

Entwicklung eines Planungssystems zur Optimierung von Agrarlogistik-Prozessen

Sascha Wörz¹, Heinz Bernhardt¹, Valentin Heizinger¹, Jan Eberhardt², Thomas Damme², Bernd Damme², André Kluge³, Carl-Friedrich Gaese⁴, Theodor Fock⁴

¹Technische Universität München,
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Am Staudengarten 2
85354 Freising

{sascha.woerz, heinz.bernhardt, valentin.heizinger}@wzw.tum.de

²Lacos Computerservice

³Claas Agrosystems GmbH & Co. KG

⁴HS Neubrandenburg

Abstract: Die Logistik-Optimierung in der Landwirtschaft gewinnt aufgrund steigender Mensch-Maschine-Kosten-Systeme in diesem Bereich immer mehr an Bedeutung. Dabei nimmt die Agrarlogistik eine Sonderrolle in der Logistik ein, da sie sowohl Elemente der allgemeinen Fahrzeuglogistik als auch Aspekte der Prozesslogistik von Produktionssystemen vereinen muss. Ein entscheidender Aspekt aus der Prozesslogistik ist für die Agrarlogistik die Maschinen-Maschinen-Interaktion. Der Produktionsprozess ist ohne gezielte räumliche und zeitliche Zusammenarbeit der einzelnen Maschinen nicht möglich. Bei der Analyse der allgemeinen Fahrzeuglogistik gehen die Anforderungen der Agrarlogistik noch darüber hinaus. Agrarfahrzeuge stellen besondere Anforderungen an die Verkehrswege. Ein weiterer entscheidender Unterschied der Agrarlogistik ist das Wegenetz. Zum Teil muss das Wegenetz vom Anwender selbst digitalisiert werden, da es sich um Feldwege handelt. Des Weiteren können sich die Fahrzeuge nicht nur auf den Feldwegen bewegen, sondern auch auf dem gesamten Feld. Ziel ist die Entwicklung eines Planungssystems für landwirtschaftliche Transporte, mit dessen Hilfe Ernte- und Transportketten in einem System geplant, optimiert und koordiniert werden können, um so die Effizienz in der Agrarlogistik erheblich zu steigern. Vergleichbare Produkte existieren bisher nicht.

1 Einleitung

Gegeben sei das folgende übersichtliche Szenario: Ausgehend von einem Silo, einem Schlag, einem Feldhäcksler und 4 homogenen Transportfahrzeugen (LKWs) soll die Erntelogistikette Silo - Schlag - Silo bezüglich der Fahrzeugkonstellation und der Servicebeginnzeiten der Transportfahrzeuge optimiert werden. Es gibt bisher keine geschlossenen Lösungen zu diesem Problem. Zur dessen Lösung wird ein kürzester

Wege Algorithmus mit oder Zeitfenster (SPPTW, SSP), eine Distributionsheuristik, eine Programmierheuristik und eine Metaheuristik verwendet, wobei die Startlösung für die Optimierung über die Distributionsheuristik generiert wird. Natürlich kann das vorgestellte Verfahren auch im allgemeinen Fall, wenn eine beliebige Anzahl an Silos, Schlägen, Feldhäcksler und Transportfahrzeugen vorliegt, verwendet werden. Eine Performance-Analyse mit Datenauswertung schließt das Paper ab.

2 Material und Methoden

Im ersten Schritt wird das Wegenetz vom Lohnunternehmer x zum Silo y , wo die ungeladenen (nur bei 1. Siloanfahrt) / beladenen Transportfahrzeuge gewogen werden, vom Silo zum Schlag z , vom Schlag zum Silo und zurück zum Lohnunternehmer ermittelt. Dies führt auf die Knoten x , y , a , b und z , welche die Fahrwege xy , ya , yb , az , bz und ab und vice versa induzieren. Dabei ergeben sich Kosten von 0.2, 0.8, 2.0, 1.1, 3.0 und 1.4 Euro und Fahrzeiten von 0.05 h, 0.02 h, 0.1 h, $1/6$ h und 0.02 h. Zusätzlich werden noch die Wiegezeiten der einzelnen Transportfahrzeuge (0.02 h) und die Servicezeiten am Silo (0.013 h) und Schlag (0.2 h) in die weiteren Betrachtungen einbezogen. Bei den Servicebeginnzeiten am Silo handelt es sich um Entladezeiten der Transportfahrzeuge, im anderen Fall um Beladezeiten. Des Weiteren wird angenommen, dass die 4 LKW's 17 Abfahren zu leisten haben und keine Überladefahrzeuge existieren. Dabei soll die Feldertrag pro Stunde kleiner oder gleich der Siloverdichtungskapazität sein. Der andere Fall kann durch Perturbation der Servicezeiten am Silo gelöst werden. Sollten mehrere Häcksler vorhanden sein, dann werden die Transportfahrzeuge gleichmäßig auf die Häcksler aufgeteilt. Somit landet man o. B. d. A. im vorliegenden Fall. Für zusätzliche Schläge gilt das Selbige. Zu ermitteln sind nun die optimale Fahrzeugkonstellation, die optimalen Ankunfts-, Warte-, Servicebeginn- und Abfahrtszeiten am Silo und Schlag und die Transportzeiten des Häckselguts unter der Bedingung, dass die Kosten auf allen Fahrten/die Kosten auf allen Fahrten unter Einhaltung zusätzlich vorgegebener Zeitfenster an den einzelnen Knoten minimal sind. Zur Lösung dieses Problems wird wie folgt vorgegangen: Zuerst wird mit einem Shortest Path Algorithmus (z. B. Dijkstra-Algorithmus) die kostenminimale Route zwischen dem Silo-Schlag(-Silo) berechnet (SPP). Sind an den einzelnen Knoten zusätzlich Zeitfenster vorgegeben, so muss ein Shortest Path Algorithmus mit Zeitfenster (z. B. Dijkstra-Algorithmus mit Zeitfenstern) verwendet werden (SPPTW). Dann wird die Zielfunktion aufgestellt, die sich als gewichtete Summe über die Gesamtfahrzeit der Fahrzeuge, die Transportzeiten des Häckselguts, die Wartezeiten der Fahrzeuge am Silo und Schlag und über Strafterme für das Nichteinhalten vorgegebener Gesamtfahrzeiten der Transportfahrzeuge, für das Nichteinhalten vorgegebener maximaler Transportzeiten des Häckselguts, für das Nichteinhalten vorgegebener maximaler Wartezeiten der Transportfahrzeuge am Silo und Schlag, für das Nichteinhalten der Transportfahrzeugkapazitäten und schließlich für das Nichteinhalten optimaler Servicebeginnzeiten am Silo und Schlag ergibt. Der Zielfunktion folgen nun Nebenbedingungen, die das Wegenetz repräsentieren und die einzelnen Optimierungsparameter miteinander verknüpfen. Mittels einer Distributionsheuristik werden nun die einzelnen Abfahren gleichverteilt und jeweils nach optimalen

Servicebeginnzeiten sortiert auf die einzelnen Transportfahrzeuge gleichmäßig verteilt. Dadurch wird eine Startlösung für die Optimierung generiert. Diese Startlösung wird dann einer Programmierheuristik unterworfen, die alle Optimierungsparameter bestmöglich anpasst. Mittels einer Metaheuristik wie dem Simulated Annealing-Verfahren werden dann sukzessive durch gleichverteiltes Umverteilen und Austauschen gleichverteilt ausgewählter Serviceaufträge nach erneutem Sortieren unter Verwendung der Programmierheuristik immer bessere Lösungen berechnet. Terminiert das Simulated Annealing Verfahren, so wird die beste Lösung als Lösung des nichtglatten Optimierungsproblems angesehen. In der Regel steuert das Verfahren auf ein globales Optimum zu, da es die Fähigkeit besitzt, lokalen Optima zu entkommen.

3 Ergebnisse

Im Folgenden wird für das Simulated Annealing Verfahren eine Starttemperatur von 20000, ein Abkühlungsfaktor von 0.975, eine Endtemperatur von 0.01 und eine Iterationszahl von 1000 für jede Temperatur verwendet. Ferner werden die Terme in der Zielfunktion mit den Gewichten 1, 3, 1, 1500, 1500, 1500, 1500, 3000 gewichtet. Die hohen Gewichte in den Straftermen sollen ein gutes Optimum liefern. Insgesamt wurden die Algorithmen in C# implementiert. Im Einzelnen ergaben sich für die optimale Fahrzeugkonstellation, die optimalen Ankunfts-, Warte-, Servicebeginn- und Abfahrtszeiten am Silo und Schlag, die Transportzeiten des Häckselguts unter der Bedingung, dass die Kosten auf allen Fahrten minimal sind, bei einer maximal akzeptierten Wartezeit von 0.0 h pro LKW, einer maximal akzeptierten Transportzeit von 0.25 h für das Häckselgut pro LKW, einer maximal akzeptierten Gesamtfahrzeit von 3.3 h pro LKW und einer Rechenzeit von 30 Sekunden folgende auf zwei Nachkommastellen gerundete Ergebnisse. Dabei bezeichne:

OSSaEL: Früheste und späteste optimale Servicebeginnzeiten am Schlag, OSSiEL: Früheste und späteste optimale Servicebeginnzeiten am Silo, OASa: Optimale Ankunftszeiten am Schlag, OASi: Optimale Ankunftszeiten am Silo, OWSa: Optimale Wartezeiten am Schlag, OWSi: Optimale Wartezeiten am Silo, BSSa: Berechnete Servicebeginnzeiten am Schlag, BSSi: Berechnete Servicebeginnzeiten am Silo, ODSa: Optimale Abfahrtszeiten vom Schlag, ODSi: Optimale Abfahrtszeiten vom Silo, ORSa: Optimale Transportzeiten des Häckselguts vom Schlag zum Silo, ORSi: Optimale Transportzeiten des Häckselguts vom Silo zum Schlag, T: Transportfahrzeug, H: Häcksler.

Ergebnisse für Transportfahrzeug 2					
OSSaEL [h]	OSSiEL[h]	OASa [h]	OASi [h]	OWSa [h]	OWSi [h]
11.5, 11.51	11.75, 11.76	11.5	11.75	0.00	0.00
BSSa [h]	BSSi [h]	ODSa [h]	ODSi [h]	ORSa [h]	ORSi [h]
11.5	11.75	11.7	11.78	0.05	0.00

Tabelle 2: Ergebnisse für Transportfahrzeug 2.

Ergebnisse für Transportfahrzeug 1					
OSSaEL [h]	OSSiEL[h]	OASa [h]	OASi [h]	OWSa [h]	OWSi [h]
11.1, 11.11	11.35, 11.36	11.11	11.36	0.00	0.00
11.7.1, 11.71	11.95, 11.96	11.43	11.96	0.27 (T)	0.00
12.1, 12.11	12.35, 12.36	12.04	12.35	0.06 (T)	0.00
BSSa [h]	BSSi [h]	ODSa [h]	ODSi [h]	ORSa [h]	ORSi [h]
11.11	11.36	11.31	11.39	0.05	0.00
11.71	11.96	11.91	11.99	0.05	0.00
12.1	12.35	12.3	12.38	0.05	0.00

Tabelle 1: Ergebnisse für Transportfahrzeug 1.

Ergebnisse für Transportfahrzeug 3					
OSSaEL [h]	OSSIEL[h]	OASa [h]	OASi [h]	OWSa [h]	OWSi [h]
9.5, 9.51	9.75, 9.76	9.51	9.76	0.00	0.00
9.9, 9.91	10.15, 10.16	9.84	10.15	0.06 (T)	0.00
10.1, 10.11	10.35, 10.36	10.23	10.48	0.13 (H)	0.13 (T)
10.3, 10.31	10.55, 10.56	10.57	10.82	0.27 (H)	0.27 (T)
10.7, 10.71	10.95, 10.96	10.9	11.15	0.2 (H)	0.2 (T)
BSSa [h]	BSSI [h]	ODSa [h]	ODSi [h]	ORSa [h]	ORSi [h]
9.51	9.76	9.71	9.79	0.05	0.00
9.9	10.15	10.1	10.18	0.05	0.00
10.23	10.48	10.43	10.52	0.05	0.00
10.55	10.82	10.77	10.85	0.05	0.00
10.9	11.15	11.10	11.18	0.05	0.00

Tabelle 3: Ergebnisse für Transportfahrzeug 3.

Ergebnisse für Transportfahrzeug 4					
OSSaEL [h]	OSSIEL[h]	OASa [h]	OASi [h]	OWSa [h]	OWSi [h]
9.1, 9.11	9.35, 9.36	9.1	9.35	0.00	0.00
9.3, 9.31	9.55, 9.56	9.4	9.65	0.1 (H)	0.1 (T)
9.7, 9.71	9.95, 9.96	9.73	9.98	0.03 (H)	0.03 (T)
10.5, 10.51	10.75, 10.76	10.06	10.76	0.44 (T)	0.00
10.9, 10.91	11.15, 11.16	10.84	11.16	0.06 (T)	0.00
11.3, 11.31	11.55, 11.56	11.24	11.56	0.06 (T)	0.00
11.9, 11.91	12.15, 12.16	11.65	12.16	0.25 (T)	0.00
12.3, 12.31	12.55, 12.56	12.24	12.55	0.06 (T)	0.00
BSSa [h]	BSSI [h]	ODSa [h]	ODSi [h]	ORSa [h]	ORSi [h]
9.1	9.35	9.3	9.35	0.05	0.00
9.4	9.65	9.6	9.68	0.05	0.00
9.73	9.98	9.93	10.02	0.05	0.00
10.51	10.76	10.71	10.79	0.05	0.00
10.91	11.16	11.11	11.19	0.05	0.00
11.31	11.56	11.51	11.59	0.05	0.00
11.91	12.16	12.11	12.19	0.05	0.00
12.3	12.55	12.5	12.58	0.05	0.00

Tabelle 4: Ergebnisse für Transportfahrzeug 4.

Zusammenfassung:

Als kostenoptimaler Weg ergab sich y-a-b-z und vice versa mit Ab- und Zufahrt zum Depot. Das erste Fahrzeug muss also um **10.99** Uhr, das zweite Fahrzeug um **11.38** Uhr, das dritte Fahrzeug um **9.39** Uhr und das vierte Fahrzeug um **8.98** Uhr das Depot verlassen. Hat jedes Fahrzeug seine Serviceaufträge erledigt, so kehrt es wieder zum Depot zurück. Dabei kann es sein, dass es früher als geplant am Depot ankommt, was ein positiver Nebeneffekt der Optimierung ist. Dabei wartet der Häcksler im Durchschnitt **0.04** h und die Transportfahrzeuge **0.12** h.

4 Ausblick

Insgesamt liegt also ein effizientes und universelles Verfahren zur Optimierung der zu Beginn der Arbeit beschriebenen Erntelogistikkette vor. Bis jetzt erfolgt die Planung solcher Logistikketten meist manuell. In den allermeisten Fällen verlassen die Transportfahrzeuge den Lohnunternehmer simultan und müssen aufgrund fehlender Optimierungsmodelle große Wartezeiten in Kauf nehmen. In der Regel müssen auch höhere Häckslerstillstandszeiten einkalkuliert werden. Ein weiterer Schritt der Optimierung ist die Betrachtung von Überladefahrzeugen. Dieses Problem kann aber mit dem vorliegenden Optimierungsmodell abgedeckt werden, indem man zuerst das Verfahren auf die Überladefahrzeuge (1. Kreislauf) und dann auf die Transportfahrzeuge (2. Kreislauf) anwendet. Das Verfahren leistet also auch einen Beitrag zur Infield-Logistik-Optimierung. Ein weiterer Aspekt der Infield-Logistik-Optimierung ist zum Beispiel der Vorgang, wie der/die Häcksler das Feld optimal abarbeitet/abarbeiten. Hierbei kommen vor allem Bin Packaging Methoden mit entsprechenden Nebenbedingungen zum Einsatz, die in späteren Veröffentlichungen betrachtet werden.

Die Förderung des Vorhabens erfolgt/erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

