

Katja Heitkämper, Andrea Wagner und Matthias Schick

Mehrphasige Transportverfahren in der Silomaisenernte

Der zunehmende Anbau von Silomais stellt Lohnunternehmer vor die logistische Herausforderung, die Ernte auch bei steigenden Transportentfernungen effizient durchzuführen. Mehrphasige Transportverfahren trennen den Feld- vom Straßentransport. Verschiedene Verfahrensalternativen wurden im Projekt „Biomasselogistik“ im Rahmen des Arbeitsprogramms Kalkulationsunterlagen des Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) von der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) arbeitswirtschaftlich analysiert. Ergebnisse belegen für die im Modell angenommenen Rahmenbedingungen eine höhere Verfahrensleistung mehrphasiger Transportverfahren im Vergleich zum Parallelverfahren.

Schlüsselwörter

Mehrphasige Transportverfahren, Silomaisenernte, Arbeitszeitbedarf, Modellkalkulation

Keywords

multiphase transportation methods, silage maize harvesting, working-time requirement, model calculation

Abstract

Heitkämper, Katja; Wagner, Andrea and Schick, Matthias

Multiphase transportation methods in silage maize harvesting

Landtechnik 67 (2012), no. 5, pp. 350–353, 6 figures, 1 table, 4 references

A continuing growth of silage maize production with increasing field to farm distances challenges contractors to carry out the harvesting and logistics process efficiently. A multiphase harvest process chain separates field and road transport. In the joint KTBL/ART project “biomass logistics” a work analysis of different methods was carried out. Results show under model conditions a higher process performance compared to the common parallel method.

re Nutzlast und höhere durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit auf der Straße zu einer Steigerung der Transportleistung führen, so z. B. in der Rüben- und Getreideernte [2]. Mit dem wachsenden Einsatz von Silomais als Energierohstoff für Biogasanlagen wird das mehrphasige Transportverfahren auch in der Silomaisenernte angewendet.

Mehrphasige Silierguternteverfahren unterscheiden sich in erster Linie hinsichtlich der eingesetzten Technik zum Beladen des Straßentransportfahrzeugs (Lkw). Selbstfahrende oder angehängte Überladefahrzeuge, die vom Häcksler im Parallelverfahren befüllt werden, transportieren das Häckselgut zum Umschlagplatz und entladen es über eine Höhe von mehr als 4 m direkt in den bereitstehenden Lkw. Damit der Häcksler ohne Unterbrechung arbeiten kann, sind mindestens zwei Überladefahrzeuge je Häcksler erforderlich. In Kombination mit den gängigen Feldtransporteinheiten (Kipper, Ladewagen) werden im mehrphasigen Verfahren Überladebänder oder auch Überladestationen eingesetzt, welche das Erntegut auf den Lkw befördern. Eine Alternative hierzu sind Bunkerhäcksler, die sowohl das Häckseln als auch den Transport zum Umschlagplatz und das Überladen übernehmen. Dadurch wird die Feldtransporteinheit eingespart, der Häckselvorgang muss jedoch zum Überladen unterbrochen werden.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Bereitstellung von arbeitswirtschaftlichen Kennzahlen für die Arbeitserledigung bei der Silierguternte von Mais im mehrphasigen Verfahren. Dabei werden die Beladung auf dem Feld, Last- und Leerfahrten, die Übergabe von Feldfahrzeug zu Straßenfahrzeug sowie die Rüstzeiten analysiert. Die Ergebnisse von drei mehrphasigen Mechanisierungsvarianten M1 (**Abbildung 1**), M2 (**Abbildung 2**) und M3 (**Abbildung 3**) werden mit dem Parallelverfahren M4 (**Abbildung 4**) verglichen. Die Mechanisierungsvarianten sind in **Tabelle 1** dargestellt.

■ Transportverbundene Arbeitsverfahren in der Landwirtschaft tendieren mehr und mehr zu einer Entflechtung des Transportvorgangs [1]. Voluminöses Erntegut wird an einem Umschlagplatz in Feldnähe auf Lkw umgeladen, deren höhe-

Abb. 1



Überladeband (Foto: ART)
Fig. 1: Transfer conveyor

Abb. 2



Transportfahrzeug (Shuttle) (Foto: ART)
Fig. 2: Transport vehicle (shuttle)

Material und Methoden

Zur Analyse des Arbeitszeitbedarfs mehrphasiger Transportverfahren in der Silomaisernete wurden arbeitswirtschaftliche Untersuchungen auf Praxisbetrieben in Deutschland durchgeführt. Dazu wurden Arbeitsprozesse in deren kleinste Bausteine, die Arbeitselemente, zerlegt. Zugehörige Planzeiten wurden anhand von direkten Messungen ermittelt, um auf der Modellebene den Arbeitszeitbedarf unter definierten Rahmenbedingungen zu quantifizieren [3].

Zunächst wird ein Arbeitsablaufmodell erstellt, das alle Arbeitselemente enthält, die in Verbindung mit dem Arbeitsverfahren stehen, und in dem Messpunkte für die jeweiligen Arbeits-

ablaufabschnitte und -elemente festgelegt sind. Zusätzlich werden maßgebliche Einflussgrößen wie Entfernungen, Massen, Volumina etc. erfasst. Die Zeitaufnahme erfolgt mittels Pocket-PC (Dell Axim) und einer speziellen Software für die Zeiterfassung (Ortim b3), gemessen wird in Centiminuten ($cmin = 1/100 \text{ min}$). Ein Zeitabschnitt kann jeweils dem zugehörigen Arbeitselement zugeordnet werden. Für zyklische Messabschnitte werden bereits während der Erhebungen fortlaufend das arithmetische Mittel, die Genauigkeit Epsilon und die Standardabweichung als Gütemaß der Stichprobe angegeben.

Aus den Wiederholungsmessungen für die einzelnen Verfahren werden Mittelwert, Varianz und Standardabweichung

Tab. 1

Mechanisierung der untersuchten Siliergut-Ernteverfahren

Table 1: Mechanisation of the silage harvesting methods investigated

Verfahren Method	M 1 Überladeband Transfer conveyor	M 2 Transportfahrzeug (Shuttle) Transport vehicle (shuttle)	M 3 Bunkerhäcksler Hopper forage harvester	M 4 Parallelverfahren Parallel method
Häckseln AB, Maisvorsatz Ladefähigkeit Chopping Working width, maize header, Loading capacity	SF-Häcksler 6 m, 8-reihig - SP forage harvester 6 m, 8-row -	SF-Häcksler 6 m, 8-reihig - SP forage harvester 6 m, 8-row -	Bunkerhäcksler 6m, 8-reihig 35 m ³ Hopper forage harvester 6m, 8-row 35 m ³	SF-Häcksler 6 m, 8-reihig - SP forage harvester 6 m, 8-row -
Feldtransport Ladefähigkeit Field transport Loading capacity	Traktor + Häckselwagen 40 m ³ Tractor + transport trailer 40 m ³	Traktor + Shuttle 30 m ³ Tractor + shuttle 30 m ³	(siehe Häckseln) (see chopping)	Traktor + Häckselwagen 40 m ³ Tractor + transport trailer 40 m ³
Überlademaschine Techn. Leistung Transfermaschine Techn. performance	1 Traktor + Überladeband 685 t/h 1 tractor + transfer conveyor 685 t/h	-	-	-
Straßentransport Ladefähigkeit Road transport Loading capacity	Lkw 60 m ³ Truck 60 m ³	Lkw 60 m ³ Truck 60 m ³	Lkw 60 m ³ Truck 60 m ³	(siehe Feldtransport) (see field transport)



Bunkerhäcksler (Foto: ART)
Fig. 3: Hopper forage harvester



Abb. 4
Parallelverfahren (Foto: ART)
Fig. 4: Parallel method

berechnet. Im Anschluss an die Auswertung erfolgt die Eingabe in eine Planzeitdatenbank. Zur Modellierung des Arbeitszeitbedarfs wird das Modellkalkulationssystem Proof verwendet – ein modular aufgebautes System auf der Basis einer Tabellenkalkulationssoftware [4].

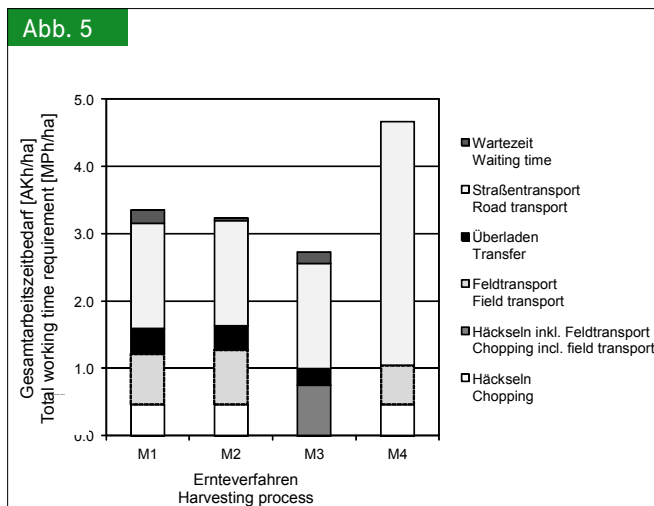
Einflussgrößen Modellbetrieb

Die Silierguternte und -logistik wird von zahlreichen Einflussgrößen wie beispielsweise der Parzellengröße und der Transportentfernung bestimmt, die als Variablen mit oberen und unteren Grenzwerten in das Modellkalkulationssystem eingehen. Zum Vergleich verschiedener Verfahren unter einheitlichen Modellbedingungen wird für alle Variablen ein Standardwert

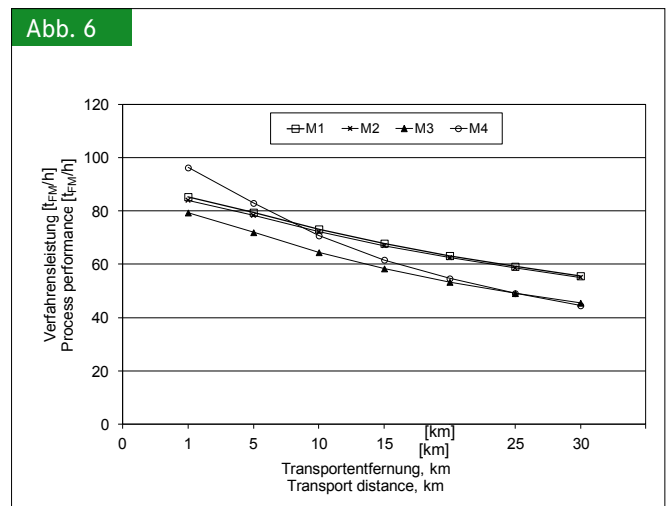
festgelegt, der aus den auf Praxisbetrieben erhobenen Daten berechnet wurde. Zur Modellierung und Berechnung des Arbeitszeitbedarfs werden folgende Einflussgrößen definiert:

- Parzellengröße 5 ha,
- rechteckig,
- Entfernung Umschlagplatz zu Silo 10 km,
- Ertrag 50 t_{FM}/ha , Trockensubstanzgehalt 35 %,
- Durchsatz Häcksler 120 t_{FM}/h .

Das System beginnt mit dem Eintreffen der Fahrzeuge und Maschinen am Feld und endet mit dem Entleeren der Straßen-transportfahrzeuge am Silo. Das Verdichten des Ernteguts im Silo bleibt in diesem Modell unberücksichtigt. Der Häcksler als teuerste Maschine in der Kette häckselt ohne Wartezeit. Der



Gesamtarbeitszeitbedarf bei der Silomaisernte von mehrphasigen Verfahren und Parallelverfahren (Parzellengröße 5 ha, rechteckig, Entfernung Umschlagplatz-Silo 10 km, Ertrag 50 t_{FM}/ha , Durchsatz Häcksler 120 t_{FM}/h)
Fig. 5: Total working time requirement for multiphase methods and parallel method of silage maize harvesting (plot size 5 ha, rectangular, transport distance 10 km, yield 50 t_{FM}/ha , throughput forage harvester 120 t_{FM}/h)



Verfahrensleistung von mehrphasigen Verfahren und Parallelverfahren bei der Silomaisernte im Vergleich (Parzellengröße: 5 ha, Ertrag: 50 t_{FM}/ha)
Fig. 6: Comparison of the process performance of multiphase methods and parallel method in silage maize harvesting (plot size: 5 ha, yield: 50 t_{FM}/ha)

Umschlagplatz befindet sich direkt am Feldrand in der Mitte der Parzellenbreite. Es wird von einem konstanten Maschinenstrom ausgegangen, d. h. die Anzahl verfügbarer Transporteinheiten ist gleich der Anzahl benötigter Transporteinheiten. Da die Straßenfahrzeuge über eine größere Ladekapazität als die Feldtransporteinheiten verfügen, entstehen zwischen zwei Überladevorgängen Wartezeiten für den Lkw. Die Wartezeit wird bei der Berechnung des Zeitbedarfs berücksichtigt.

Ergebnisse

Der Gesamtarbeitszeitbedarf für die drei mehrphasigen Silierguternteverfahren (M1, M2 und M3) und die Ernte im Parallelverfahren (M4) beinhaltet das Häckseln, den Feldtransport, das Überladen auf den Lkw und den Straßentransport einschließlich des Abladens des Ernteguts am Silo (**Abbildung 5**). Ein Vergleich der verschiedenen Verfahren zeigt, dass sich der Gesamtarbeitszeitbedarf deutlich unterscheidet.

Während unter den gegebenen Rahmenbedingungen die Verfahren Überladeband (M1) und Shuttle (M2) mit 3,4 und 3,2 AKh/ha einen ähnlichen Arbeitszeitbedarf aufweisen, werden für das Verfahren Bunkerhäcksler (M3) 2,8 AKh/ha und das Parallelverfahren (M4) 4,7 AKh/ha benötigt. Der Zeitbedarf für das Häckseln ist bei den Varianten M1, M2 und M4 gleich, da die gleiche Mechanisierung eingesetzt wird. Der Bunkerhäcksler ist separat zu betrachten, da bei diesem Verfahren das Häckseln und der Zwischentransport von derselben Maschine durchgeführt werden. Der Zeitbedarf von 0,38 AKh/ha für das Überladen mit Band (M1) unterscheidet sich nur gering vom Zeitbedarf von 0,36 AKh/ha für das Überladen mit Shuttle (M2), obwohl bei Variante M1 eine zusätzliche Arbeitskraft für das Bedienen des Bandes eingesetzt wird. Der Grund hierfür ist die unterschiedliche Überladezeit, die mit dem Band nur 5,7 AKcmin/m³ im Vergleich zu 8,1 AKcmin/m³ beim Überladen mit dem Shuttle beträgt.

Der Zeitbedarf für den Straßentransport ist mit 3,6 AKh/ha erwartungsgemäß beim Parallelverfahren am höchsten, weil das Siliergut mit den Feldtransporteinheiten, d. h. mit geringem Transportvolumen und geringeren Transportgeschwindigkeiten, zum Silo befördert wird.

Die Wartezeiten, die für den Lkw zwischen den Abladevorgängen der Feldtransportfahrzeuge entstehen, unterscheiden sich ebenfalls. Das Verfahren M2 weist mit 11,7 AKmin eine deutlich geringere Wartezeit auf als das Verfahren M1 mit 60,0 AKmin. Dieser hohe Wert resultiert daraus, dass zusätzlich zum Lkw-Fahrer auch die Bedienperson des Überladebands nach einem Überladevorgang am Band wartet, bis die nächste Wagenfüllung abgeladen wird.

Schlussfolgerungen

Mithilfe des Modellkalkulationssystems Proof konnten verschiedene Transportverfahren auf einen Nenner gebracht und verglichen werden. Das Modell dient gleichzeitig der Planung und Optimierung von Arbeitsverfahren.

Unter den im Modell angenommenen Rahmenbedingungen zeigt sich, dass im Vergleich zum klassischen Parallelverfahren der Gesamtarbeitszeitbedarf mehrphasiger Verfahren um bis zu 1,9 AKh/ha geringer ist. Die Verfahrensleistung bei 10 km Transportentfernung kann mit dem Einsatz mehrphasiger Verfahren um bis zu 3,4 %, bei 20 km Transportentfernung um bis zu 15,8 % gegenüber dem Parallelverfahren gesteigert werden.

Mit zunehmender Entfernung erhöht sich die Anzahl der benötigten Transporteinheiten, was eine weitere Herausforderung für die Koordination innerhalb der Erntekette bedeutet. Eine mangelhafte Abstimmung innerhalb der Verfahrenskette zieht an allen Übergabestellen Verzögerungen nach sich. In der Praxis wird die Zwischenlagerung von Maishäckselgut als Lösung diskutiert, diese führt jedoch zu unerwünschten aeroben Verlusten. Bei größeren Transportentfernungen erfordert die Koordination der Erntelogistik künftig mehr und mehr den Einsatz von elektronischen Systemen, um die steigenden Anforderungen an das Flottenmanagement zu bewältigen.

Literatur

- [1] Herrmann, A. (1999): Ernte und Transport im Parallelverfahren. Landtechnik 54(4), S. 272–273
- [2] Bernhardt, H.; Lixfeld, W.; Engelhardt, D.; Kolundzija, E. (2008): Neue Transport- und Umschlagtechnik zur Optimierung der Logistikkette in der Getreideernte. Landtechnik 63(2), S. 92–93
- [3] Schick, M. (2006): Dynamische Modellierung landwirtschaftlicher Arbeit unter besonderer Berücksichtigung der Arbeitsplanung. Habilitationsschrift. Stuttgart, Ergonomia-Verlag
- [4] Riegel, M.; Schick, M. (2005): The PROOF Model Calculation System Using the Example of Pig Husbandry. XXXI CIOSTA-CIGR V Congress Proceedings, Hohenheim, 19.–21.9.2005, pp. 360–368

Autoren

Dipl.-Ing. Katja Heitkämper und **PD Dr. habil. Andrea Wagner** sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: katja.heitkaemper@art.admin.ch, andrea.wagner@art.admin.ch

PD Dr. habil. Matthias Schick ist Leiter der Forschungsgruppe Bau, Tier und Arbeit von Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: matthias.schick@art.admin.ch