Kurzdarstellung

Förderkennzeichen:	2818712A19
Zuwendungsempfänger:	Julius Kühn-Institut Institut für Züchtungsforschung an Obst Pillnitzer Platz 3a 01326 Dresden
Thema (Akronym):	Entwicklung eines digitalen Monitoringsystems für unionsgeregelte Nicht-Quarantäneschadorganismen in Obstanlagen und der obstbaulichen Züchtung (MONIQUA)

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie der wissenschaftliche und technische Stand an den angeknüpft wurde

Das vorliegende Projekt hatte das Ziel, ein digitales Monitoringsystem zur frühzeitigen Erkennung und präzisen Verortung von Quarantäneschaderregern bzw. unionsgeregelte Nicht-Quarantäneschadorganismen im Erwerbsobstbau zu entwickeln. Modellhaft erfolgte die Untersuchung an den Schaderregern *Erwinia amylovora* (Feuerbrand) und *Gymnosporangium sabinae* (Europäischer Birnengitterrost).

Im bisherigen Monitoring werden Schadkontrollen vorwiegend manuell durchgeführt, was nicht ausreichend präzise ist und einen hohen personellen und finanziellen Aufwand verursacht. Ziel des Projekts war die Entwicklung eines bildbasierten, drohnengestützten Monitoringsystems, das mithilfe maschineller Lernalgorithmen die Erkennung von Krankheitssymptomen automatisiert und eine präzise Lokalisierung und Dokumentation der Ausbreitung erlaubt. Langfristig soll ein kosteneffizientes, automatisiertes Hochdurchsatzverfahren für die kontinuierliche Überwachung von Infektionen in Obstkulturen etabliert werden.

2. Ablauf des Vorhabens

Für die Entwicklung des Systems wurden Versuchsflächen an verschiedenen Standorten des Julius Kühn-Instituts ausgewählt (verantwortlich: JKI). Diese Flächen bestanden aus unterschiedliche Sorten und Wildarten des Apfels und der Birne. Für die Bildaufnahmen des Europäischen Birnengitterrosts wurden Baumbestände nach natürlicher Infektion genutzt. Für die Bildaufnahmen des Feuerbrands wurden Versuchspflanzen im Gewächshaus und Versuchsbestände im Freiland genutzt, die während des Projekts künstlich mit dem Feuerbranderreger inokuliert wurden. Dadurch konnte auch von diesen seltenen Krankheitssymptomen eine ausreichend große Bilddatenbank erstellt werden (verantwortlich: JKI, ATB, geo-konzept). Zur Erstellung der Bilddaten wurden die Versuchsflächen mit Unmanned Aerial Vehicles (UAVs: hier Drohnen, Quadrocopter) in regelmäßigen Abständen überflogen (JKI, ATB, geo-konzept). Die UAVs flogen in geringer Höhe über die Bestände, um Bildmaterial mit einer hohen Detailauflösung zu erzeugen, so dass auch möglichst kleinere

Infektionen und frühe Krankheitsstadien zu erfassen sind. Zusätzlich wurden auch Feuerbrand- und Birnengitterrostsymptome mit einer Handkamera und Smartphonekameras aufgenommen (verantwortlich: JKI, ATB). Die Krankheitssymptome wurden mit Hilfe des Softwareprogramms CVAT mit der Hand markiert (verantwortlich: ATB, JKI) und für das Modelltraining genutzt (verantwortlich: ATB) und anschließend für das Training der maschinellen Lernalgorithmen zur Entwicklung der Bilderkennungsmodelle genutzt.
Nach der erfolgreichen Entwicklung der Bilderkennungsmodelle (verantwortlich: ATB) wurden diese unter Praxisbedingungen im Freiland validiert (verantwortlich: JKI, ATB, geo-konzept).
Die identifizierten Krankheitssymptome wurden im Rahmen der photogrammetrischen Auswertung in einem GIS-System verortet (verantwortlich: geo-konzept). Dies ermöglichte eine präzise räumliche Kartierung der infizierten Bereiche in den Beständen. Zum Abschluss des Projektes wurde das entwickelte System auf seine Praxistauglichkeit im Versuchsfeld am JKI getestet. Dieser Test zielte darauf ab, die Effizienz und Genauigkeit des Monitoringsystems unter realen Bedingungen zu validieren und die Übertragbarkeit auf andere Quarantäneschaderreger zu überprüfen (JKI).

3. Wesentliche Ergebnisse sowie ggf. Zusammenarbeit mit anderen Stellen.

Das Projekt MONIQUA zur drohnengestützten Überwachung von Quarantäneschaderregern in Obstkulturen wurde erfolgreich durchgeführt. Zunächst wurden geeignete Versuchsquartiere und ein UAV-System mit Kameras für die Bildaufnahme ausgewählt. Die Anforderungen an Sensorik und Flugleistung wurden definiert, Flugparameter systematisch optimiert und erfolgreich getestet. Verschiedene RGB-Kameras wurden evaluiert. Eine Bild- und Metadatenbank für Symptome von Birnengitterrost und Feuerbrand wurde erstellt und veröffentlicht.
Es wurden Deep-Learning-Algorithmen entwickelt, um Schaderreger anhand der aufgenommenen Bilder zu erkennen. Das Training der Bilderkennungsmodelle verlief erfolgreich. Insbesondere für die Erkennung von Birnengitterrostsymptomen in Luftbildern konnte ein praxistaugliches Modell entwickelt werden. Das Modell für die Erkennung von Feuerbrandsymptomen erkennt die Symptome lediglich in Handbildern zuverlässig. Nichtsdestotrotz ist dieses Erkennungsmodell vielversprechend und muss zukünftig für seine Praxistauglichkeit weiter optimiert werden.
Ein GIS-System wurde erfolgreich zur Darstellung der Befallsverteilung implementiert, woraus erste Handlungsempfehlungen für Quarantänemaßnahmen abgeleitet werden können. Die praktische Testung des entwickelten Workflows für ein digitales Monitoring der Schaderreger am Beispiel des Birnengitterrosts war erfolgreich. Weitere Entwicklungsarbeiten sind erforderlich, um die Erkennungsgenauigkeit von Feuerbrand-Symptomen für den Praxiseinsatz zu verbessern. Die Projektergebnisse wurden in zahlreichen Fachveröffentlichungen sowie auf Tagungen präsentiert.

Schlussbericht

Entwicklung eines digitalen **Mo**nitoringsystems für unionsgeregelte **Ni**cht-**Qua**rantäneschadorganismen in Obstanlagen und der obstbaulichen Züchtung

(MONIQUA)

Teilprojekt A- Julius Kühn-Institut für Züchtungsforschung an Obst (JKI-ZO)

Zuwendungsempfänger Julius Kühn-Institut Institut für Züchtungsforschung an Obst Pillnitzer Platz 3a 01326 Dresden	**Förderkennzeichen (FKZ)** 2818712A19
Laufzeit des Projektes	01.03.2021 bis 31.05.2024
Projektleitung	Prof. Dr. habil. Henryk Flachowsky
Projektbearbeitung	Dr. Stefanie Reim

Inhalt

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens A 1

2. Durchgeführte Arbeiten im Teilvorhaben A im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung 1

   Arbeitspaket 1: Entwicklung einer Navigationslösung für eine drohnengestützte Bilderfassung im Obstbau und Evaluierung geeigneter Flugparameter 1

   Arbeitspaket 2: Bilderkennungssystem 4

   Arbeitspaket 4: Validierung der Software am Modell Birnengitterrost 7

   Arbeitspaket 5: Validierung der Software am Modell Feuerbrand 9

   Arbeitspaket 6: Projektkoordination und Öffentlichkeitsarbeit 9

3. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 10

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit 11

5. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse 14

6. Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 15

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen 15

1. Ziel und Gegenstand des Teilvorhabens A

Ziel des Teilvorhabens A am Julius Kühn-Institut (JKI) war die Entwicklung und Validierung einer drohnengestützten Monitoringlösung zur Erfassung und Bewertung von Symptomen pflanzlicher Krankheiten im Obstbau, insbesondere Birnengitterrost und Feuerbrand. Kernpunkt war die Erstellung von hochauflösenden Luftbildern von Krankheitssymptomen, die mittels einer Bildanalyse-Software zur automatisierten Erkennung von Krankheitssymptomen ausgewertet werden sollten. Die erfassten Daten sollten in Verbindung mit weiteren Parametern, wie der Baumgröße, zu einer präzisen Diagnose der Befallsstärke genutzt werden.

Das Teilvorhaben A umfasste die Auswahl von Modellanlagen, die Bilderfassung mit Drohnen, die Mitarbeit bei der Entwicklung der Bilderkennungsmodelle sowie deren Validierung unter Praxisbedingungen. Dabei wurden innovative Ansätze wie die Nutzung von QGIS zur Bestimmung des Kronenvolumens der Bäume sowie eine zweistufige Bildaufnahme in verschiedenen Höhen getestet. Der Fokus lag auf der praktischen Anwendbarkeit der entwickelten Technologien zur frühzeitigen Erkennung von Krankheitssymptomen und der Verbesserung des Krankheitsmanagements im Obstbau. Darüber hinaus kann das entwickelte System für eine exakte und objektive Phänotypisierung von Krankheiten in der Züchtungsforschung genutzt werden.

2. Durchgeführte Arbeiten im Teilvorhaben A im Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Die Arbeiten des durchgeführten Vorhabens gliederten sich in sechs Arbeitspakete, wovon fünf Arbeitspakete themenspezifisch waren und ein Arbeitspaket administrativer Art war. Zur Erreichung der Projektziele hat das Julius Kühn-Institut für Züchtungsforschung an Obst (JKI-ZO) an zwei der themenspezifischen Arbeitspakete mitgearbeitet (AP1 und AP2) und war für die Bearbeitung von zwei themenspezifischen Arbeitspaketen (AP4 und AP5) verantwortlich. Darüber hinaus war das JKI-ZO maßgeblich an der Projektkoordination und Öffentlichkeitsarbeit beteiligt (AP6).

Arbeitspaket 1: Entwicklung einer Navigationslösung für eine drohnengestützte Bilderfassung im Obstbau und Evaluierung geeigneter Flugparameter

Für die drohnengestützte Bilderfassung von Birnengitterrostsymptomen wurden im ersten Projektjahr ein Birnenquartier mit 829 Kreuzungsnachkommen und ausgewählten Birnensorten der Kernobstzüchtung des JKI in Dresden-Pillnitz genutzt (Abbildung 1,

grüner Rahmen). Die Bäume waren zwischen ein und sieben Jahren alt. Das Quartier wurde im Jahr 2021 nicht mit Fungiziden behandelt, so dass eine natürliche Infektion mit Birnengitterrost auftrat. Da diese Anlage im zweiten Projektjahr wieder mit Fungiziden behandelt wurde, wurden im zweiten und dritten Projektjahr drei andere Birnenquartiere im Versuchsfeld des JKIs als Modellanlagen genutzt. Diese drei Quartiere (Abbildung 1, roter, blauer und rosa Rahmen), enthielten insgesamt 228 Bäume von verschiedenen Birnensorten und –arten, was die Erkennung von Birnenrostsymptomen an einer Vielzahl morphologisch unterschiedlicher Birnenblätter gewährleistete.

Abbildung 1: Luftbild des Versuchsfelds des Julius Kühn-Institutes, Institut für Züchtungsforschung an Obst in Dresden-Pillnitz mit den vier Versuchsquartieren für die Birnengitterrostaufnahmen. Grüner Rahmen: 829 Bäume; roter Rahmen: 138 Bäume; rosa Rahmen 40 Bäume; blauer Rahmen 50 Bäume.
(Fotoquelle: https://www.geodaten.sachsen.de/luftbild-produkte-3995.html)

Zusätzlich wurden im ersten Projektjahr für die Bildaufnahmen von Birnengitterrostsymptomen auch private Kleingärten mit Birnengitterrostbefall (Kleingartenverein Wiesengrund in Werder OT Glindow, Kleingärten Prenzlauer Vorstadt) genutzt.

Für die Bildaufnahmen von Feuerbrand-Symptomen im Freiland konnte das Versuchsfeld in Kirschgartshausen des Julius Kühn-Institutes, Institut für Pflanzenschutz in Obst- und Weinbau in Dossenheim genutzt werden (Abbildung 2).

Abbildung 2: Luftbild der Versuchsanlage für die Feuerbrandtestung (roter Rahmen) in Kirschgartshausen des Julius Kühn-Institutes, Institut für Pflanzenschutz in Obst- und Weinbau in Dossenheim (Foto: geo-konzept, google maps)

In diesem Versuchsfeld befinden sich 340 etwa drei bis acht Jahre alte Apfelbäume verschiedener Apfelsorten und –wildarten. Die Bäume wurden zur Blüte an drei unterschiedlichen Blühentwicklungsstadien (BBCH62-63, BBCH64 und BBCH67), unter der Leitung von Dr. Annette Wensing nach einer Methode von Peil et al. (2019), künstlich inokuliert. Etwa 28 Tage nach Inokulation erscheinen typische Feuerbrand-Symptome an Blüten, Blättern und Spross, die dann für die Aufnahmen genutzt werden konnten. Diese Anlage stand in allen drei Projektjahren als Modellobstanlage zur Verfügung. Zusätzlich zu diesen Freilandaufnahmen wurden im Projektjahr 2021 und 2022 Bilder von Feuerbrand-Symptomen im Gewächshaus gemacht. Zu diesem Zweck wurden ausgewählte Apfelgenotypen mit bis zu 10 Wiederholungen pro Genotyp auf die Unterlagensorte 'M9' gepfropft. Diese Pflanzen wurden dann, wie von Peil et al. (2007) beschrieben, mit Feuerbrand inokuliert. Etwa 28 Tage nach Inokulation wurden an diesen Pflanzen typische Feuerbrandsymptome an Blättern und Spross für Bildaufnahmen genutzt.

Arbeitspaket 2: Bilderkennungssystem

Birnengitterrost

Beim Birnengitterrost wurde für die manuelle Phänotypisierung zunächst ein Boniturschema inklusive Fotodokumentation für den Infektionsverlauf und die Befallsintensität von Einzelblättern und Bäumen (der belaubten Krone) erarbeitet (Abbildung 3 und 4). Dieses Boniturschema wurde auch als Anleitung für die Annotation genutzt.

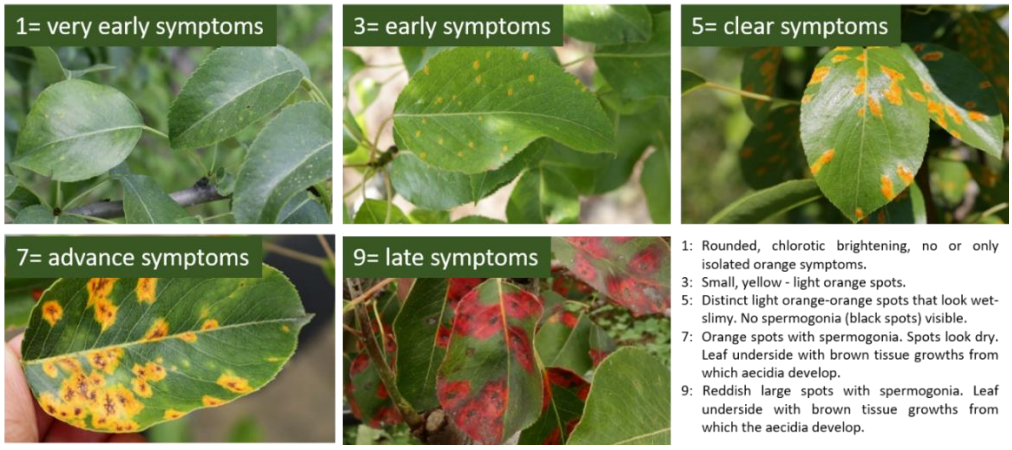


Abbildung 3: Boniturschema zur Erfassung des Infektionsverlaufs von Birnengitterrost an Blättern.

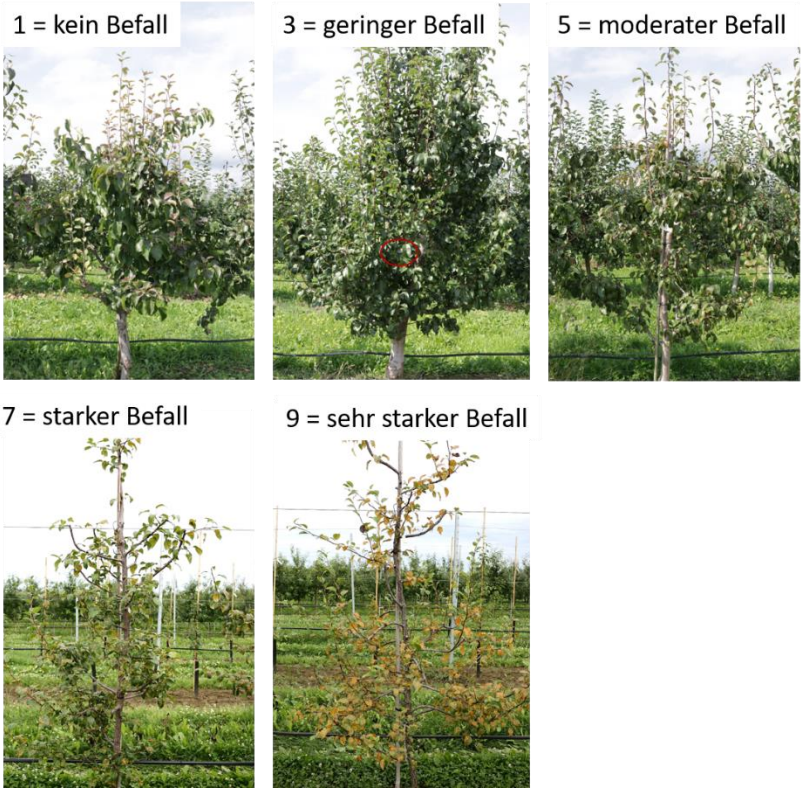


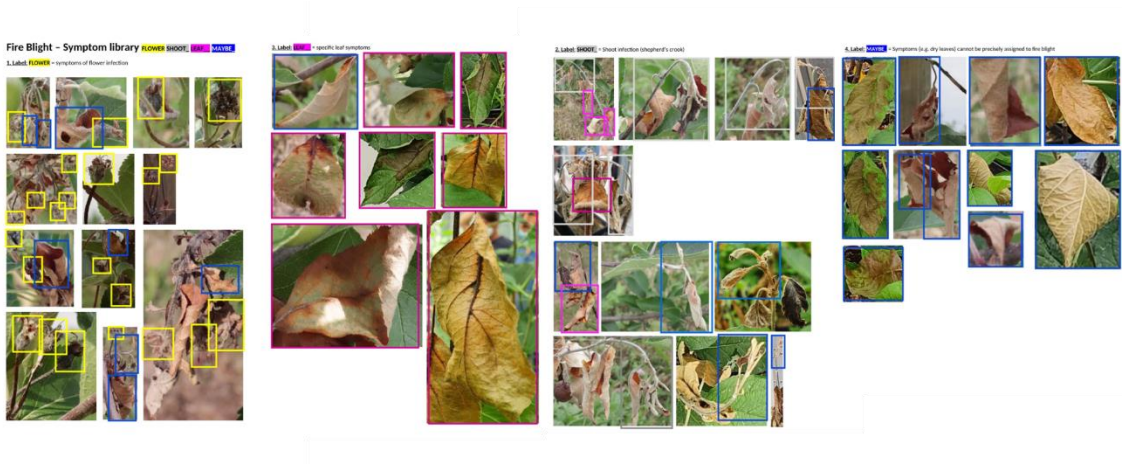
Abbildung 4: Boniturschema zur Erfassung der Infektionsintensität von Birnengitterrost an Bäumen (der belaubten Krone).

Für die Annotationen wurden alle drohnen-basierten Fotos visuell hinsichtlich ihrer Qualität (z.B. Belichtung, Schärfe, Kontrast, Vorhandensein von Birnenblättern) überprüft und, wenn nötig, aus dem Datensatz gelöscht. Nach diesem Qualitätscheck standen für die Entwicklung eines Bilderkennungsmodells für Birnengitterrost aus dem Projektjahr 2021 und 2022 395 drohnen-basierte Bilder für die Annotationen zur Verfügung. Diese Bilder wurden auf eine Größe von 768x768 Pixel zerschnitten, um die Bildgröße zu verkleinern. Nach dem Zerschneiden standen 12.698 kleinere Bilder zur Verfügung, die erneut visuell auf ihre Qualität und das Vorhandensein von Birnenblättern im Bild überprüft wurden. Als Ergebnis wurden 810 zugeschnittene Bilder für die anschließende Symptomannotation ausgewählt. Die Annotation von Birnengitterrostsymptomen umfasste fünf verschiedene Infektionsstadien, wobei alle Infektionsstadien als "GYMNSA" (= infiziert) annotiert wurden. Gesunde Blätter wurden zunächst mit dem Label "HEALTH" (= gesund) gekennzeichnet. Da vor allem die Annotation der gesunden Blätter sich als sehr zeitaufwändig gestaltete, wurde im Jahr 2022 nach einem neuen Ansatz gesucht, um später die Anzahl der infizierten Blätter ins Verhältnis zur Baumgröße zu setzen. In dem neuen Ansatz wird für jeden Baum das

Kronenvolumen mit Hilfe des Softwareprogramms QGIS bestimmt, so dass die erkannten Birnengitterrostsymptome je Baum in Verhältnis zur Baumgröße gesetzt werden. Damit war es nicht mehr notwendig gesunde Blätter zu annotieren, um eine Klassifizierung der Befallsintensität vorzunehmen. Insgesamt standen für die Entwicklung des Bilderkennungsmodells für Birnengitterrost 584 Bilder mit insgesamt 16.251 annotierten Birnengitterrostsymptomen zur Verfügung. Diese Bilddaten wurden nach den FAIR principles[1] in einem Datenartikel beschrieben und zur Veröffentlichung eingereicht (Maß et al. 2024, submitted in Data in Brief).

Feuerbrand

Für die Entwicklung eines Bilderkennungsmodells für Feuerbrand wurden zunächst die RGB-Bilder genutzt, die mit den Handkameras aufgenommen wurden, da auf den drohnen-basierten Bildern die Feuerbrand-Symptome nicht eindeutig genug zu erkennen waren. In dem Bilddatensatz der Handkameraaufnahmen standen nach Qualitätscheck 5.087 RGB-Bilder mit Feuerbrand-Symptomen zur Verfügung. Für die Annotation wurden die Klassen SHOOT (Feuerbrand-Symptome an Trieben), LEAF (Feuerbrand-Symptome an Blättern) und FLOWER (Feuerbrand-Symptome an Blüten) festgelegt und in Zusammenarbeit mit dem ATB eine Library mit Beispielbildern erstellt, um die Annotation zu erleichtern (Abbildung 5). Weiterhin wurde eine weitere Kategorie für Symptome, die nicht eindeutig dem Feuerbrand zugeordnet werden konnten, festgelegt (MAYBE). Insgesamt enthält die Bilddatenbank 1.611 Bilder mit 15.761 annotierten Feuerbrand-Symptomen. Diese Bilddaten wurden ebenfalls nach den FAIR principles[1] in einem Datenartikel beschrieben und veröffentlicht (Maß et al. 2024).



[1]https://www.go-fair.org/fair-principles/

Abbildung 5: Library mit Beispielbildern von Feuerbrand-Symptomen an Blüten (FLOWER), Blatt (LEAF_) und Spross (SHOOT_) sowie nicht eindeutigen Symptomen (MAYBE) für die Annotation.

Arbeitspaket 4: Validierung der Software am Modell Birnengitterrost

Für die Validierung des Erkennungsmodells wurde das Wildbirnenquartier des JKI Dresden-Pillnitz mit 138 Bäumen genutzt. In dem Quartier wurden 2023 keine Fungizide gespritzt, so dass ein Befall mit Birnengitterrost gewährleistet war. Das Quartier wurde am 5.09.2023 anhand eines 5-stufigen Boniturschemas, das im ersten Projektjahr erarbeitet wurde (Abbildung 1), manuell hinsichtlich der Häufigkeit des Birnengitterrostbefalls bonitiert. Für die digitale Erkennung wurde das Quartier am 5.09.2023 mit der DJI Phantom 4 Pro überflogen. Für die Erstellung der Luftbilder von diesem Quartier wurde eine zweistufige Bildaufnahme in 2 Flughöhen genutzt. Für die Erkennung der Symptome wurde möglichst niedrig über die Bäume geflogen (ca. 7 m Höhe) und für die Erstellung des Luftbildes in einer Höhe von 18 m. Damit konnte die Flugdauer deutlich reduziert werden.

Die Birnengitterrostsymptome wurden mit Hilfe des vom ATB entwickelten Erkennungsmodells auf den Einzelbildern mit jeweils drei unterschiedlichen Empfindlichkeitsstufen (Confidence: 0,3; 0,4 und 0,5) detektiert. Mit Hilfe des Programms Agisoft Metashape Professional wurden die Symptome im Luftbild angezeigt und jedes Symptom als GPS-Koordinate in einer Text-Datei festgeschrieben. Anschließend wurden die Symptomkoordinaten aus der Text-Datei in das Softwareprogramm QGIS importiert und die Anzahl der Symptome pro Baum bestimmt. Aus der Anzahl der Symptome pro Baum und des errechneten Baumvolumens wurde ein ‚Befallsfaktor‘ errechnet, der die Befallsstärke jedes Baumes widerspiegelt. Die Befallsstärke der Einzelbäume basierend auf der Handbonitur und dem digitalen Erkennungsmodell der jeweiligen Empfindlichkeitsstufen ist in Abbildung 6 dargestellt.

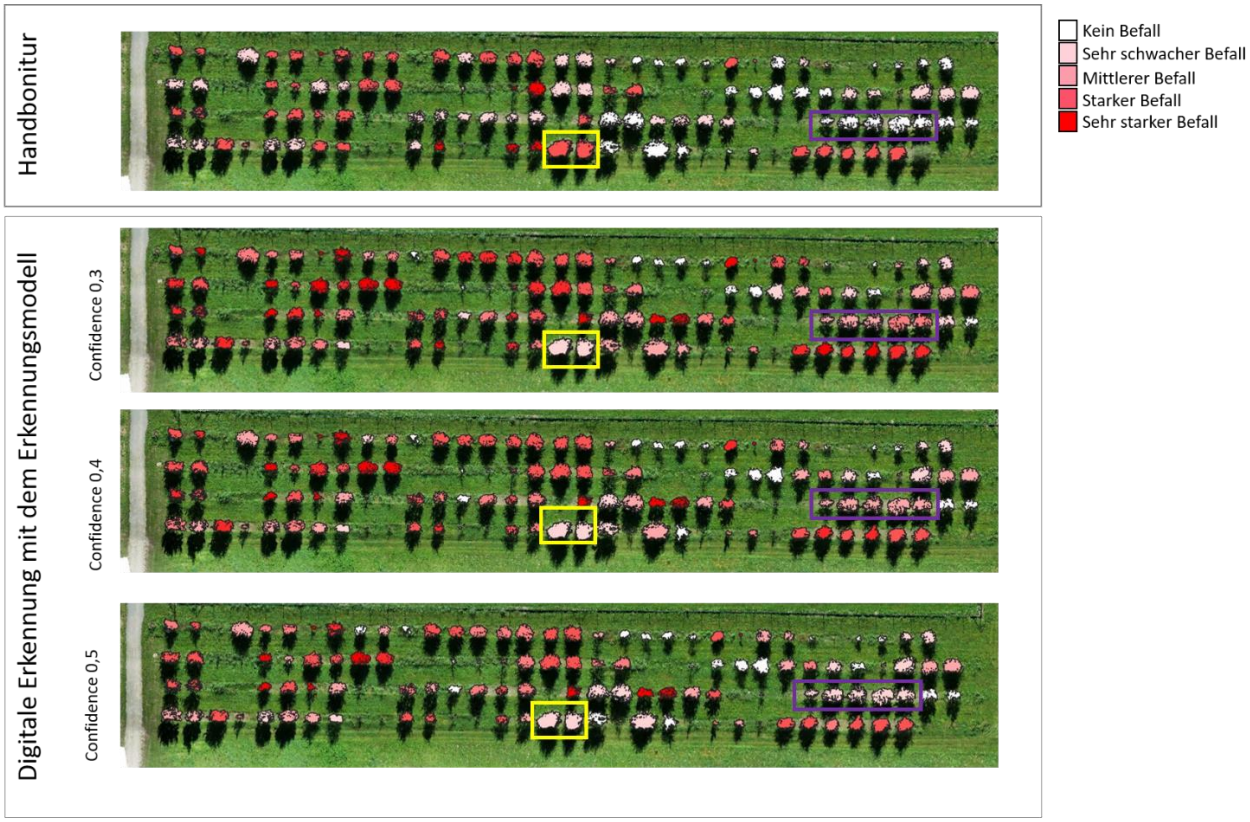


Abbildung 6: Validierung der Software am Modell Birnengitterrost

Es zeigte sich, dass die digital ermittelten Befallsstärken bei einzelnen Bäumen von den Befallsstärken, die auf Handbonituren basieren, abweichen. Zum Beispiel wurden bei einigen Bäumen mit Hilfe der digitalen Methode Birnengitterrostsymptome erkannt, die mit der Handbonitur nicht erfasst wurden (Abbildung 6, lila Rahmen). Es ist denkbar, dass bei der manuellen Bonitur Symptome im Kronenbereich übersehen wurden, die mit der digitalen Bonitur per Überfliegung erkannt wurden. Bei anderen Bäumen wurde die Befallsstärke mit Hilfe der digitalen Methode geringer eingestuft, als mit der Handbonitur (Abbildung 6, gelber Rahmen). Hier ist denkbar, dass es bei der manuellen Bonitur zu einer verzerrten Einschätzung der Befallsstärke kam, weil die Größe des Baumes nicht richtig beachtet wurde. Es wäre aber auch denkbar, dass nicht alle Symptome mit dem Erkennungsmodell detektiert wurden.

Es ist geplant die nächsten 3 Jahre die Validierungsarbeiten am JKI weiterzuführen, um die Anwendbarkeit des digitalen Monitoringsystems für Birnengitterrost in der Praxis zu testen.

Arbeitspaket 5: Validierung der Software am Modell Feuerbrand

Für die Validierung der Software zur Erkennung von Feuerbrand wurde die Versuchsfläche des JKI-Institut für Pflanzenschutz in Obst und Weinbau in Dossenheim durch geo-konzept mit der professionellen Drohne „DJI Matrice 300 RTK“ überflogen, die eine hochauflösende Kamera „Zenmuse P1“ besitzt. Analog wurden die Feuerbrand-Symptome an Bäumen bonitiert, die künstlich mit Feuerbrand inokuliert wurden. Die Erkennung von Feuerbrand-Symptomen auf den Drohnenbildern lieferte jedoch keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Zusätzlich zu den Überfliegungen wurden Handfotos von Bäumen mit Feuerbrandbefall gemacht, um an diesen Bildern die Detektion von Feuerbrand-Symptomen mit Hilfe des Erkennungsmodells zu testen. Hier waren die Ergebnisse etwas besser und es wurden etwa 76 % der Blütensymptome, aber nur 45-51 % der Spross- und Blattsymptome richtig erkannt. Durch die geringen Erkennungsraten ist eine Anwendung des Erkennungsmodells in der Praxis zum derzeitigen Stand nicht ausreichend und es wurde auf eine weiterführende Validierung der Software verzichtet. Für die Etablierung einer praxistauglichen digitalen Erkennung von Feuerbrand-Symptomen sind weitere Optimierungen des Erkennungsmodells notwendig.

Arbeitspaket 6: Projektkoordination und Öffentlichkeitsarbeit

In den drei Projektjahren wurden regelmäßig Projektbesprechungen mit allen Projektpartnern durchgeführt. Die Projekttreffen fanden aufgrund der Corona-Pandemie im ersten Projektjahr nur online statt. Bei den Projekttreffen wurden wesentliche Fragen zur Organisation der Arbeitspakete und zur geeigneten Methodik besprochen. Weiterhin wurden durch die Projektpartner Schulungen zur Annotation mit dem Annotationsprogramm CVAT und der Drohnenbildverarbeitung mit Hilfe der Software Agisoft Metashape Professional für die Projektmitarbeiter durchgeführt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Projekt- und Arbeitstreffen im Projektzeitraum

Datum	**Ort**	**Tätigkeit**
17.03.2021	Online	Projektbesprechung
14.04.2021	Online	Projektbesprechung
19.05.2021	JKI Dresden-Pillnitz	Arbeitstreffen
26.05.2021	Kirschgartshausen,	Arbeitstreffen
	JKI Dossenheim	
09.06.2021	JKI Quedlinburg	Arbeitstreffen
18.06.2021	Online	Projektbesprechung

01.07.2021	Kirschgartshausen,	Arbeitstreffen
	JKI Dossenheim	
07.09.2021	Online	Projektbesprechung
21.10.2021	Einführung Metashape	Schulung
16.11.2021	Einführung CVAT	Schulung
14.12.2021	Online	Projektbesprechung
31.01.2022	Online	Projektbesprechung
29.04.2022	Online	Projektbesprechung
08.06.2022	Dresden-Pillnitz	Arbeitstreffen
22.06.2022	Dresden-Pillnitz	Arbeitstreffen
30.08.2022	Online	Projektbesprechung
12.12.2022	Online	Projektbesprechung
25.05.2023	Online	Projektbesprechung
07.06.2023	Online	Projektbesprechung
26.06.2023	Kirschgartshausen	Arbeitstreffen
29. und 30.08.23	Dresden-Pillnitz	Arbeitstreffen

Das Projekt wurde auf mehreren Tagungen (national und international) einem wissenschaftlichen Publikum vorgestellt. Fachleuten aus der Praxis wurde das Projekt auf den Pillnitzer Obstbautagen, dem Pillnitzer Feldtag (2023), dem Pillnitzer Apfeltag (2023) und bei der Eröffnung der Apfelsaison (2023) vorgestellt:

Reim, Stefanie und Seidl-Schulz, Johannes: Projektvorstellung bei SMEKUL-Projektwerkstatt Obst- und Weinbau: Feldtag – Robotiklösungen für den Obst- und Weinbau. 29.08.23 Dresden Pillnitz. *Vorstellung des Projektes mit Stand*

Reim, Stefanie: Projektvorstellung bei der Eröffnung der Apfelsaison 2023, 25.08.23 Dresden-Pillnitz. *Vorstellung des Projektes mit Stand.*

Reim, Stefanie: Projektvorstellung zum 16. Apfeltag 7.10.23 des Julius-Kühn-Instituts, Dresden-Pillnitz. *Vorstellung des Projektes mit Stand*

3. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Projektausstattung und geleistete Projektarbeit war notwendig und angemessen, um die Projektziele zu erreichen. Im Folgenden sind die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises aufgeführt:

- **Ausstattung**: Die Anschaffung der Drohne DJI Phantom 4 Pro und des iPad mini 5 war erforderlich, um qualitativ hochwertige Bildaufnahmen für das Monitoring von Birnengitterrost und Feuerbrand zu erstellen. Die Drohne erwies sich als geeignet für die Projektschritte. Im Projektjahr 2023 wurden 765 € aus dem Verbrauchsmaterial (Position 843) in die Position 831 umgewidmet, um 2 Multilade-

geräte sowie die drei zusätzlichen Akkus für die Drohne zu kaufen. Damit konnten wir die Erstellung von optimalen Luftbildern für die automatisierte Symptomerkennung gewährleisten.

- **Bilddaten und Modellentwicklung**: Es wurden 705 Bilder von Birnengitterrost und 1.611 Bilder von Feuerbrand aufgenommen und manuell annotiert. Die umfangreiche Datenbank war für die Entwicklung und Validierung der Erkennungsmodelle notwendig. Die personellen Ressourcen von 0,5 Technischer Mitarbeiterstelle und 0,5 Wissenschaftlerstelle waren erforderlich, um diese Aufgaben zu bewältigen.
- **Projektkoordination und Öffentlichkeitsarbeit**: Die Organisation von Projekttreffen, Berichten und Präsentationen erforderte den Einsatz der 0,5 Wissenschaftlerstelle und damit verbundene Reisekosten. Diese Maßnahmen sicherten die erfolgreiche Durchführung und Verbreitung der Projektergebnisse.

4. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Das Projekt MONIQUA zielte darauf ab, ein digitales Monitoringsystem zur frühzeitigen Erkennung und Lokalisierung von Quarantäneschaderregern in Obstbaubeständen zu entwickeln. Kern des Vorhabens war die automatisierte Erfassung und Auswertung von Bilddaten mithilfe von UAVs (Unmanned Aerial Vehicles), die in Kombination mit maschinellen Lernalgorithmen zur Erkennung von Krankheitssymptomen an Apfel- und Birnenbeständen eingesetzt werden.
Die durchgeführten Arbeiten im Teilprojekt A waren von entscheidender Bedeutung, um die im Projekt definierten Ziele zu erreichen. Die wesentlichen Schritte des Teilprojektes A bei der Planung und Umsetzung der Arbeitsschritte sind im Folgenden dargestellt:

Vorbereitung und Versuchsstandorte

Für die Entwicklung des Systems wurden Versuchsflächen an verschiedenen Standorten des Julius Kühn-Instituts (JKI) ausgewählt. Diese Flächen bestanden aus Apfel- und Birnenbeständen, die unterschiedliche Sorten und Genotypen umfassen, einschließlich Wildarten. Damit sollte ein möglichst robustes und praxistaugliches System für eine Anwendung an einem breiten Spektrum von Apfel- und Birnensorten als auch Wildarten gewährleistet werden. Der Fokus lag dabei auf den Symptomen des

Feuerbrands (*Erwinia amylovora*) und des Europäischen Birnengitterrosts (*Gymnosporangium sabinae*).

Für die Bildaufnahmen des Europäischen Birnengitterrosts wurden die Baumbestände während des Projekts nicht mit Pflanzenschutzmitteln behandelt, sodass natürliche Infektionen auftraten und verschiedene Krankheitsstadien erfasst werden konnten. Für die Bildaufnahmen des Feuerbrands wurden Versuchspflanzen im Gewächshaus und Versuchsbestände im Freiland genutzt, die während des Projekts durch Mitarbeiter des JKIs künstlich mit dem Feuerbranderreger inokuliert wurden. Dadurch konnte auch von diesen seltenen Krankheitssymptomen eine ausreichend große Bilddatenbank erstellt werden.

Erstellung der Bilddatenbank für Feuerbrand- und Birnengitterrostsymptome

Zur Erstellung der Bilddaten wurden die Versuchsflächen mit der Drohne DJI Phantom 4 Pro, die mit einer hochauflösenden Kamera ausgestattet war, in regelmäßigen Abständen überflogen. Die Überfliegungen fanden in geringer Höhe statt, um Bildmaterial mit einer hohen Detailauflösung zu erzeugen. Dadurch wurde gewährleistet, dass auch kleinere Infektionen und frühe Krankheitsstadien sichtbar gemacht werden konnten. Zusätzlich wurden auch Feuerbrand- und Birnengitterrostsymptome mit einer Handkamera und Smartphones aufgenommen. Weitere Bildaufnahmen mittels Drohnen und Handkameras erfolgten auch durch die anderen Projektpartner.

Entwicklung der Bilderkennungsmodelle

Die Bilddatenbanken mit annotierten Krankheitssymptomen bildeten die Grundlage für das Training und die Entwicklung der spezifischen Bilderkennungsmodelle, die durch das ATB trainiert wurden. In Zusammenarbeit mit dem ATB wurde eine Bilddokumentation für die zu annotierenden Symptome erarbeitet. Im Fokus standen dabei vor allem die Blattsymptome des Birnengitterrosts sowie die Blatt- und Sprosssymptome des Feuerbrands. Diese spezifischen Symptome wurden in verschiedenen Entwicklungsstadien mit Hilfe des Softwareprogramms CVAT manuell durch Mitarbeiter des JKIs und ATBs annotiert. Eine sorgfältige und präzise Annotation ist essenziell, um sicherzustellen, dass die trainierten Algorithmen in der Lage sind, die Krankheit auch in frühen Stadien zu erkennen und sie von anderen möglichen Schäden oder Stressfaktoren abzugrenzen.

Validierung der Erkennungsmodelle

Nach der erfolgreichen Entwicklung der Bilderkennungsmodelle durch das ATB wurden diese unter Mitarbeit aller Projektpartner unter Praxisbedingungen im Freiland validiert. Die gesammelten Drohnen-Bilder für die Validierung umfassten eine große Vielfalt an Birnen- und Apfelsorten sowie Wildarten, um die Übertragbarkeit der Algorithmen auf unterschiedliche Genotypen zu testen. Durch diesen Ansatz konnte sichergestellt werden, dass das System in der Praxis robust ist und in verschiedene Obstkulturen angewendet werden kann. Diese Tests zielten darauf ab, die Effizienz und Genauigkeit des Monitoringsystems unter realen Bedingungen zu validieren und die Übertragbarkeit auf andere Quarantäneschaderreger zu überprüfen.

Praxistest und Implementierung

Zum Abschluss des Projektes wurde das entwickelte System am JKI, bestehend aus

- automatisierter Symptomerkennung (*entwickelt vom ATB*)
- baumgenauer Lokalisierung der Symptome (*entwickelt von geo-konzept*)
- Kalkulation der Befallsintensität pro Baum (*entwickelt von geo-konzept*)
- räumliche Darstellung des Befalls im Feld (*entwickelt von geo-konzept*)

auf seine Praxistauglichkeit im Versuchsfeld am JKI getestet. Dieser Tests zielte darauf ab, die Effizienz und Genauigkeit des Monitoringsystems unter realen Bedingungen zu validieren und die Übertragbarkeit auf andere Quarantäneschaderreger zu überprüfen.

Die eingesetzten Ressourcen, sowohl personeller als auch materieller Art, waren angemessen und dem Umfang des Projekts entsprechend. Durch eine effiziente Planung und die Verteilung der Aufgaben innerhalb der Projektpartner konnte der Arbeitsaufwand optimiert und unnötige Verzögerungen vermieden werden. Die Wahl der Methoden und Technologien war dabei wirtschaftlich als auch in Bezug auf den wissenschaftlichen Fortschritt gerechtfertigt. Alle durchgeführten Arbeitspakete und Meilensteine wurden kontinuierlich auf ihre Effizienz und Zweckmäßigkeit überprüft. Die geplanten Meilensteine wurden erreicht:

<u>M1 (12/2021):</u> Die Konzeption des Quarantänemonitors MONIQUA wurde erfolgreich abgeschlossen. Alle Anforderungen an den kameratragenden Flugroboter hinsichtlich Flächenleistung und Kapazität der Zuladung wurden definiert und als Ergebnis in die Auswahl geeigneter Fluggeräte integriert. Geeignete Systeme aus Kamera und Fluggerät wurden angeschafft und unter Labor- und

Freilandbedingungen mit Hilfe manueller Referenzaufnahmen getestet. Hyper- und Multispektralsysteme wurden für die Verwendung eruiert. Die Flugparameter wurden systematisch untersucht und in den JKI Versuchsobstanlagen optimiert.

M2 (12/2022): Die Drohne DJI Phantom 4 Pro wurde für den Einsatz in MONIQUA angeschafft und erfüllt die Anforderungen der obstbaulichen Praxis hinsichtlich Flächenleistung und Auflösung zur Erkennung von Birnengitterrostsymptomen. Die Untersuchungen zur Eignung verschiedener Kamerasysteme ist abgeschlossen. Der Aufbau der Bilddatenbank ist abgeschlossen und konnte zur Kalibrierung von Bilderkennungsmodellen genutzt werden. Erste Tests auf Basis unabhängiger Referenzdaten sind erfolgt. Die Verwaltung der räumlichen Informationen zur Verteilung des Auftretens von Quarantäneschaderregern wurde in einer ersten Version des GIS dargestellt und interpretiert. Die systematische Erarbeitung von optimalen Flugparametern wurde abgeschlossen.

M3 (8/2023): Eine Validierungsmessung zur Optimierung von Flugparametern wurde für die Erkennung von Birnengitterrostsymptomen erfolgreich abgeschlossen und in der Praxis angewandt. Die Bilddatenbanken für Birnengitterrost und Feuerbrand sind veröffentlicht und halten Schnittstellen bereit, über die Meta- und Bilddaten von weiteren Quarantäneschaderregern hinzugefügt werden können. Die *machine learning* Modelle zur Erkennung von Birnengitterrost- und Feuerbrand-Symptomen wurden erstellt und auf unabhängigen Testdatensätzen validiert. Die Erkennung von Birnengitterrostsymptomen in Luftbildern ist mit Hilfe des Modells erfolgreich. Feuerbrand-Symptome können mit Hilfe des Erkennungsmodells nur auf Handbildern erkannt werden und nicht auf Luftbildern. Die Erkennungsgenauigkeit ist jedoch noch nicht praxistauglich. Die erkannten Symptome können im GIS-System visualisiert und testweise als Handlungsempfehlung für Quarantänemaßnahmen ausgegeben werden.

5. Voraussichtlicher Nutzen, Verwertbarkeit der Ergebnisse

Nach Testung des Erkennungsmodells für Birnengitterrost wurde die praktische Anwendbarkeit des Erkennungsmodells erfolgreich bestätigt und soll zukünftig für die Evaluierung von Birnengitterrost am JKI eingesetzt werden. Mögliche Abweichung zwischen der digital ermittelten Befallsstärke und den manuellen Bonituren werden in den kommenden Jahren am JKI weiter untersucht, um die Ursachen für die Abweichungen zu klären und die Genauigkeit des digitalen Monitorings weiter zu

verbessern. Für die Etablierung eines praxistauglichen Modells zur digitalen Erkennung von Feuerbrand-Symptomen sind weitere Optimierungen erforderlich. Es wird davon ausgegangen, dass eine Drohne mit einer hochauflösenden Zoomkamera oder eine bodenbasierte Erkennung bessere Ergebnisse liefern könnte.

6. Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Laufe der Projektdurchführung wurde eine kontinuierliche Beobachtung der Fortschritte und Entwicklungen auf dem relevanten Fachgebiet bei anderen Forschungseinrichtungen, Universitäten, Unternehmen sowie durch wissenschaftliche Veröffentlichungen und Konferenzen sichergestellt. Es sind jedoch keine Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Teilprojektes A relevant waren.

7. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Referierte Zeitschriften:

Maß, V., Alirezazadeh, P., Seidl-Schulz, J., Leipnitz, M., Fritzsche, E., Geyer, M., Pflanz, M., Reim, S., 2024. Development of a drone-based phenotyping system for European pear rust (*Gymnosporangium sabinae*) in orchards. MDPI Agronomy, https://doi.org/10.3390/agronomy14112643

Maß, V., Alirezazadeh, P., Seidl-Schulz, J., Leipnitz, M., Fritzsche, E., Ibraheem, R.A.A., Geyer, M., Pflanz, M., Reim, S., 2024. Annotated image dataset of fire blight symptoms for object detection in orchards. Data in Brief 56. https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110826

Maß, V., Alirezazadeh, P., Seidl-Schulz, J., Leipnitz, M., Fritzsche, E., Ibraheem, R.A.A., Geyer, M., Pflanz, M., Reim, S., 2024. Annotated image dataset with different stages of European pear rust for UAV-based automated symptom detection in orchards. Data in Brief (eingereicht bei Data in Brief im Februar 2024, under review)

Geplante Veröffentlichungen bis Januar 2025:

Maß, V., Alirezazadeh, P., Seidl-Schulz, J., Leipnitz, M., Fritzsche, E., Geyer, M., Pflanz, M., Reim, S. Development of a digital monitoring system for Fire Blight (*Erwinia amylovora*) in orchards (in Planung für MDPI Agronomy)

Datasets:

Maß, Virginia; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Ibraheem, Rasheed Ali Adam; Geyer, Martin; Pflanz, Michael; Reim, Stefanie (2024), “GYMNSA dataset”, Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/44kjgc4gkc.1

Maß, Virginia; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Ibraheem, Rasheed Ali Adam; Geyer, Martin; Pflanz, Michael; Reim, Stefanie (2024), “ERWIAM dataset”, Mendeley Data, V1, doi: 10.17632/fpmnncmg84.1

Vorträge:

Virginia Maß, Michael Pflanz, Martin Geyer, Pendar Alirezazadeh, Eric Fritzsche, Stefanie Reim, Johannes Seidl-Schulz, Matthias Leipnitz: Development of a digital monitoring system for fire blight in fruit orchards (MONIQUA), Third International Symposium on Fire Blight of Rosaceous Plants. Dresden: 06.09.2022 – 09.09.2022.

Reim, Stefanie; Maß, Virginia; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Geyer, Martin; Pflanz, Michael: Entwicklung einer Hochdurchsatz Phänotypisierungsmethode für den europäischen Birnengitterrost unter Verwendung von UAV-basierten RGB-Bildern. 55. Gartenbauwissenschaftliche Jahrestagung „KI-Technologie in den Gartenbauwissenschaften - Risiken und Chancen in Wissenschaft und Praxis“, Osnabrück. 01.03.23-03.03.23

Reim, Stefanie; Maβ, V.; Alirezazadeh, P.; Seidl-Schulz, J.; Leipnitz, M.; Fritzsche, Eric; Geyer, M.; Pflanz, M. Establishment of a UAV-based phenotyping method for European pear rust in fruit orchards. 14th European Conference on Precision Agriculture; Bologna, Italy, 2-6 July 2023.

Reim, Stefanie; Maß, Virginia; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Geyer, Martin; Pflanz, Michael: UAV-based digital phenotyping of European pear rust in genetic resources. XVI Eucarpia Symposium on Fruits, 14.09.2023 Deutschland / Dresden

Reim, Stefanie: Mit Drohne und KI zu gesunden und widerstandsfähigen Obstsorten. Pillnitzer Obstbautage, Breitenbrunn, 07.12.2023

Poster:

Virginia Maß, Stefanie Reim, Michael Pflanz, Johannes Seidl-Schulz, Eric Fritzsche, Martin Geyer, Tobias Kawohl, Matthias Leipnitz, Henryk Flachowsky (2022): Development of a digital monitoring system for European pear rust and fire blight in fruit breeding (MONIQUA). GPZ-Workshop der AG6: “Durch Phänotypisierung und Modellierung zu besser angepassten Kulturpflanzen?”, Gesellschaft für Pflanzenzüchtung, Braunschweig 18. - 19. Mai 2022

Stefanie Reim, Virginia Maß, Michael Pflanz, Martin Geyer, Johannes Seidl-Schulz, Matthias Leipnitz, Eric Fritzsche, Henryk Flachowsky, Development of a digital monitoring system for pear rust and fire blight in fruit orchards (MONIQUA), XXXI. International Horticultural Congress (IHC2022), Angers 15.08.22-19.08.22. DOI: 10.5073/20220720-080922

Maß, Virginia; Reim, Stefanie; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Geyer, Martin; Pflanz, Michael: Entwicklung eines digitalen Überwachungssystems zur Erkennung der Krankheitssymptome von Feuerbrand in Obstanlagen. 55. Gartenbauwissenschaftliche Jahrestagung „KI-Technologie in den Gartenbauwissenschaften - Risiken und Chancen in Wissenschaft und Praxis“, Osnabrück, 1.03.23-03.03.23; doi:10.5073/20230224-083518-0

Maß, Virginia, Pflanz Michael, Alirezazadeh, Pendar, Geyer, Martin Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Reim, Stefanie: Development of a high-throughput monitoring system for fire blight in fruit orchards. 14th European Conference on Precision Agriculture (ECPA 2023) in Bologna, Italy, 02.07.2023 - 06.07.2023 https://www.ecpa2023.it/wp-content/uploads/2023/07/ECPA-2023-Book-of-Abstracts-Posters.pdf, S. 179-180)

Maß, Virginia; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Geyer, Martin; Pflanz, Michael; Reim, Stefanie: Development of a digital monitoring system for fire blight in fruit orchards, XVI EUCARPIA Symposium on Fruit Breeding and Genetics. Dresden: 11.09.2023 - 15.09.2023, https://www.ishs.org/symposium/742

Tagungsbeiträge:

Reim, Stefanie; Maß, Virginia; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Geyer, Martin; Pflanz, Michael: Entwicklung einer Hochdurchsatz Phänotypisierungsmethode für den europäischen Birnengitterrost unter Verwendung von UAV-basierten RGB-Bildern. Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft e.V.. DGG-Proceedings: Short Communications of the DGG and BHGL Annual Conference 2023, Osnabrück, Germany. Heft7 Band 11. Seite(n): 1 – 8. 10.5288/dgg-pr-11-07-sr-2023

Maß, Virginia; Reim, Stefanie; Alirezazadeh, Pendar; Seidl-Schulz, Johannes; Leipnitz, Matthias; Fritzsche, Eric; Geyer, Martin; Pflanz, Michael: Entwicklung eines digitalen Überwachungssystems zur Erkennung der Krankheitssymptome von Feuerbrand in Obstanlagen. Deutsche Gartenbauwissenschaftliche Gesellschaft e. V. DGG-Proceedings: Short Communications of the DGG and BHGL Annual Conference 2023, Osnabrück, Germany. Seite(n): 1 – 5. 10.5288/dgg-pr-11-09-vm-2023.

Reim, Stefanie; Pflanz, M.; Maß, V.; Geyer, M.; Seidl-Schulz, J.; Leipnitz, M.; Fritzsche, Eric; Flachowsky, Henryk. Development of a digital monitoring system for pear rust and fire blight in fruit orchards. International Society for Horticultural Science (ISHS). XXXI International Horticultural Congress (IHC2022): III International Symposium on Mechanization, Precision Horticulture, and Robotics: Precision and Digital Horticulture in Field Environments. Seite(n): 291 – 298. Doi: 10.17660/ActaHortic.2023.1360.35

Reim, Stefanie; Maβ, V.; Alirezazadeh, P.; Seidl-Schulz, J.; Leipnitz, M.; Fritzsche, Eric; Geyer, M.; Pflanz, M. Establishment of a UAV-based phenotyping method for European pear rust in fruit orchards. Precision agriculture ’23: Papers presented at the 14th European Conference on Precision Agriculture; Bologna, Italy, 2-6 July 2023. Seite(n): 611 – 617. Doi:10.3920/978-90-8686-947-3_77.