

# Akustische Früherkennung von Vorratsschädlingen in Getreidesilos

„Beetle Sound Tube“



## Zuwendungsempfänger und Projektkoordination:

**agrathaer GmbH** | Management & Innovation  
Eberswalder Straße 84 | 15374 Müncheberg | [www.agrathaer.de](http://www.agrathaer.de)

Anita Beblek | Geschäftsführung  
Fon: + 49 (0) 33432 82 141 | Fax: +49 (0) 33432 82 198 | [anita.beblek@agrathaer.de](mailto:anita.beblek@agrathaer.de)

Isabell Szallies | Projektkoordination  
Fon: + 49 (0) 33432 82 299 | Fax: +49 (0) 33432 82 198 | [isabell.szallies@agrathaer.de](mailto:isabell.szallies@agrathaer.de)

## Mitglieder der Operationellen Gruppe

---

- agrathaer GmbH → Isabell Szallies, Daniela Lorenz (2020), Sven Möller
- Julius Kühn-Institut, Institut für ökologische Chemie, Pflanzenanalytik und Vorratsschutz → Dr. Christina Müller-Blenkle, Dr. Cornel Adler, Nils Hildebrandt
- BayWa AG Luckau → Sebastian Schuster (bis 2019), Steve Wolter
- Gut Schmerwitz GmbH & Co. KG → Rita Neumann (bis 2018), Roland Wolters und Nicolas Kusenberg
- BKF Belziger Krafffutter GmbH → Bernd Moritz, Steffen Petzold (ab Sommer 2022)
- Biohof SteinReich → Johannes Alt
- Müller BBM GmbH → Ulrich Simon, Thomas Goldammer
- Fördergemeinschaft Ökologischer Landbau Berlin-Brandenburg e.V. → Michael Wimmer
- Kreisbauernverband Potsdam-Mittelmark e.V. → Silvia Wernitz (bis Frühjahr 2022), Dr. Tino Erstling
- Biologische Beratung Prozell & Schöller GmbH → Sabine Prozell, Dr. Matthias Schöller
- Agrar Technik Barnim → Frank Kräupl
- WEDA Dammann & Westerkamp GmbH → Ralf Meyer

## Projektlaufzeit

---

01.09.2017 – 30.11.2022

## Budget

---

1.249.083,59 EUR

## Datum

---

27.02.2023

## Autoren

---

Die Operationelle Gruppe



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Landwirtschaftsfonds  
für die Entwicklung des  
ländlichen Raums



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	4
Abkürzungsverzeichnis.....	5
1    Kurzfassung in deutscher Sprache.....	6
2    Kurzfassung in englischer Sprache.....	6
3    Situation zu Projektbeginn.....	7
3.1    Ausgangssituation.....	7
3.2    Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens.....	8
4    Projektverlauf.....	11
4.1    AP 1: Koordination (agrathaer).....	11
4.2    AP 2: Zusammenstellung des „Beetle Sound Tube“-Systems inklusive Befestigungssystem.....	11
4.3    AP 3: Messsystemzusammenstellung und Softwareentwicklung.....	13
4.3.1    Das erste Messsystem.....	13
4.3.2    Überarbeitung des Messsystems in Projektjahr 2.....	13
4.3.3    Der Akustikauffangbehälter.....	14
4.3.4    Identifikationssoftware.....	15
4.3.5    Software zur Bedienung des Systems.....	15
4.4    AP 4: Installation Akustik im ersten Betrieb.....	16
4.5    AP 5: Probennahme, Fallenleerung und Auswertung.....	17
4.6    AP 6: Nützlingseinsatz.....	18
4.7    AP 7: Optimierung des „Beetle Sound Tube“-Systems.....	18
4.7.1    Die Röhren.....	19
4.8    AP 8: Datenauswertung Akustik und Umgebungssensoren.....	20
4.8.1    Akustik.....	20
4.8.2    Klimasensoren.....	21
4.9    AP 9: Anpassung/Weiterentwicklung Software.....	22
4.10    AP 10: Fertigstellung des praxistauglichen „Beetle Sound Tube“-Systems und Dokumentation.....	22
4.11    AP 11: Ergebnispräsentationen.....	22
4.12    AP 12: Öffentlichkeitsarbeit, Publikationen.....	22
4.13    AP 13: Abschließende Auswertung und Anfertigung des Endberichts.....	23
5    Projektergebnisse.....	24
5.1    Ergebnisse.....	24
5.1.1    Das „Beetle Sound Tube“ System.....	24
5.1.2    Die Röhren und Befestigung.....	24
5.1.3    Technische Ausstattung/ Akustikbehälter.....	24
5.1.4    Software.....	24
5.1.5    Anpassung des Systems an unterschiedliche Lagerformen.....	24
5.1.6    Das "Beetle Sound Tube" System erkennt Insektenbefall im Getreide frühzeitig.....	25
5.1.7    Befallssituation in den Versuchen.....	25
5.1.8    Artenspektrum.....	26
5.1.9    Masstrapping mit dem „Beetle Sound Tube“.....	27
5.1.10    Auswirkungen des Artenspektrums auf die akustische Erfassung.....	27
5.1.11    Nützlingsausbringung über „Beetle Sound Tubes“.....	27
5.1.12    Ungelöste Fragestellungen/ Sackgassen.....	28
5.1.13    Praxisbroschüre.....	28
5.2    Diskussion der Ergebnisse.....	30
5.3    Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen.....	31
5.4    Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen.....	31
5.5    Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	32
5.6    Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	33
5.7    Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen.....	33

6	Zusammenarbeit der operationellen Gruppe.....	34
7	Kommunikations- und Disseminationskonzept.....	35
8	Literaturverzeichnis .....	36
9	Impressionen der Projektarbeit .....	37

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Arbeitsplan des „Beetle Sound Tube“ Projekts mit Darstellung des tatsächlichen Projektverlaufs. ...	12
Abbildung 2	Über ein Tablet kann die Software zur Steuerung des Systems flexibel im Feld angepasst werden. © Jan Zappner / DAAD .....	15
Abbildung 3:	Beispiel einer automatisch generierten Grafik zur Anzahl von akustischen Signalen eines Tages. Die Ereignisse wurden jeweils in einem Zeitraum von 5 Minuten jeweils zu Beginn einer vollen Stunde gezählt. ....	16
Abbildung 4:	Anzahl der Käfersignale/5 Minuten über einen Zeitraum von etwa 6 Wochen. Die roten Pfeile markieren den Zeitpunkt der Fallenleerung, die Zahl darüber die Anzahl der in den Fallen gefundenen Käfer.....	20
Abbildung 5	Wortwolke aus den Titeln der fast 100 Beiträge der Öffentlichkeitsarbeit des „Beetle Sound Tube“ Projekts. ....	23
Abbildung 6:	Käferfunden in den Lagerperioden 1-4, für alle Versuche summiert. ....	26
Abbildung 7:	Projektlogo.....	39

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht der Meilensteine mit Umsetzungsstand.....	10
Tabelle 2	Übersicht über die Versuchsdauer in den Lagerperioden in den verschiedenen Betrieben (Stand: 26.01.2023). ....	17

## Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
BKF	Belziger Krafftutter
BNC-Kabel	BNC = Bayonet Neill Concelman
BR	Bayerischer Rundfunk
DLR	Deutschlandfunk
FÖL	Fördergemeinschaft Ökologischer Landbau
ICP-Messmikrofon	ICP = „Integrated Circuit Piezoelectric“ und ist ein eingetragenes Warenzeichen der PCB Piezotronics, Inc. Die allgemeine Abkürzung ist IEPE (Integrated Electronics Piezo-Electric), die andere Hersteller verwenden und das gleiche bedeutet.
IOBC	International Organisation for Biological and Integrated Control
JKI	Julius Kühn-Institut
KBV	Kreisbauernverband
MAZ	Märkische Allgemeine Zeitung
MEMS-Mikrofon	MEMS = Micro Electro Mechanical System
MOZ	Märkische Oderzeitung
MS Teams	Microsoft Teams
OG	Operationelle Gruppe
RBB	Rundfunk Berlin-Brandenburg
RS-485 Schnittstelle	„Recommended Standard“ -> Standard, der ein bestimmtes Übertragungsverfahren festlegt.
TRL	Technology Readiness Level
ZDF	Zweites Deutsches Fernsehen



# 1 Kurzfassung in deutscher Sprache

In einem fünfjährigen Projekt entwickelten 12 OG-Partner das „Beetle Sound Tube“ System. Das System dient der Früherkennung von vorratsschädlichen Insekten in Getreidelagern um mehr Handlungsoptionen im Vorratsschutz wie z.B. den Einsatz von Nützlingen zu ermöglichen. Das System wurde erfolgreich in vier Betrieben über vier Jahre mit kleinen Silos, Flachlagern und Big Bags erprobt. Das System besteht aus perforierten Röhren, einer Akustikfalle und einer Auswertungssoftware. Die Software wertet die in der Akustikfalle erhobenen Daten aus und informiert den Lagerhalter/ Nutzer über möglichen Befall. Das „Beetle Sound Tube“ System gibt es in einer mobilen und einer fest installierten Variante. Weitere Erkenntnisse des Projekts, allgemeine Hinweise zum Vorratsschutz sowie Anwendungshinweise für das System sind in der Praxisbroschüre zu finden.

# 2 Kurzfassung in englischer Sprache

In a five-year project, 12 OG partners developed the "Beetle Sound Tube" system. The system is used for early detection of insects damaging stocks in grain stores to enable more options for action in stock protection, such as the use of beneficial insects. The system was successfully tested in four farms over four years with small silos, flat storage and big bags. The system consists of perforated tubes, an acoustic trap and an evaluation software. The software evaluates the data collected in the acoustic trap and informs the storekeeper/user of possible infestations. The "Beetle Sound Tube" system is available in a mobile and a permanently installed version. Further findings of the project, general information on storage protection and application instructions for the system can be found in the practical brochure.



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Landwirtschaftsfonds  
für die Entwicklung des  
ländlichen Raums



## 3 Situation zu Projektbeginn

### 3.1 Ausgangssituation

Fast überall, wo Lebensmittel gelagert werden, finden sich mehr oder minder spezialisierte Insektenarten an, die sich von den Lagergütern ernähren und sich darin fortpflanzen. Neben den direkten, durch die Fraßaktivität der Insekten verursachten Verlusten, kommt es auch zu indirekten Verlusten durch Verminderung der Qualität der Ware (Boxall 2001). Der Insektenbefall führt zu Befeuchtung und Erwärmung und bei stärkerem Befall zum Verbacken des Getreides. Weiterhin kontaminiert der Befall die Ware mit Kot und Insektenteilen. In den Hotspots mit hoher Insektendichte führen die Feuchte- und Temperaturveränderungen im Getreide zu sekundärem Befall mit z.B. Milben und Pilzen, die großflächig zum Verderb von Lagergütern führen. Die durch Schimmelbildung entstehenden Mykotoxine können bei Menschen zu schwerwiegenden gesundheitlichen Schäden führen und deshalb ganze Getreidepartien unbrauchbar machen (Peter et al. 2013). Auch als Tierfutter ist das Getreide bei Überschreitung bestimmter Mykotoxin-Grenzwerte wegen starker negativer Effekte der Gifte auf Nutztiere nicht mehr verwendbar (Zain 2011).

Es gibt nur wenige Studien, die sich mit den Verlusten im Vorratsschutz beschäftigen (Smil 2004). Für Weizen in Deutschland geht das BMEL nach groben Schätzungen von Verlusten von 2-4% durch Schädlingsbefall aus (Peter et al. 2013). Die gleichen Autoren zitieren den niedersächsischen Landhandel, der im Schadensfall Aussortierungsverluste von 5-10% benennt. Auf Brandenburg übertragen würden bei etwa 2,75 Mio. t Getreideernte in 2016 unter Betrachtung von Preis und Menge der verschiedenen Getreidearten (Getreidewarenwert 2016 etwa 351 Mio. €) 2-4% einen Verlust von etwa 7-14 Mio. € pro Ernte bedeuten.

Erkennt der Landwirt einen Befall, kann er das Getreide behandeln und reinigen oder zu einem häufig geringeren Preis als Futtermittel verkaufen. Wird der Befall allerdings erst bei der Eingangskontrolle von Lager oder Mühle offensichtlich, wird die Annahme der Ware verweigert. In diesem Falle kann der Landwirt befallenes Getreide für einen Abschlag zur Reinigung an die Mühle verkaufen oder das befallene Getreide in eine Biogasanlage bringen. Dabei fallen neben den Verlusten durch einen Einnahmeverlust bzw. geringeren Verkaufspreis zusätzliche Transportkosten an. Nachgewiesener Insektenbefall in angeliefertem Getreide führt in der Praxis zu Preisabschlägen von bis zu 20 €/t für die Schädlingsbekämpfung (Peter et al. 2013). Stark befallenes, schimmeliges oder muffig riechendes Getreide wird nach Auskunft der BayWa nicht angenommen (Peter et al. 2013) und muss entsorgt werden.. Daher ist es notwendig, das vorhandene Getreide in einem insektenfreien Zustand zu halten bzw. Befall frühzeitig zu erkennen und zu bekämpfen, um den Weiterverkauf zu sichern.

Bei Lagerhaltern wird die Ware bei Anlieferung einer Eingangskontrolle unterzogen und als insektenfrei und damit handelsfähig bewertet, wenn keine Tiere gefunden wurden. Allerdings verbergen sich die Tiere ungleichmäßig verteilt im Substrat und selbst bei umfangreichen Stichproben aus der Lieferung ist ein Insektenbefall nicht sicher auszuschließen. Häufig wird befallene Ware vor dem Verkauf gereinigt, und damit frei laufende Tiere aus der Ware entfernt. So können z.B. Plattkäfer und ihre frei lebenden Larven relativ gut herausgereinigt werden, wohingegen z.B. im Getreidekorn verborgene fressende Kornkäferlarven in der Ware zurückbleiben und bei einer Sichtkontrolle nicht bemerkt werden. So ist auch ein kräftiger Befall nach Siebung schlecht erkennbar und die Larven, die sich im Inneren von Körnern oder Bohnen befinden, bilden die Grundlage einer neuen Insektenpopulation.

Insektenkontrolle erfolgt durch unterschiedliche Fallen, durch optische Substratoberflächenkontrolle oder Siebproben. Um bei Siebproben von einem kg/t einen Befall nachzuweisen, müssen sich nach Steidle und Reichmuth (2003) jedoch etwa 1000 Kornkäfer in einer Tonne Getreide befinden (Nachweisgrenze). Temperaturmessungen geben Hinweise auf eine Nestbildung (Hotspot) und Massenbefall. Dabei handelt es sich jedoch um Punktaufnahmen, deren Erfolg stark von der Anzahl der Messpunkte und der Häufigkeit der Messungen abhängig ist. Wenn die Temperaturmessungen auf Befall hindeuten, ist dieser allerdings schon weit fortgeschritten und aufgrund der hohen Schädlingsdichte ist es zu spät für z.B. biologische Bekämpfungsmethoden.

Zur Bekämpfung von Insektenbefall werden oft Begasungen vorgenommen, die die Kosten für die Lagerung steigern, eine Gasdichtigkeit des Gebäudes voraussetzen und eine vom Verbraucher oft ungewollte chemische Behandlung darstellen. Eine frühzeitige Identifikation von Befall vermindert den Schaden erheblich und ermöglicht die Bekämpfung aus einer Palette von physikalischen, biologischen und chemischen Maßnahmen.

### **3.2 Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens**

Das Vorhaben der Operationellen Gruppe (OG) hat zum Ziel, ein dauerhaft installiertes akustisches Früherkennungssystem („Beetle Sound Tube“) für vorratsschädliche Insekten in Getreidesilos zu entwickeln. Mit dem Früherkennungssystem sollen Verluste durch Schadinsekten reduziert werden, was aus Sicht der OG den gleichen Stellenwert wie eine Erhöhung der Primärproduktion hat. Wichtig ist dabei, dass das System eigenständig betrieben werden kann und den Landwirt/ Lagerhalter mit den notwendigen Informationen über den Zustand seines Lagergutes versorgt, die zur Entscheidung über weitere Schritte notwendig sind.

Mit dem „Beetle Sound Tube“-System soll den Brandenburger Landwirten eine Technik an die Hand gegeben werden, mit der sie ihr Getreide überwachen und frühzeitig individuell passende Maßnahmen zur Befallsbekämpfung ergreifen können. Im Rahmen des Projektes wird den Landwirten/ Lagerhaltern zudem der Einsatz von Nützlingen, die über das „Beetle Sound Tube“-System ins Substrat eingebracht werden sollen, als eine biologische Bekämpfungsmethode angeboten.

Die Anzahl verfügbarer chemischer Schädlingsbekämpfungsmittel im Vorratsschutz ist in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen, wohingegen die Bedeutung physikalischer und biologischer Verfahren gestiegen ist (Adler 2010). Auch die „Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz“ weist darauf hin, dass sofern praktikable und umweltverträgliche nicht-chemische Abwehr- und Bekämpfungsverfahren zur Verfügung stehen, diese zu bevorzugen sind (BMELV 2010). Nützlinge greifen als biologische Gegenspieler sehr früh in die Entwicklung der Schädlinge ein, töten ihre Wirte und verringern damit das Vermehrungspotential von Schädlingen – bis hin zum Aussterben (Zimmermann 2012). Dabei verbleiben im Gegensatz zu einigen konventionellen Verfahren durch die Bekämpfung keine chemischen Rückstände im Getreide. Unterdessen ist für fast jeden in Deutschland vorkommenden Schädling mindestens ein biologischer Gegenspieler identifiziert (Reichmuth 2009). Eine Reihe von Nützlingen ist seit etwa 20 Jahren kommerziell verfügbar. Bei der Lagererzwespe wurde eine Detektionsleistung von 20 Kornkäferlarven pro Tonne Getreide ermittelt (Steidle und Reichmuth 2003), was deutlich unterhalb der Nachweisgrenze von 1000 Käfern pro Tonne liegt.

Durch den prophylaktischen Einsatz von Nutzinsekten lässt sich die Ausbreitung von Vorratsschädlingen auf andere Bereiche des Lagers verhindern und, wie Steidle und Reichmuth (2003) zeigten, die Population von Kornkäfern durch Lagererzwespen unterhalb der Nachweisgrenze von 1000 Käfern/t halten. Damit bietet sich ein nachhaltiger Weg, Getreideverluste und damit auch finanzielle Einbußen zu vermeiden. Weiterhin kann der Einsatz chemischer Mittel weitgehend reduziert werden, wie es in den gesetzlichen Vorgaben (z.B. EU-VO zum Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln 1107/2009) gefordert ist und den Wünschen von Verbrauchern entspricht.

Es entsteht für Brandenburg somit eine Innovation im Bereich Vorratsschutz, die über die spezifische Zusammensetzung der OG breit gestreut werden kann.

Teilziele des Projektes sind:

- Zusammenstellung eines erweiterbaren Baukastensystems zur akustischen Aufzeichnung von Insektengeräuschen in Silos. Das „Beetle Sound Tube“-System besteht aus einer variablen Anzahl von Metallröhren, die senkrecht im Silo verankert werden und Insektengeräusche im Silo innerhalb der Röhren bündeln.

- Entwicklung eines stabilen, flexiblen Befestigungssystems für die „Beetle Sound Tubes“, welches an unterschiedliche Silotypen und –größen angepasst werden kann.
- Entwicklung und Optimierung einer Insektenidentifikationssoftware, die Landwirten/ Lagerhaltern die Information über den Befall liefert, die notwendig ist, um Schritte zur schnellen und effektiven Bekämpfung einzuleiten.
- Einsatz des „Beetle Sound Tube“-System als „Eingangspforte“ für Nützlinge, die über die Röhren tief ins Getreidesilo zum Insektenbefall vordringen können um den Befall dort zu bekämpfen. Hier soll untersucht werden, welche Bedingungen die Nützlinge bei der Einbringung über das Rohrsystem benötigen, um effektiv eingesetzt werden zu können. Die Wahl der geeigneten Bekämpfungsmethode kann vom Landwirt/ Lagerhalter bei jedem Befall neu überdacht werden.

Tabelle 1 Übersicht der Meilensteine mit Umsetzungsstand.

Meilenstein	Geplante Etappenziele	Erfüllung des Meilensteins
1	Projektmanagement: Erfolgreiche Etablierung der OG, Stellenbesetzung, materiell /technische Grundlagen etabliert	Siehe Kapitel 4.1
2	Öffentlichkeitsarbeit zum Beginn des Projektes	Siehe Kapitel 4.12
3	Der Prototyp des „Beetle Sound Tube“-Systems ist fertiggestellt	Siehe Kapitel 4.2
4	Messsystem und Software für Insekterkennung sind entwickelt und bereit zum Einsatz	Siehe Kapitel 4.3
5	Erstes „Beetle Sound Tube“-System inklusive Messsystem ist im Silo installiert. 1. Versuch startet	Siehe Kapitel 4.2
6	Optimierung des „Beetle Sound Tube“-Systems	Siehe Kapitel 4.7
7	Workshop bei der BIOFACH zur Präsentation des Projektes für das Fachpublikum und Multiplikatoren	Siehe Kapitel 4.12
8	Probenauswertung der ersten Lagerphase abgeschlossen	Siehe Kapitel 4.5
9	Installation des „Beetle Sound Tube“-Systems in drei weiteren Betrieben, Präsentation Projekt und erste Ergebnisse auf der Agritechnica	Siehe Kapitel 4.12
10	Anpassung/Weiterentwicklung Software abgeschlossen	Siehe Kapitel 4.8
11	Workshop bei der BIOFACH zur Präsentation des Projektes für das Fachpublikum und Multiplikatoren	Siehe Kapitel 4.12
12	Fertigstellung des vertriebsfertigen „Beetle Sound Tube“-Systems und Dokumentation	Siehe Kapitel 4.10
13	Abschließende Öffentlichkeitsarbeit	Siehe Kapitel 4.11
14	Abschließende Auswertung und Anfertigung des Endberichtes	Siehe Kapitel 4.13

## 4 Projektverlauf

Das Projekt begann im Dezember 2017, die Operationelle Gruppe traf sich im Januar 2018 zum Kick-Off. Der Projektverlauf orientiert sich an den geplanten Arbeitspaketen und die genannten Meilensteine wurden abgeschlossen, wobei es in einigen Fällen zu zeitlichen Abweichungen vom Plan kam. In Abbildung 1 ist der Arbeitsplan mit den 13 Arbeitspaketen zu sehen.

### 4.1 AP 1: Koordination (agrathaer)

Agrathaer hat als Lead-Partner die Projektkoordination durchgeführt. Mitarbeiterstellen wurden im Lauf des ersten Projektjahres besetzt. Eine gemeinsame Cloud zur Datenablage wurde installiert (Meilenstein 1 erfüllt). Es fanden 10 OG-Treffen und 47 Telefonkonferenzen statt. Ab 2018 gab es 14-tägige Abstimmungstreffen zwischen dem JKI und agrathaer. Ab 2020 wurde ein 14-tägiges Meeting zum Thema Akustik organisiert, an dem regelmäßig Mitarbeitende vom JKI, Müller BBM und agrathaer teilnahmen. Die Operationelle Gruppe erstellte 5 Sachstandsberichte und insgesamt 18 Mittelabrufe.

### 4.2 AP 2: Zusammenstellung des „Beetle Sound Tube“-Systems inklusive Befestigungssystem

Im ersten Projektjahr wurde das „Beetle Sound Tube“ System zunächst in einem Betrieb installiert. Nach einer genaueren Betrachtung der Höfe entschied die Gruppe, mit dem oben offenen Silo in einer Lagerhalle im Gut Schmerwitz zu beginnen. Der Aufbau des Röhrensystems an einer Arbeitsplattform erfolgte im Juni 2018 und wurde durch die Presse begleitet und öffentlichkeitswirksam wahrgenommen (siehe auch Kapitel 4.12).

Die Zusammenstellung des „Beetle Sound Tube“ Systems für den ersten Betrieb umfasste die Auswahl der Röhren und die Zusammenstellung der Messtechnik, welche in Arbeitspaket 3 (Kapitel 4.3) beschrieben wird (Meilenstein 3 erfüllt). Der Projektpartner Agrar Technik Barnim hat im ersten Projektjahr ein 70-t-Silo mit einer Arbeitsplattform umbaut, an der drei 3 m „Beetle Sound Tubes“ aufgehängt wurden. Diese Röhren sind bei leerem Silo an Ketten höhenverstellbar und im unteren Bereich mit einem Drahtseil verbunden, damit sie in Position bleiben (Meilenstein 5 erfüllt). Diese Konstruktion hat sich bewährt und ist unverändert im Einsatz.

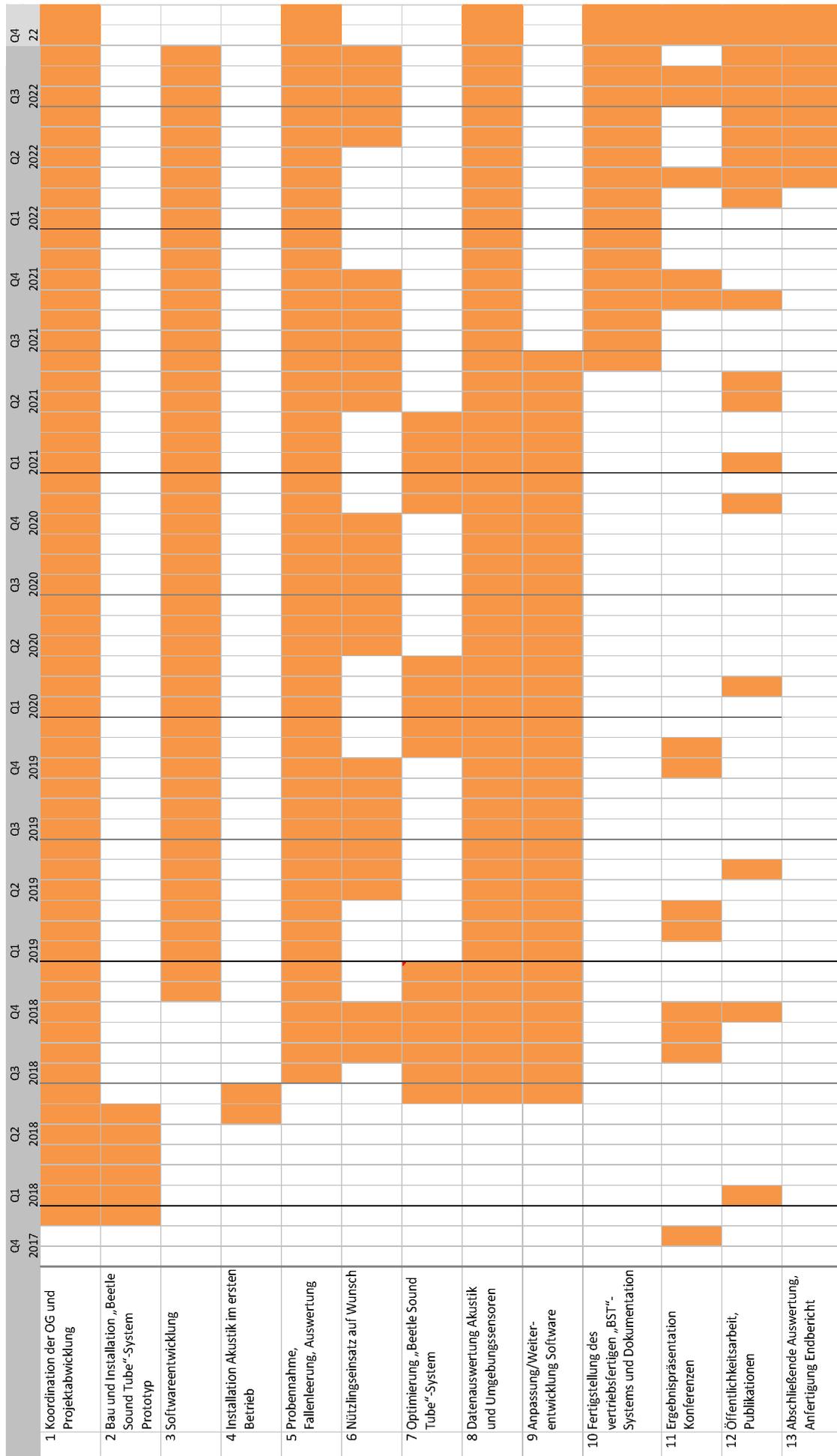


Abbildung 1 Arbeitsplan des „Beetle Sound Tube“ Projekts mit Darstellung des tatsächlichen Projektverlaufs.

## **4.3 AP 3: Messsystemzusammenstellung und Softwareentwicklung**

### **4.3.1 Das erste Messsystem**

Jede Akustikröhre wurde mit einem Mikrofon und drei Sensoren zur Messung von Temperatur und relativer Feuchte ausgestattet, die mit der Technikeinheit, die außerhalb des Silos stand, verbunden wurden. Ein Auffangbehälter im unteren Bereich der Röhre sammelte Insekten, um die Funde mit den akustischen Daten zu vergleichen. Akustische Aufnahmen wurden jeweils zur vollen Stunde für 5 Minuten gemacht (Meilenstein 4 erfüllt).

Für die im Jahr 2018 entwickelte Aufnahmetechnik wurden Standard-Messtechnikkomponenten verwendet. Die Messkette bestand aus ICP-Messmikrofonen der Klasse 1, die an einer ICP-Konditionierungseinheit angeschlossen waren. Diese lieferte die Messsignale an eine marktübliche USB-Soundkarte, die an einem Industrie-PC angeschlossen war. Ebenso waren über eine RS-485 Schnittstelle 11 Temperatur- und Feuchte-Sensoren mit dem Industrie-PC verbunden. Als Betriebssystem kam Windows 10 zum Einsatz. Das System wurde mit einer neu entwickelten Software konfiguriert und gesteuert. Der Industrie PC konnte sowohl über Tastatur und Bildschirm als auch über ein Modem aus der Ferne bedient werden. Hierzu wurde das Programm Teamviewer verwendet, ein kostenpflichtiges Programm, für das Müller-BBM Lizenzen besitzt. Die gesamte Technik war in einer Alu-Box staubgeschützt untergebracht (Meilenstein 4 erfüllt).

Die Versuche starteten nach Befüllung des Silos.

Im ersten Versuchsjahr fiel das System auf dem ersten Betrieb immer wieder aus. Ein Problem war z. B., dass der Windows-PC Updates durchführen wollte und es dadurch zu Systemausfällen kam. Auch der automatische Neustart nach Stromausfällen war nicht immer erfolgreich.

### **4.3.2 Überarbeitung des Messsystems in Projektjahr 2**

Innerhalb des ersten Projektjahres wurde entschieden, dass das "Beetle Sound Tube" System nicht nur für Silos, sondern auch für Flachlagern und Big Bags sinnvoll wäre (siehe Kapitel 4.7). Diese Lagerformen waren in den OG- Betrieben vertreten. Für das im Versuch genutzte Flachlager wurde die Installation von 9 Röhren als sinnvoll erachtet. Deshalb wurde das Messsystem skalierbar gestaltet, so dass es ohne größere Umstellungen erweitert oder reduziert werden kann. Somit wurde aus den Erfahrungen des ersten Projektjahres und dieser Anforderung ein neues Messsystem konzipiert. Es wurde eine Messeinheit entwickelt, die sowohl die Mikrofonkonditionierung für 2 Mikrofone als auch die Verstärkung und Analog-Digital-Wandlung der aufgenommenen Audio-Signale und deren Bereitstellung über eine Ethernet-Schnittstelle enthielt. Mehrere Messeinheiten konnten über einen Ethernet-Switch mit dem Steuercomputer verbunden werden. Neben der Audiotechnik enthielt die Messeinheit die Funktion, angeschlossene Klimasensoren abzufragen und deren Daten ebenfalls über die Ethernet-Schnittstelle bereitzustellen.

Anstelle des im ersten Betrieb verwendeten Industrie-PCs mit Windows 10 als Betriebssystem wurde jetzt ein Raspberry mit Linux als Betriebssystem verwendet. Dies hatte neben den geringeren Kosten den Vorteil, dass die unter Windows regelmäßig erzwungenen Betriebssystem-Aktualisierungen nicht mehr notwendig waren, die über die Modem-Verbindungen oder gar ohne Verbindung zum Internet nur sehr mühsam durchzuführen waren.

Da sich die Bedienung des Aufnahmesystems mit kleinem Bildschirm und Tastatur mit Trackball des ersten Betriebs als nicht besonders nutzerfreundlich herausstellte, wurde nun ein http-Server entwickelt, der ein Web-Interface bereitstellte, über die das System konfiguriert werden konnte und der die Messungen steuerte. Über WLAN konnte dann vor Ort ein Tablet mit dem Messsystem verbunden und das System im Web-Browser bedient und überprüft werden.

Es wurde die Möglichkeit geschaffen, auch aus der Ferne volle Kontrolle über das System zu haben, inkl. der Möglichkeit, das System neu zu starten, die Software zu aktualisieren oder Messdaten herunterzuladen. Außerdem konnte die Benutzeroberfläche auch mit jedem internetfähigen Web-Browser dargestellt und bedient werden.

Um über den aktuellen Zustand des Messsystems informiert zu sein, wurde in der Software eine Funktion implementiert, die täglich einen Statusbericht per E-Mail sendete. Damit konnten Ausfälle des Systems früh erkannt und kurzfristig, falls möglich, aus der Ferne oder vor Ort behoben werden. Dieses System wurde im zweiten Jahr in den weiteren drei Betrieben und später auch im ersten Betrieb installiert.

### **4.3.3 Der Akustikauffangbehälter**

Ursprünglich wurden die Käfer am unteren Ende der Röhren in einem einfachen Metallbecher mit Trichter aufgefangen und das Mikrofon darüber aufgehängt. Im Rahmen der Akustikauswertungen (vgl. Kapitel 4.8) zeigte sich, dass die aufgezeichneten Käfergeräusche stark vom Auffangbehälter und dessen Position in der Röhre abhängig sind. Ebenso zeigte sich, dass der Ansatz, die Käfer im Getreide zu belauschen, mit den überwiegend gefundenen Arten nicht funktionierte (siehe Kapitel 4.5) und vornehmlich die Käfer im Auffangbehälter belauscht wurden. Deshalb wurde ab Oktober 2021 ein akustisch optimierter Auffangbehälter mit integriertem Mikrofon entwickelt und getestet.

Somit bedarf es eines Bechers, der vor Umgebungsgeräuschen geschützt ist und eine besonders gute akustische Erfassung für die leisen Getreideplattkäfer ermöglicht. Ein doppelwandiger Thermo-Becher erschien der OG hier als geeignetes Mittel. Zum einen lässt sich die Innenwand besonders gut in Schwingung versetzen und ist durch die Außenwand des Bechers von äußeren Störeinflüssen geschützt. Zum anderen kann die Innenwand wegen des Vakuums zwischen Innen- und Außenwand besonders gut schwingen.

Außerdem entstand durch die Fokussierung auf den Fallenbehälter und die Geräusche, die von den im Fallenbehälter gefangenen Tiere stammen, die Idee, die gesamte Messtechnik an und im Fallenbehälter anzubringen und damit direkt in die Röhre zu verlagern. Dies hatte den Vorteil, dass die Messsignale direkt an der Quelle schon digitalisiert werden konnten und somit elektrische Störungen, die im vorigen System in die analoge Messsignale übertragenden BNC-Kabel

eingestreut wurden, minimiert wurden. Außerdem konnte man das System auch im Labor prüfen, indem man Tiere in den Becher einbrachte und Messungen durchführte. Auch war das System robuster und sensible Technik stärker vor Außeneinflüssen geschützt.

Als Mikrofon kam nun ein MEMS-Mikrofon zum Einsatz, das direkt im Fallenbehälter angebracht wurde. Dies war wegen dessen geringer Größe und höherer Robustheit gut geeignet und reduzierte die Kosten des Messsystems erheblich – welches sich wiederum positiv auf die Realisierbarkeit für die Betriebe auswirkt (vgl. Kapitel 5.7). Es zeigte sich, dass trotz des höheren Grundrauschens des Mikrofons die von den Käfern erzeugten Geräusche gut erfasst wurden.

Weiterhin wurde ein Raspberry direkt unterhalb des Auffangbehälters befestigt, so dass nur noch sehr kurze Kabel vom Mikrofon zur Auswerteeinheit führen und somit Störungen minimiert werden können. So ist jeder Akustikauffangbehälter eine eigene Einheit, die über ein Datenkabel mit einer zentralen Einheit verbunden wird. Damit wird neben der Reduktion der Störungen auch die Flexibilität des Systems erhöht.

#### 4.3.4 Identifikationssoftware

Die Entwicklung der akustischen Auswertesoftware wurde im ersten Versuchsjahr noch nicht verfolgt, da die Entwicklung des technischen Systems und der Aufnahmesoftware sehr viel Zeit in Anspruch nahm. Außerdem gab es zu Beginn der Lagerperiode einen deutlichen Befall und somit sehr viele Signale, die eher als Klangteppich und nicht mehr als Einzelereignisse wahrnehmbar waren.

Die Softwareentwicklung wurde eng mit der Datenauswertung verkoppelt und ist deshalb unter Arbeitspaket 8 (Kapitel 4.8) weiter beschrieben.

#### 4.3.5 Software zur Bedienung des Systems

Die bereits bestehende Bediensoftware wurde zum Projektende weiter optimiert und für die Betriebe benutzerfreundlich gestaltet (siehe Abbildung 2). Sie übersendet via E-Mail automatisch Informationen über die Signale und Klimadaten an den Lagerhalter.



Abbildung 2 Über ein Tablet kann die Software zur Steuerung des Systems flexibel im Feld angepasst werden. © Jan Zappner / DAAD

Die Resultate der akustischen Auswertung werden täglich grafisch aufbereitet und in einer E-Mail zusammen mit Klimadaten verschickt. Der Landwirt hat über die Software die Möglichkeit, „Befallsschwellen“ zu definieren, die in der Grafik verschiedenfarblich dargestellt werden und so einen einfachen Überblick über die Anzahl der detektierten Geräusche zu bekommen (siehe Abbildung 3). Die Häufigkeit und die Dauer des Überwachungszeitraums können variiert werden. Weiterhin kann angepasst werden, wie oft und an wen die Benachrichtigungsemail verschickt wird. Die E-Mail an den Betrieb enthält zwei Grafiken mit Informationen über die Anzahl der Signale der letzten 48 Stunden, und zusammengefasste Klimadaten der letzten 24 Stunden.

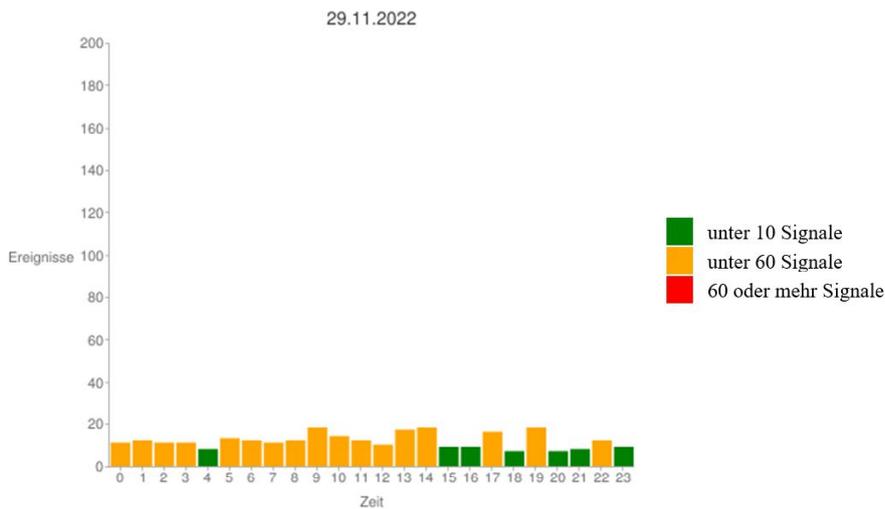


Abbildung 3: Beispiel einer automatisch generierten Grafik zur Anzahl von akustischen Signalen eines Tages. Die Ereignisse wurden jeweils in einem Zeitraum von 5 Minuten jeweils zu Beginn einer vollen Stunde gezählt.

## 4.4 AP 4: Installation Akustik im ersten Betrieb

Die Akustikinstallation im ersten Betrieb ist Teil des Messsystems und wird in Kapitel 4.3 beschrieben.

## 4.5 AP 5: Probennahme, Fallenleerung und Auswertung

Der Versuchsaufbau wird in AP 3 beschrieben. Eine Übersicht der Lagerperioden gibt Tabelle 2. In allen Betrieben wurden während der Lagerperioden im 14-tägigen Rhythmus Fallen geleert und Proben genommen. In Schmerwitz, BKF und Steinreich wurden neben den Fallen in den „Beetle Sound Tubes“ noch Probetraps genutzt und regelmäßig Stichproben genommen. Beim großen Silo der BayWa war das Getreide von oben nicht zugänglich, so dass hier keine Probetraps und Probenstecher zum Einsatz kamen.

Die Daten der Temperatur- und Feuchtesensoren sowie die akustischen Aufnahmen wurden alle 14 Tage gesichert und die Klimadaten grafisch aufbereitet. Alle Ergebnisse wurden elektronisch erfasst.

Tabelle 2 Übersicht über die Versuchsdauer in den Lagerperioden in den verschiedenen Betrieben (Stand: 26.01.2023).

Lagerperiode	Gut Schmerwitz	BayWa Hohenseefeld	BKF Bergholz	Hof SteinReich
2018/2019	291 Tage			
2019/2020	260 Tage	213 Tage	138 Tage	174 Tage
2020/2021	252 Tage	283 Tage	293 Tage	
2021/2022	336 Tage	210 Tage	231 Tage	406 Tage
2022/2023	131 Tage		seit 19.07.2022	

In der Lagerperiode 2021/22 wurde bei der BayWa ein Flachlager für Versuche genutzt und die dort standardmäßig genutzten Becherfallen mit ausgewertet. Der Wechsel vom Silo ins Flachlager wird in Kapitel 4.7 begründet.

Die Stichproben wurden vor Ort gesiebt, auf Insektenbefall untersucht und zur Bestimmung der Getreidefeuchte genutzt. Der ursprüngliche Plan, eine Stichprobe pro m<sup>2</sup> Getreideoberfläche zu nehmen, wurde verworfen, da die Oberfläche des ersten Versuchssilos nicht leicht zugänglich war und die Probennahmen sich nicht als effektiv gezeigt haben. Auch bei stärkerem Befall wurden nur wenige Funde mit Stichproben nachgewiesen. Weiterhin wurden kommerziell verfügbare Probetraps eingesetzt, um die Fänge der Probetraps mit denen der Fallenbehälter in den „Sound Tubes“ vergleichen zu können. Eine Auswertung soll für eine kommende Veröffentlichung des JKIs erfolgen. Der Inhalt der Fallen und der Probetraps wurden im Labor sortiert und bestimmt. Ab der zweiten Lagerperiode, in der alle vier Höfe beprobt wurden, wurde eine technische Assistenz eingestellt, um die umfangreichen Proben auszuwerten. Die Fallenfunde wurden im Labor nach Artengruppen sortiert. Der Schwerpunkt der Auswertung lag auf vorratsschädlichen Käfern, die, wenn möglich, bis auf Art- oder Gattungsebene bestimmt wurden (Meilenstein 8 erfüllt).

## 4.6 AP 6: Nützlingseinsatz

Über die Lagerperioden wurden auf den Höfen insgesamt 15 Langzeitversuche durchgeführt (siehe Tabelle 2). In 5 Fällen war keine Behandlung des Getreides notwendig, da kein oder nur sehr schwacher Befall vorhanden war, der sich wegen sinkender Temperaturen im Herbst nicht mehr entwickeln konnte. In 8 Fällen wurden unterschiedliche Nützlinge (Lagererzwespen, Getreideplattkäferwespen, Lagerpiraten und Mehlmottenschlupfwespen) ausgebracht, abhängig vom Artenspektrum des vorhandenen Befalls. In zwei Fällen war keine Nützlingsbehandlung möglich, da die Temperaturen im Herbst schon zu niedrig für die Nützlinge waren bzw. in einem Fall Käferbefall existierte, für den es bisher keine kommerziell einsetzbaren Nützlinge gibt.

In einigen Fällen gab es einen starken Anfangsbefall, der mithilfe der Nützlinge gebremst wurde, bis das Getreide von den Betrieben genutzt wurde.

Geplant war eine Nützlingsausbringung direkt über die „Beetle Sound“ Röhren, um den Nützlingen den Zugang zu tieferen Getreideschichten zu erleichtern. Dazu waren Ausbringbehälter für die Nützlinge in den Röhren befestigt. Die große Zahl von tot in den Ausbringbehältern und in den Röhren gefundenen Nützlingen führte zu einer Anpassung im Perforationsmuster der „Sound Tubes“, um die Wege für die Nützlinge zum nächsten „Ausstiegsloch“ zu verkürzen. Die Anpassung wurde im Labor geprüft, führte aber nicht zu Verbesserungen. Neben dieser Änderung und den bereits vorhandenen Papierbrücken zwischen Ausbringbehälter und Röhrenwand wurden keine in der Praxis einsetzbaren Verbesserungsmöglichkeiten für die Ausbringung von Nützlingen gesehen, so dass entschieden wurde, weitere Nützlinge im Laufe des Projektes auf der Getreideoberfläche auszubringen.

## 4.7 AP 7: Optimierung des „Beetle Sound Tube“-Systems

Technische Anpassungen bzgl. Messtechnik und Akustik-Hard-/Software werden unter Kapitel 4.3 behandelt. Dieses Kapitel 4.7 fokussiert sich auf die Anpassungen der Röhren und Befestigung und das „Beetle Sound Tube“-System in anderen Lagerformen.

Im zweiten Projektjahr wurden drei weitere Betriebe mit dem „Beetle Sound Tube“-System ausgestattet. Dabei handelte es sich um sehr verschiedene Lagerformen, was grundlegende Veränderungen im Vergleich zum ersten System bedeutete.

Im Projektantrag war von einem im Silo hängenden System die Rede. Die Begehungen auf den Höfen zeigten dann, dass

- Im 18 m hohen Silo der BayWa im oberen Bereich keine stabile Befestigung der Röhren möglich ist,
- Das bei BKF-geplante Silo schlecht zugänglich ist und das Getreide dort auch ständig in Bewegung ist (häufige Ein- und Auslagerungen),
- Das geplante Silo in SteinReich während der Projektlaufzeit nicht verwirklicht werden wird.

Deshalb wurde für das große Silo eine aufwändige Röhrenkonstruktion entwickelt, die auf dem Siloboden aufsteht, 18 m durch das gesamte Silo führt und oberhalb des Daches an einem Laufsteg endet. Von dort war es für Arbeiten zugänglich. Zur höheren Stabilität wurden Röhren mit einem kleineren Durchmesser und einer dickeren Wandung hergestellt, die im Abstand von 2 m miteinander verstrebt wurden. Der Aufbau mit einem Kran in Hohenseefeld erfolgte am 14. Juni 2019. Allerdings kam es bei dem Röhrensystem durch einen Einbruch des Standfußes in das Belüftungssystem zu Verformungen, die nach zwei Lagerperioden so stark waren, dass nach Absprache mit allen Beteiligten ein Abbau des Systems entschieden wurde, um Beschädigungen am Silo zu vermeiden. Teile des Röhrensystems wurden im Anschluss noch für eine weitere Lagerperiode in einem Flachlager desselben Betriebs genutzt.

BKF konnte statt des Silos ein Flachlager am Standort Bergholz zur Verfügung stellen. Da in Flachlagern mit großen Maschinen gearbeitet wird, kommt hier eine fest installierte „Beetle Sound Tube“-Lösung nicht in Frage. Daher wurde eine mobile Version der Röhren entwickelt, die nach der Einlagerung ins Getreide gedreht werden kann.

Beim Hof SteinReich wird überwiegend in Big Bags gelagert. Auch in diesem Fall war die mobile Version geeignet, allerdings in einer kürzeren Version als im Flachlager.

#### **4.7.1 Die Röhren**

Im Rahmen des Projektes wurden vier Betriebe mit unterschiedlichen Edelstahlröhren ausgestattet, die mit Laser perforiert wurden. Das im Silo hängende System hatte aus Blech geformte und verschweißte Röhren mit 10 cm Durchmesser. Für das große Silo, in dem die Röhren 18 m durch das gesamte Silo geführt werden mussten, wurden kommerziell verfügbare Edelstahlröhren mit 8 cm Durchmesser und einer stärkeren Wanddicke gewählt.

Teilweise wurde auch die Anordnung der Löcher der Perforation verändert, um den Nützlingen den Zugang ins Getreide zu erleichtern, was jedoch keine Effekte auf die Nützlingsausbringung hatte (siehe Kapitel 4.6).

Für die mobilen Versionen wurde eine perforierte Röhre am unteren Ende mit einer Spitze und einer Schneckenwendel versehen. Auch hier kamen kommerziell verfügbare Röhren zum Einsatz.

Die mobilen Röhren werden mit Hilfe einer Eindrehvorrichtung, die oben auf die Röhre aufgesetzt wird, per Hand eingedreht. Die mobile Version besteht aus zwei Teilen. Der untere Teil ist 1,6 m lang und kann in Big Bags genutzt werden. Durch ein Verlängerungsstück, welches aufgeschraubt wird, kann die Röhre auf 3 m verlängert und in größeren Getreidemengen im Flachlager eingesetzt werden. Das mobile System hat weiterhin den Vorteil, dass es erweiterbar ist, d.h. Big Bags werden mit einer Röhre pro Bag ausgestattet, während in einem Flachlager mehrere Röhren eingesetzt werden. Im Rahmen des Projektes wurde das Flachlager mit 9 Röhren ausgestattet.

## 4.8 AP 8: Datenauswertung Akustik und Umgebungssensoren

### 4.8.1 Akustik

Um die Datenmengen zu begrenzen, wurden die akustischen Aufnahmen nicht dauerhaft, sondern zu jeder vollen Stunde 5 Minuten pro Sound Tube aufgezeichnet. Die Auswertung dieser aufgenommenen Daten wurde zunächst in einer separaten Software durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigten, dass bei Befall deutliche impulsartige Knacksgeräusche zu hören waren, ähnlich wie die, die im Vorgängerprojekt „InsectTap“ am JKI von verschiedenen Käferarten bereits aufgezeichnet wurden. Es wurde versucht, diese Impulse automatisch zu erkennen und zu zählen. Teilweise konnte hiermit schon ein Käferbefall nachgewiesen werden, da man sehen konnte, dass die Anzahl der Impulse vor einer Fallenleerung signifikant anstieg und nach der Fallenleerung wieder bei Null startete (Abbildung 4).

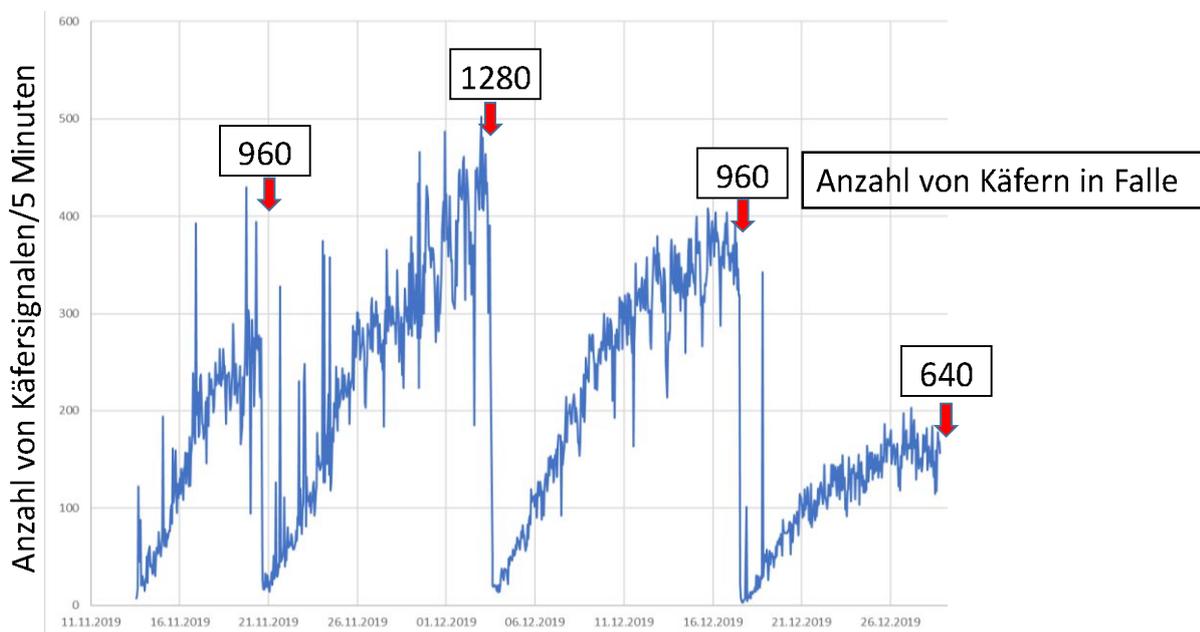


Abbildung 4: Anzahl der Käfersignale/5 Minuten über einen Zeitraum von etwa 6 Wochen. Die roten Pfeile markieren den Zeitpunkt der Fallenleerung, die Zahl darüber die Anzahl der in den Fallen gefundenen Käfer.

Es zeigte sich aber auch, dass in manchen Aufnahmen Störgeräusche vorhanden waren, die von den durch die Käfer erzeugten Impulsen nur schwer automatisch unterscheidbar waren. Bei den Störungen handelte es sich um von außen induzierte elektromagnetische Einstreuungen, die z.B. der auf dem Dach angebrachten Solartechnik zuzuordnen waren oder um Außengeräusche z.B. von Lüftungen oder Tieren. Deshalb wurde die Software erweitert und korrelierte nun alle Impulse untereinander, um in einer Hauptkomponentenanalyse ähnliche Impulsarten zu gruppieren und charakteristische Käfersignale zu identifizieren.

Diese charakteristischen Käfersignale konnten in manchen Aufnahmen eindeutig identifiziert werden, in anderen aber nur sehr selten, obwohl aufgrund der Fallenfunde wesentlich mehr Signale zu erwarten gewesen wären. Zusätzlich stellte sich heraus, dass die Käfergeräusche nicht primär

vom Käfer stammten, sondern von dem durch den Käfer akustisch angeregten Fallenbehälter. Weiterhin zeigten Laborversuche, dass der Getreideplattkäfer (*Oryzaephilus surinamensis*), der in den meisten Versuchen mit Abstand die häufigste Art war, so klein ist, dass er bei der Bewegung im Getreide keine Geräusche produziert, d.h. im Getreide außerhalb der Röhren auch nicht hörbar ist. Das war überraschend, da erstens der Kornkäfer (*Sitophilus granarius*) in Vorversuchen sehr gut außerhalb der Röhren zu hören war und zweitens nicht erwartet worden war, dass der Getreideplattkäfer in den Lägern so stark vertreten ist. Deshalb war es sinnvoll, sich auf die in den Fallenbehältern entstehenden Geräusche zu fokussieren.

Außerdem führte die Erkenntnis, dass die von den Käfern stammenden Geräusche maßgeblich vom Fallenbehälter beeinflusst sind, zu dem Schluss, dass die Unterscheidung verschiedener Käferarten nur sehr schwer oder überhaupt nicht möglich ist. Somit wurde jetzt der Fokus daraufgelegt, den Fallenbehälter so zu optimieren, dass er von Käfern möglichst leicht zur Schwingung angeregt werden kann, was zur Entwicklung der oben beschriebenen Akustikfalle führte (siehe Kapitel 4.3).

#### **4.8.2 Klimasensoren**

Die Daten der Klimasensoren wurden alle 14 Tage ausgelesen und in Grafiken aufbereitet. Neben den Sensoren in den "Beetle Sound Tubes" wurden auch Sensoren direkt im Getreide und in der Lagerhalle angebracht (außer im 300 t Silo, welches nicht zugänglich war). Zusätzlich wurden Temperaturdaten von Wetterstationen in der Umgebung in die Grafiken integriert.

## **4.9 AP 9: Anpassung/Weiterentwicklung Software**

Für ein besseres Verständnis und Übersichtlichkeit wird die Weiterentwicklung der Software, die eng mit der Hardware und Messtechnik verkoppelt ist, unter Kapitel 4.3 beschrieben.

## **4.10 AP 10: Fertigstellung des praxistauglichen „Beetle Sound Tube“-Systems und Dokumentation**

Am Projektende liegen zwei anwendbare Systeme vor: ein mobiles und ein fest installiertes „Beetle Sound Tube“ System, dessen Anwendung in der Praxisbroschüre übersichtlich dargestellt ist. Hierbei lassen sich die Röhrensysteme dem Technology Readiness Level (TRL) 7 zuordnen. Der Akustikbehälter (TRL 6), wie er 2021/ 2022 entwickelt wurde, ist für beide Systeme verwendbar und zu Projektende in zwei Projektbetrieben einsatzfähig und nutzbar (Meilenstein 12 erfüllt).

## **4.11 AP 11: Ergebnispräsentationen**

Die Praxisbroschüre beinhaltet Informationen über die Ergebnisse des EIP-Projekts sowie allgemeinen Handlungsempfehlungen für Lagerhalter (Meilenstein 13 erfüllt). Eine genaue Beschreibung sowie der Link zur Broschüre sind in Kapitel 5.1 zu finden.

Weiterhin wurde das Projekt auf vielen Veranstaltungen vorgestellt (siehe hierzu im Anhang „Nachweis der Veröffentlichungen“).

## **4.12 AP 12: Öffentlichkeitsarbeit, Publikationen**

In der Projektlaufzeit wurden 49 Printartikel über das Projekt veröffentlicht, davon 22 in Fachmedien und 27 in allgemeinen Medien. Neben diesen Artikeln in Zeitschriften, Zeitungen und Internet wurden auch 11 Radio- und Fernsehbeiträge zum Projekt erstellt und veröffentlicht, teilweise erneut und in mehreren Sprachen (Beitrag des Bayrischen Rundfunks). Die Medienreichweite erstreckte sich von regional (z.B. RBB-Mediengruppe, MOZ/ MAZ; Bauernzeitung) über deutschlandweit (z.B. ZDF, BR, DLF; TopAgrar) zu international (z.B. EIP, IOBC, Twitter). Es wurden 7 Pressemitteilungen seitens des Projekts veröffentlicht (Meilenstein 2 erfüllt) und Pressevertreter mehrmals zu vor Ort-Terminen eingeladen und weitere Betriebsbesichtigungen auf Bitte der Pressevertreter organisiert. Das Projekt wurde in 25 Vorträgen und durch 6 Informationsstände vorgestellt. Eine Übersicht der Themen bietet die Wortwolke in Abbildung 5.

Zwei Veranstaltungen auf der Biofach wurden geplant und durchgeführt: 2018 gab es eine Podiumsdiskussion mit Mitgliedern der OG, an der ca. 15 Interessierte teilnahmen (Meilenstein 7 erfüllt). In 2022 wurde seitens des JKI ein Fachvortrag gehalten (ca. 30 Interessierte) und das Projekt auf zwei Ständen auf der Biofach präsentiert: einmal beim JKI und einmal beim Gemeinschaftsstand der FÖL (Meilenstein 11 erfüllt).

Die regionalen Vorträge bei den Bauernverbänden konnten corona-bedingt nicht in der geplanten Form durchgeführt werden. In Abstimmung mit dem Kreisbauernverband wurde für 2022 eine Praxisschulung geplant, die in Kombination mit der Abschlussveranstaltung am 29.11.2022



## 5 Projektergebnisse

Die zum Projektstart gesetzten Ziele (vgl. Kapitel 3.2) wurden erreicht und es wurden zusätzlich neue Erkenntnisse gewonnen. Die geplanten Produkte des Projektes, ein einsatzfähiges „Beetle Sound Tube“ System und Praxisbroschüre, stehen zur Verfügung.

### 5.1 Ergebnisse

#### 5.1.1 Das „Beetle Sound Tube“ System

Das im Projektantrag skizzierte „Beetle Sound Tube“ System hat in der fünfjährigen Projektlaufzeit Veränderungen erfahren, die im Folgenden dargestellt werden. Das dauerhaft installierte akustische Früherkennungssystem besteht aus perforierten Röhren, einem Akustikbehälter, einer Technikeinheit, einer Software und, im Falle der fest installierten Variante, aus einer Befestigung.

#### 5.1.2 Die Röhren und Befestigung

Im Projektantrag wurde ein „im Silo hängendes System“ beschrieben, welches auf variable Silogrößen anwendbar sein sollte. In Absprache mit den OG-Partnern wurde in zwei der vier Betriebe eine mobile Version für Big Bags und Flachlager entwickelt, sodass wir neben den Silos auch diese Vorratsform betrachten konnten. Details sind im Kapitel 4.7 beschrieben. Somit konnte ein flexibles System für verschiedene Lagertypen entwickelt werden.

#### 5.1.3 Technische Ausstattung/ Akustikbehälter

Die technische Umsetzung der Akustikerfassung hat im Projektverlauf mehr Zeit und Entwicklungsarbeit in Anspruch genommen, als ursprünglich erwartet. Das im ersten Jahr konzipierte Messsystem wurde im zweiten Jahr grundlegend geändert und eine weitere Anpassung erfolgte mit dem Akustikbehälter in 2021, welcher mit der Software das Abschlussergebnis der technischen Entwicklung darstellt (siehe Kapitel 4.3, Kapitel 4.7 - 4.9). Die Anpassung der Technik vom ersten zum zweiten Jahr erleichterte die Umsetzung eines Baukastensystems von der technischen Seite.

#### 5.1.4 Software

Die Arterkennungssoftware konnte im geplanten Umfang nicht realisiert werden, da die Variablen für die Artkennung sich in der Praxis als zu divers auszeichneten (unterschiedliche Substrate, Umgebungsgeräusche, besonders unauffällige/ leise Käferarten in den Betrieben). Statt der Art erfasst die Software die Häufigkeit der Insektengeräusche. Auf diese Weise ist ebenfalls eine Früherkennung des Befalls möglich (vgl. Kapitel 4.3).

#### 5.1.5 Anpassung des Systems an unterschiedliche Lagerformen

Der ursprüngliche Plan war die Entwicklung eines akustischen Früherkennungssystems für Insektenbefall in Silos, bei dem Metallröhren fest installiert im Silo aufgehängt sind. Die Erfahrung in der Praxis zeigte, dass die enormen Kräfte, die beim Be- und Entladen von Silos vom Getreide

entstehen, hohe Anforderungen an eine dauerhafte Installation stellen. Beim oben offenen 70-t-Silo konnte mit einer Gerüststruktur mit Arbeitsplattform eine stabile Befestigung verwirklicht werden. Hier wurde vom Landwirt für zukünftige Installationen ein größerer Abstand zum Silo gewünscht, damit die Plattform die Beladung des Silos nicht behindert.

Beim geschlossenen Außensilo existieren oberhalb des Silos keine Strukturen, die stark genug wären, um die Röhren beim Be- und Entladen zu halten. Auch das nachträglich im Silo eingebaute Röhrensystem hat sich nur bedingt geeignet erwiesen und zeigte nach zwei Lagerperioden deutliche Verformungen, die zu einem Abbau des Systems aus Sicherheitsgründen geführt haben. Für größere Silos scheint ein nachträglicher Einbau des Röhrensystems daher nicht sinnvoll zu sein und sollte nach Empfehlung der OG beim Neubau mit geplant werden.

Die Lagerung von Getreide ist vielfältig und häufig sind keine Silos vorhanden. Deshalb wurde ein mobiles „Beetle Sound Tube“ System für Flachläger und Big Bags entwickelt. Mit den Röhren, die nach der Einlagerung ins Getreide eingedreht werden, können die Lagerformen ausgestattet werden, bei denen ein fest installiertes Röhrensystem im Weg wäre. Mit der „Baukastenversion“ der Messeinheit konnte die Anzahl der genutzten „Sound Tubes“ je nach Größe des Lagers einfach variiert werden. In der neuen Version, in der jeder Sound Tube einen eigenen Raspberry für die Datenaufnahme besitzt, wird das System noch flexibler.

#### **5.1.6 Das "Beetle Sound Tube" System erkennt Insektenbefall im Getreide frühzeitig**

Die „Beetle Sound Tubes“ sind, vermutlich auch auf Grund ihrer Größe, sehr effektive Käferfallen. Es konnte leichter Befall deutlich früher nachgewiesen werden als mit konventionellen Methoden. Hier ist es für den Lagerhalter notwendig, ein gewisses „Fingerspitzengefühl“ zu entwickeln, ob jeder kleine Befall, der sich offenbar weit unterhalb der konventionellen Nachweisgrenze befindet, sofort Maßnahmen erfordert, oder ob eine genaue Beobachtung der weiteren Entwicklung ausreichend ist. Auch das Wissen, dass im Herbst ein leichter Befall da ist, der im Frühjahr mit steigenden Temperaturen zum Problem werden kann, hilft, frühzeitig Maßnahmen zu ergreifen.

Das "Beetle Sound Tube" System lenkt die Aufmerksamkeit sehr früh bereits auf sehr leichten, sich potentiell weiter entwickelnden Befall und kann dem Lagerhalter die Überwachung seiner Lagergüter erheblich erleichtern.

#### **5.1.7 Befallssituation in den Versuchen**

Während der Versuche gab es sehr unterschiedliche Befallssituationen. In einigen Versuchen wurde kein Befall nachgewiesen, in anderen entwickelte er sich langsam, so wie es bei den Versuchsplanungen erwartet worden war. Aber es gab auch mehrere Versuche, in denen ein starker Befall bereits zu Beginn der Lagerperiode vorhanden war (vgl. Kapitel 4.5).

Die Ursache dafür kann ein in warmen, trockenen Sommern eventuell schon auf dem Feld auftretender Befall sein, der ins Lager gebracht wird. Aber auch im Lager oder im Fördersystem verborgene Befallsquellen sind möglich. Innerhalb des Projektes wurde die Trogschnecke und das

sonstige Fördersystem eines Betriebes soweit möglich mit einer Endoskopkamera untersucht, was die Ursache für den Befall aber nicht klären konnte.

### 5.1.8 Artenspektrum

Es wurde ein vielfältiges Artenspektrum gefunden, was nicht nur Vorratsschädlinge umfasste, sondern auch Arten, die mit der Ernte ins Lager gebracht wurden oder zu bestimmten Jahreszeiten in großen Zahlen unterwegs waren und so auch vereinzelt ins Lager kamen, aber für die Lagerhaltung irrelevant sind.

Die häufigsten vorratsschädlichen Insekten waren Getreideplattkäfer (*Oryzaephilus surinamensis*, 87,2%), Reismehlkäfer (*Tribolium confusum* und *T. castaneum*, 3,6%), Leistenkopflattkäfer (*Cryptolestes sp.*, 1,6%), Rüsselkäfer (*Sitophilus oryzae* und *S. granarius*, 1,5%) und der Getreidekapuziner (*Rhyzopertha dominica*, 0,8%).

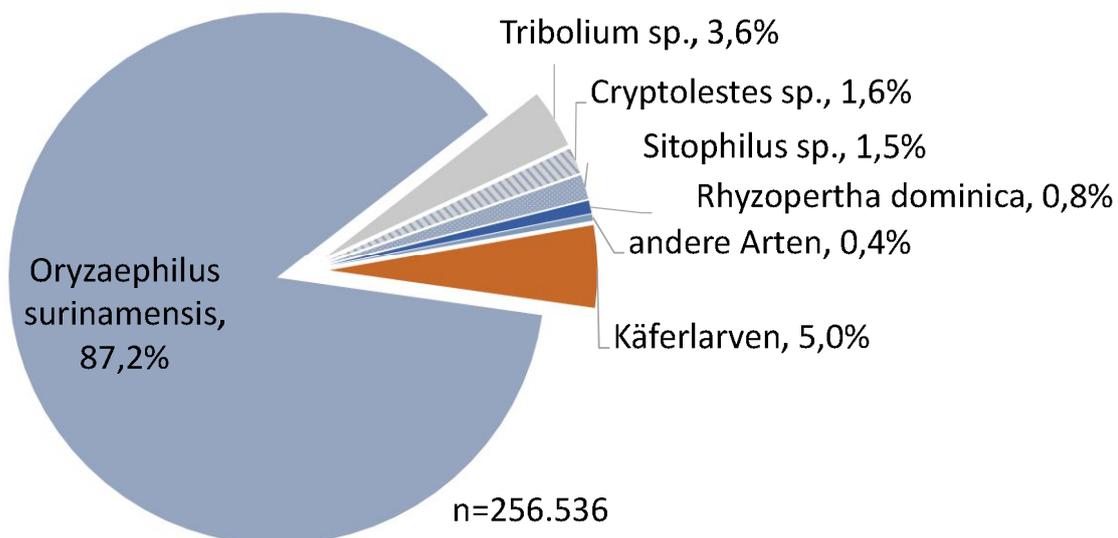


Abbildung 6: Käferfunden in den Lagerperioden 1-4, für alle Versuche summiert.

Auffällig war der geringe Anteil von primären Vorratsschädlingen, die unbeschädigtes Getreide aufbrechen können und damit das Getreide auch für andere Käferarten verfügbar machen. Zu den primären Vorratsschädlingen, die im Rahmen des Projektes gefunden wurden, gehören Korn- und Reiskäfer (*Sitophilus sp.*) und der Getreidekapuziner (*Rhyzopertha*), deren Larven sich innerhalb der Getreidekörner entwickeln. Diese Arten machen in den Versuchen nur 2,3% der Käferfunde aus. Daher stellte sich die Frage, ob die Käferarten gleich häufig in die Fallen gehen und wie weit aus dem Inhalt der Fallen auf die Käferpopulation im umgebenden Getreide geschlossen werden kann. In Laborversuchen wurde deshalb eine definierte Anzahl der häufigsten Arten in Getreide eingebracht und über einen Zeitraum von vier Wochen ausgezählt, wie viele der ausgebrachten Tiere in die Falle gingen. Die Versuche zeigten, dass Reismehlkäfer (*Tribolium sp.*) sehr häufig in die Falle gehen, wohingegen Reiskäfer (*Sitophilus oryzae*) und Getreidekapuziner (*Rhyzopertha*

*dominica*) nur selten gefangen wurden, obwohl sie genauso häufig im Getreide vorhanden waren. Ob dieses Verhalten nur daran liegt, dass die Arten weniger mobil sind, oder sie sich in der Röhre besser festhalten können und die Röhre durch die Perforation wieder verlassen, ist nicht geklärt und müsste in weiteren Versuchen untersucht werden.

Obwohl die Ausgangspopulation bei allen sechs Arten mit 100 Individuen gleich hoch war, fanden sich in der Falle sehr unterschiedliche prozentuale Anteile der Tiere wieder (vgl. auch Müller-Blenkle et al. 2023). Reed et al. (1991) führten aus, dass die Verteilung von Insekten in Getreide nicht gleichmäßig ist und die Ergebnisse von verschiedenen Fallen/ Proben sowohl von der Biologie der Arten als auch von der Umgebung, wie u.a. Temperatur und Feuchte des Getreides, abhängig sind. Aus dem Inhalt der „Beetle Sound Tubes“ kann daher, wie auch bei anderen konventionellen Fallen, nicht einfach auf die Stärke und Zusammensetzung des Befalls im Getreide geschlossen werden. Wie bei allen Fallen erfordert die Interpretation der Fallenergebnisse Erfahrung und Fachwissen.

### **5.1.9 Masstrapping mit dem „Beetle Sound Tube“**

Bei starkem Befall wurden bei den ersten Fallenleerungen der Lagerperiode häufig deutlich höhere Käferzahlen gefunden, als im weiteren Verlauf der Lagerperiode. Die Entnahme vieler Tiere mit den Fallen, was auch als „Masstrapping“ bezeichnet wird, hat eine negative Auswirkung auf die Populationsentwicklung in der Umgebung, was aus Sicht des Vorratsschutzes positiv ist. Dies konnte in Laborversuchen mit dem Getreideplattkäfer nachgewiesen werden, in denen die Population in 15 kg Getreide mit „Beetle Sound Tube“ Falle um 43-83% niedriger lag als im Vergleichsversuch ohne Falle.

Eine Einschätzung, wie groß der Effekt im Lager ist, kann nicht gegeben werden, da der Effekt u.a. abhängig von der Verteilung der Insekten im Getreide und der Position des „Beetle Sound Tubes“ ist.

### **5.1.10 Auswirkungen des Artenspektrums auf die akustische Erfassung**

Der hohe Anteil des Getreideplattkäfers von 87,2% der gefundenen Käfer hat die akustische Erkennung erschwert, da sich der sehr kleine und platte Käfer durch winzige Ritzen bewegen kann, ohne das Getreide dabei zu bewegen und Geräusche zu verursachen. In Laborversuchen wurde festgestellt, dass auch Plattkäfer, die sich in direktem Kontakt mit der Außenwand der Röhre befanden, nicht gehört werden konnten. Wohingegen Rüsselkäfer auch im umgebenden Getreide gehört werden können.

Eine akustische Erkennung der Plattkäfer war daher nur innerhalb des Auffangbehälters möglich, was zu einer vollständigen Veränderung des anfänglichen einfachen Auffangbehälters zu einer akustisch isolierten Falle mit eingebautem Mikrophon geführt hat.

### **5.1.11 Nützlingsausbringung über „Beetle Sound Tubes“**

Eine Ausbringung von Nützlingen über die „Beetle Sound Tubes“ hat sich als nicht praktikabel und effektiv erwiesen (vgl. Kapitel 4.6).

Im Rahmen der ersten beiden Lagerperioden wurden Nützlinge in Schmerwitz über spezielle Ausbringbehälter tief in den Röhren ausgebracht, um ihnen den Zugang zu tieferen Getreideschichten zu erleichtern. Allerdings wurden bei den folgenden Fallenleerungen viele tote Nützlinge sowohl in den Ausbringbehältern, die sie offenbar nicht verlassen hatten, als auch in den darunter befindlichen Fallen gefunden.

Da die Lagerperiode sehr heiß und trocken war, waren Stress beim Transport und daraus entstehende reduzierte Fitness eine mögliche Ursache für die hohe Zahl von Nützlingen, die die Röhre nicht verlassen haben.

In Laborversuchen unter kontrollierten Bedingungen war die Anzahl der in den Röhren verbleibenden Tiere vergleichbar hoch. Daher ist es nicht zu erwarten, dass die Ausbringung der Nützlinge über die Röhren einen positiven Effekt auf die Nützingseffektivität hat, so dass dieser Ansatz nicht weiterverfolgt und Nützlinge in späteren Lagerperioden auf der Getreideoberfläche ausgebracht wurden.

### **5.1.12 Ungelöste Fragestellungen/ Sackgassen**

- Es hat sich gezeigt, dass der nachträgliche Einbau eines Röhrensystems in ein geschlossenes Silo technisch sehr aufwändig ist und zu statischen Problemen führen kann. Hier konnte für einen nachträglichen Einbau keine kostengünstige und stabile Lösung entwickelt werden.
- Die geplante Arterkennung konnte nicht verwirklicht werden, da die aufgezeichneten Käfergeräusche eher vom Auffangbehälter als vom Käfer abhängig sind. Ansätze der Befallserkennung mit künstlicher Intelligenz, welche sich während der Projektlaufzeit als Frage gestellt haben, konnten ebenfalls nicht realisiert werden bzw. wurden für nicht erfolgsversprechend eingestuft.
- Ausbringung der Nützlinge über die Röhren hat sich nicht als effektiv erwiesen. Hier könnte weiter geforscht werden (siehe Kapitel 4.6).

### **5.1.13 Praxisbroschüre**

Die Praxisbroschüre stellt das „Beetle Sound Tube“ System in den Kontext des Vorratsschutzes. Zielstellung war es, Betrieben allgemein eine Hilfestellung zur Verbesserung Ihrer Lagersituation anzubieten und inwiefern das „Beetle Sound Tube“ System ein Teil davon sein kann. Sie adressiert somit nicht nur mögliche Nutzer des Systems, sondern gibt darüber hinaus Informationen zur Befallsvermeidung, idealen Lagerhaltung, Befallsbekämpfung sowie auch zu Schädlingen und Nützlingen. Zum besseren Verständnis wurden Untersuchungen in der Projektlaufzeit sowie die OG kurz vorgestellt. Es handelt sich um ein 48-seitiges Printprodukt, welches sowohl in einer

Printversion beim Lead-Partner oder in einer digitalen Version auf der Projektwebseite<sup>1</sup> erhältlich ist und mit vielen Bildern einen guten Eindruck über die fünfjährige Arbeit der OG vermittelt.

Die Zielgruppen sind Praktiker und Interessierte aus den Bereichen Landwirtschaft, Lagerhaltung und landwirtschaftliche Beratung. Die in der Praxisbroschüre beschriebenen Handlungsempfehlungen sind u.a. Anregungen aus der Praxis für die Praxis.

---

<sup>1</sup> Link zur Praxisbroschüre: [https://agrathaer.de/files/Bilder/projekte/Beetle%20Sound%20Tube/praxisbroschuere\\_beetle-sound-tube.pdf](https://agrathaer.de/files/Bilder/projekte/Beetle%20Sound%20Tube/praxisbroschuere_beetle-sound-tube.pdf)

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

Im Projekt "Beetle Sound Tube" wurde eine große Menge an Daten erhoben, die sowohl für das ursprüngliche Projektziel, die Entwicklung eines akustischen Früherkennungssystems für Insektenbefall in Getreidelägern, als auch für den Vorratsschutz im Allgemeinen wertvoll sind. Der ursprüngliche Plan, einen sich langsam entwickelnden Befall akustisch sehr früh nachzuweisen und somit frühzeitig zu bekämpfen, funktionierte in einigen Lagerperioden in den Betrieben sehr gut. In anderen Lagerperioden hingegen war der Befall am Anfang gleich nach der Einlagerung bereits sehr groß, so dass der Nachweis hier auch mit konventionellen Methoden möglich war. In diesen Fällen war die Akustik gut geeignet, die weitere Befallsentwicklung und den Erfolg von Befallsbekämpfungsmaßnahmen, wie Belüftung oder Nützlingseinsatz, zu verfolgen und bildete die Grundlage für Entscheidungen über weitere Maßnahmen. Die "Beetle Sound Tubes" haben sich als sehr effektive Käferfallen erwiesen, die bereits sehr geringen Befall weit unterhalb der konventionellen Nachweisgrenze nachweisen können. Hier wird auch etwas „Fingerspitzengefühl“ des Landwirtes notwendig sein, um zu entscheiden, ob bei einzelnen Insekten, die in der Falle gefunden werden, gleich eine Behandlung notwendig ist, oder die Situation weiter beobachtet wird. Dabei hilft auch die Beratung von Nützlingsanbietern, die einschätzen können, ob ein Nützlingseinsatz zum gegebenen Zeitpunkt sinnvoll ist, oder ob durch z.B. sinkende Temperaturen im Herbst der Einsatz erst im Frühjahr erfolgen sollte.

Bei großem Befall fangen die Röhren große Mengen von Insekten, die damit für die weitere Populationsentwicklung nicht mehr vorhanden sind. Dieser Mass-Trapping-Effekt konnte im kleinen Maßstab im Labor gezeigt werden, wie groß er im Lager ist, lässt sich jedoch nicht beziffern.

Insekten in großen Getreidemengen sind sehr ungleichmäßig verteilt, abhängig von diversen Faktoren wie Temperatur- und Feuchteunterschieden im Getreide. Daher lässt sich aus dem Inhalt einer Falle nicht einfach auf den Insektenbefall im Lager schließen. Auch im Rahmen der Versuche konnten wir innerhalb der Lager starke Schwankungen der Fangzahlen in den verschiedenen Röhren beobachten, die sich mit der Zeit auch räumlich verändern konnten. Weiterhin zeigten Laborversuche, dass die Arten unterschiedlich häufig in die Fallen gehen und das Verhältnis der Arten zueinander im Auffangbehälter nicht dem der Umgebung entsprechen muss.

Der von den Landwirten immer wieder geäußerte Wunsch, aus den Fallenfunden auf den Befall im Lager hochrechnen zu können, konnte daher nicht erfüllt werden.

Auffällig war der große Anteil von Getreideplattkäfern am Befall, der in den letzten Projektjahren auch häufig in anderen Betrieben in anderen Landesteilen beobachtet wurde (persönliche Kommunikation mit Landwirten, Lagerhaltern und Schädlingsbekämpfern auf Messen und Veranstaltungen). Für die akustische Detektion hat die Dominanz des sehr kleinen und leisen Käfers einige Probleme verursacht, auf die mit der Entwicklung des neuen akustischen Auffangbehälters reagiert wurde. Auch das Artenspektrum mit dem Auftreten von wärmeliebenden Arten wie Reiskäfer und Getreidekapuziner in großer Individuenzahl war teilweise überraschend und könnte

ein Hinweis auf klimabedingte Veränderungen im Artenspektrum von Vorratsschädlingen in Brandenburg sein.

Die Ausbringung der Nützlinge über die Röhren hat nicht die erhoffte Effektivitätssteigerung des Nützlingseinsatzes gebracht, da ein großer Teil der Nützlinge in den Röhren verblieb und dort verstorben ist. Im Rahmen des Projektes war es aus zeitlichen Gründen nicht möglich, die Ausbringung über die Röhren weiter zu verbessern, so dass die Nützlinge, wie vom Hersteller empfohlen, auf der Getreideoberfläche ausgebracht wurden. Der Einsatz von Nützlingen war erfolgreich und wurde auch in konventionellen Betrieben sehr gut angenommen.

### **5.3 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen**

Die Ergebnisse des "Beetle Sound Tube" Projektes zeigen, dass die Installation einer dauerhaften akustischen Überwachung in verschiedenen Lagerformen umsetzbar und effektiv ist. Eine akustische Arterkennung scheint nicht umsetzbar zu sein, so dass der Lagerhalter eine E-Mail mit der Information erhält, wie viele Geräusche aufgenommen wurden, aber den Auffangbehälter selbst prüfen muss, um die Art des Befalls zu bestimmen und weitere Schritte einzuleiten.

Da das Akustiksystem sehr empfindlich ist, sind auch in einer „ruhigen“ Lagerperiode immer einzelne Insektengeräusche zu hören. Diese können neben vorratsschädlichen Insekten auch von Fliegen, Spinnen oder anderen Tieren stammen. Deshalb ist die Justierung der Warnschwellen eine wichtige Funktion, die dem Lagerhalter die Möglichkeit gibt, Einzelgeräusche zu ignorieren und erst bei häufigeren Geräuschen die Falle zu kontrollieren. Bei akustischer Erfolgskontrolle von Behandlungsmaßnahmen ist die Wahl einer deutlich höheren Schwelle sinnvoll, da bereits bekannt ist, dass Befall da ist und die Entwicklung über die Zeit beobachtet werden soll.

### **5.4 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen**

Das Projekt ordnet sich in Leitthema 1 „Lösungsansätze zur Entwicklung effektiver, umweltgerechter und/oder ökologischer Anbau- und Nutzungsverfahren; Verbesserung der Produktivität der Pflanzenproduktion und des Gartenbaus über standortangepasste Sorten, Düngung und Bodenbearbeitung“ ein.

Mit dem „Beetle Sound Tube“-System kann ein Insektenbefall frühzeitig erkannt werden. Damit kann der Landwirt aus einer größeren Anzahl von Möglichkeiten für eine Behandlung wählen. Es werden Getreideverluste minimiert und die Produktivität verbessert. Somit ist die Methode effektiv und umweltgerecht. Auch der Teilaspekt der biologischen Schädlingsbekämpfung lässt sich als ökologisches Nutzungsverfahren in dieses Leitthema einordnen, da dadurch der Einsatz chemischer Mittel verringert wird. Weiterhin wurden im Projekt Empfehlungen für eine verbesserte Lagerhaltung ausgesprochen und vertiefende Kenntnisse über Schädlingsbefall im Lager gesammelt. Letzteres steht somit als Erkenntnis auch künftigen Vorhaben für eine verbesserte Produktivität im Vorratsschutz zur Verfügung.

## 5.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Das „Beetle Sound Tube“-System steht den Praxisbetrieben aus dem Projekt als Produkt für kleine Silos, Flachlager und Big Bags zur Nutzung und Anwendung zur Verfügung. Das System wird zum Berichtsschluss von zwei Betrieben aktiv genutzt. Um dieses Angebot auch weiteren Praxisbetrieben zur Verfügung zu stellen, bedarf es der Marktüberführung des Systems.

Die anderen beiden Betriebe haben sich zunächst gegen eine Weiternutzung des Systems entschieden. Gründe war u.a., dass nicht für alle Betriebe in der verbliebenen Projektzeit der Akustikbecher hergestellt und eingeführt werden konnte und sie zum jetzigen Zeitpunkt das System für ihren Betrieb noch nicht als praxisrelevant betrachtet haben.

Darüber hinaus konnten Empfehlungen für die Praxis zur Vermeidung, Identifikation und Behandlung eines Befalls entwickelt werden und praxisgerecht in der Praxisbroschüre aufgearbeitet werden. Die für die Wissenschaft relevanten Daten zum Verhalten der Tiere im Lager und zur Zusammensetzung des Befalls werden im Rahmen von Langzeituntersuchungen oder Folgeprojekten des Julius Kühn-Instituts weiter interpretiert und Schlussfolgerungen hieraus könnten der Praxis in Zukunft erneut zur Verfügung stehen.

Nach Projektabschluss hat die Operationelle Gruppe durch einen Lizenzvertrag den Lead-Partner agrathaer damit beauftragt, einen Lizenznehmer für das System zu finden. Dieser Lizenznehmer soll das System marktfähig machen und die Markteinführung des „Beetle Sound Tube“ Systems übernehmen. Innerhalb der OG wurden mehrere Businessmodelle überlegt, die mit einem Lizenznehmer abgestimmt werden müssen.

## **5.6 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen**

Das Ziel, ein dauerhaft installiertes, akustisches Früherkennungssystem für vorratsschädliche Insekten in Getreidesilos zu entwickeln, ist gelungen. Das System erfasst über die Akustik einen Befall und kann in kleineren Silos, Big Bags und Flachlagern eingesetzt werden.

Eine verbesserte Einbringung von Nützlingen durch das System konnte nicht bestätigt werden. Auch stellen sehr große Silos sowie die artspezifische, akustische Erkennung weiterhin eine Herausforderung dar. Diese zusätzlichen Themen wurden zugunsten einer fokussierten Produktentwicklung nach der Feststellung von Schwierigkeiten nicht weiter betrachtet.

Durch die Entwicklung eines mobilen Röhrensystems für Big Bags und Flachlager hat die OG mehr entwickelt als im Antrag angekündigt.

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit konnte eine große Reichweite bzw. Interesse der Medien für das System gewonnen werden. Die geplanten Veranstaltungen konnten teilweise nicht wie geplant umgesetzt werden, da Veranstaltungen wie die agritechnica oder Sitzungen der Kreisbauernverbände corona-bedingt ausgefallen sind.

## **5.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen**

Die OG möchte das entwickelte „Beetle Sound Tube“ System mit einem externen Partner zur Serienreife/ Markteinführung fertig entwickeln. Erst wenn das System von einem externen Partner für die Serienreife angepasst wurde, lässt sich eine fundierte Aussage über die Kosten des Systems treffen, welche die Nutzung in der Praxis bestimmen wird. Hierfür wird der Lead-Partner im Auftrag der OG aktiv einen Lizenznehmer für das bestehende System suchen. Bereits auf der Abschlussveranstaltung und mit dem Besuch der EuroTier 2022 wurde dieses Vorhaben aktiv angegangen. Ob dies dann mit finanziellen Mitteln des neuen Partners oder über eine Anschlussförderung durch z.B. die Bewerbung bei den Deutschen Innovationspartnerschaften (DIP) erfolgt, hängt vom Partner ab.

Von wissenschaftlicher Seite zeigte sich, dass sich ein Befall mit dem neuen Akustikauffangbehälter sehr gut nachweisen lässt. Die akustische Arterkennung wird vermutlich nicht umsetzbar sein, da die Geräusche der Insekten von vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst werden. Mit dem neuen System erhalten Lagerhalter jetzt zeitnah Ergebnisse aus ihrem Getreidelager. Die Interpretation der Ergebnisse wird etwas Übung, Erfahrung und in der Anfangsphase auch noch etwas wissenschaftliche Beratung benötigen. Mit den Einstellungsmöglichkeiten für Schwellenwerte und Benachrichtigungsfrequenz im Softwaresystem sollte das System nach einer Einarbeitung aber eine schnelle und einfache Hilfe sein, das gelagerte Getreide auf Befall zu überwachen.

Die erhobenen biologischen Daten können noch in unterschiedlichen Bereichen genutzt werden. Mehrjährige Erhebungen zu Vorratsschädlingen in Betrieben sind selten und liefern wertvolle

Informationen zu vorratsschädlichen Insekten in Deutschland. Das JKI startet im Rahmen des „Vorhaben zur Umsetzung des Klimaschutz-Sofortprogramms 2022“ des BLE ein Monitoringprogramm für Vorratsschädlinge (Projekt AVoid) für das die erhobenen Daten eine wertvolle Ergänzung sind.

## 6 Zusammenarbeit der operationellen Gruppe

Die Operationelle Gruppe schloss sich mit der Kooperationsvereinbarung zusammen. Wie darin festgehalten, fanden halbjährliche OG-Treffen und monatliche Telefonkonferenzen statt. Im Rahmen dieser Treffen wurden der aktuelle Projektstand und die weitere Vorgehensweise gemeinsam besprochen und beschlossen. Neben diesen Treffen fand ein unregelmäßiger Austausch zwischen einzelnen OG-Partnern statt. Themen waren die Entwicklung und Betreuung der „Beetle Sound Tube“ Systeme und die Öffentlichkeitsarbeit. Regelmäßige Telefontermine im zweiwöchigen Turnus fanden zwischen dem Lead-Partner und dem Julius Kühn-Institut statt, um aktuelle Projektereignisse und die Koordination abzustimmen. Ab Ende 2020 wurde ein zusätzlicher regelmäßiger Termin zur Weiterentwicklung der Akustik eingeführt. Dieser fand ebenfalls alle 14 Tage über MS Teams statt und daran nahmen regelmäßig Müller BBM, Julius Kühn-Institut und agrathaer teil.

Die Zusammenarbeit in der Operationelle Gruppe gestaltete sich in den fünf Jahren zunehmend herzlich. Eine vertrauensvolle, respektvolle Zusammenarbeit war bei allen OG-Partnern gegeben. Die Zusammenarbeit war zielorientiert und in angenehmer Atmosphäre. Vor allem die interdisziplinäre Zusammensetzung mit Vertretern aus Wissenschaft, Landwirtschaft, Verbandstätigkeit, produzierendem Gewerbe und Wirtschaft gab der OG und den Diskussionen ganz eigene Dynamiken. So wurde viel über die Daten diskutiert, am Ende aber auch über konstruktive Lösungen basierend auf den Daten nachgedacht. Kreative Ideen und die Umsetzung dessen wurden lebendig in der Gruppe besprochen. Die gemeinsame Problemdiskussion und Lösungsfindung hat enorm zur Zielerreichung beigetragen. Corona-bedingt erschwerte sich der persönliche Austausch; dies zeigte sich in einer abnehmenden Teilnahmebereitschaft an den OG-Treffen und den Telefonkonferenzen einzelner Partner, die sehr abgegrenzte Themen innerhalb der OG bearbeiteten. Alle Beteiligten waren an einem guten Endergebnis des Projektes interessiert. Kontakte zu anderen Operationellen Gruppen wurden über themenzentrierte Veranstaltungen im Rahmen von EIP durchgeführt. Darüber hinaus agierten die OG-Partner in ihren eigenen Netzwerken und repräsentierten hier regelmäßig die Operationelle Gruppe, z.B. das Julius Kühn-Institut im Netzwerk Vorratsschutz.

Nach Ende der Förderung wird die OG weiterhin im Austausch bleiben. Dafür bleibt der monatliche Telefontermin als zentraler Termin auf freiwilliger Basis bestehen. Themen hierfür sind die Betreuung der bestehenden Systeme sowie die Verwertung des Systems.

## 7 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Das EIP-Projekt „Beetle Sound Tube“ hatte vor allem für die nicht-fachliche Öffentlichkeit große Anknüpfungsthemen. Von den vielen Anfragen und Rückmeldungen bereits zu Projektbeginn, waren alle OG-Partner überwältigt (vgl. Kapitel 4.12).

Die OG wurde in der Kommunikation und Dissemination in die Fachöffentlichkeit von FÖL und KBV Potsdam-Mittelmark unterstützt. Darüber hinaus waren auch JKI, agrathaer, Biologische Beratung, Agrar Technik Barnim sowie die Praxisbetriebe und Müller BBM in die Öffentlichkeitsarbeit eingebunden. War es ursprünglich der Ankündigungseffekt des neuartigen Versuchs- bzw. Projektziels und dessen Herangehensweise, wurde gegen Ende des Projektes verstärkt auf die Frage geachtet, welcher konkreter Mehrwert sich für die Praxisakteure ableiten lässt bzw. welche Zwischenergebnisse und verbleibende Forschungsfragen sich für die weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit definieren lassen. Auf dieser Basis wurden Entscheidungen für das Kommunikationskonzept getroffen.

Pressemitteilungen wurden von agrathaer erstellt und durch die o.g. OG-Partner gestreut. Anlässe hierfür waren der Aufbau der Systeme sowie der Auftritt auf der Biofach 2019, der Besuch der Staatssekretärin oder die Abschlussveranstaltung 2022. Eine Übersicht der erfolgten Öffentlichkeitsarbeit ist im Anhang „Nachweis der Veröffentlichungen“ zu finden. Regelmäßig wurde über das Projekt im Blog sowie den Webseiten und Kommunikationskanälen (z.B. Magazinen) der OG-Partner berichtet.

Der Transfer der Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis erfolgte vornehmlich in Absprache mit den entsprechenden OG-Partnern FÖL und KBV Potsdam-Mittelmark. Es wurden gemeinsame Berichte in Fachmagazinen verfasst und veröffentlicht, Veranstaltungen organisiert und durchgeführt, Beiträge auf einschlägigen Fachveranstaltungen wie der Biofach vorbereitet und durchgeführt sowie Praxisblätter erstellt. Auch die Praxisbroschüre stellt ein Medium für den Transfer in die landwirtschaftliche Praxis dar.

Aus Sicht der Operationellen Gruppe war das Konzept der EIP-Förderung sinnvoll und hilfreich für die Erreichung der Projektziele. Wie bereits in Kapitel 6 erläutert, waren der interdisziplinäre, direkte und regelmäßige Austausch mit allen relevanten Akteuren förderlich für die Entwicklung des „Beetle Sound Tube“-Systems. Hindernisse und Probleme wurden ebenso erläutert wie die Interpretation von Daten und Erfolge. Der intensive Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis hat Anregungen für die weitere Forschung im Vorratsschutz sowie Anpassungen und Erkenntnisse für Anpassungen im Betriebsablauf und -management generiert.

## 8 Literaturverzeichnis

- Adler, C. (2010). "Biologische Schädlingsbekämpfung im Vorratsschutz: Besonderheiten rund um den Schutz gelagerter Lebensmittel." *Journal für Kulturpflanzen* 62(3): 93-96.
- BMELV (2010). *Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. Grundsätze für die Durchführung*. L. u. V. R. Bundesministerium für Ernährung. Bonn: 71.
- Boxall, R. A. (2001). "Post-harvest Losses to Insects-a World Overview." *International Biodeterioration&Biodegradation* 48: 137-152.
- Müller-Blenkle, C., Schöller, M., Prozell, S., Szallies, I., & Adler, C. S. (2023). Selektive Detektionswahrscheinlichkeit häufiger Vorratsschädlinge mit dem "Beetle Sound Tube". Poster präsentiert auf der Entomologentagung der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie e.V. (DGaaE), Bozen, Italien, 20.-23.2.2023.
- Peter, G., H. Kuhnert, M. Haß, M. Banse, S. Roser, B. Trierweiler und C. Adler (2013). *Einschätzung der pflanzlichen Lebensmittelverluste im Bereich der landwirtschaftlichen Urproduktion. Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV): 44.*
- Reed, C. R., Wright, V. F., Mize, T. W., Pedersen, J. R., & Brockschmidt Evans, J. 1991. Pitfall Traps and Grain Samples as Indicators of Insects in Farm-Stored Wheat. *Journal of economic entomology*, 84(4), p. 1381-1387.
- Reichmuth, C. (2009). "Vorratsschutz bei Getreide - alternativ." *Mühle + Mischfutter* 146(23): 762.
- Steidle, J. L. M. und C. Reichmuth (2003). "Bekämpfung von Kornkäfern in Lagergetreide mit Schlupfwespen." *Mühle + Mischfutter* 140(9): 270-271.
- Zain, M. E. (2011). "Impact of mycotoxins on humans and animals." *Journal of Saudi Chemical Society* 15: 129-144.
- Zimmermann, O. (2012). "Vorratsschädling integriert bekämpfen: Das Potenzial natürlicher Gegenspieler nutzen." *Mühle + Mischfutter* 149(10): 317-318.

## 9. Impressionen der Projektarbeit



Podiumsdiskussion auf der Biofach am 14.02.2019  
© I. Szallies, agrathaer GmbH



Installiertes System im Gut Schmerwitz mit Blick in das Silo auf Röhren und Plattform, 26.06.2018  
© I. Szallies, agrathaer GmbH



Auftakttreffen der Operationellen Gruppe am 10.01.2018  
© agrathaer GmbH



Installation des ersten Akustiksystems im Flachlager, 31.08.2022  
© Jan Zappner, DAAD



Eine mobile Röhre auf Gerste im Flachlager, 19.07.2022  
© I. Szallies, agrathaer GmbH



Die Akustikfalle: links ist die Technischeinheit, rechts der Auffangbehälter.  
© Müller BBM