Sachbericht zum Verwendungsnachweis „Mechanische Unkrautregulierung in einer Prozesskette auf Basis hochgenauer Positionsdaten“ (MeProPos)

Mai 2024

Zuwendungsempfänger: DNL-contact GmbH & Co KG
Förderkennzeichen: 28-1-88.10A-19

Vorhaben: Verbundprojekt: Mechanische Unkrautregulierung in einer Prozesskette auf Basis hochgenauer Positionsdaten (MeProPos)

Laufzeit des Vorhabens: 15.05.2021 – 14.11.2023

Berichtszeitraum: 15.05.2021 – 14.11.2023

1 Teil I: Kurze Darstellung

1.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie wissenschaftlicher und technischer Stand an den angeknüpft wurde

Die Aufgabenstellung im Projekt MeProPos war die Entwicklung einer nicht-chemischen Unkrautbekämpfungsmethode im Gartenbau. Nicht-chemisch heißt hier, dass das Unkraut mechanisch durch in den Boden eingreifende Werkzeuge geschädigt wird. Die mechanische Unkrautbekämpfung sollte für den Einsatz in auf definierten Endabstand abgelegten bzw. gepflanzten Kulturen ausgelegt werden. Dabei lagen insbesondere die Prozesssicherheit und die Schlagkraft im Vordergrund. Ein Teil der Aufgabenstellung bestand darin, dass die Maschine zur Unkrautbekämpfung über eine Steuerung verfügt, welche auf Basis von GNSS-RTK-Daten Kenntnis über die Standorte (georeferenziert) jeder Nutzpflanze hat. Um diesem Kriterium gerecht zu werden, musste eine gesamte Prozesskette von der Aussaat und dem Pflanzen bis letztendlich zur Unkrautbekämpfung betrachtet und ausgearbeitet werden. Im Bereich der mechanischen Unkrautbekämpfung konnte auf Wissen aus einem vorherigem Forschungsprojekt aufgebaut werden.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Mit Projektbeginn wurden erwartbare Kundenanforderungen an die Maschinen der Prozesskette (Sä-, Pflanz- und Hackmaschine) näher definiert. Die definierten Kundenanforderungen wurden auf Basis der Projektlaufzeit auf die im Rahmen des Projekts umsetzbaren grundlegenden Anforderungen angepasst, um zum Ende des Projektes möglichst abgeschlossene Arbeitspakete erzielen zu können.

Mit dem Ziel, die drei Maschinen der Prozesskette bestmöglich auf den geforderten technischen Stand zu bringen, wurde der aktuelle technische Stand der vorhandenen bzw. anzupassenden Maschinen aufgenommen. Der technische Stand der Einzelkornsämaschine war von besonderer Bedeutung, da dies die Maschine innerhalb des Prozesskette ist, welche den größten konstruktiven Eingriff in die bestehende Technik erforderte. Parallel dazu wurde mit der Entwicklung der Software zur GNSS-RTK-basierten Steuerung sowie mit der Auslegung der Steuerungsplatine und der Leistungselektronik der Maschinen begonnen.

Vor der ersten Konzepterstellung wurden vertiefende Recherchearbeiten zum allgemeinen Stand der Technik und eine Marktrecherche durchgeführt. Auf Basis des vorliegenden technischen Stands der Maschinen, den Recherchearbeiten und dem vorhandenen Wissen des Projektkonsortiums wurden erste Konzepte ausgearbeitet. Die ersten Konzepte wurden an einreihigen Prototypen technisch umgesetzt, um sie im Labor und auf dem Feld in der Praxis testen zu können. Nach ersten erfolgreichen Tests der Sätechnik konnte die 6-reihige Sämaschine auf Basis des getesteten einreihigen Prototyps auf den für das Projekt geplanten Stand gebracht werden. Die Mechanik der Pflanzmaschinenantriebe konnte nach erfolgten Tests noch weiter hinsichtlich der Montage optimiert werden. Erste Feldtests mit dem auf Basis des Konzeptes erstellten Prototypen der Hackmaschine haben nicht die gewünschten Ergebnisse erzielt. Ein überarbeitetes Konzept konnte nach den ersten Feldtests als praxistaugliche Alternative ausgemacht werden. Basierend auf dem überarbeiteten Konzept konnte die Hackmaschine 6-reihig ausgeführt werden.

Mit den 6-reihigen Prototypen der Prozesskette konnten dann Feldtests und auch weitere Laborversuche durchgeführt werden.

1.3 Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das wesentliche Ergebnis des Projekts MeProPos sind drei 6-reihige GNSS-RTK-basierte Prototypmaschinen, welche in einer Prozesskette arbeitsfähig sind und somit für weitere Entwicklungstätigkeiten eingesetzt werden können. Die Antriebseinheiten der jeweiligen Maschine lassen sich sehr genau regeln und haben insbesondere in den Laborversuchen eine hohe Positioniergenauigkeit gezeigt. Bei der Einzelkornsaat ist die Nullablage sowie eine hinreichend feinkrümelige Saatbettbereitung essentiell, um das Verrollen des Saatguts möglichst gering zu halten. Das Verrollen des Saatguts ist bei der entwickelten GNSS-RTK-basierten Prozesskette eine Fehlerquelle, welche bei der mechanischen Hackarbeit zu Beschädigungen oder gar zum Verlust der Nutzpflanzen führen kann. Des Weiteren sind, wie auch allgemein im Gartenbau angestrebt, Felder mit möglichst geringem Steinbesatz zu bevorzugen. Bei der im Projekt entwickelten Hacktechnik führen in gegenwärtiger Konfiguration Steine auf dem Feld für kurzeitige Blockaden der Hackmesserpaare. Dies führt in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit zu kleineren oder größeren Hackschäden in dem Nutzpflanzenbestand. Erste Versuchen mit alternativen Anordnungen der Hackmesserpaare zeigten eine deutliche Verringerung dieses Effektes.

Sachbericht zum Verwendungsnachweis „Mechanische Unkrautregulierung in einer Prozesskette auf Basis hochgenauer Positionsdaten“ (MeProPos)

Mai 2024

Zuwendungsempfänger: DNL-contact GmbH & Co KG
Förderkennzeichen: 28-1-88.10A-19

Vorhaben: Verbundprojekt: Mechanische Unkrautregulierung in einer Prozesskette auf Basis hochgenauer Positionsdaten (MeProPos)

Laufzeit des Vorhabens: 15.05.2021 – 14.11.2023

Berichtszeitraum: 15.05.2021 – 14.11.2023

2 Teil II: Eingehende Darstellung

2.1 Im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten, insbesondere im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Ziel des Verbundprojekts „Mechanische Unkrautregulierung in einer Prozesskette auf Basis hochgenauer Positionsdaten (MeProPos) Teilprojekt C war die Entwicklung einer nicht chemischen Unkrautbekämpfungsmethode im Gartenbau mit einer hohen Effizienz sowie Flächenleistung. Die ursprüngliche Aufgabestellung teilt sich dabei in die technische Entwicklung bzw. Weiterentwicklung und die Integration der nachfolgenden Maschinen in eine Prozesskette auf.

Sämaschine:

Die mechanische Einzelkornsätechnik UD 3000 von Schmotzer soll in der Prozesskette speziell piliertes und kalibriertes Saatgut möglichst exakt auf einen zuvor gewählten Endabstand vereinzeln. Das Zellenrad, welches die Vereinzelung übernimmt, soll dabei nicht wie üblich geschwindigkeits- sondern positionsabhängig geregelt werden.

Pflanzmaschine:

Als Pflanzmaschine wurde auf eine bereits am Markt verfügbare Kubota Maschine System Minoru zurückgegriffen, welche mechanisch über einen Benzinmotor angetrieben ist. Die Maschine ist so konzipiert, dass sie vollautomatisch aus Pflanzentrays Pflanzen entnimmt und über eine spezielle „Schnabeltechnik“ in den Boden übergibt. Die Schnabeltechnik sorgt dafür, dass die Pflanzen präzise in den Boden abgeben werden.

Im Projektverlauf wurde die im Antrag beschriebene Pflanzmaschine näher untersucht und im Nachgang der Entschluss gefasst, auf eine bis auf die Ablage baugleiche Maschine zu setzen.

Die neu ausgewählte Maschine hat im Gegensatz zu der ursprünglich geplanten Maschine nur einen Hauptantrieb, welcher für die Vereinzelung und die Ablage eingesetzt wird. Somit konnte auf ein zusätzliches Verteilergetriebe, welches die beiden Antriebseingänge der ursprünglich geplanten Maschine hätte verbinden müssen, verzichtet werden. Darüber hinaus wurde der Leistungsbedarf als geringer eingeschätzt, da keine aktiv angetriebenen Werkzeuge in den Boden eingreifen. Bei dem ursprünglichen System hätte die „Schnabeltechnik“ aktiv angetrieben den Boden öffnen müssen.

Der Antrieb der Pflanzmaschine musste im Rahmen des Projekts elektrifiziert werden und mit einer positionsabhängigen Regelung versehen werden.

Hackmaschine:

Die Hackmaschine, welche zur ganzflächigen mechanischen Unkrautbekämpfung auf mit der zuvor genannten Sämaschine und Pflanzmaschine bearbeiteten Flächen zum Einsatz kommen soll, musste im Rahmen des Projektes neu entwickelt werden. Als Basis für diese Entwicklung konnte auf eine aus einem vorherigem Forschungsprojekt entwickelten Prototyp im Labormaßstab zurückgegriffen werden. Als Trägerrahmen kam ein Hackrahmen der Firma Schmotzer zum Einsatz, welcher bereits mit geeigneten Werkzeugen für den Zwischenreihenbereich ausgestattet war. Die Hauptarbeitsumfänge teilten sich im Projekt auf die nachfolgenden Bereiche auf.

Regelbare elektrische Antriebe:

Die bestehende Sämaschine und die Pflanzmaschine wurden um regelbare elektrische Direktantriebe erweitert und die neu entwickelte Hacke entsprechend konstruiert. Für diese Aufgabe, musste für jede der drei Maschinen die passende Antriebseinheit ausgewählt und beschafft werden. An der bestehenden Sämaschine mussten zur Integration tiefgreifende Umbaumaßnahmen vorgenommen werden. Zu den Umbaumaßnahmen gehörten die direkte Integration des Antriebs an das Zellenrad der Einzelreihe. Ziel des Direktantriebs ist ein möglichst hoher Wirkungsgrad sowie ein möglichst spielfreier Antrieb für eine hohe Positioniergenauigkeit. Bei der Pflanzmaschine bestand die Integration der Antriebe darin, eine Haltevorrichtung für die Antriebseinheiten zu konstruieren, welche an die maschinenseitige Eingangswelle über eine Kupplung angebunden werden kann. Da es sich bei der Hackmaschine weitestgehend um eine Neukonstruktion gehandelt hat, konnte die Konstruktion entsprechend auf den ausgewählten Antrieb ausgelegt werden.

Für die positionstreue Regelung mussten alle Maschinen mit Sensoren ausgestattet werden, welche die absolute Position der jeweiligen Arbeitsorgane (Zellenrad, Pflanzmechanik, Hackmesser) detektiert.

Konstruktion Hackmaschine

Bei der Konstruktion der Hackmaschine konnte in Teilen auf eine bereits verfügbare, aus einem zuvor bearbeiteten Projekt hervorgegangene, Konstruktion zurückgegriffen werden. Insbesondere die Kombination aus Antriebseinheit, Lagergehäuse und Abschersicherung konnten prinzipiell übernommen werden. Aufgrund einer für den geplanten Einsatzzweck veränderten Auslegung hinsichtlich der Antriebstechnik, musste das Lagergehäuse größer dimensioniert werden. Mit dem Ziel, die Hackmaschine möglichst energieeffizient betreiben zu können, wurde auf ein kontinuierlich arbeitendes System gesetzt. In dem zuvor bearbeiteten Projekt wurde mit einem diskontinuierlich arbeitenden System gearbeitet. Die parallel zu Konstruktionsphase durchgeführten Labor- und Feldversuche, zeigten hinsichtlich der

Montage und Demontage der Hackmesser noch Verbesserungspotential. Hinzu kam der Wunsch, dass die Hackmesser einfach gegen Hackmesser mit einer anderen Geometrie getauscht werden können. Die zuvor genannten Punkte konnten konstruktiv umgesetzt werden.

Konstruktion Sämaschine:

Die bestehende Konstruktion der Sämaschine musste insbesondere im Antriebsbereich für den Einbau der geregelten Antriebseinheiten angepasst werden. Für diese Aufgabe musste die bestehende Konstruktion in den für die Anpassungen notwendigen Bereichen in ein CAD-System überführt werden. Mit Fertigstellung der CAD-Konstruktion, konnte mit der Ausarbeitung der Änderungen an der bestehenden und die neue Konstruktion von Montageteilen für die Integration der Antriebseinheiten begonnen werden. Ein notwendiger Anspruch war hier die Positionierung des Absolutpositionsgebers und eine möglichst gute Montierbarkeit. Im Zuge der Konstruktion wurde auch die schnelle Montage und Demontage des Zellenrads bei Saatgutwechsel oder Veränderung des Saatabstands berücksichtigt.

Konstruktion Pflanzmaschine:

Für das Projekt musste die für das Projekt eingeplante Pflanzmaschine mit Antriebseinheiten ausgestattet werden. Die Maschine war ursprünglich mit einem Antrieb durch Tasträder ausgestattet. Die für die Konstruktion notwendigen Abmessungen wurden in eine CAD-Konstruktion überführt. Auf der Basis konnten dann die Halterungen für die ausgewählten Antriebseinheiten konstruiert und gefertigt werden. Zur Erfassung der absoluten Position wurde ein Halteblech für einen Sensor konstruiert. Der Sensor detektiert die Position der Vereinzelungsmechanik der Pflanzmaschine.

Steuerungshardware und Software:

Die entwickelte Steuerungshardware und Software wurden so ausgelegt, dass die Maschinen der gesamten Prozesskette mit weitestgehend identischen Komponenten und Programmen operieren. So konnten eine effiziente Nutzung der Ressourcen erreicht und mögliche Schnittstellenprobleme werden.

Die entwickelte Steuerungshardware umfasst eine zentrale Platine, auf der programmierbare Zukaufbauteile auswechselbar montiert werden, um sie als Gesamtsystem zum Einsatz zu bringen. Kernkomponenten dieses Gesamtsystems sind ein Einplatinencomputer (Raspberry Pi Compute Module 4), ein Mikrocontroller (Atmega 328P-AU), ein GNSS-RTK-Modul (SparkFun Board mit ublox ZED-F9P), ein NTRIP-Client (ardusimple 4G NTRIP Master) sowie Mikroelektronik für die Implementierung eines CAN-Bus (MCP2515).

Die Entwicklung des Systems war geprägt von dem Ineinandergreifen technischer Aufgabenstellungen und Herausforderungen im Bereich der Elektrotechnik und der Informatik. Dies bedingte im Hinblick auf die Soft- und Hardwareentwicklung eine im hohen Maße iterative und verzahnte Vorgehensweise. Daher wurde der Vorläufer für die am Projektende vorliegende Platine in PCB-Ausführung (printed circuit board) auf Lochrasterplatine entwickelt. So konnten kurze Iterationszyklen im Hardwaredesign vergleichsweise kostengünstig realisiert werden.

Erster Schritt der Entwicklung war eine robuste Konfiguration des Subsystems aus GNSS-RTK-Modul und NTRIP-Client. Die Komponenten mussten aufeinander abgestimmt und die Ausgabewerte für die nachfolgende Verarbeitung parametrisiert werden. Um fahrzeugunabhängig zu sein, wurde jede der entwickelten Maschinen mit einem eigenen GNSS-RTK-System ausgestattet. Dadurch werden ferner Einflüsse der Relativbewegungen zwischen Anbaugerät und Traktor auf die Genauigkeit der berechneten Positionsdaten der Nutzpflanzen reduziert.

Für die Entwicklung der zentralen Steuerungs-Software stand auf konzeptioneller Ebene bereits ein Ansatz zur Verfügung, auf den aufgebaut werden konnte. Erste Versuche zeigten hier eine prinzipielle Eignung des Konzeptes für die vorliegende Aufgabenstellung, allerdings wurde auch der weitere Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Umsetzung auf dem gewählten Einplatinencomputer deutlich. Für die zeitlich hochgenaue Impulsausgabe zur Triggerung der von Projektpartnern entwickelten Motorsteuerungen wurde das System aus GNSS-RTK-Modul und Einplatinencomputer um einen Mikrocontroller erweitert. Für die Kommunikation zwischen Einplatinencomputer und Mikrocontroller wurde, auch unter Berücksichtigung weiterer perspektivischer Anwendungsmöglichkeiten, ein CAN-Bus in das System integriert.

Der Sprung von dem auf Lochrasterplatine entwickelten Prototypen der Steuerungsplatine zu der PCB-Ausführung erforderte umfassende Arbeiten zur Adaption der Software an die neue Hardware und der Konfiguration des Einplatinencomputers.

Des Weiteren wurde die Grundlage für die Steuerung der Arbeitsmaschinen über eine Funkverbindung erarbeitet. Hierzu gehört die Konzeptionierung einer Bedienoberfläche und die Entwicklung eines Prototyps. Der Nutzer wird hierdurch perspektivisch in die Lage versetzt werden, das Anbaugerät von einem Mobilgerät aus zu steuern und zu überwachen.

Auslegung und Beschaffung der Batterieladeschaltung und Spannungsversorgung:

Mit dem Ziel einer gegenüber Spannungsschwankungen möglichst robusten Spannungsversorgung, welche direkt die Positionsregelung der Antriebstechnik beeinflussen könnten, wurde auf 36 Volt Akkus als Pufferspeicher gesetzt. Für das Laden der Akkus während der Feldarbeit, wurde eine entsprechende Ladeschaltung entwickelt und als teilbestückte Platinen bestellt. Die Ladeschaltung sorgt dafür, dass die durch den Traktor zur Verfügung stehende Gleichspannung von 12 Volt in die für die Antriebseinheiten geforderte Spannung von 36 Volt konvertiert wird.

Laborversuche:

Parallel zur Konstruktion wurden Laborversuche mit ersten Funktionsmustern der ausgearbeiteten Konstruktion durchgeführt, um insbesondere Kenntnisse über die Funktionalität der Bauteile innerhalb bestehender Maschinen zu bekommen. Die ersten Funktionsmuster wurden für die Sämaschine vorwiegend aus Kunststoff 3D-gedruckt. Im Rahmen von Laborversuchen wurden auch die Antriebseinheiten in Verbindung mit den von einem Projektpartner entwickelten Motorcontrollern getestet.

Feldversuche:

Für erste Praxistests wurden Feldversuche auf der FH Münster zur Verfügung stehenden Feldern durchgeführt. Dabei ging es schwerpunktmäßig, um die Funktion der Maschinen unter realen Bedingungen. Die entwickelte Software zur GNSS-RTK-basierten Ablage konnte auf ordnungsgemäße Funktion abgeprüft werden.

Aufbau 6-reihige Maschinen:

Nachdem die Versuche mit den einreihig aufgebauten Funktionsmustern abgeschlossen waren, konnte mit den auf Basis der Versuche angepassten Konstruktionen die 6-reihigen Maschinen aufgebaut werden. Dafür mussten zunächst diverse Dreh- und Frästeile sowie Laser- und Kantteile bei Zulieferbetrieben angefragt und bestellt werden. Bei den Anfragen wurde direkt auf die Oberflächenbehandlung der Bauteile geachtet, sodass hier auch erste Erfahrungen hinsichtlich der Montage und Korrosionsbeständigkeit im Feld gemacht werden konnten.

Feldversuche mit den 6-reihigen Maschinen

Die Maschinen konnten im Jahr 2023 erstmals in 6-reihiger Ausführung auf dem Feld getestet werden. Begonnen wurde im Frühjahr 2023 mit der Aussaat auf dem Versuchsfeld der FH Münster. Im Rahmen des Versuchs konnte die Betriebssicherheit der Maschine unter realen Bedingungen abgeprüft werden. Die während des Versuchs aufgetretenen Fehlfunktionen konnten durch Änderungen in der Software zur GNSS-RTK-basierten Steuerung der Maschinen behoben werden. Mit der Hackmaschine wurden ebenfalls Feldversuche durchgeführt, welche sich jedoch aufgrund der vorherrschenden Witterungsbedingungen als nicht ideal erwiesen haben. Für die Anordnung der Antriebseinheiten konnte Verbesserungspotenzial identifiziert werden.

2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Projekt wurde kostenneutral um 6 Monate bis Mitte November 2023 verlängert. Die Verlängerung war aufgrund von langen Lieferzeiten, unter anderem bedingt durch die COVID-19-Pandemie, von wichtigen Bauteilen notwendig. Erst durch die Verlängerung des Projektes, konnten weitere, für den Projektfortschritt wichtige Feldversuche in den hinzugewonnenen Sommermonaten durchgeführt werden.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Für das Erreichen der Projektziele waren alle geleisteten Arbeiten notwendig und angemessen.

2.4 Voraussichtlicher Nutzen und Fortschreibung des Verwertungsplans

Die im Rahmen des Projektes entwickelte GNSS-RTK-basierte positionsbezogene Prozesskette aus Pflanz-, Sä- und Hacktechnik mit einem TRL von 6 bietet eine solide Basis für nachfolge Aktivitäten, welche auf einen wirtschaftlichen Nutzen abzielen. Darüber hinaus sind weitere Anwendungen, wie das positionsgenaue Düngen oder die positionsgenaue Ertragsdokumentation bei Ernte innerhalb einer erweiterten Prozesskette denkbar. Neben der wirtschaftlichen Verwertung soll das erlangte Wissen im Rahmen der Lehre und weiterer Projekte eingesetzt werden.

Das Hacken als landwirtschaftliches Verfahren zur Beikraut- und Verdunstungsregulierung bietet angesichts sich verschärfender gesetzlicher Vorschriften bezüglich des Einsatzes von Herbiziden und durch den Klimawandel vermehrt vorkommenden Trockenperioden eine vielversprechende Möglichkeit, die Landwirtschaft auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Arbeitsweise zu unterstützen. Die Nutzung der entwickelten GNSS-RTK-basierten Technologie verspricht eine signifikante Erweiterung der durch das Hacken bearbeitbaren Nutzfläche auch auf den Nahbereich an den Nutzpflanzen. Dadurch werden die einzusetzenden Herbizidmengen oder aber auch anfallende Arbeiten zur manuellen Entfernung von Beikräutern effektiv und effizient reduziert. Die entwickelte Technologie bietet daher sowohl für die ökologische wie auch für die konventionelle Landwirtschaft großes Potential.

In der technischen Verwertung ist des Weiteren mindestens die Anwendung der entwickelten Technologie auf das Spot-Spraying ein zusätzlicher vielversprechender Use-Case.

Die in diesem Forschungsprojekt erzielten Ergebnisse sollen in naher Zukunft in einem anschließenden Forschungsprojekt zur Marktreife gebracht werden.

Der unmittelbare Nutzen der realisierten Prozesskette für DNL-contact GmbH & Co KG besteht darüber hinaus in kommenden marktreifen Produktentwicklungen und anschließender Verwertung. DNL-contact wird dort an der Verwertung der entwickelten Maschinen beteiligt sein.

2.5 Darstellung des während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind keine Aktivitäten ausgemacht worden.

2.6 Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 5 der NABF

Für das zweite Halbjahr 2024 ist eine Veröffentlichung von Teilergebnissen geplant.