

Konzeption und Realisierung einer feldbasierten landwirtschaftlichen Versuchsumgebung zur dynamischen Umgebungswahrnehmung

Jan Christoph Krause¹, Jaron Martinez², Henry Gennet², Martin Urban³, Jens Herbers⁴, Stefan Menke⁴, Sebastian Röttgermann⁵, Joachim Hertzberg^{1,6} und Arno Ruckelshausen²

Abstract: Für die Automatisierung von landwirtschaftlichen Prozessen werden autonome Maschinen entwickelt, die zuverlässig und sicher in ihren Arbeitsgebieten navigieren müssen. Die insbesondere beim Pflanzenbau typischerweise harschen und wechselnden Umgebungsbedingungen erschweren die hierfür notwendige sensorbasierte Erfassung und Interpretation des Umfelds. Für die funktionale Sicherheit ist die robuste Erkennung des Menschen im Umfeld der Maschine in allen definierten, zulässigen Betriebsbereichen essenziell. In diesem Beitrag wird eine Versuchsumgebung vorgestellt, mit der die Einflüsse von unterschiedlichen Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise das Wetter und die Vegetation, auf die Zuverlässigkeit von Sensorsystemen zur semantischen Umfeldwahrnehmung untersucht werden. Mit einem schienenbasierten Trägersystem werden Sensoren verschiedener Messprinzipien reproduzierbar durch eine landwirtschaftliche Umgebung bewegt. Hierbei werden die Rohdaten der Sensoren als Evaluationsdaten aufgezeichnet. Durch eine wiederkehrende und wiederholbare Aufnahme bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen wird die Erzeugung von Evaluationsdatensätzen, die sich zum Vergleich der Erkennungsgüte eignen, ermöglicht.

Keywords: agricultural automation; field robots; human detection and tracking

1 Einleitung

Hochautomatisierte Maschinen mit sensorbasierten Assistenzsystemen bieten auch in der Landwirtschaft das Potenzial, die Leistung und Effizienz zu steigern und gleichzeitig die Umweltbelastung zu reduzieren. Die Verfügbarkeit von räumlich und zeitlich hochauflösenden Sensoren ist dabei ein wichtiger Innovationstreiber. Für den sicheren Betrieb von automatisierten und autonomen Maschinen ist eine robuste Umfeldwahrnehmung essenziell.

¹ DFKI GmbH Niedersachsen, Planbasierte Robotersteuerung, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, jan_christoph.krause@dfki.de, joachim.hertzberg@dfki.de

² Hochschule Osnabrück, Labor für Mikro- und Optoelektronik, Sedanstraße 26, 49076 Osnabrück, j.martinez@hs-osnabrueck.de, henry.gennet@hs-osnabrueck.de, a.ruckelshausen@hs-osnabrueck.de

³ UR Automation GmbH, Hanauerstraße 6, 66976 Rodalben, Martin.Urban@URautomation.de

⁴ Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG, Vorentwicklung, Heinrich-Krone-Straße 10, 48480 Spelle, jens.herbers@krone.de stefan.menke@krone.de

⁵ LEMKEN GmbH & Co. KG, Vorentwicklung, Weseler Straße 5, 46519 Alpen, s.roettgermann@lemken.com

⁶ Universität Osnabrück, Institut für Informatik, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück

Die Maschinenumfelder müssen bei oft harschen und wechselnden Umgebungsbedingungen stetig sicher überwacht werden. Neben der Vegetation und den Wetterbedingungen haben auch weitere Störgrößen wie Staub und Vibrationen Einfluss auf die Überwachung.

Die für die Validierung von Umfeldwahrnehmungssystemen frei verfügbaren Benchmark-Datensätze enthalten in der Regel urbane Szenarien. Um die Funktion derartiger Sensorsysteme zur Erkennung von Hindernissen, wie z. B. dem Menschen, im landwirtschaftlichen Kontext zu validieren, werden allerdings domänenspezifische Testdaten benötigt.

2 Stand der Technik und Zielsetzung

Es existieren vielfältige Ansätze mit unterschiedlichen Sensorsystemen zur Umfeldwahrnehmung [Re16]. Durch die zuvor beschriebenen, harschen und wechselnden Umgebungsbedingungen entstehen im Kontext der Agrarrobotik besondere Anforderungen an die verwendeten Sensorsysteme. Im Gegensatz zum urbanen Umfeld treten unerwartete Hindernisse im Fahrkorridor deutlich seltener auf, müssen aber genauso zuverlässig erkannt werden. Für den meist urbanen Anwendungsbereich existieren eine Reihe von frei verfügbaren Datensätzen zur Objekterkennung. Während der CoCo Datensatz [Li15] typische Alltagsszenen enthält, liegt beim KITTI Datensatz der Fokus auf Szenen im Straßenverkehr [GLU12]. Es gibt aber auch Datensätze, die sich auf landwirtschaftliche Umgebungen fokussieren. In [Pe17] wird ein Datensatz zur Erkennung von Personen auf Obstplantagen vorgestellt, in [Kr17] ein Datensatz von einem Grasernteszenario.

In den beschriebenen Datensätzen werden jedoch die in der Landwirtschaft typischerweise harschen und wechselnden Umgebungsbedingungen nicht explizit betrachtet. Damit die Funktion von Sensorsystemen bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen bewertet werden kann, ist die Durchführung von reproduzierbaren Versuchsszenarien essenziell. Diese Thematik wird durch den in [Me21] beschriebenen Versuchsstand aufgegriffen, bei dem Sensoren und Prüfkörper relativ zueinander bewegt werden. Hier liegt der Fokus bei den wetterbedingten Einflüssen auf ganzheitlichen Sensorsystemen, die bereits eine interne Interpretation der Rohdaten durchführen. Durch begrenzte Bewegungsradien ist die Variabilität des Umfelds begrenzt.

In dem vorliegenden Beitrag wird ein Outdoor-Teststand für die reproduzierbare Aufnahme von Sensorrohdaten wie Bilder und Punktwolken vorgestellt. Um den Einfluss von Umgebungsbedingungen auf die Zuverlässigkeit von Sensorsystemen zu bewerten, ist eine wiederkehrende Aufnahme in unterschiedlichen Situationen (diverse Wetterbedingungen und unterschiedliche Vegetationsperioden) notwendig. Die Anforderungen an die Gestaltung des Teststands orientieren sich an den allgemeinen Prozessparametern aus der Landwirtschaft. Konkretisiert werden diese Parameter anhand der Konzeptstudie „Combined Powers“ [Ko22]. Diese autonome „Verfahrenstechnische Einheit“ (VTE) ist eine Gemeinschaftsentwicklung der Projektpartner Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG und LEMKEN GmbH & Co. KG. In die Entwicklung fließen, basierend auf dem Austausch mit dem TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG, sicherheitsbezogene

Aspekte ein. Das hier beschriebene Testfeld ist eine von drei Testebenen, welche zusammen mit separaten Einzelversuchen und einem Transfer auf reale Landmaschinen eine Grundlage für die Erarbeitung von Zertifizierungsprozessen bildet. Das unter [Kr22] vorgestellte Konzept bildet eine Grundlage für das im Folgenden beschriebene Versuchsfeld.

3 Beschreibung des Versuchsfelds

Das Versuchsfeld gliedert sich in drei Feldbereiche, die unterschiedlich bestellt werden. Abbildung 1 stellt die Abgrenzung der drei Feldbereiche Brachland, Grünland und die Reihenkultur Mais dar. Senkrecht zu den Schienen beträgt die Breite des Feldes auf der einen Seite 40 m und auf der anderen Seite 20 m. Für den als relevant festgelegten Erkennungsbereich von 30 m endet das Feld auf der einen Seite mit einem freien Horizont. Auf der anderen Seite mündet der Feldbereich in natürliche Feldgrenzen, wie Bäume und Sträucher, sowie einen Strommast. Auf dem Testfeld stehen zwei Masten, an denen WiFi-Zugangspunkte sowie Kameras zur Überwachung des Testfelds montiert sind. Darüber hinaus befindet sich auf Mast 1 eine RTK-Referenzstation sowie eine Wetterstation und ein Sichtweitenmessgerät. Mit diesen Messgeräten wird die Sichtweite, die Windgeschwindigkeit sowie die Helligkeit, Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit zur Einordnung der Umgebungsbedingungen aufgezeichnet.

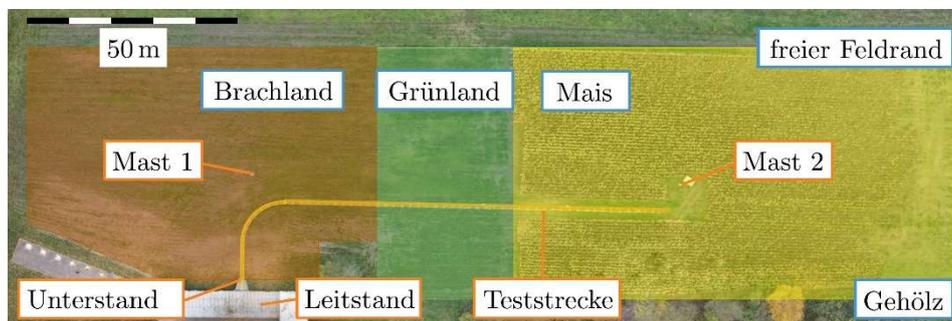


Abb. 1: Der Schienenparcours verläuft durch die drei Bereiche Brachland (braun), Grünland (grün) und Mais (gelb). Auf dem Testfeld stehen zwei Masten zur Befestigung der Infrastruktur und weiterer Sensorik. (Foto: Edgar Walter, Hochschule Osnabrück)

Hinsichtlich der Beurteilung der funktionalen Sicherheit von landwirtschaftlichen Maschinen ist der Mensch das entscheidende Objekt. Aus diesem Grund werden zwei realistische humanoide Prüfkörper verwendet, die einer durchschnittlichen erwachsenen männlichen Person bzw. einem siebenjährigen Kind entsprechen⁷. Der Körperbau sowie die Reflektionsseigenschaften bei Radar-, Ultraschall-, Kamera- und Infrarotsystemen sind denen eines echten Menschen nachempfunden. Die Prüfkörper werden auf Bodenhülsen mit Magneten befestigt, sodass diese reproduzierbar, aber auch flexibel an verschiedenen Positionen auf

⁷ <https://www.4activesystems.at/4activeps>

dem Testfeld aufstellbar sind. Zur exakten Positionsbestimmung, die insbesondere zur Generierung von Grundwahrheiten notwendig ist, werden die Positionen der Prüfkörper mit einem RTK-Messstab vermessen.

4 Beschreibung des Sensorträgers

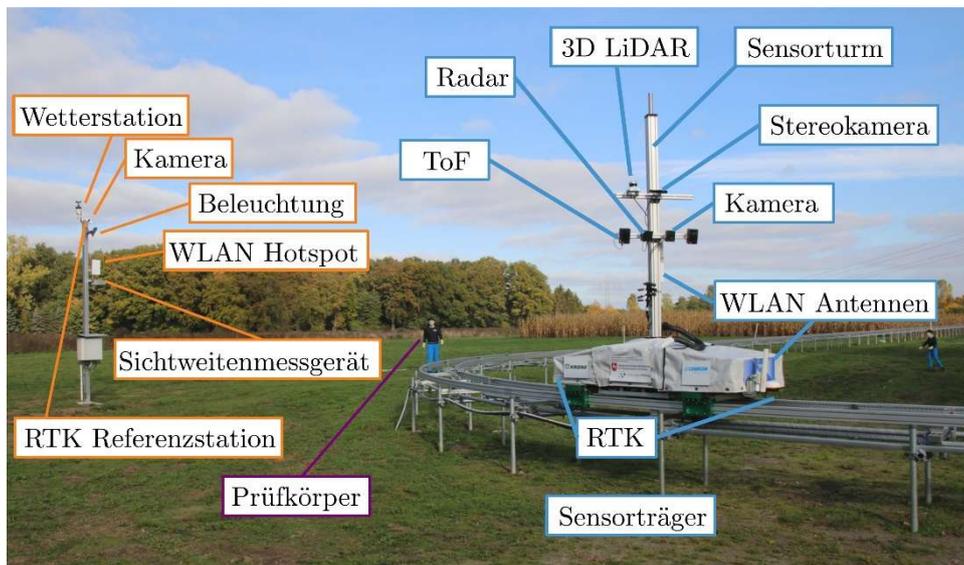


Abb. 2: Die zu evaluierende Sensorik wird auf dem drehbaren Sensorturm befestigt. Auf dem Testfeld steht ein Mast, an dem die Hardware zur Überwachung und Kommunikation mit dem Dolly befestigt ist.

Zur reproduzierbaren Bewegung der Sensoren durch das Testfeld wurde ein schienenbasiertes Trägersystem auf der Grundlage von Gerüstbaukomponenten und Aluminiumprofilen aufgebaut. Der Sensorträger hat eine Breite von 0,7 m und eine Länge von 1,80 m. Zur Positionierung wird der Träger von einem Seilantrieb über einen 100 m langen L-förmigen Parcours mit einer Kurve, die einen Radius von 10 m aufweist, gezogen. Das Trägersystem erreicht dabei eine Geschwindigkeit von $5,5 \text{ m s}^{-1}$ bei einer Beschleunigung von $1,6 \text{ m s}^{-2}$. Auf dem Trägerschlitten ist ein auch im Messbetrieb um 350° drehbarer Sensorturm montiert, auf dem mehrere Sensoren frei und flexibel in einer Höhe von 1,5 m bis 4 m montierbar sind. Zur Evaluierung werden Sensoren verschiedener Technologien wie beispielsweise RGB-Kameras, Tiefenkameras (Stereo, Time-of-Flight), LiDAR, Radar und Ultraschall herangezogen. Neben den Sensoren ist der Trägerschlitten mit Akkus, Industriecomputern, Peripherie und einer Lokalisierungseinheit (RTK-GNSS)

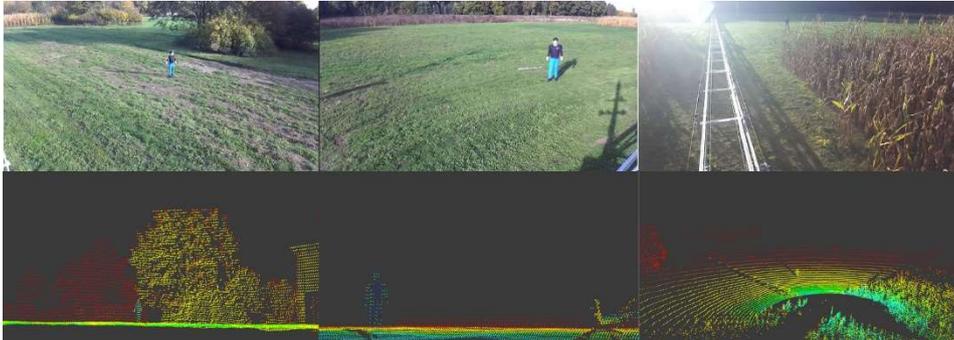


Abb. 3: Exemplarische Sensordaten einer Messfahrt mit dem dargestellten Sensorträgersystem. Oben: Bild einer RGB-Kamera, unten: Punktwolken eines 3D LiDAR

zur exakten Positions- und Orientierungsbestimmung ausgestattet. Das zulässige Gesamtgewicht beträgt 300 kg, von denen für die Experimente eine Zuladung von 110 kg frei ist.

Durch ein automatisches Ladesystem und die verwendeten robusten Industriekomponenten ist ein 24/7-Betrieb auch bei harschen Umgebungsbedingungen möglich. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgt direkt auf dem Trägersystem, sodass Datenverluste und Einschränkungen bei der Zeitsynchronisierung durch die Datenübertragung per WLAN vermieden werden. Zur Durchführung kontinuierlicher Messungen wird die Bewegung des Sensorträgers und Aufzeichnung der Sensordaten durch Wetterereignisse oder Benutzereingaben gestartet. Im Anschluss erfolgt ein automatischer Transfer der aufgenommenen Messdaten zu einer zentralen Datenbank.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Aufbau des Outdoor-Teststandes in einer Nachbildung von landwirtschaftlichen Nutzflächen ermöglicht es, im Rahmen des Projekts (und darüber hinaus) verschiedene Typen von Sensoren reproduzierbaren Testszenarien zu unterziehen. Hierdurch wird es ermöglicht, die unterschiedlichsten Sensormodalitäten mit Bezug zu den Anforderungen im landtechnischen Umfeld zu untersuchen, um eine geeignete Auswahl für den jeweiligen Einsatzzweck treffen zu können.

Mit diesem Versuchsaufbau ist es nun möglich, Rohdaten von verschiedenen Sensorsystemen im Verlauf einer gesamten Feldsaison mit unterschiedlichen Umgebungsbedingungen aufzuzeichnen. Es wird eine Datenbank mit Sensorrohdaten erzeugt, aus der Evaluationsdatensätze mit realen Testdaten für verschiedene Algorithmen generiert werden können. Hierzu wird eine semantische Umgebungsrepräsentation [NPH22] integriert. Ein Anwendungsfall ist beispielsweise die Eignungsprüfung von Sensorik für landwirtschaftliche Arbeitsgeräte.

Förderhinweis: Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Das DFKI Niedersachsen (DFKI NI) wird gefördert im Niedersächsischen Vorab durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und die Volkswagen Stiftung.

Literaturverzeichnis

- [GLU12] Geiger, A.; Lenz, P.; Urtasun, R.: Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite. In: 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, S. 3354-3361, 2012.
- [Ko22] Kooperationsprojekt Combined Powers: Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG und LEMKEN GmbH & Co. KG, www.combined-powers.com, Stand: 31.10.2022.
- [Kr17] Kragh, M. F. et.al.: FieldSAFE: Dataset for Obstacle Detection in Agriculture. In: Sensors 2017, Bd. 17(11), 2579, 2017.
- [Kr22] Krause, J. C. et al.: Concept of a Test Environment for the Automated Evaluation of Algorithms for Robust and Reliable Environment Perception. In (VDI Wissensforum GmbH (Hrsg.)): LAND.TECHNIK 2022: The Forum for Agricultural Engineering Innovations, VDI-Berichte Bd. 2395, VDI Verlag, Düsseldorf, S. 177-184, 2022.
- [LI15] Lin, TY. et al.: Common Objects in Context. In (Fleet, D., Pajdla, T., Schiele, B., Tuytelaars, T., Hrsg.): Computer Vision – ECCV 2014, Lecture Notes in Computer Science, Bd. 8693. Springer, Cham, S. 740-755, 2014.
- [Me21] Meltebrink, C. et al.: Concept and Realization of a Novel Test Method Using a Dynamic Test Stand for Detecting Persons by Sensor Systems on Autonomous Agricultural Robotics. In: Sensors 2021, Bd. 21(7), 2315, 2021.
- [NPH22] Niemeyer, M.; Pütz, S.; Hertzberg, J.: A Spatio-Temporal-Semantic Environment Representation for Autonomous Mobile Robots equipped with various Sensor Systems. In: 2022 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, S. 1-6, 2022.
- [Pe17] Pezzementi, Z. et.al: Comparing apples and oranges: Off-road pedestrian detection on the National Robotics Engineering Center agricultural person-detection dataset. Journal of Field Robotics Bd. 25(4), S. 545-563, 2018.
- [Re16] Reina, G. et.al: Ambient awareness for agricultural robotic vehicles. In: Biosystems Engineering, Bd. 146, S. 114-132, 2016.