



Bundesanstalt für
Landwirtschaft und Ernährung

Sachbericht (zu Nr. 4.5 NKBF 2017)

Zuwendungsempfänger: IDE.Automation
GmbH

Förderkennzeichen: 28DK133E20/E23

Vorhabenbezeichnung: Kleine Roboter für die Intelligente Biologische Landwirtschaft
(KRIBL)

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.21-30.09.24
mit Verlängerung bis 31.12.24

Berichtszeitraum: Abschlussbericht

1 Kurzbericht

1.1 Ursprüngliche Aufgabenstellung

Im Rahmen des KRIBL-Projekts wurde eine autonome, modulare Roboterplattform für kleinstrukturierte ökologische Betriebe entwickelt. Ziel war es, durch den Einsatz kosten-effizienter Hardware und spezieller Sensorik automatisierte Lösungen für landwirtschaftliche Anwendungen bereitzustellen – insbesondere für die Freiland-Geflügelhaltung, das Monitoring von Weideflächen sowie die Vegetationsanalyse in Reihenkulturen.

Für die initiale Datenerhebung potenziell geeigneter Sensoren wurde auf bestehende Technik zurückgegriffen, die gezielt für den geländeangepassten Einsatz modifiziert wurde. In einem weiteren Entwicklungsschritt entstand auf Basis der Anforderungen aus Reihenkulturen und typischen Spurmaßen ein vierradgetriebener Roboter in Portalbauweise mit Allradlenkung, der eine flexible Navigation und Anpassung an verschiedene landwirtschaftliche Flächen ermöglicht. Die bereitgestellte Infrastruktur ermöglichte die Erprobung neuer Konzepte jenseits konventioneller Großbetriebsmechanismen.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Basierend auf der gemeinsamen Spezifikation technischer Anforderungen innerhalb des Projektkonsortiums wurden geeignete Hardwarekomponenten konzipiert und für die prototypische Roboterplattform bereitgestellt. Die modularen Einheiten von IDE·Automation GmbH wurden in drei exemplarischen landwirtschaftlichen Szenarien eingebunden und in mehreren Feldtestphasen unter realen Einsatzbedingungen validiert.

Der stufenweise Projektverlauf – von kontrollierten Versuchsflächen bis zum praktischen Betrieb – erlaubte die kontinuierliche Optimierung von Leistungsfähigkeit, Umweltresistenz und Bedienbarkeit der eingesetzten Systeme.

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Die KRIBL-Plattform umfasste konfigurierbare Hardwarestrukturen, App-basierte Steuerungselemente und eine für den Praxiseinsatz entwickelte Simulationsumgebung. Durch die Hardwarebereitstellung von IDE·Automation GmbH konnten Monitoring Funktionen für Pflanzen und Tiere integriert sowie eine automatisierte Prädatorabwehr realisiert werden.

Im Rahmen des Projekts erfolgte eine enge Abstimmung mit landwirtschaftlichen Anwendern, Forschungseinrichtungen und weiteren Projektpartnern. Die generierten Datensätze bildeten die Grundlage für KI-Anwendungen und wissenschaftliche Publikationen. Darüber hinaus wurde die Serienreife einzelner Hardwarelösungen vorbereitet und ein technologischer Transfer in zukünftige Produktlinien initiiert.

2 Eingehende Darstellung

Moderne KI-Technologien werden zur Pflanzenerkennung und -kartierung eingesetzt, um landwirtschaftliche Abläufe zu automatisieren und Routinetätigkeiten zu reduzieren. KI-basierte Verfahren ermöglichen außerdem die Lokalisierung von Unkräutern mittels autonomer Robotik in komplexen und unbekannten Umgebungen.

Im Projekt wurde eine mechanische Plattform entwickelt, die sich an den Spurbreiten des ökologischen Kleinlandbaus orientiert und modular erweiterbar ist. Die einzeln ansteuerbaren Antriebseinheiten ermöglichen eine hohe Beweglichkeit auf engem Raum. Ein integrierbarer Greifarm erweitert die funktionalen Einsatzmöglichkeiten.

Zur Unterstützung des autonomen Betriebs wurden Echtzeit-Algorithmen zur Pfadplanung implementiert sowie innovative Methoden zur Kartierung von Gelände und Pflanzen erprobt - sowohl unter Laborbedingungen als auch in praxisnahen Umgebungen.

Die Projektergebnisse verdeutlichen den Bedarf an maßgeschneiderten technischen Lösungen im ökologischen Kleinlandbau. Die flexible Nutzbarkeit modularer Systeme erfordert spezialisierte Weiterentwicklungen, deren wirtschaftliches und technologisches Potenzial als vielversprechend anzusehen ist.

2.1 Durchgeführte Arbeiten

Das KRIBL-Projekt hatte zum Ziel, autonome, modular aufgebaute und wirtschaftlich umsetzbare Robotiklösungen für Anwendungen in der ökologischen Landwirtschaft zu entwickeln. Im Rahmen des Projekts erfolgte ein systematischer Abgleich zwischen den ursprünglich definierten Entwicklungszielen und den tatsächlich umgesetzten Arbeitspaketen. Diese Gegenüberstellung dient der transparenten Bewertung der inhaltlichen Zielerreichung sowie der sachgerechten Verwendung der bereitgestellten Fördermittel.

2.1.1 Anforderungsanalyse

Zu Beginn des Projekts wurden in interdisziplinären Workshops gemeinsam mit den wissenschaftlichen und landwirtschaftlichen Partnern die technischen Anforderungen an das zu entwickelnde robotische System definiert. Dabei flossen sowohl betriebspraktische Erkenntnisse von Biohöfen als auch wissenschaftliche Anforderungen der Universität ein.

Spezifiziert wurden unter anderem:

- Baugröße und Spurweite zur Anpassung an unterschiedliche Feldstrukturen im ökologischen Kleinlandbau
- Gesamtgewicht und Reifengröße zur Optimierung der Bodenverträglichkeit
- Positionierung und Auswahl von Sensoren, insbesondere zur Umgebungserfassung und Pflanzendetektion
- Autonomielevel und Batteriekapazität zur Sicherstellung eines unterbrechungsfreien Betriebs
- Modularität der mechanischen Komponenten zur flexiblen Anpassung an verschiedene Anwendungsszenarien

- Montage- und Wartungsfreundlichkeit für praxisgerechte Instandhaltung durch Endnutzer
- Robustheit gegenüber Staub, Feuchtigkeit und wechselnden Umgebungsbedingungen
- Schnittstellen für Erweiterungen wie z. B. mechanische Aktoren oder Sensorik

Zur fundierten Bewertung des Entwicklungskontexts wurden zusätzlich eine Marktanalyse und eine State-of-the-Art-Untersuchung bestehender Lösungen durchgeführt. Diese dienten dazu, bestehende Systeme hinsichtlich technischer Leistungsfähigkeit, wirtschaftlicher Umsetzung und ihrer Eignung für den ökologischen Landbau zu evaluieren. Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für eine realistische Einschätzung der Vermarktungschancen und der Positionierung der eigenen Lösung im Wettbewerbsumfeld.

2.1.2 Modifikation eines ersten Trägersystems für Sensortests

Für einen schnellen Projektstart wurde zunächst auf vorhandene Robotiksysteme zurückgegriffen. Die Universität zu Lübeck stellte hierfür eine bestehende Plattform zur Verfügung, basierend auf einem Indoor-Modell des Clearpath Jackal. Dieses diente als mobil einsetzbare Testeinheit für die Evaluierung verschiedener Sensorikkomponenten.

Zur Erprobung in realitätsnahen Umgebungen wurde die Roboterbasis mechanisch und elektronisch angepasst. Die Modifikationen umfassten insbesondere den Schutz vor Staub- und Spritzwasserbelastungen sowie Verbesserungen hinsichtlich der Geländegängigkeit. Darüber hinaus wurde der Trägeraufbau der Plattform so modifiziert, dass verschiedene Sensorikmodule ohne großen Aufwand montiert und demontiert werden konnten. Auch die elektrischen Schnittstellen wurden entsprechend vorbereitet, sodass eine flexible Verbindung, Aktivierung oder Deaktivierung der einzelnen Sensoren problemlos möglich war. Dadurch konnte die Plattform als robustes und

anpassbares Trägersystem für die initialen Sensortests genutzt werden. Das Ergebnis der Modifikationen ist in Abbildung 1 zu sehen.

Die durchgeführten Versuche unterstützten die Auswahl geeigneter Sensoren für die spätere Integration in das endgültige Demonstratorsystem.



Abbildung 1: Modifizierte Roboterplattform JACKAL

2.1.3 Entwicklung des Plattformkonzepts

Im weiteren Projektverlauf wurde das technische Konzept der Robotikplattform in enger Abstimmung mit dem wissenschaftlichen Projektpartner sowie in mehreren internen Konstruktionsrunden erarbeitet. Die Analyse der funktionalen und baulichen Anforderungen ergab, dass eine Portalbauweise die optimale Grundlage für die Integration aktiver Komponenten sowie für eine ausreichende Bodenfreiheit darstellt.

Für die Umsetzung eines bodenschonenden und wendigen Fahrverhaltens wurde ein Konzept mit Allradantrieb und Allradlenkung gewählt. Dieses ermöglicht eine präzise Manövrierfähigkeit, insbesondere unter den Bedingungen des ökologischen Kleinlandbaus.

Um eine hohe Effizienz in Konstruktion, Montage und elektrotechnischer Planung sicherzustellen, wurden die Prototypen in branchentypischen Strangpressprofilen realisiert. Diese Bauweise bietet eine Reihe von Vorteilen:

- Gute Verfügbarkeit des Materials bei gleichzeitig günstiger Kostenstruktur
- Günstiges Verhältnis zwischen Gewicht und mechanischer Steifigkeit
- Hohe Flexibilität bei nachträglichen Anpassungen

- Bewährte Handhabung und Verarbeitung innerhalb des Unternehmens

Durch diese technische und organisatorische Herangehensweise konnte eine modulare, leicht anpassbare und gleichzeitig robuste Struktur geschaffen werden, die sich als Grundlage für die weitere Systemintegration eignet. Eine Darstellung des Konzeptentwurfs ist in Abbildung 2 zu sehen.

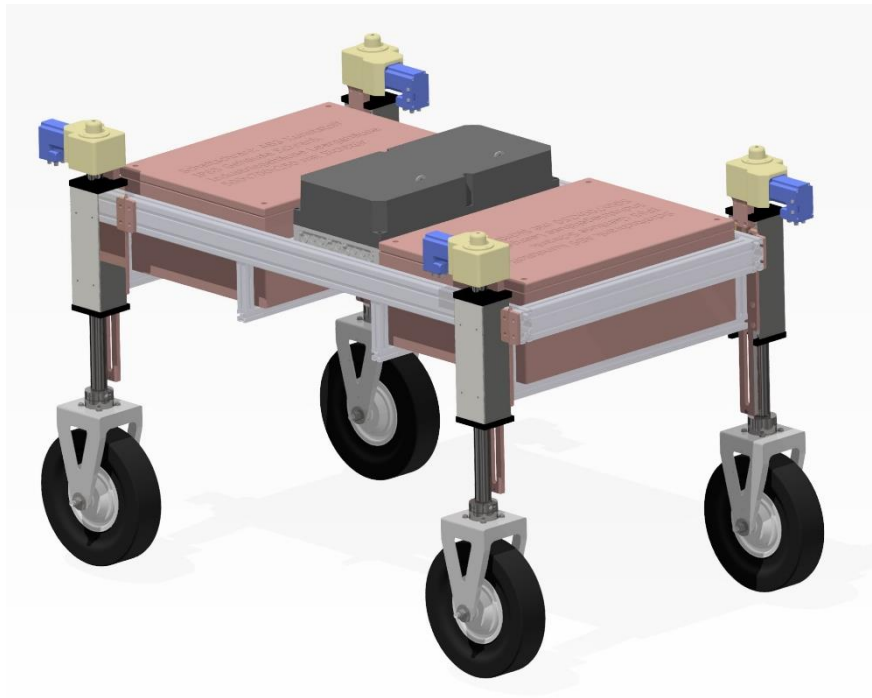


Abbildung 2: Konzeptentwurf Roboterplattform in Portalbauweise

2.1.4 Lösungsentwicklung und Systemdesign

Nach Abschluss der Konzeptphase wurden für die verschiedenen Funktionsbereiche des geplanten Systems mithilfe kreativer Entwicklungsansätze und technischer Bewertungsmethoden unterschiedliche Lösungsvarianten erarbeitet. Die Auswahl erfolgte anhand funktionaler Anforderungen, Machbarkeitskriterien und wirtschaftlicher Überlegungen.

Zur Umsetzung eines kosteneffizienten Designs wurden bewusst Zukaufteile und genormte Komponenten bevorzugt eingesetzt. Die Auskonstruktion und technische Zeichnung erfolgten unter Berücksichtigung einer schnellen und wirtschaftlichen Realisierbarkeit in der betriebseigenen Fertigung.

Besonderes Augenmerk lag auf einer robusten und wartungsarmen Bauweise, die den Anforderungen ökologischer Landwirtschaft entspricht. Das Design wurde so ausgelegt, dass es nicht nur kostengünstig, sondern auch ressourcenschonend und gut recycelbar ist. Damit leistet die mechanische Umsetzung einen Beitrag zu nachhaltiger Technologieentwicklung im Agrarsektor.

2.1.5 Spezielle Herausforderungen

Ein besonders zeitintensiver Aspekt im Entwicklungsprozess stellte die Beschaffung geeigneter Antriebsmotoren dar. Aufgrund der Anforderungen an ein kompaktes, gekapseltes und gegen Umwelteinflüsse geschütztes Design fiel die Wahl auf Radnabenmotoren, wie sie typischerweise in elektrischen Rollern und Scootern eingesetzt werden. Die Marktverfügbarkeit dieser Komponenten ist jedoch nahezu ausschließlich auf chinesische Hersteller und Vertriebspartner beschränkt. Eine direkte Zusammenarbeit mit lokalen Ansprechpartnern war nicht möglich, was die Recherche und Auswahl geeigneter Motortypen erheblich erschwerte. Zusätzlich lagen seitens der Anbieter häufig nur unvollständige oder unpräzise technische Spezifikationen vor, sodass die Bewertung der tatsächlichen Eignung der Komponenten mit hohem Aufwand verbunden war.

Im weiteren Verlauf der Montage stellte sich heraus, dass die ursprünglich konzipierte Drehmomentstütze zur Übertragung des Lenkmotordrehmoments auf das Fahrzeugchassis strukturell überarbeitet werden musste. Die erste Ausführung konnte trotz ausreichender Steifigkeit das erforderliche Drehmoment nicht zuverlässig übertragen. Eine konstruktive Anpassung war notwendig, um sowohl die mechanische Stabilität als auch die funktionale Integrität des Antriebsstrangs sicherzustellen.

2.1.6 Erster Prototyp

Der mechanische Aufbau des ersten Prototyps wurde in der firmeneigenen Fertigung mit den vorgesehenen elektrischen Komponenten komplettiert und im Rahmen von Funktionstests auf Mobilität, Schnittstellenstabilität und Spannungsversorgung geprüft. Im Anschluss erfolgte die Übergabe der fertigen Plattform an den wissenschaftlichen Projektpartner der Universität zu Lübeck.

Die Roboterplattform bildete die Grundlage für die Entwicklung eines Steuerungsalgorithmus auf Low-Level-Ebene, der im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit

direkt bei und durch IDE.Automation GmbH durchgeführt wurde. Die Softwareentwicklung erfolgte in enger Abstimmung mit der vorhandenen Hardwarestruktur.

Während des Aufbaus wurden gezielt zahlreiche Detaillösungen umgesetzt, insbesondere im Bereich des Kabelmanagements, des Schutzes gegen Umwelteinflüsse wie Feuchtigkeit und Staub sowie der konstruktiven Optimierung mechanischer Verschleißstellen. Diese Maßnahmen erhöhten die Robustheit und Wartungsfreundlichkeit des Systems und bilden eine wichtige Grundlage für die weitere Systemintegration und Produktentwicklung. In Abbildung 3 ist die Roboterplattform am Tag der Auslieferung im Labor der Universität zu Lübeck zu sehen.



Abbildung 3: Aufbau des ersten Prototyps im Auslieferungszustand

2.1.7 Validierung und Evaluation des ersten Hardware-Prototyps

Die Entwicklung und Bereitstellung der Hardwareplattform war stark an die saisonalen Abläufe des landwirtschaftlichen Betriebs gekoppelt. Um den Einsatz rechtzeitig zur Aussaat der Reihenkulturen im Frühjahr 2023 sicherzustellen, wurde in der Konzeptphase bewusst auf ein dynamisch reagierendes Fahrwerk verzichtet. Vorrangiges Ziel war die zeitnahe Fertigstellung eines fahrfähigen Prototyps, um unter realen

Einsatzbedingungen schnell Optimierungspotenziale zu identifizieren und gleichzeitig erste, verwertbare Sensordaten zu generieren. Diese Daten bildeten die Grundlage für das Training KI-basierter Prozesse und dienten der Weiterentwicklung des Steuerungsalgorithmus.

Die Tests offenbarten mehrere technische Herausforderungen: Die gewählten Lenkmotoren waren nicht ausreichend dimensioniert, um die Stollenbereifung im Gelände zuverlässig zu positionieren. Zusätzlich führten Bodenunebenheiten häufig zu Kontaktverlust einzelner Räder, was die Antriebsleistung beeinträchtigte.

Abbildung 4 zeigt den ersten Hardware-Prototyp bei einer Testfahrt im Innenhof der Universität zu Lübeck. Die Robotikplattform befindet sich auf einer Rasenfläche und wird unter einfachen aber realitätsnahen Bedingungen hinsichtlich Mobilität und Geländeverhalten erprobt. Im Hintergrund ist eine Rampe zu erkennen, deren Steigung zur praxisnahen Untersuchung der Antriebsleistung und des Kipppunkts genutzt wurde. Die daraus abgeleiteten Messwerte wurden mit den zuvor theoretisch berechneten Parametern verglichen und dienen als Grundlage für die weitere Optimierung des Fahrwerkskonzepts.

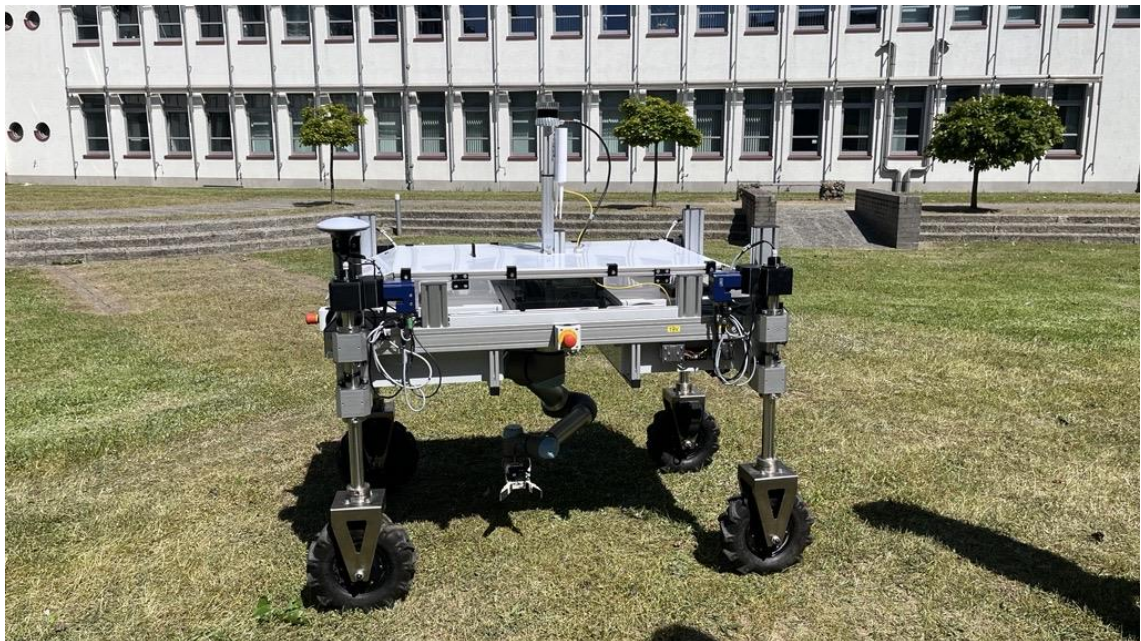


Abbildung 4: Validierungsfahrt in einfachem Terrain dem Innenhof der Universität zu Lübeck

2.1.8 Entwicklung eines zweiten verbesserten Hardware-Prototyps

Parallel zu den Feldtests wurde ein zweiter Prototyp entwickelt, mit Fokus auf ein verbessertes Fahrwerksdesign, leistungsstärkere Lenkmotoren, optimierte elektrische Absicherung und ein überarbeitetes Energiesystem mit Rekuperationsfunktion zur Effizienzsteigerung.

Die mechanische Ausgestaltung des Fahrwerks erfolgte im Rahmen einer studentischen Projektarbeit bei IDE·Automation. Ziel war ein hochflexibles und belastbares System mit stufenloser Höhenverstellbarkeit, Feder-Dämpfer-Mechanismus und zuverlässiger Lenkmomentübertragung. Die Kombination dieser Anforderungen erforderte eine präzise abgestimmte Konstruktion, die sich auch im landwirtschaftlichen Gelände bewährt. Die final umgesetzte Lösung basiert auf modularer Bauweise und stellt das Ergebnis systematischer Konzeptvergleiche und funktionaler Optimierungen dar. In Abbildung 5 ist eine CAD-Darstellung der finalen Fahrwerkslösung abgebildet. Zu sehen ist die mechanische Ausführung der stufenlos höhenverstellbaren Standsäulen mit integrierter Lenkmomentübertragung und vertikal federnder Bewegung. Die Konstruktion basiert auf einer modularen, robust ausgelegten Bauweise, die sowohl funktionale Flexibilität als auch mechanische Belastbarkeit gewährleistet. Die abgebildete Lösung stellt das Ergebnis umfangreicher Konzeptvergleiche und Optimierungsschritte dar.

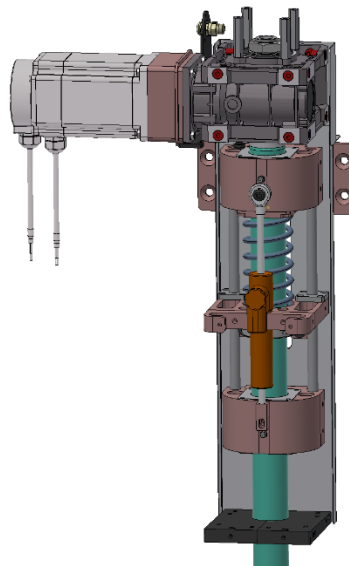


Abbildung 5: Feder-Einheit CAD

Abbildung 6 zeigt das teilweise montierte Fahrzeugchassis der Robotikplattform während der Aufbauphase. Zu sehen ist die mechanische Grundstruktur in Portalbauweise mit bereits installierten Fahrwerkskomponenten. Elektrische und sensorische Elemente sind in diesem Entwicklungsstadium noch nicht integriert oder nicht sichtbar. Zu

erkennen sind die tragenden Profilstrukturen sowie vorbereitete Montagepunkte für spätere Systemerweiterungen. Die Darstellung veranschaulicht den modularen Aufbau und den Zwischenstand der mechanischen Fertigstellung.



Abbildung 6: Chassis Aufbau Prototyp 2

2.1.9 Ergebnis

Die Entwicklung der Robotikplattform orientierte sich konsequent an den technischen Anforderungen ökologischer Kleinbetriebe und brachte einen funktionalen, modular aufgebauten Prototyp hervor. Die Konstruktion in Portalbauweise ermöglichte eine stabile, kosteneffiziente und wartungsfreundliche Mechanik. Besondere technische Lösungen wie ein durchdachtes Kabelmanagement, Schutzmaßnahmen gegen Umwelteinflüsse sowie modulare Schnittstellen erleichtern den späteren Ausbau und die Integration von Sensorik.

Ein Schwerpunkt lag auf der komplexen Fahrwerksentwicklung, die in einer studentischen Arbeit ausgearbeitet wurde. Die mechanische Umsetzung mit höhenverstellbaren, gefederten Standsäulen und integrierter Lenkkraftübertragung wurde erfolgreich getestet und dokumentiert. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in den zweiten Prototyp ein, der verbesserte Lenkmotoren, elektrische Absicherung und ein energierückgewinnendes Akkusystem erhielt.

Insgesamt bietet die entwickelte Hardwareplattform eine belastbare, anpassbare Grundlage für zukünftige Forschung und produktorientierte Weiterentwicklung im Kontext nachhaltiger Agrarrobotik.

2.1.10 Entwicklung eines mobilen Greifvogelabwehrsystems

Im Rahmen des Projekts wurde in Zusammenarbeit mit dem Thünen-Institut für Ökologischen Landbau ein technischer Lösungsansatz zur automatisierten Greifvogelabwehr in der Freilandgeflügelhaltung erarbeitet. Ziel war die Entwicklung eines mechanisch und steuerungstechnisch realisierbaren Systems, das flexibel in Geflügelausläufen positioniert werden kann und auf definierte Gefahrensituationen automatisch reagiert.

Grundkonzept und Anforderungen

Die sogenannte „Greifvogel-Abwehrhütte“ wurde als modularer Prototyp konzipiert, der sowohl stationär betrieben als auch mobil verfahren werden kann. Die Konstruktion orientierte sich an folgenden praxisnahen Anforderungen:

- Einfache Positionierung im Geflügelauslauf
- Witterungsbeständige Bauweise und Schutz vor Verschmutzung
- Integration von optischen und akustischen Abschreckungsmitteln
- Automatische Aktivierung durch KI-gestützte Greifvogelerkennung
- Energieversorgung über Akkusystem, optional erweiterbar durch Photovoltaik

Mechanische Umsetzung

Die Hütte wurde aus stabilen, witterungsresistenten Materialien gefertigt und in modularer Bauweise erstellt, um Transport und Austausch von Komponenten zu erleichtern.

Die Konstruktion beinhaltet:

- LED-Blinkmodule
- Lautsprecher mit mehrkanaliger Tonsteuerung (z. B. Greifvogel-Warnrufe, Störgeräusche)
- Schutzgehäuse mit Staub- und Spritzwasserschutz gemäß IP54
- Befestigungseinheiten für Kamera- und Sensormodule

Die optischen Signalauslösung wurden so ausgelegt, dass sie über eine zentrale Steuereinheit auf definierte Trigger reagieren können – etwa Bildauswertung oder manuelle Aktivierung.

Steuerung und Integration

Die Ansteuerung der Module erfolgt über ein kompaktes Mikrocontroller-basiertes System, das Schnittstellen zur KI-Bildauswertung der Universität Lübeck besitzt. Sobald die KI ein Greifvogelmuster erkennt, wird über ein Signalpfad die Hütte aktiviert und startet den definierten Abschreckungsablauf. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Rückmeldungen von Tierbewegungssensoren oder Zeitplänen zu berücksichtigen.

Praxistests und Bewertung

Die erste Hütte wurde erfolgreich gefertigt und unter realen Bedingungen auf Hof Rath getestet. Es konnten akustische und optische Reaktionen gezielt ausgelöst und dokumentiert werden. Die Rückmeldungen der landwirtschaftlichen Partner zeigen, dass das System potenzielle Schutzwirkung entfalten kann – gleichzeitig bestehen Optimierungsmöglichkeiten hinsichtlich Energiedauerbetrieb, Lautstärkeregelung und Automatisierungsgrad.

Ausblick

Die entwickelte Hütte stellt einen ersten praxisgerechten Prototyp dar und bildet die Grundlage für eine breitere Anwendung im Kontext tierschutzgerechter Geflügelhaltung. Der modulare Aufbau erlaubt Anpassungen für verschiedene Hofgrößen und Betriebsformen. Die Weiterentwicklung soll neben technischer Verfeinerung auch ökologische und ethische Gesichtspunkte stärker berücksichtigen.

2.2 Zahlenmäßiger Nachweis

Der Zahlenmäßige Nachweis ist dem Anhang zu entnehmen.

2.3 Notwendigkeit

Die geleistete Entwicklungsarbeit war notwendig, um moderne Automatisierungslösungen für kleinere landwirtschaftliche Betriebe zugänglich zu machen. Bisherige technische Entwicklungen richten sich primär an Großbetriebe, während ökologisch wirtschaftende Kleinbetriebe kaum erschwingliche und anpassbare Technologien nutzen können.

Durch die Entwicklung einer modularen, mechanisch robusten Hardwareplattform wurde eine wichtige Grundlage geschaffen, um diesen Bedarf zu adressieren. Die Kombination aus flexiblem Aufbau, einfacher Sensorintegration und robustem Fahrwerkskonzept

zeigt das technische Potenzial für praxistaugliche Automatisierungslösungen im kleinteiligen Agrarsektor.

Die Umsetzung relevanter Detaillösungen – etwa Höhenverstellbarkeit, Umweltschutzmaßnahmen und Energieeffizienz durch Rekuperation – bestätigt die Angemessenheit der Projektarbeit. Sie liefert die Basis für eine technologisch und wirtschaftlich skalierbare Weiterentwicklung im Sinne ökologischer und nachhaltiger Landwirtschaft.

2.4 Verwertbarkeit

Die gewählten Anwendungsszenarien – Unkrautmonitoring, Prädatorenschutz und generisches Roboterverhalten – stellten reale Problemfelder dar, die aus Sicht der Hardware eine robuste, anpassbare und wirtschaftlich realisierbare Plattform erfordern.

Besonders in den Arbeitspaketen AP2 und AP5 zeigte sich die Angemessenheit der Hardwaremaßnahmen:

- In AP2 wurden durch die Entwicklung eines modularen mechanischen Designs, robuste Portalstrukturen und praxisnahe Fahrwerkskonzepte geschaffen, die eine realistische Systemintegration im Feld ermöglichen.
- AP5 stellte sicher, dass Steuerung und mechanischer Aufbau generisch genug ausgelegt waren, um zukünftige Funktionen und Sensoren mit geringem Aufwand adaptieren zu können.

Die eingesetzten Konstruktionsprinzipien – etwa die Verwendung von Strangpressprofilen, modularem Kabelrouting, gekapselten Antriebseinheiten sowie rekuperationsfähiger Energieversorgung – spiegeln eine hohe technische Zielorientierung wider. Auch die Umsetzung von stufenlos höhenverstellbaren Standsäulen mit integrierter Lenkmomentübertragung und individueller Federbewegung pro Radstand demonstriert die Detailtiefe und Praxisrelevanz der Hardwareentwicklung.

2.5 Veröffentlichungen

Nickel Voelger, W. D. (2024). Entwicklung einer Low-Level Fahrsteuerung zur Vermeidung von Schäden am Untergrund für mobile allradgelenkte Robotersysteme (Bachelorarbeit). Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Verfügbar unter „https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/15005/1/BA_Entwicklung%20einer%20Low-Level%20Fahrsteuerung_geschw%C3%A4rzt.pdf“