

Valentin Heizinger und Heinz Bernhardt

# Algorithmische Analyse von Transportsystemen für Biomasse

Insbesondere die zunehmende Nutzung von Biomasse als Energierohstoff führt zu einem deutlichen Anstieg des Transportaufkommens im Agrarsektor. Die Effizienz der Logistikketten ist dabei oftmals gering. Die vorgestellte Systemanalyse, basierend auf der Aufzeichnung von Positionsdaten während der Ernte, welche mit speziellen Algorithmen ausgewertet werden, ermittelt Schwachstellen in der Logistik-Planung und bildet die Basis für eine systematische Optimierung.

## Schlüsselwörter

Agrarlogistik, Biomasse-Transport, Modellierung, Systemanalyse

## Keywords

Agricultural logistics, transport of biomass, modelling, system analysis

## Abstract

Heizinger, Valentin and Bernhardt, Heinz

## Algorithmic analysis of transport systems of biomass

Landtechnik 67 (2012), no. 1, pp. 22–25, 4 figures, 4 references

Especially the increasing use of biomass as energy resource causes an increasing amount of agricultural transports. The efficiency of the used logistic systems is often low. The presented system analysis is based on the recording of position data during the harvest. The evaluation of the data with specific algorithms shows planning errors in the logistic chains and generates the basic data for a systematic optimization.

■ Strukturveränderungen in der Landwirtschaft mit einer stetig wachsenden durchschnittlichen Betriebsgröße und einer zunehmenden Nutzung von Biomasse als Rohstoff für die Energieerzeugung verursachen ein erhöhtes landwirtschaftliches Transportaufkommen. Sowohl bei den zu bewältigenden Massenströmen als auch bei den zurückzulegenden Transportentfernungen sind Anstiege zu verzeichnen. Gleichzeitig besitzen die zu transportierenden Güter niedrige Energiedichten, weshalb eine gut organisierte Transportkette einen wichtigen Faktor für die Wirtschaftlichkeit eines Betriebes darstellt.

Moderne Flottenmanagementsysteme [1] unterstützen die automatische Zuweisung von Arbeitsaufträgen an Maschinen und Personal und enthalten Navigationsfunktionen für den landwirtschaftlichen Einsatz. Auch Systeme für die automatisierte Abrechnung von Arbeitsleistungen sind Stand der Technik [2]. Verlässliche Planungswerkzeuge, mit deren Hilfe man optimierte Ernteketten erstellen könnte, existieren derzeit jedoch im Agrarbereich noch nicht. Daher beruht die Zusammensetzung von Logistikketten in der Regel auf Erfahrungswerten.

Die Basis für eine Optimierung der Transportlogistik bildet die Analyse der gegenwärtig eingesetzten Systeme. Die hier dargestellte Effizienzanalyse ermittelt auf der Grundlage der Positionsdaten aller Fahrzeuge einer Ernteprozesskette und unter Verwendung verschiedener Auswertungsalgorithmen die Einsatzparameter der eingesetzten Fahrzeuge. Die Positionsdaten werden ergänzt mit geographischen Informationen über die benutzten Wege und abgeernteten Schläge. Die erstellten Applikationen ermitteln unter Verwendung der genannten Datengrundlagen zunächst den Betriebszustand eines Fahrzeugs zu einem bestimmten Zeitpunkt. Anschließend können daraus Ergebnisparameter (Prozesszeiten, Geschwindigkeiten, Störungsanteile usw.) abgeleitet werden. Insbesondere sind dadurch die unterschiedlichen Leistungsparameter konkurrierender Transportsysteme erkennbar. Beispielsweise kann das Einsatzspektrum von LKWs für landwirtschaftliche Transporte konkretisiert werden.

## Methoden und Algorithmen

Die algorithmische Effizienzanalyse von Ernteprozessketten gliedert sich in die zwei grundsätzlichen Abschnitte Datenerhebung und Datenauswertung, welche getrennt voneinander durchgeführt werden.

## Datenerhebung

Als Datengrundlage für die Analyse der Logistikverfahren dienen während der Ernte erhobene Praxisdaten der untersuchten Prozessketten. Dabei werden alle Fahrzeuge einer Kolonne mit

GPS-Datenloggern ausgerüstet. Diese zeichnen folgende Werte mit einer Frequenz von einem Hertz auf:

- Zeit: UTC
- Aktuelle Position: Längen- und Breitengrad
- Höhe über NN
- Aktuelle Geschwindigkeit
- Weitere Parameter: GPS-Qualität, Kurs, usw.

Die Methodik der Datenerhebung ist so konzipiert, dass die Rüstzeiten vor Beginn der Messungen möglichst gering gehalten werden. Dies beinhaltet, dass die verwendeten Datenlogger mit einem internen Datenspeicher und einer eigenen Stromversorgung ausgestattet sind, wodurch die Verlegung von Kabeln bei der Montage völlig entfällt. Somit kann, was in der Praxis aufgrund der Witterungsabhängigkeit durchaus kein Einzelfall ist, auf kurzfristige Verschiebungen des geplanten Erntebeginns oder Änderungen in der Zusammenstellung der Ernteketten umgehend reagiert werden.

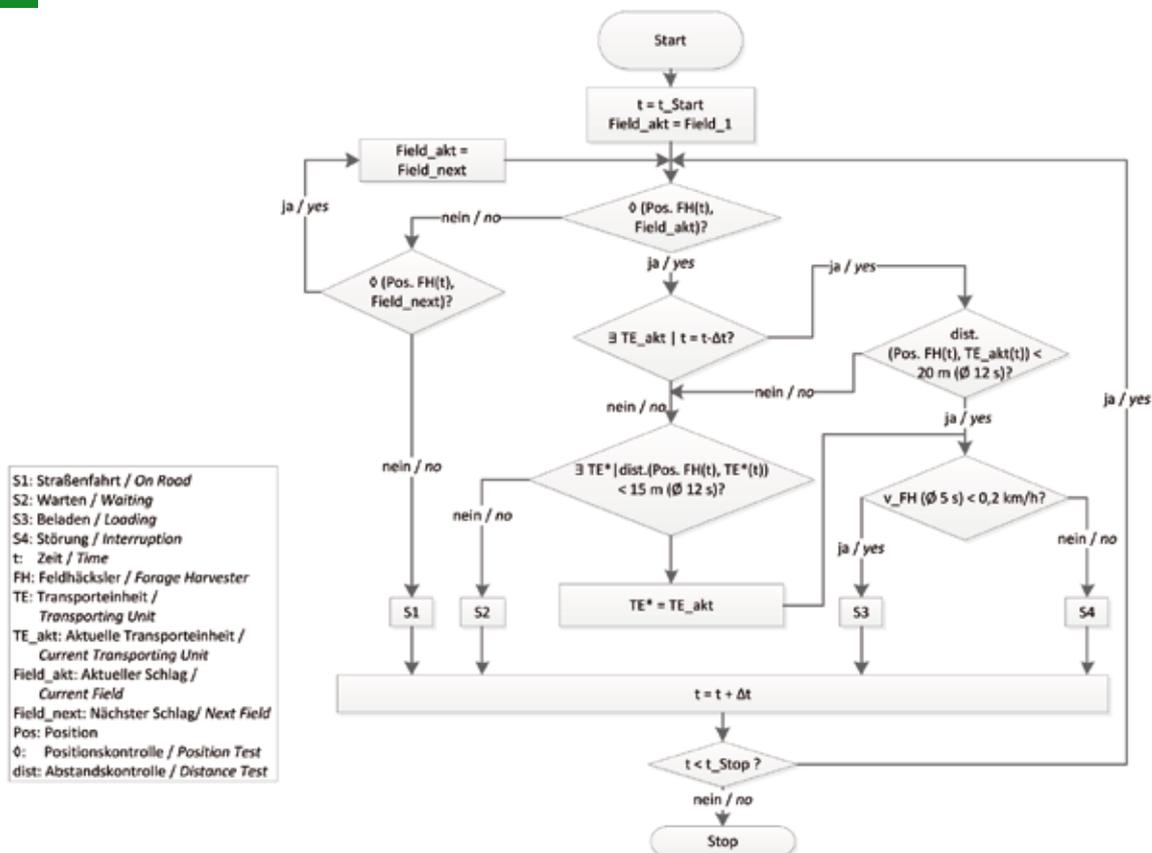
Der Einbau zusätzlicher Sensoren, wie zum Beispiel Ultraschallsensoren auf Transportanhängern, um den Beladungszustand zu dokumentieren, würde für die Auswertung der Daten sicherlich zusätzliche Erkenntnisse bringen. Die entwickelte Methode der Datenaufzeichnung soll allerdings universell und vor allem kurzfristig in der Praxis einsetzbar sein. Daher wird auf die Aufzeichnung zusätzlicher Parameter verzichtet.

## Datenauswertung

Zu Beginn der Datenauswertung muss eine Plausibilitätsprüfung durchgeführt werden. Über maximal zulässige Positionsveränderungen entsprechend dem Beschleunigungsvermögen der Fahrzeuge können Fehler in der Positionsdarstellung gefiltert werden. Auch die Kontinuität der zeitlichen Darstellung der GPS-Positionen muss überprüft werden.

Die aufgezeichneten Daten der einzelnen Fahrzeuge werden anschließend zueinander in Beziehung gesetzt und mit zusätzlichen Werten über beerntete Schläge ergänzt. Um charakteristische Parameter der Verfahrenskette wie durchschnittliche Be- und Entladezeiten, Transportgeschwindigkeiten oder Wartezeiten am Feld ermitteln zu können, ist es zunächst nötig, den Fahrzeugen zu allen Zeitpunkten bestimmte Betriebszustände zuzuweisen. Für Häckselketten für Siliergüter wird dabei zwischen den Zuständen Straßenfahrt, Beladen, Warten am Feld, Entladen am Silo und Störung unterschieden. Der zugrunde liegende Entscheidungsalgorithmus für den Feldhäcksler ist in **Abbildung 1** dargestellt. Zunächst wird getestet, ob sich der Häcksler auf einem zu beerntenden Schlag befindet. Anschließend wird über Kausalbeziehungen aus Geschwindigkeiten und Relativpositionen zu den Transporteinheiten entschieden, ob der Häcksler gerade belädt, wartet oder sich in Störung befindet. Grundsätzlich kann nur höchstens ein Fahrzeug als die

Abb. 1



Flussdiagramm der Zuweisung der Betriebszustände für einen Feldhäcksler

Fig. 1: Flow chart of the assignment of operating conditions for a forage harvester

Abb. 2



Links: Agrar-LKW (Foto: Agrolohn Agrardienstleistungs GmbH), rechts: Traktor mit Häckselwagen (Foto: TUM, Agrarsystemtechnik)  
 Fig. 2: Left: agricultural truck (photo: Agrolohn Agrardienstleistungs GmbH), right: tractor with forage transport trailer

gegenwärtig zu beladende Transporteinheit ( $TE_{akt}$ ) erkannt werden. Die Anforderungen, dass der Algorithmus ein Fahrzeug als zu beladendes Fahrzeug erkennt, sind strikter als die Bedingungen, die ein bereits erkanntes Fahrzeug erfüllen muss, um im zeitlichen Verlaufe weiterhin als zu beladendes Fahrzeug geführt zu werden. Dies hat den Vorteil, dass der Algorithmus nicht dazu neigt, beispielsweise wartende Transporteinheiten, die oft dicht hinter dem zu beladenden Fahrzeug fahren, irrtümlich als zu beladende Fahrzeuge zu erkennen.

Durch einen ähnlichen Algorithmus werden die Zuweisungen von Betriebszuständen für Transportfahrzeuge durchgeführt. Entladen ist dabei an eine Abstandsbedingung zur Siliergutannahme gekoppelt. Falls sich Fahrzeuge auf dem zu beerntenden Schlag befinden, aber gerade nicht beladen werden, gilt dies als Wartezeit. Ebenfalls zur Wartezeit gerechnet wird es, wenn sich Fahrzeuge in der Nähe des Schlages im Stillstand befinden. Dies kommt vor allem beim Anschneiden eines neuen Schlages vor. Die Zeit, in der sich Transportfahrzeuge weder auf dem Schlag noch am Silo befinden, wird als Straßenfahrt bezeichnet. Verkehrsbedingte Stillstandzeiten sind somit Teil der Straßenfahrt und zählen nicht zur Wartezeit.

### Ergebnisse

Auf Basis der algorithmischen Datenanalyse mit Zuweisung von Betriebszuständen für alle Fahrzeuge können verschiedene Ergebnisparameter der untersuchten Erntekette abgeleitet werden. Dabei ist es möglich, sowohl Aussagen über Leistungsparameter einzelner Fahrzeuge zu treffen als auch Kennwerte zu ermitteln, die das gesamte System betreffen. An einem Gantt-Diagramm lässt sich beispielsweise der zeitliche Verlauf der Ernte nachvollziehen, die Darstellung der relativen Zeitannteile von Warte- und Störzeiten spiegelt die Gesamteffizienz der Erntekette wider. Auf Fahrzeugebene können zum Beispiel die Zeiten bestimmt werden, die jedes einzelne Transportfahrzeug am Silo benötigt.

Sowohl aufgrund der Steigerung der Leistungsfähigkeit der Erntemaschinen als auch infolge der Strukturveränderungen in der Landwirtschaft in den letzten Jahren haben die zu bewältigenden Massenströme und die zurückzulegenden

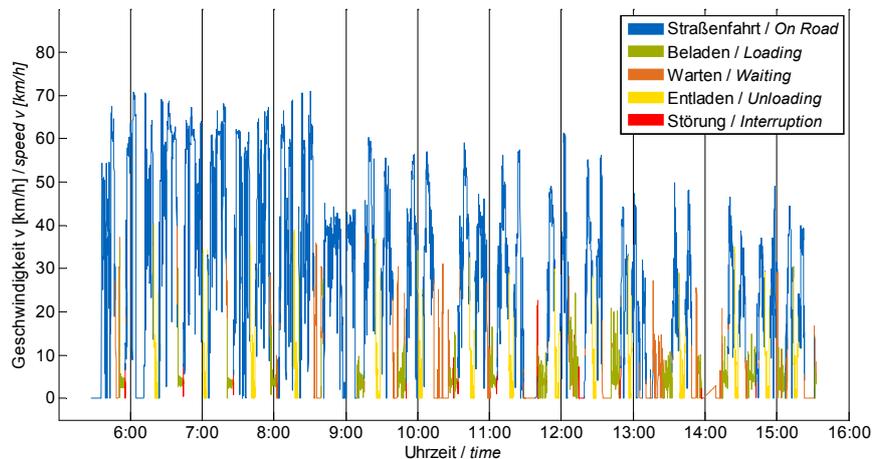
Transportentfernungen deutlich zugenommen. Der Ersatz von Traktor-Gespannen durch Agrar-LKWs (**Abbildung 2**) liegt daher nahe. Welche Auswirkung der Einsatz von Agrar-LKWs auf die Transportgeschwindigkeiten hat, soll im Folgenden näher betrachtet werden

Höhere Endgeschwindigkeit bei geringerem Verbrauch und einem niedrigerem Leergewicht sind die grundsätzlichen Vorteile des LKWs im Vergleich zum Traktor. Einen Indikator, inwieweit diese Vorteile im praktischen Einsatz zum Tragen kommen, stellen die gemessenen Transportgeschwindigkeiten dar (**Abbildung 3** und **4**). In dieser untersuchten Häckselkette werden Traktor-Gespanne und ein Agrar-LKW gleichzeitig eingesetzt. Daher ist die Vergleichbarkeit der Systeme gewährleistet. Durch die algorithmische Zuweisung von Betriebszuständen zu den einzelnen Zeitpunkten ist es möglich, nur die für den Transport aufgewendeten Zeitannteile zu betrachten. Daraus ergeben sich an dem untersuchten Messtag durchschnittliche Transportgeschwindigkeiten von 35,3 km/h für den LKW und 27,8 km/h für einen parallel eingesetzten Traktor. Nähere Betrachtungen zeigen, dass der Traktor über den gesamten Tagesverlauf Höchstgeschwindigkeiten im Bereich von 50 km/h erreicht. Dagegen betragen die gemessenen Maximalgeschwindigkeiten des LKWs vor dem Schlagwechsel um ca. 8:30 Uhr 60 bis 70 km/h. Danach fallen sie auf etwa 50 km/h. Eine Analyse der benutzten Straßen ergibt, dass vor 8:30 Uhr gut ausgebaute Bundes- und Landstraßen befahren werden können, auf denen der LKW seine Höchstgeschwindigkeit erreicht. Der Ausbauzustand der Straßen nach dem Schlagwechsel ist weniger gut. Dieser Systemvergleich zeigt, dass der Wegzustand während des Untersuchungszeitraums einen deutlich größeren Einfluss auf die Höchstgeschwindigkeiten des LKWs als auf die des Traktors hat.

### Schlussfolgerungen

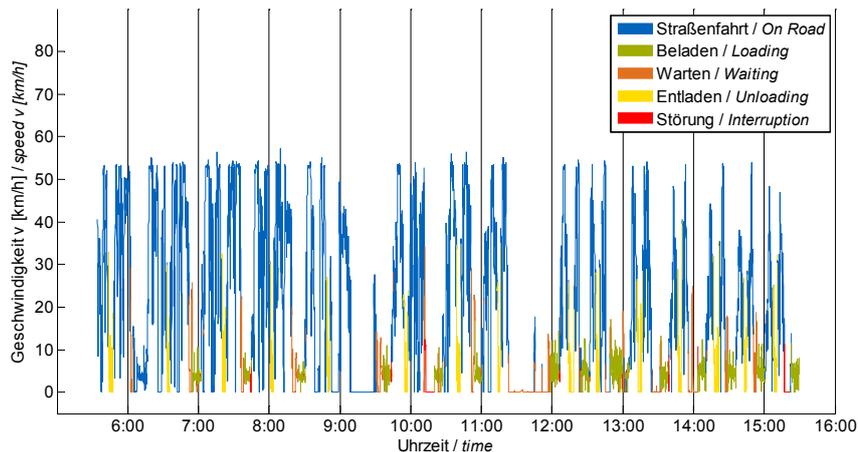
Um künftig Biomasse möglichst effizient transportieren zu können, ist es nötig, Ernteprozessketten systematisch zu planen. Simulationsmodelle wie das Modell von Sonnen [3] benötigen dazu geeignete Eingangsdaten. Da die Simulation von komplexen, realen Prozessen definitionsgemäß mit einer Vereinfachung verbunden ist [4], sind selbst bei exakten Rechenprozes-

Abb. 3



Fahrgeschwindigkeiten Agrar-LKW, Silomaisenernte 2011  
 Fig. 3: Velocity agricultural truck, silage maize harvest 2011

Abb. 4



Fahrgeschwindigkeiten Traktor-Gespann, Silomaisenernte 2011  
 Fig. 4: Velocity tractor with trailer, silage maize harvest 2011

sen Ungenauigkeiten unvermeidbar. Um diese möglichst gering zu halten, ist es zwingend erforderlich, auf genaue Eingangsdaten zugreifen zu können. Die Analyse der Fahrgeschwindigkeiten von LKWs und Traktor-Gespanssen zeigt, dass verschiedene Logistik-Systeme sehr unterschiedlich auf die während der Ernte vorherrschenden Rahmenbedingungen reagieren können. Um solche Systeme methodisch zu optimieren, muss als Grundvoraussetzung eine belastbare Datengrundlage geschaffen werden. Da keine einzelne Maschine, sondern komplette Transportsysteme betrachtet werden, bieten Herstellerangaben keinesfalls eine ausreichende Datenbasis. Die vorgestellte Analyse untersucht algorithmisch Ernteketten in ihrer Gesamtzusammensetzung und ist somit in der Lage, aussagekräftige Kennwerte zu ermitteln, die die untersuchten Systeme genau beschreiben. Somit kann diese Analyse als ein Teilbereich der algorithmischen Optimierung von landwirtschaftlichen Transportketten gesehen werden.

## Literatur

- [1] Lacos Computerservice GmbH: Biomasselogistik, [http://www.lacos.de/cms\\_neu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=122](http://www.lacos.de/cms_neu/index.php?option=com_content&view=article&id=122), Zugriff am 08.11.2011
- [2] Land-Data Eurosoft GmbH & Co. KG: AO Biogas, <http://www.eurosoft.de/software/ao-biogas.html>, Zugriff am 08.11.2011
- [3] Sonnen, J. (2007): Simulation von Ernteprozessketten für Siliergüter. Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin
- [4] Sauerbier, T. (1999): Theorie und Praxis von Simulationssystemen. Braunschweig, Vieweg-Verlag

## Autoren

**Dipl.-Math. Valentin Heizinger** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Prof. Dr. agr. habil. Heinz Bernhardt** ist Ordinarius am Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising, E-Mail: [valentin.heizinger@wzw.tum.de](mailto:valentin.heizinger@wzw.tum.de)