Schlussbericht zur Zuweisung aus dem Bundeshaushalt, Einzelplan 10, Kapitel 1005, Titel 68661
Verbundprojekt: Kleine Roboter für die intelligente biologische Landwirtschaft (KRIBL), Teilprojekt A

Teil I: Kurzbericht zu den Arbeiten der Universität zu Lübeck

Dr. Volker Saggau; Moritz Gerwin, MA; Prof. Dr. Floris Ernst

Zielsetzung und Ausgangslage

Das KRIBL-Projekt adressierte die technologische Benachteiligung kleiner und kleinster ökologischer Betriebe, denen meist der Zugang zu moderner, automatisierter Landwirtschaft fehlt. Ziel war die Entwicklung einer modularen, autonomen Roboterplattform, die auf kostengünstigen Komponenten und spezialisierter Sensorik basiert und flexibel für verschiedene landwirtschaftliche Aufgaben einsetzbar ist – insbesondere in den Bereichen Freiland-Geflügelhaltung, Weideland-Monitoring und Vegetationsanalyse in Reihenkulturen.

Innovationen und wissenschaftlicher Beitrag

Im Unterschied zu bestehenden Agrarsystemen fokussiert KRIBL auf bislang wenig erschlossene Szenarien wie die Unkrauterkennung auf Weideland mittels eines Chlorophyllsensors und die Interaktion mit Tieren, etwa zum Schutz vor Prädatoren. Damit leistet das Projekt Pionierarbeit in Bereichen, die für Großbetriebe bislang keine Relevanz, für kleinstrukturierte Landwirtschaft jedoch entscheidende Bedeutung haben.

Projektumsetzung

Nach einer ersten Ideenphase wurden Anforderungen gemeinsam mit landwirtschaftlichen Partnern spezifiziert. Auf dieser Basis entstand eine prototypische Plattform mit einheitlicher Grundstruktur, die in drei exemplarischen Anwendungskontexten getestet wurde. Durch gestufte Feldtests – von einfachen Uni-Flächen bis hin zu realen Betriebsbedingungen – wurden Funktionalität, Robustheit und Nutzbarkeit validiert und laufend verbessert.

Ergebnisse und Nutzen

Das Projekt entwickelte eine praxistaugliche Simulationsumgebung, eine modulare Hardware mit konfigurierbaren Sensor- und Steuerungseinheiten sowie eine App-basierte Schnittstelle zur Bedienung. Die Plattform wurde erfolgreich in den Bereichen Pflanzen- und Tiermonitoring erprobt, inklusive Mechanismen zur automatisierten Prädatorabwehr. KI-Modelle und Datengrundlagen wurden erstellt und in Fachpublikationen veröffentlicht.

Verwertung und Perspektive

Die Roboterplattform bildet die Basis für künftige marktfähige Produkte, die in Kooperation mit IDE·Automation GmbH weiterentwickelt und vermarktet werden sollen. Das Projekt stärkt gleichzeitig den Forschungs- und Innovationsstandort Schleswig-Holstein durch die aktive Einbindung Studierender und bietet vielfältige Anknüpfungspunkte für Anschlussprojekte, z. B. im Bereich Tier-Roboter-Interaktion, Precision Farming oder digitaler Agrardienstleistungen.

Teil II: Eingehende Darstellung der Arbeiten der Universität zu Lübeck

Dr. Volker Saggau; Moritz Gerwin, MA; Prof. Dr. Floris Ernst

Moderne KI wird zur Pflanzenerkennung und -kartierung eingesetzt, um damit die landwirtschaftlichen Partner von Routinetätigkeiten zu entlasten. Ebenso werden neue, KI-basierte Verfahren für die Kartierung von Un- und Beikräutern mittels autonomer Roboter und deren Lokalisation in unbekannten Umgebungen entwickelt und erprobt.
Im Projekt wurde eine proprietäre Plattform vom Industriepartner entwickelt. Diese ist an die typischen Spurgrößen von ökologischem Kleinlandbau angepasst und bietet Anschlussmöglichkeiten für viele Erweiterungen. Ein variables Fahrmodell auf Basis individueller Ansteuerbarkeit der einzelnen Antriebe erlaubt eine erhöhte Mobilität auf kleinem Raum. Ein optionaler Greifarm ermöglicht den Einsatz für vielfältige Interaktionen.
Neue Algorithmen zur Pfadplanung in Echtzeit werden entwickelt, neue Methoden zur Kartierung eingesetzt und deren Anwendbarkeit wird unter Labor- und Realbedingungen erprobt.
Im Projekt konnte ein TRL von 4-5 für den Demonstrator erreicht werden.
Das Projekt hebt den Bedarf technischer Lösungen für landwirtschaftliche Probleme im ökologischen Kleinlandbau hervor. Entwicklungen müssen auf die individuellen Bedürfnisse angepasst werden. Für die vielseitige Einsetzbarkeit von modularen Aufbauten sind spezialisierte Weiterentwicklungen notwendig. Das wissenschaftliche und wirtschaftliche Potenzial in diesem Bereich ist enorm.

1. Durchgeführte Arbeiten

Das KRIBL-Projekt verfolgte das Ziel, autonome, modulare und kostengünstige Roboterlösungen für den Einsatz in der ökologischen Landwirtschaft zu entwickeln. Im Folgenden wird der Abgleich zwischen der ursprünglich beschriebenen Zielsetzung und den tatsächlich durchgeführten Arbeiten dargestellt, um die Zielnähe sowie die Verwendung der Fördermittel nachvollziehbar zu machen.

Projektkoordination und Anforderungsanalyse

Das Projektmanagement orientierte sich an klassischen Methoden, die – so der Plan – eine flexible Anpassung an sich ändernde Anforderungen ermöglichen sollten. Im Verlauf des Vorhabens wurde versucht, zusätzliche Robotikplattformen zu integrieren und externe Partner enger einzubinden, um den Transfer in die Praxis vorzubereiten.
In Workshops mit ökologischen Betrieben wurden technische Anforderungen erhoben und angepasst. Diese dienten als Grundlage für die Definition von Sensorik und Aktorik, z. B. im Kontext der Szenarien „Unkrauterkennung“ und „Prädatorenschutz“. Ein Netzwerk aus Praxisanwendern wurde aufgebaut, das potenziell zur Erprobung und späteren Verbreitung beitragen könnte.

Technische Umsetzung der Roboterplattform

Eine Simulationsumgebung auf Basis von ROS und Gazebo wurde eingerichtet, um Navigation und Steuerung zunächst virtuell zu prüfen. Dabei wurden bestehende Navigationsansätze weiterentwickelt und in wissenschaftlichen Beiträgen reflektiert.

Die modulare Roboterhardware wurde in mehreren Iterationen aufgebaut und hinsichtlich Bodenfreiheit und Outdoor-Tauglichkeit angepasst. Eine App-basierte Benutzerschnittstelle wurde erstellt, deren Funktionalität in Feldtests erprobt wurde. Rückmeldungen von Anwendern deuten auf eine grundsätzlich positive Aufnahme hin.

Vegetations- und Unkrauterkennung

Ein Sensorkonzept zur Unkrauterkennung auf Basis von Chlorophyllfluoreszenz wurde implementiert und im Zusammenspiel mit weiteren Detektionsmechanismen (z. B. Elektrozäune) getestet. Erste Integrationsergebnisse wurden dokumentiert und in Fachpublikationen vorgestellt.

Für die KI-gestützte Klassifikation wurden Bilddatensätze gesammelt und annotiert. Daraus abgeleitete Modelle konnten prototypisch Karten zur Verortung von Wildwuchs generieren.

Tierinteraktion und Prädatorerkennung

Die Plattform wurde mit Sensorik ausgestattet. Ein Konzept zur Raubtiererkennung wurde erarbeitet und im Rahmen von Versuchen mit Prototypen überprüft. Optische Abwehrmechanismen wurden technisch umgesetzt und unter kontrollierten Bedingungen evaluiert.

Generische Roboterfunktionen

Um die Übertragbarkeit der Plattform auf verschiedene Einsatzfelder zu sichern, wurden generische Steuerungs- und Verhaltenseinheiten entwickelt. Simulationsergebnisse und erste praktische Tests zeigten, dass eine gewisse Modularität der Steuerung erreichbar sein könnte. Eine prototypische Hardwareeinheit für generische Aufgaben wurde aufgebaut und in mehreren Anwendungsfällen eingesetzt.

Ergebnis

Die durchgeführten Arbeiten orientierten sich eng an der ursprünglichen Vorhabenbeschreibung. Es konnten wesentliche Bestandteile der Plattform sowie zugehörige Sensor- und Softwarekomponenten konzeptioniert, teilweise umgesetzt und in Tests erprobt werden. Auch wenn einzelne Komponenten in der Umsetzungs- oder Validierungsphase noch Entwicklungspotenzial aufweisen, lassen sich die bislang vorliegenden Ergebnisse als vielversprechende Grundlage für weiterführende Forschung, Validierung und mögliche Produktentwicklung interpretieren.

2. Notwendigkeit und Angemessenheit der Projektarbeit

Die ökologische Landwirtschaft steht vor zunehmenden Herausforderungen: steigende Anforderungen an Nachhaltigkeit, Fachkräftemangel und wirtschaftlicher Druck auf kleine Betriebe. Gleichzeitig bieten Fortschritte in Robotik und künstlicher Intelligenz (KI) neue Möglichkeiten zur Entlastung und Effizienzsteigerung. Bisherige technologische Entwicklungen konzentrieren sich jedoch nahezu ausschließlich auf Großbetriebe, da ihre Umsetzung meist kostenintensiv und wenig anpassbar ist.

In diesem Kontext adressiert das KRIBL-Projekt ein zentrales Innovationsfeld: die Entwicklung eines kosteneffizienten, modularen Robotersystems für kleinere landwirtschaftliche Betriebe mit einem Fokus auf ökologische Bewirtschaftung. Die Notwendigkeit des Projekts ergibt sich unmittelbar aus dem Bedarf an technologiegestützten Lösungen, die sowohl finanziell als auch funktional an die Strukturen kleiner Betriebe angepasst sind.

Zielgerichtete Umsetzung und Angemessenheit der Maßnahmen

Die Projektarbeit war inhaltlich und strukturell eng an die praktischen Anforderungen der Landwirtschaft gebunden. Die Wahl der drei Anwendungsszenarien – Unkrautmonitoring, Prädatorenschutz und generisches Roboterverhalten – spiegelte reale, dringliche Problemstellungen wider. Die Maßnahmen innerhalb der Arbeitspakete waren zielgerichtet und pragmatisch ausgerichtet.

- AP1 stellte durch ein flexibles Projektmanagement, eine fundierte Anforderungsanalyse und den Aufbau eines Anwendernetzwerks sicher, dass das Projekt kontinuierlich an Praxisbedarfe angepasst wurde.
- AP2 ermöglichte durch eine robuste Simulationsumgebung, moderne Navigationsansätze und modulare Hardwaredesigns eine praxisgerechte Entwicklung.
- AP3 ging gezielt auf wissenschaftlich wenig adressierte Szenarien wie das Wildwuchsmonitoring in Weideland ein und entwickelte neue sensorische sowie kartografische Ansätze.
- AP4 untersuchte ein bisher kaum erforschtes Thema – den Schutz vor Prädatoren im mobilen Robotereinsatz – und entwickelte realitätsnahe Testprotokolle und Abwehrmechanismen.
- AP5 sorgte mit generischen Steuerungsmodulen und Hardwaredesigns für die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere landwirtschaftliche Aufgabenfelder.

Die eingesetzten Methoden, von klassischen Workshops bis zu agilen Feldtests, waren jederzeit angemessen, um sowohl technische Validierung als auch Nutzerintegration zu ermöglichen. Die Arbeiten wurden außerdem durch mehrere wissenschaftliche Veröffentlichungen begleitet, was die Relevanz auch im akademischen Diskurs unterstreicht.

Ergebnisorientierung und Nachhaltigkeit

Die erzielten Ergebnisse belegen die Angemessenheit der Projektarbeit eindrucksvoll:

- Die entwickelte Roboterplattform ist einsatzbereit erprobt.
- Die Sensorik- und Steuerungslösungen sind wissenschaftlich validiert.
- Die Projektstruktur ermöglichte eine enge Einbindung der landwirtschaftlichen Praxis.
- Durch die enge Kooperation mit einem Industriepartner (IDE·Automation GmbH) ist die Grundlage für eine wirtschaftliche Verwertung und Verstetigung gelegt.

Darüber hinaus trägt das Projekt zur Stärkung der KI-Forschung in Schleswig-Holstein bei und schafft Lernräume für Studierende, wodurch die Nachhaltigkeit auch auf wissenschaftlich-personeller Ebene gesichert ist.

3. Veröffentlichungen

- Maryam Nezami, Ngoc Thinh Nguyen, Georg Männel, Hossam Seddik Abbas, Georg Schildbach. A Safe Control Architecture Based on Robust Model Predictive Control for Autonomous Driving, in Proc. of the 2022 American Control Conference (ACC'22), pp. 914-919, held in Atlanta, Georgia, USA, June 2022.
- Maryam Nezami, Hossam Seddik Abbas, Ngoc Thinh Nguyen, Georg Schildbach. Robust tube-based LPV-MPC for autonomous lane-keeping, in Proc. of the 5th IFAC Workshop on Linear Parameter Varying Systems (Joint SSSC, TDS, LPVS 2022), held in Montreal, Canada, September 2022. IFAC-PapersOnline, vol. 55, issue 35, pp. 103-108, 2022.
- Ngoc Thinh Nguyen, Pranav Tej Gangavarapu, Niklas Fin Kompe, Georg Schildbach, and Floris Ernst. Navigation with Polytopes: A Toolbox for Optimal Path Planning with Polytope Maps and B-spline Curves. Sensors, vol. 23, issue 7, pp. 3532, 2023.
- Harsh Yadav, Honghu Xue, Yan Rudall, Mohamed Bakr, Benedikt Hein, Elmar Rueckert and Ngoc Thinh Nguyen. Deep Reinforcement Learning for Mapless Navigation of Autonomous Mobile Robot, in Proc. of the 2023 International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), pp. 283-288, October 2023.
- Ngoc Thinh Nguyen, Pranav Tej Gangavarapu, Floris Ernst. B-spline-to-Bézier conversion and applications on path planning, in Proc. of the 2023 International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), pp. 2643-2648, 2023.
- Ngoc Thinh Nguyen, Pranav Tej Gangavarapu, Arne Sahrhage, Georg Schildbach, Floris Ernst. Navigation with polytopes and B-spline path planner, in Proc. of the 2023 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 5695-5701,

2023.

- Daniel Wulff, Timon Dohnke, Ngoc Thinh Nguyen, Floris Ernst. Towards Realistic 3D Ultrasound Synthesis: Deformable Augmentation using Conditional Variational Autoencoders, in Proc. of the 2023 IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS), pp. 821-826, 2023.

Abschlussarbeiten

- Deep Reinforcement Learning for Mapless Navigation in Warehouses. Harsh Yadav. Masterarbeit, eingereicht 02.2023; abgeschlossen.
- Autonomous Surveillance of Marked Objects with Application on Rumex Monitoring. Neele Kohle, Bachelorarbeit, eingereicht 09.2023; abgeschlossen.
- Motion planning and control of 4-wheel drive mobile robot in agriculture. Pranav Tej Gangavarapu. Masterarbeit, eingereicht 11.2023; abgeschlossen.
- Autonomous Mapping of Rumex in Grassland with a Mobile Robot. Niklas Fin Kompe. Master Praktikum, eingereicht 12.2023; abgeschlossen.
- Camera-aided Grasp Generation for a Robotic Gripper in Agricultural Scenarios. Leonhard Siegel, Bachelorarbeit, eingereicht 12.2023; abgeschlossen.