

# Pflanzen und Bienen schützen

Im Rahmen des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln ist der Bienenschutz eine große Herausforderung für die landwirtschaftliche Praxis. Wie digitale Technologien helfen können, beides unter einen Hut zu bekommen, erläutert nachfolgend Sven Poth, Technische Hochschule Bingen.



**Der Bienenschutz ist ein fester Bestandteil bei der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln, welche unter anderem über das Pflanzenschutzgesetz und die Bienenschutzverordnung gesetzlich geregelt werden.**

Foto: BCS

Die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSM), insbesondere eine Applikation in blühende Kulturen, ist eine landwirtschaftliche Praxis, die in der Bevölkerung durchaus strittig ist. Trotz guter fachlicher Praxis und der Applikation nach Bienenflug wittern unbeteiligte Dritte darin schnell eine massive Schädigung von Bienenvölkern. Das kann nicht nur zu hitzigen Diskussionen am Feldrand, sondern auch zur Verunsicherung bei dem betroffenen Landwirt und Imker führen.

Damit mögliche Schäden an den Bienenvölkern vermieden werden, beschäftigen sich öffentliche Institutionen und Industrie bereits im Vorfeld intensiv mit den Auswirkungen von PSM. Der Bienenschutz ist ein fester Be-

standteil bei der Zulassung von PSM, welche u.a. über das Pflanzenschutzgesetz und die Bienenschutzverordnung gesetzlich geregelt werden. Für die Zulassung müssen Studien nach internationalen Richtlinien erbracht werden, die von behördlicher Seite fachlich begutachtet werden. Diese Richtlinien werden regelmäßig dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Forschung angepasst. Aktuelle Forschung zielt unter Einsatz von digitalen Technologien und Modellen darauf ab, die Genauigkeit dieser Studien zu erhöhen und gleichzeitig den Arbeitsaufwand zu reduzieren.

Die TH Bingen, Kooperationspartner im Forschungsprojekt Experimentierfeld Südwest (EF SW), veranstaltete einen Online-Informationsabend zum Thema „Digitale Lösungen für das Konfliktfeld Biene vs. Pflanzenschutz“. Neben Prof. Dr. Thomas Rademacher und Prof. Dr. Clemens Wollny, Leiter des Projekts an der TH, nahmen Studierende und Landwirte/Winzer aus ganz Rheinland-Pfalz sowie Vertreter der Officialberatung der DLR teil. Das Verbundprojekt hat das Ziel, die Digitalisierung in der Landwirtschaft voranzutreiben. Die Auswirkungen einer PSM-Applikation auf ein Bienen-

volk zu erfassen und zu dokumentieren, ist eine komplexe und zeitaufwändige Arbeit. Die Gesundheit der Bienen kann anhand des Verhaltens, insbesondere des Flugverhaltens, beobachtet werden. Dies stellt eine große Herausforderung dar, denn ein Honigbienenvolk kann 40.000 Individuen und mehr umfassen. Die Zusammenarbeit der vielen Individuen gründet auf einem komplexen Staatsapparat, in dem jedes Mitglied seine zugewiesenen Aufgaben erfüllt.

## Digitales Bienenmonitoring

Bis zu 13.000 Flugbienen (Sammlerinnen) verlassen bei günstiger Witterung mehrmals täglich den Bienenstock für die Nahrungssuche. Neben der eigenen Nahrungsaufnahme tragen die Sammlerinnen Nektar und Pollen für das Volk zusammen. Die manuelle Erfassung des Flugverhaltens durch Auszählen ist für menschliche Beobachter nicht nur unmöglich, sondern wäre auch äußerst ungenau und fehleranfällig. Dadurch können mögliche subletale Effekte einer PSM-Applikation, wie z. B. das Heimfindervermögen oder Orientierungsstörungen, nur schwer erfasst werden.

Dr. Richard Odemer vom Julius-Kühnen-Institut (JKI) befasst sich im Rahmen des Projekts „VIBEE – Etablierung digitaler Indikatoren der Bienenvitalität in Agrarlandschaften“ intensiv mit der digitalen Flugbienenenerfassung. Er weiß, dass die automatisierte Erfassung des Bienenflugs am Bienenstock keine Neuheit ist. Bereits vor 100 Jahren gab es erste Forschungsansätze, die sich mit der Konzeption eines automatisierten Bienenzählers beschäftigt haben. Aufgrund fehlender technischer Hilfsmittel dauerte es bis zum Jahr 1994, bis der erste Bie-



**Der BeeCheck misst unauffällig, ohne die Insekten zu stören, kontinuierlich über die gesamte Saison hinweg die Ein- und Ausflüge der Bienen.**

Foto: R. Odemer

nenzähler kommerziell vermarktet werden konnte. Ein wesentliches Problem der ersten Systeme war die Zählgenauigkeit. Die ersten Bienenzähler waren noch sehr fehleranfällig und konnten somit nicht das breite Interesse am Markt wecken.

### Innovativer Bienenzähler

Die rasche Entwicklung der künstlichen Intelligenz (KI) und Sensortechnik bietet für die Entwicklung von Bienenzählern jedoch neue Möglichkeiten. Da es in der Forschung wichtig ist, den Fehlerfaktor einer Technik zu kennen, haben sich Odemer und die Partner im Projekt „VIBEE“ mit der Entwicklung eines eigenen Bienenzählers auseinandergesetzt, um die Flugaktivität der Bienen über den gesamten Verlauf einer Bienen Saison zu erfassen. Erst der dritte Prototyp konnte dabei der Anforderung eines geringen Fehlerfaktors von etwa 5 % gerecht werden. Dieser ist nun in der finalen Überarbeitung und soll in Zukunft auf dem Markt etabliert werden.

Der im Projekt entwickelte Bienenzähler, kurz „BeeCheck“, wird direkt in die Behausung des Bienenvolks, der sogenannten Beute, integriert. Die Technik ist in den Boden eingearbeitet. Die Ein- und Ausflughöfungen ist dabei in mehrere Durchgänge bzw. Tunnel unterteilt, in denen der Flug der Flugbienen mit Hilfe eines kapazitiven Sensors erfasst wird. Um die Fehlerquote zu senken, wurden verschiedene Flugmuster ermittelt, die durch den gegensätzlichen oder aufeinanderfolgenden Flug von Bienen entstehen.

Der BeeCheck misst unauffällig, ohne die Insekten zu stören, kontinuierlich über die gesamte Saison hinweg die Ein- und Ausflüge der Bienen. Er wird von den Wissenschaftlern für den zukünftigen Einsatz bei der Risikobewertung von PSM und in anderen Bereichen der Bienenforschung geprüft. In einem seiner Versuche hat Odemer das unwahrscheinliche Worst-Case-Szenario eines Spritzschadens an zwölf unterschiedlichen Bienenvölkern simuliert, indem alle ausgeflogenen Sammlerinnen von ihrem ursprünglichen Volk getrennt und in eine andere Beute überführt wurden. Als direkte Folge sank die Flugaktivität in den be-



**Sammlerin kehrt mit orangem Pollenhöfchen nach dem Besuch einer Sonnenblume zurück in das Volk.**

Foto: R. Odemer

**Abbildung: Dreistufiger Testansatz nach OECD-Standards**



troffenen Bienenvölkern gegen Null. Innerhalb von 10 Tagen konnten die Völker jedoch auf den Verlust ihrer Flugbienen reagieren und neue Sammlerinnen rekrutieren. Bereits nach 21 Tagen war die durch den Bienenzähler aufgezeichnete Flugaktivität wieder genauso hoch, wie in den als Vergleich dienenden Kontrollvarianten. Trotz der simulierten massiven Schädigung konnten die betroffenen Bienenvölker die Verluste ihrer Sammlerinnen somit kompensieren und im Anschluss problemlos überwintert werden.

Zusätzlich zu dem sensorgestützten Bienenzähler unterstützt Odemer Kollegen der apic.ai GmbH bei der Entwicklung eines kamerabasierten Bienenzählers, der mithilfe von KI aus Bildern Informationen über die von den Sammlerinnen eingetragene Nahrung gewinnt. Die Flugbienen sammeln Pollen an den Körbchen ihrer Hinterbeine und verwahren dort dann die sogenannten „Pollenhöfchen“. Die Pollen von Blühpflanzen haben jeweils

eine charakteristische Farbe, die sich mittels der Jahreszeit zur jeweiligen Pflanzengattung zuordnen lässt. Rapspollen weisen z. B. eine hell- bis mattgelbe Farbe auf und werden von den Honigbienen in großen Mengen zwischen April und Juni in den Bienenstock eingetragen. Mittels einer KI können die Pollenhöfchen der Bienen auf den Bildern analysiert und die vorhandenen Pollen den jahreszeit-

typischen Pflanzengattung zugeordnet werden. Damit kann die Biodiversität der Blühpflanzen im Flugradius um den Bienenstock erfasst werden. Das bietet die Möglichkeit zur Evaluation von Fördermaßnahmen, bspw. die Wirksamkeit und den Einfluss der Aussaat von Blühmischungen.

### Modellsimulation mit BEEHAVE und BEEHAVEecotox

Ein Bienenvolk ist neben den im Fokus stehenden PSM-Applikationen vielen weiteren Stressoren ausgesetzt. Dazu zählen vor allem die Varroamilbe, Krankheiten, Landschaftsstrukturen in Form von mangelnden oder einseitigen Nahrungsangebot sowie Eingriffe durch den Imker in den Bienenstaat.

Vanessa Roeben von der Bayer AG weiß, wie viel Arbeit hinter den Versuchen zur Auswirkung eines PSM auf die Honigbiene steckt. Den BeeCheck von Odemer sieht sie hierbei als wichtiges Instrument, die Datenerhebungen zukünftig zu unterstützen. Durch einen dreistufigen Testansatz nach OECD-Standards (Abbildung) werden die Auswirkungen eines PSM auf Honigbienen geprüft und somit eine regulatorische Datenerhebung ermöglicht:

#### ■ Stufe 1 – Labortests

Diese Stufe bezieht sich auf nach OECD-Standards etablierte Testmethoden, die unter kontrollierten Bedingungen in einem Labor stattfinden. Hierbei werden Bienen oder Larven aus einem Volk gesammelt und einem PSM entweder über eine orale Aufnahme einer Zuckerlösung oder durch Kontaktapplikation ausgesetzt. Dabei werden entweder adulte Bienen oder deren Larven akut (bis zu maximal 4 Tagen) oder chronisch einem PSM ausgesetzt (10–22 Tage, d. h. ein kompletter Bienenzyklus vom Ei bis zur geschlüpften Biene). Die dabei generierten Daten werden in Bezug auf ein

mögliches Risiko für Bienen geprüft und ausgewertet. Indiziert die erste Stufe dabei ein Risiko für Bienen, wird mit Stufe 2 fortgefahren.

#### ■ Stufe 2 – Semi Feld

Die 2. Stufe findet nicht mehr im Labor statt, sondern unter sogenannten Halb-Freiland Bedingungen, um eine tatsächliche Applikation in der Landwirtschaft zu simulieren. Hierbei werden ganze Bienenvölker unter kontrollierten Bedingungen in Zelten einem PSM ausgesetzt. In diesen Tunnelsystemen werden verschiedene Varianten von PSM-Applikationen bei einer vorhandenen Blühressource, z. B. Phacelia, getestet. Dabei wird die Auswirkung des PSM auf die Entwicklung des Bienenstocks für mindestens 28 Tagen beobachtet. Diese Systeme stellen einen Extremfall für Bienen dar, da sie eingeschlossen in Zelten lediglich auf die mit PSM behandelte Pflanze fliegen und foragieren können und keine Ausweichmöglichkeiten haben.

#### ■ Stufe 3 – Feldtests

Erst in der dritten Stufe werden Versuche im offenen Feld durchgeführt, welches die realen Bedingungen darstellt, denen Bienen in landwirtschaftlich genutzten Gebieten ausgesetzt sind. Bei diesen Studien werden Bienenvölker an die Ränder von behandelten Flächen gestellt, wobei die Bienen aber die Möglichkeit besitzen, ihre Sammelaktivität auf benachbarte Felder auszuweiten. Diese Studien bilden die tatsächlich reale Form der heutigen Landwirtschaft in Kombination mit Bienen ab und spiegeln eine reale Exposition wider. Dennoch ist diese Stufe regulatorisch am schwierigsten zu bewerten, da es nur schwierig nachvollziehbar ist, ob die Bienen nun auf die mit PSM behandelte Fläche geflogen sind oder sich einer anderen Futterquelle bedienen haben.

Im Zusammenspiel mit Umwelt- und Standortinflüssen bieten die Stressfaktoren bei Feldstudien nahezu unendliche Kombinationsmöglichkeiten. Diese können nicht alle von aufwands- und kostenintensiven Versuchen abgedeckt werden. Daher werden neben den Versuchen computergestützte Modellsimulationen angewandt, um die Entwicklung eines Bienenstaats unter Berücksichtigung bestimmter Einflussfaktoren vorherzusagen.

Ein bekanntes Modell ist das 2014 veröffentlichte „BEEHAVE“-Modell, das unter anderem von der EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) bereits angewandt wurde (<https://beehave-model.net/>). BEEHAVE wurde von einem Forschungsteam rund um Matthias Becher, Peter Kennedy und Juliet Osborne bei Rothamsted Research und der Universität Exeter in Großbritannien in Zusammenarbeit mit Prof. Volker Grimm vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ, Leipzig, Deutschland) und Dr. Pernille Thorbek (Syngenta) entwickelt. Das Modell kann die Entwicklung eines Bienenstaats unter der Berücksichtigung der folgenden sechs verschiedenen Einflussbereiche vorhersagen:

- 1.) Kolonie- und Populationsdynamiken
- 2.) Nahrungssuche
- 3.) Brutpflege
- 4.) Multifaktorielle Stressoren

5.) Landschaftsaspekte und Nahrungsverfügbarkeit

6.) Varroamilbe und Imkerpraxis

Damit ermöglicht BEEHAVE die Darstellung verschiedener Umwelteinflüsse, z. B. den Wegfall der Flugbienen aus dem Versuch von Odeimer. Ein Kritikpunkt an BEEHAVE war bisher die fehlende Berücksichtigung von PSM-Expositionen. Deshalb wurde das Modell in einer im letzten Jahr veröffentlichten Studie um den Einfluss einer PSM-Exposition erweitert und als BEEHAVEecotox-Modell publiziert (<https://github.com/BEEHAVE-Model/BEEHAVEecotox>). Dafür wurden die Daten aus den standardmäßig durchgeführten Studien der ersten Stufe genutzt, um das Modell aufzusetzen, und mit Hilfe dessen dann Studien aus den höheren Stufen vorhergesagt. Mit BEEHAVEecotox können die Auswirkungen einzelner PSM auf einen Bienenstock in Kombination mit anderen Stressfaktoren vorhergesagt werden.

#### **Öffentliche Kritik nicht nachvollziehbar**

Bei beiden Modellen konnten die Vorhersagen mit unabhängigen Daten verifiziert werden.

Ein solches Modell lässt sich nutzen, um beispielsweise zu untersuchen, welche Effekte Blühstreifen haben, um Auswirkungen einer PSM-Applikation abzumildern. Somit eignet sich das Modell, um selbst bei komplexen Verknüpfungen aus den verschiedenen Einflussfaktoren eine Aussage über die Entwicklung eines Bienenstaats zu treffen.

Trotz des transparenten und freien Zugangs zu BEEHAVE und BEEHAVEecotox wird immer wieder öffentliche Kritik an den Modellen laut, da sie in Zusammenarbeit mit der Industrie entstanden seien. Nach den Worten von Roeben ist das nicht nachvollziehbar, weil sich weltweit anerkannte Bienenwissenschaftler an der Entwicklung des BEEHAVE-Modells beteiligt haben. Beide Modelle seien auf Grundlage von einer Vielzahl wissenschaftlicher Daten erstellt und mit unabhängigen Datensätzen validiert worden. Allein für BEEHAVE wur-

den bisher über 20 peer-reviewed Veröffentlichungen geschrieben, einschließlich Modellvalidierungen und Anwendungen in verschiedenen Kontexten, die die Aussagekraft der Vorhersagen bestätigt.

Das Peer-Review-Verfahren ist laut Universitätsbibliothek der Humboldt-Universität Berlin das gängigste Verfahren der Qualitätsprüfung vor Veröffentlichung von Beiträgen in wissenschaftlichen Zeitschriften. Die wissenschaftliche Arbeit wird dabei von unabhängigen Gutachtern, Wissenschaftlern desselben Fachgebiets, so genannten „Peers“ (engl. für „Ebenbürtige; Gleichrangige“) bewertet (Anm. d. Red.).

Neben den Modellvorhersagen werden auch weiterhin Labor- und Feldstudien durchgeführt, deren Ergebnisse genutzt werden, um die Genauigkeit zu verbessern. Zudem sind die Entwickler von BEEHAVEecotox jederzeit offen für Rückmeldungen und weitere Forschungsergebnisse aus der Wissenschaft sowie Verbesserungsvorschläge.

#### **Fazit**

Der Einsatz von PSM bleibt ein viel diskutiertes Thema, das immer stärker in den öffentlichen Fokus rückt. Industriefirmen wie die Bayer AG und öffentliche Institutionen wie das JKI arbeiten ständig daran, die Auswirkung von PSM-Applikation in Verbindung mit anderen Umweltfaktoren zu verstehen, um Handlungsempfehlungen geben zu können und die Risiken einer PSM-Applikation bei guter fachlicher Praxis auf ein Minimum zu reduzieren. Automatisierte Bienenzähler, das Modell BEEHAVE und die Weiterentwicklung BEEHAVEecotox ermöglichen es als digitale Innovationen, Daten KI-gestützt zu erfassen und zu verknüpfen, um somit bisher verborgen gebliebene Zusammenhänge aufzudecken.

Weitere Informationen zu dem Verbundprojekt „Förderung des branchenübergreifenden und überbetrieblichen Datenmanagements zur Unterstützung landwirtschaftlicher Wertschöpfungssysteme“ gibt es im Internet unter <https://ef-sw.de>.