

Schlussbericht

zum Vorhaben



Thema:

Verbundvorhaben: Pflanzenzüchtung mittels Robotik und KI zur erweiterten Datenanalyse und Entscheidungsfindung im virtuellen Raum (PORTAL)

Zuwendungsempfänger:

Teilvorhaben 1: NPZ Innovation GmbH (NPZi)

Teilvorhaben 2: Deutsches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz (DFKI)

Förderkennzeichen:

Teilvorhaben 1: 28DK111A20

Teilvorhaben 2: 28DK111B20

Laufzeit:

05.02.2021 bis 04.08.2024

Monat der Erstellung:

09/2024

Inhaltsverzeichnis

I - Kurzbericht	3
1. Aufgabenstellung und wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	3
2. Planung und Ablauf des Vorhabens	3
3. Wesentliche Ergebnisse	3
4. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen.....	4
II. Ausführliche Darstellung	1
1. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse.....	1
Modul 0: Koordination und Öffentlichkeitsarbeit	1
Arbeitspaket 1.1: Anforderungsanalyse, Wissenstransfer und User-Centered Design.....	2
Arbeitspaket 1.2 Referenzdaten.....	3
Arbeitspaket 1.3: Iterative Evaluierung der Benutzerschnittstelle für die Pflanzenzüchtung im virtuellen Raum.....	3
Arbeitspaket 2.1: Passive, teilautonome, multi-modale Erfassung.....	5
Arbeitspaket 2.2: Data Engineering	6
Arbeitspaket 2.3: Aktive, autonom-adaptive Erfassung.....	6
Arbeitspaket 3.1: Statischer, virtueller Zuchtgarten	7
Arbeitspaket 3.2: KI-Methoden für interaktives maschinelles Lernen	8
Arbeitspaket 3.3: Erweitert-Interaktiver, virtueller Zuchtgarten	11
2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	14
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten.....	14
4. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses	15
5. Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	16
6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	16
6.a Wissenschaftliche Veröffentlichungen.....	16
6.b Presse Publikationen.....	17
7. Referenzen	17

I - Kurzbericht

1. Aufgabenstellung und wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Das Projekt „PORTAL - Pflanzenzüchtung mittels Robotik und KI zur erweiterten Datenanalyse und Entscheidungsfindung im virtuellen Raum“ wird modernste Technologien aus den Bereichen Künstliche Intelligenz (KI), Robotik und virtueller Realität (VR) erweitern und zusammenführen, um einen signifikanten, disruptiven Fortschritt für die Pflanzenzüchtung als wichtigen Teil der Landwirtschaft zu erzeugen. Dies wird ermöglicht, indem erstmalig unabhängig von Zeit und Raum die züchterische Erfassung von Pflanzen und Parzellen im Feld in einem virtuellen und erweiterten Abbild, dem virtuellen Zuchtgarten, vorgenommen werden kann. Die sich so ergebenden, vollkommen neuen, visuellen Analyse- und Vergleichsmöglichkeiten stellen eine Sprunginnovation dar, sodass eine erfolgreiche wissenschaftliche Verwertung im Rahmen des Vorhabens und eine zukünftige wirtschaftliche Verwertung sehr vielversprechend erscheint.

2. Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben PORTAL wurde entsprechend des Arbeitsplans durchgeführt, welcher im Langantrag des Vorhabens beschrieben wurde. Die Arbeiten wurden in 4 Module gegliedert:

- Modul 0: Koordination und Öffentlichkeitsarbeit
- Modul 1: Virtueller Zuchtgarten für praktische Pflanzenzüchtung
- Modul 2: Robotische, multi-modale Erfassung und Data Engineering
- Modul 3: VR-Interaktionsmethoden und interaktives maschinelles Lernen im virtuellen Zuchtgarten

Aufgrund der pandemischen Situation und der globalen Lieferkettenprobleme, welche während der Projektbearbeitungszeit auftraten, ergaben sich Verzögerungen im Projektfortschritt. Durch eine Laufzeitverlängerung konnte diesem Umstand Rechnung getragen werden, sodass die Projektpartner die Ziele laut Arbeitsplan vollumfänglich erreichen konnten.

3. Wesentliche Ergebnisse

AP 1.1 Anforderungsanalyse, Wissenstransfer und User-Centered Design

In AP 1.1 konnte ein Wissenstransfer zwischen den Gruppen etabliert werden, sodass ein fundierter Austausch ermöglicht wurde. Der Prozess des User-Centered-Design wurde in mehreren Zyklen durchgeführt und die Usability sichergestellt.

AP 1.2 Referenzdaten

Durch die Befahrung und sensorische Erfassung der Feldversuche mit unterschiedlichen, meist bildgebenden Sensoren und die parallel erfolgte manuelle-visuelle Datenerfassung

durch Pflanzenzüchter als Fachpersonal, konnte ein Datensatz erstellt werden, welcher unterschiedliche Anforderungsprofile abdeckt.

AP 1.3 Iterative Evaluation der Benutzerschnittstelle für die Pflanzenzüchtung im virtuellen Raum

Durch Fachexperten aus dem Bereich Pflanzenzüchtung und Pflanzenzüchtungsforschung wurde im engen Austausch die VR-Komponenten und Demonstratoren evaluiert und bewertet, sowie konstruktive Verbesserungsvorschläge eingebracht. So konnten wesentliche Impulse für die Erstellung des finalen Demonstrators erbracht werden.

AP 2.1 Passive, teilautonome, multi-modale Erfassung

Entsprechend des Projektplans konnte eine Roboterplattform mit Sensoren ausgerüstet werden und so Feldversuche der Pflanzenzüchtung mehrfach, mit z.T. hohem Grad an Autonomie sensorisch und bildgebend erfasst werden.

AP 2.2 Data Engineering

Im AP Data Engineering konnte erreicht werden, dass die multi-modalen und z.T. hoch voluminösen Daten aus den robotischen Überfahrten zusammen mit entsprechenden Metadaten strukturiert und für alle Partner abrufbar abgespeichert werden können.

AP 2.3 Aktive, autonom-adaptive Erfassung

Die Erfassung von Feldversuchen durch den autonom agierenden Roboter konnte noch weiter verbessert werden, indem der Autonomiegrad noch weiter gesteigert wurde.

AP 3.1 Statischer, virtueller Zuchtgarten

In diesem AP wurde die Darstellung eines virtuellen Abbilds eines Zuchtgartens erreicht, welcher in der Nutzung stark an die Realität angelehnt ist und ähnliche Arbeitsweisen ermöglicht. Diese wurden sukzessive erweitert, um z.B. das Teleportieren an andere Stellen im Raum oder das Überspringen von größeren Zeiträumen zu ermöglichen.

AP 3.2 KI-Methoden für interaktives maschinelles Lernen

Durch die Integration von ersten, exemplarischen KI-Komponenten in den virtuellen Zuchtgarten wurde demonstriert, welche Potentiale zur Unterstützung der Nutzer, aber auch für die Rationalisierung und Objektivierung des Arbeitsprozesses möglich sind.

AP 3.3 Erweitert-Interaktiver, virtueller Zuchtgarten

Durch die Ergebnisse des User-Centered-Design Prozesses konnten erweiterte und z.T. durch KI-Komponenten unterstützte Kernfunktionen demonstriert werden: i) Vergleiche zwischen Parzellen – unabhängig von deren realer Lokalisation in Raum und Zeit. Sowie ii) Bewertung von Parzellen über den Entwicklungsverlauf hinweg.

4. Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Über das Vernetzungs- und Transferprojekt „X-KIT“ konnte ein Kontakt und Austausch zu verschiedenen Akteuren aufgenommen werden. Besonders zu nennen sind hierbei Fraunhofer-IGD (Rostock) und Agri-Gaia.

II. Ausführliche Darstellung

1. Durchgeführte Arbeiten und erzielte Ergebnisse

Modul 0: Koordination und Öffentlichkeitsarbeit

Das Projekt wurde nach Bewilligung intensiv koordinativ begleitet, da eine hohe Vernetzung zwischen den Partnern und Arbeitspaketen gegeben ist. Der Kooperationsvertrag zwischen Projektpartnern wurde abgestimmt und unterzeichnet. Pandemiebedingt wurde das Kick-off Meeting virtuell am 11.02.2021 abgehalten und ergänzt durch ein weiteres Meeting am 18.03.2021 am Standort Hovedissen. In dem Zuge wurden auch die Feldversuche besichtigt, die von der NPZ Innovation GmbH (NPZi) für die Verwendung in PORTAL zur Verfügung gestellt wurden. Bei diesen Meetings wurde der grundsätzliche und interdisziplinäre Austausch von Wissen und Know-How initiiert und das weitere Vorgehen zwischen den Projektpartnern abgestimmt. Auch die weiteren Projekttreffen und das Abschlussmeeting am 03.07.2024 in Hohenlieth, sowie die fristgerechte Erstellung der Zwischenberichte wurden erfolgreich koordiniert.

Weiterhin wurde die Außendarstellung und Öffentlichkeitsarbeit innerhalb dieses Moduls gewährleistet, sodass die Inhalte und Ziele des Vorhabens auf den jeweiligen Internetauftritten der Partner dargestellt wurden. Weiterhin wurde durch das Projekt ein größeres Interesse seitens lokaler Medien ausgelöst, sodass ein dedizierter und umfangreicher Artikel in der Eckernförder Zeitung publiziert werden konnte und auch ein Beitrag im „Nordmagazin“ des Norddeutschen Rundfunks, inkl. eines Live-Interviews, im Vorabendprogramm ausgestrahlt wurde, der mehrere Minuten umfasste. Auch wurde an der Erstellung eines Imagefilms mitgewirkt, für den das PORTAL Vorhaben dankenswerterweise ausgewählt wurde. Hierzu wurde, neben verschiedenen Vorabstimmungen, am 14.07.2022 am Standort Hovedissen mit unterschiedlichen Protagonisten der Filmbeitrag aufgezeichnet.

Weiterhin ist es dem PORTAL Konsortium gelungen mit einem Artikel in der Wirtschaftswoche einen Beitrag für die Öffentlichkeitsarbeit zu generieren, der Bundesweit in der Print-, aber auch in der Online-Ausgabe verfügbar ist und somit eine hohe Reichweite besitzt. Hierzu wurde ein Vor-Ort Treffen mit dem Redakteur am 28.06.2022 am Standort Hovedissen durchgeführt.

Weiterhin wurde die Möglichkeit genutzt, sich im Rahmen der „Innovationstage“ (18./19.10.2022) intensiv mit anderen Projekten und Initiativen im Bereich der BLE zu vernetzen und sich auszutauschen.

Besonders erwähnenswert ist zudem die Darstellung des Portal Projekts im Rahmen des Digital-Gipfels der Bundesregierung, welcher am 20.11.2023 und 21.11.2023 in Jena stattfand und für die das Konsortium dankenswerterweise vom Projektträger vorgeschlagen wurde. Hier

konnten anhand der Ergebnisse aus dem Projekt die Themen Pflanzenzüchtung, Robotik und Virtuelle Realität einer breiten Öffentlichkeit nahegebracht werden.

Zusätzlich haben im Juli 2024 Dreharbeiten des ZDF-Magazins „planB“ stattgefunden, welche u.a. Inhalte des PORTAL Vorhabens abdecken. Die entsprechenden Beiträge sollen im September 2024 ausgestrahlt werden.

Ein weiterer Punkt, der im Berichtszeitraum intensiv bearbeitet und verfolgt wurde, war die Teilnahme am Transfer- und Vernetzungsprojekt „X-KIT“. So wurde das PORTAL-Konsortium durch NPZi innerhalb von X-KIT bei 3 Meetings vor Ort (Kaiserslautern, Bernburg, Magdeburg) als auch bei weiteren 12 Onlinemeetings vertreten. So konnte sich mit anderen Projekten vernetzt werden, fachlich und inhaltlich in den Clustern gearbeitet werden und auch Informationen zum Thema GAIA-X gesammelt werden. Das Projekt sowie die Demonstratoren wurden im Rahmen der allgemeinen DFKI-Pressearbeit Besucher*innen aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft sowie der interessierten Öffentlichkeit präsentiert. Hierbei ist insbesondere die Sonderausstellung zu KI im Museum für Industriekultur (MIK) in Osnabrück von Mai - November 2024 hervorzuheben, auf der ein Exponat über das Portal Projekt präsentiert wurde. Und nicht zuletzt wurde das Projekt in verschiedenen Formaten auch auf wissenschaftlichen Tagungen vorgestellt (u.a. Papier auf GIL 2022, GIL 2023, ICRA-Workshop 2023, Projektpräsentation auf GIL 2024, Demonstration auf SUI 2024).

Arbeitspaket 1.1: Anforderungsanalyse, Wissenstransfer und User-Centered Design

Im Rahmen eines Meetings am 18.03.2021 durch Vertreter von DFKI-Planbasierte Robotersteuerung (PBR) und NPZi, fand eine gemeinsame Begehung eines realen Feldversuchs inklusive einer Präsentationsveranstaltung zur Veranschaulichung der Problem- und Anforderungsbeschreibung statt bei der sich ein enger Austausch zwischen Wissenschaftlern von NPZi und DFKI, sowie dem züchterisch/technischem Personal entwickelte. Im Rahmen dieses Meeting wurde von der NPZi ein verschriftliche-abgestimmte und mit Beispielbildern versehene Dokumentation im Rahmen der Anforderungsanalyse und des Wissenstransfers zur Verfügung gestellt. Außerdem wurde eine Showcase Anwendung zur visuellen Verdeutlichung präsentiert. Für die Vorbereitung des User-Centered-Design (UCD) wurde vom Projektpartner DFKI-Kognitive Assistenzsysteme (COS) videobasiert die ersten, prototypischen Arbeitsweisen in der virtuellen Realität vorgestellt. Eine detaillierte Nutzerbefragung konnte pandemiebedingt erst nach einer Verzögerung stattfinden. Dadurch konnten bereits für einzelne Konzepte erste Prototypen in VR entwickelt werden und im Rahmen der ersten detaillierte Nutzerbefragung den Züchter*innen demonstriert werden. Dieser kontinuierliche, intensive, explorative Austausch wurde genutzt, um weitere Ideen zu generieren, Priorisierungen vorzunehmen sowie Arbeitsabläufe zu verstehen und zu planen. Diese Ergebnisse wurden im Projektverlauf und anschließenden Arbeitspaketen, insbesondere AP3.3 (dynamischer virtueller Zuchtgarten), genutzt.

Arbeitspaket 1.2 Referenzdaten

Im Rahmen dieses Arbeitspakets hat der Wirtschaftspartner NPZi den Zugang zu hoch-exakt und über geographische Informationssysteme (GIS) geplanten und so georeferenzierten Winterraps-Feldversuchen am Standort Hovedissen (33818, Leopoldshöhe) gewährleistet. Darüber hinaus wurden im Rahmen des Vorhabens weitere züchterisch und agrarwirtschaftlich besonders relevante Merkmale manuell erfasst und dem Konsortium als Referenzdaten zur Verfügung gestellt. Diese Merkmale umfassen den Entwicklungszustand der Pflanzen entsprechend des BBCH-Stadiums, den sog. Feldaufgang, die Triebkraft, sowie die Erfassung von Stängelkrankheiten während der Abreife oder blattbürtigen Krankheiten im Frühjahr. Insgesamt wurden über den Zeitraum von drei aufeinanderfolgenden Vegetationsperioden Feldversuche von Winterraps für die Nutzung in PORTAL zur Verfügung gestellt und manuell-visuell Daten durch züchterisches Fachpersonal erhoben und in das Konsortium eingebracht.

Tabelle 1: Übersicht der Feldversuche in PORTAL

Saison	Anzahl Parzellen	Merkmale
21/22	117	Feldaufgang, Technische Qualität, Stand vor Winter, Stand nach Winter, Blühbeginn, Lager, Krankheiten
22/23	174	Feldaufgang, Technische Qualität, Stand vor Winter, Stand nach Winter, Blühbeginn, Lager, Krankheiten
23/24	96	Anzahl aufgelaufene Pflanzen, Technische Qualität, Stand vor Winter, Stand nach Winter, Blühbeginn, Lager, Krankheiten

Hierbei wurde bei der Planung der Flächen, Wege usw., sowie bei der Materialauswahl auf die Erfordernisse des PORTAL-Vorhabens speziell eingegangen. Dies betraf insbesondere die Nutzung eines Materialsets, welches besonders gut differenziert bzgl. der in PORTAL relevanten Merkmale, aber auch eine Feldplanung, die besonders den Erfordernissen der robotischen Erfassung Rechnung trägt.

Aufgrund einer langanhaltenden Regenperiode konnte im Spätsommer 2023 leider keine Ernte des Materials und eine nachgelagerte Qualitätsermittlung mittels NIRS stattfinden. Dies wurde zur Ernte 2024 nachgeholt, sodass zu Projekt-Ende auch Daten zu Ertragsmenge, Tausendkorngewicht, Ölgehalt, Ölqualität usw. vorliegen, die mit robotisch erhobenen Sensordaten in Beziehung gesetzt werden können.

Arbeitspaket 1.3: Iterative Evaluierung der Benutzerschnittstelle für die Pflanzenzüchtung im virtuellen Raum

Um die Benutzerschnittstelle zu evaluieren und in einem iterativen Prozess im engen Austausch zwischen den Domänenexperten von DFKI-COS im Bereich der virtuellen Realität

und den Mitarbeitern von NPZi in Bezug auf die praktische Pflanzenzüchtung zu verbessern, wurden im Rahmen des Konsortialtreffens am 14./15.06.2022 eine erste Iteration des VR-Prototyps demonstriert und evaluiert. Im Rahmen dieser ersten Usability und Interview Studie wurde umfangreiches Nutzer-Feedback gesammelt. Diese Ergebnisse wurden durch den Partner DFKI-COS genutzt, um eine umfangreiche Feature-Matrix zu generieren, welche die unterschiedlichen Wünsche, Ideen aber auch bereits vorhandene, im virtuellen Raum nutzbare Features übersichtlich zusammenzustellen. Diese Ressource wurde als Diskussionsgrundlage genutzt, um die begrenzten Ressourcen im Vorhaben im Rahmen der VR-Programmierung optimal zu nutzen. So wurden Features priorisiert, die bei verhältnismäßig geringem Programmieraufwand möglichst viel Nutzen für potenzielle Nutzer in der virtuellen Realität mit sich bringen sowie um Potenziale dieser Technologie hinsichtlich der zukünftigen Verwertung möglichst breit abzubilden. So konnte, als besonders herausragendes Beispiel, eine Bonitur im virtuellen Raum ermöglicht werden. Diese Bonitur im virtuellen Raum wurde dabei an vorher sensorisch erfassten, realen Parzellen etabliert.



Abbildung 1: Entwicklungsstufen der Benutzerschnittstelle im Benutzer-zentrierten Designprozess

Für die weitere Optimierung der integrierten Nutzerschnittstellen wurde ein intensiver Austausch mit NPZi Fachexperten aus Züchtung, Züchtungsforschung, IT und weiteren Bereichen gestartet. Dieser interdisziplinäre Ansatz war notwendig und sachdienlich, um den unterschiedlichen Aspekten und deren Zusammenwirken Rechnung zu tragen, welche einzeln betrachtet wenig aussagekräftig sind. Konkret zu nennen sind hierbei u.a.:

- Stärken und Grenzen der VR-Technologie, inkl. potenziellen zukünftigen Entwicklungen
- Züchterische Fragestellungen, inkl. Überlegungen zum Zeitablauf (Dauer von robotischer Erfassung bis zum finalen Datenpunkt)
- Chancen-Abschätzung bzgl. Sensoren und aktuellen Methoden zur Datenauswertung:
 - o Kurzfristig: messen von Pflanzenvolumen oder zählen von Schoten anstatt von schätzen durch Züchter

- Langfristig: Aufbau einer umfangreichen „Big Data“ Datenbasis, als Grundlage für KI-Modelle und/oder Verbesserung von Vorhersagemodellen, z.B. für genomische Selektion

Aus diesen und weiteren Diskussionspunkten wurde unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen des PORTAL Vorhabens eine Priorisierung anhand der sog. „MoSCoW“ Methode (Stapleton, J., DSDM Business Focused Development, 2nd ed. London, Addison Wesley, 2003) erarbeitet und frühzeitig an die Projektpartner zur Diskussion weitergegeben. In diesem Dokument wurde ein sog. MVP (minimum viable product) definiert und sukzessive weitere Anforderungen und gewünschte Features dokumentiert. Diese Ergebnisse wurden dem Konsortium und dem Projektträger zur Verfügung gestellt.

Auch wurde anhand dessen die weiteren Arbeiten konzeptioniert, geplant und durchgeführt. Somit stand am Ende des Vorhabens eine prototypische Demonstrator-Anwendung zur Verfügung, welche u.a. auf dem Digitalgipfel eingesetzt werden konnte, was für eine ausgezeichnete, erreichte technische Stabilität der Anwendung spricht. Anhand des Feedbacks von Fachexperten, aber auch eines breiten Publikums konnte gezeigt werden, dass die integrierten Benutzerschnittstellen intuitiv nutzbar sind und komplexe Sachverhalte, wie z.B. die vergleichende Darstellung von Entwicklungsverläufen innerhalb der VR-Anwendung nutzerfreundlich umgesetzt werden können.

Erste Analysen einer Nutzerbefragung mit wissenschaftlicher Vorgehensweise, welche am 29. Mai 2024 am Standort Hohenlieth durchgeführt wurde, zeigt, dass die Bonitur-Ergebnisse innerhalb der VR eine hohe Inter-Nutzer Übereinstimmung aufweisen und die Datenerhebung identisch schnell oder schneller ist als in realen Feldversuchen. Dies sind die ersten Hinweise auf die erfolgreiche Erreichung der Gesamtprojektziele von PORTAL.

Arbeitspaket 2.1: Passive, teilautonome, multi-modale Erfassung

Aufgrund der Pandemielage und durch Verzögerungen in globalen Lieferketten wurden die Feldversuche zu Beginn mit einer händisch geschobenen Sensorplattform, dann mit einer kleineren, nur für die Seitenperspektive geeigneten Roboterplattform „AROX“ mehrfach erfolgreich während der ersten Vegetationsperiode sensorisch erfasst.



Abbildung 2: Von links nach rechts Handwagen, AROX, Valdemar mit Basisstation

Die aufgenommenen Daten wurden präzise georeferenziert und für die VR-Anwendung aufbereitet. Nach Inbetriebnahme und Installation der Sensorik auf der vorgesehenen Roboterplattform „Valdemar“ konnte diese nahtlos und mit gesteigerter Effizienz für die folgenden Vegetationsperioden eingesetzt werden. Die in den Zwischenberichten dokumentierten Anpassungen an der Sensorkonfiguration und die genaue Georeferenzierung der Daten trugen entscheidend zur Qualität der späteren Analysen bei. Die Ergebnisse zeigen, dass die so entwickelten Erfassungsmethoden eine robuste Grundlage für die weiteren Entwicklungsschritte darstellte. Zusätzlich wurden von Beginn an mehrfach Datenaufnahmen mit einer Drohne durchgeführt. Die damit georeferenzierten Luftbilder konnten als Vergleichsgrundlage sowie zur Erstellung von Roboter-Navigationskarten dienen.

Arbeitspaket 2.2: Data Engineering

Das IT-Backend zur robotischen Datenerfassung wurde erfolgreich entwickelt und implementiert. Die halbautomatische Vorverarbeitung und Strukturierung der Sensordaten erwies sich als äußerst effizient, da die erfassten Daten vom Feld in hoher Qualität leicht mehrere hundert Gigabyte überschritten. Die Zwischenberichte betonen die Stabilität und Zuverlässigkeit der entwickelten Datenplattform, die eine problemlose Integration in die VR-Umgebung ermöglichte. Hier ist insbesondere die innovative maschinenlesbare Schnittstelle zu erwähnen, die es erlaubte, verschiedene Datenströme flexibel zu verwalten und für die Analyse im virtuellen Zuchtgarten bereitzustellen. Diese Techniken haben das Potential für zukünftige Einsätze weiter genutzt zu werden.

Arbeitspaket 2.3: Aktive, autonom-adaptive Erfassung

Die auf der Roboterplattform AROX entwickelten Technologien und Konzepte zur teil-autonomen Datenerhebung im Feld konnten effektiv zunächst in Simulation, dann auch auf der realen Valdemar-Plattform zum Einsatz gebracht werden, sodass sich trotz der späten Inbetriebnahme nur wenig Verzögerungen ergaben.



Abbildung 3: vlnr - Drohnenkarte eines der Versuchsfelder, Überlagerung im Geodatentool QGIS, Roboternavigationskarte

Die Autonomie des Roboters wurde durch die Integration frei verfügbarer Technologien auf dem Stand der Technik und der Entwicklung eigener Software-Module erfolgreich ermöglicht

und konsequent erfolgreich erweitert, sodass schon in der vorletzten Vegetationsperiode eine vollautomatische Erfassung der Feldversuche möglich war.

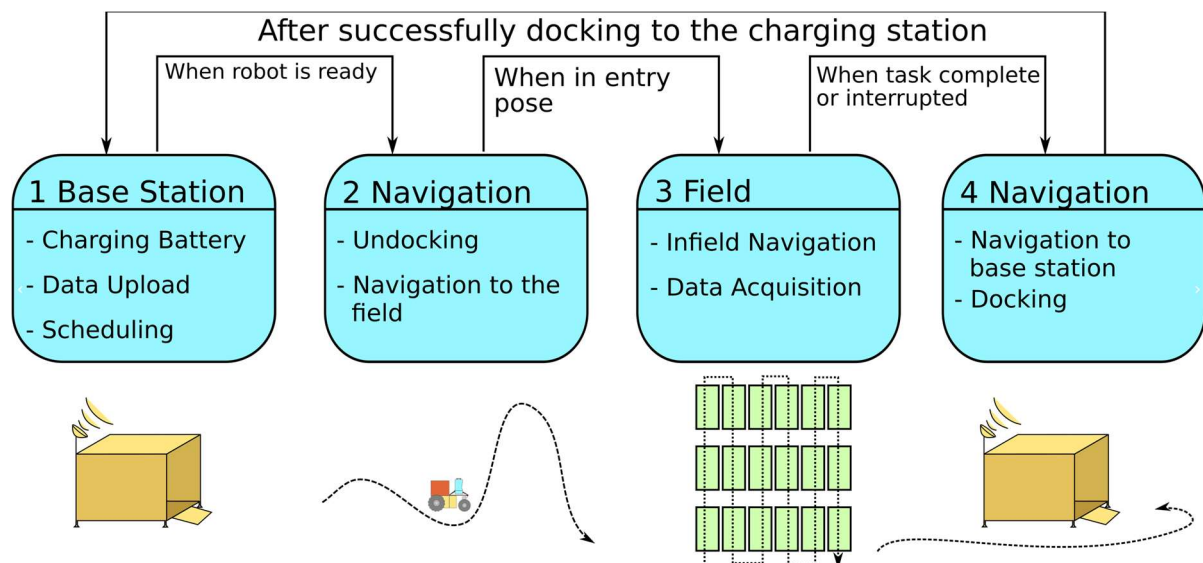


Abbildung 4: Automatisierte Datenerfassungsmission: Start in der Basisstation, Undocking und Navigation zum Feld, Datenerhebung im Feld, Rückkehr und Docking in der Basisstation

Die in den Zwischenberichten dokumentierten weiteren Fortschritte in der Missionsplanung, der autonomen Navigation auf Basis von Drohnenkarten und der Selbstversorgungsbausteine des Roboters, selbst unter komplexen Umweltbedingungen, waren sehr erfolgreich. Die erfolgreiche Umsetzung dieser autonomen Erfassung kann als einer der technologischen Höhepunkte des Projekts hervorgehoben werden, der maßgeblich zur Effizienzsteigerung in der Datenaufnahme und -Verarbeitung beitrug.

Arbeitspaket 3.1: Statischer, virtueller Zuchtgarten

Der statische virtuelle Zuchtgarten wurde erfolgreich erstellt und ermöglichte den Nutzern, Parzellen im virtuellen Raum zu begehen und zu bonitieren. Die in den Zwischenberichten dokumentierte Benutzerfreundlichkeit und die intuitive Navigation im virtuellen Raum wurden kontinuierlich optimiert. Hierbei ist insbesondere die positive Resonanz der Nutzer auf die frühzeitige Implementierung dieser Grundfunktionen hervorzuheben, die als Basis für die späteren Erweiterungen dienten. Im Zuge der Implementierung des statisch virtuellen Zuchtgartens wurde der Fokus insbesondere auf verschiedene Visualisierungen und VR-Navigationstechniken gelegt, sowie erste Interaktionstechniken exploriert (insbesondere zur Bonitur). Der statisch virtuelle Zuchtgarten wurde in zwei Hauptiterationsschritten entwickelt und (zwischen-)evaluiert.

Iteration 1:

Im ersten Schritt wurde ein Proof-of-Concept entwickelt, um das Potenzial von VR bei der visuellen Merkmalsbewertung zu demonstrieren. Er ermöglichte es den Benutzern, zwei verschiedene Zuchtversuchsstandorte zu erkunden, indem sie 3D-texturierte Netzmodelle verwendeten, die aus Bildern rekonstruiert wurden, die von einer Drohne aufgenommen wurden. Ziel war es, Pflanzenzüchter mit VR als neuem Werkzeug für ihre Bewertungen vertraut zu machen und erste Eindrücke zu sammeln. Das Feedback aus halbstrukturierten Interviews mit Züchtern (AP1.3) floss direkt in die nächste Iteration ein.

Iteration 2:

Die zweite Iteration zielte darauf ab, einige der in Iteration I identifizierten Einschränkungen zu beheben und gleichzeitig neue Funktionen zur Verbesserung der Benutzererfahrung einzuführen. In dieser Phase führten wir zwei Hauptansichtsmodi ein: einen Luftansichtsmodus, der einen Überblick über die Versuchsflächen bot, und einen Feldansichtsmodus für eine genauere Inspektion einzelner Parzellen. Dies bot den Benutzern die Möglichkeit, je nach ihren Bewertungsanforderungen zwischen einer Gesamtperspektive und einer detaillierteren Ansicht zu wechseln.

Im zweiten Schritt wurden 3D-Marker in das System integriert. Durch Anklicken dieser Marker wurden hochauflösende Bilder und relevante Parzellendaten angezeigt, die den Benutzern sofortigen Zugriff auf viele wichtige Informationen ermöglichten. Aufgrund der laufenden Entwicklung des Datenerfassungsroboters waren hochauflösende, fotorealistische Daten jedoch weiterhin begrenzt. Es wurden hierbei hauptsächlich UAV-Drohnen-Daten und seitlich aufgenommene Bilder eines kleinen Roboters mit 3D-LiDAR genutzt, was zu weniger detaillierten 3D-Meshdaten führte als ursprünglich gewünscht. Das Feedback der Züchter in dieser Phase betonte weiterhin die Notwendigkeit hochwertigerer, fotorealistischer Visualisierungen. Die Benutzer hoben allerdings das Potenzial der hinzugefügten Luftansichts- und Markerfunktionen hervor, forderten jedoch eine weitere Verfeinerung der Datenqualität, um die Genauigkeit der Parzellenbewertung zu verbessern.

Arbeitspaket 3.2: KI-Methoden für interaktives maschinelles Lernen

Die im Projekt entwickelten KI-Methoden führten zu einer erheblichen Erweiterung der Funktionalität des virtuellen Zuchtgartens. Die im GIL2024-Paper beschriebenen KI-Algorithmen zur Pflanzenerkennung und -bonitur wurden erfolgreich in den virtuellen Zuchtgarten integriert. Die Zwischenberichte betonen die hohe Präzision dieser Methoden und deren kontinuierliche Verbesserung durch interaktive Lernprozesse. Im Rahmen des Projektes wurden insbesondere die Anwendung von Segmentierungsmethoden für unterschiedliche Analysen der Pflanzen und Früchte genutzt, sowie Transferlernen für die Detektion von Anomalien (z.B. Blattkrankheiten, Schädlingsbefall, etc.).

Ein vielversprechender Ansatz war das Erkennen und Zählen von Pflanzen, die von den Top-Down-Sensoren der Roboter-Plattform erfasst wurden. Um zu vermeiden, dass dieselbe Pflanze zweimal gezählt wird, während der Roboter über die Pflanzen fährt, wurde ein Ansatz verwendet, der Erkennung mit Multi-Objekt-Tracking kombiniert. Für den Erkennungsteil wurde ein vortrainiertes YOLOX-X [GLWL21] Modell auf dem COCO [LMBB15] Datensatz verwendet, das anschließend auf den CrowdHuman [SZLX18] und MOT16 [MLRR16] Datensätzen weitertrainiert wurde. Für das Multi-Objekt-Tracking wurde ByteTrack [ZSJY22] eingesetzt. ByteTrack hat die Fähigkeit, modular mit jedem modernen Objektdetektor zu arbeiten. Um eine höhere Genauigkeit bei den Raps-Pflanzen zu erreichen, wurde der vortrainierte Detektor weiter auf den Raps-Pflanzen-Datensatz feinabgestimmt. Für die Datenbeschriftung wurde eine einzelne kontinuierliche Sequenz von RGB-Bildern ausgewählt. Jedes Bild wurde mit Bounding Boxes und Track-ID für eine einzelne Klassen-ID von Raps-Pflanzen beschriftet. Die gesamte Sequenz besteht aus 2188 Bildern, die in einen Trainings- und Testsplitt von 80 bzw. 20 Prozent aufgeteilt wurden. Die Beschriftung erfolgte mit Hilfe der CVAT-Software.



Abbildung 5: Ein Beispielbild aus der Videosequenz mit den durch YOLOX und ByteTracker erkannten Tracks. Die Track-IDs werden in der oberen linken Ecke des entsprechenden Begrenzungsrahmens angezeigt.

Des Weiteren wurde das SegmentAnything-Modell [KMRM23] für die Segmentierung von Raps-Schoten und Pflanzensegmentierung getestet und gemischte Ergebnisse erzielt. Während das Modell bei einigen Bildern gut abschnitt, waren die Ergebnisse insgesamt inkonsistent. Die Segmentierungsaufgabe erwies sich als schwierig aufgrund der komplexen Beschaffenheit von Raps-Schoten im Feld, wo Verdeckungen, variable Lichtverhältnisse und die natürliche Umgebung den Prozess erschweren. Diese Faktoren führten oft zu ungenauer

Segmentierung, was darauf hindeutet, dass spezialisiertere Ansätze oder zusätzliche, speziell auf Raps abgestimmte Trainingsdaten erforderlich sein könnten, um in diesem Kontext bessere Ergebnisse zu erzielen.



Abbildung 6: Segmentierung von Rapschoten mit dem SegmentAnything Modell.

Zur Erkennung von Blattkrankheiten wurde ein ResNet-152-Klassifikator auf dem PlantVillage-Datensatz [HS15] trainiert und an Online-Bildern von Rapsblattkrankheiten, insbesondere Mehltau und Blattfleckenkrankheit, getestet. Derzeit existiert kein frei verfügbarer, spezieller Datensatz für Rapsblattkrankheiten. Obwohl der PlantVillage-Datensatz keine Bilder von Raps enthält, konnte der Klassifikator auf Krankheiten verallgemeinern, die bei mehreren Pflanzenarten häufig vorkommen, wie z. B. Mehltau (siehe Abbildung 7). Allerdings wurden Krankheiten wie die Blattfleckenkrankheit, die spezifisch für Raps sind und im Datensatz nicht vertreten sind, falsch klassifiziert. Dies unterstreicht die Notwendigkeit eines spezialisierten Datensatzes für Rapskrankheiten, um die Klassifikationsgenauigkeit zu verbessern.



Abbildung 7: Rapspflanzenblatt mit Mehltaubefall (links, Image Credit: <http://canola.okstate.edu/cropproduction/diseases>), auf PlantVillage-Datensatz gelerntes Klassifizierungsergebnis (rechts)

Zusammenfassend lässt sich konstatieren, dass manche Lernansätze an ihre Grenzen stoßen, da nicht genügend (gelabelte) Daten zur Verfügung stehen. Die größte Herausforderung waren der Mangel an Datensätzen für spezifische Anwendungsfälle, insbesondere für Pflanzenkrankheiten in Raps. Die Erstellung von Datensätzen für solche Anwendungsfälle ist nicht trivial.

Im Zuge der ersten Iterationen des Designprozesses stellte sich heraus, dass die Entwicklung eines zuverlässigen und genauen, lernbasierten Modells für bewertungsbasierte Aufgaben herausfordernd sein könnte, da die Bewertungen bei der Bonitur subjektiv sind und die Übereinstimmung zwischen den annotierenden Züchter*innen nicht immer hoch ist. Hier setzten die entwickelten interaktiven Lernprozesse an, die durch innovative Nutzung von Benutzerinteraktionen für Training und Optimierung der KI-Modelle genutzt werden können und dadurch maßgeblich zur Effektivität und Effizienzsteigerung beitragen.

Ein Zwischenstand der in diesem Arbeitspaket gewonnenen Erkenntnisse wurde u.a. im Rahmen des X-KIT Netzwerktreffens am 21. Juni 2023 präsentiert und zur Diskussion gestellt.

Arbeitspaket 3.3: Erweitert-Interaktiver, virtueller Zuchtgarten

Der statisch virtuelle Zuchtgarten wurde erfolgreich um interaktive und KI-getriebene Elemente zum erweitert-interaktiven virtuellen Zuchtgarten fortentwickelt. Basierend auf dem statischen VR-Zuchtgarten wurde der interaktive VR-Zuchtgarten im User-Centered Design Prozess iterativ weiterentwickelt. So wurden die erarbeiteten Versionen des VR-Zuchtgartens kontinuierlich verschiedenen Stakeholdern präsentiert, Feedback erhoben und damit die Konzepte iterativ erweitert.

So wurden unterschiedliche VR-Ansichten und Interaktionskonzepte entwickelt, die zum einen eine intuitive, aber auch effektive Navigation im und Interaktion mit dem Virtuellen VR-Zuchtgarten ermöglichen. Im Rahmen dieses Prozesses wurde der virtuelle Zuchtgarten unter anderem um eine VR-Umgebung erweitert, die erlaubt unterschiedliche Parzellen, oder eine Parzelle zu unterschiedlichen Zeitpunkten, direkt zu vergleichen und eine Bewertung dieser im virtuellen Raum durchzuführen. Dies umfasst sowohl eine 3D Ansicht der einzelnen Parzellen als auch die Darstellung von weiteren Sensor-Modalitäten, wie z.B. Thermal oder Multispektral, als 2D Abbildung. Weitere Methoden, Architekturen und sog. Korpora zum maschinellen Lernen wurden erprobt und das UI-Konzept wurde dahingehend weiterentwickelt um die Züchter*innen durch interaktives Lernen in der Bonitur zu unterstützen. Es wurde eine entsprechende Demonstration des virtuellen Zuchtgartens entwickelt und initial evaluiert. Die Fortschritte bei der Visualisierung von Parzellen über Zeit und Raum hinweg führten zu einer deutlichen Verbesserung der Analysefähigkeit für die Nutzer. Hierbei ist insbesondere die Funktion hervorzuheben, Parzellen unabhängig von deren realer Lokalisation und Zeit miteinander zu vergleichen, was als besonders innovativ und nützlich für die Praxis bewertet

wurde. Der finale Prototyp des erweitert-interaktiven virtuellen Zuchtgartens umfasst folgende Hauptkomponenten:

Immersive Visualisierung: 3D- und 2D-Visualisierungen von Parzellen, die eine detaillierte, immersive Dateninteraktion ermöglichen. Die Kombination von natürlichem Gehen und Teleportation vermittelt den Benutzer*innen ein ähnliches Gefühl, wie bei einem echten Feldrundgang und der Bonitur im Feld. Das Zuchtfeld wird als 3D-Mesh in VR visualisiert. Das VR-Headset verfügt über 6 Freiheitsgrade (DoF), um sowohl die Position als auch die Rotation des Benutzers zu verfolgen. Die Interaktion mit den 3D-Daten ist durch Klicken auf die verfügbaren Marker auf jeder Parzelle möglich, die beim Anklicken eine 2D-Benutzeroberfläche (UI) anzeigen. Dieses UI-Element zeigt Metadaten zur Parzelle an.

Ansichtsmodi: Benutzer können nahtlos zwischen Überblicksmodus, Feldmodus und Parzellendetailansicht wechseln, um Parzellen aus verschiedenen Perspektiven zu analysieren (siehe nachfolgende Abbildungen).

Im *Überblicksmodus* können Züchter*innen das gesamte Feld aus der Vogelperspektive überblicken und die Parzellen von oben inspizieren und vergleichen.

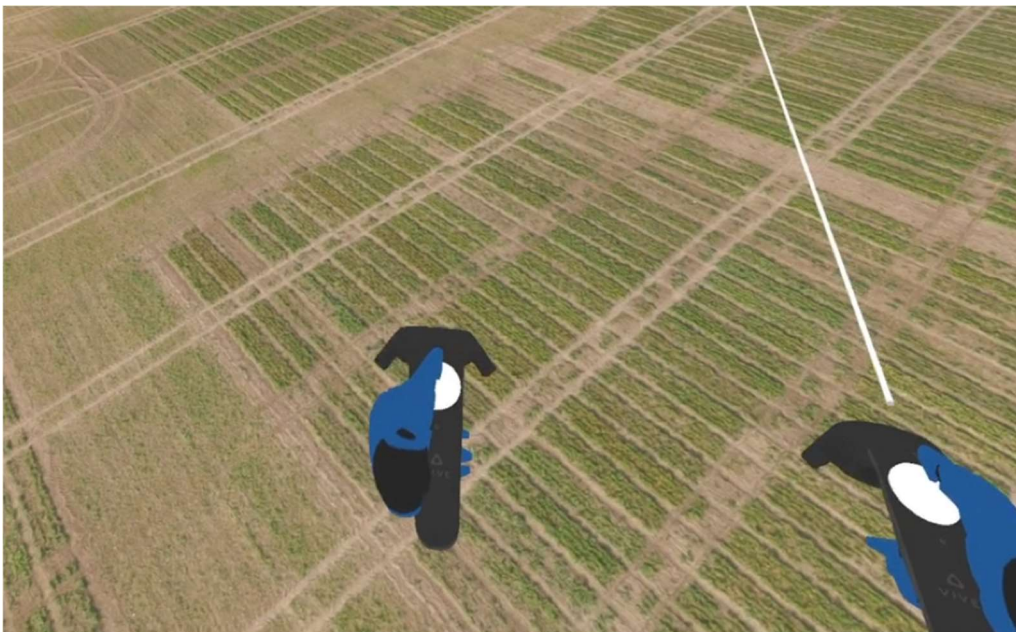


Abbildung 8: Überblicksmodus erlaubt die Exploration des Feldes aus der Vogelperspektive

Im *Feldmodus* stehen die Züchter*innen „an den Parzellen“ wie im realen Feld. Die *Fortbewegung* erfolgt durch Teleportation und natürliche Bewegung, z.B. Gehen. Interaktive *3D-Marker* bieten schnellen Zugriff auf detaillierte Parzelleninformationen, einschließlich Bilder, ML-generierte Informationen und weiteren Daten aus der Zuchtdatenbank.

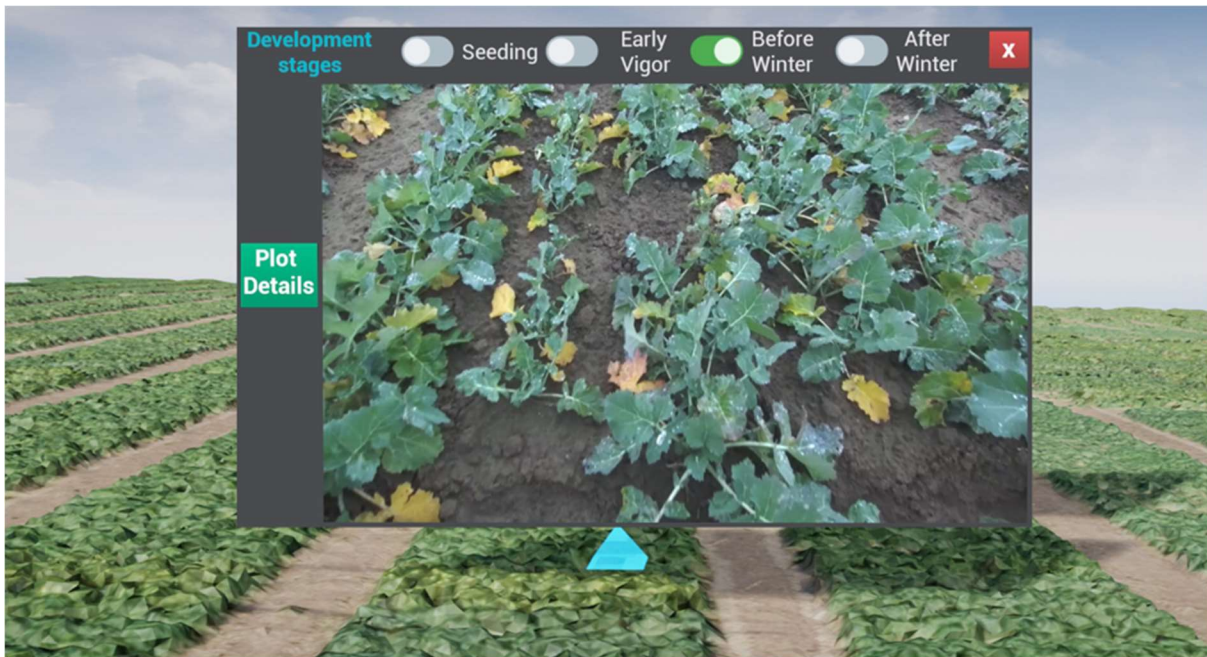


Abbildung 9: Feldmodus mit 3D-Marker und Detailansicht einer Parzelle

Die *Parzellendetailansicht* ermöglicht den nebeneinanderliegenden Vergleich von Parzellen an denselben oder verschiedenen Standorten, sodass Züchter Merkmale über verschiedene Umgebungen hinweg bewerten können. *Zeitreihervisualisierung*: Benutzer können die Entwicklung der Parzellen im Laufe der Zeit verfolgen, um das Wachstum zu überwachen und die Leistung über mehrere Stadien hinweg zu bewerten. *Bonitur*: Züchter können Parzellen auf einer Skala bewerten und so den Bewertungsprozess direkt im virtuellen Zuchtgarten rationalisieren.

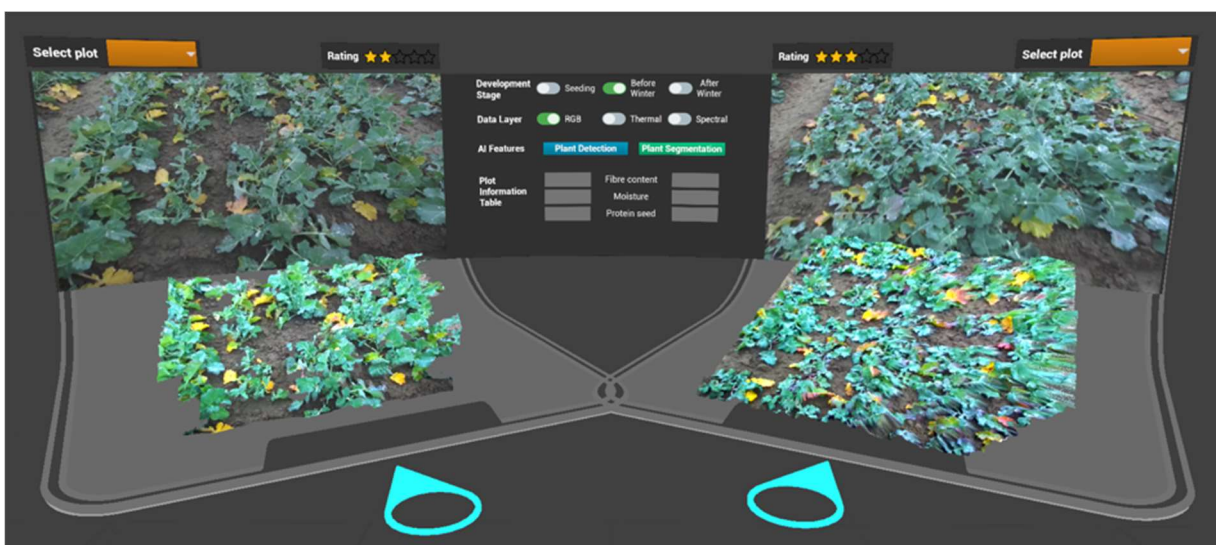


Abbildung 10: Parzellendetailansicht

Diese endgültige Version spiegelt das gesammelte Feedback aus früheren Iterationen wider und verbessert wichtige Funktionen, die die Einschränkungen traditioneller feldbasierter visueller Bewertungen betreffen. Durch den Echtzeitzugriff auf multimodale Daten in einer immersiven Umgebung eröffnet dieser VR-Prototyp neue Möglichkeiten für datengesteuerte Entscheidungen in der Pflanzenzüchtung. Die finale Version wurde u.a. im Rahmen der SUI-Konferenz einem Wissenschaftlichen demonstriert.

2. Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Teilprojekt NPZi (FKZ 28DK111A20) – Stand: 01.09.2024

Position	Gesamtvor-kalkulation (€)	Gesamtnach-kalkulation (€)	Bemerkung
0813 Material			
0823 FE-Fremdleistungen			
0837 Personalkosten	208.528,98	225.792,41	vgl. Anl. 2+3 Personalkosten 2021-2024
0838 Reisekosten	2.196,26	1.389,15	vgl. Anl. Belegliste Reisekosten
0847 Abschreibungen auf vorhabensspezifische Anlagen	61.622,52	69.867,44	vgl. Anl. Belegliste Pos. 0847
0848 Abschreibungen auf sonstige ge-nutzte Anlagen des FE-Bereichs			
0850 sonstige unmittelbare Vorhaben-kosten	11.526,11	13.735,35	vgl. Anl. Belegliste Pos. 0850
0855 Summe unmittelbare Vorhaben-kosten (Pos. 0813 – 0850)	283.873,87	310.784,35	
0856 Kosten innerbetrieblicher Leistungen			
0860 Verwaltungskosten			
0881 gesamte Selbstkosten des Vorhabens (Summe Pos. 0855 – 0860)	283.873,87	310.784,35	
Eigenanteil	141.936,94	168.847,42	
Fördermittel	141.936,94	141.936,94	
Zahlung auf Anteil des Bundes		134.845,91	bisher erhaltene Zahlungen
Verbleibender Kassenbestand		./. 7.091,02	ausstehende Zahlung

Das DFKI hat die im Projektplan vorgesehenen Ziele unter Einhaltung des Zeit- und Kostenplans erreicht. Details entnehmen Sie dem zahlenmäßigen Verwendungsnachweis.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die durchgeführten Arbeiten entsprachen den im Antragstext festgehaltenen Planungen und waren in ihrem Umfang weitgehend hinreichend, um die festgelegten Ziele zu erreichen. Eine Verlängerung der Projektlaufzeit musste beantragt werden, da sich Verzögerungen in einzelnen Arbeitspaketen aufgrund der pandemischen Situation und globaler Lieferketten Problemen ergaben. Durch die Laufzeitverlängerung konnten diese Arbeiten erfolgen und somit alle Meilensteine erreicht wurden. Die im Projekt erzeugten Ressourcen, insbesondere der Aufbau und der Transfer von Wissen, die Erzeugung von Datenstrukturen und IT-

Systemen sowie die Generierung von Sensor- und Bilddaten, welche verknüpft sind mit manuell-visuell erhobenen Züchterbonituren und Metadaten stellt nach Wissen des Konsortiums ein Alleinstellungsmerkmal dar.

Die erfolgreich abgeschlossenen Arbeiten des Konsortiums stellen die Angemessenheit deutlich dar. Hier sind z.B. zu nennen:

- die Erforschung von hoch autonom agierenden Feld-Roboter Systemen
- die Implementierung von Datenpipelines zur Verarbeitung, dem Transfer und der Auswertung der multi-modalen Sensor- und Bilddaten, inkl. Georeferenzierung und Metadaten
- Anpassung und Integration von KI-Komponenten auf die Inhalte des Vorhabens
- Konzeptionierung und Testung hoch innovativer Darstellungs- und Interaktionsmöglichkeiten in VR

Obwohl auf die Vorarbeit von anderen Gruppen und auch eigenen Vorarbeiten aufgebaut werden konnte, war es Notwendig die Arbeiten wie im Projektplan aufgeführt durchzuführen, um die Projektziele zu erreichen, da hier neue Bereiche erforscht und bisher nicht-existierende Technologien erstellt und getestet wurden.

Die erzielten Ergebnisse des Vorhabens, welche im Einklang mit dem Projektplan stehen, die wiss. Veröffentlichungen aber auch das Interesse seitens der Presse zeigen die Angemessenheit der geleisteten Arbeiten. Verstärkt wird dies durch die hohe Relevanz der Themen KI, Robotik und VR in einer Vielzahl von Branchen, aber auch im Kontext von Landwirtschaft und Pflanzenzüchtung, wo diese Technologien und insbesondere deren Kombination eine enorme, positive Wirkung entfalten.

Mit besonderem Hinblick auf den hoch-innovativen Charakter des Vorhabens, bewerten wir die geleisteten Arbeiten als sehr erfolgreich.

4. Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

In PORTAL konnten umfangreiche Ergebnisse erzielt und die im Projektantrag aufgeführten Meilensteine erreicht werden. Auf Grund des Pioniercharakters von PORTAL sind Umsetzungen in Produkte im Sinne der wirtschaftlichen Verwertung erst mittelfristig zu erwarten wie im Erfolgskontrollbericht im Einzelnen ausgeführt. Eine Schutzrechtliche Absicherung wird angestrebt, wobei Art und Umfang von den weiteren Entwicklungen abhängen werden. Hierbei sind auch die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Verwertungspfade zu beachten und je nach Forschungsgebiet zu bewerten. Für die in PORTAL erstellten Softwarekomponenten z.B. strebt das Konsortium eine Veröffentlichung über branchenübliche Plattformen in Verbindung mit wiss. Publikationen an, sodass die Community auf diesen erzielten Ergebnissen aufbauen kann.

Weiterhin wird das generierte und ausgetauschte Know-How für die Initiierung und Durchführung von internen und externen Forschungs- und Entwicklungsprojekten eine potenziell sehr wertvolle Ressource darstellen, für beide an PORTAL beteiligten Organisationen.

Die in PORTAL erreichte Integration von Komponenten und Know-How aus den Bereichen Robotik, Sensorik, Geo-Informatik, Datenmanagement, Agrarwissenschaften / Pflanzenzüchtung, KI und VR demonstriert zum ersten Mal erfolgreich die Machbarkeit und Nützlichkeit eines virtuellen Zuchtgartens für die Pflanzenzüchtung. Diese erfolgreiche Demonstration stellt das Erreichen eines neuen TLR und für sich einen besonderen Nutzen dar.

5. Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Dem Projektleiter sind auf dem Gebiet des Vorhabens keine Fortschritte bei anderen Stellen bekannt.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

6.a Wissenschaftliche Veröffentlichungen

Christoph Tieben, Benjamin Kisiuk, Matthias Enders, Mareike Léon, Florian Daiber, Felix Kosmalla, Stefan Stiene, Joachim Hertzberg, Markus Gandorfer, Christa Hoffmann, Nadja El Benni, Marianne Cockburn, Thomas Anken, Helga Floto. **Erste Schritte zu einem virtuellen Zuchtgarten mittels eines autonomen Roboters.** 42. GIL-Jahrestagung, Künstliche Intelligenz in der Agrar- und Ernährungswirtschaft (GIL-2022). Gesellschaft für Informatik e.V., 2022.

Tim Bohne; Gurunatraj Parthasarathy; Benjamin Kisiuk. **A Systematic Approach to the Development of Long-Term Autonomous Robotic Systems for Agriculture.** In: Konferenzband der 43. GIL-Jahrestagung. GIL-Jahrestagung (GIL-2023), Resiliente Agri-Food-Systeme: Herausforderungen und Lösungsansätze, February 13-14, Osnabrück, Germany, Pages 285-290, LNI, Vol. P-330, ISBN 978-3-88579-724-1, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2/2023.

Tim Bohne; Benjamin Kisiuk. **Execution Monitoring for Long-Term Autonomous Mobile Robots in Outdoor Scenarios** In: Workshop on Robot Execution Failures and Failure Management Strategies at ICRA 2023. IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA-2023), Embracing the future: Making robots for humans, located at ICRA 2023, May 29 - June 2, London, United Kingdom, 6/2023

Christoph Tieben, Benjamin Kisliuk, Muhammad Moiz Sakha, Naeem Iqbal, Florian Daiber, Matthias Enders, Antonio Krüger, Joachim Hertzberg. **PORTAL: Plant breeding using robotics and AI for advanced data analysis and decision-making in virtual space**. 44. GIL-Jahrestagung, Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft (GIL-2024). Gesellschaft für Informatik e.V. 2024

Muhammad Moiz Sakha, Florian Daiber, Matthias Enders, Christoph Tieben, Benjamin Kisliuk, Antonio Krüger. **Enhancing Plant Variety Discovery Process with Autonomous Data Acquisition and Trait Assessment in VR**. 2024. (submitted/ under review)

6.b Presse Publikationen

30.04.2021 – Eckernförder Zeitung – Artikel: „Roboter-Revolution auf dem Rapsfeld“

21.05.2021 – Norddeutscher Rundfunk (NDR) – TV-Beitrag im „Schleswig-Holstein Magazin“: „Der Raps von Übermorgen“

26.08.2022 – Wirtschaftswoche – Artikel: „Die Suche nach den Superpflanzen“

01.11.2022 – Website des BMEL / BLE – Imagefilm: „PORTAL“

25.09.2023 – Weser-Kurier – Artikel: „Kollege Roboter“

20.11.2023 – Digitalgipfel der Bundesregierung: Messestand

11.06.2024 – DLG Feldtage: Stand am Zelt der BLE

06.07.2024 – Kieler Nachrichten – Artikel: „Roboter hilft bei der Pflanzenzucht“

07.07.2024 – Eckernförder Zeitung – Artikel: „Roboter und KI – bei der NPZ kommt modernste Technologie aufs Feld“

7. Referenzen

[HS15] Hughes, David, and Marcel Salathé. "An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics." *arXiv preprint arXiv:1511.08060* (2015).

[GLWL21] GE, ZHENG ; LIU, SONGTAO ; WANG, FENG ; LI, ZEMING ; SUN, JIAN: YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021, arXiv (2021). — arXiv:2107.08430 [cs]

[LMBB15] LIN, TSUNG-YI ; MAIRE, MICHAEL ; BELONGIE, SERGE ; BOURDEV, LUBOMIR ; GIRSHICK, ROSS ; HAYS, JAMES ; PERONA, PIETRO ; RAMANAN, DEVA ; U. A.: Microsoft COCO: Common Objects in Context, arXiv (2015). — arXiv:1405.0312 [cs]

[SZLX18] SHAO, SHUAI ; ZHAO, ZIJIAN ; LI, BOXUN ; XIAO, TETE ; YU, GANG ; ZHANG, XIANGYU ; SUN, JIAN: CrowdHuman: A benchmark for detecting human in a crowd. In: arXiv preprint arXiv:1805.00123 (2018). — Citation Key: shao2018crowdhuman

[MLRR16] MILAN, ANTON ; LEAL-TAIXE, LAURA ; REID, IAN ; ROTH, STEFAN ; SCHINDLER, KONRAD: MOT16: A Benchmark for Multi-Object Tracking, arXiv (2016). — arXiv:1603.00831 [cs]

[ZSJY22] ZHANG, YIFU ; SUN, PEIZE ; JIANG, YI ; YU, DONGDONG ; WENG, FUCHENG ; YUAN, ZEHUAN ; LUO, PING ; LIU, WENYU ; U. A.: ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box, arXiv (2022). — arXiv:2110.06864 [cs]

[KMRM23] KIRILLOV, ALEXANDER, ERIC MINTUN, NIKHILA RAVI, HANZI MAO, CHLOE ROLLAND, LAURA GUSTAFSON, TETE XIAO et al. "Segment anything." In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, pp. 4015-4026. 2023.