

## Verbesserung logistischer Prozesse durch Dezentralisierung von Entscheidungen

Henning Deeken<sup>1</sup>, Florian Krampe<sup>1</sup> und Thilo Steckel<sup>1</sup>

**Abstract:** Die Planung und Steuerung von logistischen Ketten erweist sich in der Landwirtschaft oft als Herausforderung, da unvermeidbare Störungen im Ablauf und Kapazitätsengpässe auftreten. Diese adäquat zu behandeln bedarf einer engen Abstimmung aller Prozess Teilnehmer, eine Aufgabe der zentrale Planungsarchitekturen oft nicht gewachsen sind, da es an den geeigneten Kommunikationskanälen von und zur Prozessebene mangelt. Die dezentrale Vernetzung von Maschinen und eine verteilte Entscheidungsfindung auf Prozessebene scheinen viel versprechende Ansätze, um Probleme frühzeitig am Ort des Entstehens zu erkennen und zu behandeln. Das Projekt SOFiA erforscht Verfahren zur dezentralen Entscheidungsunterstützung in logistischen Netzwerken mithilfe sogenannter Smart Objects. Die dem Projekt zugrundeliegenden Ideen werden im Folgenden am Anwendungsfall der Silomaisenernte vorgestellt.

**Keywords:** Logistik, Prozesskettenoptimierung, Smart Objects, Transportlogistik, Silomaisenernte

### 1 Einleitung

Die meisten landwirtschaftlichen Verfahren beinhalten logistische Unterprozesse, wie zum Beispiel Materialflüsse vom Feld zum Lager (Ernte), sowie vom Lager zum Feld (z.B. Düngung, Pflanzenschutz). Durch eine Vielzahl von involvierten Maschinen und betrieblichen Akteuren in Kombination mit einer hoch dynamischen Umgebung kommt es jedoch regelmäßig zu Störungen beim Transport und Umschlag von landwirtschaftlichen Gütern. Zur Reaktion auf diese Störungen wird in der Praxis oft auf die Erfahrung der involvierten Personen gesetzt, welche durch informelle Kommunikation (per Betriebs- oder Mobilfunk) und auf Basis qualitativer Abschätzungen Entscheidungen treffen. Eine quantitative Analyse der Prozesskette und der damit verbundenen Daten wird, wenn überhaupt, in der Vorplanung einer Erntekampagne durchgeführt. Hier kommen oftmals digitale Dispositionssysteme ohne spezielle landwirtschaftliche Ausprägung zum Einsatz. Systeme die den Prozessablauf auch zur Laufzeit analysieren und bei Bedarf auf quantitativer Datenbasis neu planen und steuern existieren derzeit nicht. Wohl aber stellen Flottenübersichtsanwendungen mittlerweile planungsrelevante Daten auf allen Maschinen zur Verfügung. Diese auszuwerten ist derzeit Aufgabe der Maschinenbediener. An dieser Stelle setzt das Projekt SOFiA an, in dem es die Maschinen zu sogenannten Smart Objects (SO) erweitert, die auf Basis geteilter Informationen eigenständig Entscheidungen über den Prozess treffen können und diese als Handlungsempfehlungen an den Bediener weiterleiten, welche diese dann ausführen.

---

<sup>1</sup> CLAAS E-Systems KGaA & Co KG, Bäckerkamp 19, 33330 Gütersloh, {vorname.nachname}@claas.com

## 2 Dezentrale Steuerung und Planung

Die Planung logistischer Wertschöpfungsketten (engl. *supply chains*) wird zurzeit meist über zentrale Steuerungsansätze realisiert. Diese Ansätze bauen auf einen zentralen Knotenpunkt, an den alle Prozessteilnehmer (die ausführenden Maschinen) in einem sternförmigen Netzaufbau verbunden sind. Der zentrale Knoten übernimmt die Aufgabe die für die Planung relevanten Zielgrößen und Randbedingungen der Prozesskette in einem quantitativen Modell abzubilden [Wi13] und auf diesem zu planen. Zur Vorplanung erweist sich dies als sinnvoll, da bei vollständig vorliegenden Informationen über den Prozess auch mathematisch optimale Lösungen gefunden werden können. Zur Steuerung von verteilten Prozessen, wie in der Landwirtschaft, ist die Verwendung eines zentralen Steuerungssystems von Nachteil: Zuerst müssen alle Prozessinformationen von den Teilnehmern in das zentrale System gesandt werden, und ebenso alle Steuerbefehle nach der Planung an diese zurück gegeben werden. Insbesondere bei räumlicher Trennung der Prozessteilnehmer in Kombination mit infrastrukturellen Problemen, wie mangelnder Mobilfunkabdeckung, kostet die zentrale Planung mehr Zeit als eine adäquate, zeitnahe Reaktion erlaubt (vgl. Abbildung 1, links). Die dynamische Anpassung verteilter Prozesse zur Laufzeit ist mit einem zentralen Ansatz deshalb selten möglich.

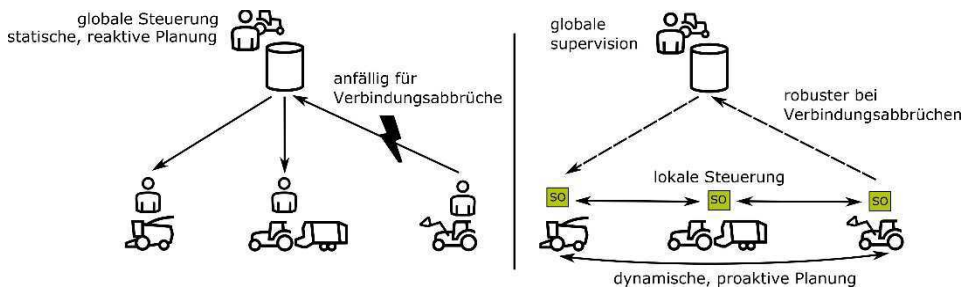


Abb. 1: Vergleich einer zentralen (links) und einer dezentralen Steuerungsarchitektur (rechts)

Dezentrale Ansätze hingegen beruhen auf der Idee, die Entscheidungsfindung auf die einzelnen Prozessteilnehmer zu verteilen und in räumlich eingegrenzten Teilprozessen durch direkte End-zu-End Kommunikation genügend Informationen zusammen zu tragen, um lokale Prozessoptimierung zu betreiben. Entscheidungen sollen, sofern möglich, unmittelbar dort getroffen werden, wo ein Problem auftritt. Damit eine dezentrale Prozesssteuerung gelingt, ist es also sinnvoll den betrachteten Prozess in möglichst unabhängige Teilschritte zu segmentieren. Bei der Silomaisenernte ist dies möglich, da die ortsgebundenen Unterprozesse der Ernte im Feld teilweise unabhängig von denen der Einlagerung am Silo sind und somit auch größtenteils lokal koordiniert werden können (vgl. Abbildung 1, rechts). Es wird angenommen, dass jene Prozesse, in denen mehrere Maschinen in räumlicher Nähe interagieren, auch diejenigen sind, die schnelle Reaktionen erfordern und auch auf den Austausch größere Mengen von Daten angewiesen sind. Die Koordination des Überladevorgangs vom Feldhäcksler auf ein Transportfahrzeug,

zum Beispiel, erfordert eine zeitnahe, durchgehende Kommunikation zwischen beiden Maschinen zur Koordination von Fahrtrouten, der Steuerung der Überladeautomatik, sowie dem Austausch der übergeladenen Erntemenge. Diese Daten können vollständig lokal, also über direkte Kommunikation mit hoher Konnektivität versandt werden, um die relevanten Informationen für eine lokale Planung und Steuerung auf einer Maschine vor Ort zu aggregieren. Der Umweg über eine zentrale Steuerungseinheit ist hier nicht nötig. Einige Steuerungsvorgänge, wie zum Beispiel das Scheduling der Transportfahrzeuge, müssen jedoch auch über räumliche Distanz hinweg und in einer globalen Sicht auf den Prozess realisiert werden. Auch dies lässt sich in einer dezentralen Architektur lösen, indem einzelne Maschinen als Koordinatoren für eine Reihe von Unterprozessen bestimmt werden, welche die Statusinformationen dieser Prozesse zusammenfassen und gebündelt koordinieren. Die Zuweisung der entsprechenden Rolle ist hierbei nicht statisch festgelegt, sondern wird nach Kriterien wie verfügbarer Konnektivität vergeben und adaptiert. In der Silomaisenernte bietet es sich an, jeweils einen Feldhäcksler für alle Prozesse im Feld und ein Verdichtungsfahrzeug für die Prozesse am Silo einzusetzen. Diese aggregieren dann lokal alle relevanten Informationen und prozessieren diese soweit, dass sich Scheduling der Transportfahrzeuge, sowie die Koordination von ein- und ausgehendem Massestrom im Ernteprozess auf den Austausch kompakter Kenngrößen, wie z.B. der geplanten und tatsächlichen Ankunftszeiten der Transportfahrzeuge, bzw. Ernte- und Verdichtungsleistung reduzieren lässt. Eine optimale Lösung im mathematischen Sinne lässt sich mit dezentralen Ansätzen zwar nicht immer finden, aber im Hinblick auf die praktischen Anforderungen der Silomaisenernte verspricht ein dezentraler Ansatz mit lokaler Optimierung des Prozessablaufs eine wesentlich robustere Steuerung, da der Kommunikationsaufwand und die Latenzen eines zentralen Ansatzes wegfallen.

### **3 Projekt SOFiA**

Das vom BMBF-geförderte Projekt Prozessinnovation in Planung und Steuerung von Wertschöpfungsnetzwerken durch Integration von Smart Objects und Smart Finance Ansätzen (SOFiA), beschäftigt sich mit der digitalisierten Abwicklung und Abrechnung von logistischen Wertschöpfungsketten. Im Projekt arbeiten das Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik, der Landtechnikhersteller CLAAS, der Technologiekonzern Diebold Nixdorf, sowie das Logistikunternehmen EKOL zusammen.

Projektziel ist es ein dezentrales Netzwerk aus Smart Objects (SO) zu erzeugen, das Maschinen, Sensoren und Menschen dezentral vernetzt und ermöglicht, logistische Netzwerke auf quantitativer Basis unmittelbar auf der Prozessebene zu steuern. Hierzu werden die beteiligten Maschinen und z.T. auch Güter (Container), dahingehend digitalisiert und vernetzt, dass sie ihre Rolle im Prozess verstehen und dementsprechend handeln. Hierzu ist es nötig, dass jedes Smart Object in der Lage ist seinen eigenen Prozessstatus zu ermitteln, ihn mit anderen Prozessteilnehmern auszutauschen und in gegenseitiger Abstimmung angemessene Verhaltensweisen zu bestimmen. Diese werden anschließend als Handlungsempfehlungen den ausführenden Maschinenbedienern oder

Disponenten präsentiert. Solche Empfehlungen können im kurzfristigen Fall das Anpassen einer Transportgeschwindigkeit oder des Produktionsdurchsatzes sein, mittelfristig aber auch Anpassungsvorschläge für die Kettenkonfiguration sein (z.B. Hinzunahme einer weiteren Transporteinheit). Ziel ist es Logistikprozesse reibungsloser und somit effizienter zu steuern, und somit unerwünschte Effekte wie eine mangelhafte Auslastung von Kapazitäten, vermeidbare Stückkosten und mangelnde Termintreue zu reduzieren. Neben der Steuerung des logistischen Ablaufs soll ebenfalls eine vollständige Erfassung von Leistungsdaten den anschließenden Administrationsvorgängen erleichtern.

Hardwareseitig wird zur Umsetzung der Smart Objects im Projekt auf kleine eingebettete Systeme (Raspberry Pi) gesetzt, die aufgrund des steigenden Leistungszuwachs und Preisverfall eine geeignete Forschungsplattform bieten. Softwareseitig folgt die Umsetzung der Smart Objects dem Agentenansatz (vgl. [Fe99]) und der Idee, dass sich die Teilprozesse einer logistischen Kette als Aufträge beschreiben lassen und deren Ausführung von den Smart Objects untereinander verhandelt wird. Hierzu werden die Aufgaben mit Zielvorgaben (z.B. verfügbare Zeit, erlaubte Kosten, angestrebte Qualität) versehen und hierarchisch organisiert, sodass die Erfüllung der Ziele von oben nach unten delegiert wird und die Informationen über die Ausführung von unten nach oben aggregiert werden. Um sowohl den Prozess, als auch die Maschinen und deren Umgebung zu modellieren, werden ontologische Wissensrepräsentationen auf Basis von Semantic Web Technologien (RDF, OWL) eingesetzt. Diese Modelle werden anschließend über regelbasierte Inferenzmechanismen (SWRL) einem Soll/Ist-Vergleich von Prozesszuständen und Zielvorgaben unterzogen und bei Steuerungsbedarfen mit einem ereignis-diskreten Simulator für logistische Netzwerke verbunden [Li13]. Dieser simuliert dann verschiedene logistische Szenarien, welche anschließend ausgewertet werden und als Grundlage für Handlungsempfehlungen dienen. Zur Verbindung der Smart Objects werden hybrid-opportunistische Netzwerke und verzögerungstolerante Kommunikation basierend auf dem Store-Carry-Forward Prinzip genutzt.

Die hier präsentierten Ansätze einer dezentralen Prozesssteuerung werden im weiteren Fortschreiten des Projekts SOFiA erprobt, erweitert und daraufhin bewertet, ob die erhofften Verbesserungspotenziale für die Planung und Steuerung logistischer Prozesse in der Maiseernte erzielt werden können.

## Literaturverzeichnis

- [Fe99] Ferber, J.: Multi-agent systems: an introduction to distributed artificial intelligence. Vol. 1. Reading: Addison-Wesley, 1999.
- [Li13] Liebler, K. et al.: Introduction to OTD-NET and LAS: order-to-delivery network simulation and decision support systems in complex production and logistics networks, IEEE Winter Simulation Conference: Making Decisions in a Complex World, 2013
- [Wi13] Witthaut, M.: Supply-Chain-Management-Systeme. In: ten Hompel (Hg.) 2013 – IT in der Logistik 2013/2014, 2013, S. 144 – 160.