

Entwicklung einer flexiblen Sensorapplikation zur Erzeugung von validen Daten für KI-Algorithmen in landwirtschaftlichen Feldversuchen

Daniel König¹, Matthias Igelbrink¹, Christian Scholz¹, Andreas Linz¹ und Arno Ruckelshausen¹

Abstract: Künstliche Intelligenz nimmt eine zunehmend bedeutende Rolle in der digitalen Transformation der Landwirtschaft ein. Der Nutzen wird maßgeblich durch die Integration in die einzelnen Prozesse bestimmt. Damit KI-Module anwendungsbezogen entwickelt und eingesetzt werden können, ist die Erfassung valider Sensordaten im Feld notwendig. Diese bilden die Basis für das Trainieren und Anwenden von KI-Netzen. Durch den Einsatz kostengünstiger Standard-Sensorik kann in Kombination mit künstlicher Intelligenz ein Mehrwert in Bezug auf die Qualität der Datenverarbeitung erzielt werden. Aus der Notwendigkeit heraus, valide Sensordaten bereitzustellen, wurde eine flexible Sensorapplikation entwickelt, die durch entsprechende Systemtechnik und typische kostengünstige Sensorik (RGB-Kamera, 3D-Stereokamerasystem, RTK-GPS) valide Daten unter Feldbedingungen aufnehmen kann. Diese Daten können einer KI zur Verfügung gestellt werden. Durch diese Sensorauswahl kann auf eine Vielzahl von Anwendungen im Feld eingegangen werden („70%-Setup“). Zudem wurde das System in eine Simulationsumgebung implementiert, um vorab z. B. Anbaupositionen von Sensoren etc. zu überprüfen. Für die Erzeugung von validen Sensordaten wurden als erste Praxisbeispiele zwei unterschiedliche Feldanwendungen betrachtet und hierfür geeignete Feldversuche durchgeführt.

Keywords: Sensormodul, Sensordatenaufnahme, landwirtschaftliche Feldversuche, künstliche Intelligenz

1 Einleitung

Die Nutzung von Künstlicher Intelligenz (KI) hält zunehmend in allen Lebensbereichen Einzug. Dies gilt auch für die digitale Transformation in der Landwirtschaft. Dabei soll die Künstliche Intelligenz Entscheidungshilfen für die Landwirte bereitstellen und bereits bestehende landwirtschaftliche Prozesse optimieren (z. B. Differenzierung von Nutzpflanze und Beikraut). Um den flächendeckenden Einsatz von anwendungsbezogenen KI-Containern in der Landwirtschaft zu ermöglichen, wird neben erheblichen Datenmengen ebenfalls eine digitale Infrastruktur benötigt. Diese wird im Forschungsprojekt Agri-Gaia [Ag21] vorangetrieben. Hierbei soll die Integration von anwendungsbasierten KI-Modellen mittels Kleincomputern in bereits bestehende

¹ Hochschule Osnabrück, Competence Center of Applied Agricultural Engineering - COALA, Nelson-Mandela-Straße 1, 49076 Osnabrück,
{philipp-daniel.koenig, matthias.igelbrink, c.scholz, a.linz, a.ruckelshausen}@hs-osnabrueck.de

Systemtechnik erfolgen. Die Verfügbarkeit von großen Datenmengen kann in der heutigen Zeit der Digitalisierung zwar gewährleistet werden, allerdings muss die Validität der Daten sichergestellt sein. Dies stellt einen zentralen Punkt für die Genauigkeit der von der KI generierten Vorhersagemodelle und somit für die Akzeptanz innerhalb der Landwirtschaft dar. Um den Mehrwert von kostengünstigen Sensoren in Verbindung mit KI-Netzen nutzen zu können, müssen Sensormodule entwickelt werden, die möglichst anwendungsfallunabhängig valide Sensordaten unter Feldbedingungen aufnehmen können. Fokus dieser Arbeit ist daher die Entwicklung eines entsprechenden Sensormoduls zur Aufnahme valider Sensordaten im Feld. Die Sensorapplikation umfasst mit einer Stereokamera sowie einer RGB-Kamera kostengünstige Sensorik, aus denen sich ein Großteil landwirtschaftlicher Anwendungsfälle ableiten lassen. Dies ist für eine möglichst flexible zukünftige Entwicklung von anwendungsbezogenen KI-Modulen essenziell wichtig. Zur Evaluierung, ob valide Daten mit dem Sensormodul und den eingesetzten Sensoren aufgenommen werden können, wurden exemplarisch zwei verschiedene Anwendungsfälle betrachtet. Zum einen wurden die Bearbeitungsschritte der konservierenden Bodenbearbeitung eines Ackers (ohne Pflug) und damit die Oberflächenrauheit des Ackerbodens betrachtet, da eine optimale Saatbettbereitung von großer Bedeutung ist und durch KI-Algorithmen entsprechend unterstützt werden könnte (Silbermedaille AGRITECHNICA 2017, Pöttinger). Zum anderen wurde die Feldaufgangszählung von Mais exemplarisch untersucht. Die Bestandszählung ist eine der gängigsten Methoden zur Beurteilung des Pflanzenzustands und beeinflusst Bewirtschaftungsmethoden während der Saison. KI-Algorithmen in Verbindung mit kostengünstiger Sensorik könnten hier ein geeignetes Werkzeug zur Vereinfachung und Objektivierung darstellen [Pa20].

2 Material und Methoden

Zur Aufnahme von validen Sensordaten bei landwirtschaftlichen Feldversuchen, die für KI-Algorithmen und deren Entwicklung genutzt werden sollen, ist eine flexibel einsetzbare, höhenverstellbare Sensorapplikation entwickelt worden. Die Hardwarestruktur des Systems wird durch einen Sensorträger und einen Grundrahmen definiert (Abb. 1, links). Die am Sensorträger montierte kostengünstige Sensorik umfasst neben einer RGB-Kamera (Microsoft LifeCam Studio HD) auch ein 3D-Stereokamerasystem (Intel Realsense D435i) sowie einen RTK-GPS-Empfänger. Nach Erfahrung der Autoren kann durch dieses Sensorsetup die Datenerfassung für einen Großteil von Anwendungen im Feld („ca. 70 %“) abgedeckt werden. Der Grundrahmen des Sensormoduls enthält den Schaltschrank mit der Spannungsversorgung sowie einen Industrie-Computer (IPC). Für den flexiblen Einsatz des Sensormoduls im Feld wird lediglich eine Spannungsquelle von 230V AC (z. B. Generator) oder 12V DC (z. B. Bordnetz Traktor) benötigt. Die Softwarearchitektur des Sensorsystems basiert auf dem Betriebssystem Ubuntu 20.04 und verwendet als Middleware das Robot Operating System (ROS Noetic). Dieses „Open Source“-Softwareframework erlaubt den Aufbau einer

modularen Softwarestruktur, wodurch eine flexible Erweiterbarkeit des Systems erreicht wird. Weiterhin bietet ROS die Möglichkeit, Sensordaten systematisch mit Zeitstempeln zu speichern.

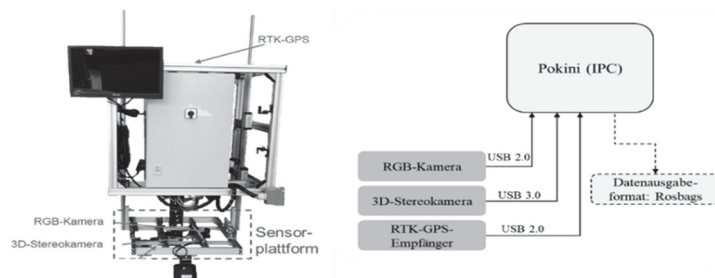


Abb. 1: Entwickelte Sensorapplikation/Sensormodul mit Sensorplattform (links) und eingesetzte Sensorik/Hardware als Datenflussdiagramm (rechts)

Zur Durchführung der landwirtschaftlichen Feldversuche und der damit verbundenen Sensordatenaufnahme wurde die Sensorapplikation als Beispiel in die Forschungsplattform BoniRob [Ba13] implementiert (Abb. 2). Das Sensorsystem ist mit dem BoniRob verbunden. Hierdurch wird u. a. das Sensormodul mit der benötigten Spannung (230V AC) versorgt. Zudem ist vorgesehen, das Modul auch beispielsweise mit Hilfe eines Generators oder des Bordnetzes eines Traktors zu versorgen, wodurch eine Trägerfahrzeugunabhängigkeit erreicht wird. Ebenfalls wurde das Sensormodul in einer Simulationsumgebung implementiert (Abb. 2A). Hierdurch können Vorabtests, wie z. B. die Positionierung von Sensoren evaluiert werden, da Adaptionen/ Veränderungen im Feld aufwendig sind und die Felder oft weiter entfernt liegen [Li19].

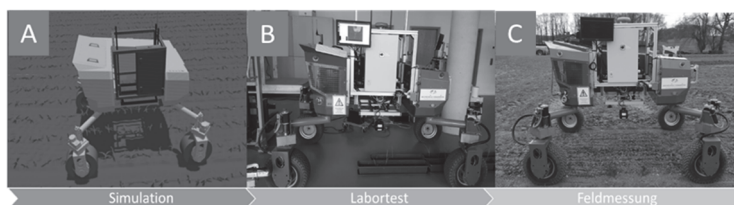


Abb. 2: Das Sensormodul bei Testfahrten implementiert in den BoniRob (A: in der Simulationsumgebung, B: bei Labortests, C: bei Feldmessungen)

2.1 Durchgeführte Feldmessungen

Bei der Bodenbearbeitung und der damit verbundenen Oberflächenrauheit des Ackerbodens standen die Distanzdaten der Stereokamera im Fokus. Gemessen wurde der Ackerboden ausgehend vom Zustand „Stand nach Winter“, nach dem Einsatz eines Grubbers, nach dem Einsatz eines Grubbers mit Krümelwalze und nach dem Einsatz einer Kreiselege. Die Messungen mit dem Sensor wurden aus der Vogelperspektive

vorgenommen. Die Stereokamera generiert dabei eine Punktwolke der betrachteten Szene. Als Feldversuch wurden 10 m lange Ackerflächen nach den jeweiligen Bearbeitungsstufen vermessen. Zusätzlich wurde als Referenzmethode nach jedem laufenden Meter eine Höhenmessung des Ackerbodens von der Fahrspur des BoniRobs aus bis hin zur Ackeroberfläche erfasst. Dabei bildet die eingefahrene Fahrspur den tiefsten Referenzpunkt für eine Höhenmessung. Somit wird lediglich die Veränderung des Bodenprofils gemessen und kann als indirekter Vergleichswert für die Bodenrauheit herangezogen werden. Für die Feldaufgangszählung von Mais wurden die Daten der RGB-Kamera herangezogen, da diese Kamera einen größeren Bildbereich (Field-of-view) im Vergleich zur RGB-Kamera der Intel RealSense erfassen konnte. Hierzu wurden Bilder aufgehender Maispflanzen von einem 10 m langen Pflanzenstreifen erfasst. Diese Pflanzen wurden als Referenzmessung ebenfalls händisch ausgezählt.

2.2 Methoden zur Datenauswertung

Für die Oberflächenrauheit des Ackerbodens wurden die von der 3D-Stereokamera aufgenommenen Punktwolken genutzt, um den Rauheitskoeffizienten RC [CL70] für die Ackeroberfläche zu bestimmen. Der RC lässt Rückschlüsse auf die Rauheit und somit auf die Homogenität eines Ackerbodens zu. Dieser wird mit folgender Formel berechnet.

$$RC = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{x,y} [(Z(x,y) - (Z(x_0,y_0))_{x,y})]^2} \quad (1)$$

Hierbei wird die mittlere quadratische Abweichung in einem 3D-Bild/Punktwolke von allen darin enthaltenen Distanzwerten gebildet. Die Einheit des Rauheitskoeffizienten RC wird durch die Einheit der Messwerte bestimmt. Somit kann pro aufgenommenem 3D-Bild/Punktwolke ein Rauheitskoeffizient gebildet werden.

Für die Feldaufgangszählung wurde mittels „Image Stitching“ ein Panoramabild des 10 m langen Feldversuches aus den aufgenommenen Farbbildern der RGB-Kamera erstellt. Anschließend wird eine Farbraumtransformation vom RGB- in den L*a*b*-Farbraum durchgeführt, was eine robustere Segmentierung farblicher Pixel ermöglicht. Für die genaue Farbsegmentierung wird ein k-Means-Algorithmus mit verschiedenen Clustern gewählt. Um verbleibende Störeinflüsse aus dem Binärbild zu entfernen, sind die morphologischen Basisoperationen (erodieren und dilatieren) verwendet worden. Das bereinigte Binärbild wird im Anschluss nach verbliebenen Binärclustern durchsucht und nach Clustergröße gefiltert, wobei zu kleine Cluster verworfen werden.

2.3 Simulationsumgebung

Das Sensormodul ist ebenfalls in der Simulationsumgebung „GAZEBO“ implementiert worden. Hierdurch können im Vorfeld bereits Messungen mit dem System simuliert und Anpassungen durchgeführt werden. Hierzu zählen z. B. die Evaluierung von Sensoren,

Anbaupositionen sowie Datenraten oder auch das Generieren von synthetischen Trainingsdaten für die KI. In der Simulation können zudem die Umgebungsbedingungen gezielt verändert werden, um vielfältige Testbedingungen zu schaffen. Ebenfalls können ganzjährig Tests simuliert werden, da keine Wetterabhängigkeit besteht.

3 Ergebnisse und Diskussion

Beim Ausgangszustand „Stand nach Winter“ liegt ein sehr fester, inhomogener Ackerboden vor. Im ersten Schritt der Bodenbearbeitung (Einsatz des Grubbers) wird der Ackerboden grob aufgebrochen, wodurch größere Bodenaggregate entstehen. Somit ist die Oberfläche sehr rau und inhomogen. Wenn zusätzlich zu dem Grubber eine Krümelwalze eingesetzt wird, können größere Aggregate aufgebrochen werden. Somit wird ein annähernd homogener (leicht rauer) Boden zurückgelassen. Bei der folgenden Bearbeitung mittels einer Kreiselegge entsteht eine homogene und glatte Oberfläche, da zurückgebliebene Aggregate zerkleinert wurden. Durch diese Formunterschiede des Ackers nach den verschiedenen Bearbeitungsschritten sind durch die berechneten Rauheitskoeffizienten aus den Daten der 3D-Stereokamera Abstufungen zu erwarten. Pro Feldversuch wurden dabei 10 Rauheitskoeffizienten des 10 m langen Feldversuches berechnet. In der Tab. 1 sind die aus den Daten berechneten Mittelwerte und auftretenden Streuungen der gemessenen Rauheitskoeffizienten (RC) sowie die erfassten Referenzhöhen des jeweiligen Bearbeitungsschrittes aufgetragen.

Bodenbearbeitungsstufe	Mittelwert der 10 Referenzhöhen [cm]	Mittelwert des RC aus 10 Messungen [cm]	Streuung der RC's [cm]
Stand nach Grubber	12,4	4,29	0,72
Stand nach Grubber mit Krümelwalze	4,8	2,17	0,24
Stand nach Kreiselegge	2,45	1,1	0,08

Tab. 1: Mittelwerte der gemessenen Referenzhöhen und der berechneten RC (10 Messungen) des jeweiligen Bodenbearbeitungsschrittes sowie die zugehörigen Streuungen der Messwerte

Die berechneten Rauheitskoeffizienten zeigen deutliche Abstufungen in den aufeinanderfolgenden Bearbeitungsschritten des Ackers vom „Stand nach Winter“ bis hin zur Aussaat. Zudem ist die Streuung der Werte deutlich geringer bei abnehmender Rauheit des Bodens, was auf die steigende Homogenität des Ackerbodens hindeutet.

Mit Hinblick auf die Feldaufgangszählung bei Mais wurden mit dem Sensormodul 62 Maispflanzen auf 10 Metern aufgenommen. Unter den Pflanzen befanden sich trichterförmige Sprösslinge sowie Maispflanzen mit bereits zwei kleinen ausgebreiteten Blättern. Dabei hatten diese eine Höhe von 4-8 cm. Der Feldversuch wurde zweimal mit

dem Sensormodul vermessen. Aus den Kamerabildern konnte jeweils ein Panoramabild erstellt werden, in dem die Pflanzen selektiert und gezählt wurden. Dabei wurden in den Daten der ersten Messung 69 und der zweiten Messung 70 Maispflanzen gezählt. Hierbei konnten alle Pflanzen in dem Feldversuch mithilfe einfacher Bildverarbeitung erkannt werden, wobei wenige Artefakte wie Beikräuter zusätzlich detektiert wurden.

4 Schlussfolgerungen

Mit dem entwickelten Sensormodul und den eingesetzten Sensoren konnten valide Daten aufgenommen werden. Dies konnte durch die Betrachtung zweier unterschiedlicher Anwendungsfälle auf dem Feld gezeigt werden, indem hierzu ein Pflanzenparameter (Maispflanzenanzahl) und ein Bodenparameter (Oberflächenrauheit des Ackerbodens) ausgewertet wurden. Die Daten, welche mit dem Sensormodul aufgenommen werden, können somit einer KI-Entwicklung zur Verfügung gestellt werden. Hierbei können die Sensordaten grundsätzlich als Trainingsdaten sowie auch als Eingangsparameter für KI-Anwendungen im Feld übergeben werden, was bereits mit anderen Projektpartnern in diesem Forschungsvorhaben durchgeführt wurde.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes Agri-Gaia durchgeführt, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wird. Ein weiterer Dank geht auch an den landwirtschaftlichen Betrieb Hof Langsenkamp, bei dem die Feldversuche unterstützend durchgeführt wurden.

Literaturverzeichnis

- [Ag21] Agri-Gaia, Ein agrarwirtschaftliches KI-Ökosystem für die Agrar- und Ernährungswirtschaft. <https://www.agri-gaia.de/>, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2021.
- [Ba13] Bangert, W. et al.: „Field-Robot-Based Agriculture: “RemoteFarming.1” and “BoniRob-Apps”, 71. Tagung LANDTECHNIK – Agricultural Engineering 2013.
- [CL70] Currence, D., Lovely, W.: ”The analysis of soil surface roughness.” Transactions of the ASAE. 13 (6): 0710-0714. (doi: 10.13031/2013.38702) 1970.
- [Li19] Linz, A., Hertzberg, J., Roters, J., Ruckelshausen, A. „Digitale Zwillinge“ als Werkzeug für die Entwicklung von Feldrobotern in landwirtschaftlichen Prozessen. In GI Edition Proceedings Band 287 Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. 39. GIL-Jahrestagung 18.-19. Februar 2019 Wien, Österreich, S.125–130, ISBN: 978-3-88579-681-7, 2019.
- [Pa20] Pang, Y., Shi, Y., Gao, S., Jiang, F., Veeranampalayam-Sivakumar, A., Thompson, L., Luck, J., Liu, C.: Improved crop row detection with deep neural network for early-season maize stand count in UAV imagery. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 178, ISSN 0168-1699, (<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105766>), 2020.