

Jörg Brünnhäüßer, Tobias Knorr und Henning J. Meyer

Herstellerunabhängiges System zur Prozess- und Maschinen-datenanalyse

Das Projekt Agro-MICoS entwickelt ein System, das landwirtschaftliche Daten maschinenherstellerunabhängig aufnimmt und darstellen kann. Eingangsgrößen für die Datenanalyse sind neben der geografischen Position der Maschinen vor allem CAN-Daten aus den Maschinennetzwerken. Das System nimmt und bereitet die Daten auf, um Analysen von landwirtschaftlichen Prozessen zu ermöglichen. In diesem Beitrag werden das System und Ergebnisse von Feldtests vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf maschinenbezogenen Auswertungen, mit welchen die entwickelte Hard- und Software verifiziert und validiert wurde. Die Ergebnisse verdeutlichen das Potenzial von Agro-MICoS als offenes und herstellerunabhängiges Datenmanagementsystem.

eingereicht 14. April 2014

akzeptiert 11. Juni 2014

Schlüsselwörter

CAN-Bus, Datenanalyse, ISOBUS, Maschinenzustandserfassung, Precision Farming

Keywords

CAN-Bus, data analysis, ISOBUS, machine condition monitoring, Precision Farming

Abstract

Brünnhäüßer, Jörg; Knorr, Tobias and Meyer, Henning J.

Manufacturer independent system for process and machine data analysis

Landtechnik 69(4), 2014, pp.196–200, 2 figures, 1 table, 6 references

Within the scope of the Agro-MICoS research project a system to record and visualize agricultural data – independent of the machine manufacturer – is being developed. The data analysis uses geographic position data and CAN data of the machine's network system. The developed system provides data for analysis of agricultural processes. The system itself and results of field tests are presented in this paper. These tests are focusing on machine related data analysis.

The results show the potential of Agro-MICoS as an open and machine manufacturer independent data management system.

Die Anforderungen an die moderne Landwirtschaft wachsen stetig. In Zeiten des Klimawandels steigt der Druck, den Ressourcenverbrauch und damit den Ausstoß von Treibhausgasen zu senken. Nicht nur Emissionsgrenzwerte werden durch den Gesetzgeber bestimmt; landwirtschaftliche Produktionsprozesse müssen aus Haftungsgründen nach gesetzlichen Richtlinien dokumentiert werden. Zusätzlich geraten vor allem kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe durch die zunehmende Globalisierung unter stärkeren Wettbewerbsdruck; das amerikanisch-europäische Freihandelsabkommen [1] ist hierfür nur ein Beispiel. Ein optimierter Maschineneinsatz sowie eine belastungsabhängige Wartung sollen den Betrieben helfen, wettbewerbsfähig zu bleiben. Das hier vorgestellte System ist in der Lage, Prozess- und Maschinendaten kontinuierlich zu dokumentieren und liefert damit die Basis für die Optimierung eines landwirtschaftlichen Betriebes.

Agro-MICoS

Das Verbundprojekt Agro-MICoS hat das Ziel, eine informationstechnische Lösung für die beschriebenen Probleme zu entwickeln, zu verifizieren und zu validieren. Die Lösung besteht darin, eine kostengünstige Hardware zu entwickeln und Dateninfrastrukturen und Auswertgorithmen zu etablieren. So sollen Produktionsprozesse dokumentiert, Maschinen analysiert und Energieverläufe sowie der Verbrauch von Materialien visualisiert werden.

Agro-MiCoS soll vor allem kleine und mittlere Betriebe mit divergentem Fuhrpark unterstützen. Des Weiteren soll ein preiswertes System zur Verfügung gestellt werden, das die Basis für Precision-Farming-Anwendungen in solchen Betrieben darstellt. Das Agro-MiCoS-Projekt soll Optionen bieten, um eigene, maschinenherstellerunabhängige Auswerte- und Analyseverfahren zu erstellen.

Das System beinhaltet einen Datenserver, der vom Projektpartner Agri Con GmbH entwickelt wurde. Dieser erlaubt es, die gesammelten Daten zu speichern und zu visualisieren. Die Agro-MiCoS-Box wird als eingebettetes System mit dem Bussystem einer landwirtschaftlichen Maschine verbunden und erfasst so deren Maschinen- und Prozessdaten.

Für die Verbesserung der Datengrundlage für Landwirte sind Schnittstellen vorbereitet, die eine einfache Einbindung weiterer Sensoren auf den Maschinen ermöglichen. Alle aufgenommenen Daten werden georeferenziert gespeichert, wobei die Standortinformationen durch eine eigene GPS-Schnittstelle aufgenommen werden. Es besteht die Möglichkeit, die aufgenommenen Daten direkt per GSM an den zentralen Datenserver zu senden oder per Funk auf einen lokalen Datenserver zu übertragen. Die GSM-unabhängige Funkübertragung wurde im Vorgängerprojekt LaSeKo entwickelt und getestet [2]. Das Betriebssystem der Agro-MiCoS-Box ist Linux (Kernelversion 3.4.77) und kann deshalb leicht angepasst und erweitert werden. Die Hardware der Box wurde vom Projektpartner Logic Way GmbH entwickelt. Die Box besteht aus zwei Platinen, von denen eine den Prozessor, einen ARM Cortex A8 mit 600 MHz, beinhaltet. Auf der zweiten Platine, dem Trägerboard, finden sämtliche Schnittstellen Platz.

Konzeption

Die Agro-MiCoS-Box zeichnet Positions- und Zeitstempel mit einer Frequenz von einer Sekunde auf, die als Grundlage und Führungsgrößen für alle zusätzlich geloggte Werte fungieren. Mit der CAN-Schnittstelle können Daten vom Maschinenbus aufgenommen werden. Zur Analyse werden primär Signale herangezogen, die nach den Normen SAE J1939 und ISO 11783 auf den Maschinen umgesetzt sind.

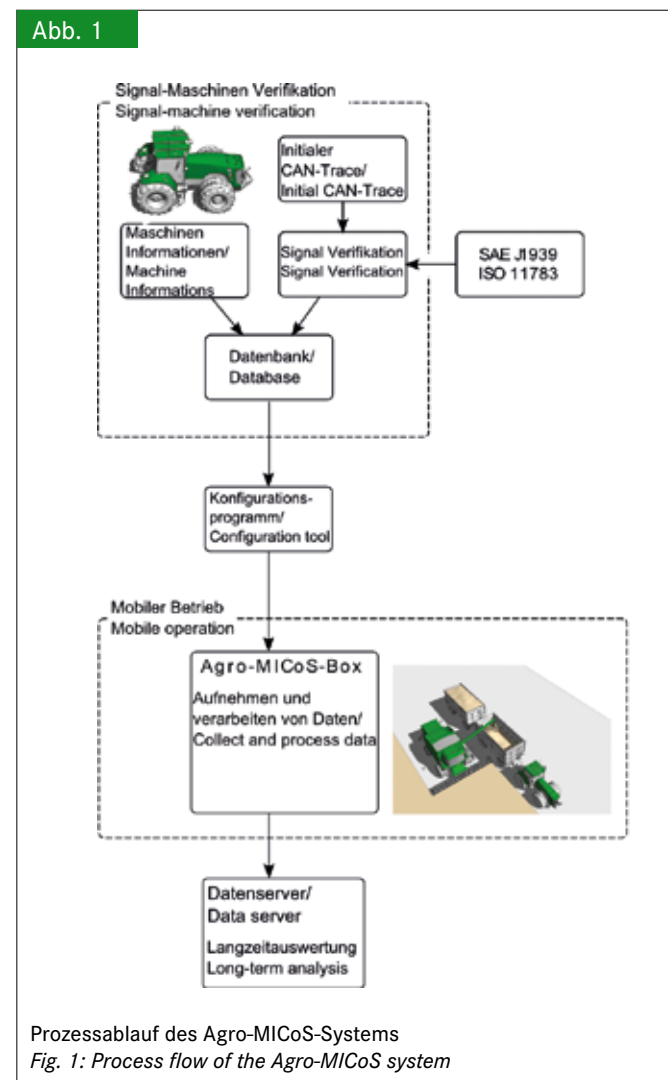
Um auch ältere Maschinen mit in das System einzubinden, können diese Maschinen mit weiteren Sensoren ausgerüstet werden. Die Möglichkeit der Erweiterung ist besonders für kleine Betriebe notwendig, da diese oft mit Geräten und Maschinen arbeiten, die nicht über entsprechende informationstechnische Systeme verfügen. Daher verfügt die Box über eine zweite CAN-Schnittstelle. Dadurch ist gewährleistet, dass das Netzwerk der Maschine nicht durch nachgerüstete Sensoren beeinflusst wird.

Abbildung 1 zeigt den Prozessablauf des Systems mit den wichtigsten Komponenten und Prozessschritten. Von großer Bedeutung für die Konfiguration ist eine Datenbank zur Speicherung aller gültigen Signale, die als normkonform am Maschinenbus detektiert wurden. Diese Datenbank kann entweder lokal auf dem Betrieb oder global im Internet vorgehalten

werden. Darin werden auch alle Maschinen des Betriebes und Informationen zu den Normen gespeichert. Die Datenbank beinhaltet alle Informationen, die zur individuellen Konfiguration der Agro-MiCoS-Boxen nötig sind.

Für jede Maschine muss eine initiale Messung mit der Agro-MiCoS-Box vorgenommen werden, um alle verfügbaren Signale für die maschinenspezifische Konfiguration bereitzustellen zu können. Die Aufnahme der CAN-Daten wird nach ISO-BUS- und SAE J1939-konformen Signalen durchsucht und auf deren Gültigkeit überprüft. Anschließend werden alle gültigen Signale, welche auf der Maschine vorgefunden wurden, in der Datenbank dieser Maschine zugeordnet.

Nachdem die Initialisierung abgeschlossen ist, wird eine Konfigurationsdatei für eine Box erstellt. Das hierfür vorgesehene Konfigurationsprogramm bezieht alle nötigen Informationen aus der auf dem Betrieb vorgehaltenen Datenbank. In der Konfigurationsdatei wird festgelegt, welche Signale geloggt und wie sie vorverarbeitet werden sollen. Die Vorverarbeitung dient vorwiegend der Datenreduktion und durch Mechanismen, wie zum Beispiel Mittelwertbildung oder Varianz, auch zur statistischen Absicherung der Daten. Das System ist offen, um weitere



Auswertungs- und Observationsfunktionen zu implementieren, die während des Betriebes auf der Maschine ausgeführt werden.

Die in der Konfigurationsdatei spezifizierten Verarbeitungsschritte der Daten werden während des laufenden Betriebs der Maschine vom C-Programm „amcanlogger“ übernommen, das in diesem Projekt entwickelt wurde [3]. Dieses dekodiert ankommende CAN-Daten und loggt GPS-Daten ebenso wie Daten von eigenen Sensoren. Der amcanlogger führt die erste Vorverarbeitung durch, welche in der Konfigurationsdatei angegeben wurden. Kurzfristige Interpretationen gehören zu den Aufgaben des eingebetteten Systems. So können Maschinenzustände oder -schäden durch Funktionen, die der Benutzer festlegt, detektiert werden.

Für Analysen über einen längeren Zeitraum müssen die geloggteten Daten an den Datenserver übertragen werden. Dies geschieht entweder direkt über die eigene GSM-Schnittstelle oder die Agro-MiCoS-Box sendet die Daten per Nahfunk mit einem Data-Hopping-Verfahren [2] von Box zu Box auf einen lokalen PC am Betrieb. Die Daten können dann vom lokalen PC über das Internet zum zentralen Datenserver von Agri Con übertragen werden. Der zentrale Datenserver ist für das Speichern, die Langzeitauswertung und das Darstellen der gesammelten Daten vorgesehen. In Abgrenzung zur Agro-MiCoS-Box, deren Konzeption nur Auswertungen über einen sehr kurzen Zeitraum erlaubt, beziehen sich die Auswertungen auf dem Datenserver auf einen längeren Zeitraum, also über mehrere Stunden bis hin zu einer kompletten Saison.

Umsetzung

Da Maschinen von verschiedenen Herstellern mit unterschiedlichen und zum Teil unbekanntenen CAN-Signalen in das System eingebunden werden, wird initial eine kurze Aufnahme des CAN-Datenstroms der Maschinen benötigt. Hierfür wurde ein Linux-Shell-Skript geschrieben, das eine initiale CAN-Messung im passenden Format erstellt. Diese kann auf der Box oder einem beliebigen Linux-Computer mit CAN-Schnittstelle ausgeführt werden. Die Aufnahme der CAN-Daten dient als Eingangsparameter für das C-Programm zur Signalverifikation. Die Entscheidung, ob ein Signal gültig ist, wird nach zwei Prinzipien getroffen:

1. Die J1939 definiert allgemeine Signalgültigkeitsbereiche [4]. Falls das „Most Significant Byte“ des Signals kleiner gleich FA16 ist, wird das Signal als gültig betrachtet. Bei diskreten Statusinformationen gelten Signale laut Norm als ungültig, wenn sie den Wert 112 annehmen.
2. Zusätzlich wird der Wertebereich eines Signals betrachtet, der ebenfalls in der Norm definiert ist. Ist der Wert des Signals nach Verrechnung mit der Auflösung und des Offsets höher oder niedriger als der Maximal- oder Minimalwert, so ist das Signal ungültig.

Wurde der Wert eines Signals als gültig erkannt, wird das Signal in die Liste der gültigen Signale für die aktuelle Maschine in die Datenbank aufgenommen. Als Endergebnis entsteht so eine Liste aller gültigen Signale, die während der Aufnahme der ini-

tialen CAN-Messung auf dem Maschinenbus detektiert wurden. Die Datenbank für die verfügbaren Maschinen und verifizierten Signale basiert auf SQLite. Diese enthält Informationen über die auf dem Betrieb eingesetzten Maschinen und Signale der Normen SAE J1939 und ISO 11783. Die Verknüpfung zwischen Maschine und gültigen Signalen ist der Knotenpunkt der Datenbank, der durch das Signalverifikationsprogramm gebildet wird. Informationen zu eventuell zusätzlich vorhandenen Sensoren, die an einer Maschine installiert wurden, werden ebenfalls gespeichert. So können wichtige Messwerte kompensiert werden, welche nicht auf dem CAN-Bus vorhanden sind.

Das Konfigurationsprogramm für den amcanlogger wurde in C++ mit dem Qt-Framework erstellt. Durch die plattformunabhängigen Qt-Bibliotheken kann das Programm sowohl auf Windows als auch auf Linux ausgeführt werden. In dieses Programm wird die Datenbank mit den verifizierten Maschinensignalen eingelesen. Die Datenbank dient als Grundlage für die Konfiguration und zeigt dem Benutzer alle gültigen Signale einer Maschine an. Nachdem der Nutzer die für ihn interessanten Signale ausgewählt hat, wird konfiguriert, ob die Signale in Wertebereiche eingeordnet oder elementare mathematische oder statistische Funktionen auf diese angewendet werden sollen. Außer der Berechnung von Mittelwerten oder der Varianz kann der Benutzer logische Funktionen definieren, um Signale miteinander zu verknüpfen und um daraus schon auf der Maschine neue Informationen zu gewinnen. Eine Konfiguration kann im einfachsten Fall aus einer Auswahl an CAN-Signalen bestehen. Zusätzlich kann festgelegt werden, wie diese Signale verarbeitet werden sollen, denn eine Konfiguration kann logische Operationen und Verknüpfungen beinhalten. Durch die Fusion oder Überwachung von Signalen können neue Informationen gewonnen werden.

Um besonders viele Maschinen in das System einbinden zu können, liegt der Schwerpunkt auf Auswertalgorithmen von besonders häufig auf Maschinen vorkommenden Signalen sowie auf der Georeferenzierung. Die Positionsdaten beinhalten nicht nur den Maschinenstandort, sondern auch Informationen zur Geschwindigkeit und Beschleunigung der Maschinen. Auf dem Maschinenbus verschiedener Hersteller wurden bei den Initialmessungen besonders häufig die Signale Motordrehzahl [1/min] und Kraftstoffverbrauch [l/h] detektiert. Der Kraftstoffverbrauch beschreibt die eingesetzte Energiemenge für eine Aufgabe und ist für den ökonomischen Maschinenvergleich bedeutsam.

Das System ermöglicht besonders das Erstellen von individuellen Analyse- oder Auswertefunktionen auf Basis der CAN-Daten einer Maschine. Je nach Fachgebiet und Wissensstand kann sich der Anwender mit der Auswertung von Erntedaten, Energieverbräuchen oder Maschinendaten beschäftigen. Im Konfigurationsprogramm lassen sich die erstellten Konfigurationen und Auswertefunktionen auch in der Datenbank speichern, sodass bewährte Funktionen für andere Maschinen weiter verwendet werden können, vorausgesetzt die gleichen CAN-Nachrichten stehen auch auf anderen Maschinen zur Verfügung.

Ergebnisse

In Kooperation mit der TU Dresden konnten für die Feldtests bereits einige Maschinen des Lehrstuhls Agrarsystemtechnik sowie Maschinen einiger Betriebe in die Maschinendatenbank aufgenommen werden. Weiterhin wurden Aufnahmen des CAN-Busses mit dem Signalverifikationsprogramm analysiert, um so alle verfügbaren CAN-Signale der Maschinen zu erhalten.

Die Feldtests wurden im April 2014 auf einem Betrieb in Sachsen durchgeführt. In diesem Versuch wurde eine automatische Maschinenzustandserfassung implementiert und getestet. Als Beispiel wurde eine Funktion zur Einordnung in verschiedene Auslastungsstufen mobiler Arbeitsmaschinen entwickelt, die an von Toll [5] angelehnt ist. Ausgangssignal ist die prozentuale Motorlast aus der SAE J1939 [4], die oft auf dem CAN-Bus der bisher untersuchten Maschinen zu finden ist. Nach der Eingabe der gewünschten Wertebereiche im Konfigurationsprogramm wurde für den mobilen Betrieb ein Konfigurationsfile mit Abstufungen erzeugt (**Tabelle 1**). Anschließend wurde die Konfigurationsdatei auf die Agro-MICoS-Box kopiert, die auf einem John Deere 8360R montiert ist. Per GSM wurden die aufgenommenen Daten an einen Server übertragen. Die Logfiles wurden anschließend in die Datenbank des Projektpartners Agri Con eingefügt, um die Ergebnisse visualisieren zu können (**Abbildung 2**).

Aus diesen Daten lassen sich verschiedene Rückschlüsse ziehen. Nach von Toll [5] kann beurteilt werden, ob die Ma-

schine für eine bestimmte Aufgabe geeignet ist. Es lässt sich automatisiert erkennen, ob die aktuelle Maschine für die jeweilige Aufgabe unter- oder übermotorisiert ist. Negative Aspekte, wie großer Verschleiß oder hoher Kraftstoffverbrauch, lassen sich somit erkennen. Zusätzlich können die Belastungen der Maschinen teilflächenspezifisch bestimmt werden. Die Motorlastdaten eines John Deere 8360R mit einer Egge als Anbaugerät zeigen beispielsweise, dass die Maschine bei der Zufahrt ins Feld eine geringe Last hat (**Abbildung 2**). An der linken Seite des Feldes arbeitet die Maschine hingegen öfter im Volllastbereich.

Die Signale auf dem Maschinenbus können mit dem aktuellen Wert geloggt werden oder die Werte können direkt in Klassen eingeteilt werden, wodurch in Kombination mit der Datenkomprimierung Speicherplatz und Übertragungskapazität gespart wird. Die Einteilung in Klassen dient nicht nur zur intuitiven Darstellung zum Beispiel in Karten, sondern auch als Vorbereitung für eine Darstellung in Histogrammen sowie zur belastungsabhängigen Betriebsstundenkumulation.

Ein weiterer Vorteil des Agro-MICoS-Systems ist die Ersparnis von aufwendigem Post-Processing, da das gewünschte Signal im Logfile bereits aufgeschlüsselt vorliegt und nicht mehr aus dem CAN-Frame extrahiert werden muss. Zusätzlich können statistische Verfahren bereits beim Loggen verwendet werden.

Ausblick

Als Beispiel dafür, wie auf Basis von gängigen CAN-Daten Informationen gewonnen werden, dient die Erkennung des Arbeitszustandes einer Erntemaschine, z. B. eines Feldhäckslers oder eines Mähdeschers. Dieser kann ohne die Installation von weiteren Sensoren mithilfe von Kraftstoffverbrauchs- und Positionsdaten erkannt werden.

Die Arbeitsstunden des Dresch- beziehungsweise des Häckselwerks können nach der Definition einer charakteristischen Erntegeschwindigkeit und einer charakteristischen Untergrenze für den Kraftstoffverbrauch im Arbeitsstatus aufgenommen werden, sobald das Fahrzeug in der Erntegeschwindigkeit fährt und der Kraftstoffverbrauch die Untergrenze überschritten hat. Zusätzlich können die Arbeitsstunden nach der Leistungsabgabe gewichtet werden. Der Vorteil dieser Auswertung ist, dass das System nach dem Setup selbstständig ohne weitere Pflege von Schlagdaten oder Ähnlichem arbeitet.

Stehen weitere Daten zur Auswertung auf den Maschinennetzen bereit, wie zum Beispiel der aktuelle Druck der Pneumatik, können weitere Überwachungsfunktionen angewandt werden. Der pneumatische Druck wird durch die Maschine möglichst immer im vorgesehenen Betriebsbereich gehalten. Darüber hinaus ist es jedoch für den Betreiber der Maschine interessant, ob die Pneumatik effektiv arbeitet, das heißt mit einer Dichtigkeit im Toleranzbereich. Diese Information kann verwendet werden, um die Lebensdauer der Pneumatikpumpe zu erhöhen und um Energiekosten für die Kompression der Luft zu sparen.

Tab. 1

Einteilung der Motorlast
Table 1: Mapping of the engine load

Motorlast [%] Engine load [%]	Bedeutung Meaning
0–25	kleine Last/low load
25–60	mittlere Last/middle load
60–90	hohe Last/high load
90–125	Volllast/full load

Abb. 2



Aufgenommene Motorlastdaten eines John Deere 8360R
Fig. 2: Logged engine load data of a John Deere 8360R

Schlussfolgerungen

Das System kann komplexe Prozess- und Maschinendaten bei landwirtschaftlichen Anwendungen direkt analysieren und intuitiv darstellen. Der Nutzer hat die Möglichkeit, maschinenunabhängig eigene Auswerte- oder Überwachungsfunktionen zu erstellen. Durch den Konfigurationsprozess und den Einsatz des „amcanloggers“ entfällt die Aufbereitung der CAN-Daten, wie zum Beispiel der Aufwand eines umfangreichen Post-Processings der Daten oder das Aufschlüsseln der CAN-Nachrichten. Zum anderen hat der Nutzer einen Überblick über die vorhandenen Signale einer Maschine und weiß bereits vor dem Erstellen der Auswertungsalgorithmen, ob die darauf aufbauenden ISO-BUS- oder SAE-J1939-Daten auf der Maschine verfügbar sind. Das primäre Anwendungsfeld ist die Analyse von Maschinendaten, wie mit den Ergebnissen gezeigt werden konnte. Weitere Anwendungsgebiete sind, wie von Toll in [6] beschrieben hat, die Auswertung energetischer Daten, z. B. des Treibstoffverbrauches, und die daraus resultierende Analyse der landwirtschaftlichen Prozessketten im Hinblick auf ihren Ressourcenverbrauch.

Literatur

- [1] Die Zeit (2013): TTIP bedroht Europas Bauern und Verbraucher. <http://www.zeit.de/wirtschaft/2014-04/TTIP-landwirtschaft-agroindustrie-gastbeitrag>, Zugriff am 7.5.2014
- [2] Rusch, C. (2012): Untersuchung der Datensicherheit selbstkonfigurierender Funknetzwerke im Bereich von mobilen Arbeitsmaschinen am Beispiel der Prozessdokumentation, Dissertation, TU Berlin

- [3] Brünnhäuser, J.; von Toll, C.; Schillmöller, T.; Knorr, T.; Meyer, H. (2014): Agro-MiCoS – Extraction, Processing and Analysis of Machine Information Network Data in Agriculture. MCG 2014, TU Braunschweig, 19.–20. März 2014, Braunschweig
- [4] SAE (2006): Surface Vehicles Recommended Practice J1939-71. Warrendale, PA, USA
- [5] Von Toll, C.; Meyer, H. (2013): Energieorientierte Analyse in der Getreideproduktion, Landtechnik 68(5), S. 327–332
- [6] Baron von Toll, C. (2013): Energieorientierte Analyse der Landmaschinentechnik – Untersuchung zur maschinenrelevanten Energiebilanzierung in der Getreideproduktion mit Erfassung von CO₂-Einsparpotenzialen, Dissertation, TU Berlin

Autoren

M. Sc. Dipl.-Ing. (FH) Jörg Brünnhäuser und **Dipl.-Ing. Tobias Knorr** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Fachgebiet Konstruktion von Maschinensystemen (Leiter: **Prof. Dr.-Ing. Henning J. Meyer**) der Technischen Universität Berlin, Straße des 17. Juni 144, 10623 Berlin, E-Mail: joerg.bruennhaeusser@tu-berlin.de

Danksagungen

Unser Dank gebührt den Mittelgebern des Agro-MiCoS-Projekts (Förderkennzeichen: 10040641), der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung und dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Des Weiteren wollen wir uns bei unseren Kollegen und Projektpartnern des Lehrstuhls Agrarsystemtechnik der TU Dresden bedanken, allen voran Jens Teichmann, der unsere Feldtests organisiert hat. Bedanken möchten wir uns ebenfalls bei unseren Projektpartnern Logic Way und Agri Con für die produktive Zusammenarbeit.