

# Drohnen in der Landwirtschaft

## Übersicht und Potenzial

Görres Grenzdörffer





KTBL-Schrift 527

# Drohnen in der Landwirtschaft

## Übersicht und Potenzial

Görres Grenzdörffer

**Herausgeber**

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

## Autoren

Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer, Universität Rostock, Rostock

Unter Mitwirkung von: Jörg Hiller, LMS Agrarberatung, Neubrandenburg (Drohnenübersicht)

Bitte zitieren Sie dieses Dokument bzw. Teile daraus wie folgt:

KTBL (2021): Drohnen in der Landwirtschaft. Übersicht und Potenzial.

Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

## Finanzielle Förderung

Projekträger: KTBL-Arbeitsprogramm „Kalkulationsunterlagen“, auf Grundlage der Bund-Länder-Verwaltungsvereinbarung (AZ 311-3054-0/6) | KTBL | Darmstadt

Fördernummer: 4p\_20a und 4p\_20b

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Text das generische Maskulinum verwendet.

© KTBL 2022

### Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

Barthningstraße 49 | 64289 Darmstadt

Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail: [ktbl@ktbl.de](mailto:ktbl@ktbl.de)

[vertrieb@ktbl.de](mailto:vertrieb@ktbl.de) | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189

[www.ktbl.de](http://www.ktbl.de)

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

### Titelfoto

© [stock.adobe.com](https://stock.adobe.com) | ZoomTeam

### Druck und Bindung

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG

Sontraer Straße 6 | 60386 Frankfurt am Main

# 1 Vorwort

Drohnen gehören zur Landwirtschaft von morgen – sind aber auch schon heute geschätzte Helfer, die es uns ermöglichen, bei der Fernerkundung neue Perspektiven und Blickwinkel einzunehmen. Ihre Sensoren und Kameras machen für das menschliche Auge sichtbar, was sonst verborgen ist. Drohnen gelangen – unabhängig von der Tragfähigkeit der Böden – an Orte, die für Menschen nicht oder nur schwer zu erreichen sind und warten mit einer hohen Flächenleistung auf.

Dabei hat die Evolution der technischen Helfer erst begonnen. Von der Minidrohone zur Bestäubung von Blüten über fliegende Schädlinge selektiv bekämpfende Drohnen bis hin zu Transportdrohnen, die auch große Mengen an Betriebsmitteln ausbringen können: Der Fantasie scheinen beim Einsatz der Fluggeräte theoretisch keine Grenzen gesetzt.

In der Praxis sieht es oft etwas nüchterner aus: Technische Herausforderungen, wie die autonome Steuerung in geschlossenen Räumen, oder rechtliche Hindernisse, wie das Flugverbot außerhalb der Sicht des Piloten, müssen noch gelöst werden – nicht zuletzt auch um die Kosten zu senken. Zudem müssen die großen Mengen an erfassten Daten schnell und effektiv verarbeitet werden.

Den weiteren Vormarsch der Drohnen wird aber nichts aufhalten. So werden sich über kurz oder lang alle Landwirtinnen und Landwirte mit dieser neuen Technik beschäftigen. Viele werden selbst Drohnen steuern, gerade in der Anfangsphase werden Drohnenflüge aber als Dienstleistung in Anspruch genommen werden. Schon jetzt hat sich eine Dienstleisterszene etabliert. Es ist also Zeit, Bilanz zu ziehen: Wie ist der Stand der Technik, wo lohnt es sich, über den Drohneinsatz nachzudenken und wo gibt es Forschungs- und Reglungsbedarf?

Im Auftrag des Bundes und der Länder hat das KTBL in seinem Arbeitsprogramm „Kalkulationsunterlagen“ (AP KU) das STZ Geoinformatik – ein der Professur für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock zugehöriges Steinbeis-Transferzentrum – mit dieser Aufgabe betraut. Das Ergebnis legt Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer mit dieser anschaulichen und informativen Schrift vor. Darin eingeflossen sind auch Daten der LMS Agrarberatung GmbH, die zeitgleich für das AP KU eine Übersicht von Drohnen in der Landwirtschaft erstellt hat.

Unseren Projektpartnern, allen voran Herrn Dr.-Ing Görres Grenzdörffer, danke ich herzlich. Ich bin mir sicher, dass diese Schrift vielen Leserinnen und Lesern einen guten Überblick und neue Einblicke verschafft – was wiederum gut zum Thema Drohne passt.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)



Dr. Martin Kunisch  
Hauptgeschäftsführer

Darmstadt, Januar 2022



# Inhalt

1	Einleitung.....	7
2	Was Drohnen für Landwirte attraktiv macht und wo es noch hapert.....	9
3	Grundlagen der landwirtschaftlichen Fernerkundung .....	12
3.1	Vegetationsindizes und Multispektralaufnahmen .....	15
3.2	Aufnahmezeitpunkte und das richtige Timing.....	19
3.3	Auf den Maßstab kommt es an .....	22
4	Rechtliche Rahmenbedingungen.....	26
4.1	EU-Drohnenverordnung.....	27
4.2	Nationale Drohnenregulierung – Luftverkehrsordnung (LuftVO).....	31
4.3	Fliegen außerhalb der Sichtweite – Beyond Visual Line of Sight (BVLOS)...	33
4.4	Drohnen und Datenschutz .....	34
5	Drohnen – Technologie und Datenverarbeitung .....	35
5.1	Systemvergleich verschiedener Drohnen.....	35
5.2	Übersicht marktgängiger Drohnen, inklusive Spezifikationen.....	41
5.3	Flächenleistung von Drohnen .....	44
5.4	Was ist eine RTK-, was eine PPK-Drohne und wie funktionieren sie?.....	47
5.5	Drohnenkameras – Anforderungen und Grenzen.....	50
5.6	Multispektrale Kameras für Drohnen.....	53
5.7	Photogrammetrischer Workflow .....	60
5.8	Bestandshöhe .....	71
6	Drohnenanwendungen in der Landwirtschaft .....	76
6.1	Differenzierung der Drohnenanwendung nach Auswertungsintensität ....	76
6.2	Differenzierung der Drohnenanwendung nach Technologie.....	79
6.3	Drohnen­daten als Managementinstrument für den Landwirt.....	81
6.4	Drohnen­daten zur Flächen-, Volumen- und Bauvermessung .....	82
6.5	Differenzierte Stickstoffdüngung mit Drohnen.....	87
6.6	Unkrauter­kennung und teil­flächen­spezifischen Herbizidanwendung mit Drohnen .....	91
6.7	Erfassung er­trags­mindernder Einflüsse mit Drohnen.....	96
6.8	Drohnen­einsatz im Gemüsebau und Feldversuchswesen.....	98
6.9	Pflanzenschutz­maßnahmen mit Spritzdrohnen.....	106
6.10	Drohnen­einsatz zur Mais­zünsler­bekämpfung .....	109
6.11	Drohnen­einsatz zur Wildtierrettung .....	111
6.12	Drohnen­einsatz in Gewächshäusern.....	114
6.13	Drohnen­einsatz zur Tierbeobachtung .....	116
7	Schluss­betrachtung .....	117
	Literatur.....	119
	Mitwirkende .....	122



# 1 Einleitung

Seit einigen Jahren versprechen Drohnen für einen weiteren Durchbruch des „Precision Farming“ zu sorgen, um Erträge zu steigern und gleichzeitig Wasser- und Nahrungsmittelkrisen zu lösen. Gleichzeitig wird der landwirtschaftliche Sektor in vielen Studien als großer Zukunftsmarkt für Drohnen gehandelt. Fast jeder zehnte Landwirt in Deutschland setzt auf seinem Betrieb Drohnen ein. Das ergab eine 2018 vom Deutschen Bauernverband in Zusammenarbeit mit dem Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. in Auftrag gegebene Umfrage unter 420 landwirtschaftlichen Betriebsleitern (Bitkom 2018). Vor allem Betriebe mit mehr als 100 Hektar Fläche nutzen demnach Drohnen.

Drohnen werden für die verschiedensten Zwecke eingesetzt. Wenn diese Umfrage die aktuelle Lage widerspiegelt, sind Drohnen in der landwirtschaftlichen Praxis bereits angekommen und das Wissen um die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten ist weit verbreitet. Schließlich gibt es in keiner anderen Branche einen vergleichbar intensiven Einsatz von Drohnen, von der Vermessungsbranche einmal abgesehen.

Abseits der Umfrage haben Drohnen zumindest bis vor Kurzem in Deutschland leider keinen signifikanten Einfluss auf die landwirtschaftliche Praxis gehabt. Warum ist das so?

Viele Landwirte experimentieren mit ihren Drohnen und setzen diese in erster Linie zur schnellen Informationsgewinnung ein, ohne dass sich Arbeitsabläufe grundlegend ändern und die vielen Möglichkeiten der neuen Technologie voll genutzt werden. Hierfür fehlt es oft an dem speziellen Know-how, an guter und intuitiver Software und natürlich auch an Zeit, um sich damit intensiv zu beschäftigen.

Nichtsdestotrotz tut sich in letzter Zeit viel. So haben sich schon einige drohnenbasierte Dienstleistungen etabliert. Im Feldversuchswesen werden mit Drohnen – nicht invasiv und objektiv – Versuchspartellen verglichen, einzelne Pflanzen erfasst, gezählt und analysiert. Drohnen können beispielsweise Informationen über die Wasserhaltekapazität des Bodens und die Effektivität von Bewässerungsmaßnahmen liefern. Nicht zuletzt reichen die multispektralen Bilddaten bis hin zur Ableitung von Applikationskarten für eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung oder Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (Montgomery et al. 2020, Maes und Steppe 2018, Näsi et al. 2018).

Drohnen sind also prinzipiell in der Lage verschiedene landwirtschaftliche Praktiken und Verfahren zu ändern, sowohl für Landwirte als auch für deren Dienstleister wie Maschinenringe und landwirtschaftliche Berater. Leider konnten bisher viele der Möglichkeiten, die Landwirten von Drohnenanbietern in Aussicht gestellt wurden, so nicht realisiert werden, selbst wenn die theoretischen Grundlagen bekannt sind. Es stellt sich die Frage: warum nicht?



Nun, vieles was in einer kontrollierten Forschungsumgebung prinzipiell funktioniert, lässt sich nicht einfach auf landwirtschaftlichen Flächen und unter praktischen Rahmenbedingungen wirtschaftlich umsetzen. Deshalb wird aktuell aus der Praxis anwendungsnahe Forschung und Expertise nachgefragt. Auch die Entwicklung geeigneter Software, die aus den sehr großen Datenmengen, die bei Drohnenbefliegungen anfallen, effizient, performant und zeitnah die richtigen Informationen extrahieren kann, schreitet kontinuierlich voran.

Zusammengefasst: Es fehlt Landwirten und potenziellen Dienstleistern an Informationen, praktischen Erfahrungen und Know-how, wie und was man mit Drohnen aus der Perspektive der Landwirte alles machen kann. Genau hier setzt die vorliegende Schrift an. Sie bietet eine Übersicht: Von den Grundlagen der landwirtschaftlichen Fernerkundung, über Fluggerätetechnik bis hin zu den rechtlichen Vorgaben. Anwendungsbeispiele zeigen die breiten Einsatzmöglichkeiten.

## 2 Was Drohnen für Landwirte attraktiv macht und wo es noch hapert

Der besondere und einzigartige Vorteil drohnengestützter Fernerkundung ist die hohe zeitliche Auflösung, mit der die auch räumlich hochaufgelösten fernerkundlichen Daten durch den Landwirt selbst erhoben werden können. Dabei kann die Drohne problemlos auch Flächen erreichen, die man entweder sonst gar nicht, nur zu Fuß oder nur durch Beschädigung der Kulturpflanze erreicht. Mit der engen Verbindung zwischen der Befliegung und dem Fachwissen des Landwirts lassen sich mithilfe von Drohnenaufnahmen viele Fragen sofort, objektiv und für eine große Fläche beantworten.

Anders als Satelliten sind Drohnen nicht unbedingt auf wolkenlosen Himmel angewiesen, sondern können auch bei bedecktem Himmel unterhalb der Wolkendecke fliegen. Flüge bei gleichmäßig bedecktem Himmel sind für viele Anwendungen ideal, da es ohne direkte Sonneneinstrahlung nicht zu einem Schattenwurf kommt. Zudem kann vor Ort flexibler auf wechselnde Witterungsbedingungen reagiert und aufgrund dessen die sonnigen oder völlig bedeckten Minuten bzw. Stunden voll ausgenutzt werden.

Mit den damit planbaren Aufnahmen können fernerkundliche Dienstleistungsunternehmen sicherstellen, zu phänologisch oder pflanzenbaulich relevanten Zeitpunkten Daten zu erheben. Die damit mögliche kontinuierliche Erfassung des Aufwuchses eröffnet viele neue Anwendungsmöglichkeiten, um z. B. den Verlauf der Pflanzenentwicklung und somit auch Prozesse (wie die Düngeaufnahme oder den Verlauf von Pflanzenkrankheiten) zu erfassen und zu dokumentieren. Das setzt allerdings voraus, dass die Datenprozessierung und -auswertung mehr oder weniger automatisch geschieht.

Mit 33% der Nennungen nutzen die Befragten der bereits erwähnten Umfrage (Bitkom 2018) Drohnen am häufigsten zur Rehkitzrettung und zur Vermeidung von Wildschäden (Abb. 1). Beinahe ebenso häufig werden Drohnen genutzt, um etwas über den aktuellen Zustand von Pflanzen und Böden zu erfahren. Ein vergleichbarer Anteil der Landwirte setzt Drohnen zum Schutz der Pflanzenbestände und zur Ausbringung von Nützlingen ein. Rund jeder fünfte Drohnennutzer kartiert mit den Drohnen seine Erträge und genauso viele führen Bestandskontrollen durch.

### 3 Grundlagen der landwirtschaftlichen Fernerkundung

Die Fernerkundung ist ein indirektes Verfahren, welches Unterschiede innerhalb eines Pflanzenbestands dokumentiert. Diese Unterschiede sind auf viele Ursachen zurückzuführen: z. B. auf die Heterogenität des Bodens, des Bestands, der Nährstoffversorgung, der Exposition, der Bewirtschaftung. Die Vielfalt möglicher Ursachen spektraler Unterschiede erschwert den Einsatz der Fernerkundung, da die Pflanzen – spektral gesehen – auf Stress unterschiedlicher Herkunft (z. B. Nährstoffmangel, Wassermangel, Pflanzenkrankheiten) oft recht ähnlich reagieren.

Aber der Reihe nach: Pflanzen weisen ein typisches Reflexionsverhalten auf, das sich im Laufe der phänologischen Entwicklung verändert. Zusätzlich können die Stickstoffversorgung und verschiedene Krankheiten das Reflexionsverhalten der Pflanzen beeinflussen.

Grüne und gesunde Blattorgane zeigen ein sehr typisches Reflexionsverhalten (Abb. 2). Der Reflexionsverlauf vitaler Vegetation lässt sich in drei Spektralbereiche unterteilen. Sie unterscheiden sich durch die jeweils dominierenden Strahlungstransportvorgänge, die wiederum an spezifische Bestandteile des Blatts gekoppelt sind (Jones und Vaughan 2010).

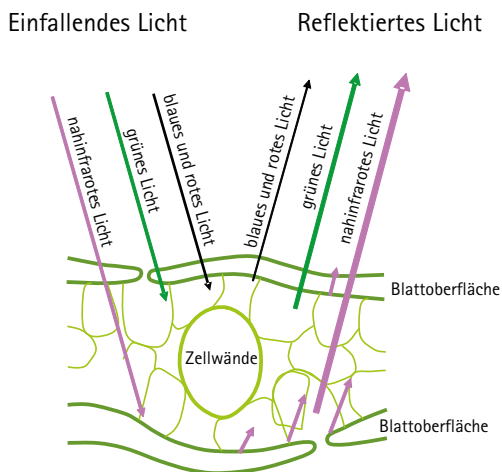


Abb. 2: Absorption und Reflexion an grünen Blättern (© G. Grenzdörffer)

- Im sichtbaren Licht (blau bis rot, 400 bis 700 nm) überwiegt die Absorption der Blattpigmente (Chlorophyll a und b, Carotinoide). Die Blattpigmente sind verantwortlich für die Photosynthese der Pflanzen. Da die Fotorezeptoren der Blattpigmente vornehmlich durch die Absorption der blauen und der roten Strahlung angeregt werden, resultiert ein relatives

und Blauanteilen des reflektierten Lichts bei von Pflanzen besonnten und beschatteten Flächen stark unterscheiden. Multispektralkameras mit einem Sonnensensor können die Unterschiede hingegen ausgleichen, sodass z.B. der NDVI in beschatteten Bereichen nahezu der gleiche ist wie bei besonnten Flächen (Abb. 5). Leider sind multispektrale Drohnenkameras, die in Kapitel 5.6 noch genauer vorgestellt werden, teuer.

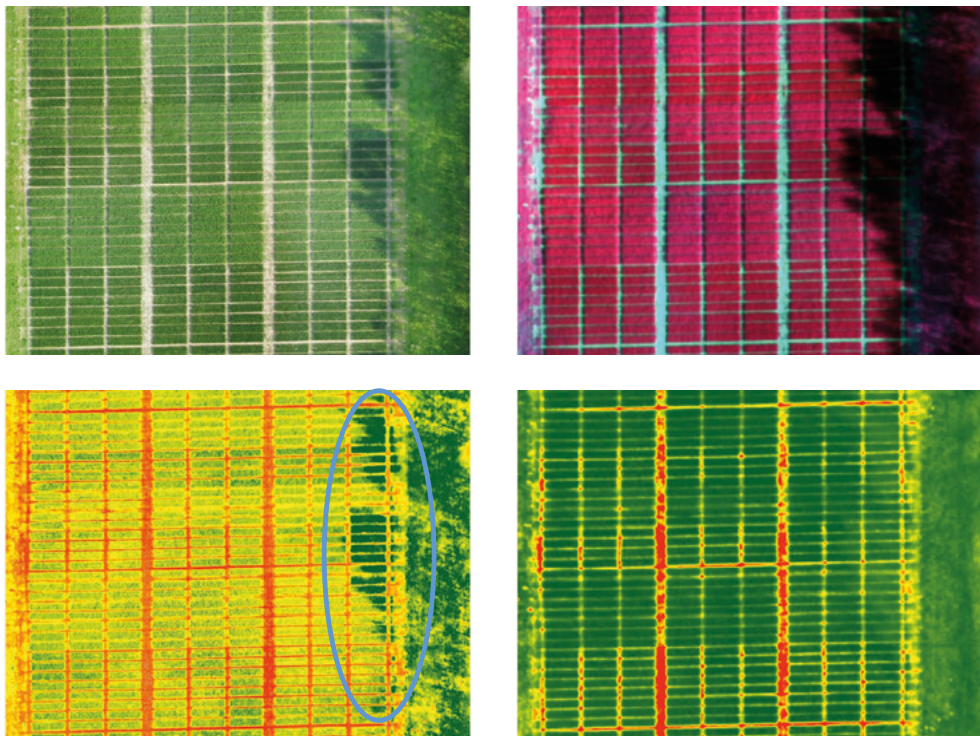


Abb. 5: Auswirkungen von Baumschatten (Ellipse) auf Vegetationsindizes von RGB-Aufnahmen (links oben) vs. Multispektralaufnahmen (rechts oben) am Beispiel des VARI (linke Seite) und des NDVI (rechte Seite) © G. Grenzdörffer)

Die Schattenproblematik können Besitzer einer Drohne mit einer normalen RGB-Kamera umgehen, indem sie bei möglichst gleichmäßig bedecktem Himmel arbeiten. Dann reduziert sich der Einfluss der Schatten und die abgeleiteten Vegetationsindizes gewinnen an Genauigkeit. Muss bei Sonnenschein geflogen werden, empfiehlt es sich, die Daten vorab deutlich zu vergrößern, z.B. auf eine Rasterweite von  $2 \times 2$  bis  $5 \times 5$  m. So können die negativen Effekte bei der Berechnung von der RGB-Vegetationsindizes verringert werden.

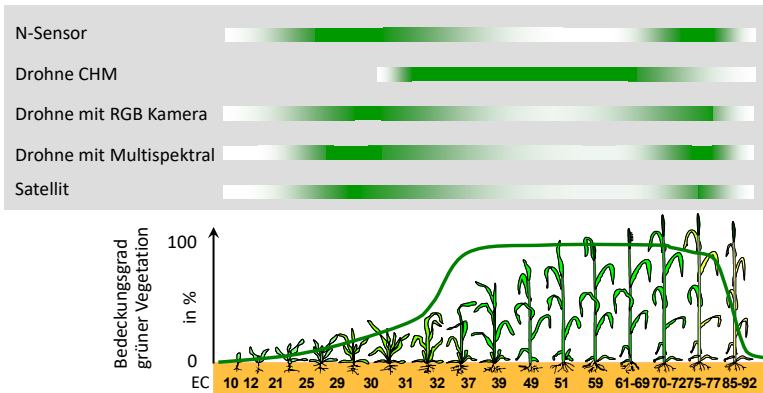


Abb. 8: In grün dargestellte Zeitfenster zur Erfassung der Bestandsheterogenität (Bestandsdichte, Biomasse, Blattflächenindex, Ertrag) von Winterweizen mit verschiedenen Sensoren (© G. Grenzdröffer)

Somit ergeben sich bei der Nutzung von spektralen Sensoren zwei Zeiträume, in denen die Bestandsdichte und alle damit korrelierenden Parameter sehr gut erfasst werden können. Zum einen in der Schossphase (EC 30 bis 39) und zum anderen während der Seneszenz (EC 75 bis 87). Aufnahmen in der Seneszenz korrelieren in der Regel sehr gut mit dem Ertrag.

Da in vielen Teilen Deutschlands das pflanzenverfügbare Wasser den größten ertragslimitierenden Faktor ausmacht, bieten Aufnahmen während längerer Trockenphasen ein zuverlässiges Bild über das Wasserhaltevermögen des Bodens (Abb. 9).



Abb. 9: Trockenschäden in Raps, Ausschnitt einer Drohnenaufnahme vom 05.07.2013 (© G. Grenzdröffer)

Da sich das Wasserhaltevermögen des Bodens über die Zeit kaum ändert, zeigen Aufnahmen mit Trockenstress persistente Zonen unterschiedlicher Wachstumspotenziale sehr gut auf. Die Ausprägung der Zonen schwankt in Abhängigkeit der Jahreswitterung und der angebauten Kultur natürlich von Jahr zu Jahr.

Unterschiede in der Stickstoffversorgung und Mangelerscheinungen, die den Chlorophyllgehalt der Pflanzen beeinflussen, sind auch bei dichterem Pflanzenbestand zu differenzieren.

Je nach Kultur ergeben sich mehrere geeignete Flugtermine für eine Drohne im Laufe einer Vegetationsperiode, die nicht nur auf eine direkte, teilflächenspezifische Maßnahme ausgerichtet sind, sondern auch Bonituren und andere Managemententscheidungen unterstützen (Abb. 10).