

Flexibles Management für Traktoren

Flexible Management for Tractors

Ansatz eines ganzheitlichen Managements

Approach to a holistic management

Dipl.-Ing. **T. Kautzmann**, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe;
Prof. Dr.-Ing. **M. Geimer**, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe;
Dipl.-Inform. **M. Wünsche**, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe;
PD Dr.-Ing. **S. Mostaghim**, Karlsruher Institut für Technologie,
Karlsruhe;
Prof. Dr. **H. Schmeck**, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe

Abstract

The development of a flexible and holistic management for tractors is motivated by the multitude of different internal and external influences of an increasingly complex system. As concrete realisation of such a management, the observer/controller-architecture is introduced. Presented results show a comparison of the holistic approach with the conventional management within DLG-Powermix Z2-ploughing.

1. Einleitung und Motivation

Gegenüber anderen Maschinen zeichnen sich Traktoren und im Allgemeinen mobile Arbeitsmaschinen dadurch aus, dass sie unter vielfältigen und wechselnden äußeren Einflüssen und Randbedingungen robust Aufgaben erledigen müssen. Derartige Maschinen werden darüber hinaus zunehmend komplexer, was insbesondere durch die zunehmende Vernetzung der Einheiten und Anwachsen der Zahl an Systemfreiheitsgraden begründet ist. Bild 1 zeigt auf hoher Abstraktionsebene das Modell eines Traktors mit seinen internen und externen Wechselwirkungen und unterstreicht die Einordnung als komplexes vernetztes System. Dargestellt sind der Antriebsstrang bestehend aus Motor, Arbeitshydraulik, Zapfwelle und Fahrtrieb sowie deren Leistungsflüsse untereinander. Externe Wechselwirkungen lassen sich bezüglich der Beeinflussung des Kraftstoffverbrauchs identifizieren mit dem Fahrer, welcher durch seine Vorgaben die Freiheitsgrade des Systems

einstellt, sowie mit dem Arbeitsprozess und der Umwelt als Reaktionen auf dessen Vorgaben. Im Folgenden werden die Einstellmöglichkeiten der Freiheitsgrade zum Tupel *Aktion* \mathbf{v}_A , bestehend aus Zapfwellenstufe \ddot{u}_{ZW} , Drehzahl Motor n_{VKM} , Allradkupplung 4w, Gruppenschaltung GR, Differenzialsperre DS, Sollgeschwindigkeit v_{Soll} und Drückungsdrehzahl $n_{Drück}$ zusammengefasst. Die Reaktionen von Arbeitsprozess und Umwelt wird zum Tupel *Situation* \mathbf{v}_S , bestehend aus Leistung Arbeitshydraulik P_{AH} , Drehmoment Zapfwelle T_{ZW} , Zugkraft F_{Zug} , Lenkwinkel φ_{Lenk} , Reifenaufstandskräfte F_{iz} und Schlupf als charakteristische Größe des Bodens zusammengefasst.

Derartige Maschinen werden heute dezentral unter der Verwendung von statischen Kennfeldern geregelt, die a priori während der Designphase parametrisiert werden. Dies hat im Wesentlichen zwei Nachteile. Die dezentrale Regelung betrachtet die in Bild 1 dargestellte Situation \mathbf{v}_S größtenteils als Störgrößen. Dies führt dazu, dass entsprechend robuste Regler entworfen werden müssen und eine konsequente Optimierung bezüglich verschiedener Zielfunktionen nicht möglich ist. Der zweite Nachteil entsteht dadurch, dass das vernetzte System prinzipiell als Mehrgrößenregelsystem aufgefasst werden müsste, bei dem sich mehrere Stell- und Regelgrößen gegenseitig beeinflussen. Eine Reduktion eines derart verkoppelten Mehrgrößenreglers auf mehrere dezentrale Regelkreise ist dann zulässig, wenn die Kopplungsgrade zwischen den einzelnen Ein- und Ausgängen klein sind. Kopplungsgrade des Gesamtsystems sind allerdings aufgrund der fehlenden Beschreibung in Form eines geschlossenen Zustandsraummodells unbekannt, weshalb die Betrachtung als dezentral regelbares System nicht von vorneherein gerechtfertigt ist. Als Konsequenz kann es im Betrieb der Maschine zu unbeabsichtigten Wechselwirkungen kommen.

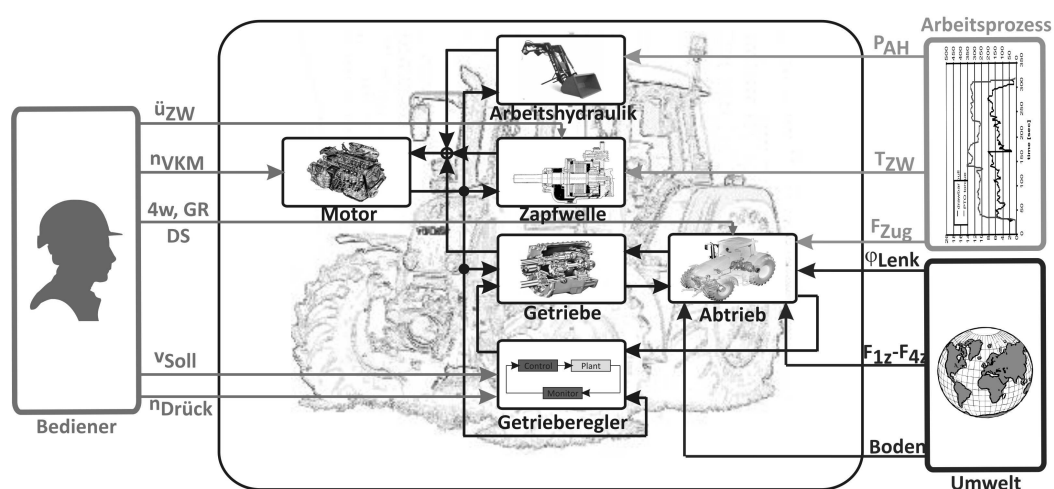


Bild 1: Modell eines Traktors mit internen und externen Wechselwirkungen

Ziel ist es daher, ein ganzheitliches und flexibles Management aufzubauen, welches das Gesamtsystem gemäß Bild 1 mit allen internen und externen Wechselwirkungen betrachtet und optimiert.

2. Ansätze eines ganzheitlichen und flexiblen Managements

Ein möglicher Ansatz zum Aufbau eines ganzheitlichen und flexiblen Managements stammt aus dem bereits erwähnten Bereich der adaptiven Mehrgrößenregelung. Generell sorgt eine Regelung dafür, dass eine Regelgröße einer von außen vorgegebenen Führungsgröße unter Beachtung von Güteanforderungen folgt. Allerdings gibt es hierzu Erweiterungen, sodass gewisse von außen vorgebbare Zielfunktionen optimiert werden können. Hier sind die optimalen Regelungen zu nennen. Diese gehen allerdings gewöhnlich davon aus, dass ein Zustandsraummodell vorhanden ist, eine bekannte Führungsgrößendynamik vorliegt und Störungen beschränkt auftreten. Im Kontext mobiler Arbeitsmaschinen sind diese Randbedingungen allerdings nur unzureichend gegeben.

Einen weiteren Ansatz für ein ganzheitliches und flexibles Management von mobilen Arbeitsmaschinen wurde von [3] aufgestellt, welches bei einem extern vorgegebenen Belastungsprofil die Betriebsführung optimiert. Das Vorgehen orientiert sich daran, dass von einem vorgegebenen Endzustand diejenige Steuerungstrajektorie zurück gerechnet wird, die eine Zielfunktion optimiert. Der Ansatz ist allerdings schwierig auf den realen Anwendungsfall übertragbar, da der Arbeitsprozess und die Umwelteinflüsse im Vorfeld bekannt sein müssen.

Aus der Disziplin *Organic Computing* lässt sich ebenfalls ein Ansatz eines ganzheitlichen und flexiblen Managements ableiten. Diese Disziplin beschäftigt sich allgemein mit der Beherrschbarkeit und Optimierung komplexer Systeme. Ziel des Organic Computing ist es, inspiriert von natürlichen Systemen, gesteuert selbstorganisierte Systeme aufzubauen. Konkreter Lösungsansatz ist die in Bild 2 dargestellte generische *Observer/Controller (O/C)-Architektur*. Neben dieser Architektur zur Unterstützung von gesteuerter Selbstorganisation in einem komplexen System sind zahlreiche weitere bekannt, wie *MAPE* (monitor, analyse, plan, execute), *Operator/Controller* und *Sense, Plan, Act*. Eine kurze Einführung in diese Architekturen sowie weiterführende Literaturhinweise sind in [4] zu finden. Vorteile der O/C-Architektur im Kontext mobiler Arbeitsmaschinen sind insbesondere die Lernfähigkeit der Architektur sowie die Möglichkeit der externen Einflussnahme. Da der Ansatz der gesteuerten Selbstorganisation kein geschlossen darstellbares Modell der komplexen Regelstrecke benötigt, ist dieser potenziell dazu geeignet, ein ganzheitliches und flexibles Management für mobile Arbeitsmaschinen aufzubauen.

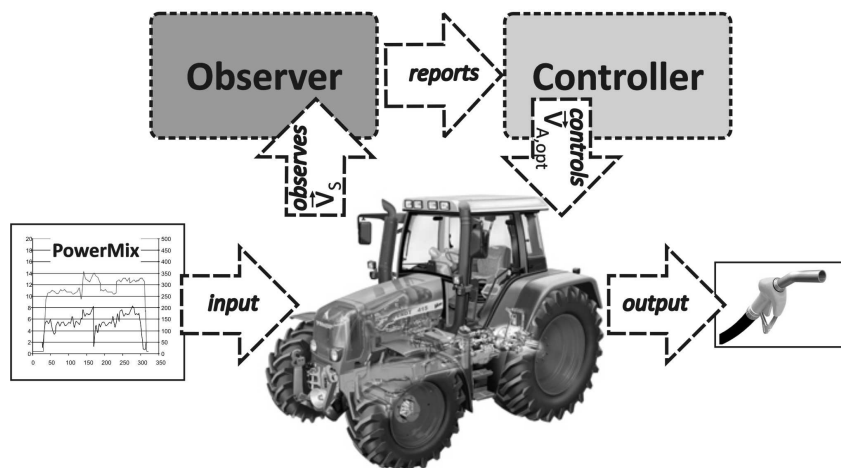


Bild 2: Die generische Observer/Controller-Architektur

3. Übertragung der O/C-Architektur auf Traktoren

Auf Basis der generischen O/C-Architektur wurde eine für Traktoren angepasste Architektur entwickelt: die aktuelle Situation v_s wird erfasst und ähnlichen bereits gemessenen Situationen zugeordnet, wobei der Observer durch ein dynamisches, adaptives *Clustering*-Verfahren in der Lage ist, auch neue, bislang unbekannte Situationen zu erlernen. Die so erfasste Situation wird an den Controller gemeldet. Dieser enthält ein *Mapping*, das bekannten Situationen geeignete Aktionen $v_{A,opt}$ zuordnet, entsprechend derer die Freiheitsgrade der Maschine beeinflusst werden. Angewandte Aktionen werden bezüglich ihres Ergebnisses bewertet. Treten unbekannte Situationen auf, kann der Controller mittels eines maschinellen Lernverfahrens auch dafür geeignete Aktionen erlernen. Das übergeordnete, hier exemplarisch untersuchte Ziel, an dem sich die Optimierung orientiert, besteht in einer Steigerung des Wirkungsgrades. Der Aufbau der Architektur ist in [5] ausführlich beschrieben.

4. Ergebnisse

Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse sind mit Hilfe eines validierten dynamischen Traktormodells [6] erzeugt worden. Als Grundlage der Analyse der Tauglichkeit der entwickelten Architektur dienen die DLG Powermix-Zyklen [7] als repräsentative und skalierbare Beschreibung der Arbeitsprozesse eines Standardtraktors. Erste Ergebnisse der Architektur in einer ausgewählten Situation innerhalb des Powermix Zyklus *Z5-Kreiselegen* sind in [5] dargestellt. In diesem Artikel werden Ergebnisse aus dem Zyklus *Z2-Pflügen* vorgestellt.

In Bild 3 oben ist die Zugkraft abgebildet, darunter die Ergebnisse des Clustering-Verfahrens mit zugehöriger Cluster-Nummerierung (*Cluster ID*). In diesem Fall ist die Zugkraft die einzige Veränderliche innerhalb der Situation v_s , daher beschreiben die einzelnen Cluster die unterschiedlichen Zugkraft-Niveaus.

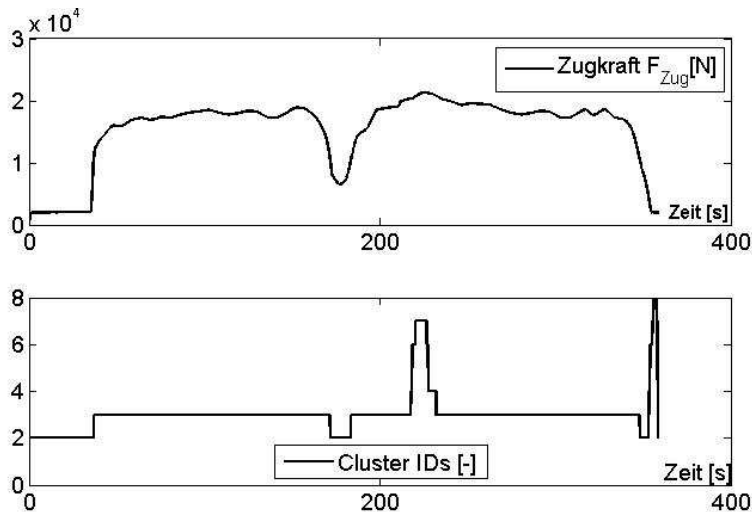


Bild 3: Clustererkennung im Zyklus Z2 – Pflügen

Für diejenigen Cluster, die länger als 10 Sekunden stabil bleiben, werden nun vom Controller neue Aktionen gelernt. Dementsprechend werden für Cluster ID 2 und 3 optimierte Aktionen $v_{A,opt}$ gemäß Tabelle 1 gefunden.

Tab. 1: Erlernte Aktionen für Cluster ID 2 und 3

	Cluster ID 2	Cluster ID 3
$v_{A,opt}$	$n_{VKM} = 1032 \text{ min}^{-1}$	$n_{VKM} = 1704 \text{ min}^{-1}$
	DS = geschlossen	DS = geschlossen
	4w = geschlossen	4w = offen
	GR = Straße	GR = Straße
	$v_{Soll} = 3,6 \text{ km/h}$	$v_{Soll} = 14,7 \text{ km/h}$
	$\ddot{u}_{ZW} = 0$	$\ddot{u}_{ZW} = 0$
	$n_{Drück} = 923 \text{ min}^{-1}$	$n_{Drück} = 1441 \text{ min}^{-1}$

Im nächsten Schritt wird der Referenzzyklus erneut gefahren und die erlernten Aktionen bei neuerlichem Auftreten der entsprechenden Cluster ID angewandt. Bild 4 zeigt die Ergebnisse in Form eines Vergleichs von Wirkungsgrad (links) und Kraftstoffverbrauch (rechts) jeweils mit und ohne der O/C-Architektur über der Zeit. Insbesondere fällt auf, dass neben der mittleren Steigerung des Wirkungsgrads bzw. der Minderung des Verbrauchs um insgesamt 14% die Flächenleistung steigt. Grund hierfür ist die hohe Sollgeschwindigkeit von 14,7 km/h

in Cluster ID 3. Allerdings ist anzumerken, dass diese Geschwindigkeit nicht erreicht wird, da der Traktor hier in Drückung gerät.

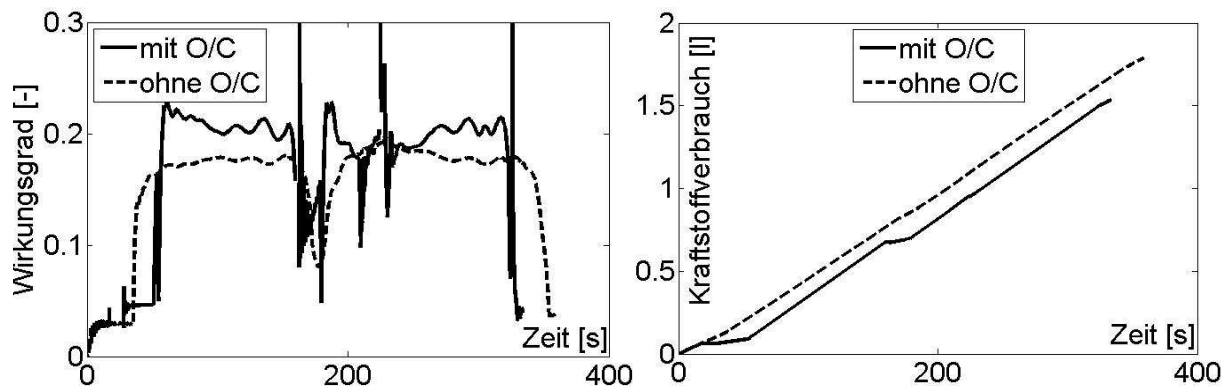


Bild 4: Vergleich von Wirkungsgrad (links) und Kraftstoffverbrauch (rechts) mit und ohne O/C-Architektur während Zyklus Z2 – Pflügen

Erlernte Aktionen gehen aus einem modellbasierten Lernverfahren hervor, welches den optimierten Betriebspunkt offline, also unabhängig von gegenwärtig gefahrener Situation, findet. Zukünftig soll zur Feinabstimmung der Aktionen zusätzlich ein online-Lernverfahren hinzugefügt werden, welches die ausgeführten Aktionen durch aktuelle Messungen bewertet. Dadurch lässt sich der optimale Betriebspunkt unter ganzheitlicher Betrachtung der Maschine und der gegenwärtigen Situation sukzessive finden.

Literatur

- [1] LUNZE, J.: *Regelungstechnik 2*. Springer, Berlin Heidelberg, 2007.
- [2] R. DITTMAR UND B.-M. PFEIFFER: *Modellbasierte prädiktive Regelung*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2004.
- [3] BLIESENER, M.: *Optimierung der Betriebsführung mobiler Arbeitsmaschinen*. Dissertation Karlsruher Institut für Technologie, 2010.
- [4] RICHTER, U.: *Controlled Self-Organisation*. Dissertation Universität Karlsruhe, 2009.
- [5] KAUTZMANN, T ET. AL.: *Holistic Optimization of Tractor Management*. In Proceedings of: Land.Technik AgEng 2011, Hannover, 11.-12. November 2011, S. 275-280.
- [6] KAUTZMANN, T ET. AL.: *Simulationsmodell zur Unterstützung von selbstoptimierenden Fähigkeiten eines Traktors*. In Proceedings of: Land.Technik 2010, Braunschweig, 27.-28. Oktober 2010, S. 187-195.
- [7] DEGREL, O. UND T. FEUERSTEIN: *DLG-PowerMix™ - Ein Praxisorientierter Traktorentest*. VDI-Berichte (1798), S. 339-345, 2003.