

## Validierung eines Objektlokalisierungs-Algorithmus zur Detektion von Rundballenmodellen

### Untersuchung von realistischen Anlieferungs- und Lagerszenarien

Florian Kitzler<sup>1</sup>, Lukas Rapberger<sup>1</sup>, Andreas Gronauer<sup>1</sup> und Norbert Barta<sup>1</sup>

**Abstract:** Im Zuge der Digitalisierung nimmt der Automatisierungsgrad in der Landwirtschaft stark zu. Die automatisierte Handhabung von Biomasse wie z. B. Rundballen aus Heu oder Stroh benötigt Messsysteme, die in der Lage sind, die Pose von Objekten präzise zu erkennen. Dazu eignen sich Laserscanner, mit deren Hilfe eine 3D-Punktwolke der Umgebung generiert und mit Algorithmen ausgewertet werden kann. Zur Evaluierung eines Objektlokalisierungs-Algorithmus zur Detektion von Rundballen wurden realistische Anliefer- und Lagerszenarien erstellt und mithilfe eines Laborprüfstands gescannt und ausgewertet. Durch Vergleich der Sollpose (Referenzmessung anhand eines Koordinatengitters) mit der Istpose (gemessene Pose) der Objekte konnte eine Genauigkeit von durchschnittlich 27 mm in der Position und eine maximale Winkelabweichung von 2,6° festgestellt werden. Dabei liegen 88 % aller gemessenen Objekte innerhalb der geforderten Genauigkeit von 42 mm, die garantieren soll, dass die Objekte mit einer handelsüblichen Ballenzange im realen Setting gegriffen werden können.

**Keywords:** Automatisierung, Laserscanner, Maschinelles Sehen, 3D-Objekterkennung

## 1 Einleitung

Die Automatisierung in der Landwirtschaft zielt darauf ab, einzelne Aufgaben der landwirtschaftlichen Prozesskette von Maschinen durchführen zu lassen. Dafür benötigt man Messsysteme zum Überwachen der Umgebung und zur Erkennung und Lokalisierung von Objekten. Üblich sind Laserscanner, die den Abstand zu Objekten in einer Scanebene mittels Time-of-Flight-Verfahren ermitteln. Durch Veränderung der Scannerposition kann damit ebenfalls eine 3D-Information erhalten werden und mit Methoden und Algorithmen der Computer Vision bzw. des Maschinellen Sehens [SUW16] ausgewertet werden. Beispiele für die Anwendung solcher Messsysteme in landwirtschaftlichen Prozessen sind die Detektion von Broccoli für die Ernte [Ku16], die Lokalisierung von Bäumen für die Navigation von mobilen Robotereinheiten in Obstgärten [Un15], die Erkennung von Unkrautvegetation in Maisfeldern [An13] sowie Vorarbeiten für die Bestimmung der Pose von Rundballen [As18].

---

<sup>1</sup> Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Landtechnik, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 Wien,  
florian.kitzler@boku.ac.at, lukas.rapberger@students.boku.ac.at, andreas.gronauer@boku.ac.at,  
norbert.barta@boku.ac.at

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob eine automatisierte Erkennung von Biomasse (Rundballen aus Heu oder Stroh) mithilfe eines bewegten 2D-Laserscanners und darauf aufbauendem Objektlokalisierungs-Algorithmus möglich ist und zur Lagerverwaltung mithilfe einer fahrerlosen Ballengreifanlage dienen kann. Dafür wurden die Genauigkeit und die Zuverlässigkeit der Detektion evaluiert. Zusätzlich wurde überprüft, ob eine im Algorithmus enthaltene Bewertung der Lokalisierung dazu verwendet werden kann, eine Entnahmereihenfolge festzulegen. Aus diesen Fragestellungen wurden realistische Anliefer- und Lagerszenarien erstellt und in einem Laborprüfstand mit Rundballenmodellen getestet.

## 2 Material und Methode

### 2.1 Laborprüfstand

Die zugrunde liegenden Daten werden mithilfe eines 2D-Laserscanners des Typs LMS111 (SICK AG, Waldkirch, Deutschland) aufgezeichnet, der in einer bestimmten Höhe über der Szene bewegt wird. Die Versuche wurden in einem Laborprüfstand am Institut für Landtechnik in Wien durchgeführt. An diesem Prüfstand wird der Laserscanner entlang einer linearen Achse (Y-Achse in Abb. 1) in einer Höhe von 2,88 m über eine Länge von 2,2 m bewegt und scannt dabei Schicht für Schicht die darunterliegenden Objekte. Mithilfe eines Messrad-Encoders des Typs DFV60 (SICK AG, Waldkirch, Deutschland) wird die Position entlang der Bewegungsachse im Datentelegramm des Scanners gespeichert. Das Datentelegramm enthält neben dem Encoderwert auch bestimmte Statuscodes und Zeitstempel sowie die Distanzmesswerte und Remissionswerte zu jedem Winkelindex. Der verwendete Laserscanner liefert Distanzmesswerte in mm in einer Scanebene mit einem Öffnungswinkel von  $270^\circ$ , einer Winkelauflösung von  $0,5^\circ$  und einer Scanfrequenz von 50 Hz. Der Remissionswert eines Winkelindex gibt den Anteil des am Detektor gemessenen vom ausgesendeten Infrarotlichtimpuls an. Dieser hängt stark vom Winkel, in dem der Infrarotlichtimpuls auf die Oberfläche des Objekts trifft, und vom Material der Oberfläche ab.

Als Referenzwerte für die Objektlokalisierung (Sollpose) dient ein am Boden aufgezeichnetes Koordinatengitter, auf dem die Versuchsobjekte platziert werden. Zur Umrechnung der Distanzmesswerte des Scanners in ein kartesisches Referenzkoordinatensystem des Laborprüfstands wird die Position und Orientierung des Scanners in diesem (System) benötigt. Dies erfolgt über Feintripelreflektoren vom Typ P25F-1 (SICK AG, Waldkirch, Deutschland), die vom Scanner durch erhöhte Remissionswerte einfach zu lokalisieren sind. Anhand der bekannten und der vom Scanner vermessenen Positionen der Reflektoren wird vor den Messungen eine Kalibrierung vorgenommen und die Kalibrierdaten in Form einer Transformationsmatrix hinterlegt. Anhand der Transformationsmatrix werden die lokalen Scannerkoordinaten in Referenzkoordinaten umgerechnet und als 3D-Punktwolke abgespeichert.

## Scanebene in Laborprüfstand mit untersuchten Mehrobjektszenarien

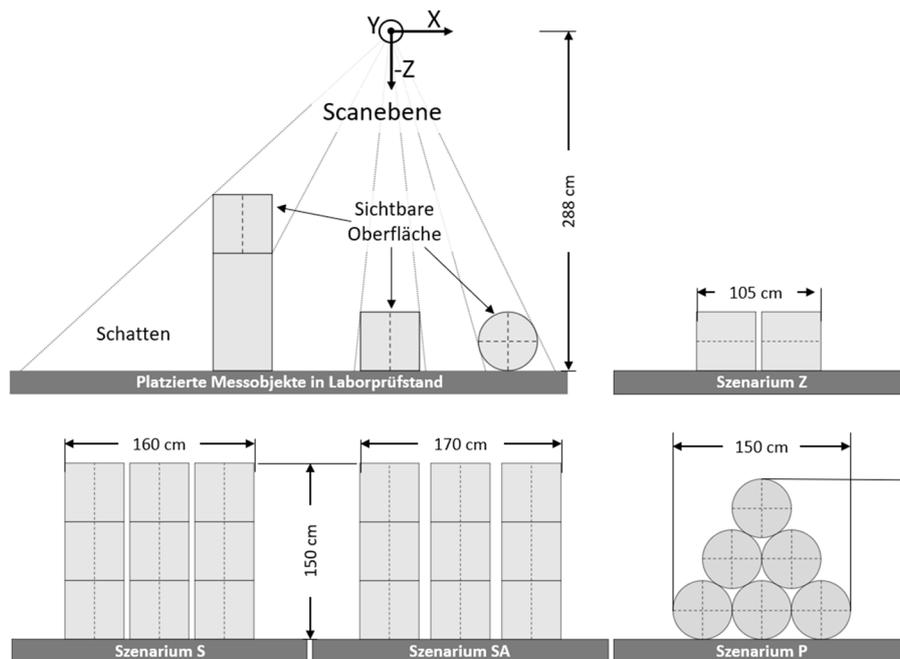


Abb. 1: Scanebene des Prüfstands mit Scanner im Koordinatenursprung, Darstellung der Szenarien  
Zweiobjektmessung **Z**, Stapel mit unterschiedlichen Abständen **S** bzw. **SA** und Pyramide **P**

## 2.2 Software

Das Programm **HalObjectMatching** zur Detektion von Rundballen in 3D-Punktwolken wurde in der Programmiersprache C++ in der plattformunabhängigen, integrierten Entwicklerumgebung Qt Creator entwickelt. Neben der C++-Standardbibliothek wurde das Qt GUI Toolkit zum Erstellen einer graphischen Benutzeroberfläche verwendet. Den Kern des Objektlokalisierungs-Algorithmus bildet der sogenannte Surface-Based 3D Matching-Algorithmus [SUW16] der Programmbibliothek **HALCON** (MVTec Software GmbH, München, Deutschland).

Die Bedienung des Programms **HalObjectMatching** verläuft in folgenden Schritten. Zuerst wird eine 3D-Punktwolke der Szene im Programm geladen. Dann werden die Parameter der Referenzkörper (Rundballen oder Quaderballen, Ausmaße) eingestellt und angegeben, wie viele Objekte sich maximal in der Szene befinden. Es kann außerdem ein Region-of-Interest angegeben werden, um die Objektlokalisierung auf einen bestimmten Bereich einzuschränken und damit zu beschleunigen. Danach kann über einen Button der Objektlokalisierungs-Algorithmus gestartet werden. Jeder gefundene

Rundballen wird anhand seiner Pose (3 Werte für Position, 3 Werte für Orientierung) und einer Bewertung der Lokalisierung (Wert zwischen 0 und 1) beschrieben. Aufgrund von Verschattungen, die bei dem gewählten Aufnahmeverfahren vorkommen, hängt der Wert der maximal beobachtbaren Oberfläche von der Pose des Rundballen ab, siehe Abbildung 1 (oben links). Zur visuellen Überprüfung kann das Ergebnis auch grafisch in Form einer 3D-Punktwolke und farblich markierten Rundballen dargestellt werden.

### 2.3 Versuchsreihe

Es wurde eine Versuchsreihe mit realistischen Szenarien für die Anlieferung und Lagerung von Rundballen durchgeführt. Als Versuchsobjekte wurden Zylindermodelle im Maßstab von 1:2,4 (50 cm Durchmesser, 50 cm Höhe) aus handelsüblichen Styroporplatten angefertigt. Die Versuchsreihe umfasst insgesamt 99 Messungen bei denen Ballenmodelle in allen möglichen Lagen (liegend und stehend) und verschiedenen Konstellationen (Einzelobjektmessung **E**, Zweiobjektmessung **Z**, Stapel **S** mit 5 cm Abstand, Stapel **SA** mit 10 cm Abstand, Pyramide **P**) gescannt wurden. Als hinreichende Genauigkeit für den nachgelagerten Greifvorgang wird als Ziel eine maximale Positionsabweichung des Schwerpunktes von 100 mm vorausgesetzt. Dieser Wert stellt sicher, dass ein handelsüblicher Greifer mit einer maximalen Öffnungsweite von etwa 1,9 m einen Rundballen mit 1,2 m Durchmesser greifen kann. Mit dem Skalierungsfaktor von 2,4 wird für das Laborsetting somit eine maximale Positionsabweichung von 42 mm gefordert. Zusätzlich wird eine Winkelabweichung der Rotationsachse des Rundballens angegeben. Die Eignung der bei der Objektlokalisierung ermittelten Bewertung für die Entnahmereihenfolge wurde durch ein Simulieren dieser Situation überprüft. Dazu wurde eine komplexe Szene mit mehreren Ballen in Stapeln gescannt und anschließend der Ballen mit der höchsten Bewertung aus der Szene entfernt und dieser Vorgang wiederholt.

## 3 Ergebnisse

Im Laborsetting wurde eine Genauigkeit von durchschnittlich 27 mm absoluter Abweichung zwischen tatsächlicher und gemessener Position und eine Winkelabweichung von durchschnittlich  $0,75^\circ$  festgestellt. Dabei liegen 88 % der Positionsdaten im Zielbereich und alle Winkelabweichungen unter  $2,6^\circ$ .

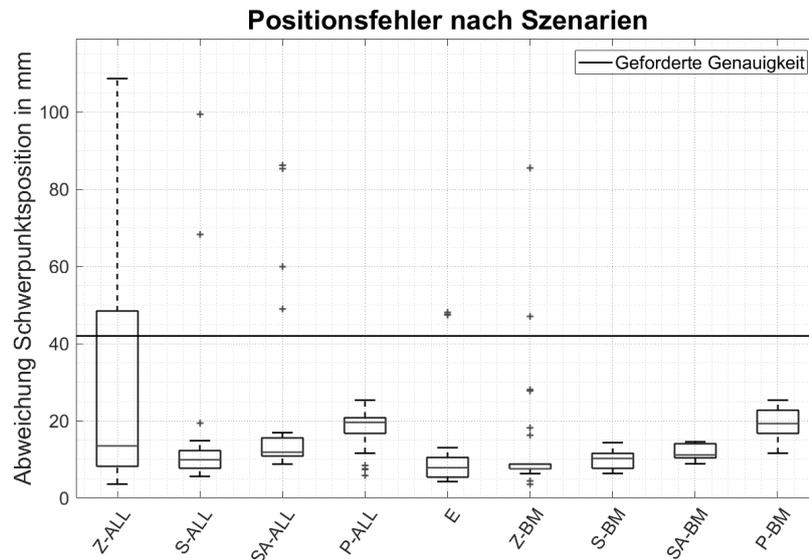


Abb. 2: Boxplots der Positionsfelder für die Szenarien Einzelobjektmessung **E**, Zweiobjektmessung **Z**, Stapel **S** mit 5 cm Abstand, Stapel **SA** mit 10 cm Abstand und Pyramide **P**, Unterscheidung zwischen alle gefundenen Objekte **-ALL** und Best Match **-BM**

Eine genauere Auswertung der Daten nach unterschiedlichen Szenarien ist in den Boxplots in Abbildung 2 dargestellt. Hier wurden die Ergebnisse für alle gefundenen Objekte einer Messung (**-ALL**) sowie für das Objekt mit bester Bewertung (**-BM**) abgebildet. Die außerhalb des Zielbereichs liegenden Daten sind zu 8 % auf Fehldetektionen (kein realer Ballen in der Nähe) und zu 79 % auf Schwierigkeiten bei der Differenzierung zwischen mehreren Ballen zurückzuführen. Letztere treten vermehrt bei den Zweiobjektmessungen **Z-ALL** und **Z-BM** und bei Objekten mit niedriger Bewertung der Stapelmessungen **S-ALL** und **SA-ALL**, also bei den Rundballen der unteren Ebenen, auf. Die Fehldetektionen weisen Abweichungen von bis zu 800 mm bei sehr niedriger Bewertung auf und treten ausschließlich bei den Stapeln auf. Sie sind in den Boxplots zur besseren Übersichtlichkeit nicht enthalten. Die restlichen 13 % werden durch Ungenauigkeiten bei der Objektlokalisierung oder Messfehler hervorgerufen. Ein Szenarium, bei dem die Lokalisierung Schwierigkeiten bei der Differenzierung zwischen zwei Ballen bekommt, kann Probleme verursachen. So kann es dazu kommen, dass zwei Ballen gleichzeitig gegriffen und somit verloren gehen oder zerstört werden.

Beim Simulieren der Entnahmereihenfolge auf Basis der Detektionsqualität zeigte sich eine grundsätzlich gute Eignung dieser Vorgangsweise und es wurden jeweils nur Ballen ausgewählt, die für einen Greifvorgang frei zugänglich sind. Bei der Entnahmereihenfolge wird jedoch nicht grundsätzlich ein höherstehender Ballen bevorzugt, was zur Instabilität der restlichen Stapelstruktur führen kann. Aus diesem Grund ist die Bewertung der Detektionsqualität als einzige Grundlage zur Ballenauswahl

nicht ausreichend und sollte um eine Höheninformation und eventuell weitere Kriterien ergänzt werden.

## 4 Diskussion und Ausblick

Unsere Ergebnisse legen eine gute Eignung des Objektlokalisierungs-Algorithmus für die automatisierte Rundballenerkennung nahe. Dabei gibt es, wie in Abbildung 2 ersichtlich, deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Lagerszenarien. Bei den Zweiobjektmessungen kommt es vermehrt zu Problemen bei der Differenzierung zwischen unterschiedlichen Ballen. Um dieses Problem in der Praxis zu umgehen, kann das Messsystem angepasst werden, um einen größeren Anteil der Objektoberfläche abzubilden. Die Bewertung kann zusätzlich mit einer Höheninformation zu einer besseren Auswahl des nächsten zu entnehmenden Rundballen eingesetzt werden, um Probleme mit instabilen Stapeln zu verhindern. Die Gründe für die Fehldetektionen müssen noch weiter untersucht werden, um eine stabile Erkennung im Einsatz zu erreichen. Weitere Herausforderungen für eine Praxisanwendung liegen im Umgang mit Größenabweichungen sowie verformten bzw. unvollständigen Heuballen und den unstrukturierteren Oberflächeneigenschaften von realen Heuballen.

**Danksagung:** Diese Arbeit wurde von der Firma LASCO Heutechnik GmbH finanziert und durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG im Rahmen des Basisprogramms gefördert.

### Literaturverzeichnis

- [SUW16] Steger, C.; Ulrich, M.; Wiedemann, C: Machine Vision Algorithms and Applications. John Wiley & Sons, Weinheim, S. 313-321, 2016.
- [Ku16] Kusumam, K.; Krajník, T.; Pearson, S.; Cielniak, G.; Duckett, T.: Can You Pick a Broccoli? 3D-Vision Based Detection and Localisation of Broccoli Heads in the Field. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), S. 646-651, 2016.
- [Un15] Underwood, J. P., Jagbrant, G., Nieto, J. I. and Sukkarieh, S.: Lidar-Based Tree Recognition and Platform Localization in Orchards. *J. Field Robotics*, 32: 1056-1074. doi:10.1002/rob.21607, 2015.
- [An13] Andújar, D.; Escolà A.; Rosell-Polo, A. E.; Fernández-Quintanilla, C.; Dorado, J.: Potential of terrestrial LiDAR-based system to characterise weed vegetation in maize crops. *Computer and Electronics in Agriculture*, 92: S. 11-15, 2013.
- [As18] Aschauer, C.; Szügyi, D.; Landrichinger, J; Bruckner, L.; Bauer, H.; Gronauer, A.: Bestimmung der Pose von Rundballen mit einem LIDAR und 3D-Objektlokalisierungsalgorithmus. In: Ruckelshausen, A., Meyer-Aurich, A., Borchard, K., Hofacker, C., Loy, J.-P., Schwerdtfeger, R., Sundermeier, H.-H. F. & Theuvsen, B. (Hrsg.), 38. GIL-Jahrestagung, Digitale Marktplätze und Plattformen. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. (S. 27-30), 2018.