmegestehungskosten nachvollziehen.

Auf einem zusätzlichen Tabellenblatt werden für jede Lösung die zugehörigen Arbeitsschritte markiert, so daß bei Bedarf die Erstellung der verfahrenstechnischen Ketten nachzuvollziehen ist.

Möglichkeiten und Grenzen des Programms

Mit dem Programm HORTEB wurde ein Instrument zur schnellen Berechnung von Planungsvarianten für die energetische Biomassenutzung geschaffen. Die Forderung nach einfacher Bedienbarkeit und benutzerfreundlicher Oberfläche sowie nach einer transparenten Darstellung der durchgeführten Berechnungen ist erfüllt worden. Folgende Eigenschaften des Programms sind im besonderen hervorzuheben:

- Für jeden Einzelfall werden der Brennstoffbedarf und die energetischen Potentiale an Biomasse im betreffenden Landkreis ausgewiesen.
- Durch die Auswahl zwischen 14 verschiedenen Gebäudetypen, die durch unterschiedliche wärmetechnische Eigenschaften gekennzeichnet sind, können zahlreiche Anwendungsfälle abgedeckt werden.
- Mit der Veränderung der Kesselleistungen bei bivalenter Betriebsweise kann eine sehr wichtige Planungsgröße bezüglich der Investitionskosten optimiert werden.
- Bei bivalenter Betriebsweise wird für biogene und fossile Feuerungsanlagen eine getrennte Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt. Ebenso können bereits vorhandene, abgeschriebene Öl- oder Gasfeuerungen einbezogen werden.
- Für jeden im Programm enthaltenen biogenen Brennstoff werden an vielen Stellen Auswahlmöglichkeiten bei der Aufstellung von verfahrenstechnischen Ketten angeboten, so daß diese variiert werden können. Bei der Ausgabe der Lösung werden diese Ketten im einzelnen gekennzeichnet und die Berechnungen auf diese Weise nachvollziehbar gemacht.
- Die Zusammensetzung der biogenen Brennstoffe kann beliebig gewählt werden, jeder Brennstoff wird anteilig unter Berücksichtigung der vorher festgelegten verfahrenstechnischen Kette berechnet.
- Durch Veränderung der Angabe des Heizölpreises bzw. des Erdgaspreises läßt sich für jeden Einzelfall die Grenze zur Wirtschaftlichkeit ermitteln.
- Als Berechnungsergebnisse werden die Wärmegestehungskosten, die Energiebilanz und die CO_2-Emissionen der Biomasse-Variante im Vergleich zur Verwendung von Heizöl EL und Erdgas ausgewiesen. Die Wärmegestehungskosten werden zusätzlich nach den Brennstoffkosten und den Kosten der Feuerungsanlage getrennt aufgeführt.
- Die von HORTEB erzeugten Ergebnisse zur Energiebilanzierung sind grundsätzlich für die Bilanzierung des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) (nach VDI 4600, 1997) geeignet, da sie dem KEA_N (Kumulierter Energieaufwand für den Betrieb oder die unmittelbare Nutzung von Gegenständen) entsprechen und damit einen wichtigen Teil des KEA abdecken.

Neben diesen Möglichkeiten sind aber auch Einschränkungen bei der Verwendung von HORTEB aufgrund von festgeschriebenen Größen gegeben. So sind z. B. die Feuchtegehalte der verschiedenen Brennstoffe festgelegt und stimmen unter Umständen mit den tatsächlich vorkommenden Werten nicht überein. Genauso können Flächenerträge, Maschinendurchsätze sowie Maschinen- und Lohnkosten nicht verändert werden. Diese Größen sind in der vorliegenden Arbeit nach gründlichem Literaturstudium und Gesprächen mit Fachleuten festgelegt worden, um Grundlagen für die Berechnungen zu schaffen und die Erstellung des Programms zu ermöglichen.

Trotz der Vielzahl der verfahrenstechnischen Ketten, die in HORTEB betrachtet werden können, kann hier nicht von einer vollständigen Erfassung aller Möglichkeiten ausgegangen werden. In der Praxis wird es auch andere Verfahren oder zwischengeschaltete Arbeitsschritte geben, die bisher nicht berücksichtigt wurden.

Es sei darauf hingewiesen, daß HORTEB ein *Hilfsmittel* zur Planung von Gesamtkonzepten zur energetischen Biomassenutzung ist, welches auf realistischen bzw. realisierbaren Verfahren basiert. Es kann entscheidende Hilfen bei der Gesamtplanung geben und somit einem Beitrag zur Ressourcen- und Umweltschonung leisten.

Die Untersuchungen wurden vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, gefördert.

Literatur

BIALONSKI, W. / VANCK, P. / SCHULZE, K. / WABOK, H. (1990): Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr, Ermittlung und Vergleich der spezifischen Energieverbräuche. Verkehrswissenschaftliches Institut der rhein.-westf. technischen Hochschule Aachen (VIA).

BÖGE, S. (1993): Erfassung und Bewertung von Transportvorgängen: Die produktbezogene Transportkettenanalyse. In: LÄPPLE, D. (Hrsg.) (1993): Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Analysen zum interregionalen und städtischen Verkehr. edition sigma, rainer bohn verlag, Berlin.

BOSSEL, U. (1983): Erzeugung marktgerechter Brennstoffe durch Verdichten organischer Reststoffe: Stand der Technik und Perspektiven. In: BOSSEL, U. (Hrsg.): Brikettieren und Pelletieren von Biomasse. SOLENTEC Gesellschaft für solare und energiesparende Technologien mbH, Adelebsen.

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.

BRUSCHE, R. (1983): Hackschnitzel aus Schwachholz. KTBL-Schrift 290. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster.

BUKOLD, S. (1993): Basisdaten: Ökologie und Gütertransport. In: LÄPPLE, D. (Hrsg.) (1993): Güterverkehr, Logistik und Umwelt. Analysen zum interregionalen und städtischen Verkehr. edition sigma, rainer bohn verlag, Berlin.

BUSSE, W. (1986): Was kostet die Strohbergung? Landtechnik 6/86, 41. Jahrg., S. 272–275.

CLAAS (1997): Mündliche und schriftliche Mitteilungen, 18.09.1997.

DANFORS, B. (1994): Fortsatt teknikutvärdering av energiskogsskörare. JTI-rapport 181. Jordbrukstekniska institutet. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala.

DANFORS, B. U. NORDÉN, B. (1992): Teknikutvärdering av energiskogsskörare. JTI-rapport 150. Jordbrukstekniska institutet. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala.

DANFORS, B. U. NORDÉN, B. (1994): Logistik vid direktskörd av Salix. JTI-rapport 194. Jordbrukstekniska institutet. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala.

DANFORS, B. U. NORDÉN, B. (1995a): Fortsatt utvärdering av skördeteknik för Salix. JTI-rapport 202. Jordbrukstekniska institutet. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala.

DANFORS, B. U. NORDÉN, B. (1995b): Sammanfattande utvärdering av teknik och logistik vid salixskörd. JTI-rapport 210. Jordbrukstekniska institutet. Swedish Institute of Agricultural Engineering, Uppsala.

DÖHRER, K. (1994): Holz aus Kurzumtrieb auf landwirtschaftlichen Flächen. Holz-Zentralblatt Nr. 133, 120. Jahrg., S. 2194–2196.

DREINER, K. / FRÜHWALD, A. / KÜPPERS, J. G. / SCHWEINLE, J. / THOROE, C. (1994): Holz als umweltfreundlicher Energieträger – Eine Nutzen-Kosten-Untersuchung. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 432. Landwirtschaftsverlag GmbH Münster.

FRERICHS, L. (O. J.): Ernte und Aufbereitung von Miscanthus. Firmenschrift CLAAS, Harsewinkel.

FRÖBA, N. (1995): Benötigte Traktornennleistung bei landwirtschaftlichen Arbeiten. KTBL-Arbeitsblatt Nr. 255. Landtechnik, 50. Jahrg, 5/95, S. 277–281.

FRÖBA, N. U. JÄGER, P. (1996): Transporttechnik in der Futterernte. In: Futterernte in Großbetrieben. KTBL Arbeitspapier 228. Landwirtschaftsverlag Münster.

FÜRLL, C. U. HAHN, J. (1994): Bergung, Transport und Umschlag von Compactrollen. Landtechnik 3/94, 49. Jahrg., S. 148–149.

FÜRLL, C. U. SCHURICHT, T. (1998): Lagerung und Dosierung von Biofestbrennstoffen. Landtechnik 2/98, 53. Jahrg., S. 96–97.

GIGLER, J. K. / DE MOL, R. M. / CURVERS, A. P. W. M. (1996): Logistics of Biomass Fuel Collection. In: Biomass for Energy and the Environment. Proceedings of the 9th European Bioenergy Conference. Copenhagen, 24.–27.06.1996. Pergamon.

HARTMANN, H. (1995): Erprobung des Einsatzes einer Compactrollenpresse zur Bereitstellung halmgutartiger Energieträger. Abschlußbericht der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik für das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

HARTMANN, H. (1997): Analyse und Bewertung der Systeme zur Hochdruckverdichtung von Halmgut. Landtechnische Berichte aus Praxis und Forschung. Gelbes Heft 60. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.

HARTMANN, H. / THUNEKE, K. / MAYER, B. (1996): Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen. Landtechnik, 51. Jahrg., 3/96.

HARTMANN, H. u. MAYER, B. (1997): Rekultivierung von Kurzumtriebsplantagen. Landtechnik 1/97, 52. Jahrg., S. 26–27.

HARTMANN, H. U. THUNEKE, K. (1997): Ernteverfahren für Kurzumtriebsplantagen – Maschinenerprobung und Modellbetrachtungen. Landtechnik-Bericht Heft 29. Landtechnik Weihenstephan.

HOFSTETTER, E. M. (1983): Verdichtungsverfahren: Marktübersicht und Entwicklungen. In: Bossel, U. (Hrsg.): Brikettieren und Pelletieren von Biomasse. SOLENTEC Gesellschaft für solare und energiesparende Technologien mbH, Adelebsen.

IFFA (1996): Protokolle zu Arbeitsstudien des IffA (Institut für Ökonomie, FG Arbeitswissenschaft, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft): Ernte von Kurzumtriebsholz mit der Bügelmotorsäge in Canstein, Februar und März 1996.

ISENSEE, E. U. KATH-PETERSEN, W. (1995): Bergen und Lagern von Großballen zur thermischen Nutzung in Großanlagen. Landtechnik 1/95, 50. Jahrg., S. 34–35.

KALTSCHMITT, M. / BECHER, S. / RADTKE, J. / STELZER, T. (1995): Energie- und CO_2-Bilanzen fester halmartiger Bioenergieträger zur Wärmebereitstellung. In: Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 5, Landwirtschaftsverlag Münster.

KATH-PETERSEN, W. (1994): Leistungsfähige und bodenschonende Erntetechnik für Miscanthus. Dissertation. Universität Kiel. Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) Nr. 258.

KBM (KURATORIUM BAYERISCHER MASCHINEN- UND BETRIEBSHILFSRINGE E. V.) (HRSG.) (1995): Verrechnungssätze 1995/96 für Maschinen- und Betriebshilfsringe.

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (HRSG.) (1994a): KTBL-Taschenbuch Gartenbau. 4. Auflage 1994. Landwirtschaftsverlag Münster.

KTBL (KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT) (HRSG.) (1994b): KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft. 17. Auflage 1994/95. Landwirtschaftsverlag Münster.

KÜPPERS, J.-G. / SCHWEINLE, J. / THOROE, C. / WIPPERMANN, H.-J. (1997): Betriebswirtschaftliche und erntetechnische Begleitforschung zum Anbau schnellwachsender Baumarten auf landwirtschaftlichen Flächen. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 97/2. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg.

LÖFFLER, H. / PATZAK, W. / DÜRRSTEIN, H. (1988): Ernte in Kurzumtriebsplantagen. (1) Holz-Zentralblatt 114. Jahrg., Nr. 55, S. 841–842. (2) Holz-Zentralblatt 114. Jahrg., Nr. 56, S. 872–873. (3) Holz-Zentralblatt 114. Jahrg., Nr. 61, S. 958.

LÜSCHEN, H. U. MÜLLER, G. (1992): Anbau von *Miscanthus* und anderen Energiepflanzen für den Strom- und Wärmemarkt aus der Sicht eines Energieversorgungsunternehmens. In: FORUM ZUKUNFTSENERGIEN E.V., LANDTECHNIK WEIHENSTEPHAN (Hrsg.): Energetische Nutzung von Biomasse; Fachtagung vom 27. u. 28.4.1992, Freising; S. 127–141.

LV SACHSEN-ANHALT (LEHR- UND VERSUCHSANSTALT DES LANDES SACHSEN-ANHALT, ACKER- U. PFLANZENBAU) (1994): Neue Technik zur Strohbergung und zum Strohtransport. Landesvorführung Landtechnik, veranstaltet in Zusammenarbeit mit dem Landesverband der Maschinenringe Sachsen-Anhalt und dem Maschinenring Haldensleben und Umgebung.

LWK HANNOVER (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER) (HRSG.) (1989): Strohbergung – Arbeitsverfahren mit Großpacken. Informationsschrift für eine Maschinenvorführung.

LWK SCHLESWIG-HOLSTEIN (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER) (HRSG.) (1997): Landesvorführung Knick- und Hackmaschinen. 13. Februar 1997, Henstedt-Ulzburg.

LWK WESER-EMS (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER) (HRSG.) (1995): Technik zur Gewässerunterhaltung, Landschaftspflege und Kompostierung. Maschinenvorführung am 12. Oktober 1995, Hausstette.

MEIERING, A. G. (1992): Studie zur Nutzung von Stroh als pelletierter Energieträger zur Prozeßwärmebereitstellung an einer 10-MW-Anlage eines großen Verarbeitungsbetriebes der Ernährungswirtschaft. Endbericht. Landtechnik Weihenstephan.

MERHOLZ, K. (1981): Der Energieeinsatz beim Transport von Gartenbauerzeugnissen. Arbeitsbericht Nr. 33. Institut für Gartenbauökonomie, Lehrgebiet A (Produktion), Universität Hannover.

NARODOSLWASKY, M. U. OBERNBERGER, I. (1994): Die Kompostierung von Holzasche: Erfahrungen und Möglichkeiten. In: Sekundärrohstoff Holzasche. Nachhaltiges Wirtschaften im Zuge der Energiegewinnung aus Biomasse. 15./16. September 1994, Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz.

QUAS, M. (1995): Landtechnische Belastungen auf Miscanthus sowie verfahrenstechnische Lösungen zum Umbruch. Dissertation. Universität Kiel. Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft (MEG) Nr. 271.

RATH, T. (1997): Habilitationsvortrag am 7. April 1997. Universität Hannover.

REMLER, N. U. FISCHER, M. (1996): Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von Waldhackschnitzeln. Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Nr. 11.

RENIUS, K. T. (1985): Traktoren. Technik und ihre Anwendung. Verlagsunion Agrar.

VDI 4600 (1997): VDI-Richtlinie 4600. Kumulierter Energieaufwand. Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden. Beuth Verlag, Berlin.

WIPPERMANN, H.-J. (1997): Verfahrenstechnik zur Biomasse-Ernte auf Kurzumtriebsflächen. Teilvorhaben: Betriebswirtschaftliche und erntetechnische Begleitforschung – FNR/BML – 93 NR – 039 – II – F (1994–1996), BFH-Hamburg.

WIPPERMANN, J. (1992): Produktion von Holzbiomasse im Kurzumtrieb. Projektteil 3: Ernte und Lagerung. Institut für Forsttechnik, Universität für Bodenkultur, Wien.

WIPPERMANN, J. (1993): Holztransport zur Versorgung von Heizanlagen mit Biomasse. Skript des Verfassers.

WIPPERMANN, J. (1994): Die Energiebilanz der Produktion verholzter Biomasse. In: HEINIMANN, H. R. (Hrsg.): Beiträge zur forstlichen Verfahrenstechnik. 28. Internationales Symposium „Mechanisierung der Waldarbeit“ 1994 in der Schweiz.

WIPPERMANN, J. (1995a): Ausgefeilte Logistik als Voraussetzung des Erfolgs. Forstmaschinen-Profi 7/95. S. 24–27.

WIPPERMANN, J. (1995b): Verfahrenstechnik für die Ernte auf Kurzumtriebsflächen. Forst und Holz, 50. Jahrg., Heft 24, S. 790–793.

WIPPERMANN, J. (1996): Logistik für die Bereitstellung forstlicher Biomasse als Waldhackgut. In: 30. Symposium „Mechanisierung der Waldarbeit“ FORMEC ‘96 in Moskau.

WIPPERMANN, J. (1998): Das kompakte Heizwerk im Container – versandfertig, produktionsbereit. Holz-Zentralblatt Nr. 26, 124. Jahrg., S. 386.

WIPPERMANN, J. U. SCHWEINLE, J. (1994): Abschlußbericht über „Erntetechnische Begleitforschung“ im Rahmen des BML-EG-“Modellvorhabens Oldenburg“. 3. Arbeitsverfahren und Erntetechnik auf Kurzumtriebsflächen.

WIPPERMANN, J. U. STAMPFER, K. (1995): Entwicklung von Erntemaschinen für Energieholzflächen. 1. Teil: Holz-Zentralblatt Nr. 1, 121. Jahrg., S. 6–8, 2. Teil: Holz-Zentralblatt Nr. 16, 121. Jahrg., S. 274–276.

V. ZABELTITZ, C. (HRSG.) (1996): Skript zur Übung: Bestimmung der Traktornennleistung und des Brennstoffverbrauches für gezogene und angetriebene Geräte. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft. Universität Hannover.

Eingegangen: 31. 8. 1999 / 5. 10. 2000

Anschrift der AutorInnen: Dr. rer. hort. Ruth Brökeland und Prof. Dr.-Ing. C. von Zabeltitz, Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Herrenhäuser Str. 2, 30419 Hannover; Univ. Doz. Dr. H.-J. Wippermann, Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Leuschnerstr. 91, 21031 Hamburg.