
Qualitätssteigerung im Gemüsebau durch robotergestützte Schneckenbekämpfung in Beetkulturen (MORE-bot) – Teilprojekt B

Zuwendungsempfänger

**Julius Kühn-Institut (JKI) - Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen
Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz (AT)
Messeweg 11-12
38104 Braunschweig**

Akronym

MORE-bot

Geschäftszeichen

321-06.01-28-1-88.09B-19

Förderkennzeichen

2818809B19

Berichtszeitraum

01.10.2021 – 30.06.2025

Laufzeit des Vorhabens

01.10.2021 – 30.06.2025

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzbericht	3
I.1 Aufgabenstellung	3
I.2 Ablauf des Vorhabens.....	3
I.3 Wesentliche Ergebnisse	4
II. Eingehende Darstellung.....	5
II.1 Durchgeführte Arbeiten (Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse).....	5
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	16
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	16
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse	17
II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	17
II.6 Veröffentlichungen	18

I. Kurzbericht

I.1 Aufgabenstellung

Zielsetzung des Projekts war die Entwicklung einer Robotiklösung zur mechanischen Schneckenbekämpfung im Erwerbsgemüsebau. Dieses Verfahren hat das Potenzial, den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Das Projekt baut auf das Vorgängerprojekt MSR-bot (Förderkennzeichen: 2815704415) auf, in dem ein Roboter zur Bekämpfung von Nacktschnecken im Ackerbau entwickelt wurde. Im Projekt MORE-bot unterscheiden sich sowohl das Schadbild als auch die Einsatzumgebung deutlich vom genannten Vorgängerprojekt. Die mechanische Bekämpfung von Nacktschnecken im Gemüsebau (z.B. Salatkulturen) stellt eine besondere Herausforderung dar, da die Detektion und Bekämpfung der Schädlinge während der gesamten Vegetationsperiode erfolgen muss, ohne die zu schützenden Pflanzen oder das Erntegut zu beschädigen. Am JKI wurden im Wesentlichen die Arbeitspakete bearbeitet, die sich mit der Entwicklung einer Methode zur Bekämpfung der Schnecken sowie mit der Vorhersage des Schädlingsaufkommens und der Schädlingsaktivität befassen.

I.2 Ablauf des Vorhabens

Für die Entwicklung eines Werkzeugs zur Bekämpfung und Entfernung von Schnecken (AP5) wurden verschiedene Methoden ausgewählt und unter Laborbedingungen getestet. Dabei wurde ihre Eignung zur Entfernung der Schädlinge von der Pflanze überprüft. Als Testpflanze wurde Salat verwendet und die benötigten Schnecken für die Laborversuche wurden im Freiland gesammelt. Auf Grundlage der Laborergebnisse wurde das Ansaugen als vielversprechende Methode identifiziert und im weiteren Projektverlauf weiterverfolgt und weiterentwickelt. Im letzten Projektjahr konnte die Saugeinrichtung an den Roboter angebracht werden und stand für die weitere Nutzung im Projekt einsatzbereit zur Verfügung.

Für die Entwicklung eines Modells zur Vorhersage des Schneckenauftommens und der Schneckenaktivität (AP7) wurden sowohl literaturbasierte Arbeiten herangezogen als auch eigene Feldversuche durchgeführt. Mit Hilfe von Schneckenfolien wurde der saisonale Aktivitätsverlauf der Schnecken beobachtet, während der Tagesverlauf ihrer Aktivität mit einer Wildkamera dokumentiert wurde. Auch auf Basis dieser Daten konnten die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Schneckenaktivität identifiziert und für den Aufbau eines Modells berücksichtigt werden.

Koordinatengestützte Feldbonituren des Schneckenauftommens mit dem Roboter waren ursprünglich geplant, konnten jedoch aufgrund von Verzögerungen bei der Einsatzbereitschaft des Roboters nicht durchgeführt werden. Stattdessen wurde eine visuelle Kartierung der Schnecken im Feld erfolgreich mithilfe eines mobilen GPS-Systems als Ersatz umgesetzt.

I.3 Wesentliche Ergebnisse

Unter Laborbedingungen erwies sich das Bekämpfungsprinzip des Ansaugens im Vergleich zu anderen Methoden als besser geeignet. Bei einem Unterdruck von 0,10 bar konnten Schnecken unterschiedlicher Größen effektiv aus Salatpflanzen entfernt werden. Diese Methode wurde für die Weiterentwicklung im Projekt ausgewählt. Wie erwartet zeigte sich, dass der Schlauchdurchmesser einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz des Ansaugens und Entfernens der Schnecken hat. Zur Anbindung der Saugereinrichtung (Saugrohr und Saugnapf) an den Roboterarm wurde eine geeignete Halterung entworfen und als 3D-Druckteil gefertigt. Diese Halterung ermöglichte die Befestigung sowohl der Saugereinrichtung als auch der Kamera zur Schneckenerkennung und wurde mit dem Roboterarm verbunden. Weitere Labortests zeigten, dass Optimierungsbedarf besteht, insbesondere hinsichtlich der Minimierung des Risikos von Verstopfung und Verschmutzung der Saugereinheit durch Schneckenschleim. Ein Praxistest der Saugereinrichtung unter realen Bedingungen im Feld war aufgrund eines Schadens am Roboter innerhalb der Projektlaufzeit nicht mehr möglich. Zur Weiterentwicklung des Modells wurden im Jahr 2023 Versuche zur Schneckenaktivität im Freiland gestartet. Dabei wurden Daten zur zeitlichen und räumlichen Aktivität von Schnecken im Freiland gesammelt. Teilergebnisse des Arbeitspakets 7 konnten 2024 auf der Tagung der Gesellschaft für Informationstechnologie in der Landwirtschaft präsentiert werden. Die gesammelten Felddaten über zeitliche Aktivität und räumliche Verteilung der Schnecken flossen in die Weiterentwicklung des Modells ein.

II. Eingehende Darstellung

II.1 Durchgeführte Arbeiten (Verwendung der Zuwendung und Ergebnisse)

Beim JKI begann die Bearbeitung des Projekts mit der Besetzung der Wissenschaftlerstelle am 17.01.2022 und endete am 30.11.2024. Im Rahmen des Projekts wurden beim JKI die Arbeitspakete 5: „Entwicklung eines Werkzeugs zur pflanzenschonenden Schneckenbekämpfung und –entfernung“ sowie 7: „Entwicklung eines Prognosemodells zur Vorhersage der Schneckenpopulation und Schneckenaktivität“ bearbeitet. Die Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete werden im Folgenden nacheinander dargestellt.

AP5: Entwicklung eines Werkzeugs zur pflanzenschonenden Schneckenbekämpfung und –entfernung

- Meilenstein VI: Ein geeignetes Wirkprinzip zur Schneckenbekämpfung steht fest;
- Meilenstein IX: Das Werkzeug zur Schneckenbekämpfung ist einsatzbereit;
- Meilenstein XIV: Versuche zum Vergleich der Wirksamkeit von Schneckenkorn und Robotereinsatz sind durchgeführt.

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung eines pflanzenschonenden Werkzeugs zur effektiven Bekämpfung und Entfernung von Schnecken (ausschließlich Nacktschnecken) im Gemüsebau. Das Vorgängerprojekt MSR-bot lieferte zahlreiche Erkenntnisse zur Manipulation von Schnecken, von denen das aktuelle Projekt profitieren konnte.

Im Vergleich zum Ackerbau besteht die besondere Herausforderung im Gemüsebau darin, dass die Schneckenbekämpfung ohne Beschädigung der Kulturpflanze erfolgen muss. Bereits zu Beginn der Pflanzenentwicklung im Beet befinden sich Schnecken nicht nur auf dem Boden, sondern auch auf den Kulturpflanzen selbst. Darüber hinaus müssen Kulturpflanzen im Erwerbsgemüsebau nicht nur in den frühen Entwicklungsstadien geschützt werden. Auch erntereife Pflanzen sollen besonders überwacht werden, da Schäden an vermarktungsfähiger Ware vermieden werden müssen. Um das Ziel einer effektiven Bekämpfung zu erreichen, wurden verschiedene Methoden in Betracht gezogen. Neben chemischen Verfahren (z.B. Besprühen der Schädlinge mit Ammoniumnitrat-Harnstoff-Lösung, AHL), kamen auch biologische (z.B. Ausbringung von parasitären Nematoden) und physikalische Verfahren (z.B. Einsammeln mit Greifern, Absaugen, Zerschneiden, thermische oder elektrische Ansätze) infrage. In der ersten Projektphase wurden die Anforderungen an potenzielle Bekämpfungsmethoden ermittelt. Erkenntnisse aus dem Vorgängerprojekt zeigten, dass das Besprühen mit AHL zwar zur Austrocknung der Schnecken führen kann, jedoch die Mitführung zusätzlicher Betriebsmittel erfordert. Dies würde das Gewicht des Roboters erhöhen und seine Schlagkraft einschränken. Die Nutzung von Nematoden wurde aufgrund der hohen Kosten und der bislang nicht ausreichend belegten Wirksamkeit bei allen Schneckenarten als

wirtschaftlich nicht umsetzbar bewertet. Aus diesen Gründen wurde die Auswahl der Bekämpfungsmethoden auf physikalische Verfahren eingegrenzt.

Die verschiedenen Verfahren wurden anhand definierter Kriterien bewertet, darunter Leistungsanforderungen, zu erwartende Wirkung, Integrierbarkeit am Roboter, Schnittstellen sowie Kosten. Hierzu wurde eine Bewertungsmatrix erstellt, in der die Methoden anhand gewichteter Kriterien verglichen wurden. Auf dieser Grundlage wurden zwei Prinzipien für weitere Untersuchungen ausgewählt: das Absaugen zur direkten Schneckenentfernung sowie die elektrische Abtötung.

Im Rahmen von Laborversuchen wurden beide Methoden hinsichtlich ihrer Eignung und Wirksamkeit miteinander verglichen. Als Testkultur wurde Salat (*Lactuca sativa* L.) verwendet. Aufgrund vorheriger Erfahrungen mit geringem Erfolg, wurde auf den Aufbau einer Schneckenzucht verzichtet. Um eine ausreichende Anzahl an Schnecken für die Laborversuche bereitzustellen, wurden die Tiere während der gesamten Versuchsphase im Freiland gesammelt. Dabei wurden verschiedene Arten eingesammelt, insbesondere Ackerschnecken (*Deroceras* sp.) und Wegschnecken (*Arion* sp.). Nach dem Einsammeln wurden die Schnecken einzeln in Plastikbehältern unter feuchten Bedingungen mit uneingeschränktem Zugang zu Futter bis zur Versuchsdurchführung im Institut gehalten. Da die Schneckenaktivität stark von den Witterungsbedingungen abhängt, war die Verfügbarkeit von Tieren teilweise eingeschränkt.

Die Bekämpfungsmethode „Ansaugen“ wurde im Rahmen erster Tastversuche mithilfe eines herkömmlichen Nass–Trockensaugers simuliert und getestet. Ziel war es in erster Linie zu prüfen, ob eine auf einer Salatpflanze platzierte Schnecke durch den erzeugten Unterdruck angesaugt und von der Pflanze entfernt werden kann (Abbildung 1). Dabei wurden drei Variablen untersucht: der erzeugte Unterdruck, der Schlauchdurchmesser sowie das Gewicht der Schnecken. Mithilfe einer selbstgebauten Vorrichtung konnte der Volumenstrom und damit der Unterdruck des Saugers reguliert werden. Zur Messung der unterschiedlichen Unterdruckniveaus wurde eine kleine Messstation mit Drucksensoren und einem Mikrocontroller-Board zur Datenübertragung aufgebaut. Neben der Variation des Unterdrucks kamen verschiedene Schlauchdurchmesser zum Einsatz (4mm, 8mm, 10mm, und 30mm) in Verbindung mit geeigneten Saugnäpfen. Insgesamt wurden etwa 150 Schnecken für die Versuche verwendet. Diese wurden vor der Versuchsdurchführung gewogen und in Gewichtsklassen eingeteilt. Es stellte sich heraus, dass ein Unterdruck von 0,1 bar im Allgemeinen ausreicht, um Schnecken unterschiedlicher Größe erfolgreich von der Salatpflanze zu entfernen. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass der Schlauchdurchmesser einen entscheidenden Einfluss auf die Effizienz des Ansaugvorgangs hat - ein Schlüsselfaktor für die Wirksamkeit dieser Bekämpfungsmethode. Wie in Tabelle 1 dargestellt, hängt die

Erfolgsrate vom Gewicht der Schnecken ab, insbesondere bei kleineren Schlauchdurchmessern. Ab einem Schlauchdurchmesser von 8 mm konnten bei allen Gewichtsklassen Erfolgsraten von über 90% erreicht werden.



Abbildung 1: Laborversuche zur Entfernung der Schnecken von Salat durch Ansaugen.

Gewichtsklasse (mg)	Schlauchdurchmesser			
	4mm	8mm	10mm	30mm
<500	100%	100%	100%	100%
500-1000	93%	93%	100%	100%
1000-2000	60%	100%	98%	100%
>2000	66%	93%	95%	100%

Tabelle 1: Erfolgsrate der Ansaugmethode bei unterschiedlichen Schlauchdurchmessern in Abhängigkeit von der Schneckengewichtsklasse.

Laborversuche zur Schneckenbekämpfung mittels elektrischer Impulse wurden unter Verwendung eines Labornetzteils sowie eines Weidenzaungerätes durchgeführt. Ziel dieser Versuche war es, den Einfluss unterschiedlicher Spannung- und Stromstärken auf die Überlebensrate der Schnecken zu untersuchen. Insgesamt wurden etwa 150 Schnecken für die Tests eingesetzt. Die Ergebnisse zeigten, dass weder eine erhöhte Spannung noch ein erhöhter Strom einen zufriedenstellenden Bekämpfungserfolg gegen Schnecken erzielten. Darüber hinaus offenbarte diese Methode einen weiteren Nachteil: es kann zu einer Verunreinigung der Produkte durch zurückbleibenden Schneckenschleim kommen, was den Projektanforderungen hinsichtlich der Qualität und Sauberkeit der Ernteprodukte widerspricht. Aus diesen Gründen wurde dieser Ansatz im weiteren Projektverlauf nicht weiterverfolgt.

Angesichts der Ergebnisse aus den Laborversuchen wurde das Ansaugen zur Entfernung der Schnecken als Bekämpfungsmethode im Rahmen des Projekts weiterverfolgt und weiterentwickelt.

Für die Weiterentwicklung dieser Methode wurden geeignete Vakuumpquellen auf dem Markt recherchiert. Produktangebote verschiedener Anbietern wurden eingeholt und hinsichtlich technischer Spezifikationen bewertet. Dabei zeigte sich, dass die angebotenen Lösungen aufgrund ihres hohen Energieverbrauchs für den vorgesehenen Einsatzzweck nicht geeignet waren, da die Energieversorgung auf dem Roboter begrenzt ist. Letztlich fiel die Wahl auf einen kommerziellen Nass- Trockensauger, der die technischen Anforderungen erfüllte und über einen Akku für den mobilen Einsatz auf dem Roboter verfügte. Diese Lösung erwies sich als geeignet für den Aufbau eines ersten Prototyps.

Zur Befestigung der Saugereinrichtung am Roboterarm wurde eine geeignete, praxistaugliche Halterung entworfen und im 3D-Druckverfahren hergestellt. Diese ermöglichte die Montage sowohl der Saugereinrichtung als auch der Kamera zur Erkennung der Schnecken am Roboterarm.

Unter Laborbedingungen wurde die montierte Saugereinrichtung manuell gesteuert und getestet. Die Versuche bestätigten, dass der ausgewählte Sauger einen ausreichenden Unterdruck (ca. 0,1 bar) erzeugt und in Verbindung mit einem geeigneten Saugnapf in der Lage ist, Schnecken unterschiedlicher Größe und Gewicht zuverlässig von Salatpflanzen zu entfernen. Wie erwartet zeigte sich, dass eine sehr hohe Präzision bei der Positionierung der Endeinrichtung erforderlich ist, um die Zielschnecke gezielt zu erfassen. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass Optimierungsbedarf bei der Minimierung des Risikos von Verstopfungen und Verschmutzungen der Saugereinrichtung durch Schneckenschleim besteht. Zur Minimierung dieses Risikos wurde eine Alternative Saugereinheit mit größerem Durchmesser (20mm) entwickelt. Diese Variante soll weiterhin die notwendige Präzision bei der Positionierung der Endeinrichtung gewährleisten. Der Sauger und die Saugereinrichtung konnten somit am Roboter angebracht werden und standen für die weitere Nutzung im Projekt einsatzbereit zur Verfügung (Abbildung 2).



Abbildung 2: Saugeinrichtung und Kamera montiert am Roboterarm.

Im letzten Projektjahr waren Feldversuche mit Robotereinsatz unter Praxisbedingungen am Versuchsstandort der Universität Kassel in Witzenhausen vorgesehen. Dabei sollte die Wirksamkeit der entwickelten Bekämpfungsmethode mit der herkömmlichen Ausbringung von Schneckenkorn verglichen werden. Aufgrund des durch den Brand am 25.06.2024 verursachten Totalschadens am Roboter sowie an den angebauten Komponenten (GPS, Sensorik, Roboterarm, Saugeinrichtung) konnten diese Feldversuche nicht mehr durchgeführt werden. Eine Fortführung der Arbeiten bzw. der noch notwendigen Versuche war zu diesem Zeitpunkt ohne einen Wiederaufbau des Roboters nicht möglich. Die Prüfung der Zuverlässigkeit des entwickelten Roboterprototyps zur Schneckenbekämpfung unter Praxisbedingungen konnte somit wie ursprünglich geplant nicht erfolgen.

AP7: Entwicklung eines Prognosemodells zur Vorhersage der Schneckenpopulation und Schneckenaktivität

- Meilenstein X: Die Evaluierung bestehender Schneckenpopulationsmodelle ist abgeschlossen;
- Meilenstein XVI: Prognosemodell zur Vorhersage von Schneckenaktivität und Schneckenpopulation ist für den Einsatz im Projekt verwendbar.

In diesem Arbeitspaket war das Ziel die Entwicklung eines Modells zur Vorhersage des räumlichen und zeitlichen Aufkommens von Schnecken im Feld. Dieses Modell hatte das Ziel, einen gezielten und effizienteren Einsatz des Roboters im Feld zu ermöglichen.

Das im Projekt MSR-bot für den Ackerbau entwickelte Modell („Schneckenindex“) stellt eine wichtige Grundlage dar, da es eine Einschätzung der Bekämpfungswürdigkeit auf Basis meteorologischer Faktoren, räumlicher Gegebenheiten und des Erfahrungswissens der Landwirte ermöglicht. Dieses Modell sollte im Rahmen des aktuellen Projekts weiterentwickelt und optimiert werden.

Im ersten Schritt wurde relevante Literatur zu Populationsmodellen und Vorhersage der Schneckenaktivität evaluiert. Dabei zeigte sich, dass es grundsätzlich zwei Arten von Prognosemodellen für Schneckenpopulationen gibt: 1. Modelle zur langfristigen Prognose der Populationsentwicklung, 2. Modelle zur kurzfristigen Prognose des Bekämpfungszeitpunkts. Langfristige Prognosen erfordern umfassende Informationen über verschiedene Lebensparameter der Schnecken und sind daher eher geeignet, die Entwicklung einer spezifischen Schneckenart vorherzusagen. Das Modell im aktuellen Projekt sollte hingegen vorrangig ermitteln, wann und wo der Roboter im Feld zum Einsatz kommen soll. Dafür sind sowohl Daten zur zeitlichen Aktivität der Schnecken als auch Informationen zur räumlichen Verteilung der Schädlinge im Feld erforderlich.

Zur Entwicklung des Modells wurden zudem weitere Literaturquellen ausgewertet, mit dem Ziel, alle relevanten Einflussfaktoren auf die Schneckenaktivität zu identifizieren. Es lassen sich zwei Hauptkomponenten für den Aufbau des Modells unterscheiden: räumliche und zeitliche Faktoren. Zu den räumlichen Faktoren zählen Standorteigenschaften (Bodenart, Topografie, Feldränder, natürliche Antagonisten) sowie die Feldbewirtschaftung (Bodenbearbeitung, angebaute Kultur). Zu den zeitlichen Faktoren gehören neben den Wetterbedingungen (Temperatur und Feuchtigkeit) auch die Tageszeit. Diese Informationen bilden die Datengrundlage für die Berechnung des Modells („Schneckenindex“), das die Wahrscheinlichkeit des Schneckenauftretens im Feld beschreiben soll. Die einzelnen Parameter wurden hierbei anhand von Literaturangaben und Ergebnissen aus Feldversuchen ausgewertet und gewichtet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Zusammenfassung der Kategorien, Parameter und deren Gewichtungen zur Entwicklung des „Schneckenindex“.

Kategorie		Parameter		Gewichtung
Räumlich	Standort	Bodenart	Sandiger Boden	1
			Lehmiger Boden	2
			Toniger Boden	3
		Topografie	Erhöhung	1
			Ebene	2
			Senke	3
		Feldränder	Feldmitte	1
			Ackerbau	2
			Wald, Grünland, Brache	3
		Natürliche Feinde	Hohe Abundanz	1
	Geringe Abundanz		2	
	Bewirtschaftung	Bodenbearbeitung	Pflugsaat	1
			Mulchsaat	2
Direktsaat			3	
Kultur		Niedriges Risiko	1	
		Mittleres Risiko (z.B. Rübe)	2	
		Höheres Risiko (z.B. Raps, Salat)	3	
Zeitlich	Wetterfaktoren	Temperatur	0 °C-10 °C	2
			10 °C-20 °C	3
			>20 °C	1
		Luftfeuchte	< 50% rF	1
			50-75% rF	2
			> 75% rF	3
	Zeitfaktoren	Tageszeit	Dämmerung- und Nachtstunden	3
Tageslichtstunden			1	

Ein grundlegender Teil des Arbeitspaketes war daher die Erhebung von Felddaten zum Schneckenauftreten und zur Schneckenaktivität. Eine erfolgreiche und nachhaltige Schädlingsbekämpfung erfordert ein tiefgehendes Verständnis des Schädlingsverhaltens sowie der Interaktionen mit biotischen und abiotischen Faktoren im Agrarökosystem. Hierfür ist es notwendig, die Faktoren zu identifizieren und zu untersuchen, die die zeitliche und räumliche Aktivität von Schnecken auf dem Feld beeinflussen können. Im Rahmen von Feldversuchen wurden entsprechende Daten erhoben.

Mit Hilfe von Schneckenfolien wurde der saisonale Aktivitätsverlauf der Schnecken beobachtet (Abbildung 3). Zu diesem Zweck wurden auf Versuchsflächen des JKI auf einer Brachfläche Schneckenfolien ausgelegt und in regelmäßigen Zeitabständen während der Feldsaison 2023 und 2024 auf Schneckenbefall kontrolliert. Die unter und neben den Folien gefundenen Schnecken wurden taxonomisch bestimmt (Gattungen *Arion* und *Deroceras*) und gezählt. Diese Versuche zeigten unter anderem, wie stark extreme Wetterereignisse, wie z.B. das Starkregenereignis Unwetter im Juni 2023, die saisonale Aktivität der Schnecken beeinflussen können, und dass solche Ereignisse bei der Planung und Umsetzung von Bekämpfungsmaßnahmen berücksichtigt werden müssen.

Die zeitliche Aktivität der Schnecken ist für das Modell von großer Bedeutung, um den optimalen Zeitpunkt für den Robotereinsatz möglichst genau bestimmen zu können. Dazu ist es notwendig, auch zu untersuchen, zu welchen Tageszeiten und unter welchen Witterungsbedingungen Schnecken besonders aktiv sind. Die erfassten Daten zur Aktivität der Schnecken wurden abschließend mit den Wetterdaten verglichen und verknüpft.

Der Tagesverlauf der Schneckenaktivität wurde mittels Fotoüberwachung mit einer Wildkamera in Zeitrafferfunktion aufgezeichnet (Abbildung 3). Die Kamera wurde auf den Versuchsflächen des JKI installiert und im Vorfeld so eingestellt, dass alle 5 Minuten ein Bild aufgenommen wurde. Da sich Schnecken langsam bewegen, erwies sich dieses Intervall als ausreichend, um die Aktivität zuverlässig zu dokumentieren. Vom Mai bis September 2023 entstand so ein Datensatz mit über 16.000 ausgewerteten Bildern, die sich auf mehr als 60 Tage Bildaufnahmen verteilen. Die Auswertung erfolgte manuell, indem die Anzahl der auf den Bildern sichtbaren Schnecken gezählt wurde, um die Aktivität in stündlichen Zeitintervallen zu erfassen. Die ermittelten Daten wurden mit Wetterdaten verbunden, um den Einfluss der Witterungsbedingungen auf die Schneckenaktivität zu untersuchen.

Die Wetterdaten wurden von der lokalen Forschungsstation ausgelesen. Es wurden Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge in stündlicher und täglicher Auflösung für den gesamten Beobachtungszeitraum berücksichtigt.

Die Ergebnisse bestätigen, dass die zeitliche Aktivität der Schnecken überwiegend in der Dämmerung und während der Nacht stattfindet (Abbildung 4). Wie erwartet, spielen die Wetterfaktoren Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur eine entscheidende Rolle für die

Schneckenaktivität (Abbildung 5). Unter günstigen Bedingungen können Schnecken auch tagsüber aktiv werden. Die Beobachtungen mit der Wildtierkamera zeigten, dass eine Luftfeuchte über 75% und einer Lufttemperatur zwischen 10 und 20 °C solche günstigen Bedingungen darstellen.

Diese Erkenntnisse wurden in den Aufbau des Modells berücksichtigt, um die Gewichtung der verschiedenen Parameter entsprechend zu optimieren.

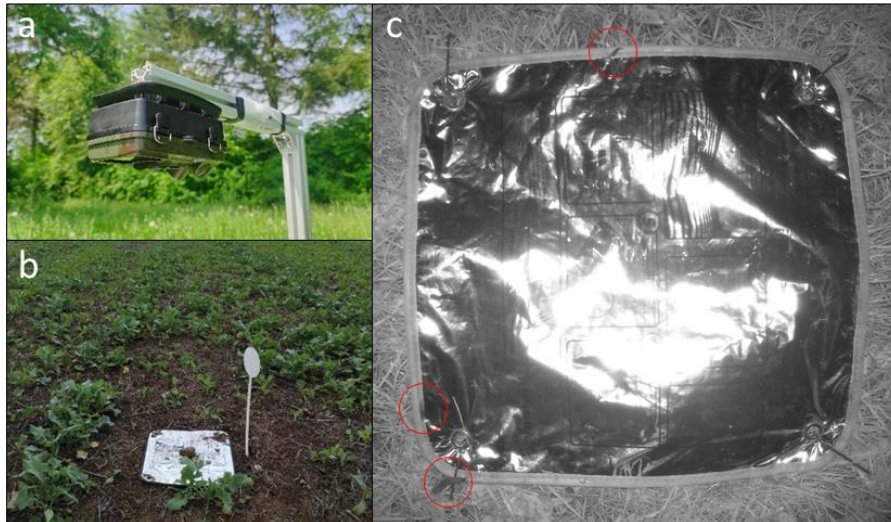


Abbildung 3: (a) Wildkamera und (b) Schneckenfolie zur Untersuchung der zeitlichen Aktivität der Schnecken im Feld; (c) Zeitraffer-Bild mit Beobachtung der Schneckenaktivität (rot markiert).

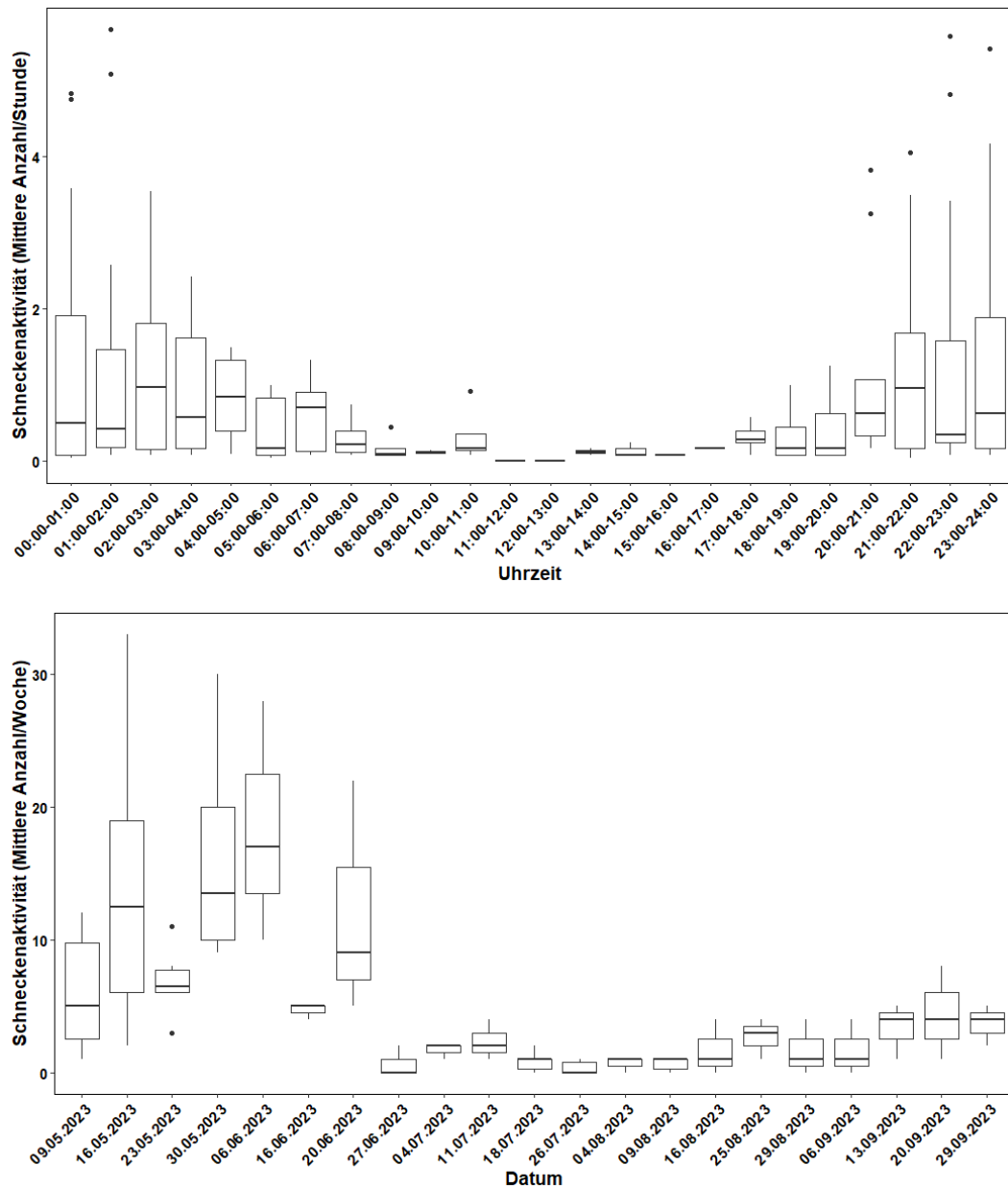


Abbildung 4: Stündliche Schneckenaktivität (oben) gemessen mittels Wildkamera und saisonale Schneckenaktivität (unten) gemessen mittels Schneckenfolien vom Mai bis September 2023. Die Boxplots dienen der Darstellung der Datenverteilung und umfassen Median, Quartile, sowie die Ausreißer.

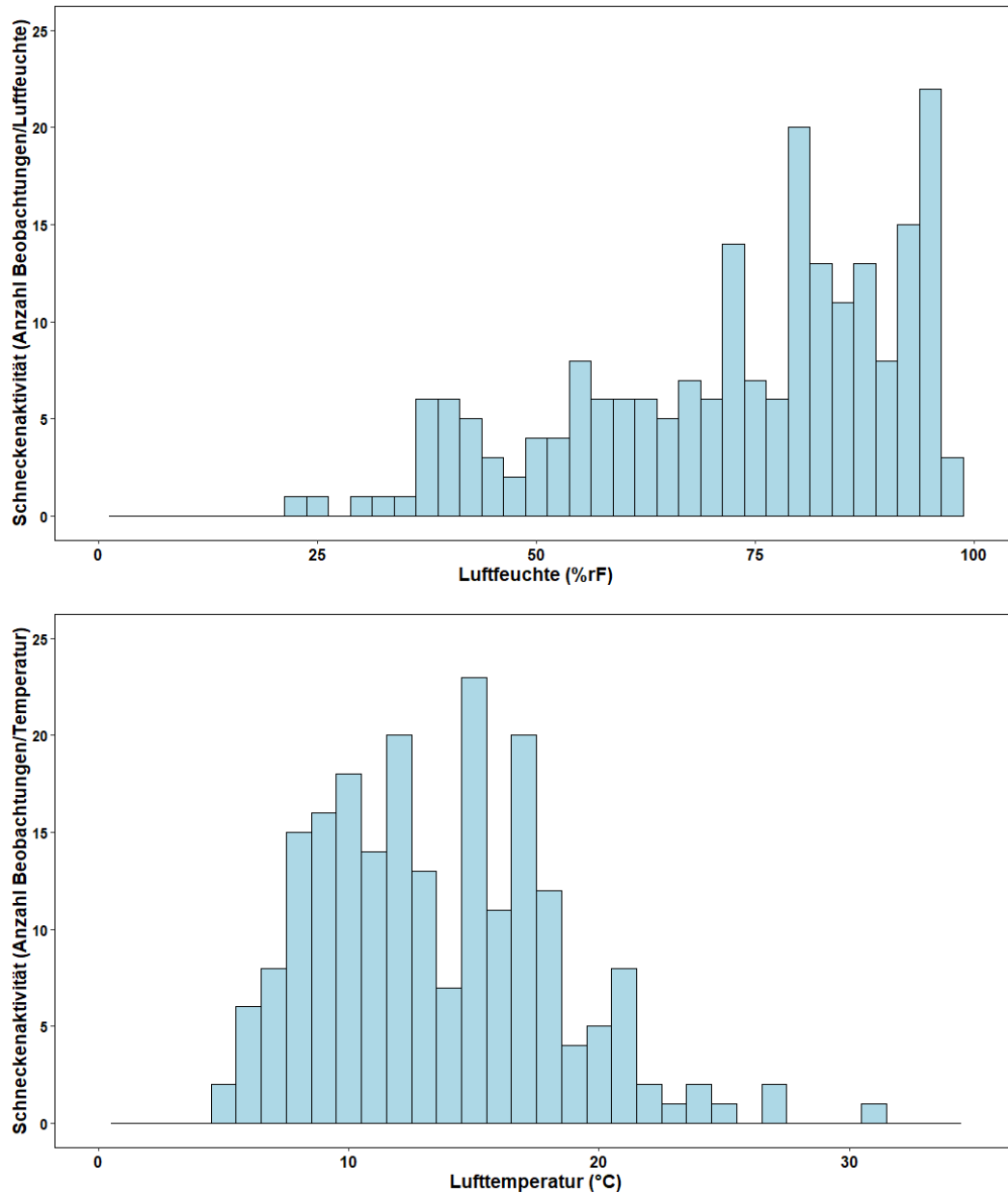


Abbildung 5: Effekt der Luftfeuchte (oben) und Lufttemperatur (unten) auf die Aktivität der Schnecken gemessen vom Mai bis September 2023. Die Balken stellen die gesamte Anzahl der Schneckenbeobachtungen von 0% bis 100% Luftfeuchte (oben) und von 0 °C bis 35 °C Lufttemperatur (unten) dar.

Um die räumliche Verteilung der Schädlinge im Feld zu untersuchen, war ursprünglich eine Kartierung der Schnecken durch den Einsatz des Roboters geplant. Der Roboter sollte mithilfe der darauf montierten RTK-GPS-Technik Daten über das Aufkommen von Schnecken generieren. Aufgrund von Verzögerungen bei der Einsatzbereitschaft des Roboters konnte diese Datenerhebung jedoch nicht umgesetzt werden. Als Alternative wurden im Spätsommer 2022 erste Testbonituren zur Untersuchung der Schneckenaktivität im Feld durchgeführt. Dabei kamen sowohl optische Bonituren als auch Schneckenfolien zum Einsatz. Beide

Methoden erwiesen sich als geeignet, um das Schneckenauftreten im Feld zu kartieren und dessen räumliche Verteilung zu bestimmen. Da im Jahr 2022 keine Gemüsefläche mit ausreichender Schneckenpräsenz zur Verfügung stand, wurden die Testversuche zunächst auf Rapsflächen durchgeführt und im Jahr 2023 auch auf einer Gemüsefläche ausgeweitet. Die Nutzung von zwei unterschiedlichen Flächen ermöglichte das Schneckenauftreten unter unterschiedlichen Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen zu untersuchen. Dies ist von Bedeutung für die Bewertung des Einflusses unterschiedlicher Parameter auf die Schneckenaktivität.

Die Kartierung der Schnecken im Feld erfolgte visuell mithilfe eines GPS-Geräts. Auf den Untersuchungsflächen wurde eine repräsentative Teilfläche ausgewählt, wo die Präsenz von Schnecken auf der Bodenfläche erfasst wurde. Das Ergebnis ist eine Karte, die die tatsächliche Verteilung von Schnecken im Feld abbildet (Abbildung 6).

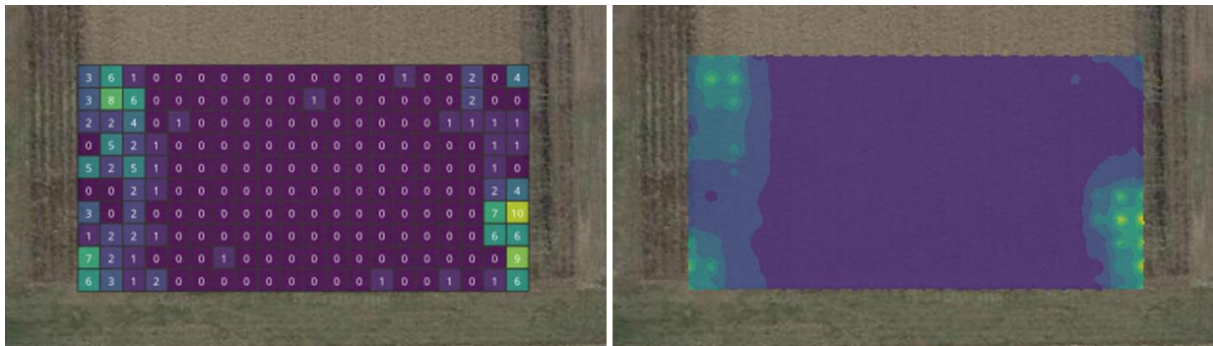


Abbildung 6: Schneckenverteilung beobachtet am 01. September 2023 im Feld (links) und darauf basierende Karte erstellt mit Hilfe der IDW-Interpolation Methode (Inverse Distance Weighted) in QGIS (rechts). 5x5 m Raster ist dargestellt.

Dieses Ergebnis kann letztendlich mit dem Output des Modells verglichen werden. In GIS kann dafür eine Versuchsfläche in Rasterflächen unterteilt werden (z.B. 10x10 m oder 5x5 m), die einzeln anhand der Gewichtungen unterschiedlicher Parameter bewertet werden kann. Daraus lässt sich die Karte erstellen, welche die Wahrscheinlichkeit des Schneckenauftretens für jede Teilfläche farblich kennzeichnet. Die hergestellte Anwendungskarte kann somit zur Applikation von Bekämpfungsmaßnahmen genutzt werden. Der Schneckenindex stellt eine valide Grundlage für die Umsetzung einer spezifischen Schädlingsbehandlung dar, z.B. wie im Projekt angestrebt, durch einen gezielten Robotereinsatz zur nicht-chemischen Bekämpfung. Das Modell konnte im Projekt jedoch nicht durch koordinatengestützte Feldbonituren mit dem Roboter optimiert werden, da aus den bereits erwähnten Gründen keine Praxisversuche mit dem Roboter durchgeführt werden konnten.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen im zahlenmäßigen Nachweis beim JKI-AT sind die Personalkosten für die Stelle des wissenschaftlichen Mitarbeiters. Diese machten über 93% der insgesamt angefallenen Projektkosten aus. Für die Bearbeitung des Arbeitspakets 7 wurden Mittel insbesondere für die Anschaffung der RTK-GPS-Technik eingesetzt, das im Rahmen der koordinatengestützten Feldbonituren des Schneckenauftommens zur Erstellung von Anwendungskarten notwendig war. Einen geringeren Anteil machten Reisekosten für Dienstreisen zu Projektpartnern und der Teilnahme an Tagungen sowie Ausgaben für Verbrauchsmaterial aus.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

In diesem Projekt wurde ein Verfahren zur mechanischen Bekämpfung von Schnecken im Erwerbsgemüsebau mittels eines Roboters entwickelt. Dieses Verfahren hat das Potential, den Einsatz bestehender chemischen Bekämpfungsverfahren zu reduzieren. Der deutsche Erwerbsgemüsebau kann von der Entwicklung des Roboters profitieren, da eine alternative Handlungsoption zu den derzeit lediglich zwei zugelassenen Wirkstoffen geschaffen wird. Durch das Vorhaben wurden die Anwendungsfelder für Verfahren der roboterbasierten Schädlingsbekämpfung erweitert und neue Handlungsoptionen zur Schneckenbekämpfung entwickelt.

Am JKI wurden verschiedene Methoden zur Schneckenbekämpfung untersucht. Um den angestrebten Proof of Concept zu erbringen, war zunächst eine Auswahl potenzieller Bekämpfungsmethoden erforderlich. Mittels Laborversuche konnten diese Methoden miteinander verglichen werden, wodurch fundierte Aussagen zu ihrer Wirksamkeit möglich wurden.

Für die Entwicklung eines Prognosemodells waren sowohl umfassende Literaturrecherchen als auch Feldversuche notwendig. Ziel des Modells ist es, den Einsatz des Roboters zu unterstützen. Es ermöglicht die Auswahl optimaler Einsatzzeitpunkte und trägt somit zur Steigerung der Wirksamkeit des Verfahrens bei. Die vom Modell erzeugten Daten können auch für weitere Anwendungen genutzt werden, beispielsweise zur teilflächenspezifischen Anpassung der Bodenbearbeitung im Rahmen eines Schneckenpräventionskonzepts. Die im Projekt geleisteten Arbeiten bilden eine wichtige Grundlage für zukünftige Forschung und Entwicklung im Bereich Robotik, Precision Farming und nicht-chemische Schädlingsbekämpfung im Gemüsebau.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen des durchgeführten Projekts wurde ein Labormodell eines Roboters zur Schneckenbekämpfung im Gemüsebau entwickelt. Die erzielten Ergebnisse stellen eine wichtige Grundlage für die zukünftige Forschung im Bereich der nicht-chemischen Schädlingsbekämpfung im Gemüsebau dar. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse zum Themenspektrum Robotik und Precision Farming steigern die Kompetenz des JKI in diesen Bereichen und sie werden in weitere Projekte und Tätigkeiten des Instituts eingebracht.

Am JKI wurden verschiedene Methoden zur Schneckenbekämpfung erprobt. Dabei hat sich das mechanische Entfernen mittels Ansaugens als vielversprechende Methode erwiesen. Zudem zeigten die Ergebnisse des Trainings verschiedener Deep Learning Modelle an der Uni Kassel, dass eine Erkennung der Schnecken auf Salatpflanzen mit hoher Präzision erreicht werden kann. Schließlich hat die Firma Hentschel im Rahmen des Projekts wertvolles Wissen generiert, um Ihre Tätigkeit auf weitere Roboteranwendungen auszuweiten.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem AP7 dienen als Grundlage für die Applikation der im Projekt entwickelten Robotiklösung zur Schneckenbekämpfung. Mit den Ergebnissen der Literaturrecherche und der Feldversuche wird grundsätzlich das Verständnis dieses Schaderregers verbessert. Mit dem „Schneckenindex“ lassen sich besonders gefährdete Bereiche im Feld identifizieren und definieren, sodass Bekämpfungsmaßnahmen gezielt und zeitnah eingesetzt werden können. Diese Erkenntnisse können auch für weitere Anwendungen genutzt werden, etwa zur Planung und Umsetzung von teilflächenspezifischen Maßnahmen oder Schneckenpräventionskonzepten in verschiedenen Acker- und Gartenbaukulturen.

Die Forschungsergebnisse wurden durch Vorträge und Veröffentlichungen der Fachwelt sowie der Praxis zugänglich gemacht, wie beispielweise auf der Messe Agritechnica in Hannover. Im Rahmen von Lehrveranstaltungen, wie beispielsweise das von dem Institut für Anwendungstechnik organisierte Blockmodul „Innovative Pflanzenschutztechnik“, wurde das Projekt den Studierenden vorgestellt, um das Interesse für das Themengebiet Digitalisierung in der Landwirtschaft und Pflanzenschutztechnik zu steigern und dadurch den wissenschaftlichen Nachwuchs zu fördern.

II.5 Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

In der Projektlaufzeit sind keine Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt geworden, die eine Relevanz für die Durchführung des Forschungsvorhabens haben.

II.6 Veröffentlichungen

- Puliga, G.A., von Hörsten, D., Gödeke, J., Wegener, J.K., 2025. Entwicklung eines Index zur Vorhersage des Auftretens von Schnecken im Acker- und Gemüsebau, in: 64. Deutsche Pflanzenschutztagung: Pflanzenschutz im System denken; 07.-10.10.2025, Braunschweig, Deutschland. [Vortrag]
- Puliga, G.A., von Hörsten, D., Hassanzadehtalouki, M., Nasirahmadi, A., Wilczek, U., Kirchner, D., Wegener, J.K., 2025. Development of a robotic solution to control slugs in lettuce crops. Acta Hortic. 1433. ISHS V EHC – Proc. IS on Robotics, Mechanization and Smart Horticulture. Eds.: L. Manfrini, K. Biegert and M.G. Matache [Vortrag]
- Puliga, G.A., Gödeke, J., von Hörsten, D., Wegener, J.K., 2024. Development of an index to estimate potential risk of slug damage. Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft - Fokus: Biodiversität fördern durch digitale Landwirtschaft: Welchen Beitrag leisten KI und Co?, GI-Edition: Lecture Notes in Informatics, Proceedings. [Vortrag]
- Puliga, G.A., Wilczek, U., von Hörsten, D., Wegener, J.K., 2023. Entwicklung einer Robotik-Lösung zur Schneckenbekämpfung im Gemüsebau, in: 63. Deutsche Pflanzenschutztagung: Pflanzenschutz morgen - Transformation durch Wissenschaft; 26.-29.09.2023, Göttingen, Deutschland. [Vortrag]
- Puliga, G.A., von Hörsten, D., Wegener, J.K., 2023. MORE-Bot: Entwicklung einer Robotik-Lösung zur Schneckenbekämpfung im Gemüsebau, in: Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau 2023, 07.-10.03.2023 in Frick, Schweiz. [Poster]
- Puliga, G.A., von Hörsten, D., Wegener, J.K., 2022. Quality improvement in vegetable production through robot-assisted slug control, in: 14th Young Scientists Meeting Conference 2022: 9.11.11.2022 in Berlin, Julius-Kühn-Archiv. [Poster]