

# RessortForschtKlima

## Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung

Abschlussbericht – Dezember 2025



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Landwirtschaft, Ernährung  
und Heimat

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## Beteiligte Ressortforschungsinstitute und Herausgeber:



### **Friedrich-Loeffler-Institut (FLI)**

Südufer 10  
17493 Greifswald-Insel Riems  
T: +49 38351 7-0



### **Julius Kühn-Institut (JKI)**

Bundeforschungsinstitut für Kulturpflanzen  
Erwin-Baur-Str. 27  
06484 Quedlinburg  
T: +49 3946 47-0



### **Max Rubner-Institut (MRI)**

Bundeforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel  
Haid-und-Neu-Str. 9  
76131 Karlsruhe  
T: +49 721 6625 0



### **Thünen-Institut**

Bundeforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei  
Bundesallee 50  
38116 Braunschweig  
T: +49 531 596 1003

## **Zitiervorschlag:**

RessortForschtKlima (2025)

Ergebnisse aus drei Jahren Forschung für mehr Klimaschutz in Landwirtschaft, Wald und Ernährung:

Abschlussbericht der RessortForschtKlima-Projekte. <https://doi.org/10.3220/253-2025-220>

## **Bildrechte Titelseite:**

Doreen König, Julius Kühn-Institut

Dirk von Soosten, Friedrich-Loeffler-Institut

Max Rubner-Institut

Tania Runge, Thünen-Institut



© Die Autoren / Die Autorinnen.

Dieses Werk wird unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

## Abwehr von Vorratsschädlingen in Deutschland – Untersuchungen zur hermetischen Lagerung und Früherkennung von Vorratsschädlingen im Lager und Feld

Cornel S. Adler, Benjamin Fürstenau, Camilla Albrecht, Christina Müller-Blenkle, Julia Büchner und Jovanka Saltzmann (Julius Kühn-Institut), Felicitas Schneider und Jones Athai (Thünen-Institut); Jens Begemann (Max Rubner-Institut)

### ZIELSETZUNG

Nacherteverluste, die im Zuge des Klimawandels zunehmen, sowie treibhausgasrelevante Emissionen, die durch verderbende Vorräte und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Vorratsschutz entstehen, müssen verringert werden. Zu diesem Zweck wurden in dem AVoID-Projekt folgende Schwerpunkte untersucht:

#### Untersuchung zur hermetischen Lagerung von Körnerschüttgütern und Bewertung der Ökonomie und der ökologischen und sozialen Nachhaltigkeit:

- **Untersuchung der Effektivität** bestehender, kommerziell verfügbarer hermetischer Lagergebäude und bisher nicht verbreiteter Methoden. Auch die historisch bekannte unterirdische hermetische Lagerung wurde mit einem in der Landwirtschaft verbreiteten GfK-Silo verglichen.
- **Ökonomische Analyse** zur vergleichenden Bewertung der Wirtschaftlichkeit von hermetischen gegenüber nicht hermetischen Getreidelagern in Deutschland.
- **Ökologische Bewertung** zum Vergleich der Umweltauswirkungen verschiedener Lagertechnologien, darunter die Flachlagerhalle, das Folienschlauchlager und das Rundsilos, mit neuen hermetischen Pilotsilos aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GfK) und Edelstahl. Dabei diente das Folienschlauchlager als etablierte hermetische Referenz.
- **Qualitative soziale Bewertung** zur Identifizierung potenzieller sozialer Risiken, Chancen und Belastungen während der durchzuführenden Arbeiten in den Lagervarianten während Aufbau, Betrieb und Abbau. Diese Hotspots sollten bei der Umsetzung der jeweiligen Lagervariante besondere Aufmerksamkeit bekommen, um Unfälle zu vermeiden oder Qualifikationsmaßnahmen rechtzeitig zu beginnen.

#### Früherkennung von Schädlingsvorkommen im Lager und Feld und Untersuchung des sich durch Klimawandel ändernden Artenspektrums

Im Rahmen eines deutschlandweiten Monitorings wurde das Auftreten und die Verbreitung bereits etablierter und potenziell neu eingewandeter vorratsschädlicher Insekten innerhalb von getreideproduzierenden und -lagernden Betrieben und insbesondere außerhalb der Lagereinrichtung im Feld systematisch überprüft. Weiterhin wurden die im Freiland eingesetzten Fallensysteme und Lockstoffe in Laborversuchen hinsichtlich ihrer Fangeffizienz und Wirksamkeit untersucht.

### METHODIK

In Labor- und Feldversuchen wurden verschiedene Formen der **hermetischen Lagerung** untersucht. Der Fokus lag auf der Überwachung der Sauerstoffgehalte während der Lagerung und deren Einfluss auf die Überlebensfähigkeit von vorratsschädlichen Insekten und der Getreidequalität im

### HIGHLIGHTS

- Hermetische Verfahren vermeiden Befall als mechanische Barriere, ermöglichen langfristige Getreidelagerung und unterdrücken bei ausreichender Gasdichtigkeit die Entwicklung vorhandener Schädlingspopulationen.
- Hermetische Lagerung ist bei Einsatz von Schlauchsilos in der Praxis kostengünstiger, als nicht hermetische Lagerung.
- Hermetische Lagerformen reduzieren Treibhausgas- und Toxizitätswirkungen und bieten Potenzial für klimafreundlichere Getreidelagerstrategien.
- Ein flächendeckendes Monitoring zur frühzeitigen Erkennung von Schädlingsvorkommen/-befall ist effektiv.
- Mehrere vorratsschädliche Insektenarten kommen entgegen der allgemeinen Annahme zahlreich im Feld vor. Häufigster Käfer ist der Getreidekapuziner; früher nur selten in Deutschland beobachtet.

Vergleich mit nicht hermetischer Lagerung. Methoden zur Beschleunigung der Sauerstoffreduktion wurden untersucht.

Die **ökonomische Analyse** erfolgte auf Basis der Kosten- und Leistungsrechnung. Erfasst und statistisch ausgewertet wurden fixe und variable Investitions- sowie Betriebskosten von Lagern unterschiedlicher Kapazität, technischer Ausstattung und Bewirtschaftungsform (ökologisch/konventionell) unter verschiedenen Klima- und Verlustszenarien. Datengrundlage war ein im Projekt erstellter Datensatz zu Getreidelagern in Deutschland (n = 600), darunter 30 hermetische Anlagen. Die Datenerhebung erfolgte mittels standardisierter Befragung. Untersucht wurden Flachlager, Rundsilos- und Sacklagersysteme darunter auch Siloschläuche.

Zur **ökologischen Bewertung** wurde die Methode Environmental Footprint 3.1 (adapted) angewendet. Die Modellierung erfolgte in SimaPro auf Basis von Emissionswerten aus der Ecoinvent-Datenbank. Als funktionelle Einheit diente die Lagerung von 1 t Getreide über ein Jahr, wobei alle Systeme auf eine Gesamtkapazität von 2000 t ausgelegt und über 25 Jahre amortisiert wurden. Der Folienschlauch besitzt als Einwegsystem nur eine Nutzungsdauer von einem Jahr. Betrachtet wurden die Indikatoren Treibhausgaspotenzial, Humantoxizität und Flächenverbrauch, bezogen auf die funktionelle Einheit.

Im Mittelpunkt der **sozialen Bewertung** standen Gesundheits- und Arbeitsschutz, Qualifikationsanforderungen sowie der qualitative Arbeitsaufwand. Die Analyse folgte einem qualitativ-semiquantitativen Ansatz auf Basis

einer Hotspot-Bewertungsskala, die Arbeitsaufwand, Qualifikation und Gefährdungspotenzial kombiniert. Bewertet wurde eine Flachlagerhalle, ein Folienschlauch und ein Rundsilo; zwei hermetische Pilotanlagen (oberirdisch, unterirdisch) konnten aufgrund begrenzter Datenlage nur teilweise bewertet werden.

Zur Früherkennung von Schädlingen wurden auf insgesamt 11 landwirtschaftlichen Betrieben (fünf Ökobetriebe), von 2023-25 verschiedene mit Lockstoffen versehene Insektenfallen (Trichterfallen und zwei Bodenfallen), innerhalb der Lager und im Freiland an angrenzenden Feldrändern aufgestellt. Die Fallen wurden monatlich kontrolliert, die gefangenen Insekten im Labor anhand morphologischer Merkmale identifiziert und gezählt.

In Laborversuchen wurde die Attraktivität mehrerer Pheromone ausgewählter Arten einzeln und in Kombination anhand von Verhaltenstests mit verschiedenen vorratschädlichen Käfern (*Rhyzopertha dominica*, *Trogoderma spp.*, *Lasioderma serricorne*) im statischen 4-Kammer-Olfaktometer, sowie in Flugkäfigen mit Bodenfallen überprüft.

## ERGEBNISSE

Die **hermetische Lagerung** reduziert Verluste im Vergleich zur nicht hermetischen Lagerung deutlich. In kommerziell verfügbaren hermetischen Säcken (Cocoons und Pouches) und Schläuchen sank der O<sub>2</sub>-Gehalt jedoch nicht dauerhaft auf ein insektensicheres Niveau. Bei korrekter Lagerung konnte das Getreide dennoch über ein Jahr hinweg in gutem Zustand gehalten werden. Durch zusätzliche Veratmer konnte der O<sub>2</sub>-Gehalt schneller gesenkt und eine sichere Lagerung auch bei kaltem oder nicht erntefrischem Getreide schneller erreicht werden (Abb. 1).

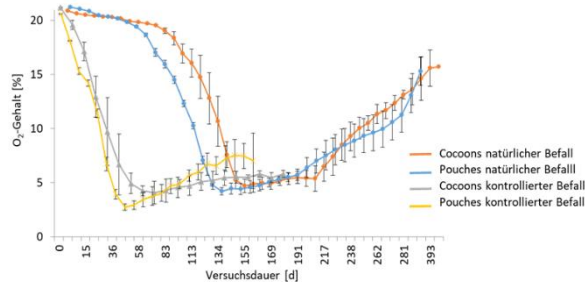


Abbildung 1: O<sub>2</sub>-Reduzierung in Cocoons und Pouches durch kontrollierten Käferbefall verglichen mit geringem natürlichem Befall

**Getreidequalität:** Sensorisch fanden sich in den untersuchten Cocoons und Pouches keine bis leichte Abweichungen, die auf Käferbefall hindeuten. Abwertende Veränderungen durch die hermetische Lagerung selbst konnten nicht festgestellt werden.

Im unterirdischen Silo führte das Einbringen von mehr als 150.000 Kornkäfern in insektendichten Säcken (Adulte und wöchentliche Brutstadien) zu einer O<sub>2</sub>-Abnahme auf lediglich 12 %, was auf ganzjährige Temperaturen von unter 6,5-8 °C zurückgeführt wird. Diese Temperaturen führen zum Tod in Larvenstadien und könnten das Verhungern älterer Tiere bewirkt haben.

Starker Befall mit dem Getreideplattkäfer (*Oryzaephilus surinamensis*) in einem ursprünglich für die Zementlagerung konzipierten Getreidesilo, der Austausch einer porös gewordenen Dichtung und die daraus resultierende hermetische Lagerung führten zu schneller O<sub>2</sub>-abnahme (Abb. 2) und einer effektiven Tilgung, obwohl das 44 Jahre alte Silo (Vol. 27 m<sup>3</sup>) nur zu zwei Dritteln mit Weizen befüllt war.

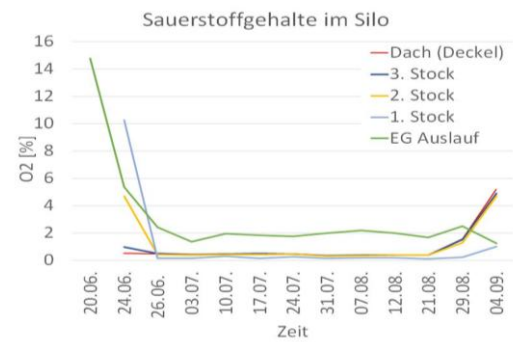


Abbildung 2: O<sub>2</sub>-Gehalte in verschiedenen Höhen eines hermetisch-verschlossenen Silos, mit stark befallenem Getreide.

Feste Silos hermetisch zu verschließen und den Sauerstoffgehalt zu überwachen, hat sich als schwierig erwiesen. Hier sollten zukünftig Kooperationen mit Silobauern und Herstellern von Sensoren angestrebt werden, um kabellose Getreideüberwachungssensoren zu entwickeln oder alle Sensoren mit einer gemeinsamen Energieversorgung und Datenableitung auszustatten.

Die **ökonomische Analyse** zeigt deutliche Unterschiede zwischen hermetischen und nicht-hermetischen Lagern. Obwohl hermetische Rundsilos und Sacklager höhere Investitionen als nicht-hermetische Rundsilos und Sacklager verursachen, lagen die durchschnittlichen Investitionskosten aller hermetischen Lager (193 €/t) unter denen der nicht-hermetischen Lager (289 €/t) sowie der Standorte mit einer Kombination beider Systeme (269 €/t). Auch die jährlichen Fixkosten der hermetischen Lager lagen im Mittel unter denen der nicht-hermetischen Lager und der Kombinationsstandorte.

Die geringsten jährlichen variablen Kosten verursachten hermetische Rundsilos und hermetische Folienschläuche, während hermetische Fass- und Sacklager die höchsten Kosten aufwiesen. Trotz der deutlich geringeren durchschnittlichen Lagerkapazität hermetischer Systeme (Ø 850 t) lagen deren variable Kosten je Tonne unter denen nicht-hermetischer Lager (Ø 2.418 t) und Kombinationsstandorte (Ø 2.500 t). Der Vergleich von hermetischen und nicht-hermetischen Lagern mit einer Kapazität von 1.000 t – teils modelliert, teils aus der Praxis abgeleitet – zeigt Kostenvorteile hermetischer Systeme infolge geringerer Verluste und niedrigerer Pflanzenschutzmittelkosten (PSM) zum Vorratsschutz. Eine Ausnahme bildet die hermetische Sacklagerung, bei der aufgrund hoher Verpackungs- und Arbeitskosten erhöhte Aufwendungen entstehen. Die Analyse der variablen Kosten unter feuchteren Ernte- und Lagerbedingungen zeigt, dass in nicht-hermetischen

Systemen neben einem erhöhten Pflanzenschutzmittel-einsatz insbesondere Arbeitsaufwand und Energiebedarf deutlich ansteigen (bis zu 34 €/t zusätzlich), während die Mehrkosten hermetischer Systeme vergleichsweise gering bleiben (bis zu 4 €/t) (Abb. 3). Im Praxisdurchschnitt weist die hermetische Lagerung die niedrigsten Gesamtkosten auf. Dies ist im Wesentlichen auf den hohen Anteil des Siloschlauchverfahrens zurückzuführen, für das keine Baukosten anfallen. Dieses Verfahren stellt somit die kostengünstigste Lagertechnik für Körnerschüttgüter dar.

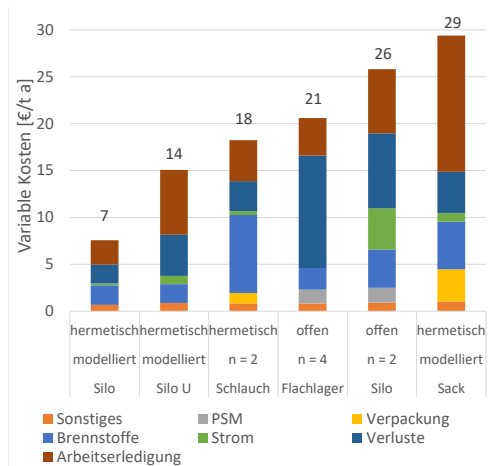


Abbildung 3: Variable Kosten hermetischer vs. nicht-hermetischer Lager mit 1.000 t Lagerkapazität (teils modelliert, teils aus der Praxis abgeleitet) in €/t Lagerkapazität und Jahr. Offen = nicht hermetisch, U = unterirdisch, Silo = Rundlo

Die Ergebnisse der **ökologischen Bewertung** zeigen deutliche Unterschiede zwischen den untersuchten Lager-technologien. Je Wirkungskategorie wurde das emissionsstärkste System als Referenz (100 %) festgelegt, sodass die Umweltwirkungen der übrigen Lagerformen prozentual darauf bezogen sind. Im Treibhauspotenzial weist die Flachlagerhalle die höchsten Emissionen auf, gefolgt von Rundlo und den hermetischen Pilotsilos aus Edelstahl und GfK; der Folienschlauch zeigt die geringsten Werte. In der Humantoxizität liegen hermetische Systeme ebenfalls deutlich unter den konventionellen Lagern, beim Flächenverbrauch jedoch darüber (Abb. 4).

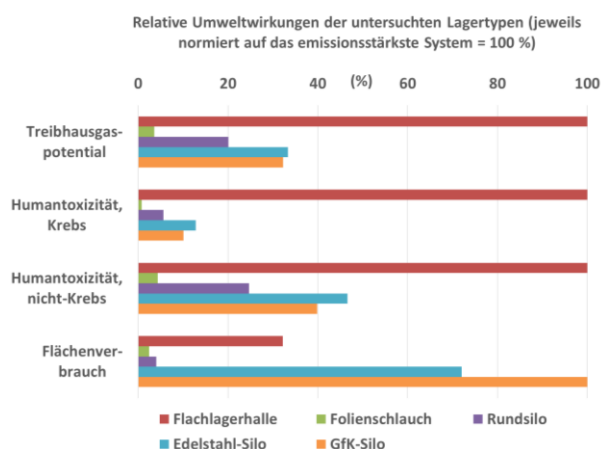


Abbildung 4: Relative Umweltwirkungen der untersuchten Lagertypen, jeweils normiert auf das emissionsstärkste System (= 100 %).

Neben den direkten Umweltwirkungen wurde auch der Einfluss möglicher Lagerverluste betrachtet. Die Produktion von 1 t Weizen bis zum Hof verursacht rund 422 kg CO<sub>2</sub>-

Äquivalente. Ein Lagerverlust von 2 % bzw. 5 % erhöht die feldseitigen Emissionen um etwa 8 bzw. 21 kg CO<sub>2</sub> je Tonne, entsprechend 17 bzw. 42 t CO<sub>2</sub> bei 2 000 t Lagerkapazität. Damit wird deutlich, dass selbst moderate Verluste messbar ins Gewicht fallen und hermetische Systeme mit geringeren Lagerverlusten ökologische Vorteile bieten.

Die **soziale Bewertung** zeigt deutliche Unterschiede zwischen den Lagertypen. In der Flachlagerhalle treten aufgrund arbeitsintensiver Tätigkeiten und Gefahrstoffexposition die höchsten Risiken auf. Der Folienschlauch liegt im mittleren Bereich der Bewertungsskala, mit erhöhten Belastungen bei Ein- und Auslagerung. Das Rundlo ist insgesamt hoch eingestuft, vor allem durch Absturz- und Fumigationsrisiken. Die beiden Pilotsilos (GfK und Edelstahl) wurden auf 2 000 t skaliert.

Bezüglich **Früherkennung** wurden in den drei Versuchsjahren eine große Anzahl verschiedener vorrats-schädlicher Insektenarten (11 Motten-/25 Käferarten) sowohl im Innenbereich als auch im Freiland auf konventionell wie auch ökologisch wirtschaftenden Betrieben erfasst (Tab. 1).

Tabelle 1: Gesamtzahlen der meist gefangenen Schädlingsarten an allen Monitoringstandorten im Lager und im Freiland

	Gesamtfänge im Lager		
	2023	2024	2025
<i>Ephestia elutella</i>	135	1251	1392
<i>Ephestia kuehniella</i>	298	670	23
<i>Nemapogon granella</i>	323	376	95
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	150	1194	1410
<i>Plodia interpunctella</i>	248	3118	555
<i>Psocoptera spp.</i>	869	1927	2392
<i>Rhyzopertha dominica</i>	164	308	1185
<i>Sitophilus granarius</i>	27	61	44

	Gesamtfänge im Freiland		
	2023	2024	2025
<i>Ephestia elutella</i>	21	82	14
<i>Ephestia kuehniella</i>	12	87	2
<i>Nemapogon granella</i>	4	9	7
<i>Oryzaephilus surinamensis</i>	130	429	2355
<i>Plodia interpunctella</i>	0	55	4
<i>Psocoptera spp.</i>	188	690	79
<i>Rhyzopertha dominica</i>	943	838	1695
<i>Sitophilus granarius</i>	2	44	328

In 2024 und 2025 wurden mit den eingesetzten Fallen jeweils mehr als doppelt so viele Individuen (>7.500 Exemplare) gefangen wie im Jahr 2023. Ein Großteil des Schädlingsspektrums trat im Innenbereich auf. Interessanterweise wurden jedoch einige Arten, insbesondere der wärmeliebende, nicht heimische Getreidekapuziner (*R. dominica*) auf fast allen Betrieben in sehr großer Anzahl im Feld nachgewiesen (Abb. 5). Die Arten *O. surinamensis* (Getreideplattkäfer) und *Sitophilus granarius* (Kornkäfer) wurden im Freiland nur in einzelnen Jahren und an bestimmten Standorten im Freiland erfasst, dort jedoch z.T. in hoher Anzahl (Tab. 1). Die Verhaltenstests im Labor zeigten, dass bestimmte Pheromonkombinationen in Versuchen mit vier *Trogoderma* Arten teilweise einen interferenten Effekt hinsichtlich der Attraktivität haben. Im Gegensatz hierzu zeigte in Versuchen mit *R. dominica* keine

der getesteten Pheromonkombinationen eine abschwächende Wirkung auf die Anlockung.

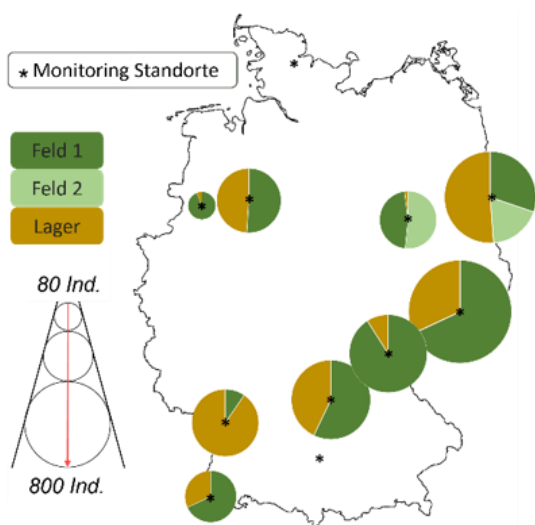


Abbildung 5: Gesamtzahl gefangener Getreidekapuziner *R. dominica* im Lager und Feld von 2023 bis 2025 auf 11 Testbetrieben.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

**Hermetische Lagerung** hat das Potenzial, Verluste in der Getreidelagerung zu vermindern. Getreide in hermetischen Gebinden erfordert jedoch eine Überwachung von Sauerstoffwerten, Temperatur und Feuchte, um eventuelle Undichtigkeiten zu erkennen und darauf reagieren zu können.

Die **ökonomische Bewertung** zeigt, dass hermetische Siloschläuche aufgrund fehlender Baukosten und niedriger variabler Kosten die kostengünstigste Lagertechnik für Körnerschüttgüter darstellen. Zudem bieten sie eine wirksame Anpassungsoption an den Klimawandel, da sie Nachernteverluste und Schädlingsbefall deutlich reduzieren können. Ihre ökonomischen Vorteile sollten jedoch im Kontext sozialer und ökologischer Nachhaltigkeitsaspekte sorgfältig abgewogen werden. Die **ökologische Bewertung** zeigt, dass hermetische Lagerformen das Potenzial haben, Umweltwirkungen der Getreidelagerung erheblich zu senken. Die im Projekt entwickelten Pilotsilos aus GfK und Edelstahl reduzierten im Vergleich zu konventionellen Lagern vor allem Treibhausgas- und Toxizitätswirkungen

deutlich. Trotz modellierter Annahmen zeigen die Resultate das ökologische Verbesserungspotenzial hermetischer Systeme.

Die Ergebnisse der **sozialen Bewertung** zeigen, dass hermetische Lagersysteme Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz verbessern, da sie den Einsatz chemischer Begasungen überflüssig machen und den zeitlichen Kontrollaufwand verringern. Gleichzeitig erfordern sie höhere Qualifikation und Sorgfalt beim Aufbau und Betrieb. Insgesamt weisen sie ein günstigeres soziales Nachhaltigkeitsprofil auf als konventionelle Lagerformen.

Das im Rahmen der **Früherkennung** (Monitoring) in Deutschland zum ersten Mal beobachtete weit verbreitete Auftreten von *R. dominica* (Getreidekapuziner) im Freiland weist darauf hin, dass sich die klimatischen Bedingungen und dadurch die Überlebenschancen für (nicht-heimische) vorratsschädliche Insekten(arten) im Freiland verbessert haben. Die Ergebnisse der Verhaltenstests zeigten, dass die Kombination verschiedener Pheromone in einer Falle die Fangeffizienz einzelner Arten verringern kann. Dieser Effekt könnte Resultate von Monitoringprogrammen verfälschen und muss in der praktischen Anwendung berücksichtigt werden.

## AUSGEWÄHLTE VERÖFFENTLICHUNGEN

- Büchner, J., Saltzman, J., (2025): Datensatz: Kosten der Getreidelagerung in Deutschland. doi. 10.5073/20251029-163644
- Fürstenau B, Albrecht C, Adler C, Müller-Blenkle C (2024): Methoden zur Früherkennung vorratsschädlicher Insekten – Schädlinge im Lager und Feld. Der Pflanzenarzt 77, 20–22. [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00097023](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00097023)
- Müller-Blenkle C, Adler CS (2024): Increasing the Oxygen Consumption in Hermetic Grain Storage Using Grain Weevils (*Sitophilus granarius*) Insects Vol. 15 Issue 11 Pages 845. doi. 10.3390/insects15110845

## HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN FÜR POLITIK UND PRAXIS

Wir empfehlen den Bau gasdichter Läger. Um die sichere **hermetische Lagerung** in der Praxis weiter zu etablieren wäre kostengünstige Technik zur kabelfreien Sauerstoffmessung von großer Bedeutung. Ein Umbau von vorhandenen GfK-Silos zu hermetischen Silos wäre ein Weg, mit geringen Kosten eine hermetische dauerhafte Lagerung zu ermöglichen. Viele Lagerhalter besitzen geeignete GfK-Silos, sind sich der Potenziale aufgrund fehlender Information zur hermetischen Getreidelagerung aber nicht bewusst. Fortbildungsmaßnahmen zur hermetischen Lagerung wären hier sinnvoll.

Um die **Früherkennung** vorratsschädlicher Insekten im Lager und vor allem auf dem Feld zu verbessern (und somit rechtzeitig geeignete Gegenmaßnahmen zu ermöglichen/durchführen zu können), wird der Ausbau eines deutschlandweiten Monitorings empfohlen. Dabei sollten bestehende Monitoringstrukturen eingebunden und die Nutzung innovativer Methoden (molekular/digital) sowie der Informationsaustausch zwischen Forschung und Praxis gestärkt werden.

Gefördert durch:



Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages