



Bundesinformationszentrum  
Landwirtschaft

# Digitalisierung im Ackerbau

Digitaler Einstieg und fortgeschrittene Lösungen für  
den Ackerbaubetrieb



Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

Digitalisierung ist ein Megatrend, der auch vor der Landwirtschaft nicht Halt macht.

Der landwirtschaftlichen Digitalisierung werden vielfältige positive Auswirkungen zugeschrieben. Dazu zählen unter anderem eine gesteigerte Ressourceneffizienz und eine verbesserte Nachhaltigkeit.

Mit der Digitalisierung gehen auch Schwierigkeiten einher. Teilweise kostenintensive Produkte und ihre Inkompatibilität untereinander, sowie eine bislang mangelnde Akzeptanz bei Landwirtinnen und Landwirten, lassen sich als Beispiele anführen.

Für die Integration dieses wichtigen Bausteins, um eine zukunftsorientierte Entwicklung der Landwirtschaft zu gewährleisten, fördert das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die Forschung zur Digitalisierung. Dies geschieht unter anderem durch die Einrichtung von digitalen Experimentierfeldern und die Gründung des Kompetenznetzwerks „Digitalisierung in der Landwirtschaft“.

Die vorliegende Broschüre soll zum einen als Einstiegshilfe für Landwirtinnen und Landwirte dienen und zum anderen neue Technologien vorstellen, die gewinnbringend auf dem Betrieb eingesetzt werden können.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre!

Ihr  
Bundesinformationszentrum Landwirtschaft



**Bundesinformationszentrum  
Landwirtschaft**

# Inhalt

<b>1 – Digitalisierung in der Landwirtschaft – ein Überblick .....</b>	<b>4</b>
<b>2 – Welche digitalen Technologien sind für den Einstieg geeignet? ....</b>	<b>7</b>
<b>3 – Praxisreife Entwicklungen? Auf den Experimentierfeldern des BMEL! .....</b>	<b>12</b>
3.1 Hackroboter im Zuckerrübenanbau im Experimentierfeld Farmerspace .....	13
3.2 Fernerkundungsmethoden zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten im Experimentierfeld DiWenkLa.....	19
<b>4 – Übersicht: Wo kann ich mich als Praktiker informieren? .....</b>	<b>30</b>
<b>KTBL-Veröffentlichungen .....</b>	<b>32</b>
<b>Weitere BZL-Medien .....</b>	<b>33</b>
<b>Das BZL im Netz... .....</b>	<b>34</b>
<b>Impressum .....</b>	<b>35</b>



*Eine Drohne fliegt über einen Acker.*

# 1 Digitalisierung in der Landwirtschaft – ein Überblick

Die zentrale Aufgabe der Landwirtschaft besteht in der Erzeugung sicherer und qualitativ hochwertiger Lebensmittel unter nachhaltigen Anbaupraktiken. Daneben trägt sie zur Energie- und Rohstoffversorgung bei und übernimmt landschaftspflegerische Maßnahmen.

Bei der Bewältigung dieser vielfältigen Aufgaben werden Landwirtinnen und Landwirte zunehmend vor Herausforderungen gestellt. Dazu zählen der Verlust von Biodiversität, Arten-, Tier-, Boden- und Gewässerschutz sowie die Änderung des Klimas. Eine Erweiterung der bisherigen Praktiken durch neue Technologien könnte zukünftig dabei helfen, eine noch präzisere Bewirtschaftung

zu ermöglichen und gesellschaftskritischen Themen zu begegnen.

## Welche Rolle spielt die Digitalisierung? Welche Lösungen bietet sie?

- Durch eine Steigerung der Ressourceneffizienz können Betriebsmittel, wie Düngemittel- und Pflanzenschutzmittel, effizient eingesetzt und Treibhausgasemissionen gesenkt werden.
- Mittels Drohnen kann frühzeitig ein Schädlingsbefall erkannt werden, sodass die Ausbringung von Pflanzen-

schutzmitteln zielgerichtet und minimal erfolgen kann.

- Der Einsatz (autonomer) Roboter auf dem Feld anstelle von Traktoren verringert die Bodenverdichtung.
- Durch Bodenfeuchteüberwachung und intelligente Bewässerungssysteme kann Dürreperioden begegnet werden.

Diese Aufzählung zeigt nur eine Auswahl unterschiedlicher Möglichkeiten.

## Welche Begrifflichkeiten sollten Landwirtinnen und Landwirte im Zusammenhang mit der Digitalisierung kennen?

Im Folgenden werden einige wesentliche Begriffe, die mit landwirtschaftlicher Digitalisierung zusammenhängen und in dieser Broschüre Anwendung finden, definiert.

- ✔ Digitalisierung bedeutet die Verwendung von Daten und algorithmischen Systemen für neue oder verbesserte Prozesse, Produkte und Geschäftsmodelle.
- ✔ Präzisionslandwirtschaft, auch Precision Farming, wird oft als Ursprung der Digitalisierung in der Landwirtschaft bezeichnet. Gemeint ist die zielgerichtete Ausbringung von Betriebsmitteln, wie Saatgut, Dünge- oder Pflanzenschutzmitteln, auf einem Feldabschnitt.
- ✔ Spot Farming lässt sich der Präzisionslandwirtschaft zuordnen. Dabei werden landwirtschaftlich genutzte, heterogene Flächen in Flächen mit ähnlichen Eigenschaften eingeteilt und entsprechend ihrer Ansprüche bewirtschaftet. Mit diesem Vorgehen der sogenannten teil-

flächenspezifischen Pflanzenproduktion werden Kulturen optimal versorgt.

- ✔ Smart Farming und Präzisionslandwirtschaft werden oft synonym verwendet, wobei Smart Farming darüber hinaus geht: Es meint vielmehr die Optimierung komplexer Anbausysteme.
- ✔ Big Data beschreibt große Mengen unstrukturierter Daten, die im Tagesgeschäft von Unternehmen anfallen. In der Landwirtschaft sind das zum Beispiel Daten zu Niederschlagsmengen oder der Bodenbeschaffenheit.
- ✔ Künstliche Intelligenz (KI) kann große Datenmengen mithilfe antrainierter Algorithmen (maschinelles Lernen) auswerten.
- ✔ Landwirtschaft 4.0 ist die gesamte Digitalisierung der landwirtschaftlichen Wertschöpfungskette.
- ✔ Farmmanagement-Informationssysteme (FMIS) können Arbeitsschritte planen und dokumentieren. Durch die oftmals integrierte Ackerschlagkartei können Maßnahmen im Jahresablauf detailliert nachvollzogen werden. FMIS wenden Künstliche Intelligenz an und optimieren die Prozesse auf dem landwirtschaftlichen Betrieb.

## Welche Probleme gibt es?

Mit der Digitalisierung gehen auch Schwierigkeiten einher und ihr werden Risiken zugeschrieben.

So führt eine unzureichende Netzabdeckung in ländlichen Gebieten täglich zu Schwierigkeiten im Arbeitsablauf der Landwirtinnen und Landwirte. In vielen Bereichen sind Nutzungs- und Eigentumsrechte der auf

dem landwirtschaftlichen Betrieb erhobenen Daten nicht vollständig geklärt. Gleichzeitig gelten IT-Sicherheitsstandards als ungenügend.

Die auf dem Markt verfügbaren Systeme werden oftmals als kostenintensiv beschrieben und die Inkompatibilität von Soft- und Hardware kritisiert. Zudem nennen Landwirtinnen und Landwirte mangelndes Wissen als Hemmnis für die Digitalisierung ihrer Betriebe.

Diese Faktoren führen insgesamt zu der oft beschriebenen fehlenden Akzeptanz der Digitalisierung und Skepsis auf dem landwirtschaftlichen Betrieb.



*Ein moderner Traktor, der mit einem Managementsystem, dem Anbaugerät und Smartphone-Apps vernetzt ist.*

## Warum wurde die Broschüre konzipiert und welches Ziel verfolgt sie?

Die vorliegende Broschüre setzt an einigen zuvor beschriebenen Schwierigkeiten an: Sie stellt eine Auswahl grundlegender und praxisnaher Informationen zu Digitalisierungsmöglichkeiten auf dem Ackerbaubetrieb für „digitale Anfängerinnen und Anfänger“ zusammen. Die Broschüre soll eine Orientierungshilfe bieten, welche neuen Technologien auf dem Betrieb eingesetzt werden können und den aktuellen Stand der technischen Entwicklung widerspiegeln. Die Technologien sollten in bestehende Strukturen eingebettet werden, um Lösungen nachhaltig zu implementieren und Inselösungen zu vermeiden.

Ergänzt werden die Informationen um praxisreife Entwicklungen aus den digitalen Experimentierfeldern des BMEL, damit auch digital fortgeschrittene Leserinnen und Leser auf ihre Kosten kommen.

## Literatur

Gscheidle, M. et al. (2022): Strukturwirkung der Digitalisierung in der Landwirtschaft. Erschienen in Berichte über Landwirtschaft. Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft. Band 100, Ausgabe 1. ISSN 2196-5099.

Kliem, L. et al. (2022): Digitalisierung in der Landwirtschaft. Chancen und Risiken für Natur- und Umweltschutz. Schriftreihe des IÖW 222/22.

## 2 Welche digitalen Technologien sind für den Einstieg geeignet?

Fragen wir als erstes einen Landwirt, der sich schon auf den Weg in den digitalisierten Betrieb gemacht hat:



*Zum Einstieg habe ich mir eine Acker-schlagkartei zugelegt. Damit habe ich eine große Erleichterung bei der Dokumentation und die Grundlage für die weiteren Schritte geschaffen. Meine Maschinen sind schon mit allerlei Technik ausgestattet und jetzt kann ich sie mit der Acker-schlagkartei verbinden. So kann ich zum Beispiel alle Feldgrenzen mit meinen Maschinen exakt bearbeiten.*

*Ich nutze verschiedene Apps, beispielsweise zur Warnmeldung für Pflanzenkrankheiten. Gerade ist Fusarium im Anzug. Um das zu verhindern, kann ich den Spritzplan mit Hilfe der Schlagkartei einfach und schnell erstellen. Da die Wetter-App Regen meldet, muss ich jetzt zum Spritzen auf den Acker! Also schnell die Spritze angekoppelt und die Pflanzenschutz-Brühe angesetzt. Der Auftragszettel aus der Auftragsverwaltung der Schlagkartei vermeidet Fehler. Bei den schrägen Flächenkonturen, Spitzen und Ecken, die ich auf meinen Schlägen habe, hilft mir das Assistenzsystem „Sectioncontrol“ in der Spritze enorm. Die Teilbreiten mit der Hand zu schalten geht bei den heutigen Arbeitsbreiten gar nicht mehr. Es ist einfach klasse zu sehen, wie die Düsen*

*exakt dort abschalten, wo schon gespritzt wurde oder das Feld zu Ende ist.*

*Am Abend sehe ich in der Dunkelheit kaum noch mein Gestänge. Trotzdem verfolge ich auf dem Bildschirm genau wo ich bin. Die Teilbreitenschaltung der Spritze schaltet zuverlässig. Nachts sind die Vorteile der digitalen Technik an den Maschinen unschlagbar!*

*Das Regenradar zeigt schon die Regenwolken – in drei Stunden regnet es. Das reicht, dass ich fertig werde und der Spritzbelag noch antrocknen kann. Wie oft wurde ich früher vom Regen überrascht oder musste bei Dämmerung aufhören. Das passiert mir nun nicht mehr.*

*Satellitenkarten nutze ich seit Kurzem auch. Nie hätte ich gedacht, dass die Ertragsunterschiede auf meinen Äckern so groß sind. Wie es aussieht, verschenke ich auf den Stellen mit hohem Ertragspotenzial noch etwas Ertrag. Dort, wo ich sowieso weniger ernte, kann ich noch Dünger einsparen.*

So oder so ähnlich präsentieren sich heute mittelständische Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter, die erfolgreich in die Digitalisierung ihrer Betriebe eingestiegen sind. Sie haben ihre Betriebe nach und nach digitalisiert und sind von den praktischen Vorteilen begeistert, die ihnen die tägliche die Arbeit angenehmer machen.

Der Start in die Digitalisierung des Betriebes ist einfach. Am besten beginnt man mit einzelnen Betriebsbereichen, statt alles gleichzeitig umsetzen zu wollen.

Man unterscheidet drei Bereiche der Digitalisierung eines Ackerbaubetriebs:

- die Ackerschlagkartei/FMIS
- die maschinelle Organisation der Feldarbeit („Außenwirtschaft“)
- die Bestandesführung auf den einzelnen Schlägen.

Der Einstieg über eine Schlagkartei ist ein sinnvoller Weg, da hier für weitere Digitalisierungsoptionen eine Basis geschaffen wird.

## Mehr als Büroorganisation mit der Ackerschlagkartei

Büroarbeit kann lästig sein. Buchführung, Schlagkartei, Pachtverträge, Düngeplanung, Ein- und Verkäufe, Bankenwesen – alles Dinge, die uns Landwirtinnen und Landwirte von der Arbeit am Feld abhalten. Umso mehr unterstützt es Landwirtinnen und Landwirte, wenn hier der Zeitaufwand reduziert werden kann.

Die erste Anschaffung ist daher oft eine Ackerschlagkartei, die heute viel mehr ist als eine reine „Schlagkartei“. Eine moderne

Schlagkartei ist modular in Bausteinen aufgebaut. Die Felder und die Feldarbeiten darauf zu erfassen, schafft eine gute Grundlage.

Neben den Verwaltungsaufgaben, wie der Vorbereitung der Anträge auf Förderprämien oder der Bedarfsabschätzung für Betriebsmittel, bietet eine moderne Schlagkartei diverse Möglichkeiten den Arbeitsablauf auf dem Feld zu vereinfachen. Weitere Module für den Anfang sind die Düngeplanung (Düngeverordnung!) und ggfs. die Pachtverwaltung.

Der Preis der meisten Schlagkarteien ist betriebsindividuell und richtet sich nach der Betriebsgröße.

## Datenaustausch zwischen Schlagkartei und Maschinen



Wer im nächsten

Schritt mit seinen Maschinen Daten austauschen will, braucht entsprechende Module, die den Datentransfer von und zu den Maschinen bewerkstelligen. Interessierte sollten sich genau erkundigen, mit welchen Maschinen ihre zukünftige Schlagkartei Daten austauschen kann. Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass die Schlagkartei nicht auf eine Maschinenmarke ausgerichtet ist, sondern einen gemischten Fuhrpark bedienen kann.



## Schlagkartei in einem Programmsystem und auf dem Smartphone

Die Ackerschlagkartei soll die wichtigsten Aufgabenstellungen in einem Programmsystem bewältigen können. Das ist sinnvoller als für jede Aufgabe separate „Programmchen“ zu nutzen,

unter denen die Daten nicht ausgetauscht werden können.

Schließlich sollte die Schlagkartei über das Smartphone zu erreichen sein. So können bestimmte Daten am Feld nachschlagen oder sogar die Buchung von Maßnahmen während der Arbeit erledigt werden.

## Die Organisation der Außenwirtschaft

Melkroboter und Fütterungsanlagen in der Tierhaltung machen es vor, wie komplizierte Vorgänge sicherer und erfolgreicher werden. Das geht auch in der Feldwirtschaft. Das eigene Smartphone und der Bordcomputer am Schlepper kristallisieren sich als die digitalen Zentralen in der Außenwirtschaft heraus.

### Wie Apps die Arbeit auf dem Feld erleichtern

Wenn es um Beratung und Informationsbeschaffung geht, gibt es eine Vielfalt von Anbietern auf dem Markt. Angefangen vom Wetterbericht, über die eigene Wetterstation bis hin zu Prognosen des aktuellen Krankheitsdrucks gibt es eine Vielzahl von Apps, die die Arbeit auf dem Feld erleichtern. Nie war es einfacher, zum Beispiel die genauen Daten zu einem Pflanzenschutzmittel nachzuschlagen.

### Arbeitserleichterung durch Bordcomputer

Ebenso hat der Bordcomputer auf der Maschine schon lange seinen Einzug gehalten. Lenksysteme und Isobus-Steuerungen ermöglichen die Automatisierung des Arbeitsvorganges auf einem Feld. Ordentliche Fahrspuren ohne Überlappung – auch

bei schlechter Sicht – und ein Wendevorgang, der alle zapfwellen- und hydraulikgesteuerten Funktionen automatisiert, sind eine enorme Arbeitserleichterung. Das automatische Schalten von Teilbreiten, zum Beispiel der Feldspritze bei Arbeitsbreiten jenseits der 15 Meter, ist sehr zu empfehlen. Ebenso die Möglichkeit, Arbeitsaufträge vom Büro an den Bordcomputer zu senden und umgekehrt. Das haben viele Praktikerinnen und Praktiker erkannt und verhelfen damit der Digitalisierung in ihren Betrieben zu einem mächtigen Sprung. Dieser Schritt ist mit nicht unerheblichen Kosten verbunden, vereinfacht aber die Arbeit und macht die Datenerfassung sicherer und genauer.

Die Ausrüstung der Maschinen nach der ISO-Norm ist eine Voraussetzung. Nur so passen Schlepper und Anbaugeräte zusammen und können mit dem Büro Daten austauschen. Für die Inbetriebnahme solcher Gerätekombinationen mit der Ackerschlagkartei ist ein guter Servicebetrieb wertvoll, der den notwendigen Support leisten kann. Oft ist das sogar der entscheidende Faktor. Wenn auf dem Weg vom Büro bis zum Anhängergerät am Schlepper irgendetwas nicht funktioniert, hilft nur ein Servicebetrieb, der die ganze Kette sicher beherrscht.

Sich in die Bedienung des Bordcomputers in Ruhe einzuarbeiten, ist ein wichtiger Baustein für eine erfolgreiche Arbeit ohne Ärger und Frust. Es wird empfohlen, sich am besten vor der Hauptsaison mit den Geräten zu beschäftigen. Je nach Hersteller ist die Bedienung der Bordcomputer unterschiedlich, was die Sache nicht einfacher macht. Daher ist die Bedienerfreundlichkeit des Bordcomputers ein grundsätzliches Kriterium für die Entscheidung zu einer Marke.



*Bonituren, Applikationskarten, Routen- und Flugplanungen sind auf einem Laptop zu sehen.*

## Die Bestandesführung

Neben der Optimierung der bisherigen Arbeitsabläufe ergeben sich einerseits neue Verfahren, wie Landwirtschaft ihre Produkte produziert. Andererseits unterliegt die landwirtschaftliche Produktion vielfältigen Bewirtschaftungsrestriktionen, die es einzuhalten gilt. Um den Spagat zwischen pflanzenbaulichen Notwendigkeiten und ordnungsgemäßem Pflanzenbau im Sinne der staatlichen Regularien „smarter“ zu bewerkstelligen, helfen zahlreiche Online-Angebote und Apps: Die Landwirtschaftskammern bzw. Landesanstalten der Länder bieten Hilfestellungen bei der Umsetzung spezifischer Anbauprogramme. Handelsorganisationen oder Anbieter von Betriebsmitteln stellen Apps zur Verfügung, um beispielsweise Pflanzenkrankheiten zu

erkennen oder unterstützen bei der Vermarktung von Getreide.

### **Teilflächenspezifische Bewirtschaftung: Effizienter Pflanzenbau und nachhaltiges Wirtschaften**

Beispielhaft wird hier der Bereich der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung genauer betrachtet, wo effizienter Pflanzenbau und nachhaltiges Wirtschaften kombiniert werden.

Homogene Flächen sind selten. Besonders deutlich wird dies, seit wir mit Satelliten einen neuen Blick auf unsere Felder werfen können. Auch auf vermeintlich „homogenen“ Schlägen sind Unterschiede im Biomasseertrag von ungefähr 15 Prozent die Regel. Hier lässt sich „digital“ optimieren. Wenn also an schwachen Stellen Dünger eingespart und

auf die Stellen mit hohem Ertragspotenzial umverteilt wird, dann kann ohne Ertragsverlust die Düngermenge reduziert werden. Davon profitieren Umwelt und Geldbeutel. Um das durchzuführen, werden in diesem Beispiel Satellitenbilder zu den Ertragspotentialen in den Feldern, die entsprechende Software und die passende Applikationstechnik benötigt.

### Düngung in der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung

Was manchen Landwirtinnen und Landwirten nicht bekannt ist: Ein hoher Anteil der Kosten für diese Technik sind womöglich im Betrieb schon investiert. Wer ein Lenksystem und einen Düngerstreuer mit ISOBUS-Steuerung, Mengen- und Teilbreitenregelung nutzt, hat zumeist die technischen Voraussetzungen erfüllt, um mit der teilflächenspezifischen Düngung zu beginnen. Es reicht dann aus, in Software und Satellitenbildauswertung zu investieren und die richtigen Einstellungen vorzunehmen – falls nötig mit Hilfe des Servicebetriebs. Die größte Herausforderung allerdings stellt sich Betriebsleiterinnen und Betriebsleitern, die sich in der Düngung umstellen müssen. Hat man früher spontan am Feldrand über die N-Menge je Hektar entschieden, bedarf es nun eines Vorlaufes. Die teilflächenspezifische Düngung wird im Büro geplant und auf den Bordcomputer übertragen. Anschließend kann das Maschinengespann im Feld die Düngung vornehmen – so bedarfsgerecht wie nie zuvor. Am Ende wird der tatsächlich ausgebrachte

Dünger als gerasterte Karte wieder an die Schlagkartei zurückgemeldet.

Spätestens jetzt ist zu erkennen, wie wichtig es ist, dass alle Komponenten von der Schlagkartei über den Schlepper bis zum Düngerstreuer aufeinander abgestimmt sind. Wer das bei der Einführung der Digitalisierung in den Betrieb beachtet, erleichtert sich den Einstieg und spart Kosten.

### Fazit

Natürlich ist die teilflächenspezifische Düngung nur eine Lösung als Beispiel für das, was die Digitalisierung noch bringt. Sie ist aber ein sehr gutes Beispiel um zu zeigen, dass in Zukunft Fortschritt und Digitalisierung eng verbunden sind.

Wer sich den Weg dorthin nicht verbauen und Kosten minimieren möchte, der sollte dieses Ziel im Auge behalten, um seine nächsten Schritte in die Digitalisierung zu gehen. Ein guter Einstieg in die Digitalisierung des eigenen Betriebes sind eine Acker Schlagkartei, ein Schlepper mit Bordcomputer und Lenksystem. Dabei sollten immer beachtet werden erweiterbare Systeme zu nutzen, um einen stufenweisen Ausbau der technischen Infrastruktur zu ermöglichen. Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sollten genügend Zeit bekommen, sich mit diesen Systemen vertraut zu machen.

# 3 Praxisreife Entwicklungen? Auf den Experimentierfeldern des BMEL!

Mit den digitalen Experimentierfeldern fördert das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) die Digitalisierung in der Landwirtschaft.

## Experimentierfelder: Was ist das eigentlich?

Die Experimentierfelder sind Testfelder auf landwirtschaftlichen Betrieben. Auf ihnen werden digitale Techniken für Pflanzenbau und Tierhaltung erforscht sowie auf Praxis-tauglichkeit getestet. Es geht insbesondere darum, wie digitale Technologien optimal zum Schutz der Umwelt, zur Steigerung der Biodiversität sowie zur Arbeitserleichterung und Effizienzsteigerung eingesetzt werden können. Außerdem können sich interessierte Praktikerinnen und Praktiker über die Möglichkeiten der Digitalisierung informieren. Insgesamt wurden 14 Experimentierfelder eingerichtet. Sie sind über ganz Deutschland verteilt und setzen unterschiedliche Schwerpunkte. Sieben Experimentierfelder sind im Bereich Pflanzenbau und drei in der Tierhaltung angesiedelt. Vier weitere Felder arbeiten bereichsübergreifend. Dafür stellt das Ministerium zwischen 2019 und 2025 Fördermittel in Höhe von etwa 70 Millionen Euro zur Verfügung.

## Aus den Experimentierfeldern in die Praxis und zurück

Mit den Experimentierfeldern soll ein Wissens- und Informationstransfer in die Praxis und aus der Praxis in die Experimentierfelder erfolgen.

Expertinnen und Experten haben ihr Wissen und ihre Erfahrungen kompakt zusammengestellt. Es handelt sich um Erkenntnisse aus zwei ausgewählten Experimentierfeldern:

- Farmerspace<sup>1</sup> beschäftigt sich mit der Implementierung digitaler Technologien für den Pflanzenschutz und fokussiert sich auf die Krankheitserkennung sowie das Unkrautmanagement in den Kulturen Weizen und Zuckerrübe. Es sollen die Anforderungen der landwirtschaftlichen Praxis an diese Art des Pflanzenschutzes ermittelt sowie neue Lösungen durch digitale Technologien getestet und evaluiert werden. In diesem Kapitel erfahren Sie, wie digitale Bonitur bei der Erkennung von Pflanzenkrankheiten hilft und wie mechanische Unkrautbekämpfung mit Sensorik kombiniert wird.



Logo des Experimentierfelds Farmerspace

<sup>1</sup> <https://www.farmerspace.uni-goettingen.de/>

- „Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft“ (DiWenkLa)<sup>2</sup> untersucht den Einsatz digitaler Technologien in den Produktionszweigen Ackerbau, Feldgemüsebau, Grünlandbewirtschaftung sowie Rinder- und Pferdehaltung. Ein Teilprojekt beschäftigt sich mit Pflanzenschutz-Monitoringsystemen für Sonderkulturen. In diesem Kapitel erfahren Sie, wie Pflanzenkrankheiten mit Drohnen erkannt werden können.



Logo des Experimentierfelds DiWenkLa

*Hinweis: Bitte beachten Sie, dass in den folgenden Kapiteln die Hersteller genannt werden, mit denen die Experimentierfelder arbeiten. Es wird also lediglich eine Auswahl an Herstellern der entsprechenden Maschinen genannt. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.*

### 3.1 Hackroboter für den Zuckerrübenanbau im Experimentierfeld Farmerspace



Das Experimentierfeld Farmerspace beschäftigt sich mit dem digitalen Pflanzenschutz an den Kulturen Zuckerrüben und Weizen. Ein Fokus liegt auf Blattkrankheiten und Me-

thoden des Unkrautmanagements. Auf dem Experimentierfeld wird ein breites Spektrum von Sensoren und Kameras auf Robotern oder Drohnenplattformen eingesetzt. Ziel ist es, den Prozess von der Marktverfügbarkeit bis zum Einsatz auf den Betrieben zu beschleunigen.

Denn die Werkzeuge bringen nur dann einen Mehrwert, wenn sie auch in der Praxis benutzt werden. Genau diese Benutzung soll beschleunigt werden: Das ist aber nur dann möglich, wenn es eine Plattform gibt, die die Funktion und den Mehrwert unabhängig beschreibt, testet und die Ergebnisse öffentlich zeigt. Das ist Farmerspace.

Koordiniert vom Institut für Zuckerrübenforschung in Göttingen und mit weiteren Projektpartnern, wie dem Institut für Agrartechnik der Universität Göttingen, der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und dem Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung (IOSB), werden digitale Werkzeuge für das Feld erforscht. So werden Werkzeuge zur automatischen Krankheitserkennung durch geeignete Feldversuche mit manueller oder vergleichender Auswertung auf der Basis von Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) benutzt, um die Ergebnisse zu evaluieren.

#### Digitale Bonitur

Landwirtinnen und Landwirte kennen ihre Felder und wissen was dort passiert. Sie können den Zustand eines Ackers visuell beurteilen: Trockene Stellen, Krankheitsbefall, Mangelerscheinungen oder der richtige Zeitpunkt für Maßnahmen werden abgeleitet, indem man „auf die Felder fährt und schaut“.

<sup>2</sup> <https://diwenkla.uni-hohenheim.de/startseite>

Im Versuchswesen wird diese Einschätzung als „Bonitur“ bezeichnet. Sie wird benutzt, um einen visuellen Eindruck der Pflanzenentwicklung, speziell unter dem Einfluss von Krankheiten oder Trockenheit, für den Vergleich verschiedener Sorten zu bewerten. Sie wird von geschultem Personal durchgeführt, welches die spezifischen Merkmale einer Kultur oder Krankheitsbildes erkennen kann.

Die Übertragung der manuellen in eine digitale Bonitur ist herausfordernd: Um große Flächen zu bonitieren wird viel Fachpersonal benötigt. Je mehr Wiederholungen der Versuche bonitiert werden, desto verlässlicher ist die statistische Auswertung. Eine Möglichkeit ist daher die digitale Bonitur landwirtschaftlicher Versuche und Flächen.

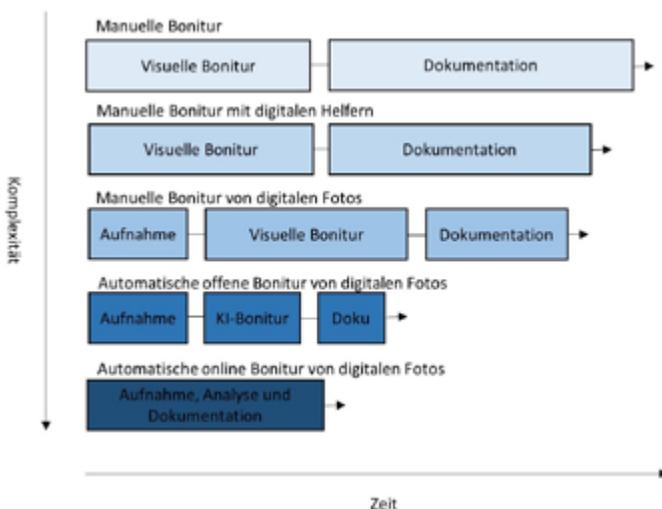
Der Begriff „digitale Bonitur“ unterteilt sich in mehrere Kategorien oder Level, die mit steigender Zahl einen höheren Grad der Automatisierung aufweisen:

- Manuelle Bonitur mit digitalen Helfern, wie GPS-Stäbe oder Smartphones und Tablets zur direkten digitalen Eingabe (Level 1)
- Manuelle Bonitur mit Hilfe digitaler Fotos (Level 2)
- Manuelle Bonitur mit Hilfe digitaler

Fotos von Drohnen zur Bildaufnahme (Level 3)

- Nachgelagerte Automatisierte Analyse digitaler Fotos auf leistungsstarken Computern (Level 4)
- Automatisierte Bonitur direkt auf dem Feld durch Roboter (Level 5).

Die wesentlichen Arbeitsschritte neben der eigentlichen Bonitur und der Dokumentation sind die Datenaufnahme, sowie die Analyse durch die KI.



Darstellung unterschiedlicher Level der digitalen Bonitur.

### Datenaufnahme mit Drohnen

Überfliegungen von Äckern mit Drohnen sind heute leicht zu bewerkstelligen, da Kombinationen von Drohne und Kamera marktverfügbar sind. Die rechtlichen Anforderungen an Versicherung sowie Kenntnissnachweisen sind geringer je kleiner die Drohne und je größer die räumliche Entfernung zu unbeteiligten Dritten ist.

Je nachdem, welche Parameter auf dem Feld erfasst werden sollen, ist eine hohe Auflösung der Kamera wichtig. Eine Bonitur zu einem Krankheitsbefall mit zum Beispiel *Cercospora beticola* in Zuckerrüben benötigt eine höhere Auflösung als eine Biomasse-schätzung im Mais.

### Datenauswertung mit künstlicher Intelligenz

Die Auswertung erfolgt mit Methoden der künstlichen Intelligenz. Dazu werden die Daten geteilt. Ein Teil wird genutzt, um das Modell zu trainieren, das heißt wir lernen das Modell an. Dazu wird beschrieben, wie zum Beispiel eine Infektion oder eine gesunde Pflanze aussieht und trainieren so die Unterscheidung. Wie gut dieses Modell funktioniert, wird auf einem anderen unbekanntem Datensatz getestet. Sind die Daten den Trainingsdaten ähnlich, ergibt sich eine hohe Genauigkeit. Sind sie unterschiedlicher, ergibt sich eine geringere Genauigkeit. Um also ein Modell zur Erkennung von *Cercospora* zu erstellen, werden viele Daten von Zuckerrüben benötigt: unterschiedliche Sorten, Beleuchtungs- und Aufnahmewinkeln, unterschiedliche Auflösungen und Kameratypen, auf unterschiedlichen Böden und in den verschiedenen Wachstums- und Krankheitsstadien.

Dahinter steckt ein lernendes Modell für die Unterscheidung von Pflanzen und Unkraut, oder der Erkennung von Krankheiten auf Pflanzen. Das Modell lernt dabei unterschiedliche Unterscheidungsmuster je nach verwendetem Sensor auf Grundlage von visuellen Mustern (RGB-Kameras), Geometrie-strukturen (3D) oder der spektralen Signatur (multi-/hyperspektrale Kameras). Durch den Abgleich mit manuell genommenen Referenzdaten wie einer Proberodung/Teilernte, der menschlichen Bonitur oder einer chemischen Analyse erfolgt der Realabgleich.

Diese riesige Menge an Daten zeigt, warum Daten heute das „neue Gold“ sind. Sobald sie verfügbar sind, ist es möglich, teure manuelle Arbeit durch ein Modell hochautomatisiert durchführen zu lassen.

Aktuell sind menschliche Expertinnen und Experten der Goldstandard im Feldversuchswesen. Wer im Feld ist, kann gezielt Pflanzen genauer betrachten. Die Drohne bleibt beschränkt auf den reinen Blick von oben. Zudem hängt die automatisierte Auswertung vom Trainingsdatensatz des benutzten Modells ab. Schon heute ergibt sich dadurch eine hohe Genauigkeit, jedoch mit einem Fehler. Wird dieser Fehler zu Gunsten der hohen Flächenleistung aktueller KI-Routinen toleriert, stellen die neuen digitalen Methoden der Bonitur einen effektiven und schnellen Weg dar, große Flächen für landwirtschaftliche Versuche oder auch in der Praxis zu analysieren. Dabei werden die Bestandesinformationen, wie Pflanzengesundheit und Biomasseentwicklung, auf dem Feld quantifiziert.



*Der Farmdroid FD 20 aus unterschiedlichen Perspektiven auf dem Feld, inkl. Einzelansicht der Sähaggregat.*

### Hackrobotertechnik

Autonome Maschinen, die auf dem Feld effizient und ohne manuelles Zutun Aufgaben verrichten, sind schon in ganz Deutschland anzutreffen. Möglich ist dies durch Fortschritte im Maschinenbau, Neuentwicklungen im Akku- und Elektronikbereich, der breiten Verfügbarkeit von Mobilfunk und GPS-Signalen sowie der maschinennahen Implementierung von KI-Modellen zur schnellen und automatisierten Analyse von Bilddaten.

Speziell Roboter für das Unkrautmanagement sind seit einigen Jahren für Zuckerrübe und im Gemüseanbau marktverfügbar. In den folgenden Ausführungen zu dieser Art des Unkrautmanagements steht die Zuckerrübe im Fokus.

#### Welche Funktionsweisen gibt es bei Hackrobotern?

Grundsätzlich gibt es zwei Funktionsweisen für Steuerung von Hackrobotern. Positions-

basierte Roboter nutzen eine hochgenaue Standortinformation bei der Aussaat des Saatguts und dem anschließenden Hacken. Kamerabasierte Systeme analysieren digitale Bilder und steuern die Hackwerkzeuge dementsprechend.

Beide Systeme sind marktverfügbar und werden in der Praxis eingesetzt. Sie besitzen Limitierungen in der Anwendung und der funktionelle Bedarf an den Roboter muss geklärt werden.

#### → Positionsbasierte Systeme

Der positionsbasierte Ansatz nutzt das Standortsignal des GPS-Netzwerkes kombiniert mit einem Korrektursignal für eine finale Positionsgenauigkeit von wenigen Zentimetern. Bei der Saatgutablage wird gespeichert, wo die Pille abgelegt wurde. Diese Daten werden beim Hackdurchgang genutzt: Die Hackwerkzeuge werden an-

schließlich so gesteuert, dass sie dort, wo die Pillen abgelegt wurden, nicht hacken. Bei dieser Art des Hackens ist der Schritt der Pillenablage und Erfassung der Position der einzelnen Pflanzorte essentiell.

Der positionsbasierte Ansatz kontrolliert nicht, ob die Pflanze überhaupt oder an anderer Stelle aufläuft. Daher wird entweder nicht gehackt, obwohl keine Pflanze an der Position steht. Oder eine Pflanze wird weg gehackt, weil diese etwas verrollt ist.

Der marktverfügbare Repräsentant für den positionsbasierten Ansatz ist der FD20 des Herstellers Farmdroid ApS (Dänemark). Farmdroid nutzt eine langsame Fahrt mit eher filigranen Hackwerkzeugen, um eine Fläche von ca. 20 Hektar unkrautfrei zu halten. Nur durch die permanente Fahrt des Roboters können die Unkräuter bereits im Auflaufen bzw. in sehr frühen Stadien entfernt werden. Insgesamt sind die Hackwerkzeuge kleiner dimensioniert. Größere Unkräuter können durch den FD20 nicht mehr beseitigt werden und wachsen durch.

### → **Kamerabasierte Systeme**

Kamerabasierte Systeme können zum reinen Hacken eingesetzt werden. Sie säen nicht selbst und nutzen eine betriebsübliche Aussaat. Ausgehend von digitalen

Bildern erfolgt die Analyse direkt auf dem Gerät. Hierzu werden effiziente KI-Modelle eingesetzt. Diese nutzen annotierte Trainingsdaten, um nicht nur zwischen Boden und Pflanze zu unterscheiden, sondern auch zwischen Kulturpflanze und Beikraut. Zusätzlich kann die Reihenausrichtung mit ausgewertet werden. Diese Informationen steuern die Hackwerkzeuge und die weitere Fahrt.

Die Qualität des kamerabasierten Ansatzes hängt stark vom zu Grunde liegenden Trainingsdatensatz ab: Wird die Rübe nicht erkannt, wird sie weg gehackt. Wird das Beikraut nicht erkannt, weil es zu klein ist, oder fälschlicherweise als Rübe angesehen, erfolgt keine Behandlung.

Der kamerabasierte Ansatz und dessen Integration in einen Roboter erfolgt durch den Farming GT der Firma Farming Revolution. Hier wird ein hochauflösendes Kamerasystem, gekoppelt mit einer KI-basierten Auswertung verbunden mit autonomer Hacktechnik.

Die Firma Ecorobotix (Schweiz) bietet eine Integration in eine Herbizidspritze zur Unkrautkontrolle am Schlepper an. Die Kombination von Kamera, Auswertung und Düsensteuerung an der Spritze ermöglicht so eine höhere Schlagkraft im Vergleich zu reinen Robotersystemen.

*Der Ecorobotix ARA bei der Arbeit auf dem Feld.*



## Aktuelle Forschung

Farmerspace beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der Evaluierung bestehender Systeme. Daneben wird zu folgenden Themen geforscht:



- automatisierte Ableitung von Parametern auf Einzelpflanzen und Bestandesebene
- genaue Messung von Umwelteigenschaften
- Nutzung von künstlicher Intelligenz zur Automatisierung, Implementierung und Verbesserung aktueller Prognosesysteme zum Befallsrisiko und zur Ertragsvorhersage,
- Übertragung aktueller Erkenntnisse aus dem Feldmonitoring in praxisnahe Applikationskarten

Dies alles folgt dem Ziel der Präzisionslandwirtschaft. Das Richtige zur richtigen Zeit am

richtigen Ort tun, beinhaltet neben einem exakten Monitoring eine präzise Prognose, sowie eine gute Integration einer digitalen Entscheidungsunterstützung in die Abläufe der Landwirtinnen und Landwirte.

Das geht nur, wenn man sein Feld gut kennt. Heute unterstützen hier digitale Sensoren:

Das Projekt „RegisTer“<sup>3</sup> untersucht die Möglichkeiten von 3D-Scannern zur Beschreibung der Geometrie von Pflanzen im Gewächshaus und auf dem Feld. Gemeinsam mit dem Bundessortenamt wird untersucht, ob sich diese Geometrie nutzen lässt, um eindeutige Sortenmerkmale festzustellen. Denn zur Unterscheidung unterschiedlicher Sorten werden derzeit Pflanzenmerkmale benutzt, die manuell und nicht automatisiert gemessen werden.

<sup>3</sup> <https://www.phenoinspect.de/?p=742>



*Ergebnis der Bildinterpretation mit künstlicher Intelligenz.*

*Links: Unterscheidung zwischen Boden und Vegetation und im Folgenden die Unterscheidung zwischen Kultur- und Beikrautpflanze.*

*Mitte: Krankheiten detektieren und Applikationskarten ableiten.*

*Rechts: Auf Satelitenebene ist die Bemaßung der Feldgrenzen oder die Erkennung der Fruchtarten möglich.*

Robotische Aspekte werden im Exzellenzcluster „PhenoRob“<sup>4</sup> der Universität Bonn beleuchtet. Spezialistinnen und Spezialisten für Sensoren, Fernerkundung, Datenanalyse, Landwirtschaft, Pflanzenernährung und Pflanzenkrankheiten arbeiten zusammen mit dem Ziel, robotische Anwendungen für eine nachhaltige Pflanzenproduktion zu nutzen.

### Fazit

Für Betriebsleiterinnen und Betriebsleiter wird es zunehmend schwerer, Arbeitskräfte für handarbeitsintensive Tätigkeiten zu gewinnen. (Hack-) Roboter, die relativ neu am Markt sind, können diesem Problem entgegenwirken und Mitarbeitende entlasten. Technikbegeisterte Landwirtinnen und Landwirte nutzen auf ihren Betrieben teilweise schon Technik, die auch in den Robotern genutzt wird: Dazu zählen zum Beispiel intelligente Hacktechnik mit Kamerasystemen und Spurführung.

Weitere Werkzeuge und Maschinen, mit denen Landwirtschaft betrieben wird, sind hinsichtlich ihrer Handhabung mit der „neuen“ Technik wenig vergleichbar. Der Informationsbedarf auf landwirtschaftlichen Betrieben ist daher groß. Es wird immer wichtiger, dass Landwirtinnen und Landwirte sich weiterbilden und mit den Zukunftstechnologien auseinandersetzen. So können die Arbeitsweisen der Systeme verstanden werden, sodass bei Anschaffung auf ein detailliertes Wissen zurückgegriffen werden kann.

Anbieter entsprechender Weiterbildungsangebote sind beispielsweise die Akademie Burg Warberg<sup>5</sup>, Agronym e. V.<sup>6</sup> sowie lokale Volkshochschulen.



### Literatur

Heim, R. et al. (2022): Digital weed management – New trends for weed scoring in sugar beet. Sugar Industry (2022), 147(6), 343-351, doi.org/10.36961/si28804

## 3.2 Fernerkundungsmethoden zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten im Experimentierfeld DiWenkLa

Das Experimentierfeld „Digitale Wertschöpfungsketten für eine nachhaltige kleinstrukturierte Landwirtschaft“ (DiWenkLa) untersucht den Einsatz digitaler Technologien in den Produktionszweigen Ackerbau, Feldgemüsebau, Grünlandbewirtschaftung sowie Rinder- und Pferdehaltung. In Teilprojekt 6 geht es um Pflanzenschutz-Monitoringsysteme für Sonderkulturen. Ziel des Projekts ist die Analyse von Möglichkeiten drohnenbasierter optischer Sensoren zur Effizienzsteigerung des Pflanzenschutzes.

Das Experimentierfeld wird im Rahmen eines Verbundprojekts der Universität Hohenheim und der HfWU Nürtingen-Geislingen sowie mit Praxispartnern aus Industrie, Dienstleistung und landwirtschaftlicher Praxis durchgeführt.

<sup>4</sup> <https://www.phenorob.de/>

<sup>5</sup> <https://burg-warberg.de/>

<sup>6</sup> <https://agnonym.de/>

Im folgenden Text lesen Sie, wie Drohnen und Satellitenbilder zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten beitragen können und welche Möglichkeiten sich zur Datenauswertung ergeben.

### Fernerkundung in der Landwirtschaft

Der Erfolg einer Feldkultur ist von vielen Faktoren abhängig. Dazu zählen genügend Wasser, das Ausbleiben von Unwettern, die rechtzeitige Durchführung der notwendigen Kulturmaßnahmen wie Düngung, Pflanzenschutz und Ernte. Für erfahrene Praktikerrinnen und Praktiker stellt die Einschätzung über den Zustand eines Feldes während einer Feldbegehung kein Problem dar.

Heute muss jedoch die Feldbeobachtung (Monitoring) einer Vielzahl von Flächen in unterschiedlichen Lagen mit unterschiedlichen Bedingungen und Kulturen zeitgleich bewältigt werden. Hinzu kommt, dass das Wissen über Fehlentwicklungen einer Feldkultur zwar notwendig ist, um aber Abhilfe schaffen zu können, müsste die Information „Dort oben am linken Feldrand ist ein Distelnest“ in das Terminal einer Feldspritze geladen werden. Dies ist aber in der Form nicht möglich.

Dennoch sind entsprechende Daten die Basis einer teilschlagspezifischen Bewirtschaftung, zu der auch die teilschlagspezifische Ausbringung von Pflanzenschutz- und Düngemitteln gehört.

Insbesondere für die Bereiche Pflanzenschutz und Düngung sind möglichst aktuelle, fortlaufend gewonnene Daten der Kulturen notwendig. Nur so kann auf kurzfristig eintretende Ereignisse, wie zum Beispiel einen Blattlausbefall, schnell und zielgerichtet reagiert werden. Als Datenquelle für die Erstellung entsprechender Befallskarten bieten sich im Wesentlichen zwei Verfahren der

Fernerkundung an: Die Nutzung von Satellitenbildern und die Befliegung der Felder mit Drohnen

### Satellitenbilder

Sowohl die ESA (European Space Agency) als auch die NASA (National Aeronautics and Space Administration) betreiben Erdbeobachtungssatelliten, deren Daten kostenlos zur Verfügung gestellt werden und via Download verfügbar sind.

In Europa werden im Rahmen des Copernicus Programms die Sentinel-Satelliten betrieben. Für dieses Programm wird eine ganze Flotte von Satelliten unterschiedlicher Bauart verwendet. Die für die landwirtschaftliche Anwendung Relevantesten sind unter anderem die beiden Sentinel-2-Satelliten, die in einer Höhe von rund 800 km die Erde umkreisen. Sie fotografieren alle fünf Tage jeden Punkt auf der Erde. Da die beiden Satelliten mit Multispektralsensoren ausgerüstet sind, lassen sich mit den Bild-daten die für die Landwirtschaft wichtigen Vegetationsindizes, wie zum Beispiel der NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), berechnen.

Die räumliche Auflösung der Bilder liegt im Fall der Sentinel-2-Satelliten bei minimal 10 x 10 Meter pro Pixel, was insbesondere in Gebieten mit kleinen Flächenstrukturen ein Nachteil sein kann. Des Weiteren können länger anhaltende Schlechtwetterphasen dazu führen, dass bedingt durch die Wolken-decke das eigene Feld nicht auf den Bildern zu erkennen ist bzw. dass die Daten nicht verwertbar sind.

### Exkurs: RGB- vs. Multispektralkameras: Was ist das eigentlich?

- RGB-Kamera: Eine RGB-Kamera ist ein Sensor, der die Lichtintensität in den Wellenlängenbereichen von rotem, grünem und blauem (= RGB) Licht messen und verarbeiten kann. Die einzelnen Wellenlängenbereiche werden dabei als Kanäle oder Bänder bezeichnet. Eine RGB-Kamera hat somit drei Bänder oder Kanäle. Da eine RGB-Kamera drei Spektralbereiche erfasst, ist diese genau genommen eine einfache Art von Multispektralkamera.
- Multispektralkamera: Ein Sensor, der neben Bändern für Rot, Grün und Blau über zusätzliche Kanäle, zum Beispiel für Nahinfrarot (NIR) verfügt. Die zur Montage an Drohnen verfügbaren Kameras haben meistens für jeden Kanal eine eigene Linse. Multispektralkameras verfügen meistens über Frequenzbänder in Wellenlängenbereichen, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Der Vorteil liegt darin, dass so Veränderungen im Pflanzenbestand erkannt werden können, bevor man sie mit den eigenen Augen, zum Beispiel bei einer Feldbegehung erkennen kann.
- Für die Berechnung von Vegetationsindizes müssen die Daten basierend auf Multispektralkameras herangezogen werden, da für die Berechnung der Nahinfrarotbereich benötigt wird.



*Der in Teilprojekt 6 des DiWenkLa-Verbundes eingesetzte Multispektralsensor des Herstellers Micasense. Typisch für die meisten Multispektralsensoren ist die Bauweise mit jeweils einer Linse pro Kanal.*

### Feldbefliegung mit Drohnen

Landwirtschaftliche Flächen können mit Drohnen befliegen werden, um die für die weitere Analyse notwendigen Rohdaten selbst zu generieren.

### Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Wetterlagen?

Auch bei schwierigen Wetterlagen sind Drohnen in der Lage, Daten zu erfassen, weil die Drohne unter der Wolkendecke fliegt. Befliegungen bei Regen und zu starkem Wind sind jedoch nicht möglich. Es muss außerdem berücksichtigt werden, dass unter diesen suboptimalen Bedingungen die Qualität der Bilddaten negativ beeinflusst werden kann. Die beste Qualität der Bilder entsteht entweder bei wolkenlosem Himmel und direkter Sonneneinstrahlung oder bei einer geschlossenen Wolkendecke und somit diffuser Einstrahlung. Letzteres führt zu Bildern mit geringem Schattenwurf. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Drohnen je nach Anforderung mit unterschiedlichen Sensoren (Kameras) bestückt werden können. Eine Ausrüstung mit Multispektralsensoren zur Berechnung von Vegetationsindizes ist somit einfach umzusetzen.

### Gibt es rechtliche Rahmenbedingungen?

Bei der Verwendung von Drohnen müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen in Deutschland und der EU beachtet werden. So ist es nicht erlaubt, die Drohne ohne Sichtkontakt des Piloten zur Drohne oder diese automatisiert fliegen zu lassen. Es ist somit erforderlich die Drohne zu jedem Feld zu bringen und diese vom Feldrand aus zu starten.

Des Weiteren sind je nach verwendetem Modell mehr oder weniger große Abstände zu Siedlungen, Verkehrswegen und Naturschutzgebieten einzuhalten. Liegt das zu befliegende Feld in einem solchen Gebiet, sind Befliegungen oftmals nur nach vorheriger Genehmigung durchführbar.

Auf der Digitalen Plattform unbemannte Luftfahrt<sup>7</sup> des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr können Flugverbotszonen eingesehen werden.



DJI Matrice 210 V2 während einer Feldbefliegung.

### Weitere Einsatzmöglichkeiten für Drohnen

Über das Erstellen von Bildmaterial hinaus können Drohnen auch für weitere Aufgaben im Pflanzenbau eingesetzt werden. Dazu zählt das Ausbringen von Nützlingen (Trichogramma) in Mais oder das Streuen von Saatgut, zum Beispiel zum Anlegen einer Untersaat. In schwierigen Lagen, wie in Steillagen im Weinbau, ist die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln ebenfalls in der Praxis etabliert.



### Drohnen und die Technik dahinter

Auf dem Markt findet sich ein breites Angebot von Drohnen verschiedener Bauarten, für unterschiedliche Anwendungen und (fast) jedes Budget. Grundsätzlich lässt sich zwischen Starrflüglern und Multicoptern unterscheiden.

**Starrflügler** sind Drohnen, die in ihren Flugeigenschaften einem Flugzeug ähneln. Aufgrund einiger Besonderheiten werden sie vorwiegend im professionellen Bereich, wie Landschaftsmonitoring und Vermessung, angewandt. So müssen sie beim Start in die Luft geschleudert werden und benötigen bei der Landung eine Art Landebahn.

**Multicopter** sind Drohnen, die ihren Auftrieb ähnlich einem Hubschrauber durch abwärts gerichtete Propeller erzeugen. Vergleicht man die beiden Bauarten so haben Starrflügler den Vorteil eine längere Flugzeit erreichen zu können. Multicopter haben den Vorteil auch bei geringen Geschwindigkeiten fliegen zu können und sind sogar in der Lage stehend zu schweben.

Die kleinsten Modelle wiegen inklusive Kamera ungefähr 250 Gramm und sind bereits mit guten RGB-Kameras ausgerüstet.

<sup>7</sup> <https://www.dipul.de>

Größere Modelle bieten den Vorteil, dass die Sensorik austauschbar ist, was bei Bedarf den Wechsel der Kamera ermöglicht. Der Einstieg ist bei den kleinen Modellen derzeit bereits ab 250 Euro möglich.

Gesteuert wird die Drohne mit einer **App**, die in der Regel auf der Fernsteuerung der Drohne installiert ist. Hier gibt es zwischen den Modellen teils massive Unterschiede. Für Feldbefliegungen sind bestimmte Flugmodi, sogenannte Kartierungsmodi, vorteilhaft. Diese sind nicht bei allen Modellen verfügbar.

Deshalb ist darauf zu achten, dass die Durchführung von Kartierungsflügen in der Software implementiert ist. Dies ist oftmals erst ab der gehobenen Mittelklasse, nicht aber bei den Einstiegsmodellen für den Hobbybereich, der Fall.



*Screenshot der DJI Pilot-App während der Erstellung einer Flugmission. Das blaue Rechteck markiert den zu befliegenden Bereich und wird durch verschieben der Eckpunkte aufgespannt. Die Flugroute wird anhand der voreingestellten Parameter, wie Flughöhe und Sensor, berechnet und als grüne Linie angezeigt. Vom Start bis zur Landung kann die Flugmission nun automatisiert durchgeführt werden.*

In der Regel verfügen bereits die einfachen Modelle über eine GPS-basierte Positionsbestimmung. Dies dient einerseits dem Einhal-

ten von Flugverboten (Geofencing). Andererseits lässt sie sich für die **Georeferenzierung** der Bilddaten nutzen. Dabei werden die GPS-Koordinaten der Drohne zum Zeitpunkt der Bildaufnahme „in“ die Bilddatei, also in ihre Metadaten, geschrieben. Die Geodaten sind während der späteren Verarbeitung wichtig. Die Genauigkeit hängt dabei auch davon ab, ob die Drohne mit einem gewöhnlichen GPS-Signal arbeitet. Ein RTK-Modul (Real Time Kinematic) steigert die Genauigkeit enorm. RTK-Module präzisieren allgemein die Positionsbestimmung von GPS-Signalen.

Wenn Bilddaten generiert werden sollen, sind zwei Baugruppen der Drohne zentral:

- die Kamera der Drohne und
- die Halterung, auch Gimbal genannt, mit der die Kamera an die Drohne angebaut ist.

Bei den meisten Drohnen im Hobbybereich und der Mittelklasse sind die Kameras fest verbaut und können durch Anwenderinnen und Anwender nicht gewechselt werden. Daher sollten bei der Anschaffung die für die spätere Nutzung relevanten Sensoreigenschaften beachtet werden. Mit den auch in günstigen Modellen verbauten RGB-Kameras lassen sich bereits qualitativ hochwertige Luftbilder aufnehmen. Für die Berechnung von Vegetationsindizes sind jedoch, wie bereits dargestellt, die Daten von Multispektralkameras erforderlich.

Durch physikalische Gesetzmäßigkeiten ergibt sich, dass das von einer gesunden Pflanze abgegebene Licht eine charakteristische, **spektrale Signatur** besitzt. Wird eine Pflanze krank, oder steht sie zum Beispiel unter Trockenstress, verändert sich die spektrale Signatur. Der Vergleich der spektralen Signatur ermöglicht so die Differenzierung

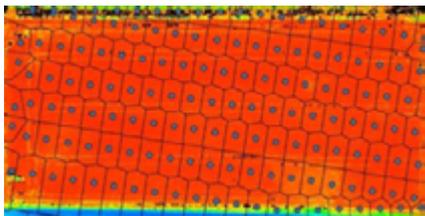
zwischen einer gesunden und einer unter Stress stehenden Pflanze.

Je nach Aufbau und Funktion der verwendeten Sensoren können unterschiedliche Veränderungen im Pflanzenbestand erkannt werden, oftmals sogar bevor man sie mit den eigenen Augen, zum Beispiel bei einer Feldbegehung, erkennen könnte.

Zur Sichtbarmachung der Veränderungen gibt es verschiedene Vorgehensweisen, wie mit den gewonnenen Rohdaten umgegangen werden kann. Die Einfachste, das Berechnen von Vegetationsindizes, wird im Folgenden erläutert. Hierfür sind Daten einer Multispektralkamera erforderlich.

Nach der Befliegung eines Feldes liegen die Bilddaten in der Regel als Bündel von Einzelbildern vor. Genau genommen liegen so viele Einzelbilder pro Aufnahmezeitpunkt vor, wie die Kamera Kanäle hat. Jedes Einzelbild zeigt entsprechend nur einen Teilausschnitt des Feldes. Um ein Bild des kompletten Feldes zu erhalten, müssen die Einzelbilder zu einem Gesamtbild, auch Orthomosaik, zusammengesetzt werden. Dieser Vorgang wird als **Stitching** bezeichnet.

Für das Stitching ist Software unterschiedlicher Anbieter verfügbar. Ein Beispiel für frei verfügbare Software ist OpenDroneMapTM<sup>8</sup>.



Orthomosaik als NDVI. Die blauen Punkte markieren die GPS-Position bei Auslösen der Kamera, die schwarzen Linien markieren die Nahtlinien, entlang derer die Einzelbilder miteinander zusammengefügt wurden.

Die Software von kommerziellen Anbietern bietet erfahrungsgemäß die größere Anwenderfreundlichkeit. Die Kosten für die notwendigen Lizenzen sind jedoch nicht zu unterschätzen.

Alternativ kann auf Open Source Anwendungen zurückgegriffen werden. Die Software ist nicht mit direkten Kosten verbunden und im Hinblick auf die Qualität der Ergebnisse keine schlechtere Alternative. Die Nachteile liegen eher in einer weniger intuitiven Benutzung.

Am Ende der Verarbeitung mit einem der genannten Programme steht das bereits erwähnte Orthomosaik. Seine Bilddaten werden in ein **Geoinformationssystem (GIS)** übertragen. Wie beim Stichen steht eine Anzahl von Anbietern proprietärer wie freier Software zur Verfügung. In diesem Beispiel wird mit qGIS<sup>9</sup> gearbeitet. qGIS ist zum Download frei verfügbar und kann kostenlos genutzt werden. Für Einsteiger gibt es eine Bandbreite an Lernvideos auf gängigen Videoportalen, in denen der Umgang mit einem GIS erläutert wird.

### Berechnung von Vegetationsindizes

Für die Berechnung von Vegetationsindizes können Daten herangezogen werden, die mit Multispektralkameras erhoben wurden. Dabei ist es egal, ob die Daten von der Befliegung mit einer Drohne oder einem Satelliten, wie dem Sentinel-2, erhoben wurden.

Die Verwendung von Vegetationsindizes ist eine Methode, Oberflächen zu klassifizieren. Vegetationsindizes geben beispielsweise darüber Aufschluss, wie viel Prozent der Erdoberfläche verbaut sind, oder wie viel

<sup>8</sup> <https://www.opendronemap.org>

<sup>9</sup> <https://www.qgis.org>

Fläche ackerbaulich genutzt wird. Vegetationsindizes sind hierfür eine einfache, wenig rechenintensive Methode. Dabei macht man sich den Umstand zu Nutze, dass Pflanzen im sichtbaren Spektrum des Lichts insgesamt relativ wenig Licht reflektieren. Im Nahinfrarotbereich steigt die Reflektion aufgrund der Eigenschaften des Chlorophylls auf etwa das Sechsfache an. Tote Oberflächen wie Fels, Stein, oder Wasser, zeigen ein anderes Reflektionsverhalten. Während der letzten Jahrzehnte wurden Vegetationsindizes für die verschiedenen Anwendungen entwickelt. Auf einer Website der Universität Bonn findet sich eine Übersicht mit publizierten Vegetationsindizes<sup>10</sup>.

#### Wie genau berechne ich den NDVI?

Die Berechnung eines Vegetationsindizes wird über einen sogenannten Rasterrechner, ein Verarbeitungstool in gängigen Softwareanwendungen, nach der entsprechenden Formel vorgenommen. Für den NDVI lautet diese:  $(\text{NIR}-\text{Rot})/(\text{NIR}+\text{Rot})$

Die Berechnung wird für jeden Pixel des Orthomosaiks erstellt. Pro Pixel erhält man einen Wert in einem vorher definierten Wertebereich, zum Beispiel von -1 bis 1. Im genannten Beispiel steht ein Wert von 0 für keine photosynthetisch aktive Vegetation, also für Asphalt oder für Bäume ohne Laub. Ein Wert von 0,8 oder höher steht für sehr aktive (gesunde) Vegetation. Das Resultat ist eine bunt gefärbte Karte des beflogenen Feldes.

#### Wie interpretiere ich die Daten?

Im Pflanzenbau geht es darum, Fehlentwicklungen im Feld frühzeitig zu erkennen.

In einem gesunden Pflanzenbestand kann von einer hohen Photosyntheseleistung ausgegangen werden. Somit ist mit einem hohen NDVI zu rechnen. In Bereichen des Feldes, in denen sich die Pflanzen weniger gut entwickeln, ist von einem niedrigeren NDVI auszugehen. Ursächlich dafür können schlechte Bodenbedingungen oder ein Krankheitsbefall sein.

Letztendlich ermöglicht die Verwendung von Vegetationsindizes das Sichtbarmachen von Heterogenität im Feld. Das bedeutet nicht, dass ein Rückschluss auf einen bestimmten Krankheitserreger oder den Mangel eines bestimmten Nährstoffes gezogen werden kann. Zur Interpretation der Ergebnisse ist somit weiterhin pflanzenbauliche Erfahrung und eine genauere Untersuchung möglicher Problembereiche notwendig. Dementsprechend ist die Anwendung in der Praxis vor allem dann interessant, wenn ein drohnen-gestütztes System vorhanden ist, das die Daten eines NDVI in Echtzeit auf das Display der Fernsteuerung übertragen kann. In diesem Fall können große Flächen in kurzer Zeit auf entsprechende Problemzonen hin untersucht, direkt aufgesucht und begutachtet werden.

Im Folgenden werden anhand eines Praxisbeispiels die Vor- und Nachteile sowie resultierende Möglichkeiten eines solchen Systems erläutert.

<sup>10</sup> <https://www.indexdatabase.de>

### Praxisbeispiel: Braunrost in Weizen

Wie kann die praktische Anwendung einer Drohne zur Krankheitserkennung im landwirtschaftlichen Betrieb nun aussehen? Um dies zu verdeutlichen, wird anhand des folgenden Praxisbeispiels eine Feldbefliegung und anschließende Auswertung der Daten skizziert.



*Braunrostbefall aus nächster Nähe, direkt am sichtbaren Infektionsherd.*

Der beschriebene Datensatz wurde im Zeitraum von April bis Juli 2021 erstellt und zeigt ein Weizenfeld in der Vorbergzone des Schwarzwaldes. Die Größe des Feldes beträgt 0,4 Hektar und ist typisch für die kleine Strukturiertheit der Flächen in der Region. Die Saison 2021 zeichnete sich durch eher kühle Witterung mit regelmäßigen, teils hohen Niederschlägen aus. Entsprechend hoch war der Infektionsdruck verschiedener Pilzkrankheiten.

Das Interessante an dem Datensatz ist, dass einer der Infektionsherde vom Feldrand aus gesehen mit dem bloßen Auge erkennbar war.

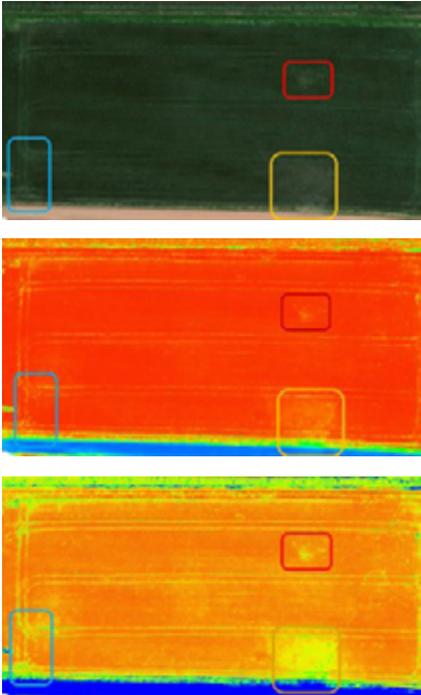
Nach der Datenanalyse durch Fachpersonal wurde festgestellt, dass die gerechneten Vegetationsindizes weitere markante Stellen im Feld zeigten. Bei der anschließenden Begehung wurden sie als zusätzliche Infektionsherde identifiziert.

Die Infektionsherde waren mit bloßem Auge zunächst nicht erkennbar, weil die befallenen Blattetagen von der obersten, noch gesunden Blattebene verdeckt wurden. Hierbei ist bemerkenswert: Obwohl sich die unsichtbaren Infektionsherde in direkter Nähe einer Straße befanden, sind sie nicht aufgefallen. Die Vorteile eines drohnengestützten Systems werden anhand dieses Beispiels offenbar.

### Vergleich von Indizes: Sentinel-2 vs. Drohnenbilder

Grundsätzlich ist es möglich, statt Bilddaten von Drohnen jene von Satelliten zu verwenden. Zur Veranschaulichung werden frei zugängliche Sentinel-2-Bilder mit den Drohnenbildern aus dem Praxisbeispiel

hinsichtlich Auflösung und Nutzbarkeit in Abhängigkeit der Agrarstruktur verglichen.



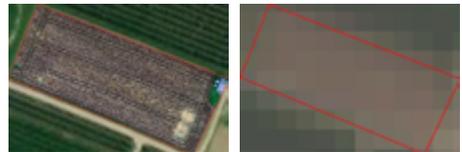
RGB-Bild des Weizenfeldes (oberes Bild) sowie NDVI-Bild des Weizenfeldes mit niedrigem (mittleres Bild) und hohem Kontrast (unteres Bild). Rot: Vom Feldrand sichtbarer Infektionsherd. Blau: Nicht sichtbarer Infektionsherd. Gelb: Vom Nachbarfeld vorüberziehende Staubwolke.

Wie bereits erwähnt, sind mit der ESA und NASA zwei Anbieter vorhanden, die freien Zugang zu entsprechenden Datensätzen ermöglichen. Für den Weizendatensatz wurden im Zeitraum April bis Juli 2021 ebenfalls die zugänglichen Daten der Sentinel-2-Satelliten hinsichtlich Auflösung und Verwendbarkeit in Gebieten mit besonders kleinstrukturierter Landwirtschaft, wie im hier vorliegenden Fall, verglichen.

Für den betrachteten Pflanzenbestand standen im genannten Zeitraum lediglich drei nutzbare Datensätze zur Verfügung. Im gewünschten Zeitraum wurde das betrachtete Weizenfeld ständig von einer Wolkendecke verdeckt. Für den Vergleich von Satelliten- und Drohnenbilddaten musste deshalb auf Datensätze von Mitte Juli 2021 zurückgegriffen werden.

Speziell zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten ist jedoch eine möglichst engmaschige Überwachung der Felder notwendig. Als weiterer Nachteil ergibt sich die im Verhältnis zu Drohnenaufnahmen viel größere räumliche Auflösung, wie im direkten Vergleich zwischen den Abbildungen zu erkennen ist.

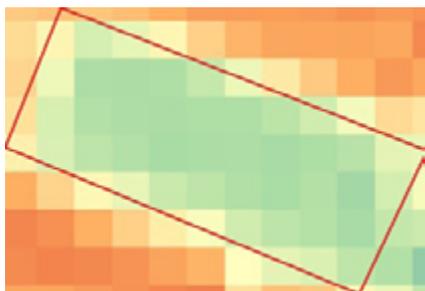
Ein Pixel eines Sentinel-2-Bildes entspricht am Boden bestenfalls einer Fläche von 100 Quadratmetern (10m x 10 Meter). Allerdings weisen nicht alle Kanäle der Sentinel-2-Satelliten eine Auflösung von 10 x 10 Metern auf.



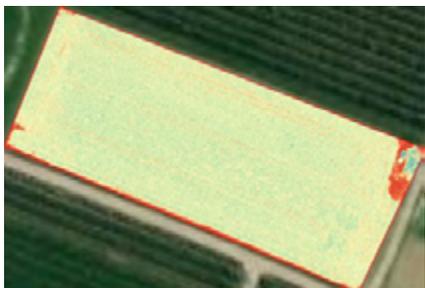
RGB-Bild basierend auf den Daten einer Feldbeobachtung vom 11.07.2021. Durch die hohe Auflösung sind Details wie Fahrspuren und Bereiche mit ins Lager gegangenen Getreide erkennbar.

RGB-Bild basierend auf Daten von Sentinel-2 vom 18.07.2021. Die Pixelgröße entspricht 10 x 10 m. Bereits erkennbar sind die Mischpixel (entlang der roten Linie), welche sich farblich deutlich sowohl von den Pixeln innerhalb des Feldes, als auch den außerhalb gelegenen unterscheiden.

Möchte man einen Vegetationsindex berechnen, benötigt man ein Band aus dem RedEdge Bereich (705 Nanometer). So ändert sich die Größe eines Pixels von 10 x 10 Metern zu 20 x 20 Metern, also 400 Quadratmeter pro Pixel. Die grobe Auflösung führt dazu, dass entlang der Ränder betrachteter Flächen eine hohe Anzahl von Mischpixeln entsteht. Mischpixel sind Pixel, die zum Beispiel zu einer Hälfte im Weizenfeld liegen, zur anderen Hälfte aber die spektrale Signatur der angrenzenden Straße enthalten. Die Daten dieser Pixel können entweder gar nicht oder nur sehr eingeschränkt für eine Begutachtung des Pflanzenbestands herangezogen werden.



*NDVI basierend auf Daten von Sentinel-2, aufgenommen am 18.07.2021. Das rote Rechteck markiert die Feldgrenze. Pixel die über die Feldgrenze hinausragen haben eine gelbe Farbe, im Feld liegende blau und außerhalb des Felds liegende sind orange bis rot. Die gelbe Farbe der nur teilweise im Feld liegenden Pixel ergibt sich durch die gemischte Spektrale Signatur (Mischpixel).*



*NDVI basierend auf Daten einer Feldbefliegung vom 11.07.2021. Es gibt keine sichtbaren Mischpixel, weil die Auflösung mit ca. 2 cm/Pixel extrem fein ist.*

Die Daten werden je nach Weiterverarbeitung auf die Teile der Fläche interpoliert, für die nur Mischpixel vorliegen. Betrachtet man also ein Feld von über 50 Hektar Größe, ist der Anteil der auszulassenden Randpixel prozentual an der Gesamtfläche relativ klein und wird umso kleiner, je größer die betrachtete Fläche ist. In kleinstrukturierten Gebieten mit Flächenstrukturen von oftmals weniger als einem Hektar mit einzelnen größeren Parzellen bis fünf Hektar wird die Aussagekraft der Bilddaten durch den höheren Anteil nicht verwertbarer Pixel stark eingeschränkt. Es gibt auch kommerzielle Anbieter für satellitenbasierte Bilddaten, deren Daten über bessere räumliche Auflösung verfügen. Der Zugang zu diesen Daten ist jedoch mit der Entrichtung von mitunter stattlichen Gebühren verbunden.

### Leitfaden zur Interpretation der Daten anhand des Praxisbeispiels

Die Nutzung der gewonnenen Daten hängt nicht nur von technischen Faktoren, wie der Qualität oder dem Alter der Daten, ab. Die korrekte Interpretation der Daten ist auch abhängig vom Erfahrungslevel des Anwenders.

Plötzlich auftretende Umwelteinflüsse, wie eine vorüberziehende Staubwolke, können die Bilder stellenweise beeinflussen, sodass die Situation im Pflanzenbestand in dem jeweiligen Bildausschnitt nicht bewertet werden kann. Auch das Wetter während der Befliegung kann die Daten beeinflussen.

Möchte man sich mit der Drohne einen schnellen Überblick über das Feld verschaffen, wiegen diese Faktoren nicht so schwer. Sollen die Daten aber zur Erstellung eines Vegetationsindizes als Grundlage für eine Ertragszonenkarte des Feldes verwendet werden, ist ein „geschultes Auge“ zur Erkennung und Aussonderung solcher Datensätze von Vorteil.

Da Vegetationsindizes nicht spezifisch sind, können diese nur zur Erkennung von Heterogenität im Feld, nicht aber zur Bestimmung von Krankheiten oder Schädlinge genutzt werden. Ebenso kann eine Entwicklungsverzögerung in einem Teil des Feldes auch auf Bodenverhältnisse zurückgeführt werden.

Die Prozessierung der Daten mit KI-Unterstützung befindet sich momentan in der Entwicklung. So kann beispielsweise mit der qGIS-Erweiterung „Deepness“<sup>11</sup> auf RGB-Bilddaten von Getreidefeldern den Flächenanteil des Lagergetreides bestimmt werden. Ähnliche Anwendungen könnten auch zum Beispiel zur Quantifizierung von Wildschäden zukünftig Eingang in die praktische Anwendung finden.

## Fazit

Im Bereich des Krankheits- und Schädlingsmonitorings könnte es noch einige Jahre dauern, bis automatisierte, verlässliche Produkte verfügbar sind. Hier bleibt für geeignete Praktikerinnen und Praktiker bis vorerst nur die Nutzung von Vegetationsindizes. Landwirtinnen und Landwirte sollten sich davon nicht abschrecken lassen, da ein gehöriges Maß an persönlicher Erfahrung im Umgang

mit der Technik notwendig ist, um valide Ergebnisse zu erzeugen.



Insbesondere für die junge Generation ist die fortlaufende Beschäftigung mit der Technik essenziell, um nicht den Anschluss zu verpassen. Um den Einstieg zu finden, bietet sich auch hier der Besuch entsprechender Kurse an. Die Hochschule Weihenstephan-Triesdorf führt bspw. Drohnenkurse<sup>12</sup> mit landwirtschaftlichem Schwerpunkt durch.

## Literatur

Lottes, P. et al. (2019): UAV-based Field Monitoring for Precision Farming. Conference Paper. 25. Workshop Computerbildanalyse in der Landwirtschaft.

Raeva, P. et al. (2018): Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from UAV. DOI 10.1080/22797254.2018.1527661.

Strathmann, M. & Bauer, C. (2022): Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) zur Bestandsbeurteilung. Projekt BoniKI für eine pflanzengenaue und autonome Bonitierung. In LandInfo 2/2022.

<sup>11</sup> <https://plugins.qgis.org/plugins/deepness/>

<sup>12</sup> <https://www.hswt.de/studium/studienangebot/weiterbildung/drohnen-kurs>

# 4 Übersicht

## Wo kann ich mich als Praktikerin oder Praktiker informieren?

Stand: Dezember 2023

### Allgemeine Informationsangebote

Titel	Inhalt	verfügbar unter
Digitalisierung in der Landwirtschaft	Allgemeine Informationen über Digitalisierung in der Landwirtschaft	<a href="https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/digitalisierung-landwirtschaft.html">https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/digitalisierung-landwirtschaft.html</a>
Farmwissen	Wissensplattform zur Digitalisierung in der Landwirtschaft	<a href="https://farmwissen.de/">https://farmwissen.de/</a>
Digitale Experimentierfelder – ein Beitrag zur Digitalisierung in der Landwirtschaft	Informationen über die digitalen Experimentierfelder	<a href="https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/digitale-experimentierfelder.html">https://www.bmel.de/DE/themen/digitalisierung/digitale-experimentierfelder.html</a>
Digitalisierung in der Landwirtschaft	Projektförderung in der BLE zu Digitalisierung in der Landwirtschaft	<a href="http://www.ble.de/digitalisierung">www.ble.de/digitalisierung</a>
Digitalisierung in der Landwirtschaft. Chancen nutzen – Risiken minimieren	Broschüre des BMEL zur Digitalisierung in der Landwirtschaft	<a href="https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/digitalpolitik-landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&amp;v=9">https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/digitalpolitik-landwirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&amp;v=9</a>
Praxislabor Digitaler Ackerbau	Digitale Technologien, Projekte und Organisationen rund um den Ackerbau der LWK Niedersachsen	<a href="https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/projekte/520_PraxisLabor_Digitaler_Ackerbau">https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/projekte/520_PraxisLabor_Digitaler_Ackerbau</a>

## Weiterführende Links aus dem Kapitel „Hackroboter im Zuckerrübenanbau im Experimentierfeld Farmerspace“

Titel	Inhalt	verfügbar unter
Agronym e. V.	Zertifikatskurs Digitaler Pflanzenbau	<a href="https://agronym.de/zertifikatskurs/">https://agronym.de/zertifikatskurs/</a>
Akademie Burg Warberg	Seminare und Tagungen im Agribusiness	<a href="https://burg-warberg.de/">https://burg-warberg.de/</a>
Farmerspace – Digitaler Pflanzenschutz	Experimentierfeld Farmerspace	<a href="https://www.farmerspace.uni-goettingen.de/">https://www.farmerspace.uni-goettingen.de/</a>
Phenoinspect	Einsatz von Künstlicher Intelligenz und optischen Sensoren zur Merkmalerfassung in Sortenprüfungen bei Zuckerrüben	<a href="https://www.phenoinspect.de/">https://www.phenoinspect.de/</a>
Phenorob	Exzellenzcluster der Uni Bonn	<a href="https://www.phenorob.de/">https://www.phenorob.de/</a>

## Weiterführende Links aus dem Kapitel „Fernerkundungsmethoden zur Erkennung von Pflanzenkrankheiten im Experimentierfeld DiWenLa“

Titel	Inhalt	verfügbar unter
Dipul (Digitale Plattform unbemannte Luftfahrt)	Informationen zum Drohnenbetrieb und zu geografischen Gebieten	<a href="https://www.dipul.de">https://www.dipul.de</a>
Drohnen-Seminar in Triesdorf: Drohnen landwirtschaftlich nutzen	Kurs: Drohnen landwirtschaftlich nutzen	<a href="https://www.hswt.de/studium/studienangebot/weiterbildung/drohnen-kurs">https://www.hswt.de/studium/studienangebot/weiterbildung/drohnen-kurs</a>
DiWenLa	Experimentierfeld DiWenLa	<a href="https://diwenkla.uni-hohenheim.de/">https://diwenkla.uni-hohenheim.de/</a>
Indexdatabase	Übersicht der meisten publizierten Vegetationsindizes	<a href="https://www.indexdatabase.de">https://www.indexdatabase.de</a>
OpenDroneMap		<a href="https://www.opendronemap.org">https://www.opendronemap.org</a>
OpenGeoEdu	Lernplattform für den Umgang mit offenen Geodaten	<a href="https://learn.opengeoedu.de">https://learn.opengeoedu.de</a>
QGIS	freies Open-Source-Geographisches-Informationssystem	<a href="https://www.qgis.org">https://www.qgis.org</a>

# KTBL-Veröffentlichungen



## **Drohnen in der Landwirtschaft – Übersicht und Potenzial**

Grenzdörffer, G.

In dieser Schrift erfahren Landwirtinnen und Landwirte sowie potenzielle Dienstleister – auch für Einsteiger gut verständlich – wie landwirtschaftliche Fernerkundung funktioniert und welche Drohnentechnik zur Verfügung steht. Kosten und Flächenleistungen werden genauso beschrieben wie die besonderen rechtlichen Anforderungen.

2022, 124 Seiten, ISBN 978-3-945088-86-9, Bestell-Nr. 11527, 23 €



## **Arbeitsorganisation und Entlohnung in landwirtschaftlichen Betrieben**

Hiß, M.; Krön, K.

Die Schrift liefert einen Überblick über die Arbeitsorganisation und Entlohnung auf landwirtschaftlichen Betrieben. Sie ist ein hilfreicher Leitfaden, welche Formen der entlohnten Beschäftigung von Arbeitskräften möglich sind, welche rechtlichen Aspekte zu beachten sind und wie sich die Entlohnung gestaltet. Dabei werden u. a. Tarifverträge, Mindestlöhne, Arbeitsrecht, sozialversicherungsrechtliche Grundlagen sowie steuerliche Grundsätze thematisiert.

2022, 84 Seiten, ISBN 978-3-945088-95-1, Bestell-Nr. 11531, 20 €

### **Bestellhinweise**

Besuchen Sie auch den KTBL-Internet-Shop <https://www.ktbl.de>  
Porto- und Verpackungskosten werden gesondert in Rechnung gestellt.

Preisänderungen vorbehalten.

Senden Sie Ihre Bestellung bitte an:

KTBL, Bartningstraße 49, D-64289 Darmstadt |

Tel.: +49 6151 7001-189 | E-Mail: [vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

# Weitere BZL-Medien



## **Gute fachliche Praxis – Bodenbewirtschaftung und Bodenschutz**

In dieser Broschüre sind die neuesten Erkenntnisse der Bodenbearbeitung und -bewirtschaftung dargestellt, um schädliche Bodenverdichtungen und Erosion zu vermeiden und die organische Substanz zu erhalten. Die Publikation ist damit eine wertvolle Grundlage für die Praxis, die Ausbildung des landwirtschaftlichen Nachwuchses und die landwirtschaftliche Fachberatung.

Broschüre, DIN A4, 3. Auflage 2022, Art.-Nr. 3614



## **Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau**

In Teilgabeln düngen, Zwischenfrüchte anbauen, Berechnungstools nutzen: Die Broschüre gibt Tipps zur effizienteren Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau. Die Handlungsempfehlungen haben Gemüsebaubetriebe gemeinsam mit Fachberatung und Wissenschaft erarbeitet. Sie stammen aus dem Modell- und Demonstrationsvorhaben „Optimierung der Stickstoffdüngung im Freilandgemüsebau“ und zeigen, wie Freilandgemüse optimal gedüngt werden kann, ohne die Umwelt über Gebühr zu belasten. Vor dem Hintergrund der aktuellen Düngeverordnung sind die Maßnahmen auf verschiedenen Betrieben erprobt worden.

Broschüre, DIN A5, 1. Auflage 2022, Art.-Nr. 1778



## **Düngeverordnung 2020**

Was die Düngeverordnung für die landwirtschaftliche Praxis bedeutet, ist Thema der 2022 neu aufgelegten und inhaltlich ergänzten Broschüre „Düngeverordnung 2020“. Die aktuelle Düngeverordnung ist am 1. Mai 2020 in Kraft getreten. Zum 1. Januar 2021 wurden auch die neuen Regelungen für die „roten“ Gebiete (mit Nitrat belastete und eutrophierte Gebiete) wirksam.

„Düngeverordnung 2020“ informiert über die aktuelle Rechtslage und stellt vor, was sich für die Düngung und bezüglich der Aufbringungstechnik geändert hat. Die Broschüre beschreibt und erklärt Aufbringungsbeschränkungen, Sperrzeiten und Obergrenzen für organische Düngemittel.

Broschüre, DIN A4, 4. Auflage 2022, Art.-Nr. 1756

# Das BZL im Netz...

## Internet

### [www.landwirtschaft.de](http://www.landwirtschaft.de)

Vom Stall und Acker auf den Esstisch – Informationen für Verbraucherinnen und Verbraucher

### [www.praxis-agrar.de](http://www.praxis-agrar.de)

Von der Forschung in die Praxis – Informationen für Fachleute aus dem Agrarbereich

### [www.bzl-datenzentrum.de](http://www.bzl-datenzentrum.de)

Daten und Fakten zur Marktinformation und Marktanalyse

Mit der neuen „BZL-Neuigkeiten“-App bleiben Sie stets auf dem Laufenden. Sie ist **jetzt für Android und iOS kostenfrei verfügbar.**



### [www.bildungsserveragrar.de](http://www.bildungsserveragrar.de)

Gebündelte Informationen zur Aus-, Fort- und Weiterbildung in den Grünen Berufen

### [www.nutztierhaltung.de](http://www.nutztierhaltung.de)

Informationen für eine nachhaltige Nutztierhaltung aus Praxis, Wissenschaft und Agrarpolitik

### [www.oekolandbau.de](http://www.oekolandbau.de)

Das Informationsportal rund um den Öko-Landbau und seine Erzeugnisse

## Social Media

Folgen Sie uns auf:



@bzl\_aktuell



@mitten\_draussen



BZLandwirtschaft

## Unsere Newsletter

[www.landwirtschaft.de/newsletter](http://www.landwirtschaft.de/newsletter)

[www.oekolandbau.de/newsletter](http://www.oekolandbau.de/newsletter)

[www.bildungsserveragrar.de/newsletter](http://www.bildungsserveragrar.de/newsletter)

[www.praxis-agrar.de/newsletter](http://www.praxis-agrar.de/newsletter)

[www.bmel-statistik.de/newsletter](http://www.bmel-statistik.de/newsletter)

## Medienservice

Alle Medien erhalten Sie unter [www.ble-medien-service.de](http://www.ble-medien-service.de)



# Impressum

## Herausgeberin

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)

Präsidentin: Dr. Margareta Büning-Fesel

Deichmanns Aue 29

53179 Bonn

Telefon: +49 (0)228 6845-0

Internet: [www.ble.de](http://www.ble.de)

## Redaktion

Annika Brenig, Referat 622, BZL in der BLE

## Text

Kapitel 1: Annika Brenig

Kapitel 2: Dr. Josef Bosch  
Peter Joneck

Kapitel 3: Annika Brenig

Kapitel 3.1: Dr. Stefan Paulus

Kapitel 3.2: Prof. Dr. Ralf Vögele  
Christian Trautmann

Kapitel 4: Zusammenstellung des  
Materials: Annika Brenig in  
Zusammenarbeit mit den  
Autoren

## Bildnachweis

Titelbild, S. 2, 4: André Weiskopf

S. 6: Experimentierfeld BeSt-SH

S. 7 und weitere Illustrationen: © BLE

S. 12: Experimentierfeld Farmerspace

S. 13: Experimentierfeld DiWenkLa

S. 14, S. 18 links: Dr. Stefan Paulus

S. 10, 16, 17: Dirk Koops

S. 18 mittig: Facundo Ispizua

S. 18 rechts: Philipp Pfeffer

S. 21-28: Christian Trautmann

Rückseite: Minerva Studio-stock.adobe.com,  
Monkey Business-stock.adobe.com,

kursatunsal/iStock via Getty Images

und Lisa-Blue/E+ via Getty Images,

Prapat Aowsakorn/iStock via Getty Images

## Gestaltung

Referat 621, BZL in der BLE

## Druck

Kunst- und Werbedruck GmbH & Co. KG

Hinterm Schloss 11

32549 Bad Oeynhausen

Das Papier besteht zu 100 % aus  
Recyclingpapier.

Nachdruck und Vervielfältigung – auch aus-  
zugsweise – sowie Weitergabe mit Zusätzen,  
Aufdrucken oder Aufklebern nur mit Zustim-  
mung der BLE gestattet.

Stand: Dezember 2023

Art.-Nr. 0693 | Erstauflage

© BLE 2024



Art.-Nr. 0693

Das Bundesinformationszentrum Landwirtschaft (BZL) ist der neutrale und wissensbasierte Informationsdienstleister rund um die Themen Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Imkerei, Garten- und Weinbau – von der Erzeugung bis zur Verarbeitung.

Wir erheben und analysieren Daten und Informationen, bereiten sie für unsere Zielgruppen verständlich auf und kommunizieren sie über eine Vielzahl von Medien.



[www.praxis-agrar.de](http://www.praxis-agrar.de)