

Erste Schritte zu einem virtuellen Zuchtgarten

Christoph Tieben¹, Benjamin Kisliuk¹, Matthias Enders², Mareike Léon², Florian Dairber³, Felix Kosmalla³, Stefan Stiene¹ und Joachim Hertzberg¹

Abstract: Als einer der wichtigsten Arbeitsschritte der Pflanzenzüchtung werden Sortenkandidaten in Parzellenversuchen regelmäßig bonitiert und charakterisiert. Hierbei werden in den unterschiedlichen Entwicklungsstadien eine Vielzahl an Parametern und Merkmalen, meist visuell, erfasst. Ein robotischer Lösungsansatz bietet das Potenzial, diesen Aufwand signifikant zu reduzieren und neue Möglichkeiten zu eröffnen. Ein Monitoring der einzelnen Parzellen durch regelmäßige, hochgenaue Erfassung von Laserscan- und Hyperspektral-Daten bildet die Grundlage, auf der ein detailliertes, dreidimensionales Abbild der Zuchtgärten erstellt wird. Dieses Abbild soll innerhalb einer Virtual Reality Umgebung (VR) aufbereitet und darin den Züchter:innen zugänglich gemacht werden. Dies soll die Bonitur in einem virtuellen Zuchtgarten ermöglichen, der neben den sichtbaren Lichtspektralen auch andere Datenquellen integriert und nutzbar macht. Das Ziel dieses Beitrags ist es, die ersten Schritte und Erfahrungen bei der Entwicklung einer autonomen robotischen Monitoring-Lösung sowie der darauf aufbauenden Erstellung des virtuellen Zuchtgartens zu präsentieren und zur Diskussion zu stellen.

Keywords: Agrarroboter, VR, Langzeitautonomie, Field-Monitoring, virtueller Zuchtgarten

1 Einleitung

Die Nachbildung von Feldversuchen der Pflanzenzüchtung als virtueller Zuchtgarten hat das Potenzial, eine Reihe an aktuellen Herausforderungen aufzulösen. Durch die Virtualisierung kann die manuelle, visuelle Charakterisierung und Bonitur von Parzellen vor Ort grundlegend optimiert und gänzlich neue Möglichkeiten zur Datenanalyse entwickelt werden: Eine vergleichende Beurteilung von Parzellen und Sortenkandidaten durch Züchter:innen kann im virtuellen Raum unabhängig vom Standort und Anbauzeitraum vorgenommen werden, was in der Realität oder auch in einer erweiterten Realität (AR) nicht möglich wäre. Durch die Integration, Visualisierung und Nutzbarmachung von multi-modalen Sensordaten werden die Züchter:innen in die Lage versetzt, Merkmale räumlich oder zeitlich getrennter Parzellen unmittelbar miteinander zu vergleichen. Da einige Merkmale, abhängig vom Entwicklungszustand, in hoher Frequenz an räumlich weit entfernten Versuchsstandorten beurteilt werden müssen, kann eine Aufzeichnung und

¹ Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Planbasierte Robotersteuerung, Berghoffstraße 11, 49090 Osnabrück, <vorname.nachname>@dfki.de

² NPZ Innovation GmbH (NPZi), Hohenlieth-Hof, 24363 Holtsee, <v.nachname>@npz.innovation.de

³ Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Kognitive Assistenzsysteme, Stuhlsatzenhausweg 3, 66123 Saarbrücken, <vorname.nachname>@dfki.de

nachgelagerte Analyse zu einer weiteren Objektivierung führen. Die Verwendung einer autonomen Plattform kann den Aufwand hierzu deutlich reduzieren.

In dieser Arbeit beschreiben wir die Schritte im Rahmen des Projekts PORTAL zur Ausrüstung eines mobilen Roboters mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Sensoren, um einen physischen Zuchtgarten multimodal und hochgenau zu erfassen. Wir stellen ein Konzept vor, um diese Erfassung perspektivisch kontinuierlich und vollautonom durchzuführen. Wir zeigen, wie aus den georeferenzierten Sensorrohdaten Metriken und Indizes ermittelt werden, sowie eine begehbare Abbildung in virtueller Realität erstellt werden kann. Zuletzt geben wir einen Überblick über aktuelle und perspektivische Entwicklungen.

2 Stand der Technik

Der Einsatz von Robotern in der Landwirtschaft, gerade auch in der Bonitur, wird schon seit Beginn des Jahrtausends diskutiert [Ru09]. Diese ist ein wichtiger Prozess unter anderem in der Pflanzenzüchtung, um in Feldversuchen Merkmalsunterschiede zwischen Sortenkandidaten statistisch präzise zu detektieren [Pi08]. Aktuelle Arbeiten zur robotischen Erfassung von Boniturdaten befassen sich vor allem mit Sensorträgersystemen und nutzen dazu teilautonome Systeme [Ro18]. Vollintegrierte langzeitautonome Systeme sind Stand der aktuellen Diskussionen [Ku18]. Darüber hinaus bieten auch stationäre robotische Ansätze zur automatischen Erhebung von Boniturdaten viel Potenzial [Bo21]. In vorherigen Arbeiten wurde bereits eine Roboterplattform namens AROX mit einer Basisstation als Robotik-System für den Einsatz in der Landwirtschaft beschrieben [Ki21].

In einem virtuellen Raum können Sensordaten genutzt werden, um den Prozess der Bonitur unabhängig von zeitlichen und räumlichen Einschränkungen durch menschliche Expert:innen zu ermöglichen. In Forschungsprojekten wurden bereits Systeme untersucht, die auf die Nutzung durch Domänen-Expert:innen [Zi16] bzw. die Nutzung durch Nicht-Expert:innen spezialisiert sind [ZDK19].

3 Robotische Datenerfassung

Die Datenbasis zur Erstellung des virtuellen Zuchtgartens generiert eine mobile Roboterplattform. Ein Beispiel hierfür ist die AROX-Plattform, die in vorherigen Arbeiten diskutiert wurde [Ki21]. Der AROX ist mit verschiedenen Sensoren (vgl. Tabelle 1) ausgerüstet, um multimodale Daten von Feldversuchen zu erheben. Ebenfalls wird eine Basisstation benötigt, welche als Unterstand sowie zur Versorgung mit Energie, Konnektivität und Geopositions-Korrektursignalen dient.

Um dynamische Verläufe von Merkmalen zu erfassen, müssen die Feldversuche mehrfach befahren werden. Dies soll das robotische System autonom und perspektivisch ohne

menschliche Aufsicht durchführen. Außerdem sollen die erforderlichen Akquisitionskampagnen über den Zeitraum der Vegetationsperiode eigenständig geplant werden. Der konzeptuelle Prozess hierzu ist in Abbildung 1 skizziert. Der Roboter nutzt die Basisstation zwischen den Einsätzen zur Versorgung und um die nächsten Einsätze zu planen bzw. Usereingaben zu empfangen. Die Einsatzplanung wird zunächst auf Basis eines Kalenders, entsprechend den relevanten zu erfassenden Merkmalen, umgesetzt.

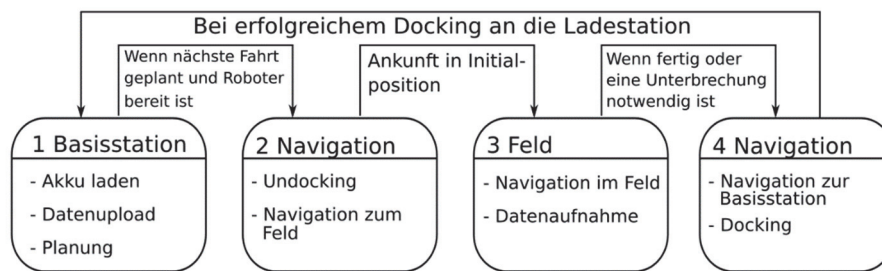


Abb. 1: Visualisierung des Prozesses der robotischen Datenerfassung

Für einen neuen Einsatz verlässt der Roboter die Basisstation und navigiert zum Einsatzgebiet. Im Feld navigiert der Roboter entlang der Wege und Stege, welche die einzelnen Parzellen voneinander trennen, und zeichnet multi-modale, georeferenzierte Sensordaten der Parzellen auf. Bei notwendigen Unterbrechungen wird die Ausführung pausiert, während der Roboter zur Basisstation zurückkehrt. Anschließend wird die Datenaufnahme fortgesetzt. Nach Abschluss einer Mission kehrt der Roboter ebenfalls autonom zur Basisstation zurück und lädt die Daten hoch. Dieser Prozess wird in einer hierzu erstellten Simulationsumgebung erprobt.

4 Datenfluss

Wie in Abbildung 2 schematisch dargestellt, wird die Datenerzeugung, Prozessierung und Ablage als mehrstufiger Prozess aufgefasst und umgesetzt. Beginnend mit der Aufzeichnung von multi-modalen und georeferenzierten Daten, insbesondere aus bildgebenden Sensoren durch die robotische Plattform, werden die ersten Rohdaten generiert und nach der Befahrung der Feldversuche autonom vom Roboter auf Computerhardware übertragen, welche sich als Teil der Containerbasisstation vor Ort befindet. Hier wird eine erste Prozessierung der Datenströme einzelsensorbasiert durchgeführt. Unterstützt und abgesichert durch eine Datenpufferung werden die resultierenden Daten an eine zentrale Speicherstruktur übertragen. Die Nutzung einer modernen, objektbasierten Speicherlösung ermöglicht hierbei die nahtlose Integration von Metadaten mit den eigentlichen Nutzdaten, sowie die Bereitstellung von standardisierten Schnittstellen für das Speichern und Abrufen von Daten. Die Fusion und Annotation von Daten unterschiedlicher Sensoren stellt für

weitere Prozessierungs- und Auswertungsmöglichkeiten eine wichtige Voraussetzung dar, sodass eine algorithmische Merkmalsbestimmung von Parzellen ermöglicht wird.

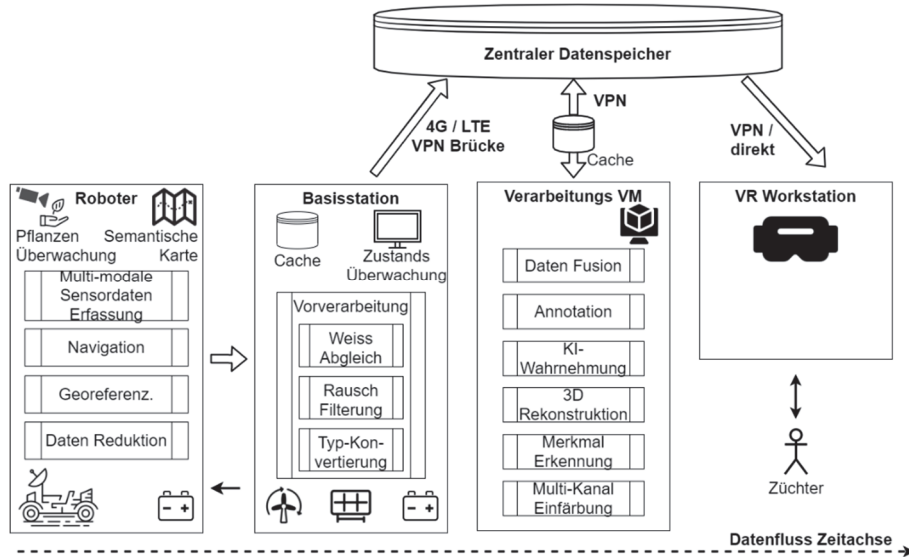


Abb. 2: Übersicht der verteilten Komponenten zur Datenverarbeitung und -Visualisierung

Für die primäre Nutzung der Daten, als Visualisierung im Rahmen einer VR-Anwendung, werden im letzten Schritt spezielle Datenformate erzeugt und über die Schnittstellen bereitgestellt, welche ein segmentweises Auslesen der Daten ermöglichen und die Latenzen bei der Darstellung minimieren.

5 Merkmale und Sensorik

Die auf diese Art und Weise erhobenen sowie prozessierten Daten sollen für die Züchter:innen relevante Merkmale innerhalb des virtuellen Zuchtgartens abbilden. Um die vorhandene Diversität und Komplexität der Merkmalerfassung abzudecken, wurde ein Merkmalskatalog, hier für die Kulturart Winterraps, speziell ausgewählt. Dieser bildet sowohl die wichtigsten Wachstumsstadien und damit Wuchshöhen und Wuchsformen des Bestandes ab, kombiniert darüber hinaus aber auch unterschiedliche Boniturmethode, wie z. B. Zählung und Vermessung von Pflanzen und Pflanzenteilen oder die Detektion von bekannten Merkmalen (Features) wie Blattflecken. Tabelle 1 gibt eine detaillierte Übersicht der relevanten Merkmale sowie zu erfassenden Metriken und der zur Erfassung genutzten Sensorsysteme.

Merkmal	Metriken	Sensoren	Zeiten
Anzahl der Pflanzen	- Anzahl an Pflanzen und Blättern - Höhe der Pflanzen	Hochauflösende (HQ) RGB Kameras; Tiefeninformation	13.09 – 16.09
Early Vigor	- Volumen der Pflanzen	RGB-D Kameras; Laserscanner	01.10 – 08.10
Entwicklung vor Winter	- Volumen, Höhe und Verfärbung der Pflanzen - Vegetationsindizes	HQ RGB(-D) Kameras; Laserscanner; Multispektralkameras	21.11 – 08.12
Blattkrankheiten	- Verfärbungen auf den Blättern	HQ RGB Kameras; Hyperspektralkamera	10.03 – 31.03
Krankheiten vor Ernte	- Anzahl und Färbung der Stengel je Parzelle	HQ RGB Kameras; Multispektralkameras	01.07 – 31.07
Ertragsparameter	- Anzahl der Schoten je Pflanze bzw. Parzelle	HQ RGB Kameras; hochgenauer Laserscanner	15.07 – 31.07
Entwicklungsstadien	- Detailliertes Gesamtbild der Pflanzen	RGB Kameras; Laserscanner	01.09 – 31.07

Tab 1: Übersicht der relevanten Merkmale sowie der zu erfassenden Metriken und geeigneten Sensoren inkl. den Zeiten, in denen die Merkmale auftreten

Eine besondere Herausforderung sind hierbei die unterschiedlichen Blickpunkte der Sensoren auf die Pflanzenbestände, über die ganze Wachstumsperiode hinweg, die durch die Trägerplattform realisiert werden müssen. Hierzu wurden im Rahmen von ersten Feldversuchen unterschiedliche Sensormodelle mit unterschiedlichen Blickwinkeln zu den jeweiligen Merkmalen erprobt. Die Erprobung umfasst verschiedene kontinuierliche und terrestrische Laserscanner sowie unterschiedliche RGB/-D und Spektral-Kameras.

6 Diskussion

Die oben geschilderten Konzepte und erste Versuche zeigen Komponenten und deren inkrementelle Implementierung im Rahmen des Projekts PORTAL. Insbesondere bei der Konfiguration und den Autonomiefunktionen der Roboterplattform sind weitere Schritte geplant. So ist noch nicht abschließend entschieden, welche Roboter-Plattform die besten Voraussetzungen für das beschriebene Einsatzprofil bietet.

Außerdem soll die Simulation iterativ erweitert werden, sodass verschiedene Entwicklungsstadien und Szenarien abgebildet werden können. Auch sollen typische Problemstellungen reproduzierbar in der Simulation nachvollzogen werden können, wie zum Beispiel blockierte Wege oder nicht erreichbare Parzellen. So können kontrollierte und reproduzierbare Experimente durchgeführt werden, die unter realen Bedingungen nicht möglich sind. Perspektivisch soll die Planung der Einsätze auf einem semantischen Umgebungsmodell basieren, in dem zusätzliche Informationen wie Wetterdaten, Bodeneigenschaften und Entwicklungsstadien der Pflanzen erfasst sind.

Durch die Nutzung von VR-Technologien ergeben sich eine Reihe neuer Möglichkeiten, wie z. B. die immersive Inspektion der Parzellen, unabhängig vom Ort und vom Anbauzeitraum des realen Feldversuchs. Hierbei kann auf natürliche Interaktionstechniken und -metaphern zurückgegriffen werden. Vorzustellen sind beispielsweise zwei Hochbeete, die die gleiche Parzelle, jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten darstellen. Eine digitale Lupe erlaubt es, verschiedene Falschfarb-Darstellungen anzusehen. Weiterhin eröffnet die Bonitur in einem virtuellen Zuchtgarten auch Potenziale für interaktives maschinelles Lernen, da die Zuchtentscheidung als Label für die Erstellung von Trainingsdatensätzen automatisiert gespeichert werden kann. Auf dieser Basis können Automatisierungen oder Empfehlungssysteme entwickelt werden. Für die Erreichung dieses Ziels wird mit den Züchter:innen die Arbeitsweise im virtuellen Zuchtgarten weiter optimiert, um die Potenziale der neuen Technologien für die Pflanzenzüchtung voll nutzbar zu machen.

Danksagung

Das DFKI Labor Niedersachsen (DFKI NI) wird gefördert im Niedersächsischen Vorab durch das Niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur und die VolkswagenStiftung. Die Arbeit wird gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft im Rahmen des Forschungsprojekts PORTAL (FKZ: 28DK111B20).

Literaturverzeichnis

- [Ba21] Bao, Y. et al.: Field Robotic Systems for High-Throughput Plant Phenotyping: A Review and a Case Study. *High Throughput Crop Phenotyping*, 13-38, 2021.
- [Ki21] Kisliuk, B. et al.: Erste Schritte zu einer kontextsensitiven Navigation in einem langzeit-autonomen Field-Monitoring-System. In: *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*, 169-174, 2021
- [Ku18] Kunze, L. et al.: Artificial Intelligence for Long-Term Robot Autonomy: A Survey. *IEEE Robotics and Automation Letters* 3(4), 4023-4030, 2018.
- [Pi08] Piepho, H. P. et al.: BLUP for phenotypic selection in plant breeding and variety testing. *Euphytica* 161(1-2), 209-228, 2008.
- [Ro18] Roldán, J. J. et al.: Robots in Agriculture: State of Art and Practical Experiences. *Service Robots*, 67-90, 2018.
- [Ru09] Ruckelshausen, A. et al.: BoniRob- An autonomous field robot platform for individual plant phenotyping. *Precision Agriculture* 9(841), 841-847, 2009.
- [ZDK19] Zenner, A.; Degraen, D.; Krüger, A.: Addressing Bystander Exclusion in Shared Spaces During Immersive Virtual Experiences. In: *Proceedings of the 1st Workshop on Challenges Using Head-Mounted Displays in Shared and Social Spaces (SHMD)*, 1-5, 2019.
- [Zi16] Zielasko, D. et al.: Evaluation of hands-free HMD-based navigation techniques for immersive data analysis. In: *2016 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 113-119, 2016.