

Hannes Hahne, Thorsten Schmidt, Thomas Peschel und Thomas Herlitzius

Modellierung von Bereitstellungsketten in der Energieholzwirtschaft

Die steigende Anzahl an Kurzumtriebsplantagen in Deutschland stellt die Logistik in der Agrarwirtschaft vor neue Herausforderungen, da die Bereitstellungskette ab der Ernte einen Anteil von bis zu 60 % an den Gesamtproduktionskosten verursacht. Ziel des Forschungsvorhabens war es, anhand quantifizierter technologischer und infrastruktureller Randbedingungen ein Modell zu entwickeln, welches potenzielle Bereitstellungsketten generiert. Damit können Aussagen zu Gesamtdauer und -kosten abgeleitet werden – automatisiert und unabhängig vom jeweiligen Anbaugebiet.

Schlüsselwörter

Kurzumtriebsplantage, Bereitstellungskette, Energiewirtschaft, Algorithmus, Demonstrator, Datenbank, Modell, Parameter

Keywords

Short rotation coppice, supply chain, energy sector, algorithm, prototype, database, model, parameter

Abstract

Hahne, Hannes; Schmidt, Thorsten; Peschel, Thomas and Herlitzius, Thomas

Modeling of supply chains for estimating logistic costs in energy wood industry

Landtechnik 68(3), 2013, pp. 168–171, 2 figures, 4 references

The supply chain needed for harvested wood in short rotation coppices accounts for up to 60% of the total production costs. Therefore, logistics in agriculture industry faces a new challenge caused by an increasing number of short rotation coppices. The aim of the research project was the development of a model generating valid supply chains using quantified technological and infrastructural constraints. By this model estimations of total duration and costs can be automatically derived for each chain, independent of the particular cultivation area.

■ In den Agrarwissenschaften werden Bereitstellungsketten für Energiehölzer i.d.R. visuell oder verbal beschrieben, die Einflussfaktoren oftmals nur qualitativ. Eine Modellierung dieser Ketten durch Parameter, wie z.B. Ort, Feldgröße, Mengen und Endprodukt, wurde bislang nur in geringem Maß umgesetzt.

Eine Ursache kann in den z.T. schwer quantitativ erfassbaren organisatorischen und politischen Rahmenbedingungen (Feld-Abnehmer-Relationen, Pachtverträge vs. Standzeiten der Plantagen, gesetzliche Fördermodalitäten) für die Bewirtschaftung von KUP gesehen werden. Das Wirtschaftssystem, welches die Energiehölzer bereitstellt, ist derzeit nur marginal von anderen Bereichen der Landwirtschaft abgegrenzt und mit seinen besonderen Anforderungen als wesentlicher Baustein eines versorgungssicheren Energiekonzepts kaum berücksichtigt [1].

Zudem sind wichtige Untersuchungen zu Ernteverfahren, Trocknungs- und Hackprozessen sowie Transport- und Umschlagvorgängen und deren wechselseitige Abhängigkeiten noch nicht abgeschlossen. Diese Wirkzusammenhänge haben jedoch direkten Einfluss auf die Dimensionierung von Lager- und Transportkapazitäten sowie die Anwendung und Reihenfolge bestimmter Manipulationsverfahren. Es fehlt jedoch nach wie vor in Deutschland an Erfahrungswerten [2].

Damit ohne großen Aufwand verlässliche Aussagen zu Struktur, Kosten und Dauer möglicher Bereitstellungsketten getroffen werden können, wurden in einem ersten Schritt relevante Einflussgrößen identifiziert und deren Zusammenhänge quantitativ dargestellt. Anschließend wurde ein Prozessketten-generator entwickelt, welcher – basierend auf den modellhaft abgebildeten Zusammenhängen – automatisch valide Bereitstellungsvarianten ableitet. Mithilfe des entwickelten Rechenprogramms können nun Aussagen zu jeder denkbaren Parameterkonstellation getroffen und Entscheidungshilfen für die Auswahl der optimalen Kette gegeben werden.

Modell, Algorithmus und Datenbank

Nachfolgend wird das Modell vorgestellt, welches die Bereitstellungsketten für Energieholz mit den beeinflussenden Parametern (z.B. Erntemenge, Wassergehalt, Fraktion, Ort) abbildet. Werden die Parameter des Holzes durch eine Technologie verändert, wird dies im Modell als Prozess bezeichnet. Eine Aneinanderreihung von Prozessen entspricht somit einer Prozesskette. Stellt die Prozesskette eine Verbindung von Quelle (z.B. Feld) zu Senke (z.B. Abnehmer) dar, wird von einer Bereitstellungskette gesprochen.

Produkteigenschaften, Prozesstechnologien und die topographischen Gegebenheiten stellen die wesentlichen logistischen Einflussfaktoren auf die Bereitstellungsketten für KUP-Hölzer dar. Sind zwischen den Verarbeitungsprozessen räumliche Distanzen zu überwinden, fließt zudem die Topographie des Anbaugesbietes in die Modellrechnung ein (**Abbildung 1**).

Produkteigenschaften

Energiehölzer sind ein Endprodukt mit wenigen für den Abnehmer relevanten Eigenschaften. Dazu zählen vorwiegend Wassergehalt und Heizwert, Fraktionsgröße und Schüttdichte, Aschegehalt und Störstoffe [3]. Für die Logistik sind die inhärenten Guteigenschaften Wassergehalt und Fraktionsgröße entscheidend, da sie Dichte, Volumen und demnach die Masse des Gutes mitbestimmen. Außerdem leiten sich aus ihnen Restriktionen für die einzusetzenden Technologien ab. In den Prozessketten haben somit Fraktionsgröße und Wassergehalt

auch einen direkten Einfluss auf zulässige Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen.

Als nichtinhärente Parameter haben der aktuelle Aufenthaltsort und die jeweilige Masse der Energiehölzer einen wesentlichen Einfluss auf den Bereitstellungsvorgang. Diese bedingen u.a. notwendige Transporte sowie die Dauer von Vorgängen. Schließlich werden zu den Produkteigenschaften noch die abstrakten Merkmale Gesamtzeit und -kosten angefügt, welche nach jedem durchgeführten Prozessschritt durch die eingesetzten Technologien verändert werden.

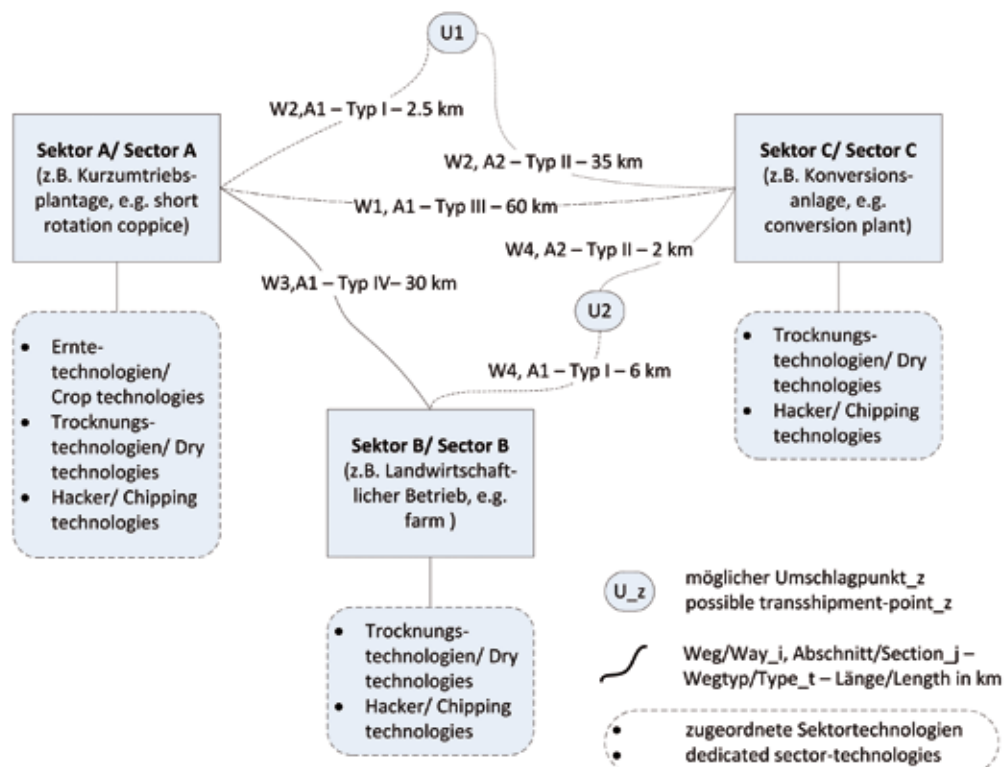
Technologien

Technologien manipulieren die definierten Produkteigenschaften. Dabei werden gutverändernde Technologien (Manipulatoren) sowie Transport- und Umschlagtechnologien unterschieden, welche keine Veränderung der inhärenten Guteigenschaften bewirken. Die Parametrierung der Technologien erfolgte auf Basis eigener Untersuchungen und anhand von Daten aus einschlägigen Veröffentlichungen, sodass verlässliche Aussagen zu Struktur, Dauer und Kosten der zu ermittelnden Prozessketten getroffen werden können.

Topographie

Das Abbilden unterschiedlicher geographischer und infrastruktureller Abhängigkeiten wurde in Form von Sektoren sowie ein verbindendes Wegenetz realisiert. Sektoren sind dabei geographisch zusammenhängende Orte, an welchen gutverän-

Abb. 1



Beispiel einer KUP-Bereitstellungskette
Fig. 1: Example of a SRC supply chain

dernde Prozesse stattfinden können. Transportprozesse innerhalb der Sektoren werden aufgrund der geringen Entfernungen nicht berücksichtigt, sondern den angewandten Technologien zugeordnet. Diesen Orten werden die zur Verfügung stehenden gutverändernden Technologien zugewiesen. Ist die Prozesskette durch die Zuordnung notwendiger Prozesstechnologien zu unterschiedlichen Sektoren unterbrochen, wird ein Transportvorgang mit mindestens zwei Umschlagvorgängen nötig.

Die Verbindung der einzelnen Sektoren erfolgt über Wege, welche ggf. mehrere Fahrabschnitte, das heißt Änderungen des Fahrbahntyps, aufweisen. Bei Änderung des Fahrbahntyps können Umschlagvorgänge notwendig werden, sollte die bis dahin genutzte Transporttechnologie für den nachfolgenden Fahrbahntyp ungeeignet sein. Umschlagvorgänge finden zudem beim Verlassen oder Erreichen eines Sektors statt (Be- und Entladen).

Datenbankkonzept

Es konnte festgestellt werden, dass die Literaturangaben zu Kosten und Leistung der einzelnen Technologien stark schwanken bzw. sehr unterschiedlich interpretiert werden. Dieser Umstand erschwert realistische Kalkulationen hinsichtlich Dauer und Kosten einzelner Bereitstellungsketten. Damit dennoch zuverlässige Aussagen für verschiedene Szenarien getroffen werden können, wird ergänzend zum Modell eine Datenbank mit standardisierten Einträgen und bedienfreundlichem Front-End vorgeschlagen.

Diese generiert aus den hinterlegten Datensätzen Durchschnittskosten und -leistungen. Gleichzeitig dient sie der strukturierten Erfassung und schnellen Auswertung der erfassten eigenen Daten zu Kenngrößen von Maschinen, Fahrzeugen und Anbaugewerken. Zudem zielen die Autoren darauf ab, diese

Datenbank frei zugänglich zu machen und somit KUP-Bewirtschafter zu animieren, eigene Datensätze einzupflegen.

Dem Nutzer soll ein personalisierter Zugang zur Dateneingabe bereitgestellt werden, sodass schnelle und aussagekräftige Analysen für sein eigenes Bewirtschaftungsgebiet durchgeführt werden können. Außerdem werden die Daten aller Nutzer anonymisiert und zu Durchschnittswerten (z. B. nach Bundesländern) zusammengeführt, sodass diese neben dem persönlichen Datensatz in die Berechnungen einfließen und vergleichende Aussagen zur Leistung der eigenen Bereitstellungskette getroffen werden können.

Algorithmus

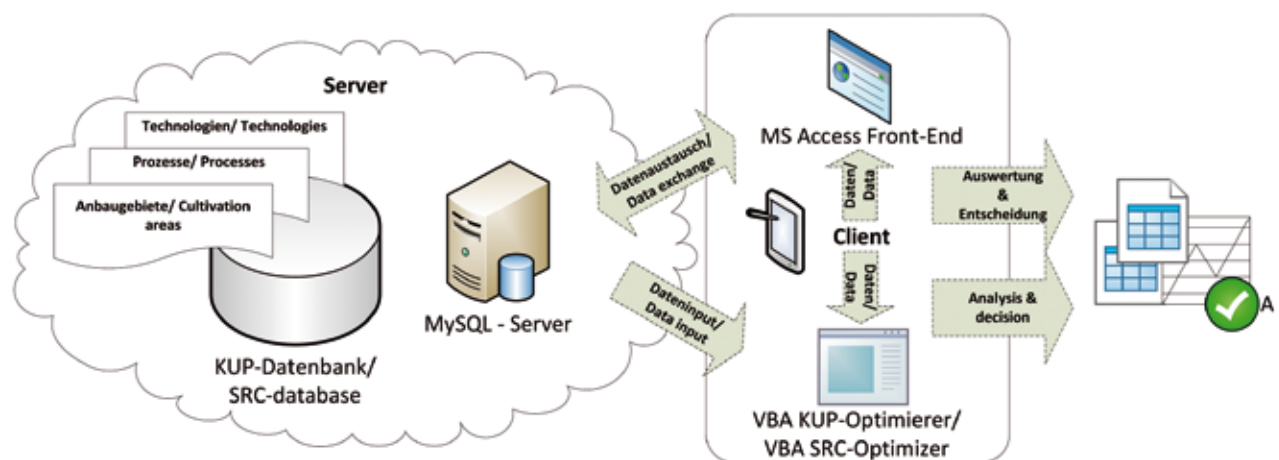
Für einen umfassenden Vergleich und der darauf basierenden Auswahl einer optimalen Prozesskette ist es entscheidend, alle technologisch möglichen Ketten zu ermitteln. Die hierfür notwendigen Berechnungen sind aufgrund des komplexen Zusammenspiels der Randbedingungen und der z. T. großen Anzahl möglicher Ketten kaum mehr in annehmbarer Zeit manuell zu lösen.

Im Folgenden wird eine Vorgehensweise vorgeschlagen, welche sich gut für eine Softwareimplementierung eignet, um automatisiert alle Bereitstellungsketten aus den gegebenen Parametern inklusive deren Gesamtdauer- und -kosten zu ermitteln. Der hierfür entwickelte Algorithmus ähnelt dem aus der Informatik bekannten Prinzip des „depth-first search“ (DFS) [4].

Implementierung

Das beschriebene Modell und der Algorithmus wurden unter Berücksichtigung des vorgeschlagenen Datenbankkonzepts in einem Softwaredemonstrator implementiert. Dieser Schritt zielt zum einen auf die Validierung des entwickelten

Abb. 2



Komponenten einer datenbankgestützten Entscheidungshilfe zur Auswahl einer optimalen Bereitstellungskette bei der Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen

Fig. 2: Components of a database assisted decision-making support for selecting an optimal supply chain for short rotation coppices

Modells ab, zum anderen können aufgrund der Automatisierung schnell Aussagen zu Struktur, Dauer und Kosten einer Vielzahl unterschiedlicher Bereitstellungsketten gewonnen werden. Aufgrund der generell hohen Verfügbarkeit der Entwicklungsumgebung ist der Demonstrator in VBA-Excel programmiert worden (**Abbildung 2**).

Ergebnisse

Die Untersuchungsschwerpunkte im Forschungsprojekt KUP-Logistik liegen auf den angeführten nichtparametrischen Modellen, welche bislang die Bewirtschaftung von Kurzumtriebsplantagen beschrieben. Dabei wurden insbesondere Manipulations- und Logistikprozesse betrachtet sowie die Entwicklung eines automatisierten Prozesskettengenerators zum Auffinden möglicher Bereitstellungsvarianten vorangetrieben.

Es ist gelungen, ein parametrisches Modell zu entwerfen, welches alle relevanten technologischen und gutspezifischen Eigenschaften sowie deren Zusammenhänge und Ausprägungen für die Bereitstellung der Energiehölzer abbildet. Zudem können für jede beliebige Energieholzplantage Transport- und Umschlagprozesse anhand eines standortunabhängigen Sektorenmodells betrachtet werden, wodurch eine vom spezifischen Einsatzfall losgelöste Form der Beschreibung von Prozessketten bei der KUP-Bewirtschaftung entwickelt worden ist.

Die Modellparameter unterliegen hinsichtlich ihrer Ausprägung oft starken regionalen Schwankungen. Damit dennoch realistische Aussagen zu den Charakteristika der Bereitstellungsketten generiert werden können, wurde ein Datenbankkonzept entwickelt, das den Nutzer mit validen Informationen unterstützt, wie z. B. Ernteleistungen, Prozesskosten und Prozessverluste.

Der vorgeschlagene Algorithmus erzeugt umfassende Aussagen zu Anzahl und Struktur möglicher Prozessketten. Eine Vielzahl möglicher Varianten kann schnell berechnet und beurteilt werden. Somit wurde ein Werkzeug geschaffen, das dem Nutzer anhand einfacher Eingabe- und Filteroptionen erlaubt, eine optimale Prozesskette für die Bereitstellung seiner Energiehölzer auszuwählen.

Schlussfolgerungen

Zukünftig dürfte vor allem die Lagerhaltung großen Einfluss auf die Gesamtkosten haben, da die unterschiedlichen Reifegrade der Bäume auf den Feldern eines Anbaugebietes ausschlaggebend für die jährlichen Erntemengen sind. Einem kurzfristig hohen Gutaufkommen in einzelnen Ernteperioden steht ein ganzjährig annähernd konstanter Verbrauch gegenüber. Unter der Prämisse, eine mehrjährige Lagerung des Holzes zu vermeiden und dennoch ein hohes Maß an Versorgungssicherheit zu garantieren, sind Konzepte gefordert, welche das Energieholz in der richtigen Menge zum richtigen Zeitpunkt bereitstellen. Insbesondere ist die Versorgung der Abnehmer mit Energieholz bei minimalem Transportaufwand von Quelle (Lager) zu Senke (Konversionsanlage) anzustreben. Die räumliche Ausdeh-

nung von zusammenhängenden KUP-Wirtschaftsgebieten wird demnach durch die Transportaufwendungen und die daraus resultierende Kosten maßgeblich beschränkt. Die hierfür notwendigen Konzepte zu definieren und zu bewerten kann Logistikkforschung leisten.

Literatur

- [1] Bemmann, A.; Butler-Manning, D. (2011): Chancen und Hemmnisse der nachhaltigen und effizienten Bereitstellung von Energieholz aus KUP. In: 17. Internationale Fachtagung - Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe, TU Bergakademie Freiberg - Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, 15.9.2011, Freiberg
- [2] Grunert, M.; Hirsch, M. (2011): Kurzumtriebsplantagen - Stand in Sachsen und Erfahrungen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. In: Chancen und Hemmnisse für die Energieholzproduktion aus Kurzumtriebsplantagen, Techn. Univ. Dresden, Inst. für Intern. Forst- und Holzwirtschaft. 20.-21.10.2011, Tharandt, S. 17-26
- [3] Murach, D.; Knur, L.; Schultze, M. (Hg.) (2008): DENDROM - Zukunftsrohstoff Dendromasse, <http://www.dendrom.de/daten/downloads/DendromFinSmall1.pdf>, Zugriff am 9.5.2013
- [4] Turau, V. (2009): Algorithmische Graphentheorie. München, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH

Autoren

Dipl.-Wi.-Ing. Hannes Hahne ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt**) und verantwortlich für das Projekt „KUP-Logistik“, Technische Universität Dresden, Georg-Schumann-Bau, Münchner Platz 3, 01062 Dresden, E-Mail: hannes.hahne@tu-dresden.de

Dipl.-Ing. Thomas Peschel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Agrarsystemtechnik (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius**), Technische Universität Dresden, ZINT, Bergstr. 120, 01069 Dresden

Hinweise

Das IGF-Vorhaben 17216BR der Bundesvereinigung für Logistik (BVL) e.V. wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages für die Zeit vom 1.7.2011 bis 31.3.2013 gefördert.