

and Bases for Food Safety Policies in the Fresh Produce Value Chain, 28.08.2012

- ▶ DFHV (Deutscher Fruchthandelsverband e.V.) Bonn, Produktions- und Nachhaltigkeitsaspekte am Beispiel von Zitrus aus Übersee, Herbst 2016. Studie vom ttz (Technologie-Transferzentrum) Bremerhaven, Annika Gering, Martin Schüring
- ▶ „Pestizide – Das Sommerseminar“, Dr. Günter Lach und Dr. Andreas-Sascha Wendt, Lach & Bruns Partnerschaft,

27.06.2023, Fulda. Fachliche Diskussionen.

- ▶ Food Experts, Dr. Nazario Muñoz Fernández, Pesticides: striking a delicate balance, 13.07.2023 published via LinkedIn, UN and FAO data included

### Thies Claußen

*Sicherheitsexperte mit Praxislösungen in globalen Lieferketten von Obst für Handelshäuser*



[www.fruit-consulting.com](http://www.fruit-consulting.com)

## Konventionelle Landwirtschaft (fast) ohne Herbizide und Insektizide?

### Schutz von Nutzpflanzen einmal anders

Von Dr. Andreas Müller

**Kurzgefasst:** Im Juni 2021 veröffentlichte die Europäische Union einen „Vorschlag für eine Verordnung [...] über die nachhaltige Verwendung von Pflanzenschutzmitteln [...]“, eine grundlegende Anpassung der innergemeinschaftlichen Strategie zur Entwicklung der Landwirtschaft. Die deutliche Reduktion eingesetzter Pestizidmengen innerhalb weniger Jahre ist ein wesentliches Ziel. Die Landwirtschaft steht vor erheblichen Herausforderungen. Ertragsmengenprognosen, optimierte Prozesse zur Verarbeitung immenser Erntemengen und auch Preisermittlungen und Preisbindungen haben zu flächendeckenden Monokulturen geführt, die Routineeinsatz von Pestiziden zum Schutz erfordern. Vorhandene Reduktionskonzepte sind zwar kompatibel mit bestehenden Abläufen, unterliegen aber nach wie vor den erheblichen Restriktionen bei der Ausbringung von Wirkstoffen. Abseits der großen Bühnen beschäftigen sich auch kleine, noch nicht rentabilitätsorientierte, aber gleichwohl kreative Gruppen interdisziplinär mit den gegebenen Herausforderungen. Der vorliegende Artikel beschreibt ein naheliegendes, aber inzwischen auch ungewohntes Konzept zur Reduktion des Einsatzes von Insektiziden und Herbiziden (nicht nur) in der konventionellen Landwirtschaft: Absammeln und Jäten.

### Einführung

In der auf maschinengestützte Prozesse und maximalen Ertrag optimierten Landwirtschaft ist der Einsatz von Pestiziden omnipräsent. Der für die Aussaat vorbereitete Boden wird präventiv behandelt, um nur der Nutzpflanze den Austrieb zu ermöglichen. Ist dieser erfolgt, werden nicht erwünschte Pflanzen weiter chemisch unterdrückt. Während der Wachstumsphase wird regelmäßig nachgelegt.

Ist die Gründecke der Nutzpflanzen geschlossen, kommen je nach Pflanze Wachstumsregulatoren zum Einsatz, welche die Höhe der Nutzpflanze für eine optimale Verarbeitung begrenzen und auch dafür sorgen, dass z. B. in typischerweise hochwachsenden Süßgräsern keine Windschäden durch Umknicken auftreten. Fremdpflanzen können in diesem Stadium nur „bekämpft“ werden,

wenn sie über die Höhe der Nutzpflanze deutlich hinauswachsen (z. B. Distel in Roggen).

Natürlich sind Schädlinge ein Thema: Käfer, Fliegen, Vorstufen hiervon sowie Läuse. Hier kommen anlassbezogen Insektizide zum Einsatz. Pilz- und Schimmelfeind sind wetterkorrelierte Gefahren. Fungizide kommen zum Einsatz – ebenfalls präventiv.

Einige Nutzpflanzen wie die Kartoffel sollen im Idealfall natürlich abwelken. Die gezielte Entlaubung erfolgt in der landwirtschaftlichen Praxis mit Abwelkungsmitteln, welche indirekt durch Unterbindung der Photosynthese auch die Knollengröße regulieren und Spielraum beim Erntetermin erzeugen. Bei längerer Wartezeit zwischen Entlaubung und Ernte muss die erneute Auskeimung unterdrückt werden. Mit Beginn der Abreifung

müssen die Knollen vor Braunfäule geschützt werden. Um die gebildeten Tochterknollen im Boden zu schützen, ist rund acht bis zehn Tage vor der Krautbeseitigung eine Spritzung mit einem sporenabtötenden Mittel nötig. Lange Dürreperioden gefolgt von Gewittern mit Starkregen fördern wertmindernden Zwie- und Kettenwuchs an den Knollen. Unter bestimmten Bedingungen wird die chemische Krautbeseitigung mit mechanischen Verfahren kombiniert (Krautschlegel), wobei der Fungizid-Schutz wegen offener Pflanzenteile nach dem Ausbrechen des Laubs länger aufrechterhalten bleiben muss. Ein Auskeimen während der Lagerung kann durch den Anbau von Sorten mit ausgeprägter Keimruhe oder die Behandlung von 1,4-Dimethylnaphthalin erreicht werden.

Der Einsatz von Pestiziden ist natürlich stark reglementiert. Bienenschutzklassen, Windstärkenbegrenzungen und je nach Substanz auch Tageszeitbegrenzungen zum Schutz von Bestäubern sind zu beachten. Für manche Insektizide bleiben im Sommer dann nur zwei bis drei Stunden am Abend für die Ausbringung gegen teilweise „lawinenartiges“ Auftreten von Schädlingen, vorausgesetzt, der Wind ist nicht zu stark (< 5 m/s entsprechend Windstärke 3 Bft „leichte Brise“).

### Konventionelle Reduktionsstrategien

Technisch aktuelle Reduktionsstrategien setzen auf das Konzept „Spot Spraying“. Anders als bei der undifferenzierten flächenweisen Ausbringung können Düsengruppen der Sprühausrüstung für präzise Zeiten und Volumina von Wirkstoff einzeln angesteuert werden. Die Ansteuerung wird gelenkt mit einer vorgelagerten Bilderkennung, welche mittels Onboard-

Computermodulen Nutzpflanzen während des Überfahrens positiv identifiziert, und entweder in-situ mit einem virtuellen Caging belegt (Herbizid – alles andere wird besprüht) oder Insektizide genau auf der Nutzpflanze absprüht. Solange die Pflanzendecke noch nicht geschlossen ist, kann Fremdvegetation auch gezielt mittels Laser-Pulsen beseitigt werden. Derartige Ausrüstungen haben bereits (nahezu) Marktreife.

Grün-in-Grün-Erkennung ist inzwischen möglich, sodass erwünschte oder tolerierbare Nebenvegetation (z. B. Blütenpflanzen oder eine zweite Nutzpflanze) ebenfalls geschützt werden kann. Ein Vorteil ist, dass Systemkompatibilität hergestellt und bestehende Ausrüstung nach Auf- oder Umrüstung weiter genutzt werden kann. Das Einsatzverhalten bleibt weitestgehend unverändert mit weiterhin zu folgenden Reglementierungen.

## Alte Methode neu gedacht

In einer „Szene“, die primär nichts mit Landwirtschaft zu tun hat, gibt es sehr konkrete Studien, die auf ein vollständig anderes Prinzip des Pflanzenschutzes abstellen: mechanisches Jäten und Absammeln ggf. kombiniert mit gezieltem Spot-Spraying. Diese Communities arbeiten international verteilt und pflegen Open-Source-Paradigmen. Schaltungen, Techniken, Designs, Programmierungen usw. sollen frei verfügbar sein und kontinuierlich von einer engagierten Nutzer-gemeinde weiterentwickelt werden. Kommerzielle Verwertungen von Ideen stehen bei der Entwicklung nicht im Vordergrund, womit ein unmittelbarer wirtschaftlicher Erfolgsdruck nicht besteht und auch kühne Ideen im Sinne eines agilen Prototypings ausprobiert werden.

## Autonome Landdrohnen (Prototyp)

Eine vielversprechende und zum jetzigen Zeitpunkt noch visionäre Variante eines alternativen Pflanzenschutzes sind autonome schwarmfähige Landdrohnen, die jederzeit, bei nahezu allen Umweltbedingungen kontinuierlich und vollständig autonom auf Feldern Aufgaben erledigen. Rad- oder Raupenantriebe kommen bei nassem Boden und höherer Bewuchsdichte schnell an Grenzen. Besser geeignet sind nach ersten Praxisversu-



Abb. 1 Hexapod-Prototyp (Idee und Design: Jarmo Ikonen)

chen Drohnen, welche in Aussehen und Art der Fortbewegung Laufinsekten ähnlich sehen.

Die Drohnenrumpfe dienen als Plattform für modulare technische Ausrüstung, die automatisiert aufgenommen und abgeschlossen werden kann: Zangen, Saug-einrichtungen, Schnittwerkzeuge, Pumpen und Vorratsbehälter. Abbildung 1 zeigt einen für den Einsatz in harschen Umfeldbedingungen konzipierten Prototyp eines „Hexapods“ von Jarmo Ikonen.

## Generelle Funktionsweise

Die Fortbewegung der Drohnen wird von einem Onboard-Mikrocomputer kontrolliert, der die Servos in den Beinen, die Richtung der Fortbewegung, die GPS-Positionierung, die Rückkehr zum Depot, die eigentlichen Arbeiten sowie die Havarie-Bewältigung (z. B. Wiederaufrichten nach Umkippen) individuell für die Drohne übernimmt. Seitliche Bewegung „crabwalking“ für zeitoptimierte Aufgabenbearbeitung ist natürlich möglich. Eine einzelne Drohne im Schwarm kommuniziert über ein eigenes verschlüsseltes Schwarm-WLAN mit einer Leitdrohne, welche die Arbeitsaufgabe verwaltet und die erforderlichen Datenbanken für die Bilderkennung bereithält. Die Leitdrohne übermittelt in regelmäßigen Abständen die augenblickliche GPS-Position des Schwarms an das Depot.

Die Arbeitsdrohnen verfügen über ein Onboard-Kamerasystem, welches in zwei bis drei Wellenlängenbereichen kontinuierlich den Bereich vor der Drohne scannt und Konturen und Reflexionsverhalten mit der Datenbank in der Leitdrohne abgleicht. Zielobjekte werden nach Erkennung gezupft und zum Abtrocknen beiseitegelegt oder abgesammelt/abgesaugt und in einem Onboard-Vorratscontainer gesammelt. Je nach Einsatzauftrag kommt unterschiedliche Ausrüstung zum Einsatz, welche die Arbeitsdrohnen im Depot aufnehmen. Der Schwarm kann mehrere Aufgaben simultan bearbeiten oder auch mehrere Arbeitsschritte von einer Arbeitsdrohne sequenziell ausführen lassen: z. B. Abschneiden des Krauts einer Kartoffel und anschließendes Versiegeln der Wunde mit einem Fungizid.

Die einzelnen Drohnen finden GPS-geleitet und durch Umgebungsscanner selbstständig zum Depot „Homepoint“ zurück, wo sie nachladen, Werkzeuge wechseln, und gesammelte Schädlinge oder Samen in einen Zentralcontainer blasen. Das Depot hat eine Beacon-Einrichtung, welche den Drohnen bei Annäherung eine millimetergenaue Positionierung im Depot z. B. an den Ladeplätzen ermöglicht. Erschöpfte Drohnen kehren zur Aufladung zum Depot zurück, frische Drohnen schließen sich dem Schwarm wieder an, dessen GPS-Koor-

dinaten dem Depot bekannt sind. Ist die Leitdrohne erschöpft, übergibt sie ihre Aufgaben an eine Arbeitsdrohne, welche dann zur Leitdrohne wird. Natürlich sind Fail-Safe-Vorkehrungen getroffen. Der Schwarm arbeitet so kontinuierlich und je nach Energieverfügbarkeit 24/7. Menschliche Interaktion ist lediglich erforderlich für gelegentliche Kontrollen und das Leeren der zentralen Container. Bedarfswise Pushnachrichten an eine App sind vorgesehen.

### Technische Umsetzung (Status Prototyp)

Die elektronischen und mechanischen Komponenten sind erprobte Massenartikel, kostengünstig und weitestgehend ausentwickelt mit bekannten Leistungsdaten für verschiedene Umfeldbedingungen. Die notwendigen Stromspeicher sind (noch) auf Lithium-Basis mit mittlerer Energiedichte zugunsten eines weiten Temperatureinsatzbereichs und einer hohen Ladezyklenfestigkeit. Die Chassis-Komponenten lassen sich aus rezyklierten Hochleistungskunststoffen als klassisches Upcycling oder aus Performancekunststoffen aus nachwachsenden Rohstoffen drucken. Die Designs sind ausgelegt für störungsfreie Funktion unter harschen Umweltbedingungen (Hitze, Nässe, Schlamm, Sturm, alles auch bei Dunkelheit) und sind im Prinzip in weiten Grenzen skalierbar.

Das Gewicht der Prototypen beträgt bei „Katzengröße“ etwa 4 kg, wobei 1,4 kg auf den Akku entfallen. Bei dieser Größe ist ein Kompromiss gefunden, bei dem die Drohne z. B. in Kartoffelfeldern bis zur Ernte eingesetzt werden kann. Bei dichtwachsenden Getreidesorten gerät das System bei geschlossener Grunddecke an Grenzen, weil die Bewegungsfreiheit am Boden fehlt.

Erheblichen Aufwand bedeutet die Erzeugung der Referenzdatenbank für die zuverlässige Erkennung der Nutzpflanzen. Die notwendige Ergebnisstabilität kann nur durch sorgfältiges Anlernen und kontinuierliches Nachtrainieren erreicht werden. Prototypen haben dieses Stadium nur in Ausnahmen erreicht. Ein prinzipielles Problem besteht nach jetziger Einschätzung jedoch nicht. Vielmehr sind kleine Testfelder zu präparieren und die Erkenntnisse über klassische ML/KI-Verfahren zu parametrisieren.

### Schwarmdimensionierung und notwendige Infrastruktur

Bei einer angenommenen Feldgröße von 1000 x 1000 m oder 100 Hektar umfasst ein vollständiger Zyklus einer Arbeitsdrohne vier Stunden inkl. Aufladung und Wegezeiten. In dieser Zeit bearbeitet die Drohne 1000 m<sup>2</sup> und verbraucht 150 Wattstunden mit angemessener Reserve für Akkuverschleiß und Wege vom und zum Depot. Vier Zyklen pro Tag sind realistisch (je nach Infrastruktur auch mehr). Die individuelle Arbeitsdrohne schafft also 4000 m<sup>2</sup> pro Tag oder 28 000 m<sup>2</sup> pro Woche. Soll das 100 Hektar große Feld einmal pro Woche vollständig abgearbeitet werden, ist ein Schwarm von 35 Drohnen notwendig. Wenn Ladeplätze doppelt belegt werden (eine Drohne arbeitet, eine Drohne lädt), kann die Flächenleistung (fast) verdoppelt werden.

Für die autonome Energieversorgung eignet sich eine mit dem Depot gekoppelte Solaranlage mit Speicher. Bei Betrieb mit 35 Drohnen sind 20 bis 25 kWh pro Tag notwendig. Die gesamte Technik ist mit Gleichspannung betrieben, was die Anforderungen an die Elektronik erheblich vereinfacht, da z. B. Wechselrichter und String-Verwaltung wegfallen. Das komplette System kann auf Spannungen von ca. 30 Volt ausgelegt werden (bei Verwendung z. B. von 6S-Akkus mit 8Ah oder 175 Wattstunden Kapazität). Eine Solaranlage mit ca. 10 kW<sub>p</sub> und 7500 kWh Output in den Monaten März bis Oktober (zwischen 15 kWh pro Tag bis 40 kWh pro Tag) reicht für die Versorgung des Schwarms rechnerisch mit Reserven aus. Etwaige Optimierungsmaßnahmen sind hier nicht berücksichtigt. Eine solche Solaranlage hat einen Platzbedarf von ca. 150 m<sup>2</sup>. Die Positionierung des Depots erfolgt in der geometrischen Mitte des Feldes, zum einen, um rückkehrenden und auslaufenden Arbeitsdrohnen möglichst kurze Wege zwischen Schwarm und Depot zu ermöglichen und zum anderen, um das Depot und seinen Inhalt gerade zu Beginn der Wachstumsperiode vor Vandalismus und Diebstahl zu schützen.

**35 Hexapods können 1 000 000 m<sup>2</sup> Ackerfläche frei von Schädlingen und Fremdvegetation halten.**

### Ausblick

Das Konzept ist noch lange nicht bis zur Serienreife entwickelt. Dafür sind die Entwickler noch zu wenig organisiert und auch international zu fragmentiert. Das Interesse der Landwirtschaft an dieser intuitiv verständlichen Lösung ist durchaus groß, benötigt aber natürlich auch fertige, d. h. einsatzbereite und finanzierbare Lösungen. Diese Lücke ist noch nicht geschlossen, zu protektionistisch sind einige der Stakeholder. Aber die Entwicklungsarbeit geht weiter und auch China widmet sich dem Thema „Drohnen in der Landwirtschaft“ mit großer Begeisterung. Das Zeitalter des Rasenmäroboters als Vorbild wird hier übersprungen. Techniken zur (erheblichen) Verringerung ausgebrachter Pestizidmengen und in der Folge Reduktion von Rückständen auf und in der Nutzpflanze sind auch ein möglicher Baustein, Anforderungen der Inverkehrbringer an verringerte Höchstmengenauslastungen und Vermeidung bestimmter Substanzen flexibel und schnell nachkommen zu können.

### Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Jörg und Jan-Jost Meier vom Dierkens-Hoff in Hollenstedt-Wohlesbostel für die ausführlichen Diskussionen zum Pestizideinsatz in der konventionellen Landwirtschaft und bei Jarmoikonen <https://www.linkedin.com/in/jarmoikonen/> für das interessante Konzept der Hexapod-Plattform.

### Dr. Andreas Müller

*Diplom-Physiker, promovierter Werkstoffwissenschaftler; lange international in der Luftfahrt tätig, wechselte in den 2000ern in die Lebensmittelsicherheit; nach neun Jahren bei einem Labordienstleister machte er sich mit Dienstleistungen in den Bereichen Risikoprävention, Spezialaudits und Schulungen selbstständig*



*Andreas.Mueller@stem-in-foodsafety.de*