

# Abschlussbericht

## **„Verminderung des Pestizideinsatzes durch Entwicklung eines sensorbasierten Monitoringsystems zur Ermittlung des Befallsverlaufs von Kirschessigfliegen im Wein- und Obstbau“**

gefördert unter dem Aktenzeichen 35936/01 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Laufzeit: 01.01.2021 – 30.06.2024

durchgeführt von: 3WIN Maschinenbau GmbH  
An der Schurzelter Brücke 11  
52704 Aachen

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz  
Breitenweg 71  
67435 Neustadt an der Weinstraße

MABRI.VISION GmbH  
Dennewartstr. 25  
52068 Aachen

## Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az

**35936/34/0**

Referat

Fördersumme

**296.992,00€**

## Antragstitel

**„Förderinitiative Pestizide: Verminderung des  
Pestizideinsatzes durch Entwicklung eines  
sensorbasierten Monitoringsystems zur Ermittlung des  
Befallsverlaufs von Kirschessigfliegen im Wein- und  
Obstbau“**

## Stichworte

Drosophila, Monitoring

Laufzeit

Projektbeginn

Projektende

Projektphase(n)

**3 Jahre****01.01.2021****30.06.2024****1**

Zwischenberichte

17.12.2021

05.01.2023

## Bewilligungsempfänger

3win Maschinenbau GmbH  
An der Schurzelter Brücke 11  
52074 Aachen

Tel 0241/943233-0

Fax 0241/943233-30

Projektleitung  
Dagmar Wirtz

Bearbeiter  
Daniel Kaußen

## Kooperationspartner

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinpfalz  
Breitenweg 71  
67435 Neustadt

MABRI.VISION GmbH  
Dennewartstr. 25

52068 Aachen

## **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Die Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) (KEF) ist seit 2011 in Deutschland ein bedeutsamer Schädling im Wein- und Obstbau. Die Fliege befällt heranreifende und reife Beeren und wird daher insbesondere kurz vor der Ernte zu einem Problem für viele Landwirte. Da derzeit noch kein geeignetes Fallensystem zum effektiven Massenfang verfügbar ist, muss jedes Jahr kurzfristig entschieden werden, ob eine frühe Ernte oder der Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln vorzuziehen ist. Wichtig bei der Entscheidungsfindung sind vor allem die jeweils aktuellen KEF-Populationszahlen in Verbindung mit den Wetterprognosen bis zum Erntezeitpunkt, die die Entwicklung der Kirschessigfliegenpopulation stark beeinflussen.

Die Beobachtung der Populationsgröße und die Feststellung, ob und wann der Schädling in eine Anlage einfliegt, stellt somit ein wichtiges Instrument im Umgang mit der Kirschessigfliegenproblematik dar.

Derzeit kann die Populationsentwicklung mit Hilfe von Monitoringfallen beobachtet werden. Hierbei handelt es sich um sogenannte Becherfallen, die mit einem speziellen Lockstoff befüllt werden. Die dadurch angelockten Kirschessigfliegen landen in der Falle, deren Inhalt anschließend vom Anwender i.d.R. mit Hilfe einer Lupe angeschaut werden muss. Da diese Methode recht umständlich, nicht für jedermann einfach durchführbar, somit fehleranfällig und zudem mit einem hohen Zeitaufwand versehen ist, scheuen viele Winzer und Obstbauern diesen Schritt. Das Feststellen der Flugzahlen innerhalb der Anlage zeigt jedoch an, ab welchem Zeitpunkt ein Befall der Früchte möglich ist und ab wann weiterführende Maßnahmen notwendig werden.

Um den Landwirten das Monitoring und folglich die Entscheidungsfindung einer ggf. notwendig werdenden Pflanzenschutzmaßnahme oder einer vorgezogenen Ernte zu erleichtern, soll eine sensorbasierte Monitoringfalle entwickelt werden. Hierfür dient die vielerorts in bestehenden Monitoringprogrammen genutzte Becherfalle als Grundlage. Diese wird mit einer Sensorik versehen, welche die Anzahl der gefangenen Insekten quantitativ auswerten kann, so dass in Echtzeit eine Datengrundlage für die aktuelle Insektenbelastung verfügbar ist.

## **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

1. Ermittlung des optimalen Werkstoffs und des Produktionswegs zur Herstellung eines witterungsfesten Fallengehäuses inklusive Lackierung des Rahmens
2. Wiederholte Anpassungen des Fallengehäuses entsprechend dem jeweiligen Entwicklungsstand der technischen Einheit
3. Konstruktion, Entwicklung und Produktion der technischen Einheit inklusive Kameramodul, Beleuchtungseinheit, Datenübermittlung und Energieversorgung sowie stetige Testungen und Modifikationen des laufenden Systems
4. Ermittlung eines kameratauglichen Köderlockstoffs
5. Erfassung der Fängigkeit und des Einflugzeitpunktes der Fallenprototypen
6. Ermittlung der optimalen Einfluglochgröße
7. Überprüfung der Funktionstüchtigkeit, der Funktionsdauer und der Witterungsbeständigkeit der Fallen sowie einzelner Fallenkomponenten
8. Entwicklung einer Software zur automatisierten Identifikation der gefangenen Kirschessigfliegen (KI-basierte Software)
9. Anlernen der KI-basierten Identifikationssoftware

## **Ergebnisse und Diskussion**

1. Als passender, äußerst witterungsbeständiger Werkstoff stellte sich Nylon heraus, das im 3D-Druck SLS-Verfahren hergestellt wurde. Eine rote Farblackierung verstärkte die Witterungsbeständigkeit zusätzlich.
2. Die Modifikationen der technischen Einheit führten zu parallelen Anpassungen des Fallengehäuses, da dies Schutz vor mechanischen sowie witterungsbedingten Einflüssen bot und die Stabilität der technischen Einheit gewährleisten musste.
3. Die umfassendsten Arbeiten erfolgten an der technischen Einheit. Bauteile wurden entsprechend der Anforderungsanalyse an die Technik ausgewählt, aufeinander abgestimmt

und ausgerichtet. Als zeitlich aufwändig erwiesen sich die wiederholt notwendigen Fehlersuchen im Zusammenspiel der einzelnen Komponenten.

4. Der fängigere DroskiDrink erwies sich als kameratauglich und wurde als Köderflüssigkeit beibehalten.
5. Der Fallenrahmen führte nicht zu einer starken Reduktion der Fängigkeit bzw. zeitlichen Verzögerung des Ersteinflugs in die Falle
6. Die Einfluglochgröße von 2,0 mm im Vergleich zu 2,5 mm wies das bessere Verhältnis gefangener Kirschessigfliegen vs. Beifang auf. Die Ermittlung einer Zwischengröße von 2,3 mm fand nur im geringen Umfang statt und führte zu keinen aussagefähigen Ergebnissen.
7. Die Funktionsbeständigkeit der Fallen erwies sich über einen längeren Zeitraum als sehr anfällig. Neben Funktionsabbrüchen durch Kurzschlüsse, ausgelöst durch eindringende Feuchtigkeit, waren auch nicht regelkonforme Bauteile verantwortlich für das Herauslösen der Batterien. Diese Problematik, ebenso wie das Eindringen von Insekten ins Falleninnere konnte erst durch das Einkleben des Fangbehälters in den Fallenrahmen gelöst werden.
8. Die zu übertragende Datenmenge erwies sich als zu groß, was zur Reduktion der Bildqualität führte, um die Kosten der Fallen gering zu halten. Die Übertragung des Bildmaterials auf einen Server konnte letztlich nicht abschließend gelöst werden, weshalb der Zwischenschritt über die Speicherung des Bildmaterials auf einer SD-Karte erfolgte. Dies war notwendig, um die Softwarelösung entwickeln zu können.
9. Durch händisches Markieren der signifikanten Bildstrukturen wurde mit dem Anlernen des KI-basierten Algorithmus begonnen. Zur vollständigen und sicheren Identifikation ist jedoch ein sehr großer Trainingsumfang notwendig, der im Rahmen des Projekts nicht mehr geleistet werden konnte.

### Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Im Rahmen von Führungen diverser Besuchergruppen mit unterschiedlichem Hintergrund sowie Gästen aus der Politik wurde das Projekt am DLR Rheinland vorgestellt. Im Rahmen der Pflanzenschutztagung 2023 in Göttingen wurde ein Posterbeitrag geleistet, in dem auf die Inhalte und den damaligen Entwicklungsstand Bezug genommen wurde. Zudem findet das Projekt regelmäßig Erwähnung im Fachschulunterricht für Weinbau-Wirtschaftler und dem Dualen Studiengang „Weinbau und Önologie“ am Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Rheinland. Das Projekt wurde zudem auf der Homepage der 3Win Maschinenbau GmbH und Social-Media-Kanälen vorgestellt. Über lokal ausgehängte Plakate wurden Gäste der 3Win Maschinenbau GmbH ebenfalls über das Projekt informiert.

### Fazit

Die vielfältigen Umwelt- bzw. Witterungseinflüsse warfen im Laufe des gesamten Projekts diverse Problematiken auf, die die Funktionstüchtigkeit der Falle grundlegend negativ beeinflussten. Insbesondere das Thema Feuchtigkeit im Falleninneren führte zu starken Verzögerungen in der weiteren Fallenentwicklung. Durch zielgerichtete Lösungsansätze konnte in vielen Problemfällen zügig ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht werden. Die Datenübertragung über einen Server konnte bis zuletzt nicht gelöst werden. Eine Notlösung mittels verbauter SD-Karten lies zunächst die KI-basierte Erstellung eines Algorithmus zu. Diese konnte aufgrund des immensen Umfangs in der verbleibenden Projektzeit jedoch nicht abgeschlossen werden. Der derzeitige Stand der Fallenentwicklung zeigt somit in einigen Bereichen eine sehr gute und zügige Entwicklung auf, insbesondere im Bereich Datentransfer konnte jedoch noch keine finale Lösung gefunden werden. Die KI-basierte Erkennungssoftware der Fliegen besteht im Ansatz, benötigt jedoch noch umfassende Datenmengen bis zur Finalisierung.

## **Abbildungsverzeichnis**

|                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 1: männliche Kirschessigfliege mit schwarzen Flügelflecken (links) und weibliche KEF ohne Flügelflecke (rechts).....                                                                                               | 9  |
| Abb. 2: Ursprüngliche Köderfalle .....                                                                                                                                                                                  | 10 |
| Abb. 3: Erste schematische Darstellung der digitalisierten Köderfalle.....                                                                                                                                              | 10 |
| Abb. 4: Fallenhalterung (Typ „blau“) aus Photopolymer-Resin mit ursprünglicher Köderfalle .....                                                                                                                         | 15 |
| Abb. 5: Fallenhalterung (Typ „grau“) aus Nylon mit ursprünglicher Köderfalle .....                                                                                                                                      | 15 |
| Abb. 6: Lockstoffvergleich im Obstba; links: Köderfalle mit „Apfelessig“, rechts: Köderfalle mit „Droski Drink“ .....                                                                                                   | 16 |
| Abb. 7: Ausgewähltes Kameromodul ESP32-CAM.....                                                                                                                                                                         | 17 |
| Abb. 8: Bilderergebnisse der ersten Kameraanordnung des Prototyps 1 mit unscharfem Resultat. Links: in vermischten Zustand in der gesamten Flüssigkeit, rechts: am Behälterboden abgesetzt .....                        | 18 |
| Abb. 9: Entwicklung des elektronischen Innenlebens der Falle mit V1 (links) bis V4 (rechts).....                                                                                                                        | 21 |
| Abb. 10: Zwei Modelle mit unterschiedlichen Schablonen zur Bohrung der Einfluglöcher .....                                                                                                                              | 23 |
| Abb. 11: ausgediente Rahmenmodelle mit roter Lackierung.....                                                                                                                                                            | 24 |
| Abb. 12: In einer Hecke platzierte Falle mit Rahmen zu Beginn des Versuchs (links) und in angrenzender Rebanlage zur Untersuchung des Beifangs (rechts) .....                                                           | 25 |
| Abb. 13: Fangzahlen der Kirschessigfliegen (grün), anderen Drosophiliden (blau) und diversen Arthropoden (rot) in einer Heckenfalle mit 2,0 mm Einfluglochgröße mit Fallenhalterung (oben) und ohne Rahmen (unten)..... | 26 |
| Abb. 14: Laboraufnahmen mit klarer Fangflüssigkeit und optimaler Ausleuchtung mit Kameraanordnung von unten .....                                                                                                       | 28 |
| Abb. 15: Aufnahmen des Becherbodens unter realistischeren Bedingungen als bei Abb. 13.....                                                                                                                              | 28 |
| Abb. 16: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse des Auswertalgorithmus auf dem bearbeiteten Bild.....                                                                                                                 | 29 |
| Abb. 17: Darstellung der Steuerelektronik der Falle ohne angeschlossene Akkus.....                                                                                                                                      | 33 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abb. 18: Überprüfung der Funktionstüchtigkeit mittels eines Lichtsignals, hier:<br>Funktionstest im Labor .....                                                                                                                                                                        | 33 |
| Abb. 19: Prototyp der digitalen Monitoringfalle mit Sonnen- bzw.<br>Regenschutzdeckel .....                                                                                                                                                                                            | 34 |
| Abb. 20: Am Stickel haftende Magnethalterung mit daran befestigter<br>Monitoringfalle .....                                                                                                                                                                                            | 34 |
| Abb. 21: Prototyp mit Sonnen-/ Regenhaube im Obstbau. Die Anbringung erfolgt<br>über das Bindeband .....                                                                                                                                                                               | 35 |
| Abb. 22: Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der<br>Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten,<br>automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: KEF männlich, Blau:<br>Fliegenansammlung .....                           | 36 |
| Abb. 23: Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der<br>Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten,<br>automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: männliche KEF, Blau:<br>Fliegenansammlung .....                          | 37 |
| Abb. 24: Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der<br>Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten,<br>automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: Männliche KEF, Blau:<br>Fliegenansammlung .....                          | 37 |
| Abb. 25: lackierter Rahmen und ursprünglicher Fangbehälter nach 1,5 Jahren im<br>Freiland: Altrahmen mit unbeschädigter roter Lackierung (links) daneben stark<br>verschmutzte ursprüngliche Becherfalle; aktuell genutztes Fanggefäß mit nur<br>leichten Vergilbungen (rechts). ..... | 39 |
| Abb. 26: Fallenaufhängung in den Rebanlagen zur Untersuchung der Lochgröße<br>2,0 mm vs. 2,3 mm am Beispiel Cabernet Dorsa .....                                                                                                                                                       | 39 |

## Inhaltsverzeichnis

|       |                                                                     |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Einleitung & Hintergrundinformationen .....                         | 9  |
| 2     | Erstes Projektjahr .....                                            | 10 |
| 2.1   | Ablauf – Übersicht 1. Projektjahr – grobe Arbeitsschritte .....     | 10 |
| 2.2   | Ergebnis Anforderungsanalyse .....                                  | 10 |
| 2.3   | Auswahl der technischen Bauteile, Materialien, Methoden .....       | 11 |
| 2.3.1 | Auslegung der Köderfalle .....                                      | 11 |
| 2.3.2 | Auswahl Sensor .....                                                | 12 |
| 2.3.3 | Fallenrahmen/Fallengehäuse .....                                    | 14 |
| 2.4   | Labor- und Freilanduntersuchungen.....                              | 15 |
| 2.4.1 | Freilanduntersuchungen im Obst- und Weinbau.....                    | 15 |
| 2.4.2 | Sich daraus ergebende Erkenntnisse .....                            | 16 |
| 2.4.3 | Labortests des Prototypen I.....                                    | 17 |
| 2.4.4 | Daraus resultierende Erkenntnisse.....                              | 18 |
| 2.5   | Fazit aus dem ersten Projektjahr .....                              | 19 |
| 3     | Zweites Projektjahr .....                                           | 20 |
| 3.1   | Ablauf – Übersicht 2. Projektjahr – grobe Arbeitsschritte .....     | 20 |
| 3.2   | Modifikationsbedingte Neuansforderungen .....                       | 20 |
| 3.3   | Modifikation der technischen Bauteile, Materialien, Methoden .....  | 20 |
| 3.3.1 | Modifikationen der technischen Komponenten .....                    | 20 |
| 3.3.2 | Modifikationen des Rahmenmodells.....                               | 22 |
| 3.3.3 | Bestimmung der Einfluglochgröße.....                                | 23 |
| 3.3.4 | Gehäuselackierung .....                                             | 24 |
| 3.4   | Labor- und Freilanduntersuchungen.....                              | 24 |
| 3.4.1 | Freilanduntersuchungen im Obst- und Weinbau.....                    | 24 |
| 3.4.2 | Labortests des digitalen Prototypen I .....                         | 28 |
| 3.4.3 | Daraus resultierende Erkenntnisse.....                              | 29 |
| 3.5   | Fazit aus dem zweiten Projektjahr.....                              | 30 |
| 4     | Drittes Projektjahr + Projektverlängerung .....                     | 32 |
| 4.1   | Ablauf – Übersicht 3. Projektjahr – grobe Arbeitsschritte .....     | 32 |
| 4.2   | Weiterführende Modifikationen .....                                 | 32 |
| 4.2.1 | Modifikationen der technischen Komponenten .....                    | 32 |
| 4.2.2 | Modifikationen zur verbesserten Datenerhebung in Feldversuchen..... | 33 |
| 4.2.3 | Modifikationen des Rahmenmodells.....                               | 34 |
| 4.2.4 | „Regenhaube“ / „Sonnendach“ .....                                   | 34 |

|       |                                                                                                              |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.5 | Fallenbringung im Weinbau .....                                                                              | 34 |
| 4.2.6 | Erkenntnisse aus dem Freiland .....                                                                          | 35 |
| 4.2.7 | Entwicklung der Erkennungssoftware.....                                                                      | 35 |
| 4.2.8 | Auswertung der Messdaten.....                                                                                | 36 |
| 4.3   | Funktionsüberprüfung im Freiland .....                                                                       | 37 |
| 4.3.1 | Daraus gewonnene Erkenntnisse:.....                                                                          | 38 |
| 4.3.2 | Endabnahme Lackierung des Fallengehäuses .....                                                               | 38 |
| 4.3.3 | Einfluglochgröße .....                                                                                       | 39 |
| 4.4   | Freilanduntersuchungen.....                                                                                  | 40 |
| 4.4.1 | Freilanduntersuchungen im Obst- und Weinbau.....                                                             | 40 |
| 4.5   | Fazit aus dem dritten Projektjahr .....                                                                      | 40 |
| 5     | Bildliche Darstellung der chronologischen Entwicklung der digitalen Monitoringfalle in grober Übersicht..... | 42 |

# 1 Einleitung & Hintergrundinformationen

Seit 2011 ist die Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) (kurz: KEF) in Deutschland präsent und tritt seither immer wieder als ein bedeutsamer Schädling im Wein- und Obstbau in Erscheinung. Die weiblichen Fliegen legen ihre Eier in reife, aber auch heranreifende Früchte und beschädigen dabei. Daher werden sie insbesondere kurz vor der Ernte zu einem Problem für viele Landwirte. Aus dem Ei schlüpft die Larve, die sich in nur wenigen Tagen durch das Fruchtfleisch frisst. Neben dem Schaden durch die Larve selbst, können durch die Verletzung der Fruchthaut Sekundärpathogene (Essigbakterien, Pilze u.a.) in die Frucht eindringen, was bei entsprechender Feuchtigkeit, durch umgreifende Fäulnis letztlich bis zu Totalausfällen führen kann. Eine wirkungsvolle Bekämpfung ist nach wie vor schwierig, da noch keine effektiven, umweltschonenden Bekämpfungsmethoden verfügbar sind. Somit kann bei Befall nur zwischen einem vorzeitigen Erntetermin und einem Insektizideinsatz abgewogen werden. Wichtig bei der Entscheidungsfindung sind vor allem die jeweils aktuellen Populationszahlen der Fliege in Verbindung mit den Wetterprognosen bis zum Erntezeitpunkt, da diese die Entwicklung der Kirschessigfliegenpopulation stark beeinflussen. Die Einschätzung der Populationsgröße und des daraus resultierenden Befallsdrucks, sowie die Feststellung, ob und wann der Schädling in eine Anlage einfliegt, stellen somit ein wichtiges Instrument im Umgang mit der Kirschessigfliegenproblematik und ihrer Bekämpfung dar.

Bisweilen kann die Populationsentwicklung mit Hilfe von manuell auszuwertenden Monitoringfallen (auch Köderfallen genannt) durchgeführt werden. Hierbei handelt es sich um Becherfallen, die mit einem speziellen Lockstoff befüllt werden. Angelockte Kirschessigfliegen krabbeln durch kleine Öffnungen ins Innere der Falle, wo sie letztlich in der Flüssigkeit landen und ertrinken. Der Anwender sollte in regelmäßigen Zeitabständen, mindestens einmal wöchentlich, den Inhalt der Falle mit Hilfe einer Lupe sichten und die männlichen Kirschessigfliegen auszählen. Die Männchen sind anhand eines schwarzen Flügelfleckes



Abb. 1: männliche Kirschessigfliege mit schwarzen Flügelflecken (links) und weibliche KEF ohne Flügelflecke (rechts)

recht einfach von allen anderen Vertretern der Gattung *Drosophila* zu unterscheiden (Abb. 1). Da diese Methode recht umständlich, nicht für jedermann durchführbar und zudem recht fehleranfällig und mit einem hohen Zeitaufwand versehen ist, scheuen viele Winzer und Obstbauern diesen Schritt. Das Feststellen der Flugzahlen innerhalb der Anlage ist bisher jedoch der beste Hinweis, ab welchem Zeitpunkt ein Befall der Früchte möglich ist und ab wann weiterführende Maßnahmen notwendig werden.

Um den Landwirten das Monitoring und folglich die Entscheidungsfindung einer ggf. notwendig werdenden Pflanzenschutzmaßnahme oder einer vorgezogenen Ernte zu erleichtern, sollte eine sensorbasierte Monitoringfalle entwickelt werden. Die bestehende manuelle Becherfalle (Köderfalle) dient hierbei als Grundlage, auf der die digitalisierte Falle aufgebaut werden sollte. Sie wird mit einer Sensorik versehen, welche die Anzahl der gefangenen Insekten quantitativ auswerten kann, so dass in Echtzeit eine Datengrundlage für die aktuelle Insektenbelastung verfügbar ist.

## 2 Erstes Projektjahr

### 2.1 Ablauf – Übersicht 1. Projektjahr – grobe Arbeitsschritte

Die Arbeitsplanung sah zu Projektbeginn eine detaillierte Anforderungsanalyse vor, die durch die drei Projektpartner gemeinsam erstellt wurde. Im ersten Projektjahr sollte ein Prototyp konstruiert, hergestellt und unter Freilandbedingungen getestet werden. Für die erste Konstruktion waren die Auswahl eines Sensorsystems, bestehend aus diversen Einzelkomponenten sowie des Gehäusematerials mit entsprechendem Herstellungsverfahren und die Entwicklung des Fallenrahmens (Gehäuse) notwendig. Die Fertigstellung des Prototyps 1 verzögerte sich jedoch und konnte daher nicht mehr in der ersten Vegetationsperiode im Freiland untersucht werden. Fortschrittsbedingt wurden die im Projektplan durch das DLR vorgesehenen Laborversuche des Prototyps 1 bereits während der Entwicklungsphase durch MABRI.VISION GmbH durchgeführt. Stattdessen wurden einzelne Fallenbestandteile (z.B. mehrere Modelle des Fallenrahmens) direkt nach der Fertigstellung in diversen Obstkulturen und an verschiedenen Rebsorten getestet. Im Projektplan nicht vorgesehen waren die Untersuchungen verschiedener Köderflüssigkeiten, die in Hinsicht auf ihre Kameratauglichkeit verglichen wurden. Nach Beendigung der ersten Freilandsaison erfolgte die Evaluation der bisherigen Ergebnisse durch alle Beteiligten. Im allseitigen Einverständnis sollte eine vollständige Neukonzeption der Falle mit einer von unten angesetzten Kameraperspektive vorgenommen werden. Diese Neuordnung führte weitere Erfordernisse in der Neugestaltung mit sich, wie z.B. andere Fangbehälter, veränderte Lichtgebung und ein an die Modifikationen angepasstes Fallengehäuse.

### 2.2 Ergebnis Anforderungsanalyse

Als Grundlage für das erste digitalisierte Fallenmodell diente die sogenannte Köderfalle („Becherfalle“) (Abb. 2). Sie ist seit 2012 als manuelle Monitoringfalle am DLR im Einsatz. Daher lag bereits zum Projektbeginn sowohl eine sehr gute Datengrundlage sowie Einschätzung der Fängigkeit dieser Ausgangsform vor. Auf dieser ursprünglichen Köderfalle beruhend, wurde ein erstes schematisches Konstrukt einer digitalisierten Monitoringfalle entworfen (Abb. 3).



Abb. 2: Ursprüngliche Köderfalle

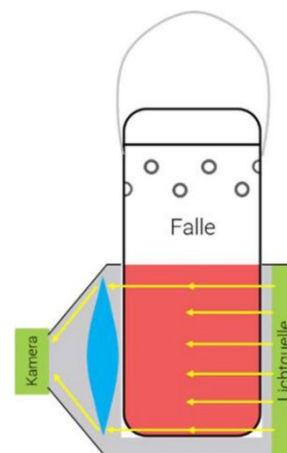


Abb. 3: Erste schematische Darstellung der digitalisierten Köderfalle

Die zum Projektstart durchgeführte Anforderungsanalyse unterteilte sich in die technischen Anforderungen (Kamerasystem, Energieversorgung, Softwarelösung) und baulichen Voraussetzungen (Gehäuse, Fangbehälter, Befestigung) unter Berücksichtigung der biologischen Ansprüche und Verhaltensweisen der Kirschessigfliegen.

Die Anforderungsanalyse ergab, dass die technischen Bauteile, Materialien und die Verarbeitung besonders im Hinblick auf folgende Punkte ausgewählt werden müssen:

- Größe: Die technischen Bauteile sollten möglichst klein aufgebaut sein, damit ein mobiler Einsatz erleichtert wird.
- Lebensdauer / Stromverbrauch: Durch die eingeschränkte Stromversorgung am Einsatzort ist eine möglichst verbrauchsarme Hardware zu bevorzugen, das System soll für mind. zwei Wochen autark fungieren können.
- Wetterfestigkeit: Durch die Aussetzung im Freien müssen die technischen Bauteile falls möglich bereits gekapselt beschafft werden oder geschützt verbaut werden.
- Preis: Um einen späteren großflächigen und wirtschaftlichen Einsatz im Feld zu ermöglichen sollen die Komponentenkosten möglichst gering bleiben.
- Materialien: Die Ausgangsstoffe der Fallenhalterung müssen den Umwelteinflüssen gegenüber langfristig beständig sein und sollen den technischen Bauteilen möglichst zusätzlichen Schutz vor mechanischen Einflüssen geben.
- Herstellung: Die Fallenhalterung soll aus möglichst abbaubarem Kunststoff bestehen, um ein umweltgerechtes Produkt zu entwickeln. Das Herstellungsverfahren sollte entsprechend so gewählt werden, dass es eine sichere Verarbeitung des Materials ermöglicht.
- Funktionalität: Das Rahmendesign darf nicht zu einer verminderten Fängigkeit der Kirschessigfliegen führen, muss jedoch eine hohe Stabilität und Tragfähigkeit aufweisen.
- Handhabung: Der Anwender muss die gesamte Falle leicht anbringen, entfernen und den Fangbehälter regelmäßig leicht wechseln können. Ein Akku bzw. Batterien sollten leicht vor Ort austauschbar sein.

Die Anforderungsanalyse ergab zudem, dass die Einflugs- und Befallsverläufe im Freiland in diversen Obstkulturen und verschiedenen Rebsorten durchgeführt werden sollten. Zwei Lockstoffe, die sich erfahrungsgemäß in ihrer Fängigkeit der Kirschessigfliegen wie auch des Beifangs unterscheiden, sollten direkt miteinander verglichen werden, um die für das sensorische System passendere Substanz auswählen zu können.

Nach Fertigstellung der Fallenrahmen sollten diese miteinander in ihren Eigenschaften verglichen und einer Falle ohne Halterung gegenübergestellt werden. Durch den direkten Vergleich sollten sowohl die Handhabung, Witterungsbeständigkeit wie auch Unterschiede in der qualitativen, quantitativen und zeitlichen Fängigkeit (KEF und Beifänge) für ein optimales Fallendesign ermittelt werden.

## **2.3 Auswahl der technischen Bauteile, Materialien, Methoden**

### **2.3.1 Auslegung der Köderfalle**

Für die elektrische Versorgung des Systems wurde ein Akku-Paket ausgesucht, welches die notwendige Betriebsspannung und eine ausreichende Leistungsfähigkeit aufweist. Für den

Betrieb notwendige, kleinere Zusatzkomponenten wie DC/DC-Wandler und Transistoren wurden ausgelegt, angeschlossen und im Labor getestet.

### 2.3.2 Auswahl Sensor

Um den vorab festgelegten Anforderungen zu entsprechen, wurden die einzelnen technischen Bauteile des sensorischen Systems mit folgenden Eigenschaften ausgewählt:

| <b>Formulierte Anforderungen</b>                                             | <b>Umsetzung Prototyp 1</b>                                                                                                                                                                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Beleuchtung mit geringem Energieeinsatz und verhältnismäßig hoher Helligkeit | Die seitliche Lichtgebung führte nicht zur zufriedenstellenden Ausleuchtung des gesamten Falleninhalts.                                                                                                                                                              |
| Synchronisation der Beleuchtung mit Kamera muss möglich sein                 | Die eingesetzte Beleuchtung kann über die Elektronik ein und ausgeschaltet werden, sodass Bildaufnahme und Beleuchtung synchron sind.                                                                                                                                |
| Auswahl der technischen Bauteile nach den Anforderungen an den Sensor        | Die benötigten Bauteile wurden ausgewählt und entsprechend umgesetzt. Bei der Steuerelektronik wurden einige Verbesserungspotenziale für das nächste Projektjahr auffällig.                                                                                          |
| Technische Komponenten müssen witterungsfest sein                            | Wetterfestigkeit: Die Falle musste von oben und der Seite gekapselt sein, sensible elektronische Teile wurden luftdicht eingeschlossen um Niederschlag und Kondensation zu vermeiden.                                                                                |
| Möglichst wenige elektrische Verbraucher in der Falle                        | Die elektrischen Verbraucher wurden auf Kamera, DC/DC-Wandler und Beleuchtung beschränkt.                                                                                                                                                                            |
| Elektrische Verbraucher möglichst leistungsarm                               | Bei der Auswahl der elektrischen Verbraucher wurde darauf geachtet, dass die benötigte Leistung gering war. Um zusätzlich den Energieverbrauch zu reduzieren, war die Beleuchtung ein- und ausschaltbar und die Beleuchtungsdauer wurde möglichst kurz gehalten.     |
| Möglichkeit zum „Standby“ oder „Sleep“ der elektrischen Komponenten          | Das ausgewählte Kameramodul verfügt über einen Deep-Sleep Modus, in dem ein Großteil der Funktionen deaktiviert und damit der Energieverbrauch reduziert wird. Für die Bildaufnahme wird der Deep-Sleep Modus kurzfristig beendet und im Anschluss wieder aktiviert. |
| Übertragung der Daten soll möglich sein                                      | Keine Datenübertragung im Prototyp 1                                                                                                                                                                                                                                 |
| Datenvolumen sollte möglichst klein bleiben                                  | Keine Datenübertragung im Prototyp 1                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Auswahl des Lockstoffs aufgrund der Fängigkeit und physikalischen Eigenschaften im sensorischen System                                                                                                                                                                    | Die Fängigkeit der sensorbasierten Falle sollte durch ein speziell entwickeltes Design des Fallenrahmens unverändert bleiben. Um optische Reize zu bieten, wurden kreisförmige Aussparungen in der Fallenhalterung platziert. Durch diese war der rote Farbstoff der Köderflüssigkeit für die Fliegen sichtbar. Sowohl die Kreisform wie auch die rötliche Farbe selbst stellten optische Reize mit anlockender Wirkung dar. |
| Für die optische Erfassung der Fallen mitsamt des Inhalts ist eine digitale Kamera notwendig, welche zusammen mit einer passenden Abbildungsoptik folgende Kriterien erfüllt: Auflösung von mind. 1 Megapixel, besser 2 oder mehr, damit Einzelheiten noch erkennbar sind | Es wurde ein kleines Kameramodul mit integriertem Controller „ESP32-CAM“ ausgewählt, das eine vollständige Optikeinheit bestehend aus Kamerachip, optischem Abbildungssystem und integrierter Ansteuer- und Auslese-Elektronik beinhaltet. Das Modul verfügte über eine 2 Megapixel Kamera.                                                                                                                                  |
| Bildfeldgröße mind. 50x50 mm, damit die komplette Falle erfasst werden kann                                                                                                                                                                                               | Bildfelder von etwa 50 mm x 60 mm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Arbeitsabstand max. 100 mm, ein größerer Arbeitsabstand verhindert das praktische Design der Falle für den Feldeinsatz                                                                                                                                                    | Das Kameramodul ließ Abbildungen ab einer Entfernung von ca. 50-70 mm zu.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Baugröße von max. 50 mm x 50 mm, auch hier um die Baugröße des Gesamtsystems und seine Handhabungs- und Platzierungsmöglichkeiten für den mobilen Einsatz zu erhalten                                                                                                     | Der Fallenrahmen musste eine kompakte Form haben, aber den technischen Bauteilen genug Platz und Schutz bieten. Der erste Fallenprototyp inklusive des Fallenrahmens und einer eingesetzten Köderfalle wies mit den ca.-Maßen 130mm x 85mm x 80mm eine Größe auf, die sich nicht wesentlich von der ursprünglichen Köderfalle unterschied                                                                                    |
| Gewicht: < 500 g, aber möglichst leicht um Handhabung und Aufhängung im Feld zu vereinfachen                                                                                                                                                                              | Der Prototyp 1 samt Fallenrahmen (Typ Nylon) wies ohne Einsatz des Akku-Packs ein Gewicht von 54,8 g auf; somit war ein Gesamtgewicht von 240-250 g gegeben (Gewicht Kamera: 60 g, Akkus 50 g, restliche Elektronik: ca. 80 g, insg. ~190 g)                                                                                                                                                                                 |
| Leistungsaufnahme: < 50 mW, aber möglichst gering um Betrieb mittels Akku über mehrere Wochen zu ermöglichen                                                                                                                                                              | Funktionstest über 3 Wochen im Akkubetrieb erfolgreich durchgeführt. Entsprechend Leistungsaufnahme < 30 mW                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Spannungsniveau: im Bereich 3,8 – 12 V, so dass kommerzielle Akkus evtl. auch mit Spannungswandlern nutzbar sind                                                                                                                                                          | Es wurden Akkus mit einer Betriebsspannung von 3,7 V und 3000 mAh Kapazität ausgewählt. Während der weiteren Projektlaufzeit wird evaluiert, ob eine Reihenschaltung zur Spannungserhöhung nötig ist oder eine Parallelschaltung zur Kapazitätserhöhung möglich ist.                                                                                                                                                         |

|                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Die Kosten müssen durch möglichst günstige Komponenten, Herstellungsverfahren und eine geringe Datenmenge möglichst niedrig bleiben | Preis: Elektronik-Komponenten und Sensor ~ 60 € (Sensor ~10 €, Funkmodul ~ 10 €, LED + Leistungstransistorschaltung ~ 10 €, Akkus ~ 30 €) zusätzlich der Herstellung und des Fallenrahmens (Material & Produktionskosten des teureren Prototyps lagen bei ~ 400 €). Daher sollte das Gesamtprodukt preislich im Bereich von 150 bis 500 € liegen |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Es wurde ein kleines stromsparendes Kameramodul mit zugehöriger Elektronik entwickelt, welches batteriegestützt offline in regelmäßigen Abständen Aufnahmen des Fangbehälters machen kann und den Inhalt des Fallenbehälters grob auswertet. Darüber hinaus wurden verschiedene Arten der Datenübertragung getestet und einem Leistungsvergleich unterzogen. Als Ergebnis kam heraus, dass die Übertragung per WLAN oder LoRa im realen Anwendungsszenario keine zuverlässige Variante darstellen kann und die Übertragung per GSM die einzig sinnvolle Herangehensweise ist.

### 2.3.3 Fallenrahmen/Fallengehäuse

Nach der Gestaltung des Sensors, bildeten die Maße und die Anordnung aller angedachten technischen Bauteile die Grundlage für die Gehäusekonzeption. Die Anforderungen an die Materialien waren eine hohe Witterungsbeständigkeit sowie eine optimale Herstellbarkeit und Anwenderfreundlichkeit. Die für die Halterung geeigneten und zur Verfügung stehenden Materialien und Bearbeitungsprozesse wurden miteinander abgeglichen und ihre Vorzüge und Nachteile evaluiert. Es bildeten sich zwei favorisierte Rahmenmodelle aus unterschiedlichen Materialien heraus: eines aus Photopolymer-Resin (Abb. 4) und eines aus Nylon (Abb. 5). Für diese Rahmenmodelle wurden werkstoffspezifisch zwei verschiedene 3D-Druck Verfahren ausgewählt, die für den geplanten Anwendungsfall geeignet schienen. Bei den ausgewählten Verfahren handelt es sich um SLS- und SLA-Verfahren. Beide Herstellungsarten weisen eine hohe Produktionsgenauigkeit, sowie eine sehr gute Strapazierfähigkeit der gedruckten Produkte auf. Das Verfahren zum Druck des Fallenrahmens aus Nylon ist das SLS-Verfahren, das niedrige Toleranzen aufweist und Ressourcenschonender gedruckt wird, da das benötigte Material relativ einfach aufbereitet und wiederverwendet werden kann. Ein zweiter Herstellungsprozess zum Druck der Halterung aus Photopolymer-Resin ist das SLA-Verfahren, das im Gegensatz zum SLS-Verfahren bei UV-Strahlung nachhärtet und höhere Toleranzen aufweist, zusätzlich ist eine Aufbereitung des überschüssigen Materials nicht so trivial wie beim SLS-Verfahren.

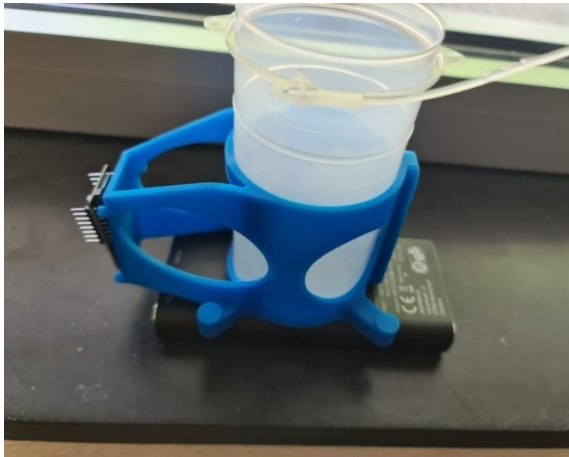


Abb. 4: Fallenhalterung (Typ „blau“) aus Photopolymer-Resin mit ursprünglicher Köderfalle



Abb. 5: Fallenhalterung (Typ „grau“) aus Nylon mit ursprünglicher Köderfalle

Das Polymer-Resin härtet unter UV-Licht zu einem gewissen Maß nach. Daher war zu befürchten, dass es nach einigen Jahren im Freilandeinsatz zunehmend spröde wird und unter Belastung und Beanspruchung bricht. Aus diesem Grund wurde zusätzlich als zweiter Werkstoff das Nylon ausgewählt. Es weist eine erhöhte UV-Licht-Toleranz als das Polymer-Resin auf und sollte entsprechend im Freiland weniger stark nachhärten. Zudem ist das Material etwas flexibler, was auch die Handhabung der gesamten Falle z.B. beim Austausch der Fangbehälter oder der Batterien erleichtern sollte. Beide Materialien und Herstellungsverfahren bringen Fallenrahmen mit einer hohen Stabilität hervor. Die meisten Belastungen und Parameter konnten vorab am PC mittels AutoCad Inventor simuliert werden, was eine zügige Rahmenherstellung begünstigte.

Beide Fallenrahmenmodelle wurden direkt nach ihrer Fertigstellung im Freiland in verschiedenen Rebflächen getestet und miteinander verglichen.

## 2.4 Labor- und Freilanduntersuchungen

### 2.4.1 Freilanduntersuchungen im Obst- und Weinbau

Zu Beginn der Freilanduntersuchungen wurden mit Hilfe der ursprünglichen Becherfallen die zwei Lockstoffflüssigkeiten „Droski Drink“ (DD) und das Gemisch „Apfelessig“ (AE) (Abb. 6) in verschiedenen Obstkulturen miteinander verglichen. Dabei standen sowohl die quantitative Fängigkeit der KEF wie auch des unerwünschten Beifangs im Fokus der Erhebung. Zudem wurde der Zeitpunkt der ersten gefangenen Kirschessigfliegen mit beiden Lockstoffen bestimmt und mit dem ersten Befall in der entsprechenden Kultur in Beziehung gesetzt. Beifänge wurden erhoben und grob identifiziert. Die beprobten Obstkulturen umfassten Süßkirschen, Sauerkirschen, Sauerkirschen „blau“, Rote Johannisbeeren, Schwarze Johannisbeeren, „Sommerhimbeeren“, Herbsthimbeeren und Brombeeren.



*Abb. 6: Lockstoffvergleich im Obstba; links: Köderfalle mit „Apfelessig“, rechts: Köderfalle mit „Droski Drink“.*

Der DroskiDrink erwies sich als kameratauglich und war zudem fängiger für die KEF als der Lockstoff Apfelessig, weshalb er für die weiteren Untersuchungen eingesetzt wurde.

Nach Produktion der ersten Fallenhalterungen (Typ „blau“ und „grau“) wurden diese in verschiedenen Rebsorten (Acolon, Portugieser, Dornfelder, Cabernet Dorsa, Blaufränkisch, Spätburgunder) installiert und in ihren Eigenschaften und ihrer Fängigkeit miteinander verglichen. Hierzu wurde jeweils eine ursprüngliche Köderfalle in die Fallenhalterung Typ „blau“ und „grau“ eingesetzt und einer Köderfalle ohne Halterung zum Vergleich gegenübergestellt. Im Fokus des Vergleichs standen dabei der früheste Einflugzeitpunkt und die quantitative Fängigkeit von Kirschessigfliegen. Auch die Fängigkeit des Beifangs wurde erfasst und verglichen.

#### 2.4.2 Sich daraus ergebende Erkenntnisse

Das erste Projektjahr (2021) war geprägt von langanhaltend hoher Luftfeuchtigkeit und vielen Niederschlagsereignissen. Diese führten zwar vielerorts zu Befallsereignissen durch die KEF und heimischen Essigfliegen, jedoch lag die allgemeine Fängigkeit der Köderfallen trotz der hohen Populationszahlen unter den Werten der Vorjahre zurück. Stattdessen traten Beifänge in den Vordergrund, die in den Jahren des KEF-Monitorings im Weinbau (mit der ursprünglichen Köderfalle) zum Einflugzeitpunkt der KEF eher selten und in geringerer Anzahl gefangen wurden. Eine hohe Beifangrate könnte jedoch die gefangenen KEF im Fangbehälter verdecken und somit die Identifikation erheblich erschweren. Um diesem Risiko besser begegnen zu können, einigten sich alle Projektpartner nach dem Ende der Freilandversuche auf grundlegende Modifikationen des bisherigen Fallendesigns.

Nach den ersten Freilandtests im ersten Projektjahr, stellte sich heraus, dass das Nylon wesentlich bessere Eigenschaften aufweist als das Photopolymer-Resin, bspw. härtete das

Resin bei selbst nicht allzu hoher UV-Strahlung so stark nach, dass es bereits nach wenigen Monaten im Freiland fühlbar spröde und sehr unnachgiebig wurde. Das hatte bereits während der Beprobungen Nachteile beim Wechsel der Fangbehälter. Zudem führte es dazu, dass Schmutz und weitere Ablagerungen vermehrt auf der Materialoberfläche anhafteten. Das Nylon hingegen wies auf Dauer sehr gute Qualitätsmerkmale auf, härtete nicht so stark nach und wurde entsprechend auch nicht spröde oder blass.

Somit wurde das Material des Fallenrahmens Typ „grau“, bestehend aus dem Werkstoff Nylon als wesentlich widerstandfähiger eingestuft und wurde als Gehäusematerial ausgewählt.

#### 2.4.3 Labortests des Prototypen I

Die Wahl fiel auf ein kleines Kameramodul mit integriertem Controller „ESP32-CAM“ (Abb. 7), welcher eine vollständige Optikeinheit bestehend aus Kamerachip, optischem Abbildungssystem und integrierter Ansteuer- und Auslese-Elektronik beinhaltet. Dieses Modul verfügte über eine 2 Megapixel Kamera mit einer Optik, welche Abbildungen ab einer Entfernung von ca. 50-70 mm zulässt mit Bildfeldern von etwa 50 mm x 60 mm. Dazu ermöglicht der Controller eine Steuerung und zeitlich gestaffelte Bildaufnahme, sowie Speicherung und evtl. Übertragung der Daten über ein eingebautes Kurzstrecken-Funkmodul. Für den Testbetrieb ausreichend, bestand die Option, ein weiteres GSM-Modul für die Feldanwendung hinzuzufügen, um die Datenübertragung auf lange Strecken zu erlauben. Das Modul kann mit einer Betriebsspannung von 3,3 V bis 5 V betrieben werden und wiegt 40 g mit Abmessungen von 27 mm x 41 mm x 5 mm. Angaben in der technischen Spezifikation zur Leistungsaufnahme variierten stark je nach Auslastung. Bei wechselnden „Sleep“-Zyklen betrug die Akkulaufzeit über zwei Wochen.

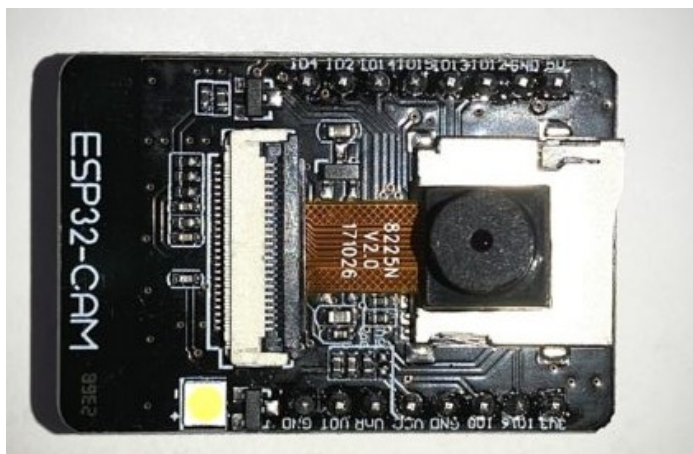


Abb. 7: Ausgewähltes Kameramodul ESP32-CAM

Entwicklungsbegleitend erfolgten zunächst Tests zur Bildaufnahme des entstehenden Prototyps. Mittels externer Leuchten wurden verschiedene Umgebungslichtsituationen hergestellt und die Bildaufnahme sowie Kontrast und Abbildungsqualität im Sensor geprüft. Mehrere präparierte Fangflüssigkeiten, die sich in ihrem Volumen und ihrer Anzahl der enthaltenen Fruchtfliegen voneinander unterschieden, wurden eingesetzt, um die Funktionalität des Prototyps zu ermitteln. Untersucht wurde sowohl die Wiederholbarkeit als auch die Unterscheidbarkeit der verschieden angesetzten Probeflüssigkeiten und deren Inhalte. Problematisch erwies sich insbesondere die klare Abbildung, der sich im gesamten Fangbehälter befindlichen Insekten (Abb. 8).



*Abb. 8: Bildergebnisse der ersten Kameraanordnung des Prototyps 1 mit unscharfem Resultat. Links: in vermischten Zustand in der gesamten Flüssigkeit, rechts: am Behälterboden abgesetzt*

#### 2.4.4 Daraus resultierende Erkenntnisse

Die Labortests ergaben für das ausgesuchte Kameramodul eine an sich gute Bilderfassung und im Zusammenspiel mit der Beleuchtung eine gute Eignung um unabhängig der Außenbedingungen eine wiederholbare und stabile Bildaufnahme zu gewährleisten. In diesem Stadium des Prototyps existierte noch keine fertige Datenauswertung mit der aus den Rohbildern des Systems numerische Daten gewonnen werden konnten. Die Qualität der Rohdaten wurde daher manuell bewertet. Eine Testung des Systems mit den verschiedenen angesetzten Fruchtfliegenmischungen zeigte jedoch, dass die Erfassung nicht optimal war und stellenweise eine Unterscheidung verschiedener Füllzustände Schwierigkeiten bereitete. Die Schärfe der erhaltenen Bilder war nicht zufriedenstellend, da der gesamte innere Fangbehälter abgebildet werden musste, um die KEF abzubilden. Eine Fokussierung auf einzelne Essigfliegen erwies sich daher als schwierig. Die Abbildung der an den Becherboden abgesunkenen Insekten wurde daher als sinnvoller erachtet, was eine vollständige Neukonzeption des digitalen Kamerasystems nach sich zog.

Erste Testläufe des sensorischen Systems im Labor zeigten, dass mehrere Modifikationen an dem Aufbau der technischen Bauteile vorgenommen werden mussten:

- Die Nutzung von Powerbanks war nicht möglich, da diese über eine automatische Abschaltung verfügen. Diese setzt ein, wenn die verwendete Hardware in den „Sleep“-Zustand übergeht, in welchem sie Minuten bis Stunden verbleiben kann. In diesem Zeitraum werden geringe Ströme benötigt um den „Sleep“-Zustand beizubehalten, die Ströme sind aber so gering, dass die Powerbank eine Leistungsabschaltung vornimmt und den Sensor stromlos schaltet woraufhin dieser nicht mehr funktionsfähig ist. Die Versorgung wurde daraufhin auf reguläre Li-Ion-Akkupakete gewechselt. Daraus folgte, dass ebenfalls ein Spannungswandler hinzugefügt werden musste um die notwendigen Betriebsspannungen (5 V) mit den 3,8V-Zellen erreichen zu können.
- Die LED benötigten einen Strom, welcher zu hoch für die digitalen Ausgänge des Kameracontrollers waren. Daher wurde zum Ein- und Ausschalten der LEDs ein Leistungstransistor eingesetzt. Die Anordnung der LED wurde mehrfach umgebaut bis ein

gutes Beleuchtungsergebnis erzielt wurde. Anfangs waren die LED vertikal an der Falle angeordnet, es zeigte sich jedoch, dass mit einer horizontalen Anordnung am oberen Rand der Flüssigkeit ein besseres und kontrastreicheres Signal zu erhalten ist.

## **2.5 Fazit aus dem ersten Projektjahr**

Die Ergebnisse des ersten Projektjahres zeigten deutlich, dass eine grundlegende Neukonzeption der Falle notwendig wurde, um eine gute bildliche Darstellung mit entsprechender Ausleuchtung zu erhalten. Eine Darstellung der gefangenen KEF am Boden des Fangbehälters mit möglichst gleichmäßiger Lichtgebung wurde beschlossen. Diese Neukonzeption zog weitere Neuerungen nach sich, wie z.B. neue Fangbecher und die Konzeption eines gänzlich neuen Fallengehäuses. Der Werkstoff Nylon hatte sich als sinnvoll erwiesen und sollte vorläufig beibehalten werden, die Verwendung eines möglichen weiteren Werkstoffes mit noch besseren Eigenschaften jedoch nicht ausschließen.

### **3 Zweites Projektjahr**

#### **3.1 Ablauf – Übersicht 2. Projektjahr – grobe Arbeitsschritte**

Vor Beginn der zweiten Vegetationsperiode stand die Umsetzung der umfassenden Modifikationen im Fokus. Laut Arbeitsplan sollte im zweiten Projektjahr eine Kleinserie an Fallen hergestellt werden, die anschließend im Labor und Freiland geprüft werden sollten. Die vollständige Neuordnung und Neukonzeption erforderte jedoch mehr Entwicklungszeit bezüglich der technischen Anforderungen, so dass im Laufe des Sommers lediglich zwei Modelle eines Prototyps 2 im Freiland eingesetzt und getestet werden konnten. Die Modifikationen des Gehäuses und die neuen Fangbehälter hingegen konnten bereits ab dem zweiten Frühjahr im Freiland eingehend auf ihre Tauglichkeit hin untersucht werden. Zusätzlich wurde die Optimierung der Fängigkeit durch eine angepasste Lochgröße und unterschiedliche Anzahl sowie Anordnung der Einfluglöcher durchgeführt. Ziel war es, den unerwünschten Beifang möglichst gering zu halten, damit die Identifikation der einzelnen männlichen Kirschessigfliegen im Fangbehälter durch die Softwareerkennung möglich ist. Die kurze Inbetriebnahme der zwei Prototypen im Freiland wies jedoch schnell diverse Problemstellungen auf, die im weiteren Projektverlauf verbessert werden mussten.

#### **3.2 Modifikationsbedingte Neuanforderungen**

Die Kamera zur bildlichen Erfassung des Fangbehälterinhaltes sollte nun unter dem Fangbehälter angeordnet werden, so dass die Bildgebung durch den Becherboden hindurch erfolgen und die auf dem Boden liegenden Insekten besser dargestellt werden konnten. Dies erforderte einen Wechsel der Fangbehälter. Es wurde ein Modell mit transparenterem Kunststoff gewählt, so dass die Kamera mehr Details der gefangenen Insekten erfassen konnte als durch die leicht milchige Seitenwand des alten Fangbehälters. Dadurch wurde auch die Neuauslegung der Positionierung der LED notwendig, die nun am oberen inneren Rand des Fallengehäuses platziert wurde. Die Fängigkeit der neuartigen Fangbehälter wurde ab Beginn der Vegetationsperiode im Freiland mit und ohne Fallenrahmen überprüft und für geeignet befunden.

Aufgrund der Neukonstruktion der elektrischen Komponenten wurde auch die Entwicklung einer neuen Fallenhalterung notwendig. Der Rahmen musste in Form und Größe erneut an die modifizierte Anordnung der technischen Bauteile angepasst werden. Das im Sommer 2021 bereits im Freiland getestete und als witterungsstabil und leicht herstellbar bewertete Nylonpulver stellte dabei weiterhin das Ausgangsmaterial für die neue Fallenhalterung dar. Im Laufe der Saison wurden einige Rahmenmodelle des ersten Nylon-Rahmenmodells mit einem roten Lack überzogen, um einen weiteren optischen Reiz für die Kirschessigfliegen zu bieten. Durch die langfristige Ausbringung der lackierten Fallenrahmen an stark besonnte Plätze, erfolgte die Testung der UV-beständigkeit und Witterungsstabilität.

#### **3.3 Modifikation der technischen Bauteile, Materialien, Methoden**

##### **3.3.1 Modifikationen der technischen Komponenten**

Für die elektrische Versorgung des Systems wurden anstatt der zuvor getesteten Powerbanks klassische Li-Ion-Akkus verwendet, welche die nachgeschaltete Elektronik über einen DC/DC-Wandler mit einer konstanten Spannung versorgten. Die Powerbanks schalteten bei den geringen Strömen schnell die Spannungsversorgung ab, so dass ein Einsatz dieser nicht möglich war. Darüber hinaus wurden neben den zusätzlichen Bauteilen auch einige

Fertigungsmethoden und Verbindungstechniken gewechselt, da sie sich als nicht langzeitstabil erwiesen und teilweise für elektronische Ausfälle verantwortlich waren.

Zusätzlich wurde die Elektronik um ein GSM-Modul erweitert, welches für die Übertragung der Daten auf einen Server zuständig war. Um die geplante Akkulaufzeit von mehr als zwei Wochen weiterhin gewährleisten zu können, musste dazu ebenfalls eine Abschaltmöglichkeit für das GSM-Modul vorhanden sein, da das GSM-Modul auch im Standby-Betrieb zu viel Leistung verbrauchte. Durch die Übertragung der Daten per GSM wurde eine Serverinfrastruktur notwendig, welche auf Betreiberseite die Daten empfängt, auswertet und archiviert. Alle neu gefertigten Demonstratoren wurden im Labor auf ihre Funktion getestet, was zu einer iterativen Verbesserung der Elektronik führte.

Zu Beginn wurde erfasst, in welcher Weise und Reihenfolge die Komponenten für die neue Aufnahmesituation optimal angeordnet werden sollten. Dies umfasste insbesondere den Arbeitsabstand der Kamera, Bildausschnitt des Fangbehälters sowie die Positionierung relativ zum Fangbehälter in Abhängigkeit des Flüssigkeitsspiegels. Veränderungen fanden nicht nur in der Neuordnung der Kamera statt, sondern auch bei der Anbringung des LED-Streifens, der eine verbesserte Ausleuchtung und einen attraktiven Lichtreiz schaffen sollte. Er wurde nun nicht mehr einseitig positioniert, sondern am oberen Rand umlaufend vom Gehäuse. Diese Aspekte sollten eine optimale Bildgebung und die damit verbundene Identifizierung der Kirschessigfliegen im Fangbehälter gewährleisten.

Ebenso wurde iterativ über Labortests die Elektronik weiterentwickelt, wie beispielhaft in der folgenden Abb. 9 gezeigt.

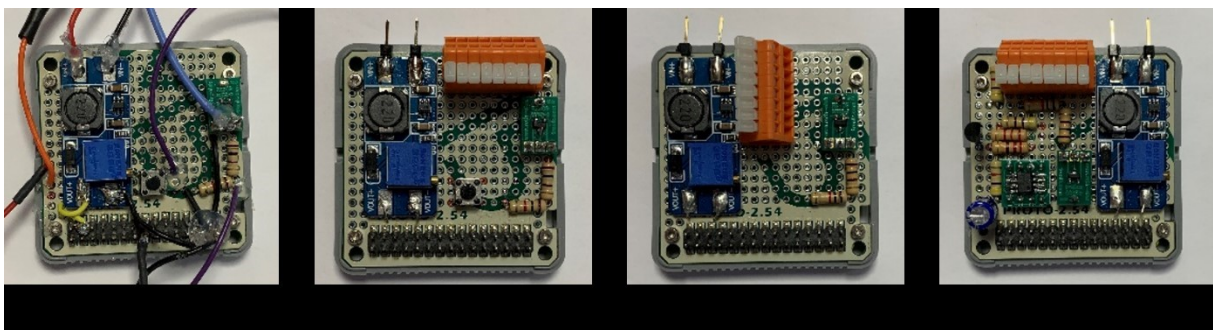


Abb. 9: Entwicklung des elektronischen Innenlebens der Falle mit V1 (links) bis V4 (rechts)

Die Steuer-Platine wurde nach Auswahl des GSM-Moduls auf einem aufsteckbaren Modul entwickelt und gefertigt. Insbesondere eine zusätzliche Transistorschaltung für die Abschaltung des GSM-Moduls sowie ein Kondensator für die hohen Einschaltströme des GSM-Moduls wurden ergänzt. Daneben wurden einige kleinere Änderungen beim DC/DC-Wandler und der Spannungsversorgung des Hauptmoduls vorgenommen, da sich in den Labortests zeigte, dass die Spannungsversorgung in einigen Konfigurationen instabil wurde.

Dies wurde in insgesamt vier Prototyp-Platinen umgesetzt, welche iterativ entwickelt wurden. Im Folgenden sind die Hauptänderungen der verschiedenen Versionen (Abb. 8) kurz erläutert:

- V1: Erste Version der Steuerplatine mit fest verlöteten Kabeln. In der Version stellte sich heraus, dass feste Lötverbindungen der Kabel die Handhabung, sowie nachträgliche Anpassungen erschweren.

- V2: Die fest verlöteten Kabel wurden durch lösbare Klemmverbindungen ersetzt. Bei dieser Version fielen Probleme bei der Ansteuerung des GSM-Moduls auf, die eine weitere Iteration erforderten.
- V3: Verbesserte Ansteuerung des GSM-Moduls. Bei dieser Version fiel auf, dass die Spannungsversorgung über den Akkubetrieb nicht robust war, was eine weitere Iteration erforderte
- V4: Finaler Prototyp der Steuerplatine unter Berücksichtigung aller Neuerungen aus V1-V3.

Für einen reibungslosen Ablauf der Entwicklungsprozesse, erfolgte die Neuordnung der technischen Komponenten mit gleichzeitiger Anpassung des Fallengehäuses (Rahmen/Halterung).

### 3.3.2 Modifikationen des Rahmenmodells

Aufgrund der im ersten Projektjahr festgestellten positiven Eigenschaften des Werkstoffs Nylon, wurde dieser für die Produktion aller weiteren Rahmenmodelle beibehalten.

Der nach den Modifikationen erforderliche gänzlich neuartige Rahmen sollte, wie vorab beim ersten Fallendesign (Prototyp 1), die technischen Bauteile in ihrer Anordnung stabilisieren und sie vor äußeren Einflüssen (mechanisch, Witterung) schützen. Weitergehend wurde bei der Neukonzeption des Fallenrahmens auf eine gute Fokussierung bzw. eine entsprechende Positionierung des Kameramoduls sowie auf eine bestmögliche Einhausung der vorhandenen elektronischen Bauteile besonderen Wert gelegt. Auf diese Weise sollte eine optimale Bildgebung und ein Schutz für die feuchtigkeitsempfindlichen Bauteile gewährleistet werden. Auch sollte der Rahmen weiterhin im 3D-Druckverfahren herzustellen sein. Der 3D-Druck-Prozess zur Herstellung des Gehäuses ist ein SLS-Verfahren (Selektives Lasersintern), durch welches eine hohe Widerstandsfähigkeit, Genauigkeit, und Reproduzierbarkeit des Endprodukts erreicht werden können. Zudem ist der Prozess ressourcenschonender und umweltfreundlicher als andere vergleichbare Prozesse. Dies liegt vor allem daran, dass das verwendete Pulver durch wenige Schritte aufbereitet und anschließend wiederverwendet werden kann.

Für die Modifizierung der Fallen wurde es notwendig, neue Fangbehältnisse zu finden, die folgende Kriterien erfüllen:

- Becherboden: ohne Aufwölbungen  
(Unebenheiten würden die Bildgebung negativ beeinflussen, da die gefangenen Insekten zum Bodenrand rutschen und eine optische Erfassung unmöglich machen.)
- Bechermaterial: transparent (nicht milchig wie die ursprüngliche Becherfalle), mit glatter Oberfläche, UV-beständig  
(Eine milchige oder gewölbte Oberfläche würde die Lichtverhältnisse stark negativ beeinflussen. Das Material des Fallenbehälters muss außerdem UV-beständig sein, damit das Material nicht spröde oder brüchig wird.)
- Deckel: praktikabel = leicht zu öffnen, leicht zu schließen, dann möglichst fest verschlossen und dicht
- Anzahl und Anordnung der Einfluglöcher im Fangbehälter: selbst definierbar

(Das Austauschen der Fangflüssigkeit sollte ohne Verschütten und ohne mit dem DroskiDrink in Berührung zu kommen möglich sein.)

Es wurde ein Fangbehälter ausgewählt, der die Anforderungen weitgehend erfüllte. Hierbei handelte es sich um das Modell Weithalsbehälter PVC vierkant, 300 ml transparent, mit Schraubdeckel. Die Fängigkeit der Kirschessigfliegen musste auch mit dem neuen Fangbecher erhalten bleiben, die des Beifangs möglichst niedrig gehalten werden. Um dies zu erreichen wurde nach Feststehen der Anzahl und Anordnung der Einfluglöcher insbesondere dem Faktor Lochgröße erneute Aufmerksamkeit gewidmet.

### 3.3.3 Bestimmung der Einfluglochgröße

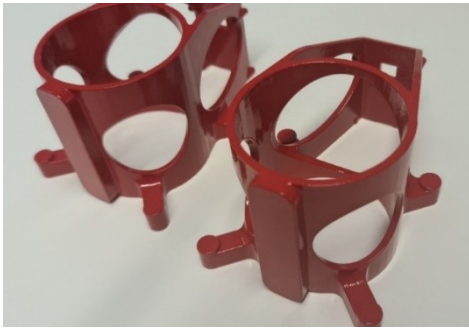
Die Bohrungen erfolgten mit Hilfe einer im FDM-Verfahren hergestellten Schablone, die umlaufend um den Behälter geklemmt wird, in der sich die Bohrungsvorgabe befindet und man diese mit einem entsprechenden Bohrer auf den Behälter überträgt.



*Abb. 10: Zwei Modelle mit unterschiedlichen Schablonen zur Bohrung der Einfluglöcher*

Es wurden mehrere Modelle mit einer unterschiedlichen Anzahl an Einflugöffnungen und in verschiedenen Anordnungen hergestellt (Abb. 10). Diese wurden im Labor und Freiland auf Praktikabilität / Eignung und Fängigkeit hin getestet.

### 3.3.4 Gehäuselackierung



*Abb. 11: ausgediente Rahmenmodelle mit roter Lackierung*

Eine farbliche Lackierung, die den gesamten Fallenrahmen umschließt und ihn so widerstandsfähiger gegen Umwelteinflüsse macht, sollte neu hinzukommen und wurde vorab an alten (ausgedienten) Rahmenmodellen im Freiland getestet. Für das Erstmuster wurde ein Lack im RAL-Ton 3001 mit seidenglänzender Klarlackschicht für extra UV-Schutz gewählt, um einen zusätzlichen für die Kirschessigfliegen attraktiven, passiven Farbreiz zu schaffen (Abb. 11). Zusätzlich musste die Beschichtung geruchsneutral und witterungsbeständig sein. Die

Lackierung wurde im gleichen Verfahren, wie bei einer Fahrzeuglackierung durchgeführt: als erste Schicht wurde eine Grundierung aufgetragen, darauf folgte die Farblackierung mit zusätzlichem UV-Schutz. Zwei lackierte Alurahmenmodelle wurden bis zum Projektende im Freiland ausgebracht und in größeren Abständen auf potentielle witterungsbedingte Veränderungen hin untersucht.

## 3.4 Labor- und Freilanduntersuchungen

### 3.4.1 Freilanduntersuchungen im Obst- und Weinbau

Die modifizierten bzw. neu entwickelten Fallenrahmen, die neuen Becher (Fangbehälter) und der Prototyp 2 wurden im Obstbau in diversen und im Weinbau in verschiedenen Rebsorten getestet. Es wurde nur der DroskiDrink als Lockflüssigkeit in allen Fällen genutzt und folgende Fragestellungen verfolgt:

- a) Praxistauglichkeit der Anzahl und Anordnung von Einfluglöchern an neuartigen Fangbehältern (Vorversuche)
- b) Fängigkeit der Kirschessigfliegen und des Beifangs in Fallenbehälter (neu) mit und ohne Fallenrahmen bzw. bei unterschiedlicher Lochgröße
- c) Untersuchung der Funktionalität des Prototyps 2 in der Kultur
- d) Witterungsbeständigkeit der Rahmenlackierung
- e) Materialbeständigkeit der neuen Fangbehälter
- f) Praxistauglichkeit, Funktionalität, Stabilität und Beständigkeit des neuen Rahmenmodells in der Anwendung

### Untersuchungsinhalte

- a Die unterschiedliche Anordnung und Anzahl von Bohrungen (Einfluglöcher) der quadratischen Fallengefäße wurde praktischen Tests unterzogen. Insbesondere der Wechsel der Fang- und Lockflüssigkeit sollte hierdurch einfach und ohne Verluste durchzuführen sein. Für alle weiteren Versuche wurde ein passendes Modell mit 12 Einfluglöchern (je vier Bohrungen pro Becherseite an insgesamt drei Seiten des Fangbechers) ausgewählt. Eine Becherseite weist somit keine Einfluglöcher auf.



*Abb. 12: In einer Hecke platzierte Falle mit Rahmen zu Beginn des Versuchs (links) und in angrenzender Rebanlage zur Untersuchung des Beifangs (rechts)*

- b Einige neu konstruierte Fallenrahmen mit neuen Fangbehältnissen wurden im zeitigen Frühjahr in Hecken (Abb. 12 links) ausgebracht, um einen ersten Eindruck der Fängigkeit, insbesondere des Beifangs zu erhalten. Alle Becher wiesen die vorab festgelegte Anordnung der 12 Bohrungen auf.

Es wurden je zwei Becher entweder mit der Lochgröße 2,5 mm oder 2,0 mm, eine mit Fallenrahmen, eine ohne Halterung innerhalb einer Hecke positioniert, um einen direkten Vergleich der Einflugzahlen mit/ohne Rahmen zu erhalten. Aufgrund der zu hohen und nicht auswertbaren

### Sich daraus ergebende Erkenntnisse

Die ersten Laborversuche zeigten deutlich, dass eine Seite des Fangbehälters ohne Einflugöffnungen vorliegen sollte, damit die Lockflüssigkeit gezielt und ohne Verschütten gewechselt werden kann. Erste Vorversuche deuteten zudem auf eine Anzahl von 12 Bohrungen an den übrigen drei Seiten hin. Für alle weiteren Untersuchungen wurde daher ein Modell mit 12 Einfluglöchern (je vier Bohrungen pro Becherseite an insgesamt drei Seiten des Fangbechers) ausgewählt. Eine Becherseite weist somit keine Einfluglöcher auf.

Der Vorversuch verschiedener Fallen mit und ohne Rahmen in Hecken erbrachte aufgrund des sehr zeitigen Frühjahrs und des Fallenstandorts „Hecke“ bereits bei 2,0 mm Einfluglochgröße extrem hohe Beifangwerte sowohl mit Fallenrahmen wie auch ohne Fallenhalterung (Abb. 13). Die Werte zeigen jedoch deutlich, dass eine Reduktion des Beifangs durch das Rahmenmodell stattfand. Die Abbildungen 13 (oben, unten) stehen beispielhaft für die Ergebnisse aller Heckenfallen.

Da wegen des extrem hohen Beifangs im Frühjahr innerhalb von Hecken die Werte zu hoch ausfielen als dass eine detaillierte

Fangzahlen fand nach kurzer Zeit ein Wechsel in angrenzende Rebflächen statt, in denen aufgrund der frühzeitigen Versuche noch keine Laubwand vorhanden war. Hierdurch konnte jedoch eine vernehmliche Reduktion des gesamten Beifangs erreicht werden (Abb. 12 rechts).

Analyse möglich gewesen wäre, wurden die Fallen in angrenzende Rebanlagen umgesetzt.

Dies senkte die Fangzahlen in konkret erfassbare Bereiche ab. Einzelne Ergebnisse sind im aufgeführt.

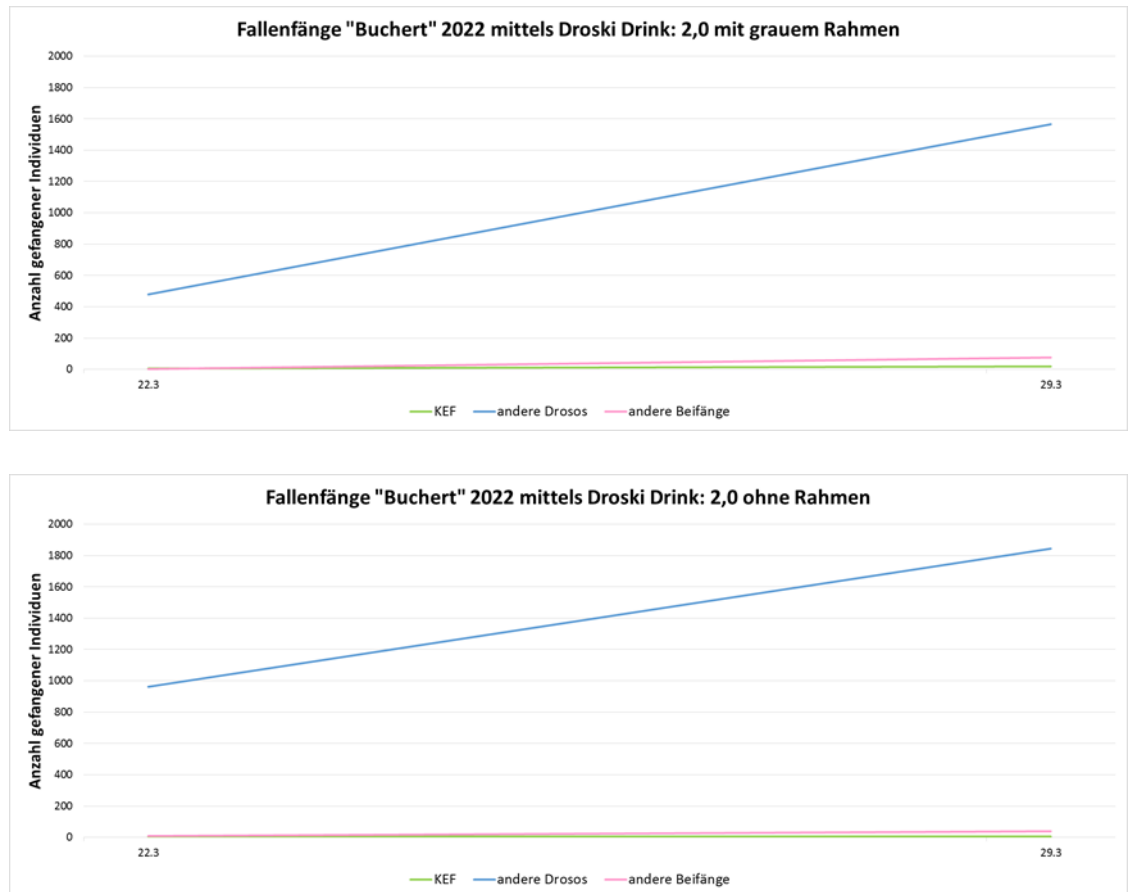


Abb. 13: Fangzahlen der Kirschessigfliegen (grün), anderen Drosophiliden (blau) und diversen Arthropoden (rot) in einer Heckenfalle mit 2,0 mm Einfluglochgröße mit Fallenhalterung (oben) und ohne Rahmen (unten)

c Zwei Prototypen wurden erst in der Kultur Rote Johannisbeeren, später in der Brombeer- und Herbsthimbeeranlage installiert. Eine Funktionskontrolle vor Ort inklusive Batteriewechsel und nachfolgender Auswertung der digitalen Bildresultate sollte nach einigen Wochen Laufzeit erfolgen. Aufgrund vorgefundener Probleme wie z.B. erfolgtem Funktionsabbruch wurden die Fallen jedoch abgebaut, um die Ursachen zu ermitteln.

d Zur Feststellung der Witterungsbeständigkeit des roten Lacküberzugs wurden zwei rot lackierte Fallenrahmen in einem stark besonnten Bereich installiert. Der in den Rahmen eingesetzte neuartige Becher wurde mit DroskiDrink gefüllt. Die Einfluglöcher wurden anschließend verschlossen, so dass keine Fängigkeit bestand. Im Abstand mehrerer Wochen wurde der Zustand der Falle, speziell des Lacks, kontrolliert.

e Bei diesen Kontrollen (Abschnitt d) wurde auch die Witterungsbeständigkeit des Fangbehältnisses kontrolliert, die, entgegen realistischen Bedingungen, nun im Dauereinsatz den widrigsten Bedingungen langfristig ausgesetzt war.

f Im Rahmen der gesamten Untersuchungen wurde sowohl auf die praktische Handhabung bei der Anbringung der Falle oder beim Becherwechsel, sowie auf Veränderungen an Fallenhaltungen und Bechern und auf die allgemeine Tauglichkeit Aufmerksamkeit gelegt.

Bei der Überprüfung beider Prototypen stellte sich folgende Situation heraus:

- Die Fallen liefen nur eine kurze Zeit, was wahrscheinlich einem Kurzschluss durch eindringende Feuchtigkeit zuzuschreiben war. Eine nähere Betrachtung der betroffenen Fallen zeigte, dass der obere Teil der Fallen betroffen war. Es ist daher davon auszugehen, dass Feuchtigkeit zwischen Fangbehälter und Fallengehäuse eindrang.
- Ohrwürmer drangen durch kleinste Ritzen in das Innere der Kamera vor, so dass sie sich direkt vor der Kameralinse befanden und das Bild verdecken konnten.
- Die Fotos, die zu Beginn der Laufzeit gemacht wurden, zeigten tagsüber starke Überbelichtungseffekte. Diese kamen durch das LED mit zusätzlicher Sonneneinstrahlung zustande.

Der Lack zeigte sich durchgehend als sehr widerstandsfähig und witterungsbeständig.

Er wies bei Projektende keine Risse, Unebenheiten, Blasen, Abnutzungseffekte oder farbliche Aufhellungen auf.

Die neuen Fangbecher zeigten auch unter Dauerkontakt mit dem sauren DroskiDrink und gleichzeitiger Sonneneinstrahlung keine negativen Auffälligkeiten durch den sehr sonnigen Standort.

Die allgemeine Handhabung des Fangbechers (inklusive Anzahl und Anordnung der Bohrungen), des Rahmens und der Prototypen erwies sich als gut in der Handhabung. Lediglich die Anbringung der gesamten Falle an der Laubwand wurde nach der Freilandsaison nochmals diskutiert.

### 3.4.2 Labortests des digitalen Prototypen I

Für die Tests zur optischen Darstellung standen bereitgestellte Exemplare von Kirschessigfliegen und anderen Drosophiliden zur Verfügung. Diese wurden zusammen mit einer Fangflüssigkeit (u.a. „Droski-Drink“), in bestimmten Konzentrationsverhältnissen angesetzt und als Testmischung genutzt.

Die Labortests umfassten zunächst die technische Funktionsfähigkeit der Demonstratoren, d.h. eine Testung der Aufnahmeeigenschaften und der Bedienung wurde durchgeführt. Dann erfolgten Testaufnahmen mit den Testmischungen (Abb. 14 und 15) und eine Bewertung der aufgenommenen Daten (Tab. 1). Als zusätzlicher Test wurden kleine Wetterfestigkeitsuntersuchungen durchgeführt, insbesondere die Feuchtigkeitsverträglichkeit der Demonstratorfalle.

Nach Herstellung des neuen Fallenprototyps inklusive des neuen Rahmenmodells wurde dieser im Freiland auf seine Funktionalität, Beständigkeit und Fängigkeit hin getestet.



Abb. 14: Laboraufnahmen mit klarer Fangflüssigkeit und optimaler Ausleuchtung mit Kameraanordnung von unten



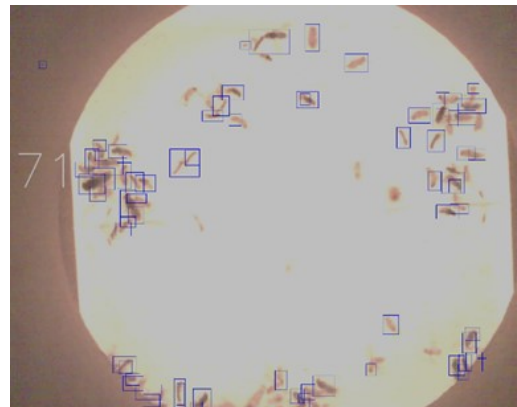
Abb. 15: Aufnahmen des Becherbodens unter realistischeren Bedingungen als bei Abb. 13

*Tabelle 1: Beispielhafte Ergebnisdarstellung der durch die automatisierte Erkennungssoftware erfassten KEF*

| # Fliegen real | # Fliegen gemessen |
|----------------|--------------------|
| 0              | 4.6                |
| 10             | 9.2                |
| 20             | 14.9               |
| 30             | 26.6               |
| 40             | 36.5               |
| 50             | 41.1               |
| 60             | 50.3               |
| 70             | 59.9               |
| 80             | 66.5               |

### 3.4.3 Daraus resultierende Erkenntnisse

Die automatisierte Erkennungssoftware samt Auswertung (Tab. 1) zeigte Fortschritte, doch wurde eine große Anzahl an Kirschessigfliegen auch unter günstigen Laborbedingungen noch nicht erfasst. Grundsätzlich war eine Korrelation zwischen der tatsächlichen Anzahl an Kirschessigfliegen und der gemessenen Anzahl erkennbar, sodass dieser Ansatz als Indikator dafür verwendet werden konnte, ob sich „viele“ oder „wenige“ Kirschessigfliegen in der Falle befinden. Ein Hauptproblem dieses Ansatzes war, dass nicht zwischen Kirschessigfliege und Beifang unterschieden werden konnte. Abb. 16 zeigt beispielhaft die Ergebnisse des eingesetzten Auswertealgorithmus auf dem bearbeiteten Bild, welcher auf klassischen Methoden der Bildverarbeitung basiert. Es ist gut zu erkennen, dass aufgrund der nötigen starken Vorverarbeitung der Bilder und hinzukommender Überbelichtung viele Merkmale der Kirschessigfliegen verloren gingen, was die Unterscheidung zwischen diesen und Beifang erschwerte bis unmöglich machte.



*Abb. 16: Exemplarische Darstellung der Ergebnisse des Auswertealgorithmus auf dem bearbeiteten Bild*

Der bisherige optische Aufbau hatte sich in den Versuchen bewährt. Die Anordnung von LED Streifen und gegenüberliegender Kamera wurde daher im dritten Projektjahr beibehalten. Die Ergebnisse aus den Versuchen zeigten, dass eine Unterscheidung von Kirschessigfliegen und Beifang mit klassischen Methoden der Bildverarbeitung selbst bei gut belichteten Bildern nicht möglich ist. Daher wurde für das dritte Projektjahr ein anderer Ansatz zur Auswertung der Bilder angestrebt. Um die Unterscheidung zwischen Kirschessigfliege und Beifang zu ermöglichen, wurde ein KI-basierter Ansatz gewählt, welcher lernfähig ist und auf verschiedene Insektenarten trainiert werden kann.

### 3.5 Fazit aus dem zweiten Projektjahr

Die größte Herausforderung bestand durch Nässe im Falleninneren was einen Funktionsabbruch nach sich führte. Die Daten der beiden im Freiland laufenden Prototypen waren daher nur von einem kurzen Zeitraum auswertbar, da die Funktionalität nicht langfristig aufrechterhalten werden konnte. Während das Gehäuse Feuchtigkeit von außen gut abhielt, schien kondensierende Luftfeuchtigkeit das größte Problem darzustellen, gegen die das Gehäuse noch einen unzureichenden Schutz bot. Die Datenübertragung zeigte folglich das Problem, dass sie von außen nicht anzusteuern war.

Bei den Feldversuchen im zweiten Projektjahr war zudem aufgefallen, dass einige Fallen aufgrund von anderweitigen Feuchtigkeitsproblemen ausgefallen waren. Bei genauerer Betrachtung wurden im Inneren des Fallengehäuses unmittelbar unterhalb des Fangbehälters Spuren von Nässe (eventuell durch eindringenden Regen oder appliziertes Pflanzenschutzmittel) und Fangflüssigkeit (DroskiDrink) festgestellt werden. Aufgrund des trichterförmigen Designs des Fallengehäuses wurde die Flüssigkeit im Inneren direkt zur Kamera und der darunter befindlichen Steuerelektronik geleitet. Für das dritte Projektjahr musste somit ebenfalls ein Eindringen von Feuchtigkeit von oben in das Fallengehäuse verhindert werden. Dazu sollte der Fangbehälter mit dem Fallengehäuse wasserdicht verklebt werden.

Die neuen Fangbehälter, bestehend aus einem PC-Gemisch (Polycarbonat), erwiesen sich als witterungs-, temperatur- und UV-beständig. Der Deckel des Behälters, mit einem Schraubverschluss und einer Dichtung versehen, verhinderte zudem ein ungewolltes Austreten der Flüssigkeit. Die Behältnisse waren zudem recht praktikabel beim Fallenwechsel und wurden somit für die weitere Entwicklung beibehalten.

Auch der Rahmen erwies sich als sehr robust und widerstandsfähig bezüglich Umwelteinflüssen. Durch die massiven und erhöhten Rahmenwände an allen vier Seiten, war die optische Signalwirkung des roten Lockstoffes DroskiDrink nun nicht mehr gegeben. Aus dem Grund wurde stattdessen eine rote Lackfarbe als Gehäuseüberzug ausgewählt und zur ersten Testung an älteren Rahmenmodellen der Witterung bis zum Ende der regulären Projektzeit ausgesetzt. Der Lack zeigte sich dabei als sehr widerstandsfest und resistent. Eine Veränderung der Beschaffenheit oder des Farbtons wurde nicht beobachtet.

Die Einfluglöcher in den Fallenbehältern wurden zweireihig angeordnet, so dass die Bohrungen jeweils versetzt zueinanderstehen. Es bestätigte sich, dass ein Austauschen der Flüssigkeiten ohne Probleme möglich war. Es wurden Becher mit den Lochgrößen 2,0 und 2,5 mm hergestellt, von denen sich die kleinere Lochgröße aufgrund des wesentlich geringeren Beifangs bewährte.

*Für das dritte und letzte (reguläre) Projektjahr wurde festgelegt:*

- Die Übertragungsfunktion der Daten sollte zügig abgeschlossen werden.
- Die Funktion der Fallen sollte zukünftig vor Ort und einfach zu überprüfen sein, so dass ein Austausch der Fallen direkt beim Feststellen erster Probleme erfolgen könnte.
- Um Feuchtigkeitsprobleme zu verhindern, sollte der Fangbehälter wasserdicht mit dem Fallengehäuse verklebt werden.

- Die Rahmen und Fangbehälter wurden beibehalten mit der Lochanordnung in der Größe 2,0 mm. Um ein Eindringen von Insekten wie Ohrwürmern zu verhindern, sollte eine zusätzliche Gummilippe die notwendigen Öffnungen (z.B. für Linse oder Kabel) abdichten.
- Neu hinzu kam die Anbringungseinheit der Prototypen, die mittels Magneten stattfinden sollte, sodass die Fallen an den Stickeln befestigt werden konnten.
- Ein Deckel zum Schutz vor zu starker Sonneneinstrahlung wurde verworfen, später jedoch umgesetzt, da er gleichzeitig als Regenschutz dienen konnte.
- Eine Überbelichtung sollte hingegen durch eine auf die Dämmerungs- und Nachtzeiten begrenzte Bildgebung, verhindert werden und gleichzeitig den Stromverbrauch der Falle erheblich senken.

## **4 Drittes Projektjahr + Projektverlängerung**

### **4.1 Ablauf – Übersicht 3. Projektjahr – grobe Arbeitsschritte**

Das dritte Projektjahr sah laut Projektzeitplan die vertiefenden Arbeiten an der bereits funktionierenden digitalen Monitoringfalle vor. Eine im Freiland zu testende Kleinserie sollte zudem durch Datenzugewinn die KI-Funktion bzw. die Softwarelösung unterstützen und in ihrer Lernfunktion verbessern. Weitere Labortests sollten die Erkennungssoftware ausbauen. Aufgrund von personellen Verzögerungen fanden die Arbeiten an der Erkennungssoftware verspätet statt, so dass die im Arbeitsplan angestrebten Ergebnisse nicht vollumfänglich erbracht werden konnten.

Die Funktionsstabilität der digitalen Prototypen aus der vorhergehenden Saison war nicht zufriedenstellend und stand bei den Arbeiten im Fokus der Aufmerksamkeit. Mehrere digitale Fallen wurden produziert und im Freiland untersucht. Spezielle Vorrichtungen ermöglichten die Funktionskontrolle vor Ort inklusive Batteriewechsel mittels Ersatzbatterien. Die im Freiland entstandenen Bilderserien sollten durch einen späteren Abgleich mit den Ergebnissen der regelmäßigen Fallenkontrollen abgeglichen werden, um die Detailgenauigkeit der Erkennungssoftware zu erfassen.

Die bisherigen Erkenntnisse bezüglich des optimalen Einfluglochdurchmessers sollten durch Untersuchung einer Zwischengröße von 2,3 mm weiter verfeinert werden, um den Einflug von Beifang nochmals zu reduzieren, die KEF-Zahlen jedoch nicht zu stark abzusenken. Zusätzlich wurden die Verbesserungsansätze zum Ausschluss von eindringender Feuchtigkeit und Insekten durch Vergießen der Elektronik umgesetzt und im Freiland auf ihren Nutzen geprüft. Die Befestigung der Fallen an Metallstickeln mittels eines Magnetverschlusses wurde umgesetzt und im Freiland auf seine Stabilität und Praktikabilität geprüft.

### **4.2 Weiterführende Modifikationen**

#### **4.2.1 Modifikationen der technischen Komponenten**

In den letzten Arbeitspaketen wurde die Elektronik der Monitoringfalle von Grund auf erneuert. Während des Projektes entstanden immer wieder Schwierigkeiten bezüglich der Datenübertragung über das mobile Netz. Dies lag zum einen an einer komplexen Steuerelektronik, welche den Stromverbrauch für das Senden der Daten bei Akkubetrieb ermöglicht und zum anderen an der Qualität des verfügbaren Netzes. Da der zuerst verfolgte Ansatz eines möglichst kostengünstigen Setups zunächst nicht zielführend war, wurde die Übertragung vom GSM auf den NB-IoT Standard geändert und die Steuerelektronik hinsichtlich Stabilität optimiert, zu Lasten der Akkulaufzeit. Auch mit dem NB-IoT Ansatz gestaltete sich die Datenübertragung als nicht zuverlässig genug, um zufriedenstellende Feldversuche durchführen zu können. Aus diesem Grund wurde auf die Datenübertragung an einen Server verzichtet und die Daten wurden auf SD-Karte abgespeichert. Mithilfe dieses Setups war es möglich, Daten aus Feldversuchen zu generieren, die im Anschluss ausgewertet werden konnten.

Parallel dazu erfolge der Aufbau eines Laborsetups, welches im Netzteilbetrieb eingesetzt werden konnte. Damit war es möglich, Testaufnahmen im Labor zu generieren und die Bilder auf einer SD-Karte abzuspeichern. Zudem wurde die Steuerelektronik weiterentwickelt, sodass ein Akkubetrieb der Falle ohne Modul für die Datenübertragung an den Server möglich war und die Bilder auf einer entnehmbaren SD-Karte abgespeichert werden konnten. Diese Modifikationen machten eine Hardwareanpassung notwendig. Für die Steuerelektronik wurden entsprechende Platinen in die Fertigung gegeben und nach diesem Stand insgesamt drei Fallen aufgebaut (Abb. 17).

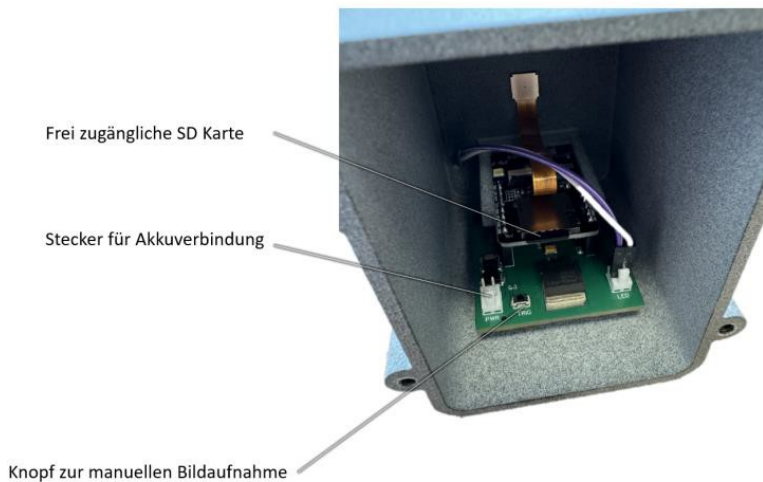


Abb. 17: Darstellung der Steuerelektronik der Falle ohne angeschlossene Akkus

#### 4.2.2 Modifikationen zur verbesserten Datenerhebung in Feldversuchen

Die Erfahrungen und Erkenntnisse des zweiten Projektjahres fanden Einzug in die weitergehende Konstruktion der Falle u.a. durch das wasserdichte Verkleben des Fangbehälters mit dem Fallengehäuse. Zudem wurden die Fallen speziell auf vor-Ort-Kontrollen ausgerichtet, indem leicht wechselbare Batterien, sowie eine Einheit zur Überprüfung der Funktionstätigkeit der Falle hinzugefügt wurde. Die Energieversorgung fand mittels austauschbaren Li-Ion-Akkus statt, die Funktionsüberprüfung durch ein per Knopfdruck oder Zusammenstecken zweier Kabel ausgelöstes Lichtsignal (Abb. 18). Eine entsprechend ausgestattete Kleinserie an Monitoringfallen wurde im Anschluss produziert und im Freiland getestet. Weitere im dritten Projektjahr entwickelte Prototypen mit GSM Modulen fanden aufgrund einiger Unsicherheiten keine Anwendung in den Freilanduntersuchungen. In Anbetracht des fortgeschrittenen Projektes konnte auf diese Weise zumindest die Aufnahme von Bildmaterial sichergestellt werden.



Abb. 18: Überprüfung der Funktionstüchtigkeit mittels eines Lichtsignals, hier: Funktionstest im Labor

Eine direkte Ansicht des Bildmaterials ließ sich leider nicht ermöglichen, da das Einkleben der Fangeinheit in das Fallengehäuse zur notwendigen Abdichtung des Systems das Austauschen der Speicherkarte nicht mehr zuließ. Die Speicherung der Kameraaufnahmen erfolgte daher vorläufig auf einer intern verbauten SD-Karte, die nach dem Ende der Vegetationsperiode ausgebaut wurde. Im Anschluss erfolgte die Sichtung des Bildmaterials. Die im Freiland gewonnenen Aufnahmen des jeweiligen Falleninhalts sollte im Nachgang mit den händisch ermittelten Fang- und Befallsdaten abgeglichen werden. Die Maßnahme, den Fangbehälter wasserdicht im Fallengehäuse zu verkleben erwies sich als ausreichend für einen Schutz gegen Feuchtigkeit.

Für die letzten Laboruntersuchungen wurde das Fallengehäuse so umkonstruiert, dass ein Einkleben des Fangbehälters möglich war. In Folge konnte die Elektronik nun lösbar im Fallengehäuse montiert werden, was die SD Karte zugänglich machte. Mit dieser Version wurden die letzten Tests zur Datenaufnahme im Labor durchgeführt.

#### 4.2.3 Modifikationen des Rahmenmodells

Die weiteren technischen Anpassungen führten in diesem Fall nicht zu einer grundlegenden Neugestaltung des Fallengehäuses. Es fanden in weiten Teilen nicht offen sichtbare Anpassungen statt, wie z.B. das Verkleben des Fangbehälters mit dem Gehäuse zum Schutz vor Funktionsverlust durch eindringende Feuchtigkeit und sich bildendes Kondenswasser.

#### 4.2.4 „Regenhaube“ / „Sonnendach“



Die offensichtlichste Veränderung war ein fest an den Schraubverschluss des Fangbehälters aufsteckbarer Deckel. Dieser sollte sowohl vor übermäßiger Sonnen- bzw. Lichteinstrahlung schützen, um eine Überbelichtung der Bilder zu vermeiden. Gleichzeitig fungierte er als Regendach (Abb. 19), wodurch das Risiko von eindringender Feuchtigkeit zusätzlich reduziert wurde.

*Abb. 19: Prototyp der digitalen Monitoringfalle mit Sonnen- bzw. Regenschutzdeckel*

#### 4.2.5 Fallenanbringung im Weinbau

Eine weitere Modifikation stellte eine neuentwickelte Anbringungsmöglichkeit dar. Die im Weinbau in den meisten Rebflächen nutzbare Magnethalterung (Abb. 20) stellte sicher, dass die Fallen einfach und schnell an den Metallstickeln angebracht, jedoch auch zügig wieder entfernt werden konnten. Um eine gute Haltekraft zu gewährleisten, waren die Magnethalterungen so ausgerichtet, dass ein seitliches Abziehen der Falle vom Stickel notwendig war, um diese zu lösen. Nach der Konstruktion der Magnethalterung, wurden die verfügbaren Fallen über diese Anbringungsmöglichkeit in den Rebanlagen installiert. Im Rahmen der regelmäßigen Beprobungen wurde auch die Haltefähigkeit des Magnetverschlusses geprüft.



*Abb. 20: Am Stickel haftende Magnethalterung mit daran befestigter Monitoringfalle*

Durch das Fehlen von Metallstickeln im Obstbau, muss in diesen Kulturen in der Regel die Falle über das Bindeband angebunden werden (Abb. 21). Dieses blieb entsprechend als Grundausstattung erhalten.



Abb. 21: Prototyp mit Sonnen-/ Regenhaube im Obstbau. Die Anbringung erfolgt über das Bindeband

#### 4.2.6 Erkenntnisse aus dem Freiland

Die magnetische Befestigungseinheit erwies sich durchgehend als einfach anzubringen und abzunehmen und in fast allen Fällen als äußerst stabil. Der Einsatz der Magnethalterung ist jedoch in der Regel auf den Weinbau beschränkt, da das Vorhandensein metallener Stickle vorausgesetzt wird. Diese finden im Obstbau meist keine Anwendung, weshalb hier die ursprüngliche Befestigung mittels Schlaufe stattfinden kann.

Die im Weinbau eingesetzten Metallstickle können allerdings eine unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit aufweisen und nicht immer plan sein, wodurch es in einem solchen Fall zum Abfallen der Magnethalterung kam. Auch in einem solchen Fall ist es sinnvoll, die Anbringung mittels der angebrachten Schlaufen abzusichern.

#### 4.2.7 Entwicklung der Erkennungssoftware

Neben dem Hardwareaufbau wurde an der Auswertung gearbeitet. Dazu wurden die aufgenommenen Bilder aus den Feldversuchen zunächst auf Eignung bewertet und die Bilder aussortiert, die nicht für ein Training der KI verwendet werden können. Hauptgründe dafür, dass einige Bilder nicht geeignet waren, sind beispielsweise verstärkter Lichteinfall durch Sonnenlicht. Im Anschluss wurden auf den Bildern Prüfmerkmale händisch markiert. Als Prüfmerkmale wurden Fliegen, oder auch Beifang, männliche KEFs und undefinierbare Fliegenansammlungen markiert. Diese markierten, oder auch annotierten Daten, wurden im Anschluss verwendet, um einen KI-Algorithmus zu trainieren. Die Validierung des KI-Algorithmus hat gezeigt, dass die Anzahl der Bilder nicht ausreichend war und die Annotation der Daten optimiert werden sollte. Basierend darauf wurden mit mehreren Fallen Aufnahmen mit verschiedensten Insektenarten aufgenommen und im Anschluss durch den zuvor trainierten KI-Algorithmus ausgewertet. Da die zur Verfügung gestellten konservierten Insektenarten teilweise an der Oberfläche vom Droski-Drink schwammen und diese Verhalten auch durch eine Reduktion der Oberflächenspannung nicht vermieden werden konnte, wurden

diese Aufnahmen in Isopropanol durchgeführt, also ohne die typische Rotfärbung. Wie zu erwarten hat das Fehlen der Rotfärbung einen Einfluss auf die Bildgebung genommen, jedoch hat die Auswertung der vom KI-Algorithmus ausgewerteten Daten dennoch suggeriert, dass eine deutlich größere Menge an Bilddaten und eine präzisere Annotation der Daten erforderlich sind.

#### 4.2.8 Auswertung der Messdaten

Prinzipiell wurden bei den Bildern aus den Feldversuchen die besten Ergebnisse erzielt. Es kann festgehalten werden, dass der Algorithmus stellenweise in der Lage ist, Beifang von männlichen KEF zu unterscheiden. Für eine hinreichend genaue Unterscheidung reicht die Datengrundlage nicht aus, sodass weiteres Training des KI-Algorithmus erforderlich ist. Eine zusätzliche Schwierigkeit stellen Anhäufungen dar, bei denen die einzelnen Insekten nicht klar voneinander getrennt werden können. Diese Fälle werden im Folgenden als undefinierte „Fliegenansammlungen“ gewertet.

Die folgende Abbildung 22 zeigt grundlegend die angefallenen Daten, exemplarisch an einem Bild dargestellt. Auf der linken Seite ist das von der Falle im Feld aufgenommene Rohbild erkennbar. In der Mitte ist die händische Annotation der Daten dargestellt. Dabei repräsentieren verschiedene Farben sogenannte „Label“. Rot steht für Beifang, grün für männliche KEF und Blau für nicht auswertbare Ansammlungen. Im mittleren Bild ist gut erkennbar, dass die Label nicht immer scharf voneinander getrennt werden können. Genau dieser Punkt stellt eine ausschlaggebende Schwierigkeit für die KI-basierte Auswertung dar. Eine mögliche Strategie ist es, zusätzliche Annotierungen für den Fall einzuführen, bei dem sich mehrere Fliegen so überlagern, dass sie nicht eindeutig voneinander getrennt werden können.

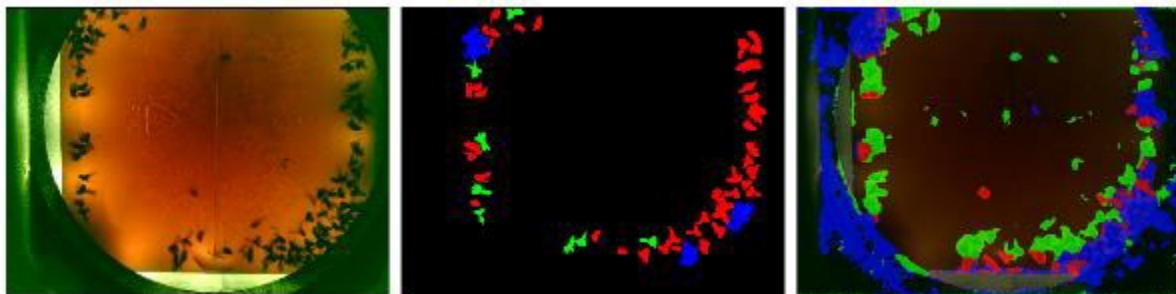


Abb. 22: Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten, automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: KEF männlich, Blau: Fliegenansammlung

Eine Hauptschwierigkeit des aktuellen Algorithmus ist es, dass der Becherrand häufig als Fliegenansammlung erkannt wird. Mit klassischen Methoden und präziser Ausrichtung der Kamera lässt sich dieser Fehler jedoch verhältnismäßig leicht vermeiden. Dazu kann beispielsweise die Kamera derart ausgerichtet werden, dass sich der Becherrand immer innerhalb eines klar definierten Bildbereichs befindet und das Bild dementsprechend zugeschnitten werden kann. Dafür ist es empfehlenswert, eine Fixierung der Kamera im Gehäuse der Falle vorzusehen. In der Aufnahme rechts ist gut erkennbar, dass Insekten im Droski-Drink bereits gut erkannt werden, jedoch die Unterscheidung zwischen männlichen KEF, Fliegenansammlungen und Beifang schwierig ist. Unter anderem lässt sich das mit der vorhandenen Annotation erklären. Die Unterscheidung zwischen Fliegenansammlung,

Beifang und männlicher KEF sind nicht über alle Testaufnahmen aus dem Trainingsdatenset eindeutig (Abb. 23, 24).

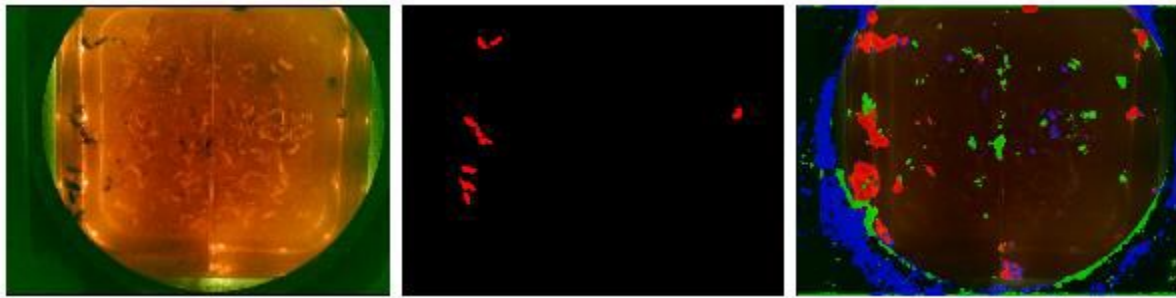


Abb. 23: Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten, automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: männliche KEF, Blau: Fliegenansammlung

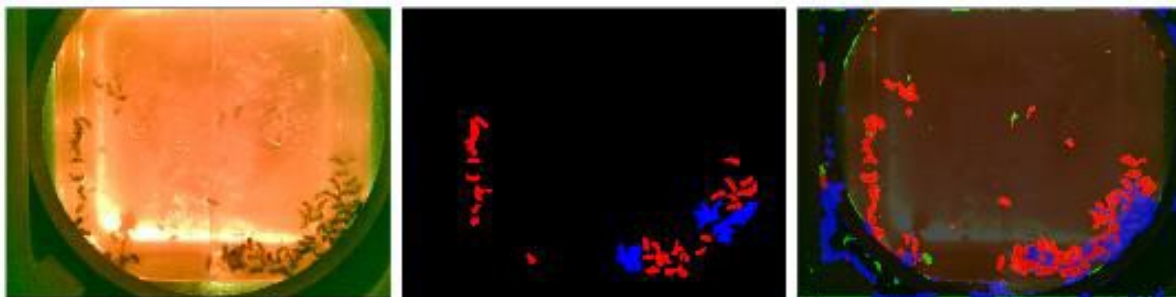


Abb. 24: Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten, automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: Männliche KEF, Blau: Fliegenansammlung

Es kann festgehalten werden, dass gut zwischen Insekten und Hintergrund unterschieden werden kann. Dabei ist die Unterscheidung zwischen den einzelnen Insektenarten, in Falle der aktuellen Annotierung also Beifang, männlicher KEF und Fliegenansammlungen, nicht immer eindeutig. Dies ist jedoch auch bei eingehender Betrachtung der Aufnahmen schwierig, da die Fliegen keinen starken Kontrast aufweisen. Insbesondere die durchsichtigen Flügel können nur schwer erkannt werden. Daraus ergibt sich die **Schwierigkeit der präzisen manuellen Annotation**. Diese hat wiederum zur Folge, dass **eine automatische Segmentierung nur schwer auf diesen ungleichmäßig markierten Daten trainiert werden kann**. Zusätzlich werden manche Fliegen gefunden, die nicht markiert wurden. Dabei stellt sich die Frage, ob diese tatsächlich nicht gefunden werden sollen, oder ob es sich um einen Fehler bei der manuellen Annotation handelt.

### 4.3 Funktionsüberprüfung im Freiland

Die Prototypen wurden als Kleinserie im Freiland ausgebracht und alle drei bis vier Tage kontrolliert. Hierbei wurden die Funktionskontrollen ggf. mit Batteriewechsel, der Austausch der Fangbehälter mit entsprechender Auszählung und Fruchtbonitur zum Vergleich der Fangzahlen mit dem Befallsdruck durchgeführt. Zudem wurde die Haltekraft der Magnetanbringung geprüft.

#### 4.3.1 Daraus gewonnene Erkenntnisse:

Während der Funktionskontrollen zeigten sich wiederholt Schwierigkeiten, die auf ein fehlendes, durchgehendes oder unregelmäßiges Aufleuchten des Lichtsignals bei Knopfdruck zurückzuführen waren. Eine Funktionsüberprüfung war somit nicht in allen Fällen sicher gegeben. Daher wurden die Batterien der ausgehängten Fallen regelmäßig in kurzen Abständen getauscht. Es zeigte sich, dass die Batterien im Normalfall ein bis zwei Wochen hielten, in wenigen Fällen jedoch eine vollständige Entleerung der Akkus bereits nach nur drei Tagen stattgefunden hatte. Zudem führten Erschütterungen, wie sie z.B. bei der Behandlung der Laubwand entstehen können, zum Herauslösen der Batterien aus dem Batteriefach. Es kam nach und nach zu einem Ausfall der Prototypen, die im Anschluss einer eingehenden Fehlersuche unterzogen und falls möglich, repariert wurden. Aufgrund des zunehmend späten Auftretens der Fehler kam es ab einem bestimmten Zeitpunkt mehr nicht zu einem erneuten Aushängen der ausgefallenen Prototypen. Bei der Fehlersuche der Prototypen fiel auf, dass die Akkus nicht dem Datenblatt entsprachen und dementsprechend nicht richtig in die vorgesehenen Akkufächer passten. Dies erklärt auch, wieso sich die Akkus aufgrund von Erschütterungen von selbst aus den Akkufächern lösten. Dieser Produktfehler hat maßgeblich dazu beigetragen, dass eine stabile Spannungsversorgung der Fallen nicht immer möglich war. Zusätzlich waren weitere Optimierungen der Leistungselektronik vonnöten, um die Spannungsversorgung auch dann noch stabil zu halten, wenn sich die Akkus bereits teilweise entladen hatten. Es wurden keine weiteren Schäden aufgrund von Feuchtigkeit festgestellt, sodass die Maßnahme, die Fangbehälter in die Fallen einzukleben, als sinnvoll bewertet wurde. Gleichzeitig konnte das Eindringen von Insekten ins Falleninnere vermieden werden.

#### 4.3.2 Endabnahme Lackierung des Fallengehäuses

Die bereits im zweiten Projektjahr ausgebrachten Fallenrahmen mit roter Lackierung und der transparenten Fangbehälter wurden zum Projektende einer letzten Inventur unterzogen. Die rote Lackbeschichtung wies auch zu diesem Zeitpunkt keinerlei Ermüdungserscheinungen wie Risse, Rauheit oder pflanzliche Beläge auf (Abb. 25 links). Der Fangbecher, war durchgehend mit saurer DroskiDrink-Lockflüssigkeit gefüllt und die Einfluglöcher waren zugeklebt. Die Endkontrolle zeigte eine leichte Vergilbung des ursprünglich sehr transparenten Gefäßes (Abb. 25 rechts). Weitere Beeinträchtigungen z.B. Beschädigung des Materials wurden nicht beobachtet. Ein Verlust der Lockflüssigkeit trat nicht auf. Aufgrund der überaus langen Zeitspanne bis zum Verfärben des Behälters konnte somit eine ausreichende Langlebigkeit der Fangbehältnisse unter normalen Einsatzbedingungen bestätigt werden.



Abb. 25: lackierter Rahmen und ursprünglicher Fangbehälter nach 1,5 Jahren im Freiland: Altrahmen mit unbeschädigter roter Lackierung (links) daneben stark verschmutzte ursprüngliche Becherfalle; aktuell genutztes Fanggefäß mit nur leichten Vergilbungen (rechts).

#### 4.3.3 Einfluglochgröße

Die bisherigen Untersuchungen zeigten ein besseres Verhältnis von KEF vs. Beifang bei einer Einfluglochgröße von 2,0 mm im Vergleich zu 2,5 mm Bohrdurchmesser. In weitergehenden Erhebungen sollte eine weitere Zwischengröße von 2,3 mm im Vergleich zu den bisher priorisierten 2,0 mm getestet werden. Zu diesem Zweck wurden Fangbecher mit verschiedenen Einfluglochgrößen (2,0 mm vs. 2,3 mm) in einer Anlage gegenübergestellt und mit einer ursprünglichen Becherfalle als Referenzwert gegenübergestellt. Regelmäßiges Umhängen der Fallen sollte standortabhängige Einflussfaktoren ausschließen (Abb. 26). Die Daten zeigten in dem erfassten Umfang jedoch keine aussagekräftigen Tendenzen.



#### Legende:

- = Lochdurchmesser Becherfalle 2,0 mm \*
- = Lochdurchmesser Behälter 3win 2,3 mm \*
- = Lochdurchmesser Prototyp 2,0 mm \*

- \* = jeweils Tausch bei Fallenwechsel
- \* = mit grauem Rahmen
- \* = Positionswechsel mit Becherfalle

Abb. 26: Fallenaufhängung in den Rebanlagen zur Untersuchung der Lochgröße 2,0 mm vs. 2,3 mm am Beispiel Cabernet Dorsa

Die Ergebnisse bezüglich der Lochgrößenunterschiede 2,0 mm und 2,3 mm erwiesen sich in dem erhobenen Umfang als inkonklusiv.

## 4.4 Freilanduntersuchungen

### 4.4.1 Freilanduntersuchungen im Obst- und Weinbau

Die im Freiland beprobten Kulturen beinhalteten im Obstanbau: Sauerkirschen (Sorte: Schattenmorellen), Rote Johannisbeeren (Sorte: Jonkheer van Tets, Rovada), Schwarze Johannisbeeren (Sorte: Hedda), Brombeeren (Sorte: Chester Thornless) und Herbsthimbeeren (Sorte: Enrosadira). Die späteren Untersuchungen bzw. Fallenfänge wurden im Weinbau an den Rebsorten Acolon (Bio + konventionell), Acolon, Blaufränkisch (Bio), Dornfelder, Cabernet Dorsa und Portugieser durchgeführt.

Die erhobenen Daten (Fallenfänge + Befall an Früchten) sollten den Aufnahmen auf den SD-Karten später zugeordnet werden, um die händisch erfassten Werte mit den KEF auf den Bildern abgleichen zu können. Durch die vielen Funktionsausfälle, die ein stetes Umhängen der Fallen nach sich zogen und insbesondere durch die insgesamt sehr geringe Anzahl an generierten Bildern aus dem Freiland fand eine Zuordnung letztlich nicht statt.

## 4.5 Fazit aus dem dritten Projektjahr

Die Evaluation der Ergebnisse aus dem zweiten Projektjahr führte zu diversen kleineren technischen Anpassungen, die vor dem Beginn der dritten und letzten Freilandsaison vollzogen werden sollten. Die Herausforderungen kamen insbesondere durch die vielfältigen Umwelteinflüsse, aber auch durch Schwächen in den technischen Abläufen zustande. Das eingesetzte GSM Modul zeichnete sich durch einen außergewöhnlich hohen Strom während des Einschaltvorgangs aus. Das führte dazu, dass die Leistungselektronik in mehreren Schritten neu designt werden musste. Nachdem die Schwierigkeiten gelöst waren, stellte sich der vom GSM eingesetzte 3G Standard als sehr störanfällig und nicht als für Feldversuche geeignet heraus. Somit wurde für die verbleibende Projektzeit kurzzeitig auf den 4G Standard „NB-IoT“ (Narrow Band Internet of Things) gewechselt. Aufgrund der kurzen verbleibenden Restlaufzeit war es nicht möglich, diesen Ansatz ausreichend auszuarbeiten. Daher wurden die technischen Funktionen darauf reduziert, Bilder auf einer SD-Karte abzuspeichern und mit dieser Version einen weiteren Feldversuch durchzuführen.

Nach den Feldversuchen fiel auf, dass die beschafften Akkus nicht den Datenblättern entsprachen und dementsprechend nicht richtig in die Akkufächer passten. In Kombination mit optimierungswürdiger Leistungselektronik führte das dazu, dass die Fallen nicht immer ausreichend mit Spannung versorgt werden konnten. Die im Freiland beobachtete kürzeste Betriebsdauer lag bei unter drei Tagen, der Durchschnitt zwischen ein bis zwei Wochen. Zielführend wäre hingegen ein Minimum von drei Wochen. Die Fängigkeit konnte bei den Prototypen hingegen größtenteils beibehalten werden und nahm auch durch das Einsetzen des Fangbechers in das Fallengehäuse nicht drastisch ab. Die passendere Einfluglochgröße war mit 2,0mm anstatt mit 2,5mm bestimmt worden. Die Testung einer weiteren Zwischengröße von 2,3mm verblieb hingegen ohne aussagekräftige Tendenz. Weitere Untersuchungen der optimalen Lochgröße im wesentlich größeren Umfang könnten das Verhältnis von gefangenen KEF vs. Beifang eventuell noch weiter optimieren. Dies könnte in Folge die Auswertung durch die KI erleichtern und die Identifikationsgenauigkeit verbessern.

Die Bilder, welche im Freiland während der zweiten und dritten Saison entstanden, waren grenzwertig für einen lernfähigen, KI-basierten Auswertealgorithmus. Für den geplanten KI-basierten Ansatz ist eine große Menge an Bildern nötig, auf denen von Hand männliche Kirschessigfliegen und Beifang präzise annotiert werden. Da die zur Verfügung stehenden Daten aufgrund der häufigen Funktionsabbrüche der Fallen sehr begrenzt waren, war es nicht möglich den Algorithmus fertigzustellen. Zusätzlich zu der Problematik der Datenmenge entstanden Probleme beim Annotieren der Daten. Beim Annotieren der Daten ist es ausschlaggebend, dass die KEFs präzise markiert werden. Für nicht Fachkundige ist es auf den Bildern schwierig, KEFs von Beifang zu unterscheiden. Aufgrund dieser Problematik konnte folglich die Softwareerkennung noch nicht ins System eingeführt werden.

Des Weiteren stand in der dritten Freilandsaison auch die sichere Anbringung der Fallen innerhalb der Rebanlagen im Fokus. Eine Magnetanbringung erwies sich als recht stabil und praxistauglich aufgrund einfacher Handhabung. Lediglich in einem Fall hielt die Falle nicht an einem Metallstickel, was der Oberflächengestaltung des entsprechenden Stickeltyps zuzuschreiben war. In solchen Fällen sowie für den Einsatz der Fallen im Obstbau muss die Anbringung mittels einer Anbindemöglichkeit erfolgen. Diese bestand bereits in Form einer Aufhängeschlaufe. Ein fest ansteckbarer Deckel, der auf dem Schraubverschluss des Fangbehälters angebracht wird, wurde gefertigt und sollte als Regenschutz und vor zu starker Sonneneinstrahlung schützen. Ob ein feststellbarer Nutzen durch diese zusätzliche Vorrichtung eintrat, wurde im Rahmen des Projekts nicht untersucht.

Basierend aus den aktuellen Erkenntnissen aus dem Projekt gehen wir davon aus, dass der aktuelle Ansatz prinzipiell geeignet ist, um die Messaufgabe zu lösen. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass das manuelle Markieren der Daten deutlich höhere Präzision und damit deutlich höheren Aufwand erfordert, als zuerst angenommen. Wir gehen aktuell davon aus, dass eine Anzahl von 500 bis 1000 repräsentativen Bildern inklusive präziser händischer Markierung der männlichen KEFs auf den Bildern und eine Überarbeitung der unterschiedlichen Annotationen nötig sind, um einen KI-basierten Algorithmus mit zufriedenstellenden Ergebnissen zu trainieren.

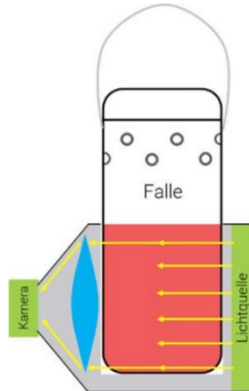
Zusätzlich sollten die Aufnahmen der Bilder weiter standardisiert werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass in den einzelnen Fliegenfallen in etwa die gleiche Menge an Flüssigkeit vorhanden ist und diese regelmäßig getauscht wird, damit sich die Farbverhältnisse möglichst wenig ändern. Zusätzlich dazu sollten Möglichkeiten gesucht werden, noch mehr Unabhängigkeit von Witterungsverhältnissen zu schaffen. Insbesondere starke Sonneneinstrahlung führt zu deutlich anderen Belichtungsverhältnissen innerhalb der Bilder, was eine zuverlässige Auswertung erschwert. Dafür ist unter Umständen eine Anpassung des Gehäuses denkbar, aber auch eine drastische Reduktion der Belichtungszeit. In diesem Fall sollten die eingesetzten LEDs „geblitzt“ werden, was eine komplexe Steuerelektronik erfordert. In diesem Fall muss auch eine Optimierung hinsichtlich des Stromverbrauchs und der daraus resultierenden Akkulaufzeit erfolgen. Um die Qualität der Aufnahmen zu erhöhen, sollte der Einsatz einer höherwertigen Optik und damit resultierender höherer Auflösung in Betracht gezogen werden. Durch eine höhere Auflösung und einen besseren Kontrast innerhalb der Bilder können die Punkte auf den Flügeln besser erkannt werden. Es bleibt dabei jedoch zu beachten, dass die Wirtschaftlichkeit der Falle dennoch gegeben bleiben muss und diese Anpassung daher ggf. nicht möglich ist.

## 5 Bildliche Darstellung der chronologischen Entwicklung der digitalen Monitoringfalle in grober Übersicht

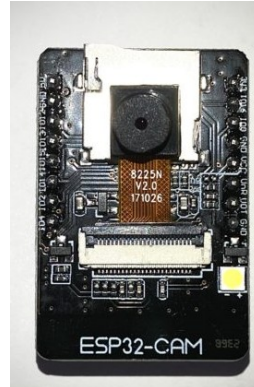
### Projektstart 2021



Ursprüngliche Ausgangsfalle



Erste schematische Darstellung der digitalisierten Köderfalle



Ursprüngliches Kameramodul ESP32-CAM



Bildgebung des Prototyps I mit seitlicher Kamera



Fallenhalterung (Typ „grau“) aus Nylon mit ursprünglicher Köderfalle



Nylon-Fallenrahmen mit Fangbecher und seitlichem Kameramodul

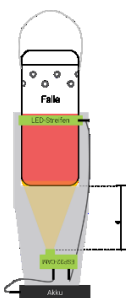


Fallenhalterung mit Fangbecher, Kameramodul, rechts sichtbare Batterien



Altrahmen mit roter Lackierung für weitere Versuche (UV-Beständigkeit)

### Neuanordnung des Kameramoduls 2022



Fallenschema der modifizierten Falle mit Bildgebung von unten



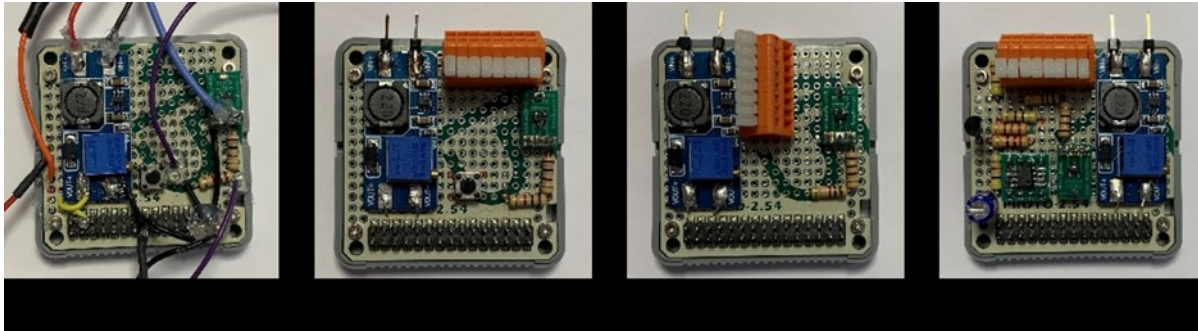
Neuartiger Fangbehälter der modifizierten Falle



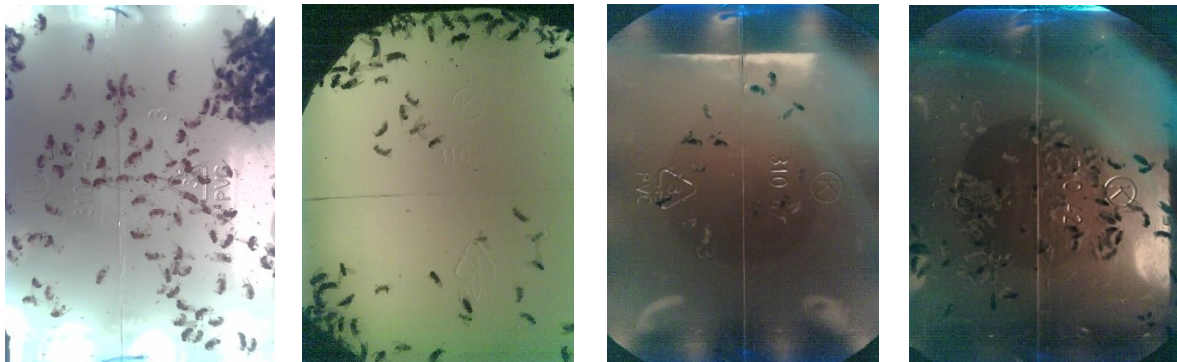
Modifizierte Falle mit LED am oberen Rand, Kameramodul unten, Fangdose und Batteriefach



Im Freiland getesteter Prototyp



Entwicklung der Steuerplatine



Laboraufnahmen mit Kameraanordnung von unten (in Alkohol)

Exemplarische Aufnahme des Fallenbodens mit neuer Sensoranordnung, hier mit diffuser Hintergrundbeleuchtung

Aufnahmen des Prototypen unter realistischen Bedingungen (Stand 2022)



Zwischenzeitlicher Prototyp, der keine Anwendung in Freilandversuchen fand



Letzter im Freiland getesteter Prototyp

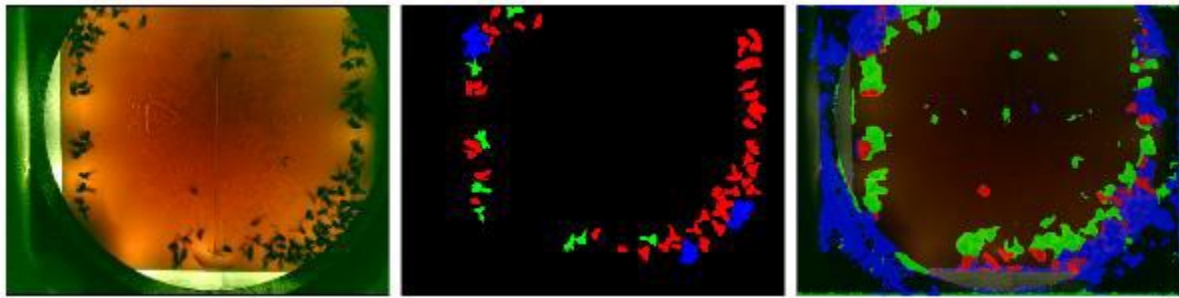


Sonnen- und Regenschutz und Magnetanbringung in Freilandtestung

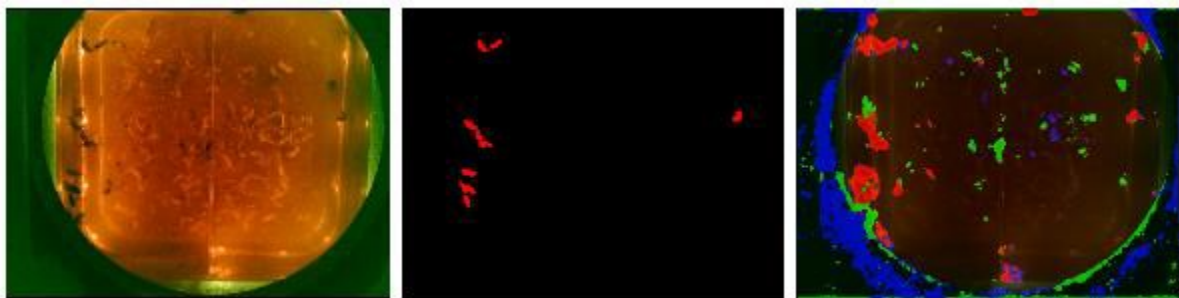


Prototyp im Freilandversuch mit Regenhaube und Magnetanbringung

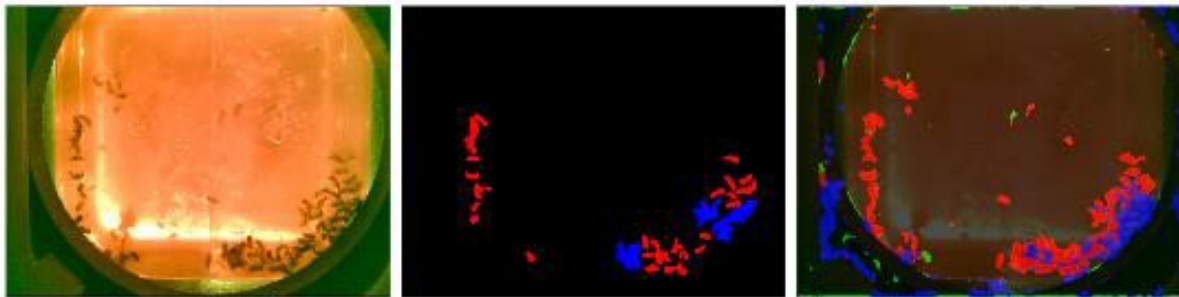
## Entwicklung der Erkennungssoftware



Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten, automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: KEF männlich, Blau: Fliegenansammlung



Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten, automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: männliche KEF, Blau: Fliegenansammlung



Segmentierung einer Aufnahme. Von links nach rechts: Aufnahme der Fliegenfalle, händisch markierte Regionen für verschiedene Fliegenarten, automatisch gefundene Regionen. Rot: Beifang, Grün: Männliche KEF, Blau: Fliegenansammlung